

**BATARYALARIN KONDİSYONLARINI İZLEYEREK
YAPAY SİNİR AĞLARI İLE BATARYA TÜRÜ VE
ŞARJ DURUMU TAHMİNİ**

**2016
DOKTORA TEZİ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ**

Emel SOYLU

**BATARYALARIN KONDİSYONLARINI İZLEYEREK YAPAY SİNİR
AĞLARI İLE BATARYA TÜRÜ VE ŞARJ DURUMU TAHMİNİ**

Emel SOYLU

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında

Doktora Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

KARABÜK

Nisan 2016

Emel SOYLU tarafından hazırlanan “BATARYALARIN KONDİSYONLARINI İZLEYEREK YAPAY SİNİR AĞLARI İLE BATARYA TÜRÜ VE ŞARJ DURUMU TAHMİNİ” başlıklı bu tezin Doktora Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Raif BAYIR

Tez Danışmanı, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir. 15/04/2016

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Ömer Faruk BAY (GÜ)

Üye : Prof. Dr. Raif BAYIR (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. İlyas ÇANKAYA (YBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Salih GÖRGÜNOĞLU (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ümit ATİLA (KBÜ)



...../...../2016

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Doktora derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nevin AYTEMİZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü





“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Emel SOYLU

ÖZET

Doktora Tezi

BATARYALARIN KONDİSYONLARINI İZLEYEREK YAPAY SİNİR AĞLARI İLE BATARYA TÜRÜ VE ŞARJ DURUMU TAHMİNİ

Emel SOYLU

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Raif BAYIR

Nisan 2016, 134 sayfa

Bataryalar elektrik enerjisini elektrokimyasal enerjiye dönüştürerek depolayabilen ve istendiği anda depoladığı enerjiyi elektrik enerjisi olarak verebilen enerji depolama sistemleridir. Taşınabilir elektronik cihazların yaygınlaşması şarj edilebilir bataryaların yaygınlaşmasına ve batarya teknolojisinin gelişmesine yol açmıştır. Bu nedenle bataryalar günlük hayatın vazgeçilmezleri haline gelmiştir. Bu çalışmada şarj edilebilir bataryaların gerçek zamanlı olarak kondisyonları izlenerek yapay sinir ağları ile şarj durumu ve tür tahmini yapılmaktadır. Batarya hücreleri üzerinde elektriksel ölçüm deneyleri yapmak için bir ölçüm düzeneği ve ölçülen verileri analiz etmek, bataryaların kondisyonlarını izlemek için bir kullanıcı arayüzü geliştirilmiştir. Çalışmada beş farklı batarya türünden güç değerleri birbirine denk bataryalar üzerinde deneysel çalışmalar yapılmıştır. İleri beslemeli yapay sinir ağı, kademeli bağlantılı yapay sinir ağı ve radyal tabanlı ağların batarya türü ve batarya şarj durumu tahmin edilerek ağların performansları karşılaştırılmıştır. Yapay sinir ağları

ile batarya kondisyon izleme, batarya türü ve batarya şarj durumu belirlemede başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Kullanılan yöntemler arasında batarya türü belirlemede ileri beslemeli yapay sinir ağı, batarya şarj durumu belirlemede kademeli bağlantılı yapay sinir ağının daha başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu ölçüm düzeneği ve yazılım ile bataryaların gerçek zamanlı olarak da kondisyonları izlenebilir, türleri ve şarj durumları tahmin edilebilir. Geliştirilen yapay sinir ağı modelleri gömülü sistemlerde kullanılarak prototip sistem tasarımı yapılabilir.

Anahtar Sözcükler : Şarj edilebilir bataryalar, batarya şarj durumu, batarya tür tahmini, ileri beslemeli yapay sinir ağı, kademeli bağlantılı yapay sinir ağı, radyal tabanlı fonksiyon sinir ağı, batarya test düzeneği, batarya izleme yazılımı, kondisyon izleme.

Bilim Kodu : 902.1.014

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

CONDITION MONITORING AND DETERMINING TYPE AND BATTERY STATE OF CHARGE USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Emel SOYLU

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Computer Engineering

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Raif BAYIR

April 2016, 134 pages

The batteries are capable of storing electrical energy by converting it to electrochemical energy. This electrochemical energy can be converted to electrical energy when desired. The popularization of portable electronic devices caused the development the spread of rechargeable batteries and battery technology. Battery has been indispensable to our lives. In this study real time condition monitoring, estimating the type and state of charge of rechargeable batteries are done. A test stand to make electrical experiments on batteries, condition monitoring of batteries and a user interface software is designed to view and store test data. Electrical battery experiments are made on five types of rechargeable batteries. These batteries' power values are equivalent. Feed forward neural network, cascade correlation neural network, radial basis function neural network artificial intelligence techniques are used to estimate the type and state of charge of the batteries. Their performances are compared. The results verifies that the proposed methods have high accuracy. Feed

forward neural network is the most successful method in determining type of the battery, cascade correlation neural network is the most successful method in estimating state of charge of the battery among other methods. The test stand and graphical user interface can be used for real time condition monitoring of batteries, determining the type and state of charge of the batteries. The artificial intelligence models can be embedded into digital control devices and prototype system design can be made.

Key Word : Rechargeable batteries, state of charge, estimation type of battery, feed forward neural network, cascade correlation neural network, radial basis function neural network, battery test stand, battery monitoring software, condition monitoring.

Science Code : 902.1.014

TEŞEKKÜR

Bu tez alıŐmasının planlanmasında, araŐtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıŐmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Prof. Dr. Raif BAYIR'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma sürecinde bilgi ve tavsiyelerinden dolayı sayın hocalarım Doç. Dr. İlyas ÇANKAYA, Yrd. Doç. Dr. Salih GÖRGÜNOğLU ve Yrd. Doç. Dr. Ali UYSAL'a teşekkürlerimi sunarım.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımını esirgemedен yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

Her konuda sabırla yardımcı olan sevgili eşim Tuncay SOYLU'ya ve canım kızım Zeynep SOYLU'ya tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
LİTERATÜR TARAMASI.....	4
BÖLÜM 3	26
BATARYALAR	26
3.1. BATARYALAR İLE İLGİLİ TEMEL KAVRAMLAR.....	27
3.2. BATARYA TÜRLERİ	29
3.2.1. Nikel Kadmiyum Bataryalar.....	30
3.2.2. Nikel Metal Hidrit Bataryalar	31
3.2.3. Kurşun Asit Bataryalar	32
3.2.4. Lityum İyon Bataryalar.....	33
3.2.5. Lityum Polimer Bataryalar	35
3.2.6. Şarj Edilebilen Bataryaların Karşılaştırılması	36
3.3. BATARYA MODELLERİ	36
3.3.1. Bataryaların Kimyasal Olarak Modellenmesi	37
3.3.2. Bataryaların Elektriksel Olarak Modellenmesi	37

	<u>Sayfa</u>
3.3.3. Bataryaların Matematiksel Olarak Modellenmesi	39
3.4. BATARYALARDA GÜVENLİK VE EMNİYET SİSTEMLERİ.....	44
3.5. DENEYSEL ÇALIŞMALARDA KULLANILAN BATARYALAR	47
BÖLÜM 4	53
YAPAY SİNİR AĞLARI	53
4.1. İLERİ BESLEMELİ YAPAY SİNİR AĞLARI	57
4.2. KADEMELİ BAĞLANTILI YAPAY SİNİR AĞLARI.....	61
4.3. RADYAL TABANLI FONKSİYON SİNİR AĞLARI	64
BÖLÜM 5	67
BATARYA İZLEME İÇİN TEST DENEY DÜZENEĞİ VE KULLANICI ARAYÜZÜ TASARIMI.....	67
5.1. BATARYA İZLEME İÇİN TEST DENEY DÜZENEĞİ TASARIMI.....	67
5.1.1. Programlanabilir DA Yük Cihazı	69
5.1.2. Veri Alışveriş Kartı	70
5.1.3. Batarya Şarj Cihazı	71
5.1.4. Sıcaklık Algılayıcısı	72
5.1.5. Akım Algılayıcısı.....	72
5.1.6. Gerilim Algılayıcısı	73
5.1.7. Termokupl Ve Yükselteci.....	73
5.1.8. Karekod Okuyucu.....	74
5.2. BATARYA KONDİSYON İZLEME İÇİN TASARLANAN KULLANICI ARAYÜZÜ TASARIMI	75
5.3. VERİTABANI TASARIMI.....	82
5.4. YAPAY SİNİR AĞLARININ EĞİTİMİ İÇİN GEREKLİ VERİLERİN ELDE EDİLMESİ	83
BÖLÜM 6	88
BATARYA TÜRÜNÜN VE BATARYA ŞARJ DURUMUNUN YSA İLE TESPİT EDİLMESİ.....	88

	<u>Sayfa</u>
6.1. BATARYA TÜRÜNÜN TAHMİNİ	92
6.1.1. İleri Beslemeli Sinir Ağı İle Batarya Türü Tahmini	93
6.1.2. Kademeli Sinir Ağı İle Tür Tahmini	94
6.1.3. Radyal Tabanlı Fonksiyon Ağı İle Tür Tahmini	96
6.2. BATARYA ŞARJ DURUMUNUN TAHMİNİ	97
6.2.1. İleri Beslemeli Sinir Ağı İle Şarj Durumu Tahmini	103
6.2.2. Kademeli Bağlantılı Sinir Ağı ile Şarj Durumu Tahmini	108
6.2.3. Radyal Tabanlı Fonksiyon Ağı İle Şarj Durumu Tahmini	114
6.3. KULLANICI ARAYÜZÜ İLE GERÇEK ZAMANLI OLARAK BATARYA TÜRÜ VE ŞARJ DURUMUNUN TAHMİNİ	118
 BÖLÜM 7	 120
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	120
 KAYNAKLAR	 123
ÖZGEÇMİŞ	134

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1. Bataryaların sınıflandırılması.....	30
Şekil 3.2. Nikel kadmiyum bataryalar.....	31
Şekil 3.3. Nikel metal hidrit bataryalar.	32
Şekil 3.4. Kurşun asit bataryalar.	33
Şekil 3.5. Lityum iyon bataryalar.....	34
Şekil 3.6. Lityum polimer bataryalar.....	35
Şekil 3.7. Batarya hücresinin temel yapısı.	37
Şekil 3.8. Elektriksel batarya modeli.....	38
Şekil 3.9. Tipik deşarj eğrisi.....	40
Şekil 3.10. Batarya deşarj modeli.....	42
Şekil 3.11. Genel batarya yönetim sistemi bileşenleri.	45
Şekil 3.12. Kurşun asit batarya.....	48
Şekil 3.13. Kurşun asit batarya deşarj karakteristikleri.....	48
Şekil 3.14. Kurşun asit batarya şarj karakteristikleri.....	48
Şekil 3.15. Lityum iyon batarya.	49
Şekil 3.16. Lityum iyon batarya şarj karakteristikleri.	49
Şekil 3.17. Lityum iyon batarya deşarj karakteristikleri.	49
Şekil 3.18. Nikel metal hidrit batarya.....	50
Şekil 3.19. Nikel metal hidrit batarya şarj karakteristikleri.	50
Şekil 3.20. Nikel metal hidrit batarya deşarj karakteristikleri.....	50
Şekil 3.21. Nikel kadmiyum batarya.	51
Şekil 3.22. Nikel kadmiyum batarya şarj karakteristikleri.	51
Şekil 3.23. Nikel Kadmiyum batarya deşarj karakteristikleri.	51
Şekil 3.24. LiPo batarya.	52
Şekil 3.25. LiPo batarya şarj karakteristikleri.	52
Şekil 3.26. LiPo batarya deşarj karakteristikleri.	52
Şekil 4.1. Temel yapay sinir ağı hücresi.	55
Şekil 4.2. Aktivasyon fonksiyonları.	56

Sayfa

Şekil 4.3. Çok katmanlı ileri beslemeli sinir ağı mimarisi.	58
Şekil 4.4. KBYSA mimarisi.	62
Şekil 4.5. RTFSA mimari yapısı.	65
Şekil 5.1. Batarya kondisyon izleme ölçüm düzeneği.	68
Şekil 5.2. Ölçüm düzeneği.	68
Şekil 5.3. Yönlendirme ve algılayıcı kartı.	69
Şekil 5.4. Array 3711A DA programlanabilir yük cihazı.	70
Şekil 5.5. Array 3312 USB seri-USB port dönüştürücü.	70
Şekil 5.6. Advantech USB-4716 veri alışveriş kartı.	71
Şekil 5.7. Batarya şarj cihazı ve güç kaynağı.	71
Şekil 5.8. LM35 sıcaklık algılayıcısı.	72
Şekil 5.9. LTS25-NP akım algılayıcısı.	72
Şekil 5.10. LV25-P gerilim algılayıcı.	73
Şekil 5.11. K tipi termokupl.	73
Şekil 5.12. K109TC sıcaklık dönüştürücü.	74
Şekil 5.13. Karekod okuyucu.	74
Şekil 5.14. Batarya ekle sekmesi.	76
Şekil 5.15. Batarya listesi sekmesi.	77
Şekil 5.16. Deney ayarları sekmesi.	78
Şekil 5.17. Veri topla sekmesi.	78
Şekil 5.18. Anlık grafik çiz sekmesi.	79
Şekil 5.19. Verileri görüntüle sekmesi.	79
Şekil 5.20. Mevcut veri grafikleri sekmesi.	80
Şekil 5.21. Eğitim seti-1 sekmesi.	80
Şekil 5.22. Eğitim seti-2 sekmesi.	81
Şekil 5.23. YSA sekmesi.	81
Şekil 5.24. Veri tabanı varlık ilişki modeli.	82
Şekil 5.25. Pb bataryanın sabit yükte deşarj eğrileri.	84
Şekil 5.26. Li-Ion bataryanın sabit yükte deşarj eğrileri.	84
Şekil 5.27. LiPo bataryanın sabit yükte deşarj eğrileri.	85
Şekil 5.28. NiCd bataryanın sabit yükte deşarj eğrileri.	85
Şekil 5.29. NiMH bataryanın sabit yükte deşarj eğrileri.	86

Sayfa

Şekil 6.1. Matlab nntool araç kutusu veri yönetim penceresi.	88
Şekil 6.2. Yapay sinir ağı oluşturma arayüzü.	89
Şekil 6.3. Eğitim parametreleri penceresi.	90
Şekil 6.4. Eğitim parametreleri.	90
Şekil 6.5. Eğitim penceresi.	91
Şekil 6.6. YSA şarj durumu tahmini performans kontrol modeli.	91
Şekil 6.7. Batarya tür tahmininde kullanılan genel YSA mimari yapısı.	92
Şekil 6.8. Batarya türü belirlemede kullanılan İBYSA yapısı.	93
Şekil 6.9. Batarya türü belirlemede kullanılan KBYSA yapısı.	95
Şekil 6.10. Batarya türü belirlemede kullanılan RTFSA yapısı.	96
Şekil 6.11. Batarya ŞD tahmininde kullanılan genel YSA mimari yapı.	97
Şekil 6.12. Li-Ion batarya deşarj eğrileri ve ayrıntılı grafik.	98
Şekil 6.13. Pb batarya Gerilim, Vn eğrisi.	99
Şekil 6.14. Gerilime bağlı en yüksek Vn noktaları eğrisi.	100
Şekil 6.15. Pb batarya sabit yük deneylerine ait akım, gerilim, ŞD grafiği.	101
Şekil 6.16. Li-Ion batarya sabit yük deneylerine ait akım, gerilim, ŞD grafiği.	101
Şekil 6.17. LiPo batarya sabit yük deneylerine ait akım, gerilim, ŞD grafiği.	102
Şekil 6.18. NiCd batarya sabit yük deneylerine ait akım, gerilim, ŞD grafiği.	102
Şekil 6.19. NiMH batarya sabit yük deneylerine ait akım, gerilim, ŞD grafiği.	102
Şekil 6.20. Batarya şarj durumu belirleme ileri beslemeli sinir ağı yapısı.	103
Şekil 6.21. Pb batarya eğitim grafiği.	104
Şekil 6.22. Li-Ion batarya eğitim grafiği.	104
Şekil 6.23. LiPo batarya eğitim grafiği.	105
Şekil 6.24. NiCd batarya eğitim grafiği.	105
Şekil 6.25. NiMH batarya eğitim grafiği.	106
Şekil 6.26. Pb batarya için ŞD ve tahmin edilen ŞD eğrileri.	106
Şekil 6.27. Li-Ion batarya için ŞD ve tahmin edilen ŞD eğrileri.	107
Şekil 6.28. LiPo batarya için ŞD ve tahmin edilen ŞD eğrileri.	107
Şekil 6.29. NiCd batarya için ŞD ve tahmin edilen ŞD eğrileri.	108
Şekil 6.30. NiMH batarya için ŞD ve tahmin edilen ŞD eğrileri.	108
Şekil 6.31. Şarj durumu tahmininde kullanılan KBYSA mimari yapısı.	109
Şekil 6.32. Pb batarya eğitim grafiği.	110

Sayfa

Şekil 6.33. Li-Ion batarya eğitim grafiği.	110
Şekil 6.34. LiPo batarya eğitim grafiği.	111
Şekil 6.35. NiCd batarya eğitim grafiği.	111
Şekil 6.36. NiMH batarya eğitim grafiği.	112
Şekil 6.37. Pb batarya için ŞD ve tahmin edilen ŞD eğrileri.	112
Şekil 6.38. Li-Ion batarya için ŞD ve tahmin edilen ŞD eğrileri.	113
Şekil 6.39. LiPo batarya için ŞD ve tahmin edilen ŞD eğrileri.	113
Şekil 6.40. NiCd batarya için ŞD ve tahmin edilen ŞD eğrileri.	114
Şekil 6.41. NiMH batarya için ŞD ve tahmin edilen ŞD eğrileri.	114
Şekil 6.42. Şarj durumu tahmininde kullanılan RTFSA mimari yapısı.	115
Şekil 6.43. Pb batarya için ŞD ve tahmin edilen ŞD eğrileri.	116
Şekil 6.44. Li-Ion batarya için ŞD ve tahmin edilen ŞD eğrileri.	116
Şekil 6.45. LiPo için ŞD ve tahmin edilen ŞD eğrileri.	117
Şekil 6.46. NiCd batarya için ŞD ve tahmin edilen ŞD eğrileri.	117
Şekil 6.47. NiMH batarya için ŞD ve tahmin edilen ŞD eğrileri.	117
Şekil 6.48. Kullanıcı arayüzü ile gerçek zamanlı batarya türü ve ŞD tahmini.	118

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Yıllara göre bataryaların tarihsel gelişimi [103].	26
Çizelge 3.2. Şarj edilebilir bataryaların karşılaştırılması.	36
Çizelge 3.3. Çalışmada kullanılan bataryaların katalog bilgileri.	47
Çizelge 6.1. İBYSA eğitim parametreleri.	94
Çizelge 6.2. İBYSA ile batarya tür tahmini.	94
Çizelge 6.3. KBYSA eğitim parametreleri.	95
Çizelge 6.4. KYSA ile batarya tür tahmini.	96
Çizelge 6.5. RTFSA eğitim parametreleri.	97
Çizelge 6.6. RTFSA ile batarya tür tahmini.	97
Çizelge 6.7. Li-Ion batarya zamana bağlı akım, gerilim, ŞD değişimi.	99
Çizelge 6.8. İBYSA eğitim parametreleri.	103
Çizelge 6.9. KBYSA eğitim parametreleri.	109
Çizelge 6.10. RTFSA eğitim parametreleri.	115
Çizelge 7.1. Tür tahmininde kullanılan YSA'ların karşılaştırılması.	120
Çizelge 7.2. Şarj durumu tahmininde kullanılan YSA'ların karşılaştırılması.	121

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

$[X]$: giriş değişkeninin en büyük değeri
μ_i	: gizli katmandaki i . nöronun merkez vektörü
Ah	: Amper saat
b	: bias değeri
B	: üstel bölge zaman sabiti tersini $(Ah)^{-1}$
C	: kapasite
$C_{geçiş_k}$: k geçiş kondansatörü
$C_{geçiş_u}$: u geçiş kondansatörü
c_i	: i 'inci sinirinin çıkış değeri
c_i'	: c_i sinirinin vermesi istenilen değer
$c_j(x)$: çıkış katmanındaki j . nöronun çıkışı
$C_{kapasite}$: kullanılabilir kapasite
C_p	: Ah cinsinden 1A deşarj oranındaki batarya kapasitesi
E	: çıkıştaki hataların karelerinin toplamı
e	: Euler sayısı
E_0	: batarya sabit gerilimi (V)
$E(w)$: amaç fonksiyon
e_i	: i sinirinin hata işareti
e_i^2	: hataların karelerinin toplamı
e_o'	: çıkış birimlerinin ortalama hatası
e_{po}	: çıkış
$f(x)$: aktivasyon fonksiyonu
f_j	: j sinirinin aktivasyon fonksiyonu
f_p^1	: o çıkış biriminin aktivasyon fonksiyonunun türevi
G	: exponansiyel bölge genliğini (V)

g_i	: i . ölçülen akım değeri
g_{i+1}	: $i+1$. akım değeri
gr	: ağırlık birimi gram
I	: birim veya tanımlama matrisi
I_p	: p örüntüsü için i gizli birim ya da giriş biriminin değeri
i^*	: filtrelenmiş akım(A)
J_k	: hatanın w_k değerlendirilmiş jakobiyeni
k	: Peukert sabiti
K	: polarizasyon sabiti (V/Ah) ya da polarizasyon direnci (Ω)
KA	: kullanılan alan
l	: toplam standart belirsizlik ortalaması
learn_gdm	: momentum ağırlığı ve bias öğrenme fonksiyonuyla gradyan iniş
LiFe	: lityum demir
LiFePO ₄	: lityum demir fosfat
Li-Ion	: lityum iyon
LiMn ₂ O ₄	: lityum manganez oksit
Li-MNC	: lityum nikel manganez kobalt
LiPo	: lityum iyon polimer
mAh	: mili Amper saat
mWh	: mili Watt saat
N	: net değer
n	: ölçüm sayısını t i . zaman değeri
NiCd	: nikel kadmiyum
NiMH	: nikel metal hidrit
o	: nöron çıkışı
$^{\circ}\text{C}$: sıcaklık birimi santigrat
$^{\circ}\text{F}$: sıcaklık birimi fahrenheit
p	: giriş örüntüsü
Pb	: kurşun asit
Q	: batarya kapasitesi (Ah)
Qg	: gerçek batarya şarjı (Ah)
Q(t)	: t anındaki bataryanın içindeki kapasite
Q _n	: bataryanın nominal kapasitesi

\mathcal{R}	: reel sayılar
RC	: direnç kondansatör
$R_{\text{geçiş}_k}$: k geçiş direnci
$R_{\text{geçiş}_u}$: u geçiş direnci
$R_{iç}$: bataryanın iç direnci
$R_{\text{kdeşarj}}$: kendiliğindendeşarj direnci
R_{seri}	: seri direnç
sn	: saniye
t	: zaman
TA	: toplam alan
tanh()	: hiperbolik tanjant fonksiyonu
tansig	: tanjant sigma
t_i	: i . zaman değeri
t_{i+1}	: $i+1$. zaman değeri
t_{po}	: istenen çıkışlar
V_{ADG}	: açık devre gerilimi
V_b	: batarya gerilimi (V)
V_n	: gerilim sayacı
$V_{\text{ŞD}}$: oransal olarak bataryanın ŞD değeri
w	: yapay sinir ağı ağırlık vektörü
w_{ij}	: i . nöron ile j . nöron arasındaki ağırlığı
w_{io}	: giriş ya da gizli birim i ve çıkış o arasındaki bağlantı
w_{ji}	: j . nöron ile i . nöron arasındaki ağırlık
w_{k+1}	: farzedilen ağırlık vektörü
X	: yapay sinir ağı giriş vektörü
x	: yapay sinir ağı girdi değeri
x'	: girdi değerinin ölçeklendirilmiş hali
x_{max}	: girdi setindeki olası en büyük değer
x_{min}	: girdi setindeki olası en küçük değer
y	: hedef çıkış
y_d	: gerçek çıkış
y_o'	: aday birimlerin ortalama aktivasyonu
y_{po}	: gözlemlenen çıkışlar

α	: öğrenme katsayısı
δ_j	: hatanın türevi
Δw_{ij}	: i . nöron ile j . nöron arasındaki ağırlık değişimi
λ	: Marquardt parametresi
σ_i	: gizli katmandaki i . nöronun yayılım parametresi
σ_o	: işareti aday birimin çıkışı ile çıkışta kalan hata arasındaki korelasyonu
$\varphi()$: gizli katman aktivasyon fonksiyonu
Ω	: direnç birimi Ohm
$\Psi(N)$: aktivasyon fonksiyonu

KISALTMALAR

AA	: Alternatif Akım
ADG	: Açık Devre Gerilimi
AGK	: Anahtarlama Güç Kaynağı
ASBMS	: Adaptif Sinirsel Bulanık Mantık Sistemi
BYS	: Batarya Yönetim Sistemi
DA	: Doğru Akım
DAD	: Direk Akım Direnci
EES	: Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi
EKK	: En küçük Kareler Yöntemi
GA	: Genetik Algoritma
GBYSA	: Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağı
GKF	: Genişletilmiş Kalman Filtre
İBYSA	: İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağı
KBYSA	: Kademeli Bağlantılı Yapay Sinir Ağı
KOH	: Karesel Ortalama Hatası
LM	: Levenberg-Marquardt
MÖ	: Milattan Önce
MS	: Milattan Sonra
RC	: Resistor Capacitor
RTF	: Radyal Tabanlı Fonksiyon
RTFSA	: Radyal Tabanlı Fonksiyon Sinir Ağı

- SD : Sağlık Durumu
SMPS : Switch Mode Power Supply (Anahtarlmalı Güç Kaynağı)
SQL : Structured Query Language (Yapılandırılmış Sorgulama Dili)
şD : şarj Durumu
UPS : Uninterruptible Power Supply (Kesintisiz Güç Kaynağı)
USB : Universal Serial Bus (Evrensel Seri Veriyolu)
VRLA : Valve Regulated Lead Acid (Sübaş Ayarlı Kurşun Asit)
YSA : Yapay Sinir Ağı



BÖLÜM 1

GİRİŞ

Bataryalar çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Taşınabilir elektronik cihazlar, ticari ve endüstriyel uygulamalar, otomobil endüstrisi, şebeke elektriği kesintiye uğradığında devreye giren sistemle ve uydular bataryaların kullanım alanlarından bazılarıdır. Kullanıldıkları alana göre bir çok batarya çeşidi mevcuttur. Cihazlarında batarya kullanan üreticiler enerji kapasitesi, ağırlık, çevrim sayısı, boyut gibi parametreleri göz önünde bulundurarak batarya seçimi yapmaktadırlar.

Enerjisini üzerindeki bataryadan sağlayan cihazların yaygınlaşması bataryaları hayatımızın vazgeçilmezi haline getirmiştir. Bataryalar sıcaklık sınırlarının dışında kullanıldığında, aşırı şarj veya aşırı deşarj edildiğinde, katalog bilgilerinde verilen değerlerden farklı gerilim ve akım değerlerinde şarj edildiğinde, kapasitesinden fazla akım oranlarında deşarj edildiğinde zarar gören ve kimyasal yapısı bozulan ekipmanlardır. Bataryaların kullanımı doğru yapıldığında bataryalardan daha uzun süre faydalanılabilir. Elektrikli araç teknolojisi gibi değişken yük gerektiren sistemlerde bataryaları verimli ve üretici firmaların belirttiği sınır değerlerinin içinde kullanmak için batarya yönetim sistemleri kullanılmaktadır. Bu tür sistemlerde bataryaya ait akım, gerilim, sıcaklık bilgileri izlenmektedir. Batarya sağlık durumu ve batarya şarj durumu tahmini, bataryaları verimli kullanmak için gereken önemli parametrelerdir. Batarya sağlık durumu bataryanın ömrü hakkında bilgi verir ve ne zaman değiştirileceği hakkında fikir sahibi olunur. Batarya şarj durumu ise bataryanın doluluk durumunu gösteren bir parametredir ve bataryanın ne kadar zaman daha kullanabileceği ve ne kadar daha şarj edilmesi gerektiği hakkında bilgi verir. Bu şekilde bataryanın gereğinden fazla şarj edilerek ya da gereğinden fazla boşaltılarak mekaniksel zarar görmesi engellenmektedir.

Bu tez çalışmasında bataryaların elektriksel kondisyonlarını izlemek için bir ölçüm düzeneği gerçekleştirilmiş, deneysel çalışma için gerekli parametre ayarlamalarını yapmak, ölçüm verilerini gözlemlemek, verileri analiz etmek için kullanıcı arayüzü tasarlanmıştır. Ölçüm verileri veritabanına kaydedilmektedir. Şarj edilebilir batarya türlerinden kurşun asit, lityum iyon, lityum polimer, nikel kadmiyum ve nikel metal hidrit bataryalar üzerinde deneysel çalışmalar yapılmıştır. Çalışmada güçleri birbirine denk bataryalar kullanılmış ve bu bataryalara ait gerçek zamanlı tür ve şarj durumu tahmini yapılmıştır. Gerçekleştirilen çalışma ile yüksek başarımlarında batarya türü ve batarya şarj durumu doğru bir şekilde tahmin edilmektedir.

Batarya yönetim sistemi, batarya sağlık durumu, şarj durumu tahmini üzerine pek çok çalışma mevcuttur, fakat batarya türü tahmini bu çalışmanın farklılığıdır. Elektrikli araç teknolojisinin ve bununla birlikte şarj istasyonlarının da yaygınlaşacağı öngörüsünde bulunarak bu çalışma gerçekleştirilmiştir. Şarj istasyonuna gelen bir aracın kısa bir süre içinde batarya türü belirlenerek bataryanın uygun değerlerde şarj edilmesi mümkün olabilecektir. Batarya tür tahmini ile özellikleri bilinmeyen bir bataryanın türü belirlenip, doğru kullanımı sağlanabilir.

Bu tez çalışmasının ikinci bölümünde literatür taraması yer almaktadır. Batarya yönetim sistemleri, batarya modelleme, batarya sağlık durumu tahmini ve batarya şarj durumu tahmini hakkında yapılan akademik çalışmalara yer verilmektedir. Üçüncü bölümde bataryalar ile ilgili temel kavramlar açıklanmakta, bataryalar türlerine göre sınıflandırılmaktadır. Şarj edilebilir bataryaların karşılaştırılması yapılmaktadır. Batarya yönetim sistemi teknolojileri hakkında bilgi verilmektedir. Deneysel çalışmalarda kullanılan bataryalara ait üretici firma bilgileri verilmektedir.

Tezin dördüncü bölümünde tez çalışmasında kullanılan ileri beslemeli yapay sinir ağı, kademeli bağlantılı yapay sinir ağı ve radyal tabanlı fonksiyon sinir ağlarına ait mimari yapı, algoritma ve bu ağlarda kullanılan eğitim algoritmaları verilmektedir. Beşinci bölümde tez çalışması için tasarlanan ölçüm düzeneği, ölçüm düzeneği ekipmanları, batarya kondisyon izleme için tasarlanan yazılım ve veritabanı tasarımı verilmektedir. Gerçek zamanlı deneysel çalışmalardan elde edilen ölçüm grafikleri

verilmektedir. Yapay sinir ağlarında eğitim ve test verisi elde etmek için deneysel çalışmalar yapılmıştır.

Altıncı bölümde batarya türü ve şarj durumu tahmininde kullanılan yapay sinir ağlarının mimari yapıları, parametre ayarları, tahmin doğruluk oranları verilmektedir. şarj durumu tahmininde yapay sinir ağlarının girişine uygulanan veriye karşılık gelen tahmin ve gerçek şarj durumu tahmini eğrileri verilmektedir.

Son bölümde şarj edilebilir bataryalar için batarya türü tahmini ve şarj durumu tahmininde batarya türüne göre ileri beslemeli yapay sinir ağı, kademeli bağlantılı yapay sinir ağı ve radyal tabanlı fonksiyon sinir ağlarının performansları karşılaştırılmaktadır. Bu tez çalışmasının hangi alanlarda kullanılabilceği ve geliştirilmesi için yapılabilecek çalışmalar hakkında öneriler sunulmaktadır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR TARAMASI

Bataryalar ne kadar doğrusal sistemler olarak görülseler de fiziksel ve kimyasal yapılarından dolayı aslında doğrusal olmayan karmaşık sistemlerdir. Bataryaları modellemek için kimyasal, matematiksel, elektriksel yöntemler kullanılmaktadır. Bataryanın elektriksel modeli bataryalar üzerinde yapılan elektriksel ölçümlerden elde edilebilir ve ileri kimya bilgisi gerektirmez.

Chen ve Mora batarya ömrü ve I-V performansını tahmin eden elektriksel batarya modeli geliştirmişlerdir. Yazılım ortamında doğruluğu yüksek, sezgisel ve kapsamlı bir elektriksel batarya modeli geliştirmişlerdir. Bu model pilin doğrusal olmayan açık devre geriliminden, akım, sıcaklık, darbe sayısı, kapasiteye bağlı depolama süresi, geçici dalga cevabına tüm dinamik karakteristikleri için hesap yapabilmektedir. Kendiliğinden deşarj, darbe sayısı ve sıcaklık etkilerinin ihmal edildiği basitleştirilmiş model ile farklı mA değerlerine sahip NiMH (Nikel Metal Hidrit) ve LiPo (Lityum İyon Polimer) bataryalar ile deneysel çalışmalar yapmışlardır. Önerdikleri model batarya kullanım ömrü ve I-V performansını doğru bir şekilde tahmin edebilmektedir [1].

Lityum ferro fosfat bataryalarda akım-gerilim davranışlarını tahmin edebilmek için geliştirilen elektriksel devre modelinde Chen ve Mora'nın önerdiği iki tane RC kombinasyon devresi içeren sistemi kullanılmıştır. Ölçüm yapmak için DAQ NI9219 ile Labview 2010'u kullanılmıştır. Ölçülen eğrilerden denklem elde etmek için Matlab eğri uydurma araç kutusu kullanılmıştır. Ölçülen ile benzetimi yapılan çalışma arasında çok az bir hata bulunmaktadır [2].

Hibrit güç sistemi testinde kullanılan Li-Ion batarya için MATLAB/Simulink kullanarak batarya modeli geliştirilen bir çalışmada Chen ve Mora'nın önermiş

olduğu bataryanın elektriksel eşdeğer devre modeli kullanılmıştır. Bataryaya ait dinamik parametreleri hesaplayan diferansiyel denklemleri adi diferansiyel denklem kullanarak bulunmuş ve sistemin uzay durum denklemleri elde edilmiştir [3].

Günlük hayatta kullanımda olan bir elektrikli araçtaki bataryanın çalışma zamanını maksimuma çıkarmak ve enerji tasarrufu sağlamak için, motor hızına bağlı olarak bir yöntem geliştirilmiştir. Çalışma laboratuvar ortamında kurşun asit (Pb) batarya ve doğru akım (DA) motor içeren küçük bir araçta test edilmiştir. Çalışmada analitik bir yöntem olan kinetik batarya modeli kullanılmaktadır. Matematiksel olan bu model hesapsal kolaylığa sahiptir. Önerilen algoritma ile aracın 30 dakika çalışması sürecinde % 25,2 enerji tasarrufu sağlanmıştır [4].

Bataryalar yaşamımızı kolaylaştıran ekipmanlardır ancak yapısındaki kimyasallardan dolayı kullanım ömrü tamamlanıp çöpe atıldığında çevreye büyük zarar vermektedirler. Bataryaları doğru kullanarak kullanım ömrünü uzatmak mümkündür. Bataryaları verimli kullanabilmek için kullanılan bataryayı iyi tanımak ve sınır değerlerinin dışında kullanmamak gerekir. Çalışma sıcaklıklarının dışında çalıştırılması, bataryadan kapasitesinden fazla akım çekilmesi, bataryanın aşırı şarj ya da aşırı deşarj edilmesi bataryanın ömrünü azaltan etkenlerden bazılarıdır. Bu tip olumsuzluklar batarya yönetim sistemleri (BYS) ile engellenebilmektedir. Bazı BYS'ler kondisyon izleme, hata analizi, batarya şarj durumu (şD) ve batarya sağlık durumu (SD) tahmini yapabilmektedir [5].

Açık kaynak kodlu yüksek performanslı çalışan bir BYS konfigürasyonu hücre sayısı bilinmeyen batarya paketi için tasarlanmıştır. Her hücre batarya yönetim kartına bağlıdır. Hücrelerin gerilimleri izlenerek balansı sağlanmaktadır. Her hücrenin gerilimi, iç direnci, akımı görüntülenmektedir. Ayrıca akım sayma yöntemi ile hücre kapasitesi hesaplanmaktadır [6].

Almanya'da bulunan Fraunhofer Güneş Enerjisi Sistemleri Enstitüsü'nde yenilenebilir enerji kaynaklarında kullanılan bataryaların depolama ömrünü ve güvenilirliğini artıran BYS geliştirilmiştir. Bu sayede bakım maliyetleri ve bataryanın kullanım ömrü maliyeti azalmaktadır. Geliştirilen BYS klasik batarya

sistemleriyle mümkün olmayan yeni çalışma stratejilerine sahiptir. Bataryalar diziler halinde birbirine paralel bağlıdır. Böylelikle her bir pil dizisi birbirinden bağımsız olarak şarj ya da deşarj edilebilmektedir. Her bir dizi sürekli olarak izlenen ŞD ve SD durumuna göre anahtarlanabilir özelliğe sahiptir. Düşük ŞD değerinde BYS her batarya dizisi için kısa döngü sağlar ve batarya akım oranını artırır ve şarj olmasını sağlar. Sistem bir yıl boyunca BYS'li ve BYS'siz olarak denenmiştir. Analiz sonuçlarına göre BYS'nin kesinlikle bağımsız pil dizilerindeki yönetimi iyileştirdiği belirtilmiştir [7].

Tek hücreli BYS'nin önemine değinilen bir çalışmada bir batarya paketinin içindeki en zayıf hücreden güçlü olamayacağını ve bir hücre bozulursa tüm batarya paketinin bozulacağını belirtilmiştir. BYS en zayıf hücre tabanlı olmalıdır. Tek hücreli BYS kullanıcıya sıcaklık ve gerilimle ilgili bilgi vermektedir ve aşırı deşarjı önlemeye yardımcı olmaktadır [8].

Elektrikli araçlarda kullanılan NiMH bataryalar için BYS geliştirilmiştir. Farklı çalışma koşulları altında bataryadan yüksek verim almak önemlidir. BYS bataryanın durumunu göstermede olduğu kadar bataryanın şarj ve deşarj mekanizma kontrolünün optimizasyonunda önemli rol almaktadır. Gerçekleştirilen BYS'yi elektrikli bir araçta batarya optimizasyonunda kullanmışlardır [9].

Bir doktora tez çalışmasında büyük boyutlu Li-Ion hücreleri için zeki BYS geliştirilmiştir. Li-Ion bataryalarda maksimum performansı ve güvenliği sağlamak için BYS gerekmektedir. Çalışma ölçüm alan daha sonra bu ölçüm sonuçlarına göre sistem, açan ya da kapatan klasik batarya yönetim sistemlerindeki ek olarak zarar gören hücreleri tespit edebilmek için yapılan ölçümleri depolayabilmekte ve analiz edebilmektedir. Ayrıca çalışmada yüksek doğrulukta ölçüm optimizasyonu, elektromanyetik parazit azaltımı, kullanıcı ara yüzü, ŞD ve SD belirleme özellikleri bulunmaktadır [10].

Elektrikli araçlarda kullanılan Li-Ion bataryalar için zeki geliştirilen BYS çalışmasında TI firmasının ürettiği bq78pl114 batarya yönetim kontrolcüsünü

kullanılmıştır. Bataryanın o anki durumunu, maksimum gidilebilecek yol mesafesi bilgileri gösterilmektedir [11].

Batarya hücrelerini modelleyebilmede kullanılacak batarya verilerini toplayabilmek için yapılan bir çalışmada BYS geliştirilmiştir. Batarya sistemleri birçok hücreden oluşmaktadır ve hepsi farklı karakteristiklere sahiptir. Yeni alınan bataryaların karakteristikleri zamanla çalışma koşullarına, yaşlanmaya, kimyasal reaksiyonlara göre değişmektedir. Matlab'de geliştirilen modelde akım ve gerilim parametrelerini kullanılmıştır. Modelde özyinelemeli algoritmalar ile en küçük kareler yöntemini (EKK) kullanılmıştır [12].

Bir doktora çalışmasında LiPo batarya karakteristiklerinin analizi ve arıza tanısı yapılmıştır. LiPo bataryaların hücre kinetik parametreleri elde edilmiş ve hücrelerin zorlanmış dolma ve boşalma durumlarında bu parametrelerin değişimi incelenmiştir. LiPo bataryaların yanlış şarjı ve deşarjı durumunda oluşabilecek hatalar sınıflandırılmıştır. Sistemin modeli MATLAB ortamında bulanık mantık yöntemi ile gerçekleştirilmiştir [13].

Batarya türüne göre şarj stratejileri farklılık göstermektedir. Bataryaların uygun değerlerde şarj edilmesi doğru kullanımı ve kullanım ömrü açısından gereklidir.

LiPo bataryaların şarjı için yapılan bir çalışmada yeni bir şarj stratejisi önerilmektedir. Bu strateji Taguchi yönetimi ve ŞD tahmininin entegrasyonundan oluşmaktadır. Taguchi yöntemi en iyi şarj akımı örüntüsünü bulmada kullanılmıştır. ŞD tahmini için şarj işlemi kontrol eden ve sonlandıran uyarlanabilir anahtarlamalı kazanç kayan mod gözlemci kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar göstermektedir ki önerilen şarj stratejisi ile farklı kapasitelere ve farklı çevrim ömrüne sahip olan aynı tipteki lityum polimer bataryalar şarj edilebilmektedir. Önerilen şarj yöntemi eşdeğer sabit akım ve sabit gerilim şarj yöntemine göre aynı zamanda daha kısa şarj zamanı, daha az sıcaklık değişimi, biraz daha yüksek bir enerji verimi sağlamaktadır [14].

Elektrikli araçlardaki bataryalar için optimum batarya şarj yönetimi yapılan bir çalışmada park halinde şarj olan elektrikli aracın kaç saat şarj olacağına göre uygun

şarj gücü değerleri bulunmaktadır. Maksimum güç izleyici noktalarının bulunmasında parçacıklı sürü optimizasyonu yöntemi kullanılmaktadır [15].

Fotovoltaik sistemlerde kullanılan Pb bataryalar için şarj parametreleri optimizasyonu yapılan bir çalışmada Fotovoltaik Pb bataryaların yönetiminde şarj optimizasyonu önemli bir konu olduğunun üzerinde durulmaktadır çünkü bu bataryanın ömrünü etkileyen bir durumdur. Çalışmada darbeli akım yönetimi ve Ah yönetimi yapılmıştır. Direk akım ve gerilim ölçümüyle bataryanın davranışının belirlenemeyeceğini öne sürmekte ve kimyasal analiz ile çalışmalarını desteklemektedirler [16].

Nikel Kadmiyum (NiCd) bataryalar kullanılan bir çalışmada zeki batarya şarj sisteminin tasarımı, benzetimi ve uygulamasını gerçekleştirilmiştir. Bir düşüren dönüştürücüyü batarya şarj sistemi olarak kullanmak için güç yönetim sisteminde bulanık çıkarım işlemi yapılmıştır. Batarya sıcaklık ve gerilim değişkenleri giriş parametreleri olarak belirlenmiştir. Geliştirilen şarj sistemi güvenli ve kararlı çalışmaktadır [17].

Batarya sağlık durumu, bataryanın maksimum kullanılabilir kapasitesini ifade eden bir kavramdır. Özellikle elektrikli araç teknolojisinde bu parametrenin doğru tahminine büyük önem verilmektedir. Bataryalarda yapılan doğru SD tahminleri arızadan kaynaklanan ani aksaklıkları ve ölümcül kazaları önleyebilir. Aşağıda batarya SD tahmininde yapılan akademik çalışmalara yer verilmektedir.

İç direnç hesabı yöntemiyle elektrikli araçlarda Li-Ion bataryalar için batarya SD izleme çalışması yapılmıştır. Elektrikli araçlarda bir batarya hücresinin bozulduğunun teşhisi önemlidir. Teşhis işlemi bataryanın kullanıldığı süre boyunca iç direncini izleyerek başarılabilir. Zamanla hücrenin iç direnci artacaktır. Çalışmalarında bu iç direnci belirleme ile ilgili bir yöntem önerilmektedir. Elektriksel eşdeğer devre modelinden özel amaçlı bir model türetilmiştir [18].

Kesintisiz güç kaynaklarında cihazlarında kullanılan Pb bataryalar için bulanık mantık tabanlı SD tahmini yapılmıştır. Giriş verisi olarak bataryanın empedans

ölçümlerini kullanılmıştır. Bulanık mantık yöntemi güçlüdür, doğrudur, güvenilirdir ve düşük maliyetli bir mikrodenetleyici ile düşük maliyetli bir batarya izleme sistemi gerçekleştirilebilir [19].

Olasılık sinir ağı ile batarya SD tahmini yapılan bir çalışmada bataryanın ömrü boyunca yapılan şarj ve deşarjından elde edilen elektriksel karakteristikler bataryanın SD tahmininin yapılmasında kullanılmıştır. Test verisi göstermektedir ki sabit akımda şarj süresi, deşarjın başlangıcındaki anlık gerilim düşmeleri ve açık devre gerilim bataryanın SD hesaplamasındaki önemli karakteristiklerdir. Olasılık sinir ağı yöntemi 110 adet bataryada denenmiştir. Bu bataryaların 100 tanesi eğitimde 10 tanesi doğrulamada kullanılmıştır. 62,5 ms de % 0,28 hata oranında tahmin yapılmıştır. Bu çalışma ile bu bataryanın sağlık durumu belirlenebilir ve bataryanın değiştirilip değiştirilmeyeceğine karar verilebilir. Kullanıcılar bataryanın ani bozulmasından kaynaklanan maddi sıkıntılara karşı önlem alabilirler [20].

Elektrikli araçlarda kullanılan yüksek enerjili Li-Ion bataryaların davranışını ve sağlık durumunu izlenmiştir. Çalışmanın ilk bölümünde elektrikli araç uygulamalarında kullanılan Li-Ion hücresi için Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EES) ölçümleri tabanlı model gerçekleştirilmiştir. Model elektriksel eşdeğer devre şeklindedir. Bu model iç direnç, ADG, şarj durumu gibi basit olmasının yanında Li-Ion hücrelerin içinde gerçekleşen birçok olayı dikkate almaktadır. İkinci kısımda Recurrent yapay sinir ağları ile SD tahminini yapma ele alınmaktadır. Modeli doğrulamak için elektrikli araçlarda kullanılan gerçek batarya profili kullanılmıştır. Simülasyon sonuçlarının doğruluğu yüksek olduğundan bu yöntem gerçek zamanlı uygulamalarda da kullanılabilir [21].

Li-Ion bataryalar için gerçek zamanlı olarak çalışan SD tahmin edici geliştirilmiştir. Çalışmada dinamik Bayesian ağları kullanılmıştır. Veri seti bataryanın yaşlandırılmasıyla elde edilen ŞD ve ADG ölçümlerinden elde edilmiştir. Elde edilen veriler ağın eğitiminde kullanılmıştır. Bu ağ gerçek zamanlı olarak ileri yönde çalıştırılmaktadır. YSA batarya sağlık durumunu çok yeni, yeni, iyi, eski, çok eski olmak üzere 5 sınıfa ayırmaktadır. Maksimum sonuç veren ağa sınıflandırma

yapılmaktadır. Veri seti bataryanın sabit akımda yapılan şarjı esnasında yapılan ölçümlerden elde edilmiştir [22].

Şarj durumu batarya paketinin kalan enerjisi hakkında bilgi verir [23]. ŞD'yi bilmek bataryanın ne zaman ve ne kadar süre ile şarj edileceği hakkında fikir verir. Bu yüzden ŞD'nin doğru tahmini çok önemlidir ve bir çok araştırmacı bu konuda çalışmaktadır. Yanlış yapılan ŞD tahminleri aşırı şarja veya aşırı deşarja neden olabilir [24]. Portatif cihaz kullanımının yaygınlaşması, batarya paketlerinin daha hafif üretiminin gerçekleştirilmesi ve elektrikli araçlarda da kullanımının yaygınlaşması üzerine ŞD parametresinin doğru tahmininin önemi de artmıştır. ŞD batarya çalışma sürecinde güvenlik ve güvenilirlik açısından önemlidir çünkü bataryanın kalan kapasitesi hakkında bilgi verir. Doğru bir ŞD değerini elde etmek zordur çünkü ŞD doğrudan bir algılayıcıyla ölçülemez. ŞD tahmini üzerine bir çok akademik çalışma yapılmıştır ve bu konuda yapılan çalışmalara her geçen gün bir yenisi eklenmektedir.

Elektrikli araçlarda kullanılan Li-Ion bataryaların ŞD tahmini için yapılan bir çalışmada adaptif kazanç sıralı doğrusal olmayan gözlemci önerilmektedir. Model tasarımında iki sıralı elektriksel RC eşdeğer devre modeli (2RC) kullanılmıştır. Model parametreleri üstel fonksiyon uydurma tekniği kullanılarak elde edilmiştir [25].

Şarj durumu, açık devre gerilimi, uç gerilim, empedans, empedans spektroskopisi gibi parametrelerin doğrudan ölçümüyle [26-29], bataryaya doğru giden ve bataryadan çıkan akımı ölçme ve kapasiteyi belirlemek için zamana bağlı olarak bu akımın integralini alma, modifiye edilmiş akım sayma, geri beslemeli sinir ağı, radyal tabanlı sinir ağı, destek vektör makinesi, bulanık sinir ağı, Kalman filtre gibi adaptif sistemlerle [30-35], akım sayma ve Kalman filtre kombinasyonun, birim sistem ve genişletilmiş Kalman filtre (GKF) kombinasyonu gibi hibrit sistemlerle [36] tahmin edilebilmektedir. Bu yöntemlerin çoğu yaygın olarak kullanılmaktadır ve kabul edilebilir doğruluklara sahiptirler. Bu yöntemler kullanıldıkları alana göre üstünlüklere ve yetersizliklere sahiptirler.

Açık devre gerilimi ve şarj durumu arasındaki ilişki ŞD hesaplama algoritmalarında sıklıkla kullanılır. Ancak her batarya için ADG ve ŞD arasındaki ilişki aynı değildir. ŞD-ADG arasındaki ilişki için iyileştirilmiş bir algoritma sunulmaktadır. Ölçümlerdeki gürültüyü filtrelemek için GKF kullanılmıştır. Lityum iyon bataryanın şarj durumu ve kapasitesi çift GKF ve ŞD-ADG bağıntısı kullanılarak tahmin edilmektedir. Deneysel sonuçlara göre bu yöntem % 5'in altında bir hata ile çalışmaktadır [26].

Pb batarya kullanılan bir tekerlekli sandalyede şarj durumu göstergesi yapılmıştır. Şarj durumunu göstermek için ADG ölçümü ve akım sayma yöntemi kullanılarak mikrobilgisayar tabanlı bir devrede uygulama yapılmıştır. Çalışmaları farklı boyutlardaki bataryalar için uyarlanabilir [37].

Araçlarda kullanılan Pb batarya üzerinde yapılan bir çalışmada zeki batarya kontrolcüsü geliştirilmiştir. Bir yönetim sistemi kartı geliştirilmiştir. Çalışmanın ana özellikleri arasında hızlı ve normal şarjı görüntüleme, veri kaydetme, şarj durumunu gösterme ve bakıma yardımcı olmak yer almaktadır [38].

Pb bataryalar üzerine yapılan bir çalışmada şarj durumu göstergeli batarya şarj cihazı gerçekleştirilmiştir. Bataryanın şarj durumuna göre şarj cihazının akımını ayarlanmıştır. Çalışmalarında 16 bitlik mikroişlemci kullanılmıştır [39].

Elektrikli araçlarda kullanılan Pb bataryaların kullanılabilir kapasitesini tahmin etmek için yapay sinir ağı (YSA) kullanılmıştır. Kullanılan yöntem bataryaların kullanılabilir kapasitesini hesaplamada sıkça kullanılan Peukert denklemi (Bkz. Eşitlik 2.2) ile karşılaştırıldığında önerilen yöntemin daha yüksek bir doğrulukta çalıştığını görülmektedir [40].

Pb bataryanın ŞD tahmini için yapılan bir çalışmada Radyal Tabanlı Fonksiyon (RTF) yöntemi önerilmektedir. ŞD tahmininde akım sayma yöntemini kullanılmıştır. Deşarj oranı, yaşlanma ve bataryanın karakteristiğini belirleyen diğer etkenler ŞD hesaplamada dikkate alınmıştır.

Şarj durumu belirleme yöntemleri ve uygulamaları üzerine yapılan bir çalışmada bataryadan bataryaya çalışma koşullarının farklı olacağını bu yüzden bir batarya şarj durumu tahmin etme yönteminin bazı bataryalara uygun olabileceği gibi bazılarında da uygun olmayabileceğinin üzerinde durulmuştur. Örneğin güneş enerjisi depolamada kullanılan bataryalar, elektrikli araçlarda kullanılan bataryalar ve telekomünikasyonda kullanılan bataryalar birbirinden farklılık göstermektedir. Çalışmalarında doğrusal yöntem, Kalman filtresi yöntemi ve yapay zeka yöntemi üstünlükleri ve sakıncalarına değinilmiştir [41].

Çeşitli deşarj akımları altında bataryanın kullanılabilir kapasitesi hesaplamak için Pb bataryalar üzerine matematiksel model ve yarı deneysel olarak çalışılmıştır. Sıcaklık ve yaşlanma etkileri de dikkate alınmıştır. Deneysel çalışmalar ile matematiksel model karşılaştırıldığında matematiksel modelin iyi bir performansa sahip olduğu görülmektedir [42].

Pb bataryalar için mikrodenetleyici tabanlı gerçek zamanlı şarj durumu hesaplama ve görüntüleme sistemi geliştirilmiştir. Önerilen ŞD hesaplama sistemi deşarj zamanına karşılık üretici kataloglarında verilen deşarj oranı bilgisi ve akım sayma yönetiminin kombinasyonundan oluşmaktadır. ŞD görüntüleme testleri alternatif şarj-deşarj çevrimlerinde, farklı kapasitelerde ve farklı çalışma sıcaklıklarına sahip kurşun asit bataryalar için sabit ve değişken yük altında yapılmıştır. Test sonuçlarına göre yüksek doğrulukta ŞD tahmini yapabilmektedirler [43].

Bataryalarda azaltılmış sıralı GKF yöntemi ile ŞD hesaplama çalışması yapılmıştır. GKF ile yapılan çalışmalardaki modelde meydana gelen kilitlenme gibi olumsuzlukları gidermek için bu çalışma yapılmıştır. Çalışmada gürültü ölçme modeli ve veri eleme dahil edilmiştir. Bunun için GKF yöntemi hesaplama süresini azaltmak için basitleştirilmiştir. Çalışmada Li-Ion bataryanın eşdeğer devre modeli kullanılmıştır [44].

Hibrit güneş-rüzgar enerjisi üretim sisteminde batarya davranışı tahmini ve batarya çalışma durumları analizi yapılmıştır. Çalışmada Pb batarya kullanılmıştır. Bu tip sistemlerde çalışma durumları oldukça değişkendir ve bataryadan ne zaman enerji

alınacağı ile bataryanın ne zaman besleneceğini tahmin etmek zordur. Bu çalışmada hibrit güneş-rüzgâr enerjisi üretim standındaki Li-Ion batarya davranışlarını tahmin etmek için basit bir matematiksel yaklaşım sunulmaktadır. Batarya davranışlarına etki eden akım oranı, şarj verimi, deşarj oranı gibi birçok faktör dikkate alınmıştır. Gerçekleştirilen model ile gerçek uygulamanın sonuçları karşılaştırıldığında ortalama gerilim tahmini hatasının % 1 civarında olduğu görülmüştür [45].

Elektrikli araçlarda kullanılan Li-Ion bataryalar için sezgisel olmayan Kalman filtre yöntemini kullanarak batarya şarj durumunu tahmini yapılmıştır. Çalışmada Kalman filtresi, GKF ve sezgisel olmayan Kalman filtresinin performanslarını karşılaştırılmıştır ve sezgisel olmayan Kalman filtresi yönteminin daha yüksek doğrulukta çalıştığı öne sürülmektedir [46].

Elektrikli araçlarda kullanılan Li-Ion bataryalarda ŞD tahmini yapılmıştır. Bu çalışmada önerilen algoritma diğer bataryalara uyarlanabilir ve direk sonuç veren bataryanın eşdeğer devresini yansıtan diferansiyel denklemlerden oluşmaktadır. Doğrudan diferansiyel denklem yaklaşımı umut verici bulunmuştur [47].

Elektrikli araçlarda kullanılan Li-Ion batarya paketleri için gerçek zamanlı ŞD hesaplama çalışması yapılmıştır. Bir elektrikli araçta birbirine seri ya da paralel bağlı yüzlerce batarya hücresi bulunmaktadır. Çalışmayı uyum içinde yürütmek, bataryanın etkin ve güvenli kullanımını sağlamak için BYS doğruluğu yüksek ŞD tahmini yapılmalıdır. Bu çalışmada bir batarya paketindeki birbirinden bağımsız seri bağlı batarya hücrelerinin gerçek zamanlı ŞD değerini belirlemek için bir yöntem üzerine odaklanılmaktadır. Bu yöntem eşdeğer devre tabanlı ortalama hücre modelidir. İlk olarak batarya paketinin ortalama ŞD değeri hesaplanır, sonra her hücrenin ŞD hesaplamaları için ortalama değer ile bağımsız hücreler arasındaki performans sapmaları bulunur. Bu yöntem GKF tabanlıdır ve bu yöntem sayesinde hesaplama maliyeti azaltılmıştır. Yapılan testler sonucunda algoritmanın iyi bir performansa sahip olduğu görülmüştür [48].

Batarya model parametrelerinin, doluluk ve sağlık durumunun kestirimi ve NiMH bataryalara uygulanması için gerçekleştirilen bir çalışmada batarya modeli olarak

eşdeğer devre kullanılmıştır ve batarya ŞD ve parametre kestirimi için Kalman filtre tabanlı bir kestirim algoritması kullanılmıştır. Önerilen yöntemle batarya parametrelerinin ve batarya doluluk durumunun, ayrı ayrı veya birlikte kestiriminin yapılabildiği bilgisayar benzetimleriyle ve deneysel çalışmalarla gösterilmiştir. Elde edilen sonuçların tutarlı olduğu görülmüştür [49].

Model tabanlı gerçekleştirilen bir çalışma ile hibrit elektrikli araç üzerindeki bataryanın şarj durumu ve maksimum gücü hesaplanmıştır. Li-Ion bataryanın dinamik performansı ve elektrokimyasal polarizasyonu hesaplanmıştır. Bataryanın açık devre gerilimi ile ŞD arasındaki ilişkiyi hesaplanırken Nernst modeli kullanılmıştır. Bataryanın şarj ve deşarj akımı parametre olarak kullanılmıştır. Sistem en fazla % 2 hata ile çalışmaktadır [50].

Şarj edilebilir bataryalarda ŞD tahmini için yapılan bir çalışmada elektriksel devre modeli kullanılmıştır. Batarya model parametrelerinin kestiriminde Kalman filtre tabanlı algoritma kullanılmıştır. Çalışma NiMH bataryalar üzerinde test edilmiştir ve tahmin edilen batarya ŞD ile ölçülen ŞD arasında düşük hataya ulaşılmıştır [51].

Elektrikli araçlarda kullanılan Li-Ion batarya hücrelerinin elektriksel modellendiği bir çalışmada ŞD tahmininde sıcaklık parametresi de dikkate alınmaktadır. Sistem yeni Avrupa sürüş standardı ile test edilmiş ve hücre gerilimi % 2 den daha az hata ile gösterilmiştir. Hesapsal kolaylığından dolayı elektriksel devre modeli tercih edilmiş ve model Matlab/Simulink ortamında çalıştırılmıştır [52].

Lityum sülfür ve NiMH bataryalarda bulanık mantık yöntemi ile ŞD ve SD tahmini yapılmıştır. Parametre olarak empedans spektroskopisi ve akım sayma kullanılarak başarılı sonuçlar elde edilmiştir [53].

NiMH bataryaların ŞD değerini hesaplamak için bulanık mantık yöntemi kullanılmıştır. Bataryanın elektrokimyasal empedans spektroskopisi parametre olarak kullanılmıştır. Çalışma 2,7V- Ah Sanyo Ni-Mh 3 hücreli bataryalar üzerinde çalışılarak gerçekleştirilmiştir. Model % ± 5 doğrulukta ŞD tahmini yapabilmektedir [54].

Pb bataryaların ŞD tahmini için bulanık mantık tabanlı öğrenme sistemi kullanılmıştır. Zamana bağlı olarak akım sayma yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada ŞD hesaplamada bulanık mantık yönteminin uygulanabilirliği kanıtlanmıştır [55].

Li-Ion bataryalar için bulanık mantık kullanarak ŞD ve SD hesaplayıcı yapmayı hedefleyen bir çalışmada oda sıcaklığında ve 0 °C 'de alternatif akım (AA) empedans ve gerilim toparlanma ölçümleri yapılmıştır. Motorola MC68HC mikrodenetleyicisi kullanılarak bulanık mantık ile doğruluğu yüksek ŞD tahmini yapılmaktadır [56].

Elektrikli araçlarda kullanılan Pb bataryalar için bataryanın deşarj eğrisinden yararlanılarak YSA ile ŞD tahmini yapılmıştır. ŞD değeri farklı çalışma sıcaklıklarına göre doğrusal olmayan şekilde değişmektedir. Bu sebeple ileri beslemeli yapay sinir ağı (İBYSA) tercih edilmiştir. Farklı deşarj profillerinde deneyler yapılmıştır. Önerilen yöntem ile % 2 den daha az bir hata ile ŞD tahmini yapılmaktadır [57].

3 katmanlı İBYSA ile NiMH bataryalarda ŞD tahmini yapılmıştır. Batarya gerilimi, batarya geriliminin türevi, batarya geriliminin ikinci türevi, deşarj akımı, deşarj akımının türevi, deşarj akımının ikinci türevi ve batarya sıcaklığından oluşan bir ölçüm tablosu oluşturulmuştur. Bu veriler içinden batarya gerilimi, batarya geriliminin türevi, gerilimin ikinci türevi, deşarj akımı ve batarya sıcaklığını YSA'ya giriş olarak uygulanmıştır. YSA'ya uygulanacak en uygun girişleri seçmek için kısmi en küçük kareler regresyonu kullanılmıştır. Hesaplanan ŞD ile deneylerden ölçülen ŞD karşılaştırılmıştır ve % 5'in altında hata oranıyla tahmin yapıldığı görülmüştür [58].

Adaptif yinelemeli YSA kullanarak Li-Ion bataryalarda ŞD tahmin etme çalışması yapılmıştır. YSA'nın eğitiminde elektrolit direnci ve şarj transfer direncini kullanılmıştır. 25 °C ve 45 °C sıcaklıkta yapılan çalışmalarda başarılı sonuçlar elde edilmiştir [59].

Li-Ion bataryaların ŞD tahmininde YSA ve GKF kullanılan bir çalışmada sinir ağını eğitmek için bataryayı şarj etme sürecindeki elektriksel ölçüm verileri kullanılmıştır.

Sinir ağı ile GKF'nin uzay durum denklemleri için gerekli olan modeli bulunmaktadır. Model değişkenleri bir önceki örneğin batarya gerilimi ve o andaki örneğin ŞD değeridir. Deneysel sonuçlar göstermektedir ki ŞD değeri iyi bir doğrulukta hesaplanmaktadır [60].

MATLAB'de ŞD tahmini için genetik algoritma (GA) ile geri beslemeli yapay sinir ağının (GBYSA) birlikte kullanıldığı bir çalışmada sistem hızlı çalışmaktadır ve doğru sonuç vermektedir. Parametre olarak gerçek zamanlı ölçülen akım ve gerilim kullanılmıştır. GA-GBYSA kombinasyonu karmaşık matematik analizinden uzaktır ve BYS için verimli sonuç sağlamaktadır [61].

Elektrikli araçta kullanılan Li-Ion bataryalar için zeki BYS geliştirilen bir çalışmada bataryanın şarj balans kontrolü yapılmıştır. Batarya deşarj akımından yararlanılarak bataryanın ŞD tahminini yapılmıştır [62].

Gerçek zamanlı olarak LiFePO₄ batarya türü için BYS ile ŞD tahmini yapılmıştır. ŞD'nin doğru tahmini bataryada kalan enerjiyi bilmek kadar güvenlik açısından da önemlidir. Çalışmada LiFePO₄ farklı koşullar altında test edilmiştir. Farklı sıcaklık, şarj ve deşarj oranları, farklı ŞD değerlerinde testler yapılmıştır. ŞD değeri GKF yöntemi ile hesaplanmaktadır. Batarya ŞD değeri bataryayı sabit akımla deşarj ederek hesaplanmaktadır. Deneysel sonuçlarına göre hata oranı % 4,2'nin altındadır [63].

ŞD tahmininin doğruluğunun BYS'de bataryayı erken yaşlanmadan, fazla şarj ve fazla deşarjını engellemek için önemli bir konu olduğu ileri sürülmektedir. Çalışmada ŞD hesaplamada kullanılan yöntemlerden akım sayma, ADG, kalman filtre yöntemine karşılık yapay zeka yöntemi önerilmektedir. Yapay zeka yaklaşımının verimli olduğu ve ŞD'yi önceden tahmin edebildiği anlatılmaktadır [64].

Rüzgar türbinlerinde kullanılan bataryalar için optimum enerji yönetimi yapan dinamik programlama yapılmıştır. Yapılan yazılım ile bataryanın şarj durumu tahmin edilmektedir [65].

Elektrikli araçlardaki bataryalar için bataryayı gerçek zamanlı izleme yazılımı ve ŞD hesaplama algoritması geliştirilmiştir. Sistem gerçek zamanlı olarak bataryanın durumunu izlemekte, hata teşhisi yapmakta ve bataryanın şarj durumunu hesaplamaktadır. Deşarj testi ile ŞD değerini hesaplamada GBYSA algoritması kullanılmaktadır [66].

Güneş pili için şarj istasyonu yazılımı yapılmıştır. Şarj durumunu görüntülemek için veri alışveriş kartı ile bilgisayara aktardıkları ölçüm parametreleri (akım, gerilim) Visual Studio 2010 programında C# programlama dilinde yazılan program ile görüntülenmektedir. Bataryanın yüzde olarak şarj durumunu tahmin etmenin yanında bataryanın hasar görüp görmediğini de belirlenmektedir. Geliştirilen yazılım diğer batarya türlerine de uyarlanabilir [67].

Gerçek zamanlı uygulamalarda Pb bataryaların ömrü ŞD'den, şarj/deşarj oranından, sıcaklıktan ve yaşlanmadan etkilenmektedir. Matlab/Simulink'te Pb bataryanın elektriksel modeli oluşturulmuştur. Bataryanın iç direnci, ŞD değeri, farklı çalışma koşullarındaki kapasitesi YSA kullanılarak tahmin edilmektedir. Model sonuçları ile deneysel sonuçlar karşılaştırmışlardır ve Pb bataryanın dinamik davranışını doğru bir şekilde tahmin edildiği görülmüştür [68].

3 katmanlı GBYSA yönteminin kullanıldığı bir çalışmada yüksek güçlü NiMH bataryanın ŞD tahmini yapılmaktadır. YSA girişleri beş tanedir ve bunlar batarya deşarj akımı, biriken amper saat, batarya uç gerilimi, zamana bağlı ortalama uç gerilimi ve zamana bağlı ortalama uç geriliminin iki katıdır. 13 veri seti içinden 6 tanesi eğitim seti olarak seçilmiştir. Eğitim setleri bataryanın sabit akımda % 100 şarjdan % 0 şarja deşarj edilmesiyle elde edilmiştir. Eğitimde Levenberg-Marquard (LM) eğitim algoritması kullanılmıştır. Similasyon ve ölçüm karşılaştırması YSA'nın performansı kontrol edilmiştir. 10 dakika sonunda başlangıç şarj değeri bilinmeyen bataryanın ŞD tahmini % 5'in altında bir hata ile tahmin edilmektedir [31].

1,3 Ah Li-Ion bataryaların karakteristikleri bataryanın deşarj/şarj gerilimi örüntüsünden elde edilmektedir. Çalışmayı doğrulamak için Li-Ion bataryalarda deneyler yapılmıştır. Genel olarak parametre çeşitleri bataryanın gerilim bilgisiyle

ilişkilidir. Bataryalara darbeli akım uygulandığında azalan ya da artan gerilim değerleri farklılık gösterebilir ama genel olarak gerilim örüntüsü benzerdir. Bu yüzden bu örüntüler batarya karakteristiklerini belirlemek için Hamming yapay sinir ağı kullanılmıştır. Örüntü tanıma yapılmıştır. Çalışmada eldeki 10 adet şarj deşarj gerilimi örüntüsünden eldeki şarj deşarj gerilimi örüntüsüne daha çok benzediği belirlenmiştir. DA iç direnç değeri çalışmayı doğrulamak için kullanılmıştır [69].

Empedans izleme ile RBF yöntemi kullanılarak Li-Ion bataryanın ŞD tahmini yapılmıştır. Çalışma yazılımı C++ programlama dilinde yapılmıştır. Darbeli şarj yöntemiyle şarj süresi % 20 kısaltılmıştır. Fakat anlık ŞD tahmininde bazı sıkıntılar vardır bunlar akım sayma, batarya uç gerilimi parametrelerini de hesaba katarak kapasite tahmini daha doğru bir şekilde yapılabilir [70].

Li-Ion bataryaların SD tahmini için farklı ŞD ve sıcaklıklarda deneysel çalışmalar yapılmıştır. İstenen sıcaklığı sağlamak için bir iklimlendirme çemberi oluşturulmuştur. Veri seti yaşlı ve yeni bataryaların EES ölçümlerinden sağlanmıştır. Batarya hücrelerinin SD ve ŞD tahmininde bulanık mantık yöntemi kullanılmıştır [71].

Bataryanın şarj/deşarj döngüsündeki akım, gerilim parametreleri ve iç direnci izlenerek GKF yöntemi ile Li-Ion bataryanın ŞD ve SD tahminini yapılmıştır. Bataryanın SD içindeki kimyasal olaylara bağlı olarak zamanla azalmaktadır. Çalışma gerçek zamanlı ve çevrimdışı olarak test edilmiştir ve % 5'in altında bir hata oranı ile çalışmaktadır [72].

Li-Ion bataryalar yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir ve elektrikli araçlarda, hibrit elektrikli araçlarda kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. ŞD bataryayı değerlendirmek ve elektrikli aracın performansını iyileştirmek için en önemli parametredir. Zhang vd. yaptıkları çalışmada hücre gerilimleri, batarya gerilimi, batarya akımına göre bataryanın elektriksel modeli ve matematiksel dinamik denklemleri tanımlanmaktadır. ŞD tahmininde renklendirilmiş gürültüde genişletilmiş kalman filtre GKF kullanılmaktadır. Tahmin işlemi batarya deşarj

edilirken yapılmaktadır. Modelin verimliliği MATLAB'da yapılan deneylerle test edilmiştir ve önerilen yöntemin etkili ve uygun olduğu gösterilmektedir [73].

Batarya modeline uygulanan girişlerdeki gürültüyü filtrelemek için önce girişlere stokastik bulanık mantık uygulanmıştır. Daha sonra GKF ile ŞD tahmini yapılmıştır. Model 80 Ah NiMH batarya için Federal Şehir içi sürüş testine tabi tutulmuştur. ŞD tahmini deşarj testi ile karşılaştırıldığında % 0,6'nın altında hata ile çalışmaktadır [74].

Lityum bataryaların ŞD ve SD tahmini için kullanılan yöntemlerin üstünlükleri ve yetersizlikleri karşılaştırılmaktadır. Karşılaştırılan yöntemler Kalman filtre, yapay sinir ağı ve bulanık mantıktır. Çalışmaya göre Kalman filtre genel olarak ŞD belirlemede kullanılmaktadır ve % 5'in altında hata oranıyla çalışmaktadır. Yapay sinir ağları doğrusal olmayan sistemlere hızlı bir şekilde uygulanabilir fakat eğitimi için fazla sayıda veri seti gerekmektedir. Bulanık mantık ile ŞD ve SD tahmini diğer yöntemlere göre daha kolaydır. Batarya çevrim sayısına ve yaşlanmasına bağlı olarak sağlık durumunu tahmin etmek daha basittir. Bu yöntemler birleştirilerek ve kullanılan parametre sayısı artırılarak daha iyi sonuçlar üreten yöntemler geliştirilebilir [75].

Elektrikli araçlarda ve motorlarda kullanılan bataryalar için batarya deşarj esnasında iken ŞD tahmini yapmada bulanık yapay sinir ağı ve serebellar modeli artikülasyon denetleyicisi yöntemleri kullanılmaktadır. Bu öğrenme sistemi ile sadece bataryanın kalan enerjisi değil aynı zamanda belli bir hızda seyahat edilebilecek mesafe ve güvenli bir şekilde yapılabilecek en yüksek hız bilgileri verilmektedir [76].

Elektrikli araçlarda kullanılan NiMH bataryalarda GBYSA kullanılarak ŞD tahmini yapılmıştır. İlk olarak çalışma aralığı üç guruba bölünmüştür. Düşük aralık (% 25-% 40), orta aralık (% 40-% 55) ve (% 55-% 70). Daha sonra bu üç şarj durumu aralığı için şarj ve deşarj için 3 GBYSA modeli gerçekleştirilmiştir. Başlangıçta bataryanın uç gerilimi ve ŞD arasındaki ilişkiye bakılarak hangi aralıkta olduğu belirlenmektedir. Batarya şarj edilirken, deşarj edilirken, şarjdan sonra bekleme aşamasındayken, deşarjdan sonra bekleme aşamasındayken olmak üzere dört

durumda ŞD tahmini yapılmaktadır. Benzetim sonuçları bu çalışmanın hibrit elektrikli araçlar için uygun bir yöntem olduğunu göstermektedir [77].

Elektrikli araçlarda kullanılan LiPo batarya için adaptif ŞD tahmin edicisi geliştirilmiştir. Çalışma farklı sıcaklık ve farklı yük değerlerinde test edilmiştir. Yöntem olarak GKF kullanılmıştır ve geliştirilen model % 1,5'in altında hata ile çalışmaktadır [78].

LiFePO₄ bataryalarda ŞD ve enerji durumu tahmini yapılmıştır. Farklı C oranlarında batarya deşarj edilerek veri setleri oluşturulmuştur. Deneyle dinamik sıcaklık koşulları altında yapılmıştır. Parçacık filtresi algoritması kullanılarak yapılan tahminlerde yüksek başarımlar elde edilmiştir [79].

Bir Li-Ion batarya paketi içindeki hücrelerin birbirinden farkları da dikkate alınarak ŞD tahmini yapılmıştır. Kokusuz parçacık filtresi algoritması kullanılmıştır. Çalışmada seri ve paralel iki bağlantı şekli üzerinde de çalışma yapılmıştır. Veri setleri bataryaların tam şarjlı durumdan tam deşarjlı duruma kadar ölçülen verilerden elde edilmiştir. Kullanılan yöntem daha sonra gerçek zamanlı verilerle test edilmiştir. Yüksek başarımlar elde edilmiştir [80].

Li-Ion bataryalarda ŞD tahmini için model tabanlı çalışma yapılmıştır. Çalışmada kokusuz kalman filtresi kullanılmıştır. ŞD değeri direkt olarak hesaplanabilen bir değer değildir çünkü bu değer çalışma sıcaklığı, batarya akımı ve bataryanın çevrim sayısı gibi faktörlerden etkilenmektedir. Bu çalışmada batarya için bir elektriksel eşdeğer devre modeli sunulmaktadır. Farklı akım oranları ve ŞD değerlerinin batarya iç direncine etkisi ve farklı sıcaklıklar ile akım oranlarının batarya kapasitesine etkisi modellenmiştir. Deneysel sonuçlara göre batarya gerilimi % 3'ün altında bir hata oranıyla tahmin edilmektedir [81].

Radyal Tabanlı Fonksiyon Sinir Ağı (RTFSA) ile bataryanın yaşlanması da dikkate alınarak ŞD tahmini yapılmıştır. Yapılan çalışma 6 Ah Li-Ion batarya ile test edilmiştir. YSA bu çalışmada ŞD hesaplamada bataryanın yaşlanma etkisini gidermek için kullanılmıştır [82].

LiFePO₄ bataryalar için model tabanlı ŞD tahmin edici geliştirilmiştir. Akım sayma yöntemi ile sistemin doğruluğu test edilmiştir. Bataryaya sıcaklığın etkisini görmek için farklı sıcaklık değerlerinde bataryayı şarj ve deşarj ederek veri setleri elde edilmiştir. Sistem % 4'ün altında hata ile çalışmaktadır [83].

Li-Ion bataryalarda ŞD tahmini yapmak için gerçek zamanlı olarak çalışan elektriksel tabanlı bir model geliştirilmiştir. Bataryaların deşarj eğrilerinden faydalanılarak akım sayma yöntemi ile yüksek doğrulukta tahmin yapılmaktadır [84].

Li-Ion bataryaların ŞD ve SD tahmini için ADG modeli geliştirilmiştir. ADG değeri farklı koşullarda batarya özelliklerini belirlemede yaygın olarak kullanılan bir parametredir. Bu değer ŞD tahmininde yaygın olarak kullanılırken SD tahmininde pek tercih edilmemektedir. Bu çalışmada ADG değeri SD tahmininde de kullanılmaktadır. Çalışmada ŞD tahmininde Kalman filtre kullanılmaktadır [85].

Elektrikli araçlarda kullanılan Lityum Nikel Manganez Kobalt (Li-NMC) bataryalar için ŞD ve SD tahmini yapılmıştır. İlk olarak batarya RC elektriksel eşdeğer devre modeli tanımlanmış daha sonra iki GKF ile ŞD ve SD izlemesi yapılmıştır. ŞD gerçek zamanlı ve SD çevrimdışı tahmin edilmektedir. ŞD ve SD tahmini için büyük miktarlarda test verisi kullanılmıştır [86].

Li-Ion bataryalarda bataryanın sağlık durumunu da dikkate alarak ŞD ve güç durumu tahmini yapılmıştır. Yöntem olarak adaptif GKF kullanılmıştır. Tahmin yaparken model parametrelerini güncellemede kullanılan denklemleri sadeleştirerek hesapsal kolaylık sağlama üzerine çalışılmıştır. Geliştirilen sistem % 97,5'in üzerinde doğrulukta çalışmaktadır [87].

Bataryalarda ŞD tahmini için çoklu model yaklaşımı önerilmektedir. ŞD tahmininde kullanılan adaptif tahmin giderek yaygınlaşmaktadır çünkü bu yöntemin kesin olmayan ya da zaman değişkenli parametrelere uygulanmasındaki başarımler yüksektir. Nernst batarya modelinden uzay durum denklemleri çıkarılarak paralel çalışan batarya modelleri kullanılmıştır. İterasyonlu GKF ile ŞD tahmini bu paralel modellerde yapılmaktadır ve en iyi sonuç veren model tercih edilmektedir. Veri seti

bataryayı farklı akım oranlarında deşarj ederek ölçülen akım ve gerilim değerlerinden elde edilmiştir [88].

Elektrikli araçlarda kullanılan LiFePo_4 bataryalar için YSA ve Kalman filtre kullanarak ŞD tahmini yapılmıştır. Çalışmada İBYSA kullanılmıştır. Veri seti elektrikli aracın federal sürüş testlerinde bataryada oluşan elektriksel değişimlerin ölçümlerinden elde edilmiştir. Bu sürüş testlerinde batarya farklı akım değerlerinde deşarj edilmektedir. Testler 0 ile 50 °C arasında farklı sıcaklık koşullarında yapılmıştır. YSA girişine akım, gerilim ve sıcaklık değerleri uygulanmaktadır. Tahmin edilen ŞD değeri daha sonra kokusuz kalman filtreden geçirilerek son ŞD değeri elde edilmektedir. Kalman filtre ile ağın ürettiği sonuçlardaki parazitler giderilmektedir. Sistem % 3,5'in altında hata ile çalışmaktadır [89].

Farklı ortam sıcaklığı şartlarında batarya ADG ölçümleri kullanılarak ŞD tahmini yapılmıştır. Ortam sıcaklığının batarya ŞD tahminlerine olan etkisi büyüktür. Çalışma bataryanın en sık kullanıldığı % 25 ile % 85 ŞD değerleri arasında yapılmıştır ve sistem % 5'in altında hata ile çalışmaktadır [90].

Batarya ŞD tahmininde regresyon için optimize edilmiş destek vektör makinesi yöntemi önerilmektedir. Batarya ŞD değeri gerilim, akım, sıcaklık ve bataryanın çevrim sayısı gibi faktörlerden etkilenmektedir. Bu sistemde bataryanın akım, güç ve sıcaklık eğrileri kullanılmaktadır. Önerilen yöntem ADVISOR programında test edilmiştir ve genelleştirilmiş regresyon sinir ağı, Elman, RTFSA yapay sinir ağları ile karşılaştırılmıştır. Önerilen yöntemin daha iyi sonuç verdiği ileri sürülmektedir [91].

Li-Ion bataryalarda ŞD tahmini için çoklu model anahtarlama stratejisi kullanılmıştır. Bu modeli geliştirmede yorumlu yapısal modelleme ve genişletilmiş Kalman filtre yöntemleri kullanılmıştır. Deneyler değişken akımlarda yapılmıştır ve önerilen yöntem ile yüksek başarımla elde edilmiştir [92].

Pb bataryalarda ŞD tahmini için bulanık mantık ve GKF kullanılmıştır. Çalışmada bataryayı farklı akım oranlarında deşarj ederken batarya gerilimi ve akımı ölçülüp

veri setleri elde edilmiştir. Veri seti bataryanın bir çok kez şarj ve deşarj edilmesinden elde edilmiştir [93].

Bataryadaki akım parametresini kullanmadan ADG parametresini kullanarak Li-Ion bataryalarda ŞD tahmini yapılmıştır. Bunun için batarya RC elektriksel eşdeğer devre modeli kullanılmıştır [94].

Ortam sıcaklığı lityum iyon bataryaların karakteristiklerini etkileyen önemli bir faktördür. Batarya ŞD tahmini için akım sayma ve ADG parametrelerinin kullanıldığı hibrit bir yöntem önerilmektedir. Bataryaların farklı sıcaklıklardaki kapasite kayıplarını da dikkate almak için -20 ile 20 derece arasında onar derece aralıklarla çalışılmıştır. Sabit sıcaklıkta ve sinusoidal sıcaklıklarda testler yapılmış ve batarya ŞD tahmininde başarılı sonuçlara ulaşılmıştır [95].

Lityum iyon bataryaların enerji durumunu bilmek enerji optimizasyonu ve yönetimi açısından kritik bir öneme sahiptir. Uygulamalı batarya sisteminde dinamik yükten kaynaklanan deşarj akımı ve sıcaklık değişimi batarya içinde kalan enerji tahmininde hatalara neden olabilmektedir. Bu problemleri çözmek için GBYSA yöntemini önerilmektedir. Önerilen yaklaşımla iç direnç, elektrokimyasal reaksiyonlar ve ADG'nin düşmesinden kaynaklanan enerji kayıplarını dikkate almak için ŞD yerine bataryanın enerji durumu tanıtılmaktadır. Deşarj akımı ve sıcaklık değerleri GBYSA giriş değeri olarak kullanılmıştır. Benzetim sonuçları göstermektedir ki LiFePO_4 bataryalar ile yapılan deney sonuçları güvenilir ve doğruluğu yüksektir [96].

Batarya paketi içindeki hücrelerin uyumsuzluğu da dikkate alınarak geleneksel Kalman filtre ve ASBMS yöntemlerinin kombinasyonu kullanılarak bataryalarda ŞD tahmini yapılmaktadır. Araç uygulamalarında bataryanın fazla şarjı veya aşırı deşarjı batarya paketi içinde zayıf hücrelere neden olabilir. Ortalama bir ŞD yerine hücreysel farklar da dikkate alınarak başarılı ŞD tahminleri yapılmıştır [97].

Parametre tahmini yapılan bir çalışmada unutma faktörleriyle özimizelemeli EKK yöntemi ile batarya modelinde bilinmeyen parametrelerin tanımlandığı matematiksel bir model önerilmektedir. Deneysel sonuçlar göstermektedir ki tahmin edilen

parametreler pratik batarya modeliyle uyuşmaktadır. Bilinmeyen parametrelerin tanımlanmasından sonra önerilen batarya modeli parçacık filtrenin uzay durumu modeli kabul edilir. Daha sonra ŞD parçacık filtre ile tahmin edilir. Sonuç olarak üç doğrusal olmayan filtrenin (parçacık filtre, kokusuz Kalman filtre ve GKF) yapılan deneylerde performanslarının karşılaştırılmasıyla en iyi sonuç parçacık filtre ile yapılan tahminden alınmıştır [98].

YSA'lar hibrit sistemlerdeki bataryalar ve süper kondansatörlerin ŞD tahmininde kullanılmıştır. Ağın eğitiminde deşarj eğrileri kullanmış ve % 4'ten daha az bir hata ile ŞD tahmini yapılmıştır. YSA bataryaların kimyasal özellikleri hakkında detaylı bilgi gerektirmeksizin ŞD tahmini yapmada kullanılan güçlü bir tekniktir [99].

Batarya izleme elektrikli araçlarda hayati etmektedir. Batarya sisteminin güvenli kullanımı batarya yönetim sistemine bağlıdır. Batarya şarj durumunu göstermek kullanıcıya gidebileceği menzil hakkında fikir verir. Akım sayma ve kalman filtre kullanılarak batarya şarj durumu tahmini yapılmaktadır [100].

Radyal tabanlı fonksiyon sinir ağı ve akım sayma yöntemi ile kurşun asit batarya için şarj durumu tahmini yapılan bir çalışmada başarılı sonuçlar elde edilmiştir. deneysel çalışmalarda batarya deşarj eğrileri kullanılmıştır [101].

ŞD tahmini için yapılan batarya deşarj testlerinin uygulaması kolaydır, yüksek doğruluğa sahiptir, her batarya tipine uygundur ve batarya sağlık durumundan bağımsızdır. Yapay sinir ağları tüm batarya türlerine uyarlanabilirler. Yapay sinir ağları eğitim verisi gerektirirler ve gerçek zamanlı çalıştırılabilirler [41].

Yapılan literatür araştırmasında batarya şarj durumu tahmininde kullanılan yöntemlerin başarımları karşılaştırılmıştır. Akım sayma yönteminin ŞD tahmininde ortalama hata oranı % 2,84 en küçük hata oranı % 1 ve en büyük hata oranı % 4,5'tir. Elektriksel eşdeğer devre yönteminin ŞD tahmininde ortalama hata oranı % 4,93, en küçük hata oranı % 2 ve en büyük hata oranı % 15'tir. Kalman filtre yönteminin ŞD tahmininde ortalama hata oranı % 3,4, en küçük hata oranı % 1,3 ve en büyük hata oranı %5 'tir. Bulanık mantık yönteminin ŞD tahmininde ortalama hata oranı % 3,73,

en küçük hata oranı % 0,6'dır ve en büyük hata oranı % 8,5'tir. Yapay sinir ağıları kullanılarak yapılan ŞD tahminlerinde ortalama hata oranı % 4,15'tir, en küçük hata oranı % 0,9'dur ve en büyük hata oranı % 10'dur.

Bu tez çalışmasında İBYSA ve KBYSA ile Li-Ion, LiPo, NiCd, NiMH batarya türleri için yapılan ŞD tahmini hata oranları literatürde YSA ile yapılan şarj durumu tahmini ortalama hatası % 4,15'in altındadır. Ayrıca İBYSA ve KBYSA ile Li-Ion, LiPo ve NiMH batarya türleri için literatürdeki YSA ile yapılan şarj durumu tahmininde literatüre göre daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir. LiPo batarya ŞD tahmininde % 99,98, LiIon batarya ŞD tahmininde % 99,23, NiMH batarya ŞD tahmininde % 99,56 başarımlar elde edilmiştir.

Batarya tür tahmini, batarya şarj durumu tahmininde başarımları arttırmak için kullanılan V_n parametresi ve batarya izleme yazılımı bu tez çalışmasının özgünlüklerindedir. Ayrıca kademeli bağlantılı yapay sinir ağı ilk defa bu çalışmada batarya şarj durumu tahmininde kullanılmıştır.

BÖLÜM 3

BATARYALAR

Tarihte bilinen en eski bataryalar, Bağdat bataryalarıdır. MÖ 250 ve MS 640 yılları arasında yapıldığı tahmin edilmektedir. Mısırlıların 4300 yıl kadar önce antimonu elektrolizle bakıra kapladıkları söylenmektedir [102]. İlk olarak bataryalar Alessandro Volta tarafından tanıtılmıştır. İlk çalışan batarya 1800 yılında Volta'nın Luigi Galvani'nin kurbağa bacağı deneylerinden esinlenerek tasarladığı elektrokimyasal güç kaynağı olarak düşünülmektedir. Bir elektrolitle ayrılan bakır ve çinko katmanları üst üste yığarak kâğıt ya da deriyle kaplanan batarya icadı elektroliz ve elektrik telgraf gibi birçok başarılı bilimsel buluşun tetikleyicisi olmuştur [103]. Yıllara göre bataryaların tarihsel gelişimi Çizelge 3.1'de verilmektedir.

Çizelge 3.1. Yıllara göre bataryaların tarihsel gelişimi [103].

Yıl	Tarihsel gelişim
1600	Gilbert (İngiltere) Elektrokimyasal çalışmanın gerçekleştirilmesi
1791	Galvani (İtalya) Hayvansal elektriğin keşfi
1800	Volta (İtalya) Voltaik hücrenin icadı
1802	Cruikshank (İngiltere) Seri üretime geçen ilk elektriksel batarya
1820	Ampere (Fransa) Magnetizmyoluyla elektrik
1833	Faraday (İngiltere) Faraday kuralının duyurulması
1836	Daniell (İngiltere) Daniell hücresinin icadı
1859	Planté (Fransa) Kurşun asit bataryanın icadı
1868	Leclanché (Fransa) Leclanché hücresinin icadı
1888	Gassner (USA) Kuru hücrenin tamamlanması
1899	Jungner (İsveç) Nikel Kadmiyum bataryanın icadı
1901	Edison (USA) Nikel Demir bataryanın icadı
1932	Schlect ve Ackermann Sinterlenmiş kutuplu plakanın icadı
1947	Neumann (Fransa) Nikel kadmiyum pilde başarılı sızdırmazlık
1960	Union Carbide (USA) Birincil alkalin bataryanın geliştirilmesi
1970	Valf kontrollü kurşun asit bataryanın geliştirilmesi
1990	Nikel metal hidrit bataryanın ticarileştirilmesi
1992	Kordesch (Kanada) Yeniden kullanılabilir alkalin pilin ticarileştirilmesi
1999	Lityum iyon polimer pilin ticarileşmesi
2001	Yakıt hücresi üretimi

Voltaik bataryanın günümüzde de her modern batarya kurulumunda bulunan elektrokimyasal bir sistemde enerji depolayabilmesi için 4 temel bölümü içermesi gerekmektedir. Bunlar elektrotlar, anot(-) ve katot(+), anot ve katot arasındaki kısa devreleri engelleyen ayırıcı, iyon akımını sağlayan elektrolit ve hücre kasasıdır [102].

Birden çok hücrenin bir araya getirilerek oluşturulan pil/akü grubuna batarya denir. Bataryalar seri ve paralel bağlı hücrelerden oluşur. Paralel bağlantılar kapasiteyi ve çekilebilecek akımı arttırırken seri bağlantılar gerilimi arttırır.

3.1. BATARYALAR İLE İLGİLİ TEMEL KAVRAMLAR

Bataryaları tanımak için bataryalar hakkındaki bazı temel parametrelerin bilinmesi gerekmektedir. Hücre, batarya, Amper saat, C oranı, çevrim ömrü, nominal gerilim, nominal kapasite, çalışma sıcaklığı, standart şarj akımı, standart şarj süresi, hızlı şarj akımı, hızlı şarj süresi, kesim gerilimi, batarya şarj durumu, batarya sağlık durumu, kalan çalışma zamanı bataryalar ile ilgili temel parametrelerdir.

Hücre: Depolanan kimyasal enerjiden elektrik enerjisi üretmede kullanılan ya da kimyasal enerjiyi elektrik enerjisi olarak depolayan en temel elektrokimyasal birimdir. Bir hücre elektrolitle doldurulmuş bir kap içindeki iki elektrottan oluşmaktadır.

Batarya: Belirli bir yük için gereken çalışma gerilimi ve kapasiteyi elde etmek için iki ya da daha fazla hücrenin uygun bir şekilde seri/paralel bağlanmasıyla batarya oluşturulmaktadır. Batarya terimi tek hücreler içinde sıkça kullanılmaktadır.

Amper saat (Ah): Elektriksel şarjın bir ölçüsüdür ve akım (Amper) ve zamanın (saat) çarpımıyla ifade edilmektedir.

C oranı: Bir bataryanın deşarj hızı bataryanın güvenli bir şekilde en çabuk ne kadar deşarj olabildiğini gösterir. Anottan katoda geçiş hızı deşarj hızını belirtir. Bu hız bataryalarda C oranı diye anılır. C kapasiteyi sembolize eder. 5C'lik bir deşarj hızı

teorik olarak kapasitesinin 5 katını deşarj edebileceğini gösterir. 2 C=2 katını, 10 C=10 katını gibi. Örneğin nominal kapasitesi 1000 mAh olan bir bataryanın 20 C deşarj hızı varsa bu bataryadan en fazla sürekli olarak bataryanın şarjı tam bitene kadar 20 A çekilebilir.

Çevrim ömrü: Çevrimlerin sayısı hücre ya da bataryanın Ah cinsinden kapasitesinin belirli bir performans kriterini sağlayamamasına kadarki belirli şartlar altındaki şarj ve deşarj sayısıdır. Bu genellikle nominal kapasitenin % 80'i olmaktadır.

Nominal Gerilim: % 100 dolu bir bataryanın uç gerilimidir.

Nominal Kapasite: % 100 dolu bir bataryanın Ah cinsinden sağlayabileceği kapasitedir.

Çalışma sıcaklığı: Bataryalar sıcaklığa duyarlıdır. Batarya türüne göre çalışma sıcaklığı aralıkları üreticilerin katalog bilgilerinde verilmektedir. Çok yüksek ve ya çok düşük sıcaklıklarda bataryaların performansı değişmektedir.

Standart şarj akımı: Amper cinsinden bataryayı sağlıklı bir şekilde kullanabilmek için önerilen şarj akımıdır.

Standart şarj süresi: Tam boş bir bataryanın tam şarj edilmesi için standart şarj akımıyla yapılan önerilen şarj süresidir.

Hızlı şarj akımı: Amper cinsinden bataryanın desteklediği en yüksek şarj akımıdır.

Hızlı şarj süresi: Tam boş bir bataryanın tam şarj edilmesi için hızlı şarj akımıyla yapılan önerilen şarj süresidir.

Tam şarj gerilimi: Tam şarj edilen bir batarya hücrelerinin ulaştığı en yüksek gerilim değeridir. Bu değerin üzerine çıkıldığında batarya hasar görür.

Kesim gerilimi: Tükenmiş olarak kabul edilen hücrenin en düşük çalışma gerilimidir. Ayrıca genellikle deşarj sonu gerilimi ya da son gerilim olarak da adlandırılmaktadır [104].

Şarj durumu (ŞD): Genel olarak Eşitlik 3.1'deki gibi ifade edilmektedir. ŞD bataryanın içindeki kapasitenin $Q(t)$ nominal kapasitesine Q_n oranı olarak tanımlanmaktadır. Nominal kapasite değeri üretici tarafından belirlenmektedir ve bataryanın içinde depolanabilecek maksimum kapasiteyi belirtmektedir [40].

$$\text{ŞD}(t) = \frac{Q(t)}{Q_n} \quad (3.1)$$

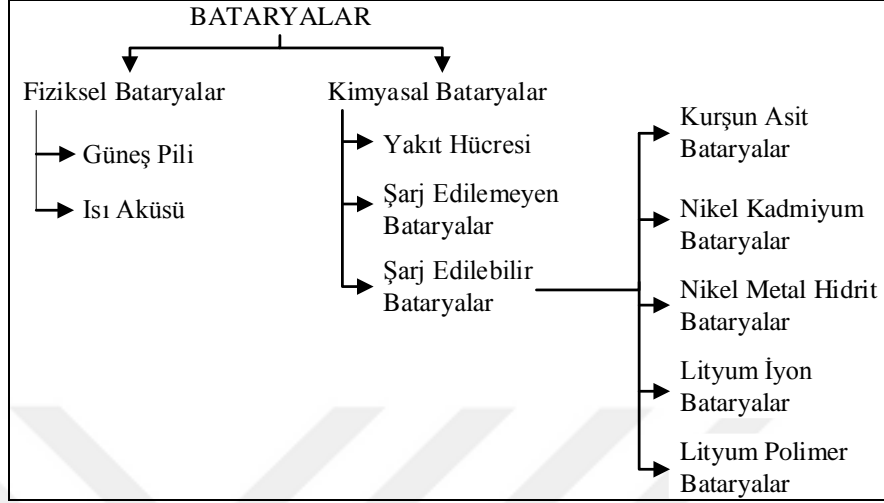
Bataryanın sağlık durumu (SD): Batarya sağlık durumu, bataryanın maksimum kullanılabilir kapasitesini ifade eden bir kavramdır. Bataryaların fabrika çıkış kapasiteleri, nominal olarak bataryanın üzerinde yazılıdır. Kullanım ve ortam koşullarına bağlı olarak zamanla batarya kapasitesinde azalma meydana gelmektedir, diğer bir ifade ile batarya sağlık durumu kötüleşmektedir. Çok uzun süreli kullanılmama veya olumsuz çevre koşullarında depolama gibi durumlarda batarya tamamen kullanılamaz duruma gelebilir. Batarya sağlık durumunun kestirimi, bataryadan elde edilmesi beklenen performansın karşılanıp karşılanamayacağı konusunda bilgi vermesi nedeniyle önemlidir [49].

Kalan çalışma zamanı: Taşınabilir cihazın çalışmasını durdurmadan önce bataryanın geçerli deşarj koşulları altında hesaplanan, cihazı kalan besleyebilme süresidir. Kalan kapasitenin harcama süresi yükün tipine bağlı olarak iki yolla hesaplanabilir [50]. Bunlar, şarj olarak ifade edilen mAh cinsinden bir akım tipi yükü için kalan ve enerji olarak ifade edilen mWh cinsinden güç tipi kalan kapasitedir.

3.2. BATARYA TÜRLERİ

Bataryalar fiziksel ve kimyasal olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Şekil 3.1). 1800 yılında yapılan voltaik batarya yeniden şarj edilebilmek üzere yapılmamıştır, birincil bir hücrenin temsilcisidir, çünkü istenen enerjiyi sağlama aşaması öncelikli aşamadır.

Aksine yeniden şarj edilebilen bataryalar ikincil olarak adlandırılmaktadır, ilk şarj aşaması ikincil enerji sağlama deşarj aşaması için ön koşuldur.



Şekil 3.1. Bataryaların sınıflandırılması.

Düşük maliyetli, az enerji gerektiren uygulamalar için kullanılan çinko karbon batarya, çinko karbon bataryadan biraz daha uzun ömürlü olan çinko klorid batarya, daha fazla güç ihtiyacı gerektiren uygulamalarda kullanılabilen Alkalın/manganez batarya, genelde işitme cihazlarında kullanılan gümüş oksit batarya, genelde dijital kameralarda kullanılan saat ve bilgisayar saatlerinde de kullanılan uzun ömürlü lityum batarya, dijital saatlerde kullanılan civa batarya, işitme cihazlarında kullanılan çinko hava batarya şarj edilemeyen bataryalara örnek verilebilir.

Kurşun asit batarya, lityum iyon batarya, lityum-iyon polimer batarya, sodyum-sülfür (NaS) batarya, nikel demir batarya, nikel metal hidrit batarya, NiCd batarya, sodyum-metal klorid batarya, nikel-çinko batarya, erimiş tuz bataryası şarj edilebilir batarya örnekleridir [105].

3.2.1. Nikel Kadmiyum Bataryalar

Enerji yoğunluğu diğer batarya türlerine göre nispeten düşüktür. Uzun ömürlüdür, yüksek deşarj oranına sahiptir ve ekonomiktir. Kullanıldığı temel uygulamalar iki yönlü telsiz, biyomedikal ekipmanlar, profesyonel video kameraları, matkaplar, ölçüm cihazları vb. elektrikli aletlerdir. NiCd zehirli metaller içerir ve bu yüzden

çevre dostu değildir. Bazı ülkeler NiCd batarya kullanımını sınırlandırmıştır. NiCd bataryalarda yavaş şarj yerine hızlı şarj, DA şarj yerine darbeli şarj tercih edilir. Diğer tüm kimyasallar orta yük akımlarında deşarjı tercih eder. NiCd sağlamdır ve sert işgücü gerektiren yerlerde sıkıntı çıkarmaz. Aslında NiCd sert koşullar altında iyi performans sağlayabilen tek batarya türüdür. NiCd bataryalarda hafıza etkisi vardır yani bu bataryalar tam boşalmadan şarj edilirse tam kapasiteyle kullanılamaz bu yüzden periyodik olarak tam deşarj edilmesi gerekmektedir, eğer bu işlem ihmal edilirse hücre plakaları üzerinde büyük kristaller oluşur ve NiCd zamanla performansını kaybeder. Doğru kullanımda 1000 şarj/deşarj çevriminin üzerinde kullanım sağlar. Yük performansı iyidir. Düşük sıcaklıklarda da performansı iyidir. Herhangi bir şarj oranında uzun süreli raf ömrüne sahiptir. Çevrim başına fiyat karşılaştırması yapıldığında en ekonomik batarya türüdür. Çoğu NiCd batarya hücresi silindirik ve boyutları ve performans seçenekleri geniş bir yelpazeye sahiptir. Kendi kendine deşarj oranı yüksektir bu yüzden depolamadan sonra tekrar şarj etmeyi gerektirir [102]. Şekil 3.2'de NiCd batarya örnekleri verilmektedir.



Şekil 3.2. Nikel kadmiyum bataryalar.

3.2.2. Nikel Metal Hidrit Bataryalar

NiCd ile kıyaslandığında daha fazla enerji yoğunluğuna sahip olmasına rağmen çevrim ömrü daha kısadır. NiMH bileşiminde zehirli metal içermediğinden çevre dostudur. Düşük ısılarda rahatlıkla kullanılabilirler. Cep telefonu, dizüstü bilgisayarlar, fotoğraf makineleri, oyuncaklar ve uydu uygulamalarında kullanılmaktadır. NiMH NiCd bataryalara göre yaklaşık % 40 oranında daha fazla enerji yoğunluğu sunar. NiMH bataryaların dayanıklılığı NiCd bataryalara göre daha azdır. Ağır yük koşullarında kullanıldığında ve yüksek sıcaklıklarda depolandığında ömrü kısalmır. Kablosuz ve mobil uygulamalarda NiCd bataryaların yerini almaktadır.

NiCd bataryalara göre hafıza etkisi daha azdır. Yarım şarjdan sonra tam deşarj edilirse bellek etkisi yok olur. Daha az periyodik tam şarj/deşarj bakımı gerektirir. NiMH bataryalar tekrar tekrar özellikle yüksek akımlarda aşırı deşarj edilirse performansı 200-300 çevrimden sonra bozulur. Tam deşarj çevrimlerinden çok sığ deşarj çevrimleri tercih edilir. En iyi performans 0,2 C ile 0,5 C arasındaki deşarj oranlarında elde edilmektedir. Karmaşık bir şarj algoritmasına sahiptir. Şarj ederken batarya NiCd bataryaya göre daha fazla ısınır ve şarj süresi daha fazladır. Şarj dengesi kritiktir ve dikkatlice kontrol edilmelidir. NiCd ile kıyaslandığında kendi kendine deşarj oranı yaklaşık % 50 daha fazladır. Yeni kimyasallarla kendi kendine deşarj sınırlılığı azaltılabilir fakat bu da enerji yoğunluğunun azalmasına neden olur. NiMH bataryalar soğuk ortamda yaklaşık % 40 şarj oranında muhafaza edilmelidir, yüksek sıcaklıklarda depolandığında performansı düşer. Bataryanın kristalize olmasını engellemek için düzenli olarak tam deşarj yapılarak bakım yapılmasını gerektirir [102]. Şekil 3.3'te Nikel Metal Hidrit batarya örnekleri verilmektedir.



Şekil 3.3. Nikel metal hidrit bataryalar.

3.2.3. Kurşun Asit Bataryalar

Kurşun asit batarya 1859 yılında Gaston Planté tarafından icat edilmiştir. İlk ticari şarj edilebilir batarya türüdür. Büyük güç gerektiren, ağırlığın önemli olmadığı uygulamalarda tercih edilir. Üretimi basittir, dayanıklıdır, ekonomiktir ve otomobillerde, forkliftlerde, hastane ekipmanlarında, tekerlekli sandalyelerde, acil aydınlatma ve kesintisiz güç kaynaklarında tercih edilir. Kurşun asit bataryalarda hafıza etkisi yoktur. Şarj tutumu açısından şarj edilebilir bataryalar arasında en

iyisidir. NiCd batarya 3 ayda depoladığı enerjinin % 40'ını kendi kendine tüketirken kurşun asit batarya aynı miktarı bir yılda kendi kendine tüketir. Kurşun asit batarya hızlı şarj için uygun değildir normal bir şarj 8 saat ile 16 saat arasındadır. Şarjlı bir şekilde depolanmalıdır. Bataryanın şarjı yok iken depolanması sülfatlanmasına neden olur ve bu da bataryanın tekrar şarj edilmesini zorlaştırır ya da imkânsız hale getirir. Sınırlı sayıda tam deşarja izin verir. Deşarj derinliği ve çalışma sıcaklığına bağlı olarak kurşun asit bataryalar 200-300 çevrim ömrüne sahiptir. En iyi çalışma sıcaklığı 25 °C'dir. Modern şarj edilebilir bataryalar arasında enerji yoğunluğu en düşük olan batarya türüdür. Düşük sıcaklıklarda performansı düşüktür. Küçük, avuç içi cihazlar için uygun değildir. Kurşun asit batarya çevresel olarak NiCd batarya türünden daha az zararlı olmasına rağmen kurşun içerdiğinden dolayı çevre dostu değildir. Bu batarya türünün deşarj süresi uzadıkça performansı artar. 1 C'ye ulaşan ani akımlarda performansı yüksektir [102]. Şekil 3.4'te kurşun asit batarya örneği verilmektedir.



Şekil 3.4. Kurşun asit bataryalar.

3.2.4. Lityum İyon Bataryalar

Lityum bataryalar üzerine ilk çalışmalar 1912 yılında G.N. Lewis tarafından yapılmıştır. 1970'lerin ilk yıllarında ilk şarj edilemeyen lityum bataryalar üretilmiştir. Lityum tüm metaller arasında en hafif olanıdır, en iyi elektrokimyasal potansiyele sahiptir ve ağırlık başına en yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir. Li-Ion bataryaların gelişimi 1980'lerde devam etmiştir fakat güvenlik problemlerinden dolayı başarısız olmuştur. Başarısızlığın nedeni özellikle şarj esnasında lityum metalinin tabiatında bulunan kararsızlıktır. Bu nedenle araştırmalar lityum iyonları kullanarak, metal

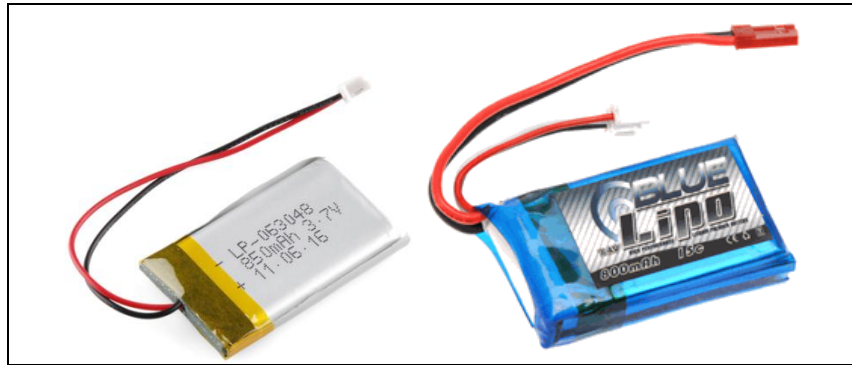
olmayan lityum batarya üretimine kaymıştır. Li-Ion en hızlı gelişen batarya sistemidir. enerji yoğunluğunun yüksek olmasının ve hafif olmasının birinci öncelik olduğu uygulamalarda tercih edilir. Güvenli kullanımını sağlamak için koruma devresi kullanmak gerekir. Lityum iyon bataryalar çok daha kararlıdır. Organik elektrolit pratik hücre gerilimlerinin 4 V üzerinde olmasını sağlamaktadır ve birçok hücreyi seri bağlama gerektirmeksizin kolay uygulama sağlamaktadır [19, 52, 53, 104], Elektrikli araçlar, dizüstü bilgisayarlar ve cep telefonlarında tercih edilen bir batarya türüdür. Lityum iyon lityum metalinden biraz daha az enerji yoğunluğuna sahip olsa da güvenlidir. Enerji yoğunluğu NiCd bataryanın yaklaşık iki katıdır. Elektrot aktif maddelerinde yapılan iyileştirmelerle bu oran üçe çıkabilir. Günümüzde bir çok cep telefonunda bu batarya türü kullanılır çünkü tek batarya hücresi ile sistem çalıştırılabilir. Hafıza etkisi yoktur ve az bakım gerektirir. NiCd bataryaya göre kendi kendine deşarj oranı yarı yarıyadır. Güvenli kullanımını sağlamak için koruma devresi gerektirir. Yaşlanma etkisi vardır. 1 yıl kullanımdan sonra fark edilebilir derecede kapasite kaybı olur. Diğer batarya türlerinde de yaşlanma etkisi vardır. Özellikle NiMH bataryalar yüksek ortam sıcaklıklarında tutulduğunda bu etki görülmektedir. 15 °C gibi serin bir ortamda kısmen şarjlı bir şekilde muhafaza etme bataryaların yaşlanma etkisini yavaşlatmaktadır. Lityum iyon bataryanın kimyasalları sürekli geliştirilmektedir. Periyodik deşarj bakımı gerektirmez. İleri kimya bilgisi ve gelişmiş çalışmalar gerektirdiklerinden çoğunlukla daha pahalıdır. Üretimi NiCd batarya türüne göre % 40 daha maliyetlidir [102]. Şekil 3.5'te lityum iyon batarya örneği verilmektedir.



Şekil 3.5. Lityum iyon bataryalar.

3.2.5. Lityum Polimer Bataryalar

Lityum polimer bataryalar, teknolojik olarak lityum iyon bataryaların devamı niteliğinde şarj edilebilir bataryalardır. Lityum polimer bataryalar, hacim ve ağırlıklarına göre çok yüksek enerji yoğunluğuna sahiptirler. Ultra ince geometrik şekli sayesinde paketlenmesi basitleştirilmiştir. Cep telefonları, uçan mekatronik sistemler temel kullanım alanıdır. LiPo yapısındaki elektrolit türü bakımından diğer batarya türlerinden farklıdır. Bu elektrolit plastik benzeri filmi andırır ve elektriği iletmez fakat iyon alışverişine izin verir. 1970'lerdeki orijinal tasarımında katı polimer elektrolit kullanılmaktadır. Katı polimer tasarımı imalatı kolaylık sağlar, sağlamdır, güvenlidir ve ince geometrik şekle sahiptir. Sıvı ya da jel elektrolit kullanılmadığından yanma tehlikesi yoktur. Bir batarya hücresinin kalınlığı 1mm kadar incedir. Ancak kuru LiPo bataryanın iletkenliği zayıftır, iç direnci çok yüksektir ve modern taşınabilir cihazların çalışması için gereken akımı sağlayamaz. Hücre sıcaklığını 60 °C'ye çıkarmak iletkenliğini artırır fakat bu gereklilik taşınabilir uygulamalar için uygun değildir. LiPo bataryanın iletkenliğini artırmak için yapısına biraz jel elektrolit eklenmiştir. Üreticiler için standart şekil sınırlaması yoktur, batarya tasarımını istedikleri boyutta yapabilirler. Hafiftir, aşırı deşarja dayanıklıdır, elektrolit sızıntısı azdır. Li-Ion'a göre enerji yoğunluğu düşüktür ve çevrim sayısı daha azdır. Üretimi pahalıdır. Seri üretimle, kontrol devresindeki geliştirmelerle bu maliyet azaltılabilir. Şekil 3.7'de bir lityum polimer batarya resimleri verilmektedir.



Şekil 3.6. Lityum polimer bataryalar.

3.2.6. Şarj Edilebilen Bataryaların Karşılaştırılması

Batarya üreticileri müşteri ihtiyaçlarına uygun olarak özel amaçlara göre batarya paketlerini tasarlarlar. Örneğin cep telefonlu endüstrisinde bataryanın küçük boyutlu olması, yüksek enerji yoğunluğuna sahip olması ve ekonomik olması istenmektedir. Uzun ömürlü olması ikinci plandadır. Batarya türlerini, üstünlüklerini ve sınırlılıklarını bilmek kullanım alanına göre en iyi verimi almak için önemlidir. Bataryaların karşılaştırılmasında enerji yoğunluğunun yanında, yük karakteristikleri, tamir gereksinimleri, kendi kendine deşarj ve çalışma maliyetlerine bakılmaktadır. Çizelge 3.2'de NiCd, NiMH, Pb, Li-Ion, LiPo bataryaların enerji yoğunluğu, iç direnç, çevrim ömrü, hızlı şarj zamanı, aşırı şarj toleransı, kendi kendine deşarj zamanı, hücre gerilimi, C oranı, çalışma sıcaklığı, bakım gereksinimi, ticari kullanıma başladığı yıllara göre karşılaştırması verilmektedir [102].

Çizelge 3.2. Şarj edilebilir bataryaların karşılaştırılması.

Özellikler	NiCd	NiMH	Pb	Li-Ion	LiPo
Kilogram başına yoğunluğu (Wh/kg)	45-80	60-120	30-50	110-160	100-130
İç direnç mΩ	100-200	200-300	<100	150-250	200-300
	6 V paket	6 V paket	12 V paket	7,2 V paket	7,2 V paket
Çevrim Ömrü	1000-1500	300-500	200-300	500-1000	300-500
Hızlı şarj zamanı	1 h	2-4 h	8-16 h	2-4 h	2-4 h
Aşırı şarj toleransı	orta	düşük	yüksek	çok düşük	düşük
Kendi kendine deşarj	% 20	% 30	% 5	% 10	~% 10
Hücre gerilimi (nominal)	1,25 V	1,25 V	2 V	3,6 V	3,6 V
C oranı (tepe)	20 C	5 C	5 C	>2 C	>2 C
C oranı (en iyi sonuç)	1 C	≤ 0,5 C	0,2 C	≤ 1 C	≤ 1 C
Çalışma sıcaklığı (sadece deşarj)	-40-60 °C	-20-60 °C	-20-60 °C	-20-60 °C	0-60 °C
Bakım gereksinimi	30-60 gün	60-90 gün	3-6 ay	yok	yok
Ticari kullanıma başlanan yıl	1950	1990	1970	1991	1999

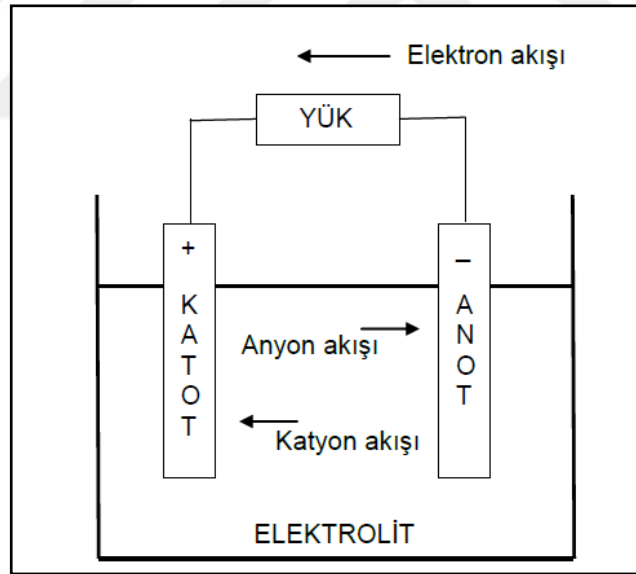
3.3. BATARYA MODELLERİ

Bataryayı verimli kullanma açısından batarya şarj durumunun doğru tahmini çok önemlidir [100]. Genel olarak ŞD bataryanın içindeki kapasitenin nominal kapasitesine oranı olarak tanımlanmaktadır. Batarya ŞD tahmini için matematiksel ve elektrokimyasal yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemler karmaşıktır ve

hesaplanması zordur. Elde edilen denklemler her bir batarya türüne göre farklılık göstermektedir ve yeniden düzenlenmelidir. Elektriksel yöntemin hesaplaması kolaydır ve kullanıcı bataryanın katalog bilgilerinden veya ölçümler yaparak elde ettiği verilerden batarya modeli oluşturabilir.

3.3.1. Bataryaların Kimyasal Olarak Modellenmesi

Bataryaların kimyasal olarak modellenmesi anot ve katot arasında meydana gelen elektron geçişinin kimyasal reaksiyonlar şeklinde ifade edilmesidir. Bataryanın anot ve katodunu oluşturan kimyasal maddelerin türüne göre kimyasal reaksiyonlar farklılık göstermektedir. Şekil 3.1'de bir batarya hücrenin temel kimyasal yapısı ve deşarjı sırasındaki çalışması verilmektedir [49]. Şarj edilebilir bataryalarda şarj esnasında elektron geçişi ters yöndedir. Batarya hücresinde anot elektrolizde aşınırken katotta iyonik değişim reaksiyonu sonucu elektrik akımı meydana gelir.

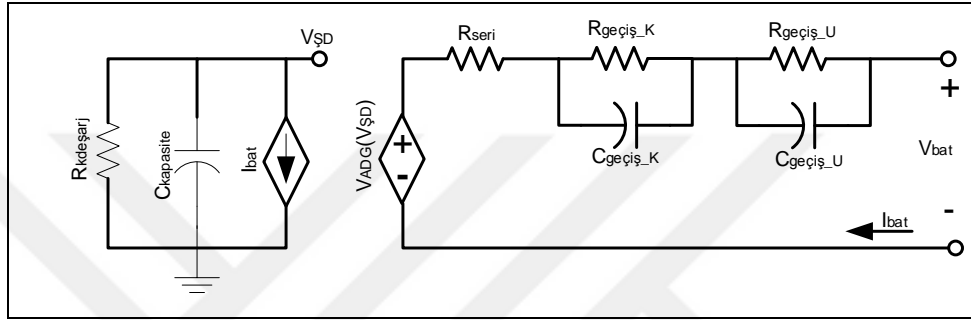


Şekil 3.7. Batarya hücresinin temel yapısı.

3.3.2. Bataryaların Elektriksel Olarak Modellenmesi

Literatürde Chen ve Mora'nın batarya için önerdikleri elektriksel eşdeğer devre modeli en çok kabul gören modeller arasındadır. Şekil 3.8'de sezgisel ve kapsamlı elektriksel batarya modeli gösterilmektedir. Sol tarafta bir kondansatör (C_{kapasite}),

çalışma zamanı temelli modelden alınmış bir akım kontrollü akım kaynağı bataryanın kapasitesini, ŞD ve çalışma zamanını modellemektedir. RC devresi geçiş cevabını simüle etmektedir. ŞD ve ADG arasındaki köprü için gerilim kontrollü bir gerilim kaynağı kullanılmaktadır. Bu model çalışma zamanı, kararlı durum ve geçiş cevaplarını doğru bir şekilde tahmin edebilmektedir. Bataryanın dinamik elektriksel karakteristikleri, kullanılabilir kapasite (C_{kapasite}), açık devre gerilimi (V_{AD}) ve geçiş cevabı (RC devre) ölçülebilmektedir.



Şekil 3.8. Elektriksel batarya modeli.

Bataryanın şarjlı durumundan şarjı bitene kadar deşarj edildiğinde elde edilen enerji kullanılabilir kapasiteyi ifade etmektedir. Kullanılabilir kapasite tam kapasite kondansatör (C_{kapasite}), iç direnç ($R_{\text{iç}}$) ve eşdeğer seri direnç (R_{seri} , $R_{\text{geçiş}_k}$ ve $R_{\text{geçiş}_u}$ toplamı) ile modellenebilir. Tam kapasite kondansatör C_{kapasite} batarya içinde depolanan bütün şarjı ifade etmektedir, örneğin ŞD, bataryanın nominal kapasitesi Coulomb cinsinden Ah (Amper Saat) cinsine çevrildiğinde değeri Eşitlik 3.2'de verildiği gibi tanımlanır:

$$C_{\text{kapasite}} = 3600 \cdot \text{Kapasite} \cdot f1(\text{çevrim}) \cdot f2(\text{sıcaklık}) \quad (3.2)$$

Burada kapasite Ahr cinsinden nominal kapasite, $f1(\text{çevrim})$, $f2(\text{sıcaklık})$ çevrim numarası ve sıcaklık bağımlı düzeltme faktörleridir. C kapasitenin başlangıç kapasitesini 1 V ya da 0 V'a ayarlayarak batarya tam şarjlı ya da tam deşarjlı konuma ayarlanmaktadır. V_{SD} oransal olarak bataryanın ŞD değerini ifade etmektedir.

Batarya şarj ya da deşarj edildiğinde akım kontrollü akım kaynağı dinamik olarak V_{SD} ile temsil edilen C_{kapasite} 'yi şarj ya da deşarj etmek için kullanılmaktadır. Bu

yüzden batarya çalışma zamanı batarya geriliminin deşarj gerilimine ulaştığı zamandan elde edilmektedir. Kendiliğinden deşarj direnci $R_{kdeşarj}$ bataryaların uzun süre boyunca depoladığı öz deşarj enerjisini karakterize etmek için kullanılmaktadır. Teorik olarak $R_{kdeşarj}$ ŞD, sıcaklık ve çevrim sayısının bir fonksiyonudur. Pratikte büyük bir direnç olarak basitleştirilebilir ya da ihmal edilebilir.

Açık devre gerilimi (V_{ADG}) farklı kapasite seviyelerine göre değişebilmektedir. Açık devre gerilimi ve ŞD arasındaki doğrusal olmayan bağlantı modele entegre edebilmek için önemlidir. Bu yüzden bu bağlantıyı ifade etmek için gerilim kontrollü gerilim kaynağı $V_{ADG}(ŞD)$ kullanılmaktadır. Açık devre gerilimi kararlı durum açık devre terminal gerilimi şeklinde farklı ŞD noktalarında normal olarak ölçülmektedir. Ancak her ŞD noktası için bu ölçüm günler alabilmektedir. Bataryadan merdiven tipi akım çekildiğinde, batarya gerilimi yavaş cevap vermektedir. Bu cevap genellikle ani ve eğri bağımlı gerilim düşümleri içermektedir. Bu yüzden geçiş cevabı Şekil 4'te gösterildiği gibi RC ağıyla temsil edilmektedir. Elektriksel ağ seri direnç R_{seri} , ve iki paralel RC ağından oluşmaktadır. Bu RC ağlarında $R_{geçiş_k}$, $C_{geçiş_k}$, $R_{geçiş_u}$, $C_{geçiş_u}$ yer almaktadır. Seri direnç step cevabında ani gerilim düşümüne cevaptan sorumludur. $R_{geçiş_k}$, $C_{geçiş_k}$, $R_{geçiş_u}$, $C_{geçiş_u}$ step cevabın kısa ve uzun zamanlı sabitleridir. Temel olarak üç yerine iki RC zaman sabitlerini kullanan sayısız deneysel eğriler doğruluk ve karmaşıklık arasında daha iyi iş yapmaktadır çünkü iki RC zaman sabitleri tüm eğri uydurmalarında hatayı 1mV'un altında tutmaktadır. Teorik olarak, önerilen modelde tüm parametreler çok değişkenli ŞD, akım, sıcaklık ve çevrim sayısı fonksiyonlarına sahiptir. Ancak özel bataryalar için bağımsız olmak ve bazı değerlerin doğrusal fonksiyonu yüzünden belli bir hata toleransı aralığında bu parametrelerden bazıları basitleştirilebilir. Örneğin sabit sıcaklıktaki küçük kapasiteli bir batarya için sıcaklık etkileri ihmal edilebilir [1].

3.3.3. Bataryaların Matematiksel Olarak Modellenmesi

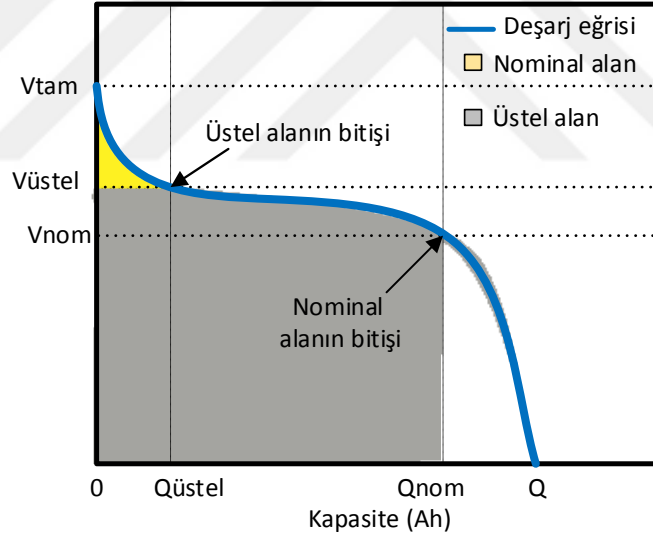
Bataryaların matematiksel modeli ile bataryanın açık devre gerilimi, şarj durumu parametrelerini hesaplamak mümkündür. Batarya şarj durumu hesaplamada kullanılan en temel matematiksel eşitliklerden biri de Peukert eşitliğidir. Peukert kuralı alman bilim adamı W. Peukert tarafından 1897 yılında yayınlanmıştır. Bu

kural ile deşarj etme oranına göre kurşun asit bataryanın kapasitesi hesaplanmaktadır. Deşarj oranı arttıkça bataryanın kullanılabilir kapasitesi azalmaktadır. 1 A deşarj oranı için Peukert kuralı Eşitlik 3.3'teki gibi ifade edilmektedir:

$$C_p = I^k t \quad (3.3)$$

burada C_p 1 A deşarj oranındaki kapasitedir ve Ah cinsinden ifade edilir, I yük tarafından çekilen akım değeridir, t saat cinsinden zamanı ifade etmektedir. Genellikle batarya hücrelerinin deşarj oranı 1 Ah değildir. Formül kapasite ve deşarj oranına göre yeniden düzenlendiğinde Eşitlik 3.4'teki gibi olmaktadır.

$$t = H \left(\frac{C}{IH} \right)^k \quad (3.4)$$



Şekil 3.9. Tipik deşarj eğrisi.

Eşitlik 3.3'te H saat cinsinden nominal deşarj zamanı, C deşarj oranındaki Ah cinsinden nominal kapasite, I A cinsinden ölçülen deşarj akımı, k Peukert sabiti, t saat cinsinden bataryayı deşarj ederken geçen süredir [100].

Tremblay ve Dessaint şarj edilebilir bataryaların şarj ve deşarj dinamiklerini matematiksel olarak ifade etmişlerdir. Şekil 3.9'da bir NiMH batarya hücresine ait

tipik bir deşarj eğrisi verilmektedir. Eşitlik 3.5'te verilen denklemde şarj durumunun bir fonksiyonu olarak deşarj esnasındaki bataryanın açık devre gerilimi davranışını modellenmektedir [106]. Bu modeldeki en önemli özellik polarizasyon direncinden geçen filtrelenmiş akımın (i^*) kullanılıyor olmasıdır. Bu parametre ile simülasyondaki cebirsel problemlerin üstünden gelinmektedir.

$$V_b = E_0 - \underbrace{K \frac{Q}{Q - Q_g}}_{\text{Polarizasyon gerilimi}} \cdot Q_g - R_{iç} \cdot i + Ge^{(B \cdot Q_g)} - \underbrace{K \frac{Q}{Q - Q_g}}_{\text{Polarizasyon direnci}} \cdot i^* \quad (3.5)$$

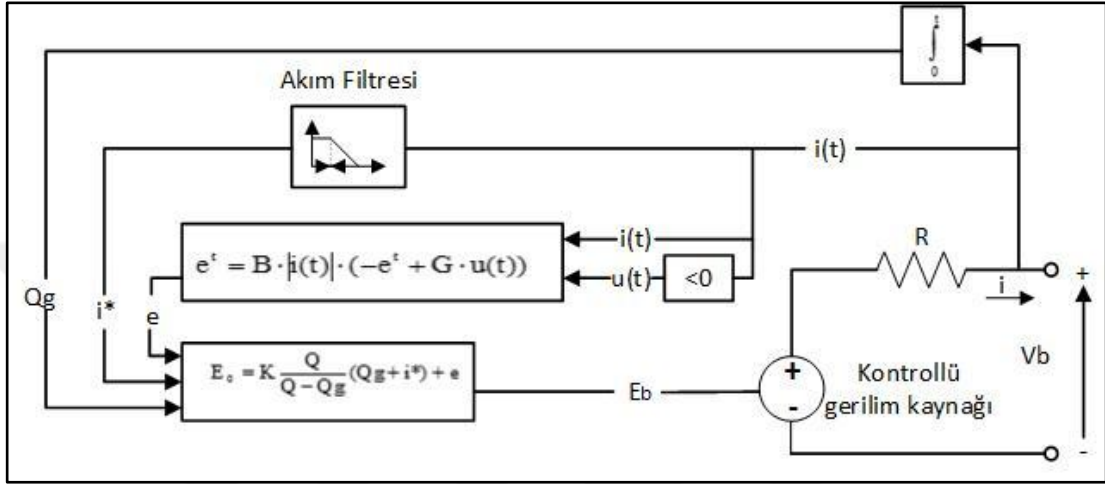
Eşitlik 3.5'te verilen V_b batarya gerilimini (V), E_0 batarya sabit gerilimini (V), K polarizasyon sabitini (V/Ah) ya da polarizasyon direncini (Ω), Q batarya kapasitesini (Ah), Q_g gerçek batarya şarjını (Ah), G exponansiyel bölge genliğini (V), B üstel bölge zaman sabiti tersini (Ah)⁻¹, $R_{iç}$ iç direnci (Ω), i batarya akımını (A) ve i^* filtrelenmiş akımı (A) ifade etmektedir. Eşitlik 3.5'te verilen üstel alan Li-Ion bataryalar için geçerlidir fakat diğer bataryalar için şarj ve deşarj arasında batarya şarj durumunun önemli olmadığı histerezis olgusu mevcuttur. Bu durum Şekil 3.9'da verilen üstel alanda meydana gelmektedir. Bu olgu doğrusal olmayan dinamik bir sistemle Eşitlik 3.6'da verildiği gibi ifade edilebilir.

$$e^t = B \cdot |i(t)| \cdot (e^t + A \cdot u(t)) \quad (3.6)$$

Eşitlik 3.6'daki e^t üstel alan gerilimini, $i(t)$ batarya akımını, $u(t)$ şarj ve ya deşarj modunu ($u(t)=1$ şarj, $u(t)=0$ deşarj) temsil etmektedir. Şekil 3.10'da deşarj modelinin tamamı gösterilmektedir.

Bataryanın şarj modeli batarya tipine göre değişiklik göstermektedir. Pb, Li-Ion, Lipo bataryaların şarj bitiş karakteristikleri birbirine benzemektedir çünkü batarya tam şarja yaklaştığı zaman gerilimi hızla yükselmektedir. Bu olgu polarizasyon direnciyle modellenmektedir. Şarj modunda polarizasyon direnci batarya pil neredeyse tamamen şarj olana kadar artmaktadır. Bu noktanın yukarısında polarizasyon direnci aniden artar. Deşarj esnasındaki polarizasyon direnci bu sefer $K \cdot Q/Q_g$ olmaktadır. Teorik olarak şarj akımı sıfıra eşit olduğunda polarizasyon

direnci sonsuz olmaktadır. Fakat pratikte bu şekilde olmamaktadır. Deneysel çalışmalardan elde edilen verilere göre batarya kapasitesinin % 10'u kadar değişmektedir. Bu yüzden polarizasyon direnci Eşitlik 3.7'de verildiği gibi ifade edilmektedir. Deşarj modeline benzer olarak üstel alan Li-Ion, LiPo ve Pb bataryalar için benzerdir.



Şekil 3.10. Batarya deşarj modeli.

$$\text{Pol.direnci} = K \frac{Q}{Q_g - 0.1 \cdot Q} \quad (3.7)$$

NiMH ve NiCd bataryaların şarj bitiş karakteristiği farklıdır. Batarya tam şarj gerilimine ulaştığında akım genliğine bağlı olarak gerilim yavaşça düşmektedir. Bu olgu polarizasyon direncini değiştirerek modellenenir. Batarya tam şarj olduğunda ($Q_g=0$) gerilim düşmeye başlar. Şarj cihazı bataryayı aşırı şarj etmeye çalışır ($Q_g < 0$) ve gerilim düşer. Bu olgu Q_g 'nin mutlak değerini kullanarak batarya aşırı şarj olduğunda polarizasyon direncini düşürerek Eşitlik 3.8'de verildiği gibi modellenenir.

$$\text{Pol.direnci} = \frac{Q}{|Q_g| - 0.1 \cdot Q} \quad (3.8)$$

Batarya türüne göre şarj ve deşarj denklemleri yazıldığında Pb batarya için Eşitlik 3.9 deşarj, Eşitlik 3.10 şarj, Li-Ion ve LiPo bataryalar için Eşitlik 3.11 deşarj, Eşitlik

3.12 şarj, NiMH ve NiCd bataryalar için Eşitlik 3.13 deşarj, Eşitlik 3.14 şarj denklemlerini ifade etmektedir.

Pb batarya deşarj denklemi;

$$V_b = E_0 - R \cdot i - K \frac{Q}{Q - Q_g} (Q_g + i^*) + e^t \quad (3.9)$$

Pb batarya şarj denklemi;

$$V_b = E_0 - R \cdot i - K \frac{Q}{Q_g - 0.1 \cdot Q} \cdot i^* - K \frac{Q}{Q - Q_g} \cdot Q_g + e^t \quad (3.10)$$

Li-Ion, LiPo batarya deşarj denklemi;

$$V_b = E_0 - R \cdot i - K \frac{Q}{Q - Q_g} (Q_g + i^*) + G e^{-B \cdot Q_g} \quad (3.11)$$

Li-Ion, LiPo batarya şarj denklemi;

$$V_b = E_0 - R \cdot i - K \frac{Q}{Q_g - 0.1 \cdot Q} \cdot i^* - K \frac{Q}{Q - Q_g} \cdot Q_g + G e^{-B \cdot Q_g} \quad (3.12)$$

NiCd, NiMH batarya deşarj denklemi;

$$V_b = E_0 - R \cdot i - K \frac{Q}{Q - Q_g} (Q_g + i^*) + e^t \quad (3.13)$$

NiCd, NiMH batarya şarj denklemi;

$$V_b = E_0 - R \cdot i - K \frac{Q}{|Q_g| - 0.1 \cdot Q} \cdot i^* - K \frac{Q}{Q - Q_g} \cdot Q_g + e^t \quad (3.14)$$

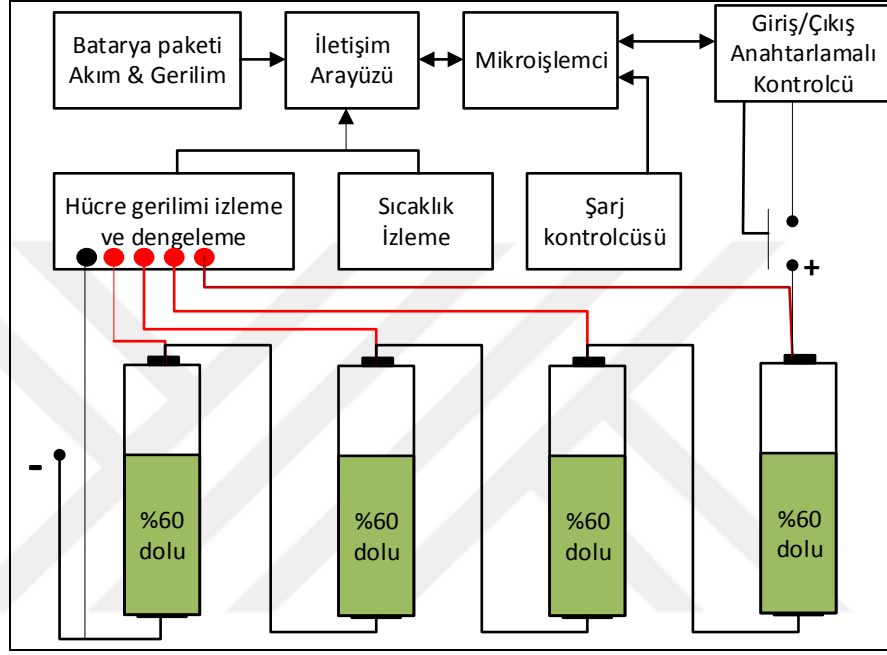
3.4. BATARYALARDA GÜVENLİK VE EMNİYET SİSTEMLERİ

Taşınabilir tüm bu elektronik ürünlerin geliştirilen fonksiyonlarını uzun süreli ve etkin olarak idame ettirebilmeleri için temel şart yüksek enerji yoğunluğuna sahip, güvenli, uzun ömürlü, bakımı kolay, kısa sürede şarj edilebilen ve çevreye zarar vermeyen bir enerji kaynağına sahip olmalarıdır. Tekrar şarj edilebilen bataryalar günümüzde taşınabilir elektronik ve elektrikli eşyalarda sahip olduğu üstün özellikler sayesinde yaygın olarak kullanılmaktadır [2].

Batarya yönetim sistemi istenmeyen ya da batarya için olumsuz durumlar meydana getirebilecek şartlarda, gerçek zamanlı olarak müdahale olanağı sağlamaktadır. Batarya verimini en üst seviyede tutmakta, şarj ve deşarj edildikçe kapasiteleri azalan hücrelerin gerilim seviyelerini dengelemekte ve bozularak devre dışı kalmalarının önüne geçmektedir. Batarya paketleri büyüdükçe BYS'ye duyulan ihtiyaç artmaktadır. Batarya sistemleri, özellikle lityum tabanlı bataryalar maliyeti yüksek sistemlerdir. Bu sebeple herhangi bir hasar meydana gelmesi durumunda bataryanın değişim maliyeti azımsanamayacak kadar fazla olabilmektedir. Bu ve benzeri durumlarda BYS gereklilikten çok zorunluluk haline gelmektedir. Batarya sisteminde dengelemenin birçok önemli faydası bulunmaktadır.

Bataryalar şarj ve deşarj edildikçe kapasiteleri azalır. Dengeleme olmadan yapılan şarj ve deşarjları gerçekleşmesi sonucunda bataryalar standart kullanım ömürlerini tamamlayamadan bozulur ve hızlı bir şekilde devre dışı kalırlar. Hücresel dengeleme sistemiyle birlikte kullanılan bataryalardan hem daha fazla enerji çekilebilir hem de kullanım ömürleri daha uzun olur. Bir BYS bataryayı yüksek akımdan, şarj esnasında yüksek gerilimden, deşarj esnasında düşük gerilimden, yüksek sıcaklıktan ve gerekli durumlarda düşük sıcaklıktan korur. Bataryanın aşırı şarj veya aşırı deşarj edilmesini önler. BYS batarya şarj durumu ve sağlık durumu hesaplaması yapabilir, dengeleyici sistem ile batarya hücre kapasitelerini aynı seviyede tutabilir, kullanıldığı ortamın kontrol birimiyle haberleşebilir, kondisyon izlemede ölçülen verileri kaydedebilir. Şekil 3.11'de genel BYS bileşenleri verilmektedir. Verilen sistemde hücre gerilim, akım ve sıcaklık değerleri izlenmekte, hücre dengelemesi yapılmaktadır. İletişim arayüzü ile kullanıcı bataryaya ait parametreleri izleyebilmektedir. Mikro işlemci ile

şarj kontrolcüsü kontrol edilmekte ve kontrollü şarj işlemi gerçekleştirilmektedir. Giriş/çıkış anahtarlamalı kontrolcü sayesinde sistemin açılıp kapanması mikroişlemci ile denetlenebilmektedir. Bu şekilde sistemin istendiği zaman başlatılıp durdurulması sağlandığı gibi olası bir tehlike durumunda sistem kapatılarak güvenlik sağlanmaktadır.



Şekil 3.11. Genel batarya yönetim sistemi bileşenleri.

Batarya grupları merkezi kontrol topolojisi, dağıtılmış kontrol topolojisi ve modüler kontrol topolojisi ile kontrol edilebilir. Merkezi kontrol topolojisinde tek bir denetleyici vardır ve her bir batarya hücresine kablolar yardımıyla bağlanılmaktadır. Bir adet denetleyicinin olması ve çok sayıda kablo olması sebebi ile kurulumu zordur. Dağıtılmış kontrol topolojisinde her batarya hücresine bir kart bağlanmaktadır. Bütün sistem denetleyiciye tek bir haberleşme hattı üzerinden bağlıdır. Az sayıda kablo kullanıldığından dolayı kurulumu kolay ve yapısı çok esnekler. Çok sayıda kart gerektirdiğinden dolayı maliyeti fazladır. Modüler kontrol topolojisinde her biri bir kaç batarya hücresini kontrol eden denetleyici üniteleri vardır ve bu denetleyici üniteleri kontrol eden ana ünite mevcuttur. Ana ünite ile diğer üniteler bir iletişim ağı üzerinden haberleşme sağlamaktadır.

Bir batarya paketi içindeki seri bağlantılı hücreler hassas şekilde eşit kapasite ve gerilime sahip olmalıdır. Bunun sağlanamadığı durumlarda şarj-deşarj döngüsü yapıldıkça hücreler arasında dengesizlik oluşur ve bazı hücreler aşırı şarj yada aşırıdeşarjdan bozulur. Bu durum bazı batarya tiplerinde patlama yanma gibi çok tehlikeli durumlara sebep olurken bazı güvenli tiplerde bu tür ciddi sonuçlar doğurmasa da kapasitede düşme, kimyasal sızıntısı, verimsizlik ve gerilimde düşmeye sebep olur. Batarya paketlerinde dengesizlik ve hücre kaybı istenmeyen bir durumdur. Batarya hücre grubundan maksimum verim almak için şarj edilirken hepsinin maksimum seviyede şarj olmasının sağlanması gereklidir. Batarya paketinde toplam kapasiteyi hücrelerden en düşük seviyede olan belirler. Bu da batarya grubunun kapasitesinin ve veriminin düşmesine sebep olur. Hücre dengelemesi yaparak verimin artırılması sağlanabilmektedir.

Batarya dengeleme pasif dengeleme yada aktif dengeleme olmak üzere iki türlü yapılabilmektedir. Pasif dengeleme hücre gerilimlerinin kontrollü olarakdeşarjı ile eşitlenmesi prensibine göre çalışır. Hücrelerin korunması temel alınmıştır. Ancak sürekli bir güç kaybı bulunmaktadır. Gerili yüksek olan hücre anma değerine inene kadardeşarj edilir. Bu sebeple verimlilik açısından diğer tekniklerle kıyaslanamayacak kadar güç kaybı vardır. Göreceli, olarak maliyeti düşük, uygulaması kolaydır. Aktif dengeleme tekniği ile enerji gerilimi yüksek olan hücreden gerilimi düşük olan hücreye aktarılır. Aktif dengeleme tekniği kapasitif ve endüktif olmak üzere iki farklı topoloji ile uygulanır. Ayrıca diğerinden farklı olarak şarjdeşarj esnasında uygulanabilir. Kapasitif dengeleme tekniğinde aynı anda sadece bir hücrenin dengelemesi yapılabilir. Dizinin en sonuna yakın hücrelerde bir dengeleme yapılacak ise işlem daha uzun zaman alır. Dirençlerde güç kaybı söz konusu olmaz. Ancak endüktif dengeleme sistemine göre yavaş çalışır. Endüktif dengeleme tekniğinde dengesizlik gerilimi yüksek olan hücredeki enerji düşük gerilimli hücreye aktarılır. Topolojisi karmaşık ve maliyetli olmakla birlikte hızlı ve verimli çalışan bir tekniktir. Herhangi bir anda ve herhangi bir hücre için azaltan veya yükselten dönüştürücüler yardımıyla dengeleme işlemi yapılabilir.

3.5. DENEYSEL ÇALIŞMALARDA KULLANILAN BATARYALAR

Bu tez çalışmasında yaygın olarak kullanılan beş çeşit şarj edilebilir bataryalar kullanılmaktadır. Çalışmada özellikleri birbirine denk olan bataryalar seçilmiştir. Bu şekilde batarya tür tahmininde bataryaların denk olması durumunda karşılaşılabilecek tahmin hatasının üstesinden gelinmektedir. Tez çalışmasında Pb, Li-Ion, LiPo, NiCd, NiMH olmak üzere beş çeşit batarya kullanılmaktadır. Bu bataryalara ait teknik bilgiler Çizelge 3.3'te verilmektedir. Bu çizelgede 17. sırada bataryaların Wh değerleri verilmektedir. Bataryaların nominal gerilim ve nominal kapasite değerleri birbirinden farklıdır fakat Wh değerleri çok yakındır.

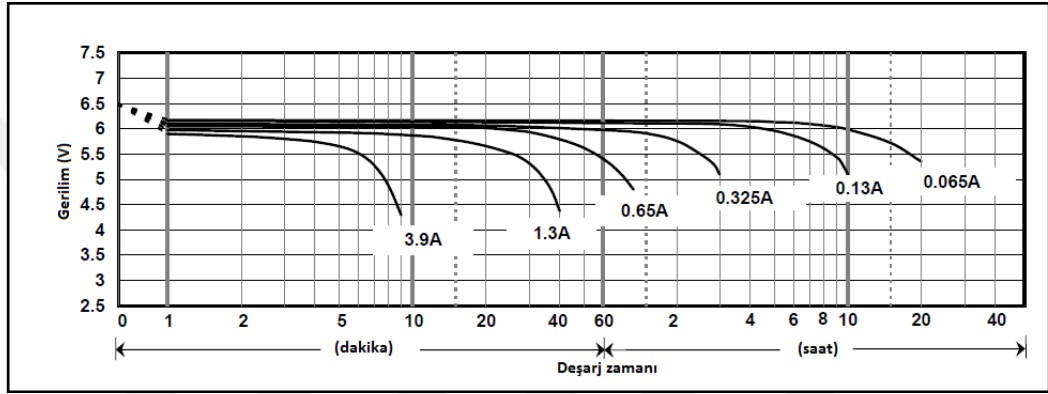
Çizelge 3.3. Çalışmada kullanılan bataryaların katalog bilgileri.

Sıra	Özellik	Pb	Li-Ion	Li-Po	NiCd	NiMH
1	Nominal Gerilim (V)	6	3,6	3,7	3,6	3,6
2	Nominal Kapasite (mAh)	1300	2200	2000	2200	2100
3	Nominal kapasite max (mAh)	3900	4400	6000	22000	6300
4	Max çalışma sıcaklığı (°C)	40	60	60	60	50
5	Min çalışma sıcaklığı (°C)	-15	-10	-20	-20	-20
8	Standart şarj akımı (mA)	300	750	200	200	210
9	Standart şarj süresi (h)	10	4	16	16	16
10	Hızlı şarj akımı (mA)	520	1500	1000	1000	2100
11	Hızlı şarj süresi (h)	5	2	3	2	1,6
12	Kesim gerilimi (V)	4,8	3	2,7	3	2,7
13	Ağırlık (gr)	280	44	36	150	96
14	Çevrim süresi	2000	300	300	500	300
15	C oranı	2	2	3	10	3
16	Tam şarj gerilimi (V)	7,4	4,2	4	4,2	4,2
17	Wh (Nominal gerilim (V) x Nominal kapasite (Ah))	7,8	7,9	7,4	7,9	7,6

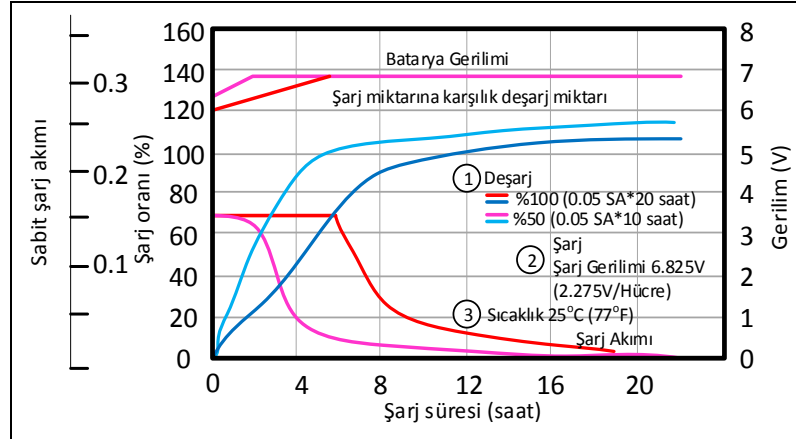
Şekil 3.12'de deneylerde kullanılacak kurşun asit tipi bataryanın resmi verilmektedir. Ttec firması tarafından üretilen Ttec FP613 ürün kodlu bu akünün gerilimi 6 V, kapasitesi 1,3 Ah'tır. Şekil 3.13'te kurşun asit bataryaya ait 25 °C'deki deşarj karakteristikleri verilmektedir. Bataryayı deşarj ederken deşarj akımı azaldıkça kullanım süresi artmaktadır. Şekil 3.14'te kurşun asit bataryaya ait şarj karakteristikleri verilmektedir.



Şekil 3.12. Kurşun asit batarya.



Şekil 3.13. Kurşun asit batarya deşarj karakteristikleri.

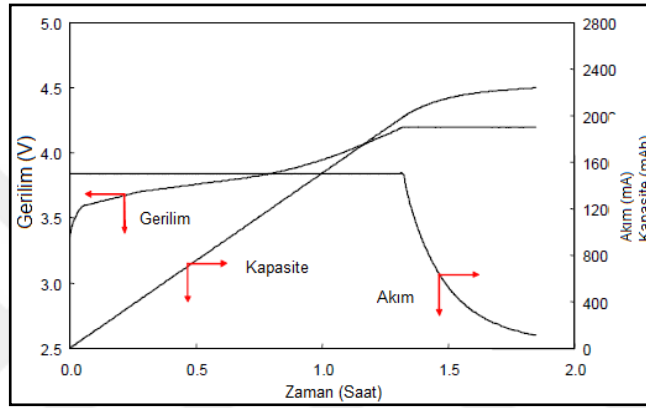


Şekil 3.14. Kurşun asit batarya şarj karakteristikleri.

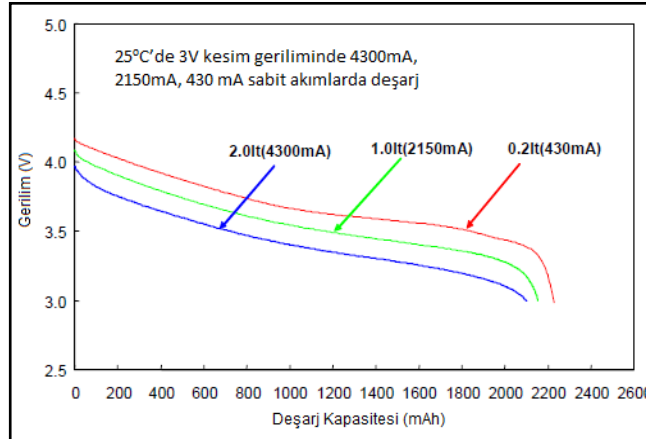
Şekil 3.15'te deneylerde kullanılacak Panasonic firmasının ürettiği CGR18650CG ürün kodlu Li-Ion bataryanın resmi verilmektedir. Bu akünün gerilimi 3,7 V, kapasitesi 2,2 Ah'tır. Tek hücrelidir. Şekil 3.16'da bu bataryaya ait şarj karakteristikleri ve Şekil 3.17'de deşarj karakteristikleri verilmektedir.



Şekil 3.15. Lityum iyon batarya.



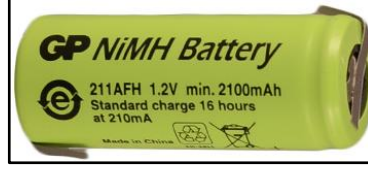
Şekil 3.16. Lityum iyon batarya şarj karakteristikleri.



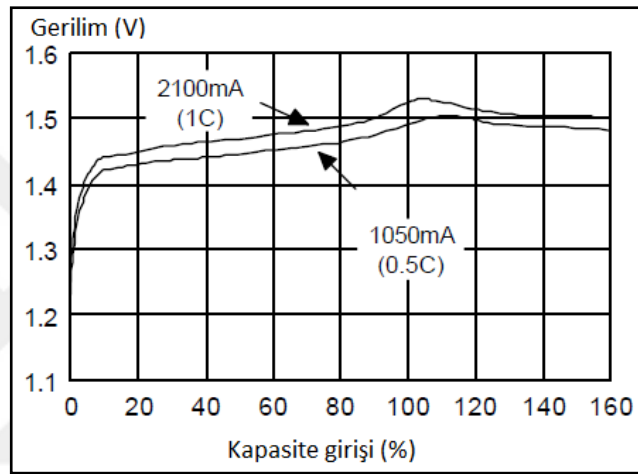
Şekil 3.17. Lityum iyon batarya deşarj karakteristikleri.

Şekil 3.18'de deneylerde kullanılacak GP firmasına ait 211AFH ürün kodlu nikel metal hidrit tipi batarya hücresinin resmi verilmektedir. Bu akünün gerilimi 1,2 V, kapasitesi 2,1 Ah'tır. Tek hücrelidir. Bu bataryaya ait şarj ve deşarj karakteristikleri

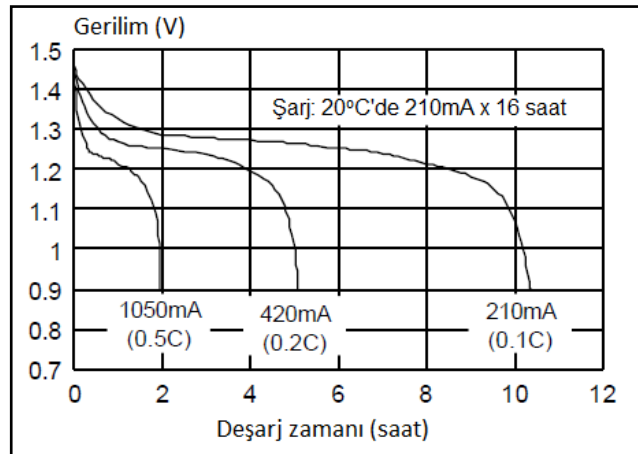
Şekil 3.19 ve Şekil 3.20'de verilmektedir. Bu batarya tipinden 3 batarya seri bağlanarak 3,6 V gerilim elde edilmektedir.



Şekil 3.18. Nikel metal hidrit batarya.



Şekil 3.19. Nikel metal hidrit batarya şarj karakteristikleri.



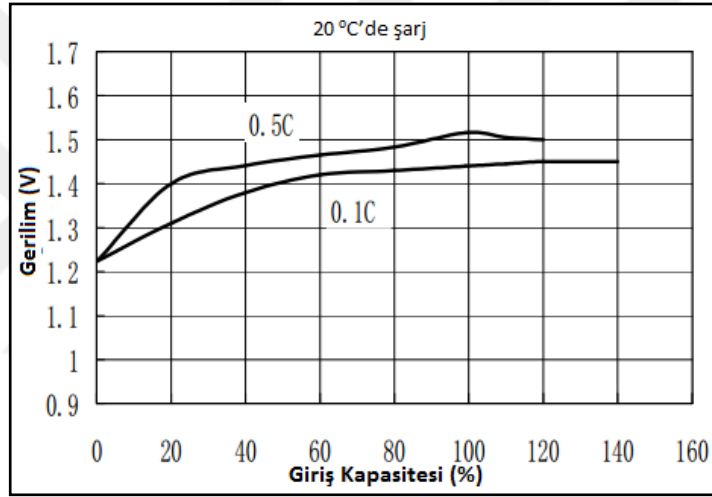
Şekil 3.20. Nikel metal hidrit batarya deşarj karakteristikleri.

Şekil 3.21'de deneylerde kullanılacak Power-Xtra firmasının ürettiği nikel kadmiyum tipi bataryanın resmi verilmektedir. Bu bataryanın gerilimi 3,6 V, kapasitesi 2,2

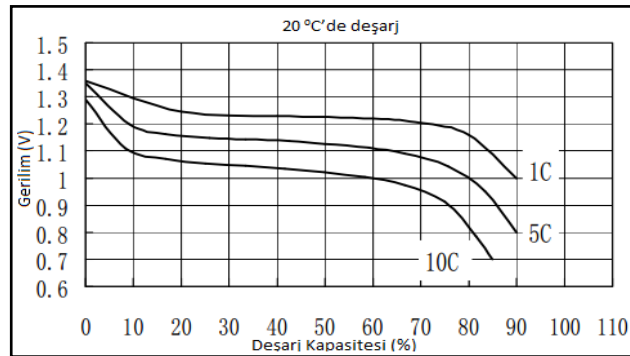
Ah'tır. Üç hücrelidir. Şekil 3.22 ve Şekil 3.23'te bir NiCd batarya hücresine ait şarj ve deşarj karakteristikleri verilmektedir.



Şekil 3.21. Nikel kadmiyum batarya.



Şekil 3.22. Nikel kadmiyum batarya şarj karakteristikleri.

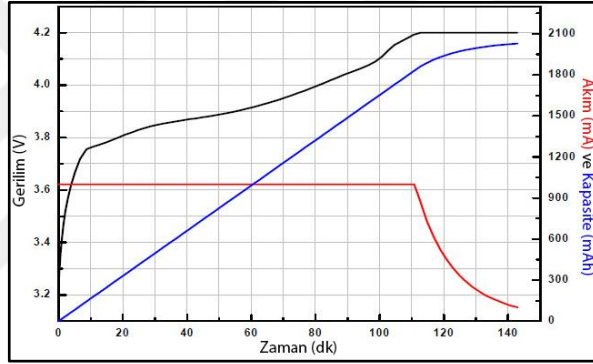


Şekil 3.23. Nikel Kadmiyum batarya deşarj karakteristikleri.

Şekil 3.24'te deneylerde kullanılacak Power-Xtra firmasının PX405486 ürün kodlu LiPo bataryanın resmi verilmektedir. Bu akünün gerilimi 3,7 V, kapasitesi 2 Ah'tır. Şekil 3.25'te bu bataryaya ait şarj verilmektedir. Şarj işlemi 23 ± 3 °C'de 0,5 C, 4,2 V gerilim ile yapılmıştır ve şarj akımı 1/20C mA değerine geldiğinde de şarj işlemi sonlandırılmıştır.

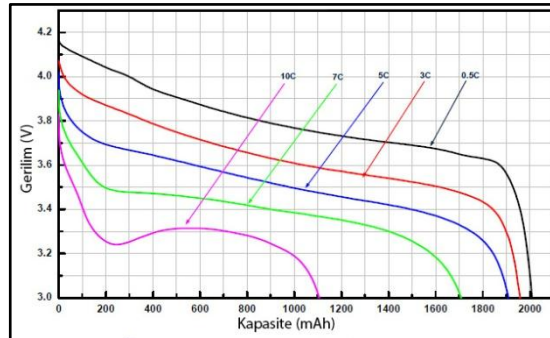


Şekil 3.24. LiPo batarya.



Şekil 3.25. LiPo batarya şarj karakteristikleri.

Şekil 3.26'da ise deşarj karakteristikleri verilmektedir. Deşarj işlemi farklı C oranlarındaki sabit akımlarda 23 ± 3 °C'de gerçekleştirilmiş ve batarya gerilimi 3 V'a eriştiğinde deşarj işlemi sonlandırılmıştır.



Şekil 3.26. LiPo batarya deşarj karakteristikleri.

BÖLÜM 4

YAPAY SİNİR AĞLARI

Yapay sinir ağları insan beyni ilham alınarak geliştirilmiştir. YSA'lar bilgiyi işleme teknolojisidir. YSA ile biyolojik sinir sisteminin çalışma sistemi taklit edilmektedir. Benzetimi yapılan sinir hücreleri nöronlar içermektedir. Yapay sinir ağları nöronların çeşitli şekillerde birbirine bağlanmasıyla oluşmaktadır. YSA'lar hafızaya alma, öğrenme ve veriler arasındaki bağlantıyı ortaya çıkarma becerisine sahiptirler. Bilgisayar teknolojisi çok gelişmiştir ve bu sayede YSA'lar çok nano saniyeler derecesinde işlem yapabilmektedir. YSA'lar başarılı sonuçlar verdiği için gün geçtikçe uygulama alanı artmaktadır. Her ağ modelinin değişik karakteristik özellikleri vardır ama temelde YSA'lar temel ortak özelliklere sahiptirler. Bir çok nörondan oluşan YSA'lar, nöronların eş zamanlı olarak çalışması sayesinde karmaşık işlevleri çözerler. Zaman içerisinde bu nöronlardan her hangi bir tanesi fonksiyonunu kaybetse bile sistem çalışmasını sürdürebilir. YSA'lar genelleme yeteneğine sahiptir. Yani ağ yapısının, eğitim esnasında kullanılan sayısal bilgilerden eşleştirmeyi tanımlayan temel özellikleri çıkarabilir ve böylece eğitim sırasında kullanılmayan girdiler için de anlamlı çıkışlar üretebilir. YSA fonksiyonları doğrusal olmayabilir. YSA'ların en önemli özelliklerinden biri de sayısal ortamda tasarlanabilmeleri ve donanımsal olarak ta gerçekleştirilebilmeleridir.

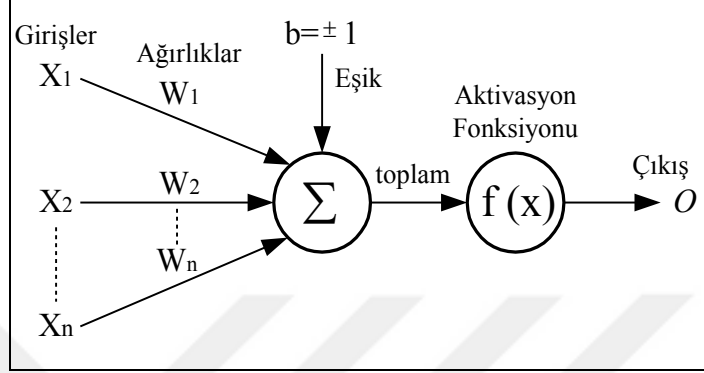
YSA'lar makine öğrenmesi gerçekleştirebilirler. Olayları öğrenebilir ve benzer olaylar karşısında mantıklı kararlar verebilirler. Bilgiyi işleme teknikleri geleneksel programlama tekniklerinden farklıdır. Bu sayede geleneksel programlamanın beraberinde getirdiği birçok olumsuz durum ortadan kaldırılabilir. Geleneksel programlamada bilgi veri tabanları veya dosyalarda düzenli bir şekilde tutulmaktadır, YSA'larda ise bilgiler ağın tamamına yayılmıştır ve değerler ağ bağlantılarında tutulur. Sinir hücrelerinin ağırlık ve bağlantı dereceleri, ağın bilgisini göstermektedir. Tek bir bağlantı kendi başına bir anlam ifade etmemektedir. YSA'lar örnekleri

kullanarak öğrenme gerçekleştirirler. YSA'nın öğrenilmesi için ilk olarak örneklerin belirlenmesi, bu örneklerin ağa gösterilmesi ve son olarak hedef çıkışlara göre ağın eğitilmesi gerekmektedir. Yapay sinir ağının başarısı ağın eğitimi için seçilen örnekler ile doğru orantılıdır. Ağa olay bütün yönleri ile gösterilemezse ağ yanlış çıktılar üretebilmektedir. YSA'lar daha önce görülmemiş girdiler için bilgi üretebilirler. YSA'lar eğitimleri sırasında kendilerine verilen örneklerden genellemeler çıkarmaktadırlar. Bu genellemeler ile yeni örnekler hakkında bilgi üretebilmektedirler. Hata toleransına sahiptirler.

Sınıflandırma ve örüntü işleme problemlerinde başarıyla uygulanmaktadırlar. YSA'lar kendilerine verilen örüntüleri kendisi veya diğerleri ile ilişkilendirebilir. Bunun yanında kendisine verilen örneklerin sınıflandırılması ile bir sonraki verinin hangi sınıfa dahil olacağına karar verilmesi konusunda başarıyla kullanılabilirler. Örüntü tamamlamada başarıyla kullanılabilirler. YSA'lar çevrimiçi olarak öğrenebilirler ve kendi kendilerini eğitebilirler. Eksik bilgi ile çalışabilmektedirler. Geleneksel sistemlerin aksine YSA'lar eğitimi tamamlandıktan sonra veriler eksik bilgi içerse bile çıktı üretebilirler.

YSA'ların bahsedilen pek çok üstünlüğünün yanında bazı yetersizlikleri de vardır. YSA'ların donanım bağımlı çalışmaları olumsuz yanlarından biridir. YSA'ların en önemli özellikleri ve var oluş nedenlerinden birisi olan paralel işlem yapabilme yeteneğidir ve paralel çalışan işlemciler ile daha iyi performans gösterirler. YSA'larda probleme uygun ağ yapısının belirlenmesi için geliştirilmiş bir kural bulunmamaktadır. Deneyim ve deneme yanılma yolu ile uygun ağ yapısı belirlenmektedir. YSA'larda öğrenme katsayısı, hücre sayısı, katman sayısı gibi parametrelerin belirlenmesinde belirli bir kural yoktur. Her problem için farklı bir yaklaşım söz konusu olabilmektedir. Öğrenilecek problemin ağa gösterimi önemli bir problemdir. YSA'lar sayısal bilgiler ile çalışabilmektedirler. Problemler YSA'lara tanıtılmadan önce sayısal değerlere dönüştürülmek zorundadırlar. Burada belirlenecek gösterim şekli ağın performansını doğrudan etkileyecektir. Kullanıcının yeteneği ağın başarımına etki etmektedir. Ağın eğitiminin ne zaman bitirilmesi gerektiğine dair kesin bir yöntem bulunmamaktadır. Ağın örnekler üzerindeki hatasının belirli bir değerin altına indirilmesi eğitimin tamamlandığı anlamına gelir.

Ağın davranışları açıklanamaz. YSA bir probleme çözüm ürettiğinde bunun nasıl ve neden olduğuna dair bir ipucu vermez. Bu durum ağa olan güveni azaltan bir etkendir. Yapay sinir ağları başlıca; sınıflandırma, modelleme ve tahmin uygulamaları olmak üzere, pek çok kullanım alanına sahiptir [107].



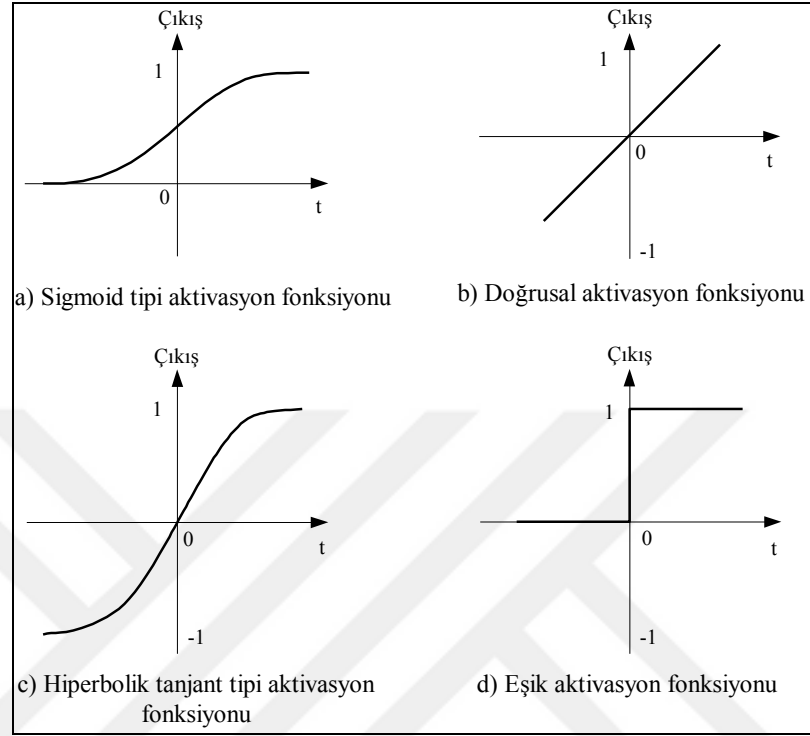
Şekil 4.1. Temel yapay sinir ağı hücresi.

YSA'lar birçok işlem biriminden oluşan matematiksel sistemlerdir. Bu birimler ağırlıklandırılmış şekilde birbirine bağlıdır. Bir işlem birimi transfer fonksiyonu olarak adlandırılan bir denklemdir. Diğer nöronlardan gelen sinyalleri alır; bunları birleştirir, dönüştürür ve sayısal bir sonuç ortaya çıkartır. Genelde işlem birimleri kabaca gerçek nöronlara karşılık gelirler ve bir ağ içinde birbirlerine bağlanırlar. Bu yapı da sinir ağlarını oluşturur.

Yapay sinir ağları günlük hayatımızda pek çok kullanım alanına sahiptir. YSA'ların uygulama alanları artmakta ve gelişimi sürmektedir. Temel bir yapay sinir ağı hücresi biyolojik sinir hücresine göre çok daha basit bir yapıya sahiptir. En temel sinir hücresi modeli Şekil 4.1'de verilmektedir.

Yapay sinir ağı hücresinde temel olarak dış ortamdan ya da diğer sinir ağı hücrelerinden alınan girişler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıkışlar bulunmaktadır. Dış ortamdan alınan veri ağırlıklar aracılığıyla sinir ağı hücrelerine bağlanır ve bu ağırlıklar ilgili girişin etkisini belirler. Toplam fonksiyonu ise net girişi hesaplar, net giriş, girişlerle bu girişlerle ilgili ağırlıkların çarpımının bir sonucudur. Aktivasyon fonksiyonu net çıkışı hesaplar ve bu işlem aynı zamanda nöron çıkışını vermektedir. Genelde aktivasyon fonksiyonu doğrusal olmayan bir

fonksiyondur. Şekil 4.1'de görülen b bir sabittir, bias veya aktivasyon fonksiyonunun eşik değeri olarak adlandırılır [108].



Şekil 4.2. Aktivasyon fonksiyonları.

Nöron çıkışı (o), $o = f(w.X + b)$ eşitliğinden hesaplanır. Buradaki w ağırlıklar matrisi, X ise girişler matrisidir. n giriş sayısı olmak üzere; $w = w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$ $X = x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ şeklinde yazılabilir. Şekil 3.5'teki toplam değerini;

$$\text{toplam} = \sum_{i=1}^n w_i x_i + b \text{ ve } o = f(\text{toplam}) \text{ } o = f\left(\sum_{i=1}^n w_i x_i + b\right) \text{ şeklinde de yazılabilir.}$$

Eşiklikteki $f(x)$ aktivasyon fonksiyonudur. Aktivasyon fonksiyonu girdi ve çıktı birimleri arasındaki eğrisel eşleşmeyi sağlar. Aktivasyon fonksiyonunun doğru seçilmesi, ağın performansı üzerinde önemli etkiye sahiptir. Şekil 4.2. a' da sigmoid transfer fonksiyonu görülmektedir. Lojistik fonksiyon olarak da adlandırılan bu fonksiyonunun doğrusal olmamasından dolayı türevi alınabilmektedir (Eş.4.1). Böylece geri yayımlı ağılarda kullanılmak mümkün olabilmektedir. Doğrusal aktivasyon fonksiyonunun çıkışı girişine eşittir (Eş. 4.2). Sürekli çıkışlar gerektiği zaman çıkış katmanındaki aktivasyon fonksiyonunun doğrusal aktivasyon fonksiyonu olabildiğine dikkat edilmelidir (Şekil 4.2. b).

$$\Psi(N) = \frac{1}{1 + e^{-N}} \quad (4.1)$$

$$\Psi(N) = \alpha x, \quad \alpha \in \mathfrak{R} \quad (4.2)$$

$$\Psi(N) = \tanh(N) = \frac{e^N - e^{-N}}{e^N + e^{-N}} \quad (4.3)$$

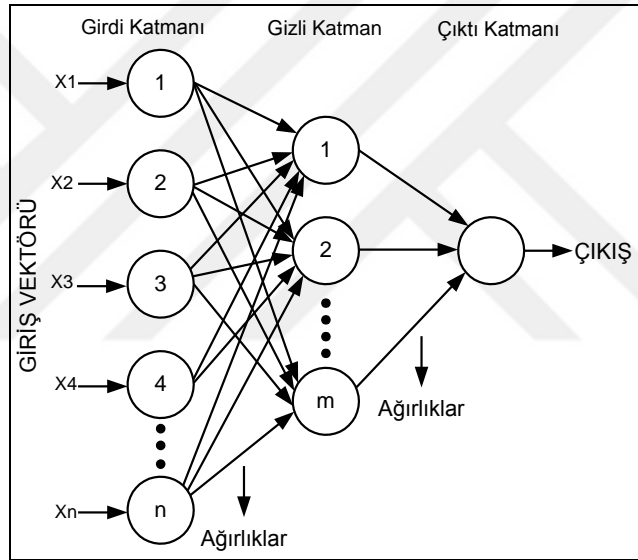
$$\Psi(N) = \begin{cases} 0 & N \leq 0 \\ 1 & N > 0 \end{cases} \quad (4.4)$$

Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu da doğrusal olmayan türevi alınabilir bir fonksiyondur (Eş. 4.3). +1 ile -1 arasında çıkış değerleri üreten bu fonksiyon lojistik fonksiyona benzemektedir (Şekil 4.2.c). Şekil 4.2.d'de eşik aktivasyon fonksiyonunun grafiği görülmektedir. Eşik aktivasyon fonksiyonu eğer net değeri sıfırdan küçükse sıfır, sıfırdan daha büyük bir değer ise net çıkışında +1 değeri verir (Eş. 4.4). Şekil 4.2'te verilen fonksiyonlar en genel aktivasyon fonksiyonlarıdır. Bu aktivasyon fonksiyonlarından başka fonksiyonlar da bulunmaktadır. Yapay sinir ağında hangi aktivasyon fonksiyonunun kullanılacağı probleme bağlı olarak değişiklik göstermektedir [108]. YSA'lar tüm batarya türlerine uyarlanabilirler. Yapay zeka teknikleri eğitim verisi gerektirirler ve gerçek zamanlı çalıştırılabilirler.

4.1. İLERİ BESLEMELİ YAPAY SİNİR AĞLARI

İleri beslemeli YSA'larda hücreler katmanlar şeklinde düzenlenir ve bir katmandaki hücrelerin çıkışları bir sonraki katmana ağırlıklar üzerinden giriş olarak verilir. İleri beslemeli yapay sinir ağları YSA'lar içinde en popüler olanıdır. Sınıflandırma, tahmin problemlerinde başarıyla uygulanmaktadır. En temel hali ile çok katmanlı ileri beslemeli bir yapay sinir ağı mimari yapısı Şekil 4.3'te verilmektedir. Bu tip ağların eğitiminde en çok bilinen geriye yayılım algoritması yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle bu ağlara geriye yayılım ağları da denmektedir.

Şekil 4.3'te de görüldüğü üzere çok katmanlı ileri beslemeli bir yapay sinir ağı mimarisi üç kısımdan oluşmaktadır. Bunlar girdi katmanı, gizli katman (ya da katmanlar) ve çıktı katmanıdır. Katmanlar, nöron adı verilen birimlerden oluşmaktadır. YSA mimarisinin tam olarak belirlenmesi katmanlardaki nöron sayısına karar verilmesi ile olur. İleri beslemeli ağlarda bağlantılar tek yönlüdür ve ileriye doğrudur. Aynı katmanın birimleri arasında bağlantı bulunmamaktadır. Herhangi bir problemi çözmek amacıyla kullanılan YSA da, katman sayısı ve orta katmandaki hücre sayısı gibi kesin belirlenememiş bilgilere rağmen nesne tanıma ve sinyal işleme gibi alanların yanı sıra ileri beslemeli YSA, sistemlerin tanılanması ve denetiminde de yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 4.3. Çok katmanlı ileri beslemeli sinir ağı mimarisi.

Zaman serilerinin gelecek tahmininde en yaygın kullanılan türü üç katmanlı ileri beslemeli sinir ağıdır. Tek değişkenli zaman serileri için ağıın girdileri geçmiş veya gecikmeli değişkenler, çıktısı ise tahmin değeridir.

Yapay sinir ağlarında ağırlıkların belirlenmesinde kullanılan birçok öğrenme algoritması vardır. Geri yayılım algoritması ve Levenberg-Marquardt algoritması en yaygın olarak kullanılan öğrenme algoritmalarıdır. Geri yayılım algoritması eldeki veri ile ağıın çıktısı arasındaki farka dayalı olarak ağırlıkların güncellenmesini gerçekleştirir. Geri yayılım algoritmasında kullanılan öğrenme parametresi en uygun

sonuca yeterli derecede yaklaşılmada önemli rol oynar. Öğrenme parametresi sabit olarak alınabileceği gibi, algoritma içinde dinamik olarak da güncellenebilir. LM algoritmasının geri yayılım algoritmasına ileri beslemeli ağırlarda en hızlı öğrenme algoritması olması ve yakınsama hızı yavaş olan problemlerden etkilenmemesi gibi bazı üstünlükleri vardır.

Yapay sinir ağının istenilen giriş-çıkış karakteristiğini ne kadar sağladığının bir ölçüsü olarak, YSA'nın çıkış katmanındaki her sinire ait hata sinyallerinin karelerinin toplamından oluşan bir uygunluk fonksiyonu tanımlanmaktadır. Eğitimin i'inci iterasyonunda YSA'nın çıkış katmanındaki i'inci sinirinin çıkış değeri c_i , bu sinirden vermesi istenilen değer c_i' ile gösterilirse, i sinirinin hata işareti e_i Eşitlik 4.5'e göre hesaplanmaktadır.

$$e_i = c_i' - c_i \quad (4.5)$$

Uygunluk fonksiyonu E'de Eşitlik 4.6'da verildiği gibi ifade edilmektedir.

$$E = \frac{1}{2} \sum_i e_i^2(k) \quad (4.6)$$

Geri yayılım algoritmasının amacı uygunluk fonksiyonunu en küçük yapmaktır. Uygunluk fonksiyonu YSA'nın ağırlık değerlerine bağlı olduğundan, algoritma YSA ağırlıklarının en uygun biçimde değiştirilmesi işlemlerinden oluşmaktadır. YSA'daki her w_{ij} ağırlık değerinin değişme miktarı gradyan iniş yöntemi olarak adlandırılan eşitlik 4.7'den yola çıkarak bulunmaktadır. Burada α öğrenme katsayısıdır.

$$\Delta w_{ij} = -\alpha \frac{\partial E(\bar{w})}{\partial w_{ij}} \quad (4.7)$$

Geri yayılım algoritmasında her iterasyon, ileri yayılım ve geri yayılım olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. İleri yayılım aşamasında YSA'nın o andaki durumunda YSA'ya uygulanan giriş işaretlerine karşı YSA'nın çıkışlarında oluşan değerler hesaplanmaktadır. Geri yayılım aşamasında, çıkışlarda oluşan hatalardan yola çıkılarak, devredeki ağırlıkların yeniden düzenlenmesi yapılmaktadır. YSA'daki her

ağırlık değişimi Eşitlik 4.8 ile yapılmaktadır. Eşitlik 4.9'da çıkış katmanı sinirleri için ve Eşitlik 4.10'da gizli katmanda bulunan sinirler için δ_j hesaplaması verilmektedir.

$$\Delta w_{ij} = \alpha \delta_j y_i \quad (4.8)$$

$$\delta_j = e_j(k) f'_j \quad (4.9)$$

$$\delta_j = f'_j \cdot \sum_m \delta_m w_{mj} \quad (4.10)$$

olarak tanımlanmaktadır. f_j , j sinirinin aktivasyon fonksiyonudur. Bu tanımlar ile hata işaretlerinin devrenin çıkışından girişine doğru akışı, ileri yayılma aşamasında işaretlerin ileri doğru akışına benzetilmektedir [109].

Levenberg-Marquardt algoritması için $E(w)$ 'nin bir uygunluk fonksiyonu olduğu düşünülürse m tane hata terimi için $e_i^2(w)$ Eşitlik 4.11'de verilmektedir. Bu eşitlikte verilen $e_i^2(w) = (c_i' - c_i)^2$ 'dir. Her e_i^2 değeri, hedef çıkış c_i' ile gerçek çıkış c_i arasındaki farkın karelerini ifade eder. Burada amaç fonksiyonu $f()$ ve onun fonksiyonel determinanı j'nin bir noktada w bilindiği farz edilir.

$$E(w) = \sum_{i=1}^m e_i^2(w) = \|f(w)\|^2 \quad (4.11)$$

LM'de amaç, $E(w)$ en küçük iken w (ağırlık) vektörünün bulunmasıdır. LM'nin kullanılmasıyla yeni vektör w_{k+1} , farz edilen vektör w_k 'dan Eşitlik 4.12'ye göre hesaplanmaktadır.

$$w_{k+1} = (w_k + \delta w_k) \quad (4.12)$$

Eşitlik 4.12'de verilen δw_k Eşitlik 4.13'te verilmektedir. Bu eşitlikte J_k f'nin (hatanın) w_k değerlendirilmiş fonksiyonel determinanı, λ Marquardt parametresini, I birim veya tanımlama matrisini ifade etmektedir.

$$(\mathbf{J}_k^T \mathbf{J}_k + \lambda \mathbf{I}) \delta \mathbf{w}_k = -\mathbf{J}_k^T \mathbf{f}(\mathbf{w}_k) \quad (4.13)$$

LM algoritması :

1. $E(\mathbf{w}_k)$ 'yi hesapla
2. Küçük bir λ değeri ile başla
3. $\delta \mathbf{w}_k$ değerini Eşitlik 4.13'e göre hesapla ve $E(\mathbf{w}_k + \delta \mathbf{w}_k)$ değerini hesapla
4. Eğer $E(\mathbf{w}_k + \delta \mathbf{w}_k) \geq E(\mathbf{w}_k)$ ise λ değerini 10 kat arttır ve 3. adıma geri dön.
5. Eğer $E(\mathbf{w}_k + \delta \mathbf{w}_k) < E(\mathbf{w}_k)$ ise λ değerini 10 kat azalt
 $\mathbf{w}_k: \mathbf{w}_k \leftarrow \mathbf{w}_k + \delta \mathbf{w}_k$ 'yi güncelleştir ve 3. adıma git

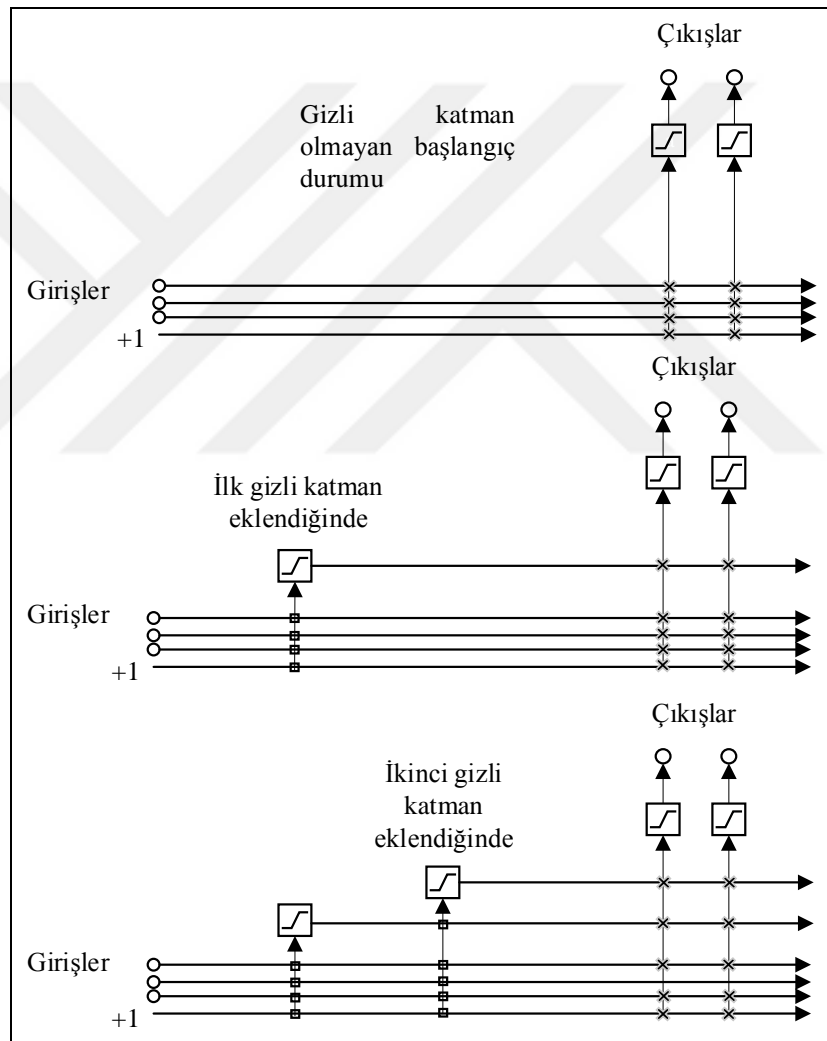
Hedef çıkışı hesaplamak için ilk başta ağırlık dizisi \mathbf{w}_0 'a başlangıç değerleri atanır ve hataların karelerinin toplamı (e_i^2) hesaplanır. Bütün veri set için e_i^2 hata değerlerinin elde edilmesiyle ağırlık dizileri yukarıda verilen LM algoritmasına göre güncellenir [110].

4.2. KADEMELİ BAĞLANTILI YAPAY SİNİR AĞLARI

Kademeli bağlantılı yapay sinir ağları (KBYSA) İBYSA'lara benzemektedir fakat giriş ile ve bir önceki katmanlarla diğer katmanlar arasında bağlantı vardır. İleri beslemeli yapay sinir ağı gibi, iki ya da daha fazla katmanlı kademeli yapay sinir ağı giriş ve çıkışı verilen veri setlerinden öğrenme gerçekleştirir.

KBYSA 1990 yılında Scott Fahlman tarafından geliştirilmiştir ve danışmanlı öğrenme algoritmasına sahiptir. KBYSA küçük bir ağ ile başlar ve sonra otomatik olarak eğitilerek birer birer gizli katman birimlerini ekler, çok katmanlı bir yapıya ulaşır. KBYSA mimarisinin diğer algoritmalar arasında çabuk öğrenme, ağın kendi boyutunu ve topolojisini kendi kendine belirleme, oluşturduğu yapıyı koruma, sadece eğitim seti değiştiğinde yeniden yapılanma, hata sinyallerinin geri beslemesini gerektirmeme gibi üstünlüklere sahiptir [111].

Eğitilmemiş bir KBYSA boş durumdadır, hiç bir gizli katmanı yoktur. Ağın eğitimi istenen sonuçlar elde edilene kadar devam eder. Tek katmanlı bir yapı yeterliyse ağın eğitimi tamamlanır. Gizli katmanlardaki nöronların ağırlık değerleri statiktir başlangıçta bir kere eğitilirler ve bir daha değiştirilmezler. Bu özellikler kalıcı olarak ağın hafızasında saklanır. Gizli nöronların oryantasyonunu koruması KBYSA'ya başlangıç eğitim bölümünden sonra deneyim kazanmasını sağlar. Çok az sinir ağı mimarisi buna izin verir. Örneğin geri beslemeli sinir ağı tekrar eğitildiğinde başlangıç eğitimi unutulur.



Şekil 4.4. KBYSA mimarisi.

KBYSA mimarisi Şekil 4.4'te verildiği gibidir. Şekilde başlangıç durumu ve gizli katmanlar eklendikten sonraki durumlar gösterilmektedir. Dikey çizgiler tüm giriş

aktivasyonlarını toplar. Kutu şeklinde olan bağlantılar dondurulmuştur, x şeklinde olan bağlantılar tekrar eğitilir. KBYSA iki fikrin birleşimidir. Birincisi kademeli mimaride gizli katmanlar bir kere eklenir ve eklendikten sonra bir daha değiştirilmez. İkincisi öğrenme algoritmasıdır, burada yeni gizli katmanlar oluşturulur. Her yeni gizli katman için ağ çıkıştaki hatayı azaltmaya yönelik giriş ile çıkış arasındaki en iyi bağlantıyı oluşturmaya çalışır. KBYSA algoritması:

1. KBYSA sadece giriş ve ona doğrudan bağlı çıkış katmanının olduğu en küçük ağ ile başlar.
2. Çıkış biriminde biten bağlantıları hatada artık azalma olmayana kadar bir öğrenme algoritmasıyla eğitir.
3. Aday olarak adlandırılan birimler oluşturulur. Her aday birim tüm giriş birimlerine ve mevcut gizli birimlere bağlıdır. Çıkış birimleri ve aday birimler arasında ağırlık yoktur.
4. Aday birimlerine giden tüm bağlantıları eğiterek aday birimlerin aktivasyonu ile ağın kalan hatası arasındaki korelasyonu en yüksek yapmaya çalışır. Eğitimde sıradan bir öğrenme algoritması kullanılır. Korelasyon artık iyileşmeyi durdurduğunda eğitim tamamlanır. Eğitimde çıkıştaki hataların karelerinin toplamı E en küçük yapılmaya çalışılır.

$$E = \sum_p \frac{1}{2} \sum_o (y_{po} - t_{op})^2 \quad (4.14)$$

Eşitlik 4.14'de p örüntüsün o çıkış biriminde t_{po} istenen ve y_{po} gözlemlenen çıkışlardır. E hatası eşitlik 4.15 kullanılarak gradyan inişle en aza indirilir.

$$e_{po} = (y_{po} - t_{po})f_p^1(\text{net}_o) \quad (4.15)$$

$$\frac{\partial E}{\partial w_{io}} = \sum_p e_{po} - I_{ip} \quad (4.16)$$

Eşitlik 4.15'da verilen f_p^l o çıkış biriminin aktivasyon fonksiyonunun türevi ve I_{ip} p örüntüsü için i gizli birim ya da giriş biriminin değeridir. W_{io} giriş ya da gizli birim i ve çıkış o arasındaki bağlantıyı gösterir. Eğitim aşamasından sonra aday birimler uyarlanır bu yüzden aday değer y_{po} değeri ile çıkışın e_{po} kalan hatası arasındaki C korelasyon değeri en yüksek olur. Fahlman tarafından verilen korelasyon eşitlik 4.17'de verildiği gibidir:

$$C = \sum_o \left| \sum_p (y_{po} - y_o') (e_{po} - e_o') \right| = \sum_o \left| \sum_p y_{po} e_{po} - e_o' \sum_p y_{po} \right| = \sum_o \left| \sum_p y_{po} (e_{po} - e_o') \right| \quad (4.17)$$

Eşitlik 4.17'de verilen y_o' aday birimlerin ortalama aktivasyonudur ve tüm p örüntüsündeki e_o' çıkış birimlerinin ortalama hatasıdır. C değerinin maksimizasyonu Eşitlik 4.18 ve 4.19'da verilen eşitliklerle yapılır. Bu eşitliklerde verilen σ_o işareti aday birimin çıkışı ile çıkışta kalan hata arasındaki korelasyonu ifade eder.

$$\delta_p = \sum_o \sigma_o (e_{po} - e_o') f_p^l \quad (4.18)$$

$$\frac{\partial C}{\partial w_i} = \sum_p \delta_p I_{pi} \quad (4.19)$$

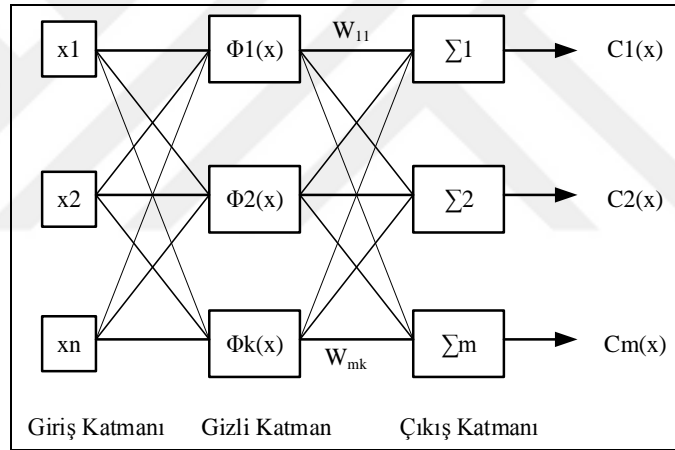
5. En yüksek korelasyona sahip olan aday birim seçilir, ona gelen ağırlıklar dondurulur ve ağa eklenir. Bir aday birimi gizli katmana dönüştürmek için seçilen birim ile tüm çıkış birimleri arasında bağlantı kurulur. Yeni gizli katmana bağlı ağırlıklar dondurulmuş olduğundan yeni bir kalıcı özellik elde edilmiş olur.
2. aşamaya geri dönülür. Bu algoritma ağın tüm hatası istenen değerin altına inene kadar devam eder.

4.3. RADYAL TABANLI FONKSİYON SİNİR AĞLARI

Radyal tabanlı fonksiyon konusundaki ilk çalışmalar Powell tarafından yapılmıştır [112]. Broomhead ve Lowe RTF denklemlerini çıkartarak ilk defa YSA tasarımında

kullanmışlardır [113]. Tasarımının kolay olması, genelleştirme yeteneği, giriş gürültüsüne karşı güçlü toleransı, ve gerçek zamanlı öğrenme kabiliyeti RTFSA'larının üstünlüklerindedir. Genelleştirme yeteneği sayesinde ilk defa karşılaşılan giriş verisine bile iyi çıkış verebilir. Gürültü toleransı sayesinde tasarlanan sistemlerin kararlılığını artırır. Doğrusal olmayan problemler için yarışmacı RTFSA kullanmak mantıklıdır [114].

RTFSA çok boyutlu uzayda eğri uydurma işlemidir. RTFSA ile eğitim yapılırken çok boyutlu uzayda verilere en iyi uyumu sağlayan yüzey bulunmaya çalışılır. Mimari yapısında Şekil 4.5'te verildiği gibi üç katman bulunmaktadır. İlk katman giriş katmanı, ikinci katman gizli katman, üçüncü katman ise çıkış katmanıdır. Gizli katmanda aktivasyon fonksiyonu olarak RTF kullanılmaktadır.



Şekil 4.5. RTFSA mimari yapısı.

RTFSA'da giriş katmanından ağa uygulanan girdi vektörüne göre gizli katmanda uygun genişlik ve merkez değerlerine sahip RTF'leri belirleyerek, çıkış katmanında bu fonksiyonların ürettiği çıktılarının uygun ağırlık değerleriyle doğrusal birleşimlerini oluşturup girdi vektörüyle çıktı vektörü arasındaki ilişkiyi belirleme süreci olarak açıklanabilir [115]. Eşitlik 4.20'de verildiği gibi RTFSA çıktısı, ağa gösterilen bir girdi vektörü ile gizli katman merkezleri arasındaki uzaklığın aktivasyon fonksiyonundan geçirilmesi sonucu oluşan çıktının, gizli katman ile çıkış katmanı arasındaki ağırlıklarla çarpılmasıyla oluşan toplamla elde edilir. Bu eşitliklerde verilen x girdi vektörünü, $c_j(x)$ çıkış katmanındaki j . nöronun çıkışını, W_{ji} i . nöron ile

j. nöron arasındaki ağırlığı μ_i gizli katmandaki i. nöronun merkez vektörünü, σ_i gizli katmandaki i. nöronun yayılım parametresini $\varphi()$ gizli katman aktivasyon fonksiyonunu ifade etmektedir.

$$C_j(x) = \sum_{i=1}^k W_{ji} \varphi(\|x - \mu_i\|) \quad (4.20)$$

Girdi vektörü ile merkez vektörü arasındaki uzaklık genelde Öklid mesafesi ile ölçülmektedir. Gizli katmanda en çok Gauss fonksiyonu aktivasyon fonksiyonu olarak kullanılmaktadır. Eşitlik 4.20'de aktivasyon fonksiyonu Gauss fonksiyonu olarak yazılırsa Eşitlik 4.21 denklemini elde edilir.

$$C_j(x) = \sum_{i=1}^k W_{ji} e^{-\left(\frac{\|x - \mu_i\|^2}{2\sigma_i^2}\right)} \quad (4.21)$$

RTFSA eğitimi iki aşamada yapılmaktadır. Birinci aşamada gizli katmandaki merkez vektörlerinin ve yayılım parametreleri bulunur. İkinci aşamada gizli katman ile çıkış katmanı arasındaki uygun ağırlık değerlerinin ayarlanması yapılır. Literatürde her iki aşama için önerilen farklı yaklaşımlar mevcuttur. Merkez vektörleri ve yayılım parametrelerini tespit etmek için rastgele seçim, öz örgütlemeli merkez seçimi, K-ortalama kümeleme, öz uyarlamalı özellik haritalı kümeleme, danışmanlı seçim yöntemleri kullanılmaktadır. Gizli katman ile çıkış katmanı arasındaki ağırlıkları ayarlamak için sözde ters metodu, en küçük ortalama kareler metodu, özyinelemeli EKK metodu, ortogonal ortalama kareler metodu, ben dik iniş metodu, hızlı yayılım algoritması gibi çeşitli yöntemler kullanılmaktadır [116, 117].

BÖLÜM 5

BATARYA İZLEME İÇİN TEST DENEY DÜZENEĞİ VE KULLANICI ARAYÜZÜ TASARIMI

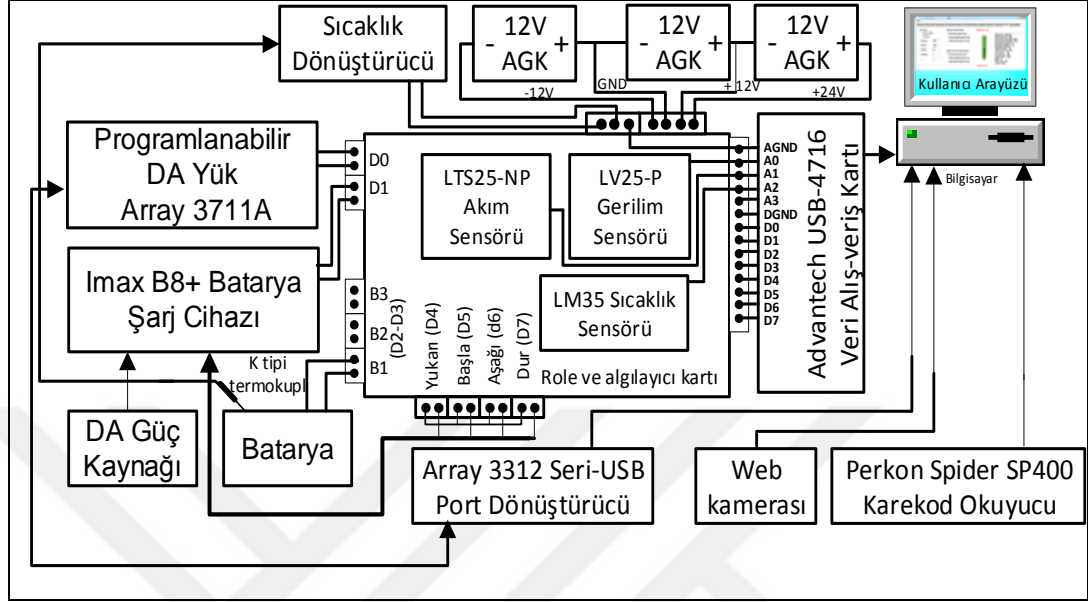
Bu tez çalışmasında şarj edilebilir bataryaların şarj ve deşarj esnasında elektriksel durumlarını ölçmek için bir test düzeneği hazırlanmıştır. Ölçülen veriler gerçek zamanlı olarak bilgisayara aktarılmaktadır. Tasarlanan kullanıcı arayüzü ile deney türü belirlenmekte, ölçüm verileri gerçek zamanlı olarak izlenmekte, kaydedilmekte ve analiz edilmektedir [118].

5.1. BATARYA İZLEME İÇİN TEST DENEY DÜZENEĞİ TASARIMI

Batarya yönetim sistemine ait bataryayı şarj ve deşarj etmede kullanılan ölçüm düzeneği blok diyagramı Şekil 5.1'de verilmektedir. Sisteme bağlı batarya deney şekline göre programlanabilir doğru akım yük ile deşarj edilmekte ve şarj cihazı ile şarj edilmektedir. Deneyler esnasında ölçülen veriler veri alışveriş kartı ile bilgisayara aktarılmaktadır. Sisteme bağlı olan bataryayı seçmek, şarj ya da deşarj cihazını aktif etmek, akım , gerilim ve sıcaklık ölçmek için bir kart tasarlanmıştır.

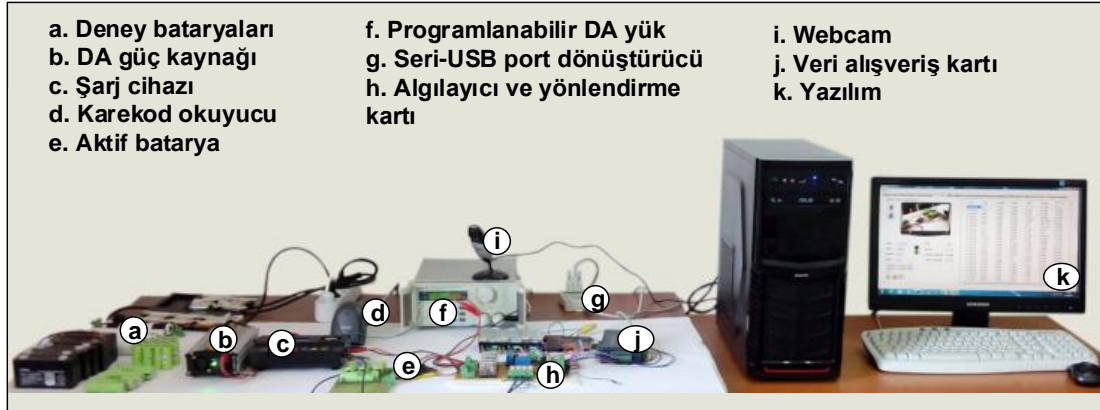
Yönlendirme ve algılayıcı kartı üzerinde (Bkz. Şekil 5.3) üzerinde Imax B8+ batarya şarj cihazı ve Array 3711A programlanabilir yük cihazı arasında geçiş yapmayı sağlayan, sisteme takılı üç bataryadan çalışma yapılacak bataryayı seçmeye yarayan, şarj cihazı ön panelinde bulunan 4 adet butonu kontrol etmeye yarayan röleler, LEM LV25-P gerilim algılayıcı, LEM LTS25-NP akım algılayıcı ve LM35 sıcaklık algılayıcı bulunmaktadır. Gerilim algılayıcı +12 V, -12 V DA giriş ile beslenmektedir. Bu kart üzerindeki röleler Advantech USB-4716 veri alışveriş modülü dijital giriş-çıkış portu ile kontrol edilmektedir. Ayrıca karta gelen besleme gerilimi ile K109-TC sıcaklık dönüştürücüsü beslenmekte ve K tipi termokupl çıkışı

da bu kart üzerinden diğer algılayıcılar ile birlikte veri alışveriş modülü analog giriş portuna aktarılmaktadır.



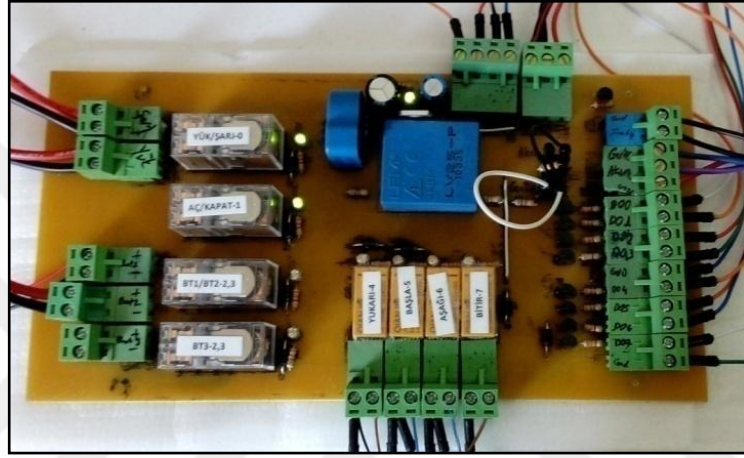
Şekil 5.1. Batarya kondisyon izleme ölçüm düzeneği.

Sıcaklık dönüştürücüsü +24 V DA ile beslenmektedir. +12 V, -12 V ve +24 V DA besleme gerilimini sağlamak için 3 adet anahtarlama güç kaynağı (AGK) kullanılmaktadır. Batarya şarj cihazı bir DA güç kaynağı ile beslenmektedir. Programlanabilir yük cihazı Array 3312 Seri-USB port dönüştürücü ile bilgisayara bağlanmaktadır. Deneyde kullanılan her bir batarya üzerine o bataryanın kimliğini ifade eden bir karekod yapıştırılmıştır.



Şekil 5.2. Ölçüm düzeneği.

Karekod okuma Perkon Spider SP400 karekod okuyucu ile sağlanmaktadır. Bu cihaz bilgisayarın USB (Universal Serial Bus) portuna bağlanmıştır. Deney düzeneğini izlemek için bir web kamerası kullanılmıştır ve bu cihaz da bilgisayarın USB portuna bağlanmıştır. Batarya deşarj edilirken akım, gerilim, güç, yük parametreleri yük cihazından okunmaktadır, batarya şarj edilirken ise akım, gerilim bilgileri algılayıcılar ile ölçülmekte ve veri alışveriş modülü ile bilgisayara aktarılmaktadır. Şekil 5.2'de ölçüm düzeneğine ait resim verilmektedir.



Şekil 5.3. Yönlendirme ve algılayıcı kartı.

5.1.1. Programlanabilir DA Yük Cihazı

Sistemde bataryayı deşarj etmek için Array 3711A programlanabilir DA yük kullanılmaktadır. Bu cihaz genel olarak batarya ve güç kaynağı testlerinde kullanılmaktadır. Sabit akım, sabit güç ve sabit yük ayarlarında çalıştırılabilmektedir. Üzerindeki tuş takımı ile ayar yapılabilmektedir. Gerilim, akım, güç, sıcaklık değerleri sınırlandırılabilir. 10 adım program hafızasına sahiptir. Bilgisayar ile seri porttan kontrol edilebilir. 0-50 °C sıcaklık aralığında çalıştırılabilir. Programlama dilleri ile programlanabilir. Maksimum 0-360 V aralığında çalıştırılabilir. Maksimum 300 Watt güce sahiptir. Şekil 5.4'te bu cihazın resmi verilmektedir.

Programlanabilir yük bilgisayara 26 byte'lık veri dizisi alır ve gönderir. Cihaz ile ilgili ayar yapılırken ayarlama fonksiyonu oluşturulur ve cihaza gönderilir. Cihazdan

okuma yapılmak istenildiğinde önce cihaza okuma komutu gönderilir. Daha sonra veriler okunur. Elektronik yük kaynağı çıkışı seri porttur. Seri port çıkışı USB porta dönüştürmek için Array 3312 USB Seri-USB port dönüştürücü kullanılmaktadır. Üzerindeki ledler sayesinde cihazın veri transfer gönderdiği ya da aldığı anlaşılmaktadır. Şekil 5.5'te bu cihaza ait resim verilmektedir.



Şekil 5.4. Array 3711A DA programlanabilir yük cihazı.



Şekil 5.5. Array 3312 USB seri-USB port dönüştürücü.

5.1.2. Veri Alışveriş Kartı

Sistemde bazı parametrelerin bilgisayara aktarılmasında Advantech firmasının USB-4716 veri alışveriş kartı kullanılmaktadır. Bu cihaz bilgisayara USB port ile bağlanmaktadır. 16 analog giriş yapılabilmektedir. 16 bit çözünürlüğe sahiptir. Örnekleme oranı 200kS/s'dir. 8 dijital giriş, 8 dijital çıkış, 2 analog çıkış ve bir 32 bit sayıcıya sahiptir. Şekil 5.6'da bu cihaza ait resim verilmektedir. Sistemde batarya sıcaklığı ve ortam sıcaklığı ile batarya şarj testlerinde batarya akımı ve gerilimi bu

cihaz ile bilgisayara aktarılmaktadır. Geliştirilen kullanıcı ara yüzü programda veriler anlık olarak okunmakta ve kaydedilmektedir.



Şekil 5.6. Advantech USB-4716 veri alışveriş kartı.

5.1.3. Batarya Şarj Cihazı

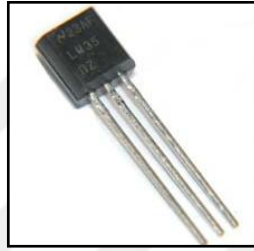
Çalışmada kullanılan bataryaları şarj etmek için Imax B8+ batarya şarj cihazı kullanılmaktadır. Bu cihaz 10-18 V DA gerilimle çalışır. Bu yüzden sisteme şarj cihazını besleyecek 110 V AA ya da 220 V AA gerilimi 14 V DA gerilime dönüştüren bir güç kaynağı dahil edilmiştir. Şekil 5.7'de şarj cihazı ve güç kaynağının resmi verilmektedir. Cihaz kurşun asit, nikel kadmiyum, nikel metal hidrit, lityum polimer, lityum demir tipi bataryaları ile uyumludur. 1-27 hücreye kadar NiCd/MH türü bataryaları, 8 hücreye kadar LiIon/LiPo/LiFe türü bataryaları ve 2-36 V arasındaki kurşun asit bataryaları şarj edebilir. USB port ile bilgisayara bağlanabilir. Maksimum çalışma gücü 150 W'dır.



Şekil 5.7. Batarya şarj cihazı ve güç kaynağı.

5.1.4. Sıcaklık Algılayıcısı

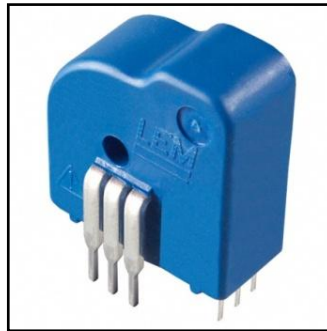
Sistemde ortam sıcaklığını ölçmek için LM35 sıcaklık algılayıcısı kullanılmaktadır. LM35 sıcaklık algılayıcısı kullanımı kolay, düşük gerilim °C cinsinden sıcaklık ölçümü verebilen sıcaklık algılayıcısıdır. 2,7 ile 5 V DA gerilim ile çalıştırılmakta ve gerilim çıkışı vermektedir -55 °C ile 150 °C ölçüm aralığında çalışır. Doğrusaldır +10,0 mV/ °C ölçek faktörüne sahiptir. Şekil 5.8'de bu algılayıcıya ait resim verilmektedir.



Şekil 5.8. LM35 sıcaklık algılayıcısı.

5.1.5. Akım Algılayıcısı

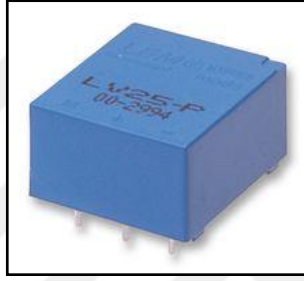
Sistemde batarya şarj esnasında iken akım ölçmede LEM LTS25-NP akım algılayıcısı kullanılmaktadır. Şekil 5.9'da bu algılayıcıya ait resim verilmektedir. Algılayıcı ± 25 A aralığında ölçüm yapabilmektedir. Katalog bilgilerinde verilen elektriksel bağlantı şekline göre ölçüm skalası değiştirilebilmektedir. Bu çalışmada ± 8 A aralığı kullanılmaktadır. Minimum 4,75 maksimum 5,25 V besleme gerilimi ile % 0,2 doğrulukta çalışmaktadır. 0 kHz – 200 kHz çalışma frekansına sahiptir.



Şekil 5.9. LTS25-NP akım algılayıcısı.

5.1.6. Gerilim Algılayıcısı

Sistemde batarya şarj esnasında iken gerilim ölçmede LEM LV25-P gerilim algılayıcısı kullanılmaktadır. Şekil 5.10'da bu algılayıcıya ait resim verilmektedir. Gerilim algılayıcı ± 12 V simetrik güç kaynağı ile beslenmektedir. 10-500 V aralığında ölçüm yapan bu algılayıcının katalog bilgilerinde verilen devre şeması ile ölçüm skalası ayarlanabilmektedir. Bu çalışmada 0-10 V aralığında çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Doğrusal bir algılayıcıdır ve 25 °C sıcaklıkta \pm % 0,9 doğrulukta çalışmaktadır. Çalışma sıcaklığı 0 ile 70 °C arasındadır.



Şekil 5.10. LV25-P gerilim algılayıcı.

5.1.7. Termokupl Ve Yükselteci

Batarya sıcaklığını ölçmek için 0-250 °C aralığında ölçüm yapabilen K tipi termokupl kullanılmaktadır. Şekil 5.11'de bu algılayıcıya ait resim verilmektedir.



Şekil 5.11. K tipi termokupl.

K tipi termokuplın çıkışını yükseltmek için Seneca K109TC termokupl yükselteci kullanılmaktadır. Yükselteç J, K, E, N, S, R, B, T tipi termokupllar ile uyumludur. Termokupl tipi ile ilgili ayarlama dönüştürücü üzerindeki dipswitch ile yapılmaktadır. Tek kanallıdır ve çıkış olarak akım 0/4 - 20, 20 - 4/0 mA ya da

gerilim 0 -5/10, 10- 0, 1 -5 V DA vermektedir. Çıkış tipi termokuplın tipine göre -200 °C ve 0 °C ya da 0 °C ve 1400 °C arasına ayarlanabilmektedir. 14 bit çözünürlüğe sahiptir. % 0,1 doğrulukta çalışmaktadır. 19,2-30 V DA güç ile çalışmaktadır. Şekil 5.12'de bu cihaza ait resim verilmektedir.



Şekil 5.12. K109TC sıcaklık dönüştürücü.

5.1.8. Karekod Okuyucu

Deneyleerde pek çok bataryaya kullanıldığından deney yapılan bataryayı karıştırmamak için her bir bataryaya farklı bir kod verilmektedir ve bu kodların karekodları oluşturularak bataryalar üzerine yapıştırılmaktadır.



Şekil 5.13. Karekod okuyucu.

Deney yapılacak bataryanın karekodu Perkon Spider SP400 karekod okuyucu ile okunmakta ve yazılıma aktarılmaktadır. Okuyucu USB port ile bilgisayara bağlanmaktadır. 0 °C ile +50 °C arasında çalışır. $\pm 60^\circ$, $\pm 40^\circ$, $\pm 42^\circ$ (yatay,düsey,doğrusal) okuma açısına sahiptir. 5 V DA gerilim ile çalışır. Çalışırken 1,6 W güç harcar. Tetikli okuma özelliğine sahiptir. Şekil 5.13'te karekod okuyucuya ait resim verilmektedir.

5.2. BATARYA KONDİSYON İZLEME İÇİN TASARLANAN KULLANICI ARAYÜZÜ TASARIMI

Bu çalışmada ölçülen parametreler Visual Studio 2010 programında C# programlama dilinde yazılan program ile görüntülenmekte ve anlık olarak kaydedilmektedir. Veri tabanı olarak SQL Server 2012 programı kullanılmaktadır. Yazılıma ait genel sırasıyla;

1. Bataryaya ait akım, gerilim, güç, sıcaklık bilgileri ile yük ve ortam sıcaklığı bilgileri gerçek zamanlı olarak izlenebilir.
2. Ölçümler tablolar halinde ve grafiksel olarak gösterilebilir.
3. Tüm ölçüm verisi sistematik olarak veritabanına kaydedilir.
4. Daha önce yapılmış ölçümler listelenir, tablolar halinde ve grafiksel olarak gösterilebilir.
5. Örnekleme oranı ve test süresi ayarlanabilir.
6. Batarya deşarjı istenen değerde sabit akım, sabit yük ve sabit güç seçeneklerinden birinde yapılabilir. Ek olarak deşarj şekli rampa, kare dalga ya da sinusoidal olarak ayarlanabilir.
7. Bataryalar akıllı şarj cihazı sayesinde otomatik olarak şarj edilir.
8. Deney bataryası güvenli bir şekilde şarj-deşarj döngüsüne sokulabilir. Çünkü yazılım bataryanın akım, gerilim, sıcaklık gibi katalog değerlerinde verilen sınır değerlerinin dışına çıktığında deneyi otomatik olarak durdurur. Bu şekilde bataryanın aşırı şarj olması, aşırı deşarj olması ve çalışma sıcaklığı aralığının dışına çıkılması önlenmiş olur.
9. Batarya şarj-deşarj döngüsü arasındaki bataryanın dinlendirilme zamanı ayarlanabilir.

Yazılım sekmeler şeklinde tasarlanmıştır. Şekil 5.14'te batarya ekle sekmesi verilmektedir. Bu pencerede veri tabanına yeni batarya eklenmektedir. Batarya türü seçildiğinde otomatik olarak veri tabanındakilerden farklı olarak bir karekod oluşturulmaktadır. Daha sonra bu karekod çıktı alınıp bataryaya yapıştırılmaktadır. Bu pencerede bataryaya ait katalog bilgileri girilmektedir.

Batarya Türü:	Lityum lyon	Standart Şarj Akımı (mA):	100
Batarya Kodu:	LIB	Standart Şarj Süresi (H):	2
Nominal Gerilim (V):	12	Hızlı Şarj Akımı (mA):	200
Nominal Kapasite Min. (mAh):	100	Hızlı Şarj Süresi (H):	1
Nominal Kapasite Max. (mAh):	200	Dışarj Gerilimi (V):	6
Max Çalışma Sıcaklığı (C):	100	Ağırlık (gr):	100
Min Çalışma Sıcaklığı (C):	0	Hizmet ömrü (çevrim sayısı):	1000
Üretim Tarihi:	2011-10-10	C Oranı:	2
Son Kullanma Tarihi:	2013-12-12	Katalog (Link)	abc def ghi

Şekil 5.14. Batarya ekle sekmesi.

Şekil 5.15'te batarya listesi sekmesi verilmektedir. Burada veri tabanında kayıtlı olan bataryalar listelenmektedir. Eğer istenirse bu tablo Excel tablosu şeklinde kaydedilebilir.

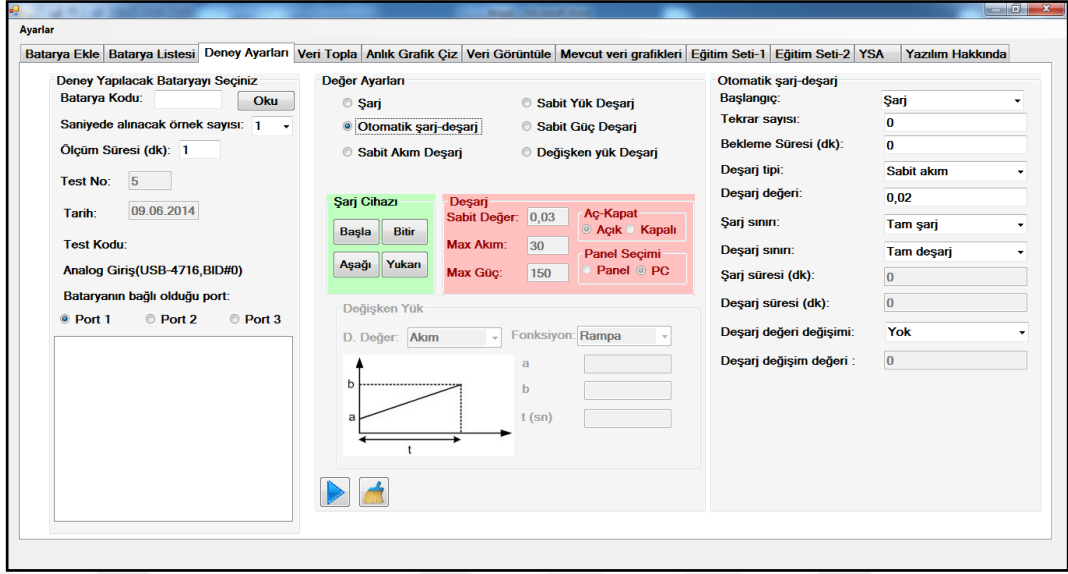
Şekil 5.16'da deney ayarları sekmesi verilmektedir. Bu pencerede ilk olarak imleç deney kodu kısmına getirilerek karekod okuyucu ile bataryanın karekodu okutulmaktadır. Karekodu okunan bataryaya ait özellikler listelenmektedir. Saniyede alınacak örnek sayısı girilmekte ve dakika cinsinden ne kadar süre ölçüm yapılacağı girilmektedir. Batarya yönlendirme ve algılayıcı kartında kaçınıcı porta bağlıysa o port seçilmektedir. Daha sonra ne tür deney yapılacağı seçilmektedir. 6 çeşit ölçüm şekli vardır. Bunlar bataryayı şarj etme, bataryayı sabit akım, güç, yükte deşarj etme, değişken yükte deşarj etme ve otomatik şarj deşarj etmedir. Batarya şarj deneyi yapılmak istendiğinde şarj cihazı kısmı aktif hale gelmektedir ve arayüz üzerinden şarj cihazının ön panelindeki düğmeler kontrol edilebilmektedir. Sabit akım, güç veya yükte deşarj deneyi seçildiğinde deşarj kısmı aktif hale gelmektedir ve buraya girilen sabit değerde batarya deşarj edilmektedir. Eğer deşarj yük seçilirse

değişken yük kısmı aktif hale gelmektedir. Burada akım, güç, yükten hangisinin değişken olacağı seçilmekte ve deşarj fonksiyon tipi belirlenmektedir. Adım, rampa ve sinüs olmak üzere üç tip fonksiyon kullanılabilir. Seçilen fonksiyona göre istenen değerler girilmektedir. Otomatik şarj deşarj kısmında yapılan ayarlara göre batarya istenen sayıda bir şarj deşarj döngüsüne sokulmaktadır. Deneyin şarj ile mi yoksa deşarj ile mi başlayacağı seçilmektedir. İşlemin kaç kez tekrarlanacağı girilmektedir. Şarj ve deşarj arası bekleme süresi dakika cinsinden girilmektedir.

Deşarj tipi (sabit akım, sabit güç, sabit yük) seçilmekte ve bunun için değer girilmektedir. Şarj ve deşarjın tam mı yoksa süreli mi olduğu seçilmektedir. Tam şarj ve tam deşarj seçilmişse batarya katalog değerlerine göre tam şarj ve tam deşarj edilmektedir. Süreli seçilmişse dakika cinsinden belirlenen süreler kadar batarya şarj ve deşarj edilmektedir. Eğer bir sonraki deşarj döngüsünde seçilen deşarj değerinin otomatik olarak değişmesi isteniyorsa buradan artan ya da azalan bir değişim değeri girilmektedir. Tüm bu ayarlamalar bittikten sonra bir sonraki aşamaya geçebilmek için sağa ok yönüne tıklanır. Bu şekilde veri tabanında deney için test kodu ile belirtilen adda yeni bir tablo eklenmiş olur. Gerçek zamanlı yapılan ölçümler bu tabloya kaydedilmektedir.

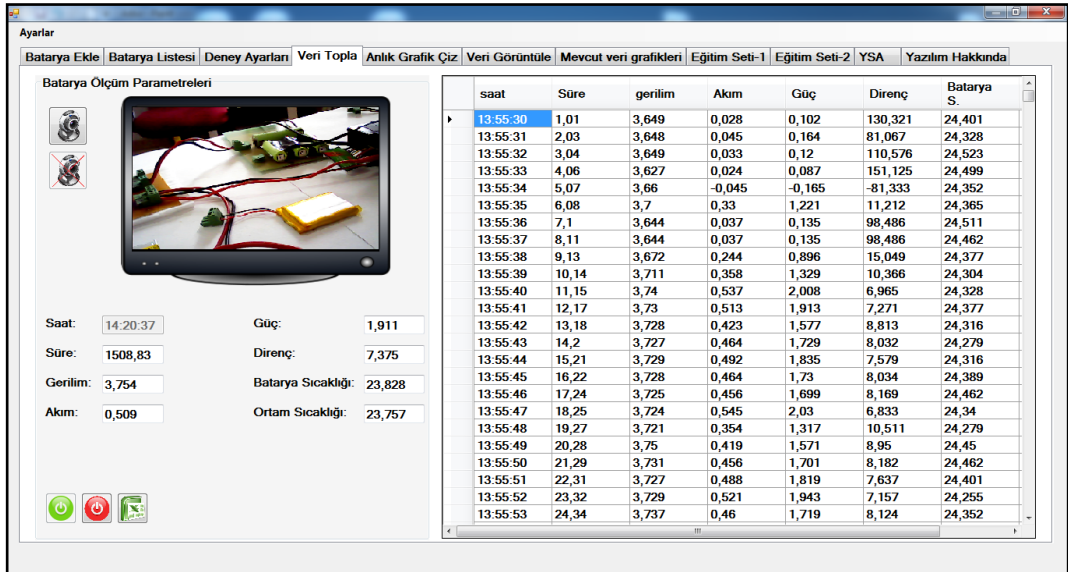
bt	bk	ng	nkmin	nkmax	maxcs	mincs	ut	skt	ssa	sss	hss	dsg
Kurşun A...	KA1	6,000	1300	2600	40	-15	01.01.2011	12.12.2016	300	4,400	3,400	4,35
Lityum Iyo...	LI1	3,600	2150	4300	0	0	01.01.2013	12.12.2018	750	3,270	1,440	2,50
Nikel Met...	NMH1	1,200	2100	6300	50	-20	01.01.2013	12.12.2018	150	14,000	10,000	0,90
Nikel Kad...	NK1	3,600	2200	0	0	0	01.01.2013	01.01.2018	0	0,000	0,000	0,00
Lityum Po...	LP1	3,700	1800	5400	60	-20	01.01.2013	01.01.2018	180	16,000	3,000	2,75
Kurşun A...	KA2	6,000	1300	3900	40	-15	01.01.2013	01.01.2018	300	10,000	5,600	4,80
Kurşun A...	KA3	6,000	1300	3900	40	-15	01.01.2013	01.01.2018	300	10,000	5,600	4,80
Lityum Iyo...	LI2	3,600	2200	4400	60	-10	01.01.2013	01.01.2018	750	4,000	2,000	3,00
Nikel Met...	NMH2	3,600	2100	6300	50	-20	01.01.2013	01.01.2018	210	16,000	1,200	2,70
Nikel Met...	NMH7	3,600	2100	6300	50	-20	01.01.2013	01.01.2018	210	16,000	1,200	2,70
Nikel Kad...	NK2	3,600	2200	22000	60	-20	01.01.2013	01.01.2018	200	16,000	3,500	3,00
Kurşun A...	KA4	6,000	1300	3900	40	-15	01.01.2013	01.01.2018	300	10,000	5,600	4,80
Kurşun A...	KA7	6,000	1300	3900	40	-15	01.01.2013	01.01.2018	300	10,000	5,600	4,80
Lityum Iyo...	LI4	3,600	2200	4400	60	-10	01.01.2013	01.01.2018	750	4,000	2,000	3,00
Lityum Iyo...	LI7	3,600	2200	4400	60	-10	01.01.2013	01.01.2018	750	4,000	2,000	3,00
Nikel Met...	NMH4	3,600	2100	6300	50	-20	01.01.2013	01.01.2018	210	16,000	1,200	2,70
Nikel Kad...	NK5	3,600	2200	22000	60	-20	01.01.2013	01.01.2018	200	16,000	3,500	3,00
Lityum Po...	LP4	3,700	2000	6000	60	-20	01.01.2013	01.01.2018	200	16,000	3,000	2,75
Lityum Po...	LP6	3,700	2000	6000	60	-20	01.01.2013	01.01.2018	200	16,000	3,000	2,75
Kurşun A...	KA5	6,000	1300	3900	40	-15	01.01.2013	01.01.2018	300	10,000	5,600	4,80
Kurşun A...	KA6	6,000	1300	3900	40	-15	01.01.2013	01.01.2018	300	10,000	5,600	4,80
Lityum Iyo...	LI3	3,600	2200	4400	60	-10	01.01.2013	01.01.2018	750	4,000	2,000	3,00

Şekil 5.15. Batarya listesi sekmesi.



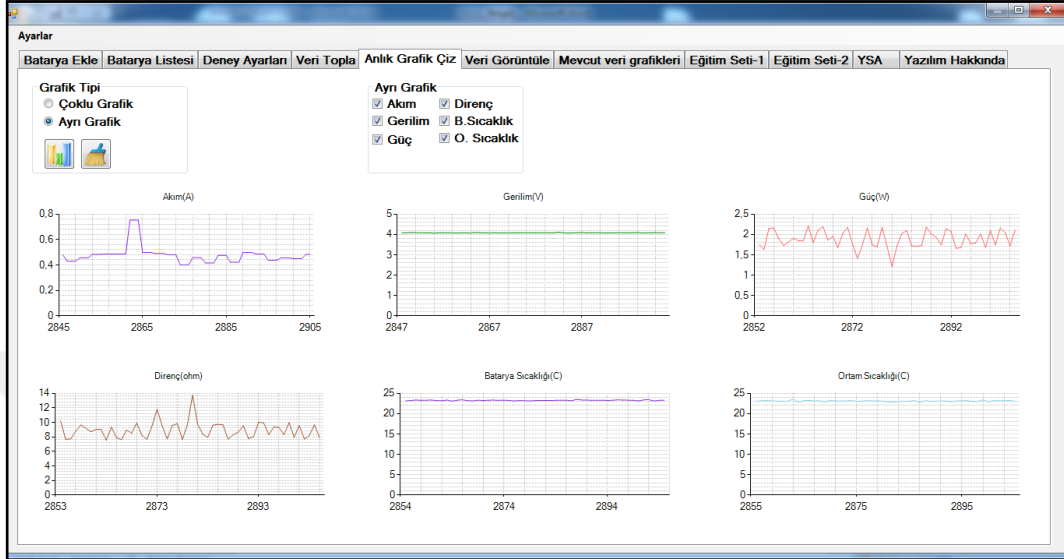
Şekil 5.16. DeneY ayarları sekmesi.

Şekil 5.17'de veri topla sekmesi verilmektedir. Burada yeşil butona tıklandığında gerçek zamanlı ölçümler başlamaktadır. Sistemde bataryanın akımı, gerilimi, gücü, bataryaya bağlı yük, batarya sıcaklığı ve ortam sıcaklığı zamana bağlı olarak anlık görüntülenmektedir. İstenildiğinde web kamerası çalıştırılarak deneY düzeneği görüntülenebilmektedir. Web kamerasının amacı bilgisayara uzaktan bağlanıp deneY yapılmak istendiğinde sistemi görüntüleyebilmektir.



Şekil 5.17. Veri topla sekmesi.

Şekil 5.18'de verilen anlık grafik çiz sekmesi ile gerçek zamanlı olarak akım, gerilim, güç, yük, batarya sıcaklığı ve ortam sıcaklığı parametrelerinin eğrileri çizdirilmektedir. İstenirse bu grafikler resim olarak kaydedilmektedir.



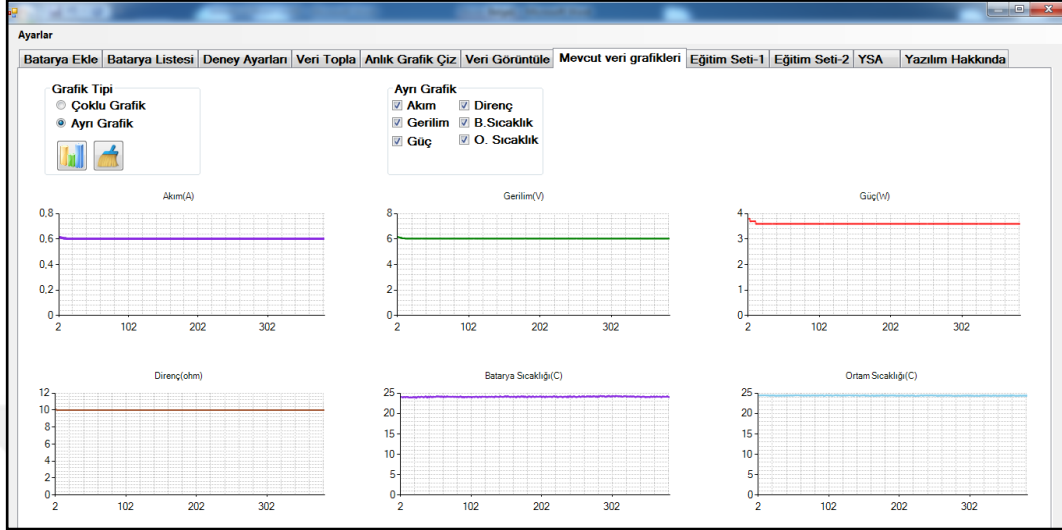
Şekil 5.18. Anlık grafik çiz sekmesi.

Şekil 5.19'da veri görüntüle sekmesi verilmektedir. Burada veri tabanına daha önce kaydedilmiş deneylere ait veriler görüntülenmektedir. İstendiğinde bu veriler Excel olarak kaydedilebilir. Burada veri tabanından veri çekilebildiği gibi kaydedilmiş bir Excel dosyası da görüntülenebilmektedir.

saat	sure	gerilim	akim	guc	direnç	bs	os
09:21:17	1,020	3,043	0,000	0,000	500,000	24,121	24,459
09:21:18	2,030	3,043	0,000	0,000	500,000	24,157	24,398
09:21:20	3,040	6,172	0,611	3,800	10,100	24,121	24,428
09:21:21	4,060	6,145	0,614	3,800	10,000	24,035	24,459
09:21:22	5,070	6,119	0,611	3,700	10,010	23,962	24,459
09:21:23	6,090	6,119	0,611	3,700	10,010	24,072	24,459
09:21:24	7,100	6,092	0,609	3,700	10,000	24,108	24,489
09:21:25	8,110	6,092	0,609	3,700	10,000	24,035	24,520
09:21:26	9,130	6,065	0,606	3,700	10,000	23,986	24,459
09:21:27	10,140	6,065	0,606	3,700	10,000	24,121	24,489
09:21:28	11,150	6,065	0,606	3,700	10,000	24,133	24,489
09:21:29	12,170	6,065	0,606	3,700	10,000	24,023	24,489
09:21:30	13,180	6,038	0,603	3,600	10,010	24,035	24,459
09:21:31	14,200	6,038	0,603	3,600	10,010	23,974	24,428
09:21:32	15,210	6,038	0,603	3,600	10,010	23,925	24,489
09:21:33	16,220	6,038	0,603	3,600	10,010	24,023	24,459
09:21:34	17,240	6,038	0,603	3,600	10,010	23,937	24,428
09:21:35	18,250	6,038	0,603	3,600	10,010	24,011	24,367
09:21:36	19,270	6,038	0,603	3,600	10,010	23,986	24,459
09:21:37	20,280	6,038	0,603	3,600	10,010	24,072	24,428
09:21:38	21,290	6,038	0,603	3,600	10,010	24,011	24,428
09:21:39	22,310	6,038	0,603	3,600	10,010	23,986	24,459
09:21:40	23,320	6,038	0,603	3,600	10,010	24,072	24,459
09:21:41	24,340	6,038	0,603	3,600	10,010	23,852	24,489
09:21:42	25,350	6,038	0,603	3,600	10,010	24,023	24,398

Şekil 5.19. Verileri görüntüle sekmesi.

Şekil 5.20'de mevcut veri grafikleri sekmesi verilmektedir. Burada bir önceki sekmede veri tabanından listelenen verilerin eğrileri çizdirilmektedir.



Şekil 5.20. Mevcut veri grafikleri sekmesi.

Şekil 5.21'de bataryanın şarj durumunu tahmin etmek için yapay sinir ağlarında eğitim verisi oluşturmak için kullanılan bir sekme verilmektedir. Burada anlık olarak ölçülen parametrelere karşılık gelen yüzde cinsinden batarya şarj durumu da parametre olarak eklenmektedir. Daha sonra bu veriler 0-1 aralığında ölçeklendirilerek yapay sinir ağlarında giriş ve çıkış parametreleri olarak kullanılmak üzere hazır hale getirilmektedir.

Sıra	Gerilim	Gerilim-s	Akım	Güç	Direnç	Sıcaklık Farkı
1	3,043	2	0,000	0,000	500,000	-0,3
2	6,172	1	0,611	3,800	10,100	-0,28
3	6,145	1	0,614	3,800	10,000	-0,39
4	6,119	1	0,611	3,700	10,010	-0,5
5	6,119	2	0,611	3,700	10,010	-0,39
6	6,092	1	0,609	3,700	10,000	-0,35
7	6,092	2	0,609	3,700	10,000	-0,45
8	6,065	1	0,606	3,700	10,000	-0,53

Sıra	Gerilim	Gerilim-s	Akım	Güç	Direnç	Sıcaklık Farkı
2	0,6172	0,0025	0,0611	0,076	0,0202	-0,014
3	0,6145	0,0025	0,0614	0,076	0,02	-0,0195
4	0,6119	0,0025	0,0611	0,074	0,02	-0,025
5	0,6119	0,005	0,0611	0,074	0,02	-0,0195
6	0,6092	0,0025	0,0609	0,074	0,02	-0,0175
7	0,6092	0,005	0,0609	0,074	0,02	-0,0225
8	0,6065	0,0025	0,0606	0,074	0,02	-0,0265

Şekil 5.21. Eğitim seti-1 sekmesi.

Şekil 5.22'de bataryanın türünü tahmin etmek için yapay sinir ağlarında eğitim verisi oluşturmak için kullanılan bir sekme verilmektedir. Burada anlık olarak ölçülen parametrelere karşılık gelen batarya türü parametre olarak eklenmektedir. Daha sonra bu veriler 0-1 aralığında ölçeklendirilerek yapay sinir ağlarında giriş ve çıkış parametreleri olarak kullanılmak üzere hazır hale getirilmektedir.

Sıra	Zaman	Gerilim	Akım	Gerilim Fark	Akım Fark	Güç
1	478,57	3,635	0,727	6,3905	1,2603	2,6
2	479,58	3,635	0,727	6,2773	1,2603	2,6
3	480,6	3,635	0,727	6,2773	1,2603	2,6
4	481,61	3,635	0,727	6,1641	1,203	2,6

Gerilim	Akım	Güç	Gerilim Fark	Akım Fark
0,3635	0,0727	0,052	0,2025	0,1146
0,3635	0,0727	0,052	0,2025	0,1146
0,3635	0,0727	0,052	0,1988	0,1094
0,3635	0,0727	0,052	0,1988	0,1094

Sıra	Gerilim	Akım	Gerilim Fark	Akım Fark	Güç	SO
1	3,635	0,727	6,2773	1,2603	2,6	99,99
2	3,635	0,727	6,2773	1,2603	2,6	99,97
3	3,635	0,727	6,1641	1,203	2,6	99,96

Şekil 5.22. Eğitim seti-2 sekmesi.

Şekil 5.23'te yapay sinir ağları sekmesi verilmektedir. Burada seçilen YSA tekniğine göre önce bataryanın türü tahmin edilmekte daha sonra şarj durumu tahmin edilmektedir.

Giriş verileri

- Gerçek zamanlı
- Çevrimdışı

Gerilim (V)

Akım (A)

Güç (W)

Yük (ohm)

t

Batarya türü tahmin yöntemi

- İleri beslemeli yapay sinir ağı
- Kademeli bağlantılı yapay sinir ağı
- Radyal tabanlı fonksiyon sinir ağı

Batarya şarj durumu tahmin yöntemi

- İleri beslemeli yapay sinir ağı
- Kademeli bağlantılı yapay sinir ağı
- Radyal tabanlı fonksiyon sinir ağı

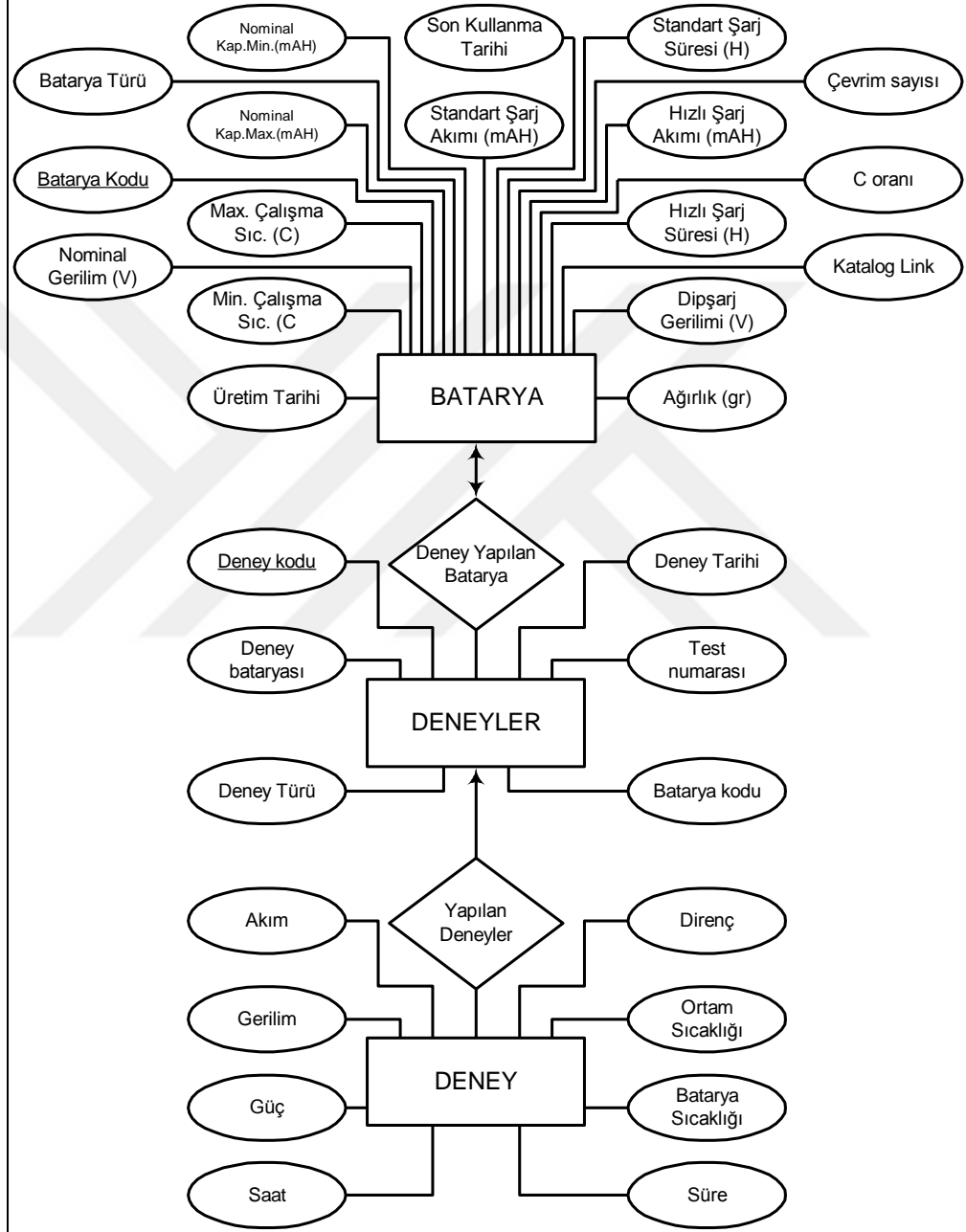
Batarya türü:

Şarj oranı:

Şekil 5.23. YSA sekmesi.

5.3. VERİTABANI TASARIMI

Deneylede toplanan veriler Microsoft SQL Server 2012 veri tabanında kaydedilmektedir. Veri tabanına ait varlık ilişki modeli Şekil 5.24'te verilmektedir.



Şekil 5.24. Veri tabanı varlık ilişki modeli.

Veri tabanında birbiriyile ilişkili 3 tür tablo bulunmaktadır. Bunlar deneyde kullanılacak bataryalar ve katalog bilgilerinin kaydedildiği bataryalar tablosu,

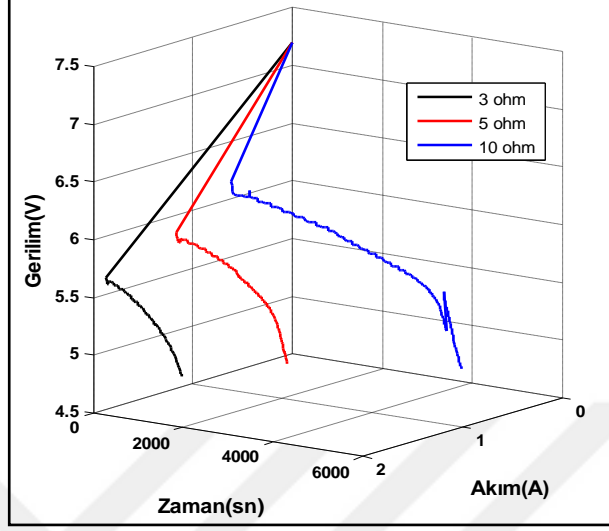
yapılan deneylerin kaydedildiği deneyler tablosu ve her deney yapıldığında oluşturulan anlık verilerin kaydedildiği deney tablolarıdır. Sisteme kaydedilen her bir batarya için batarya kodu oluşturulmaktadır. Deney yapılacağı zaman batarya kodu, tarih, deney türü ve test numarasına göre deney kodu oluşturulmakta ve deneyler tablosunda bu bilgiler tutulmaktadır. Her deney yapıldığında deney kodu adında bir tablo üretilmektedir ve anlık ölçüm verileri bu tablolarda tutulmaktadır. Bataryalar tablosunda batarya kodu, batarya türü, nominal gerilim (V), nominal kapasite minimum (mAh), nominal kapasite maksimum (mAh), maksimum çalışma sıcaklığı (°C), minimum çalışma sıcaklığı (°C), üretim tarihi, son kullanma tarihi, standart şarj akımı (mAh), standart şarj süresi (h), hızlı şarj akımı (mAh), hızlı şarj süresi (h), dip şarj gerilimi (V), ağırlık (gr), hizmet ömrü (çevrim sayısı), C oranı, katalog linki bilgileri tutulmaktadır.

Deneyler tablosunda deney kodu, deney bataryası, deney türü, deney tarihi, test numarası ve batarya kodu bilgileri tutulmaktadır. Her deney için üretilen deney kodu (batarya kodu_deneytürü_tarih_testno) adlı tabloda saat, süre, gerilim, akım, güç, yük, batarya sıcaklığı, ortam sıcaklığı bilgileri tutulmaktadır.

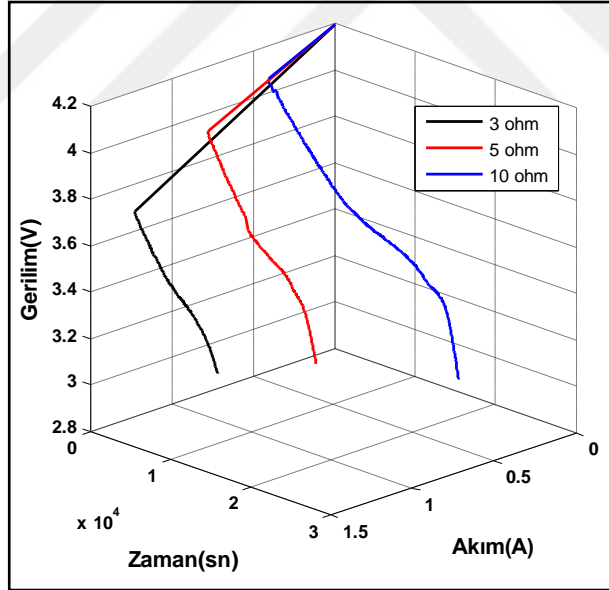
5.4. YAPAY SİNİR AĞLARININ EĞİTİMİ İÇİN GEREKLİ VERİLERİN ELDE EDİLMESİ

Çizelge 3.2'de teknik özellikleri verilen bataryalar batarya tür ve şarj durumu tahmini yapmada kullanılacak veri setlerini elde etmek için Pb, Li-Ion, LiPo, NiCd, NiMH bataryalar tam şarj edilmiştir ve sabit yükte tam deşarj edilmiştir. Deşarj işlemi 3Ω, 5Ω ve 10Ω olmak üzere üç farklı sabit yükte yapılmıştır. Bu şekilde bataryalar düşük, orta, yüksek sabit yükte deşarj edilmektedir. Bu yük değerleri deneylerde kullanılan tüm bataryalar için uygundur. Daha düşük direnç değeri seçildiğinde C oranı düşük olan bataryalarda aşırı akım arızası oluşabilmektedir. Bu deneylere ait sırasıyla zamana bağlı gerilim ve akım eğrileri Şekil 5.25-29'da verilmektedir. Ölçüm verilerinin % 80'i yapay zeka tekniklerinde eğitim verisi % 20'si test verisi olarak kullanılmaktadır. Şekil 5.25'te Pb bataryaya ait zamana bağlı akım ve gerilim değerleri verilmektedir. Batarya düşük yükte yaklaşık 15, orta yükte 33 ve yüksek yükte 75 dk'da tam deşarj edilmektedir. Şekil 5.26'da Li-Ion bataryaya ait zamana

bağlı akım ve gerilim değerleri verilmektedir. Batarya düşük yükte yaklaşık 90, orta yükte 160 ve yüksek yükte 350 dk'da tam deşarj edilmektedir.

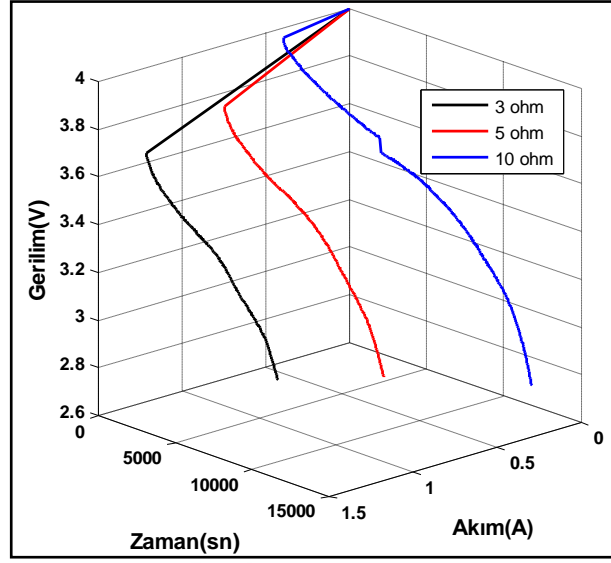


Şekil 5.25. Pb bataryanın sabit yükte deşarj eğrileri.



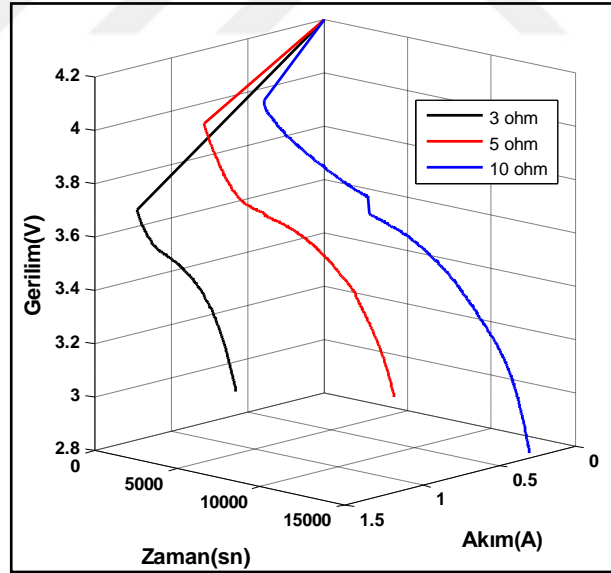
Şekil 5.26. Li-Ion bataryanın sabit yükte deşarj eğrileri.

Şekil 5.27'de LiPo bataryaya ait zamana bağlı akım ve gerilim değerleri verilmektedir. Batarya düşük yükte yaklaşık 90, orta yükte 130 ve yüksek yükte 250 dk'da tam deşarj edilmektedir.



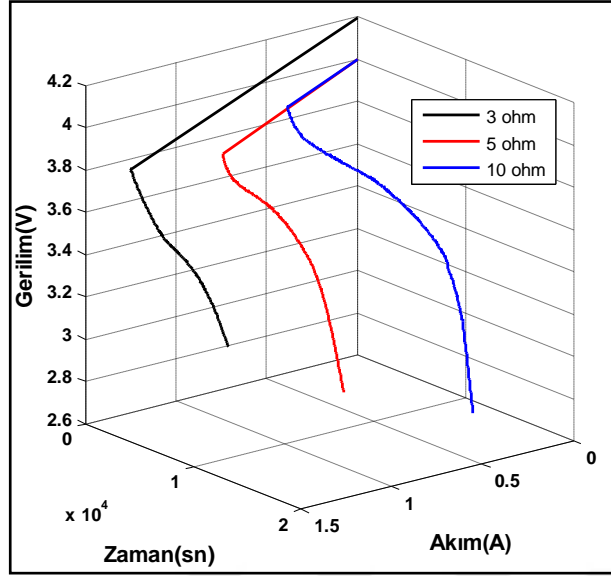
Şekil 5.27. LiPo bataryanın sabit yükte deşarj eğrileri.

Şekil 5.28'de NiCd bataryaya ait zamana bağlı akım ve gerilim değerleri verilmektedir. Batarya düşük yükte yaklaşık 65, orta yükte 160 ve yüksek yükte 250 dk'da tam deşarj edilmektedir.



Şekil 5.28. NiCd bataryanın sabit yükte deşarj eğrileri.

Şekil 5.29'da NiMH bataryaya ait zamana bağlı akım ve gerilim değerleri verilmektedir. Batarya düşük yükte yaklaşık 75, orta yükte 130 ve yüksek yükte 250 dk'da tam deşarj edilmektedir.



Şekil 5.29. NiMH bataryanın sabit yükte deşarj eğrileri.

Yapay sinir ağlarında giriş ve çıkış verilerinin ölçeklendirilmesi ağıın başarımını etkileyen önemli bir faktördür. Problemin örnekleri toplanırken; bazı durumlarda problem uzayı ile ilgili örnekler farklı ölçekler kullanan ortamlardan toplanmış olabilir. Bazı durumlarda da problemin girdileri arasında aşırı büyük veya küçük değerler görülebilir. Bunlar yanlışlık sonucu girdi setine girmiş olabilir. Bu şekildeki giriş verisi ağı yanlış yönlendirebilir. [108, 119]. Bütün girdilerin belirli aralıkta (çoğunlukla 0-1) ölçeklendirilmesi hem farklı ortamlardan gelen bilgilerin aynı ölçek üzerine indirgenmesine hem de yanlış girilen çok büyük ve küçük şekildeki değerlerin etkisinin ortadan kalkmasına neden olur. Çünkü bu durumda olası en büyük değer 1 değerini almakta ve ondan büyük değerlerde öğrenme setine 1 değerini alarak girmektedir. En küçük değere ise 0 değeri verilmekte ondan küçük değerlerde yine öğrenme setine 0 değerini alarak girmektedir. Ölçeklendirme değişik şekillerde yapılmaktadır. Bazı araştırmacılar girdi vektörünü ölçeklendirmektedirler. Yani her değeri girdi vektörünün değerine bölerek yeni değerleri bulmaktadırlar. Bu ise Eş. 4.1'de verilmiştir. Burada x girdi değerini, x' ölçeklendirilmiş yeni girdi değerini, $|X|$ ise girdi vektörünün büyüklük değerini göstermektedir.

$$x' = \frac{x}{|X|} \quad (5.1)$$

Bazı araştırmacılar ise Eşitlik 5.2'de verildiği gibi örnekleri oluşturan değerleri belirli bir aralık içine çekmektedirler. Burada x girdi değerini, x' girdi değerinin ölçeklendirilmiş halini, girdi setindeki olası en küçük değer i se x_{min} girdi setindeki olası en byk değer i x_{max} göstermektedir.

$$x' = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (5.2)$$

Bazı araştırmacılar ise kendi problemlerine özgü ölçeklendirme yöntemleri geliştirmektedir.

$$l = \sqrt{\sum_{i=0}^{n-1} x_i^2} \quad (5.3)$$

$$x'_i = \frac{x_i}{l} \quad i = 0, \dots, n-1$$

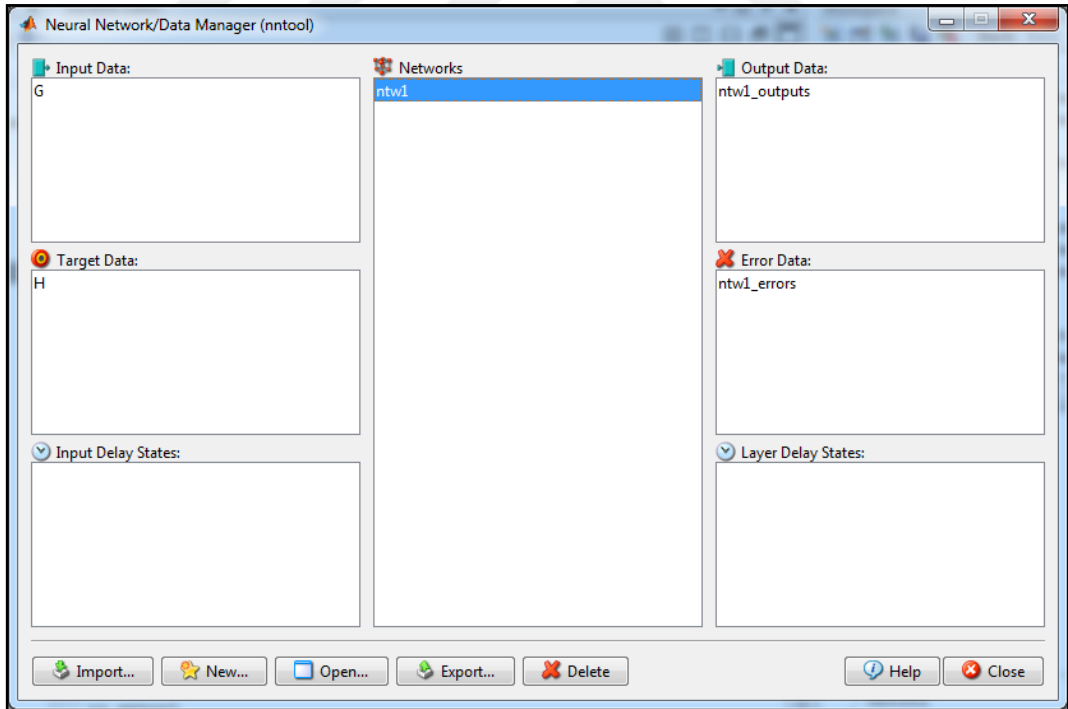
Eğer leklendirme (-1, 1) arasında yapılmak istenirse Eşitlik 5.3 kullanılarak bu elde edilir. Burada x veri değerlerini, n verinin eleman sayısını, i o an ki verinin sayısını, l toplam standart belirsizlik ortalamasını, x' ise ölçeklendirilmiş yeni giriş değerini vermektedir.

Çıktıların ve girdilerin ölçeklendirilmesi için bu yöntemlerden biri kullanılabilir. Ağ ğrenme yaptıktan sonra da ölçeklendirilmiş çıktılar üreteceğinden, ağın çıktılarının dış dünyaya verilirken orijinal şekillerine dönüştürülmesi gerekir. Bunun için ölçeklendirme eşitliğini tersine işletmek gerekir. Bu çalışmada ise giriş ve çıkış verileri için Eşitlik 5.1'deki verilen ölçeklendirme kullanılmaktadır.

BÖLÜM 6

BATARYA TÜRÜNÜN VE BATARYA ŞARJ DURUMUNUN YSA İLE TESPİT EDİLMESİ

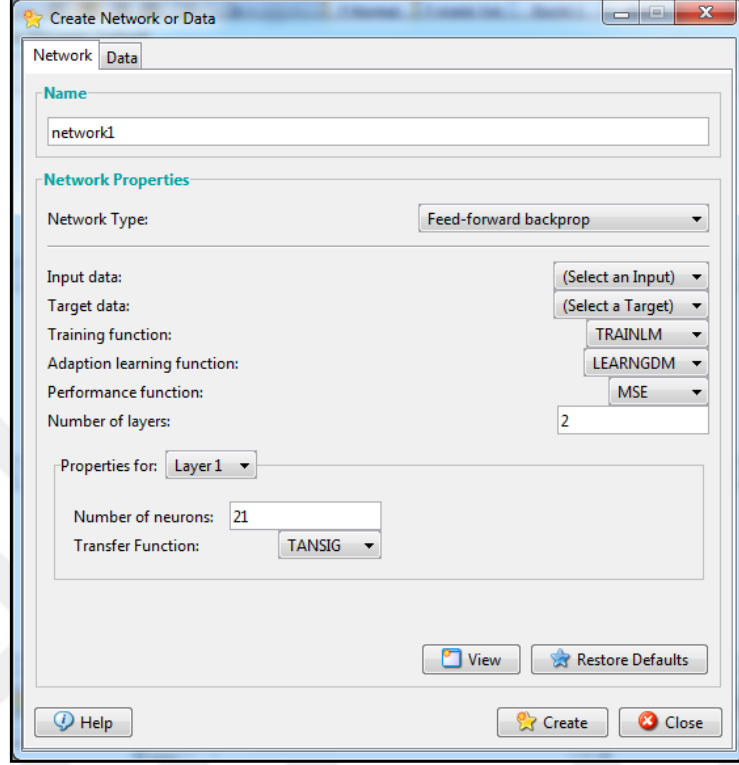
Bu çalışmada MATLAB nntool araç kutusu içerisindeki İBYSA, KBYSA ve RTFSA YSA ile batarya türü ve batarya şarj durumu tahmininde kullanılmaktadır. Şekil 6.1'de MATLAB yapay sinir ağı araç kutusuna ait veri yönetim penceresi verilmektedir. Oluşturulacak yapay sinir ağına ait giriş ve hedef veriler bu pencere ile sisteme tanıtılmaktadır. Eğitilen ağı, ağın çıktıları, hatalı verilerin çıktısı bu pencereden alınmaktadır.



Şekil 6.1. Matlab nntool araç kutusu veri yönetim penceresi.

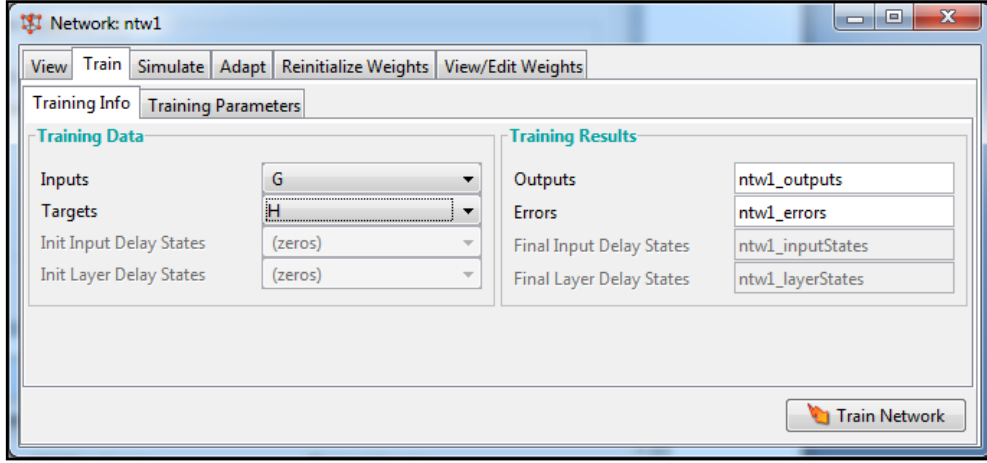
Yeni bir YSA ya da veri seti oluşturulmak istendiğinde Şekil 6.1'de verilen penceredeki "New" butonuna tıklanır ve Şekil 6.2'de verilen YSA oluşturma arayüzü açılır. Bu pencerede YSA adı, tipi belirlenir. Giriş verisi ve hedef verisi belirlenir.

Seçilen YSA tipine göre katman sayısı, öğrenme algoritması, transfer fonksiyonu, performans fonksiyonu, yayılım faktörü gibi gerekli olan parametreler ayarlanır.

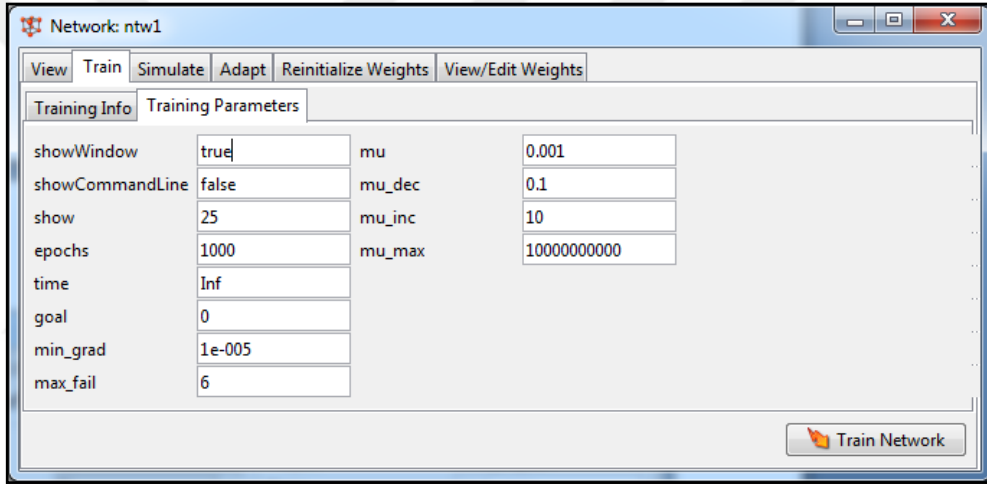


Şekil 6.2. Yapay sinir ağı oluşturma arayüzü.

Şekil 6.2'de verilen arayüz ile oluşturulan ağ Şekil 6.1'de verilen arayüz penceresinde "networks" kısmına gelmektedir. Buradaki ağın adına çift tıklanarak Şekil 6.3'te verilen arayüze ulaşılmaktadır. Bu pencerede ağın eğitimi ile ilgili parametreler ayarlanır. Ağın eğitimi başlatılır. Ağa sunulan bir veri seti ile ağın ürettiği sonuçlar gözlemlenebilir. Ağ ile ilgili ağırlık parametreleri gözlemlenebilir, değiştirilebilir. Burada ayarlanan parametreler YSA tipine göre değişiklik göstermektedir. İBYSA ve KBYSA için Şekil 6.4'te verilen arayüzdeki parametrelerin ayarlanması gerekmektedir. Bu pencerede hata oranı, iterasyon sayısı, süre, öğrenme katsayısı, en yüksek hata sayısı gibi parametreler için sınır değerler verilerek yapay sinir ağının eğitimini sonlandırma ayarları yapılmaktadır. RTFSA için sadece benzetim kısmı aktiftir.



Şekil 6.3. Eğitim parametreleri penceresi.

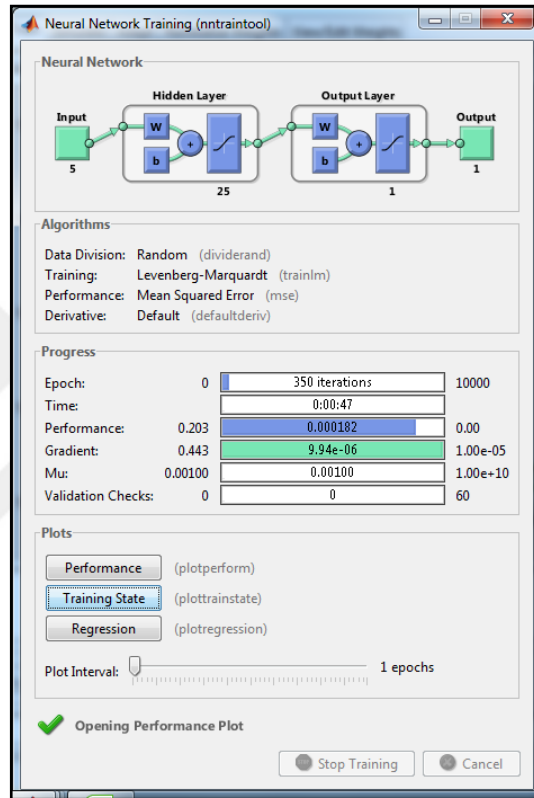


Şekil 6.4. Eğitim parametreleri.

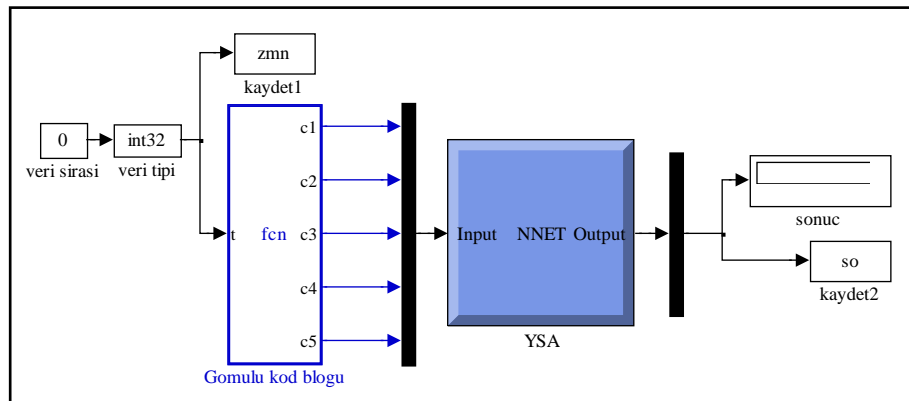
Şekil 6.5'te verilen pencerede ağın mimari yapısı görülmektedir, veri bölümü, eğitim algoritması, performans ölçüm kriteri, iterasyon sayısı, eğitim süresi, performans, gradyan, öğrenme katsayısı ve doğrulama denetimi parametreler gözlemlenebilmektedir. Ağın performansı, eğitim durumu, regresyonu grafiksel olarak gözlemlenebilir.

Eğitimi tamamlanan YSA'ya ait parametreler Şekil 6.1'de verilen penceredeki "Export" butonuna tıklanarak MATLAB çalışma alanına aktarılır. MATLAB çalışma alanında *gensim()* fonksiyonu ile MATLAB/Simulink'te otomatik olarak YSA bloğu oluşturulmaktadır. Model ağa girişler uygulanarak bu girişlere karşılık gelen sonuçlar

kaydedilmektedir. Bu işlemleri gerçekleştirmek için Şekil 5.6'daki Simulink modeli kullanılmaktadır. Sistemde uygulanacak giriş parametreleri gömülü kod içinde değişken olarak tanımlanmıştır. Bu modelin çalıştırılması ile elde edilen sonuçlar MATLAB çalışma alanına kaydedilir. Tahmin edilen sonuçlar matrisi ile hedef matris verileri yazılan bir m-file kodu ile karşılaştırılarak sistemin başarımı hesaplanmaktadır.



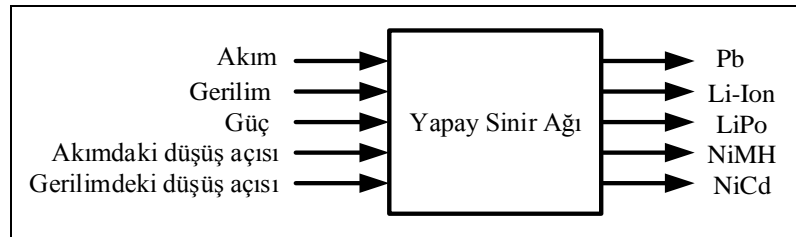
Şekil 6.5. Eğitim penceresi.



Şekil 6.6. YSA şarj durumu tahmini performans kontrol modeli.

6.1. BATARYA TÜRÜNÜN TAHMİNİ

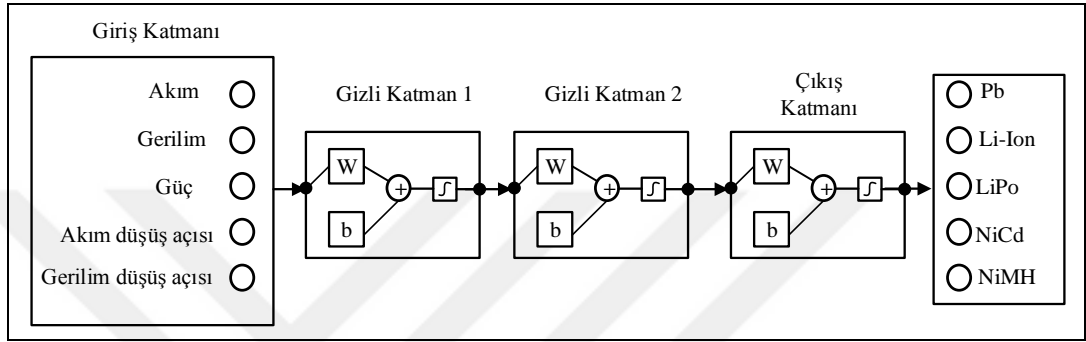
Özellikleri bilinmeyen sağlam bataryaları tekrar ve doğru bir şekilde kullanabilmek için batarya tür tahmini gerekli olmaktadır. Bataryaların sınır değerlerinin dışında kullanımı bataryaya zarar verir ve kullanım ömrünü azaltır. Batarya şarj durumu, sağlık durumu tahmini yapan bir çok çalışma olmasına karşın bu konuda yapılan çalışma bulunmamaktadır. Özellikleri bilinmeyen bir batarya türü eğer daha önce sisteme tanıtılmış ise bu bataryanın türünü tespit etmek mümkündür. Bu şekilde bataryanın sınır değerleri hakkında bilgi sahibi olunur ve doğru kullanımı sağlanır. Elektrikli araç teknolojisinin giderek yaygınlaştığını düşündüğümüzde şarj istasyonları da giderek artacaktır. Araç şarj istasyonuna geldiğinde bir batarya tanıma sistemi ile batarya türü tahmin edilerek en uygun değerlerde bataryanın şarj olması sağlanabilir. Bu şekilde bir uygulama ile hem bataryayı uygun kullanımdan dolayı daha uzun kullanımı sağlarken hem de batarya türünü belirlemek için kullanılan diğer yöntemlere harcanan zamandan kazanç sağlanacaktır. Batarya tür tespiti için her bir YSA tekniği için, her bir sabit yük değeri için birer ağ olmak üzere üçer ağ eğitimi gerçekleştirilmiştir. Batarya türü belirlemede akım, gerilim, güç, akımdaki düşüş açısı ve gerilimdeki düşüş açısı yapay sinir ağlarına giriş parametresi olarak uygulanmaktadır ve gerçekleştirilen ağlar 5 çıkışlıdır. Giriş parametrelerinden akım ve gerilimdeki düşüş açısı sabit yükte yapılan batarya deşarjında 400 sn boyunca yapılan ölçüm sonucu gerilim ve akımdaki düşüşten hesaplanmaktadır. Sistem ilk 400 sn veri biriktirmek için beklemektedir. Bundan sonra tür tahmini yapmaya başlamaktadır. Her bir çıkışta 0 ile 1 arasında Pb, Li-Ion, LiPo, NiMH ve NiCd olma olasılığı tahmin edilmektedir. En yüksek olasılığa sahip olan batarya seçilerek batarya tür tahmini tamamlanmaktadır. Şekil 6.6'da batarya tür tahmininde kullanılan genel mimariye ait blok diyagram verilmektedir.



Şekil 6.7. Batarya tür tahmininde kullanılan genel YSA mimari yapısı.

6.1.1. İleri Beslemeli Sinir Ağı İle Batarya Türü Tahmini

Şekil 6.8'de batarya türü belirlemede kullanılan ileri beslemeli sinir ağı yapısı verilmektedir. Ağın giriş parametre sayısı 5, gizli katman sayısı 2 ve çıkış sayısı 5'tir. Çizelge 6.1'de İBYSA'da kullanılan parametreler, ağın eğitimi süresi, iterasyon sayısı, performansı hakkında bilgi verilmektedir.



Şekil 6.8. Batarya türü belirlemede kullanılan İBYSA yapısı.

İBYSA ağı ile yapılan batarya tür tahminlerinde en iyi sonuçlar batarya 3Ω yükte elde edilmektedir. Yapay sinir ağı eğitimindeki ortalama başarımlar 3Ω için % 97'dir, 5Ω için % 93,2'dir, 10 Ω için ise % 91,82'dir. Test başarımları 3Ω için % 95,52'dir, 5Ω için 92,6'dir 10 Ω için ise 92,64'tür. Bataryalar arasında en yüksek tahmin oranı Pb bataryada sağlanmıştır. En düşük başarımlar ise NiMH bataryaya aittir. Çizelge 6.2'de İBYSA ile batarya tür tahminine ait başarımlar tablosu verilmektedir. Çizelge 6.1'de performans fonksiyonu karesel ortalama hatası (KOH) olarak belirlenmiştir. KOH değeri hataların kareleri ortalamasının karekökü alınarak hesaplanmaktadır. KOH eşitliği 6.1'de verilmektedir. Burada n hata sayısı, ci i. hesaplanan değeri ci' i. olması gereken değeri temsil etmektedir.

$$KOH = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (c_i - c_i')^2} \quad (6.1)$$

Transfer fonksiyonu olarak kullanılan "tansig" kısaltması tanjant sigma fonksiyonunu ifade etmektedir. Bu fonksiyon eşitlik 6.2'de verilmektedir. "learn_gdm"

olarak kısaltması yapılan adaptasyon öğrenme fonksiyonu momentum ağırlığı ve bias öğrenme fonksiyonuyla gradyan inişi temsil etmektedir.

$$\text{tansig}(x) = \frac{2}{1 + e^{-2x}} - 1 \quad (6.2)$$

Çizelge 6.1. İBYSA eğitim parametreleri.

Deşarj sabit yük değeri	3Ω	5Ω	10Ω
Eğitim fonksiyonu	LM	LM	LM
Performans fonksiyonu	KOH	KOH	KOH
Katman sayısı	2	2	2
Birinci gizli katman nöron sayısı	25	30	35
İkinci gizli katman nöron sayısı	25	30	40
Transfer fonksiyonu	tansig	tansig	tansig
Adaptasyon öğrenme fonksiyonu	learnngdm	learnngdm	learnngdm
İterasyon sayısı	178	764	288
Eğitim süresi (sn)	187	1343	338
Performans	0,0106	0,0143	0,0718
Gradyan	0,00699	0,00000904	0,0669
Öğrenme katsayısı	0,001	0,001	0,001

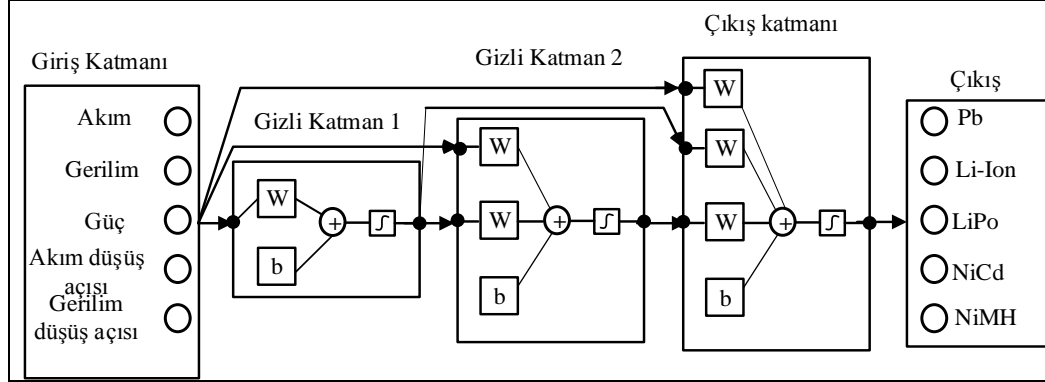
Çizelge 6.2. İBYSA ile batarya tür tahmini.

Sabit yük değeri(Ω)	3Ω					5Ω					10Ω				
	Pb	Li-Ion	LiPo	NiCd	NiMH	Pb	Li-Ion	LiPo	NiCd	NiMH	Pb	Li-Ion	LiPo	NiCd	NiMH
Eğitim başarıml oranı(%)	100	96,3	93,2	97,4	98,1	100	96,8	93,8	87	88,4	97,5	93,4	92,8	91,8	83,6
Test başarıml oranı(%)	100	93,4	90,1	97,3	96,8	100	96,7	92,6	86,6	87,1	100	94,2	93,6	91	84,4
Ortalama eğitim başarımlı(%)	97					93,2					91,82				
Ortalama test başarımlı(%)	95,52					92,6					92,64				

6.1.2. Kademeli Sinir Ağı İle Tür Tahmini

Şekil 6.9'da batarya şarj durumu belirlemede kullanılan İBYSA mimari yapısı verilmektedir. Ağınl giriş parametre sayısı 5, gizli katman sayısı 2 ve çıkış sayısı 5'tir.

Çizelge 6.3'te KBYSA'da kullanılan parametreler, ağın eğitimi süresi, iterasyon sayısı, performansı hakkında bilgi verilmektedir.



Şekil 6.9. Batarya türü belirlemede kullanılan KBYSA yapısı.

Çizelge 6.3. KBYSA eğitim parametreleri.

Deşarj sabit yük değeri	3Ω	5Ω	10Ω
Eğitim fonksiyonu	LM	LM	LM
Performans fonksiyonu	KOH	KOH	KOH
Katman sayısı	2	2	2
Birinci gizli katman nöron sayısı	35	21	25
İkinci gizli katman nöron sayısı	25	55	25
Transfer fonksiyonu	tansig	tansig	tansig
Adaptasyon öğrenme fonksiyonu	learnsgdm	learnsgdm	learnsgdm
İterasyon sayısı	93	630	100
Eğitim süresi (sn)	208	2184	317
Performans	0,0797	0,00256	0,0104
Gradyan	0,0227	$7,65 \times 10^{-6}$	0,0225
Öğrenme katsayısı	0,001	0,001	0,001

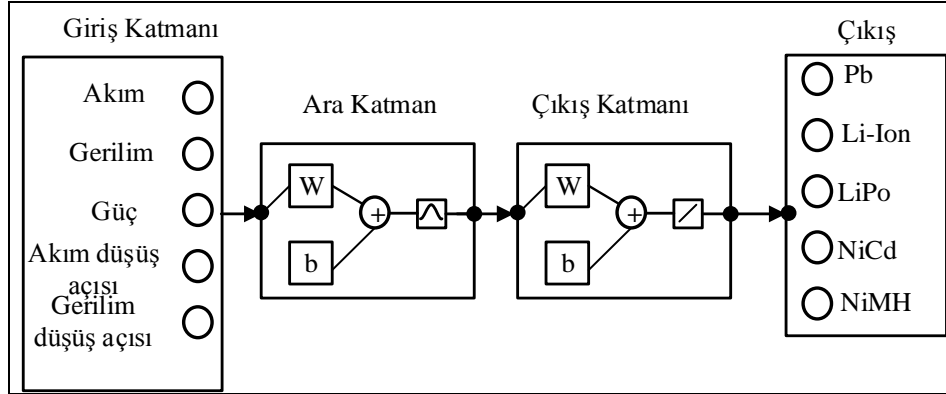
KBYSA ile yapılan batarya tür tahminlerinde en iyi sonuçlar batarya 3Ω yükte elde edilmektedir. Yapay sinir ağı eğitimindeki ortalama başarımlar 3Ω için % 96,12'dir, 5 Ω için % 93,7'dir, 10 Ω için ise % 91,58'dir. Test başarımları 3Ω için % 96,02'dir, 5 Ω için % 92,22'dir 10 Ω için ise % 91,46'dır. Bataryalar arasında en yüksek tahmin oranı Pb bataryada sağlanmıştır. En düşük başarımlar ise NiMH bataryaya aittir. Çizelge 6.4'te KBYSA ile batarya tür tahminine ait başarımlar tablosu verilmektedir.

Çizelge 6.4. KYSA ile batarya tür tahmini.

Sabit yük değeri(Ω)	3 Ω					5 Ω					10 Ω				
	Pb	Li-Ion	LiPo	NiCd	NiMH	Pb	Li-Ion	LiPo	NiCd	NiMH	Pb	Li-Ion	LiPo	NiCd	NiMH
Eğitim başarımları(%)	100	96,1	93,2	97,1	94,2	100	96,6	93,2	90	88,7	99,2	95	93	84,4	86,3
Test başarımları(%)	100	98,5	91,5	96,6	93,5	100	97,1	92,1	84,5	87,4	100	94,7	92,8	82,8	87
Ortalama eğitim başarımları(%)	96,12					93,7					91,58				
Ortalama test başarımları(%)	96,02					92,22					91,46				

6.1.3. Radyal Tabanlı Fonksiyon Ağı İle Tür Tahmini

Şekil 6.10'da batarya şarj durumu belirlemede kullanılan RTFSA mimari yapısı verilmektedir. Ağın giriş parametre sayısı 5, ara katman sayısı 1 ve çıkış sayısı 5'tir. Ara katmandaki nöron sayısı ağın eğitiminde kullanılan giriş matrisinin boyutuna eşittir. Çizelge 6.5'te KBYSA'da kullanılan parametreler hakkında bilgi verilmektedir.



Şekil 6.10. Batarya türü belirlemede kullanılan RTFSA yapısı.

RTFA ile yapılan batarya tür tahminlerinde en iyi sonuçlar batarya 3 Ω yükte elde edilmektedir. Yapay sinir ağı eğitimindeki ortalama başarımları 3 Ω için % 96,11'dir, 5 Ω için 92,242'dir, 10 Ω için ise 93,406'dır. Test başarımları 3 Ω için % 70,66'dır, 5 Ω için % 67,62'dir, 10 Ω için ise % 70,636'dır. Bataryalar arasında en yüksek tahmin oranı Li-Ion bataryada sağlanmıştır. En düşük başarımları ise Pb bataryaya aittir.

RTFA Pb batarya tür tahmini için uygun bir ağ değildir. Çizelge 6.6'da RTFA ile batarya tür tahminine ait başarımlar tablosu verilmektedir.

Çizelge 6.5. RTFSA eğitim parametreleri.

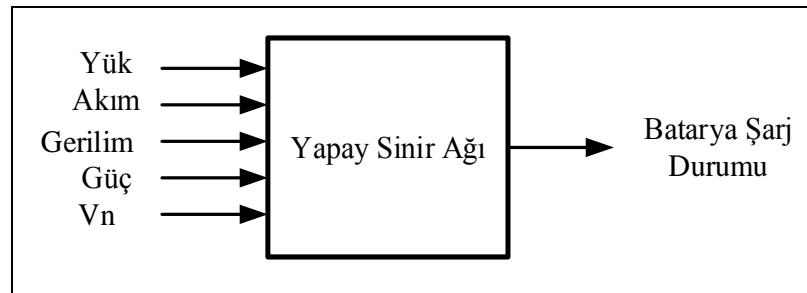
Deşarj sabit yük değeri	3Ω	5Ω	10Ω
Spread factor	0,01	0,01	0,01
Katman sayısı	1	1	1
Gizli katman nöron sayısı	3028	3344	5478

Çizelge 6.6. RTFSA ile batarya tür tahmini.

Sabit yük değeri(Ω)	3Ω					5Ω					10Ω				
	Pb	Li-Ion	LiPo	NiCd	NiMH	Pb	Li-Ion	LiPo	NiCd	NiMH	Pb	Li-Ion	LiPo	NiCd	NiMH
Eğitim başarımları(%)	100	96,1	93,2	97,1	94,2	100	97	91,2	84,5	88,5	100	93,5	91,6	88,6	93,3
Test başarımları(%)	6,7	86,9	87,3	89,7	82,7	0	96	86,6	76	79,5	0	92,5	90,1	82,4	88,3
Ortalama eğitim başarımları(%)	96,12					92,24					93,4				
Ortalama test başarımları(%)	70,66					67,62					70,66				

6.2. BATARYA ŞARJ DURUMUNUN TAHMİNİ

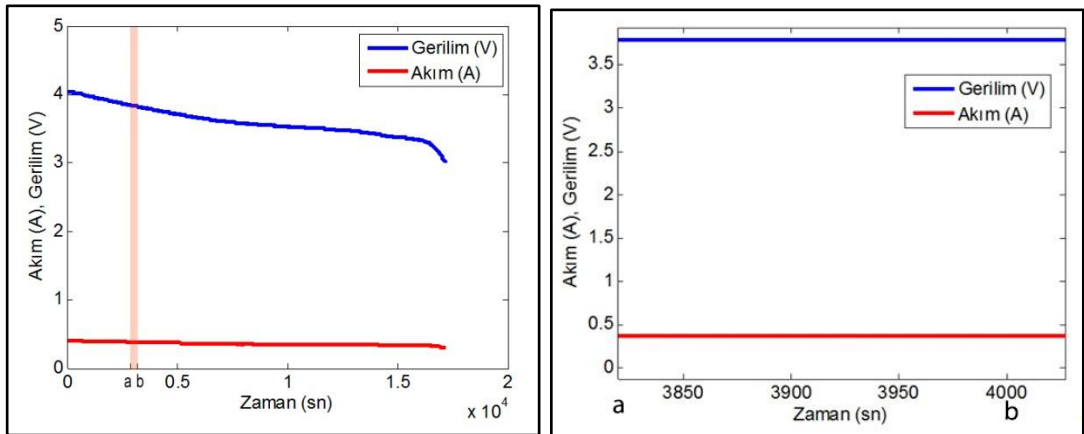
Batarya şarj durumunda kullanılan YSA giriş parametreleri yük, batarya akımı, batarya gerilimi, batarya gücü ve V_n parametresidir. Şekil 6.11'de batarya şarj durumu tahmininde kullanılan genel YSA mimari yapısı verilmektedir.



Şekil 6.11. Batarya ŞD tahmininde kullanılan genel YSA mimari yapısı.

Temel olan giriş parametreleri akım ve gerilimdir. Diğer giriş değerleri akım ve gerilim değerinden hesaplanabilmektedir. Yük değeri gerilim değerinin akıma bölünmesiyle, güç değeri ise akım ve gerilim değerinin çarpılması ile elde edilmektedir. Buradaki V_n parametresi gerilimdeki değişime bakılarak hesaplanmaktadır. Yapılan ölçümlerden görülmektedir ki batarya deşarj edilirken akım ve gerilim değeri uzun süre sabit kalabilmektedir. Fakat bu süre zarfında bataryanın şarj durumu eşit değildir. Bu durum Şekil 6.12'de bir örnekle açıklanmaktadır. Şekil 6.12 a'da Li-Ion bataryaya ait zamana bağlı deşarj esnasında akım ve gerilim eğrileri verilmektedir. Burada a ile b zamanları arasında akım ve gerilim değerleri sabit kalmaktadır. Şekil 6.12 b'de bu eğrilerin büyütülmüş hali verilmektedir. Çizelge 6.7'de bu süreler karşılık gelen akım, gerilim ve ŞD değerleri verilmektedir. Görüldüğü üzere akım ve gerilim değerleri aynı olmasına karşın ŞD değerleri farklıdır. V_n parametresi bir sayaçtır ve batarya gerilim değerinin kaç kez tekrar ettiği sayılmaktadır. Saniyede bir gerilim değeri ölçülerek eğer gerilim değeri aynı ise bu sayacın değeri artırılmaktadır. Eğer bir öncekinden farklı bir gerilim değeri ölçülürse sayaç değeri birden tekrar başlatılmaktadır. Bu değer Eşitlik 6.1'e göre hesaplanmaktadır. Bu parametrenin YSA girişine uygulanması ile deşarj esnasında uzun süre sabit kalan değerlerden kaynaklanan ŞD tahmin hatası giderilmektedir.

$$V_n = \begin{cases} \text{eski gerilim değeri} = \text{yeni gerilim değeri} , V_n = V_n + 1 \\ \text{eski gerilim değeri} \neq \text{yeni gerilim değeri} , V_n = 1 \end{cases} \quad (6.1)$$



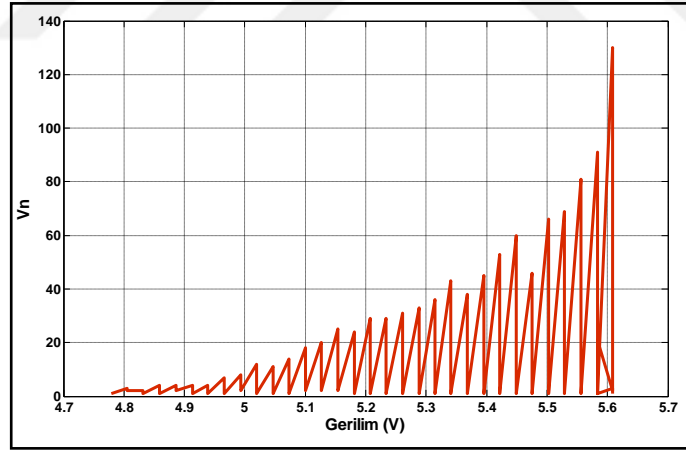
Şekil 6.12. Li-Ion batarya deşarj eğrileri ve ayrıntılı grafik.

Bütün giriş parametreleri Eşitlik 5.1'de verilen denkleme göre ölçeklendirildikten sonra ağıın girişine uygulanmaktadır. Ağıın çıkışı 0 ile 1 arasında sonuç vermektedir. 0 boş bataryayı 1 ise % 100 dolu bataryayı temsil etmektedir.

Çizelge 6.7. Li-Ion batarya zamana bağlı akım, gerilim, ŞD değışimi.

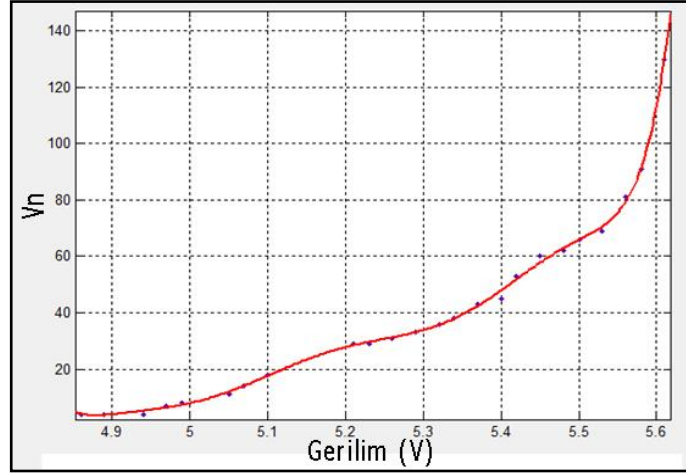
Zaman (sn)	Gerilim (V)	Akım (A)	Vn	Şarj Durumu (%)
3800	3,78	0,378	1	75,9
4000	3,78	0,378	200	74,7

Şekil 6.13'te örnek olarak Pb batarya 3 ohm sabit yük deşarj deneyi için gerilime bağlı Vn parametresinin değışim eğrisi verilmektedir. Bu eğrinin tepe değeri ile Matlab yazılımının eğri uydurma araç kutusu kullanılarak Şekil 6.14'te verilen eğri elde edilmiştir. Eşitlik 6.2'de bu eğriye ait ve sekizinci dereceden polinomik denklem verilmektedir. Bu eşitlikte verilen x değeri gerilimi (V) ve y değeri de Vn değerini ifade etmektedir.



Şekil 6.13. Pb batarya Gerilim, Vn eğrisi.

$$\begin{aligned}
 y = & 5,023 \cdot 10^{-5} \cdot x^8 - 2,084 \cdot 10^{-5} \cdot x^7 + (-3,783) \cdot 10^{-8} \cdot x^6 + (-3,922) \cdot 10^{-9} \cdot x^5 \\
 & + 0,54 \cdot 10^{-10} \cdot x^4 + (-1,053) \cdot 10^{-11} \cdot x^3 + 2,726 \cdot 10^{-11} \cdot x^2 + (-4,031) \cdot 10^{-11} \cdot x \\
 & + 2,607 \cdot 10^{-11}
 \end{aligned} \quad (6.2)$$



Şekil 6.14. Gerilime bağlı en yüksek Vn noktaları eğrisi.

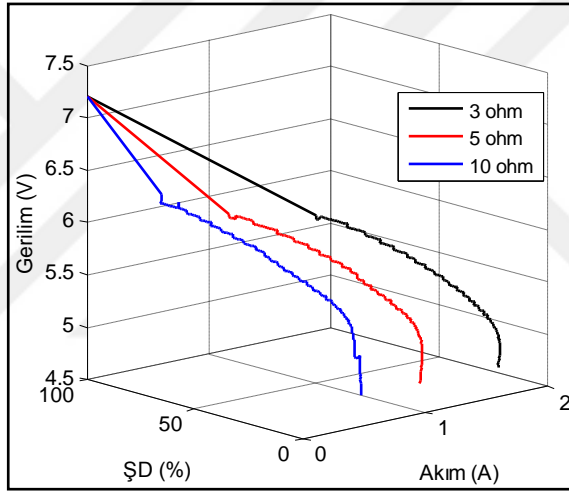
Bataryanın şarj durumu tam şarjdan tam deşarja götürülen bataryanın akım eğrisinden bulunmaktadır. Trapez yöntemi ile bu eğrinin altında kalan toplam alan bulunmaktadır. Bu alan % 100 şarjlı bataryayı temsil etmektedir. Trapez yöntemi Eşitlik 6.3'e göre hesaplanmaktadır. Bu denklemden TA toplam alanı, g_i i. ölçülen akım değerini, g_{i+1} bir sonraki akım değerini, t_i i. zaman değerini t_{i+1} bir sonraki zaman değerini, n ölçüm sayısını temsil etmektedir. TA ilk başta sıfırdır. Belli bir noktadaki ŞD hesaplanırken o ana kadar akım eğrisinin altında kalan alan (AA) toplam alandan çıkarılır, TA'ya bölünür ve 100 ile çarpılır (Eşitlik 6.5). AA değeri Eşitlik 6.4'te verilen denkleme göre hesaplanmaktadır. Burada m sayısı o andaki değerin kaçınıcı ölçüm olduğunu belirtmektedir.

$$TA = \sum_{i=1}^n \frac{g_{i+1} + g_i}{2} \times (t_{i+1} - t_i) \quad (6.3)$$

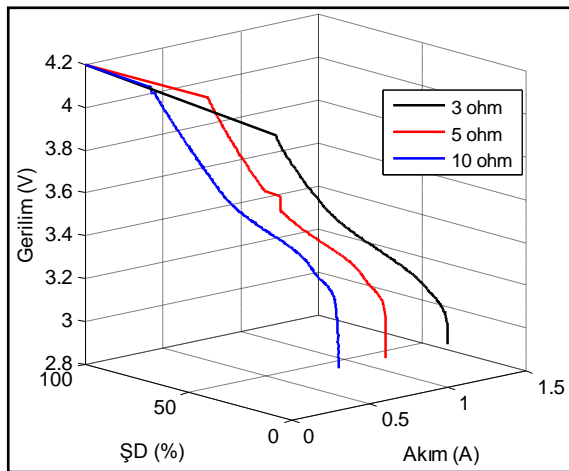
$$AA = \sum_{i=1}^m \frac{g_{i+1} + g_i}{2} \times (t_{i+1} - t_i) \quad (6.4)$$

$$\text{ŞD} = \frac{TA - AA}{TA} \times 100 \quad (6.5)$$

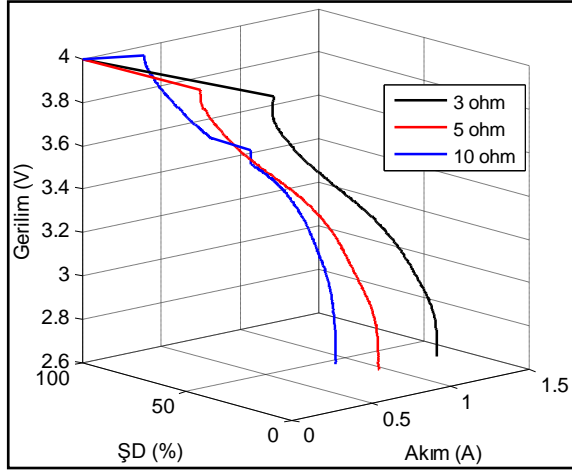
Şekil 6.15, Şekil 6.16, Şekil 6.17, Şekil 6.18 ve Şekil 6.19'da Pb, Li-Ion, LiPo, NiCd ve NiMH bataryalara ait sabit yük tam deşarj deneylerinde elde edilen akım, gerilim ve ŞD eğrileri üç boyutlu grafik şeklinde gösterilmektedir. Bu eğriler incelendiğinde bataryaya bağlanan yük miktarı azaldığında bataryadan çekilen akım miktarı artmaktadır ve batarya gerilimi azalmaktadır. Eğrilerin bazı yerlerinde sıçramalar görülmektedir. Bu sıçramalar ortam sıcaklığındaki değişiklikten, batarya sağlık durumundan kaynaklı olabilir. Batarya deşarjı kesintiye uğrar ve bir süre sonra batarya tekrar deşarj edilmeye devam edebilirse aradaki sürede batarya dinlenir, sıcaklığı azalır ve kendini toplar. Deşarj sürecinde batarya gerilim değeri kaldığı yerden değil biraz üst değerinden devam edebilir.



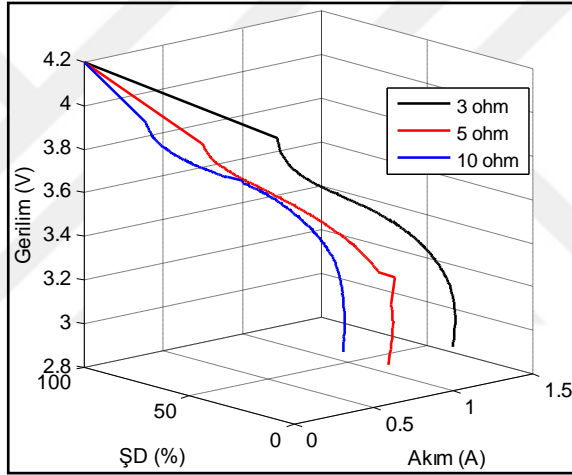
Şekil 6.15. Pb batarya sabit yük deneylerine ait akım, gerilim, ŞD grafiği.



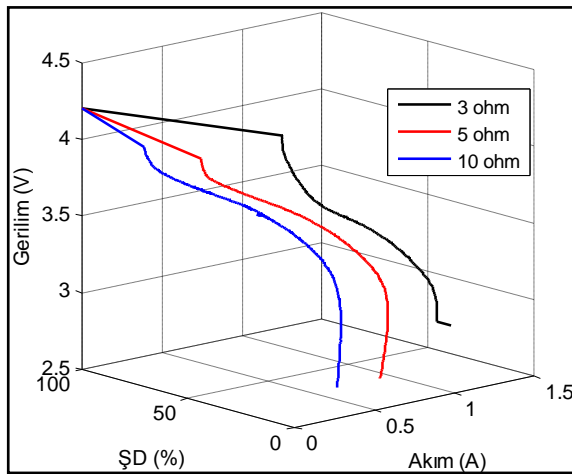
Şekil 6.16. Li-Ion batarya sabit yük deneylerine ait akım, gerilim, ŞD grafiği.



Şekil 6.17. LiPo batarya sabit yük deneylerine ait akım, gerilim, ŞD grafiği.



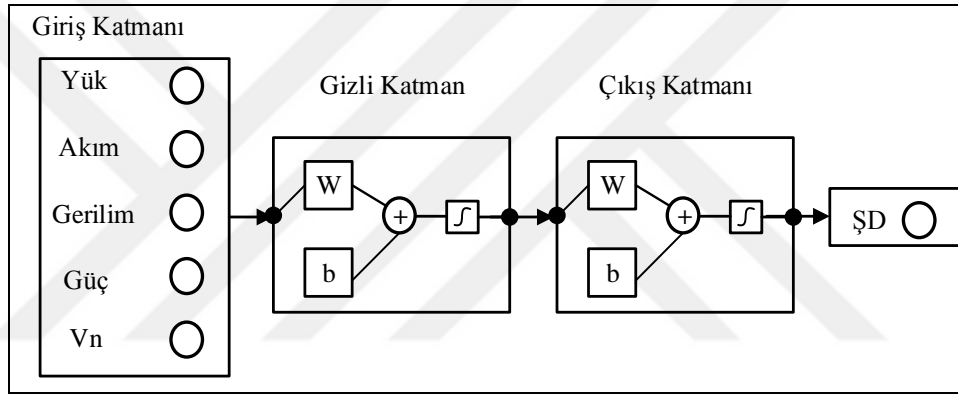
Şekil 6.18. NiCd batarya sabit yük deneylerine ait akım, gerilim, ŞD grafiği.



Şekil 6.19. NiMH batarya sabit yük deneylerine ait akım, gerilim, ŞD grafiği.

6.2.1. İleri Beslemeli Sinir Ağı İle Şarj Durumu Tahmini

Şarj durumu tahmininde İBYSA doğrusal olmayan haritalama, öz örgütleme olması, kendi kendine öğrenme gibi özelliklerinden dolayı kullanılır [120]. ŞD tahmininde giriş ve hedef veri arasındaki ilişki doğrusal değildir ve karmaşıktır [99]. Şekil 6.20'de şarj durumu belirlemede kullanılan ileri beslemeli sinir ağı verilmektedir. Ağın giriş parametre sayısı 5, gizli katman sayısı 1 ve çıkış sayısı 1'dir. Çizelge 6.8'de bu ağın eğitilmesinde kullanılan parametrelere ait bilgiler ve ağın eğitim süresi, iterasyon sayısı, performans bilgileri ve başarımları verilmektedir.

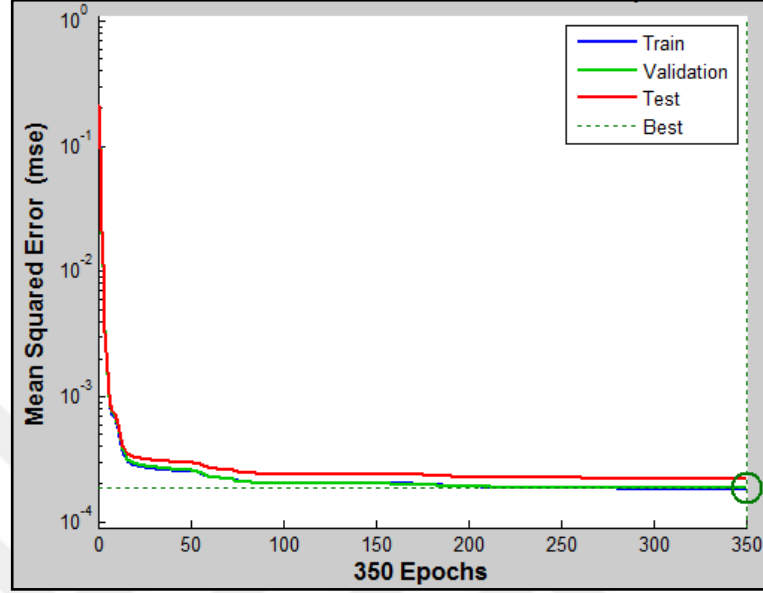


Şekil 6.20. Batarya şarj durumu belirleme ileri beslemeli sinir ağı yapısı.

Çizelge 6.8. İBYSA eğitim parametreleri.

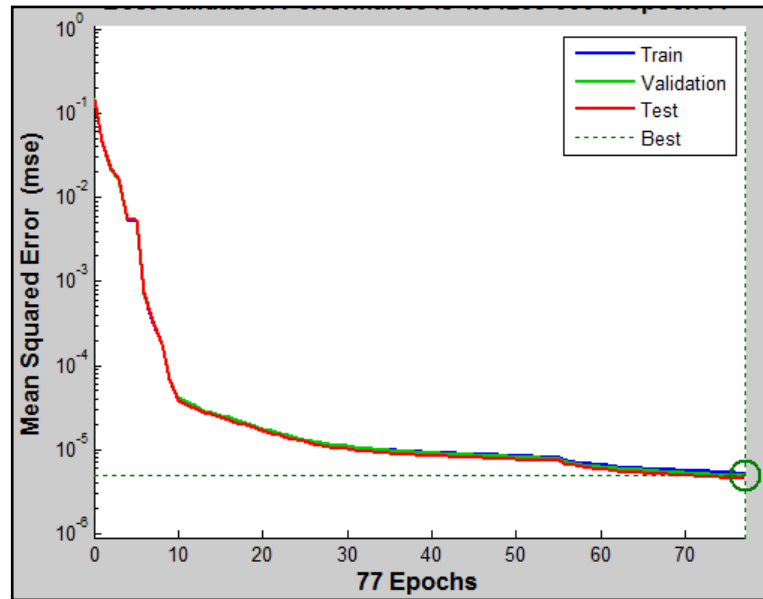
Batarya türü	Pb	Li-Ion	LiPo	NiCd	NiMH
Eğitim fonksiyonu	LM	LM	LM	LM	LM
Performans fonksiyonu	KOH	KOH	KOH	KOH	KOH
Katman sayısı	1	1	1	1	1
Gizli katman nöron sayısı	25	25	30	25	30
Transfer fonksiyonu	tansig	tansig	tansig	tansig	tansig
Adaptasyon öğrenme fonksiyonu	learnngdm	learnngdm	learnngdm	learnngdm	learnngdm
İterasyon sayısı	350	77	123	211	901
Eğitim süresi (sn)	47	51	68	66	490
Performans	0,00018	5,23E-06	3,85E-06	1,47E-06	4,12E-06
Gradyan	9,99E-06	6,63E-06	8,67E-06	9,63E-06	9,90E-06
Öğrenme katsayısı	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Eğitim verisi başarımları	91,94	99,14	99,99	99,3	98,09
Test verisi başarımları	91,93	99,12	99,98	99,02	99,56

Şekil 6.21'de İBYSA ile Pb batarya için eğitim, doğrulama ve testte kullanılan veriler için iterasyona bağlı karesel ortalama hatası grafiksel olarak gösterilmektedir.



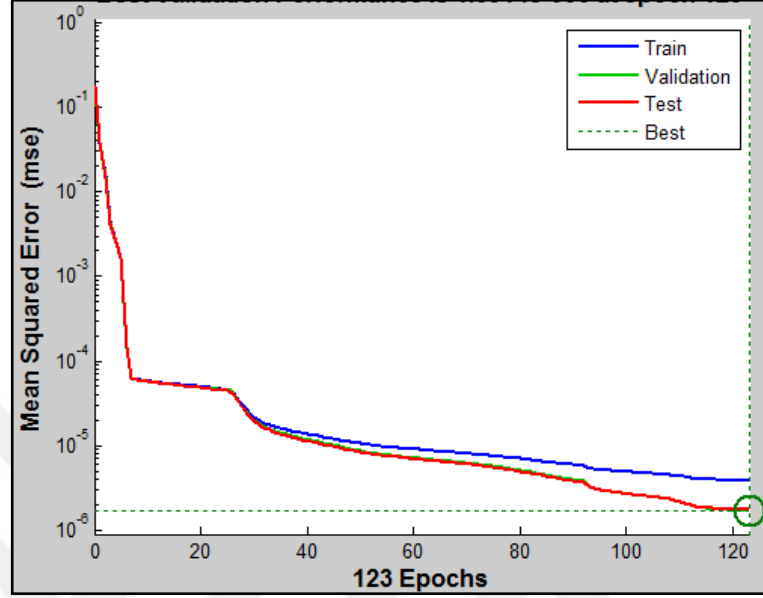
Şekil 6.21. Pb batarya eğitim grafiği.

Şekil 6.22'de İBYSA ile Li-Ion batarya için eğitim, doğrulama ve testte kullanılan veriler için iterasyona bağlı karesel ortalama hatası grafiksel olarak gösterilmektedir.



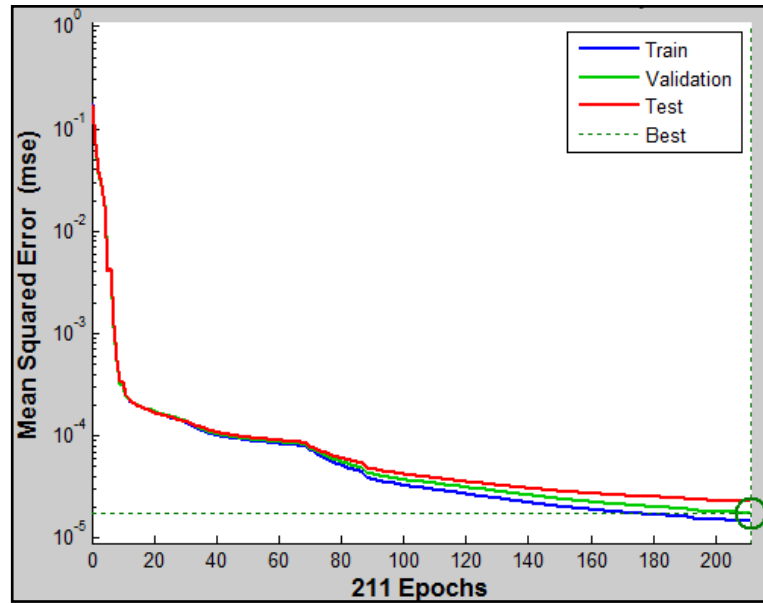
Şekil 6.22. Li-Ion batarya eğitim grafiği.

Şekil 6.23'te İBYSA ile LiPo batarya için eğitim, doğrulama ve testte kullanılan veriler için iterasyona bağlı karesel ortalama hatası grafiksel olarak gösterilmektedir.



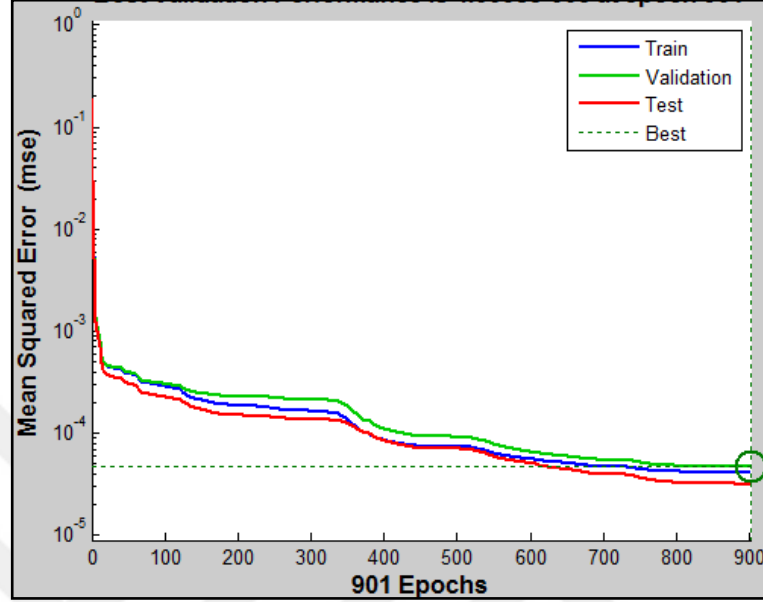
Şekil 6.23. LiPo batarya eğitim grafiği.

Şekil 6.24'te İBYSA ile NiCd batarya için eğitim, doğrulama ve testte kullanılan veriler için iterasyona bağlı karesel ortalama hatası grafiksel olarak gösterilmektedir.



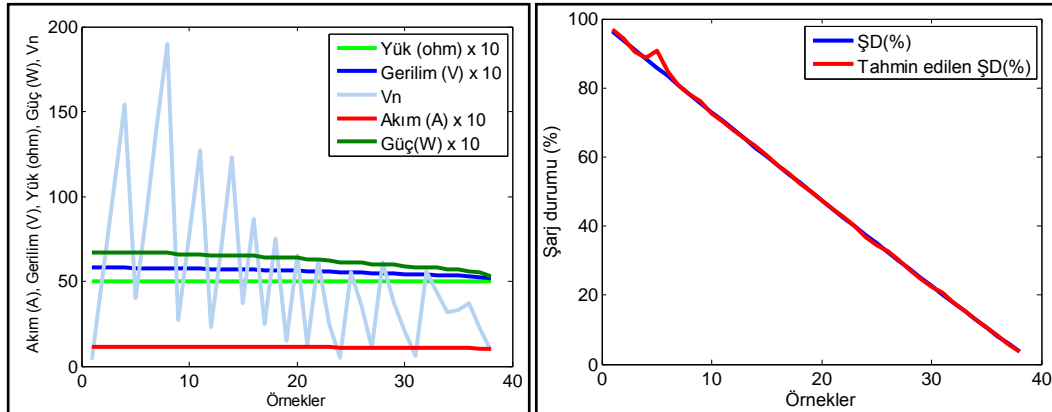
Şekil 6.24. NiCd batarya eğitim grafiği.

Şekil 6.25'te İBYSA ile NiMH batarya için eğitim, doğrulama ve testte kullanılan veriler için iterasyona bağlı karesel ortalama hatası grafiksel olarak gösterilmektedir.



Şekil 6.25. NiMH batarya eğitim grafiği.

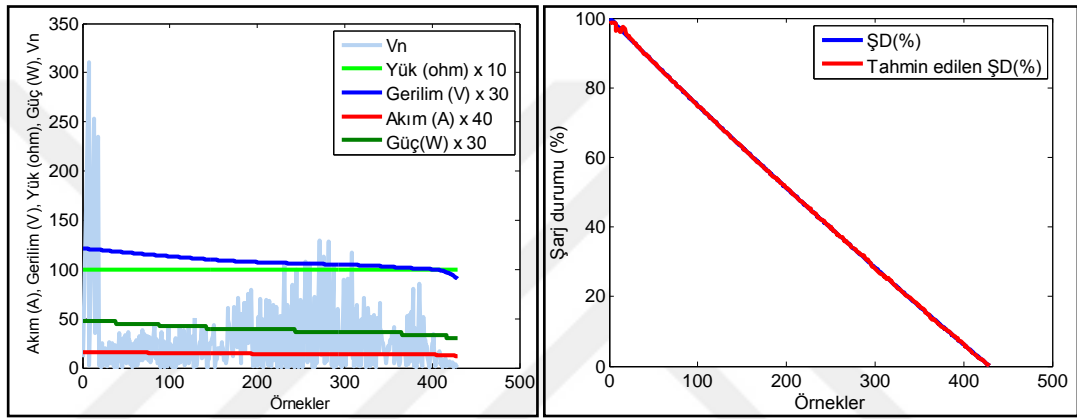
İBYSA ağı ile yapılan batarya ŞD tahmininde \pm % 1 tolerans kullanılmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre en başarılı tahmin % 99,98 oranla Li-Po bataryaya aittir. En başarısız tahmin oranı ise % 91,94 değeri ile Pb bataryaya aittir. Şekil 6.26, Şekil 6.27, Şekil 6.28, Şekil 6.29 ve Şekil 6.30'da sırasıyla Pb, Li-Ion, Lipo, NiCd ve NiMH bataryalara ait akım ve gerilim değerlerine karşılık gelen bataryanın gerçek şarj durumu ile tahmin edilen şarj durumu eğrileri verilmektedir.



Şekil 6.26. Pb batarya için ŞD ve tahmin edilen ŞD eğrileri.

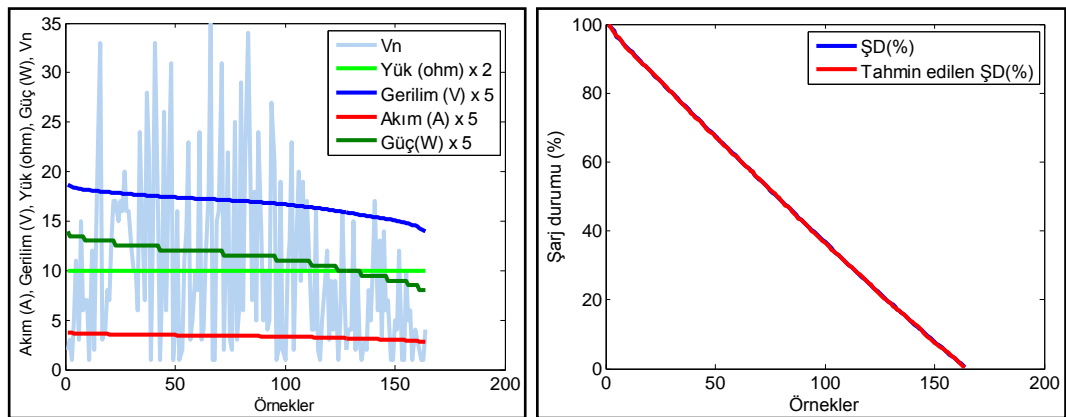
Bu eğrilerde verilen örnekler eksen test verisi içinden 50 saniye zaman aralıklarında seçilmiştir. Bu şekilde V_n parametresi daha net gözlemlenebilmektedir. Diğer giriş parametrelerinde ani iniş çıkışlar gözlemlenmemektedir. Şekil 6.26'da Pb bataryanın şarj durumu tahmininde % 85- % 90 aralığında tahmin hatası yapılmaktadır. Diğer durumlarda ağ başarılı tahminler yapmaktadır.

Şekil 6.27'de verilen İBYSA ile Li-Ion batarya şarj durumu tahmininde batarya % 98-% 100 şarjlı iken ŞD tahmininde ihmal edilebilir sıçramalar olmaktadır.



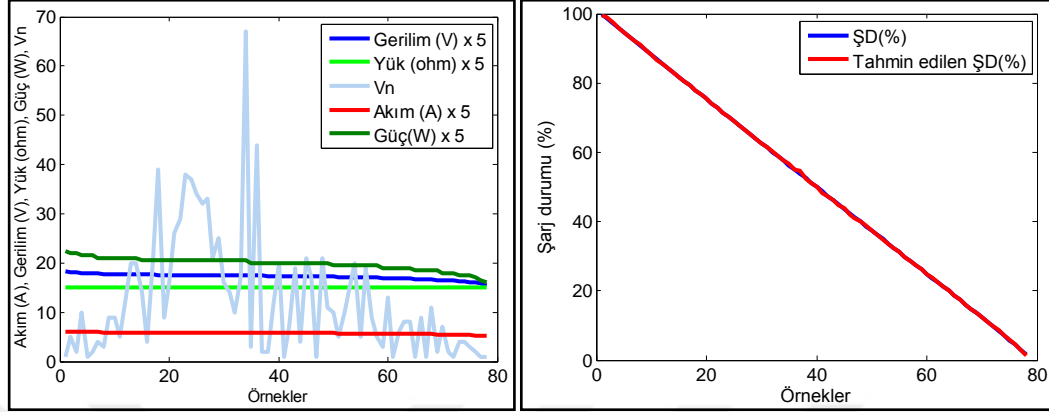
Şekil 6.27. Li-Ion batarya için ŞD ve tahmin edilen ŞD eğrileri.

Şekil 6.28'de verilen İBYSA ile Li-Po ŞD tahmininde tahmin edilen ile ŞD eğrileri birebir uyuşmaktadır.

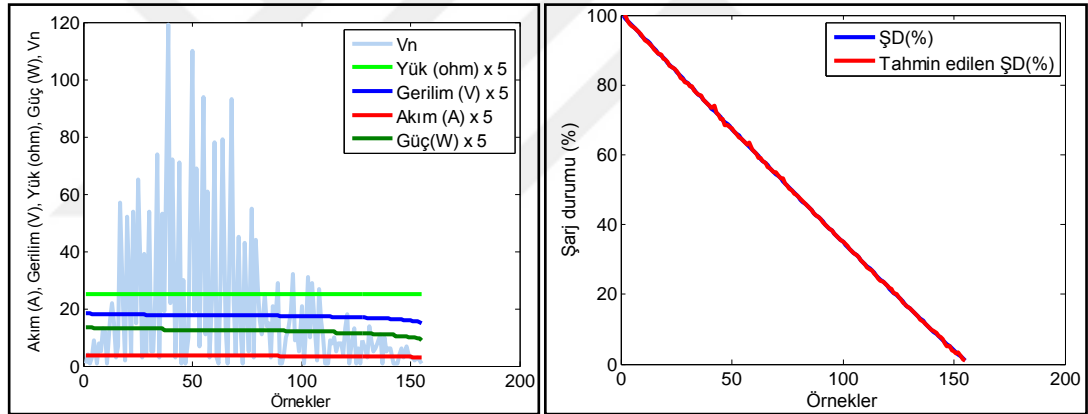


Şekil 6.28. LiPo batarya için ŞD ve tahmin edilen ŞD eğrileri.

Şekil 6.29'da verilen NiCd batarya İBYSA ile ŞD tahmini için tahmin edilen ile ŞD eğrileri birebir uyuşmaktadır.



Şekil 6.29. NiCd batarya için ŞD ve tahmin edilen ŞD eğrileri.



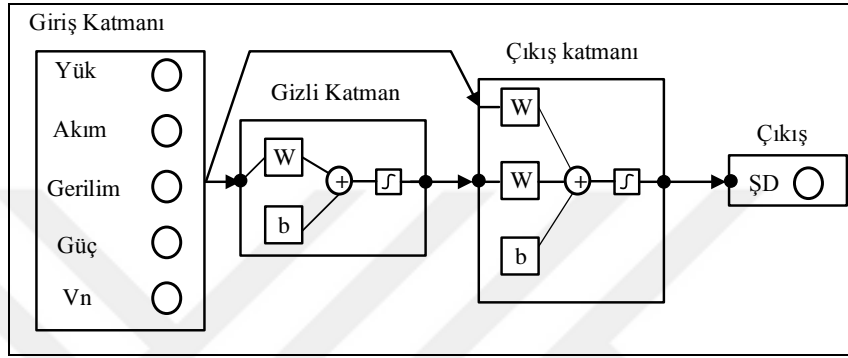
Şekil 6.30. NiMH batarya için ŞD ve tahmin edilen ŞD eğrileri.

Şekil 6.30'da verilen NiMH batarya İBYSA ile ŞD tahmini için tahmin edilen ŞD eğrilerinde gerçek ŞD'den % 0,5'i geçmeyen ihmal edilebilir çok küçük sıçramalar olmaktadır.

6.2.2. Kademeli Bağlantılı Sinir Ağı ile Şarj Durumu Tahmini

Şekil 6.31'de şarj durumu belirlemede kullanılan kademeli bağlantılı yapay sinir ağı mimari yapısı verilmektedir. Ağın giriş parametre sayısı 5, gizli katman sayısı 1 ve çıkış sayısı 1'dir. Çizelge 6.9'da bu ağın eğitilmesinde kullanılan parametrelere ait bilgiler ve ağın eğitim süresi, iterasyon sayısı, performans bilgileri ve başarımları

oranları verilmektedir. KBYSA ile batarya şarj durumu yönteminde kullanılan mimari yapıda gizli katmandaki nöron sayısı İBYSA ağına göre daha fazladır. Nöron sayısının artması ağıın eğitim süresini artırmaktadır. Katman sayısı ve nöron sayısı ne kadar fazla ise o kadar çok işlem yapılacağından ağıın tepki süresi artabilir. İBYSA ve KBYSA için bu uygulamada kullanılan ağı mimari yapıları gerçek zamanlı uygulamalara uygundur.

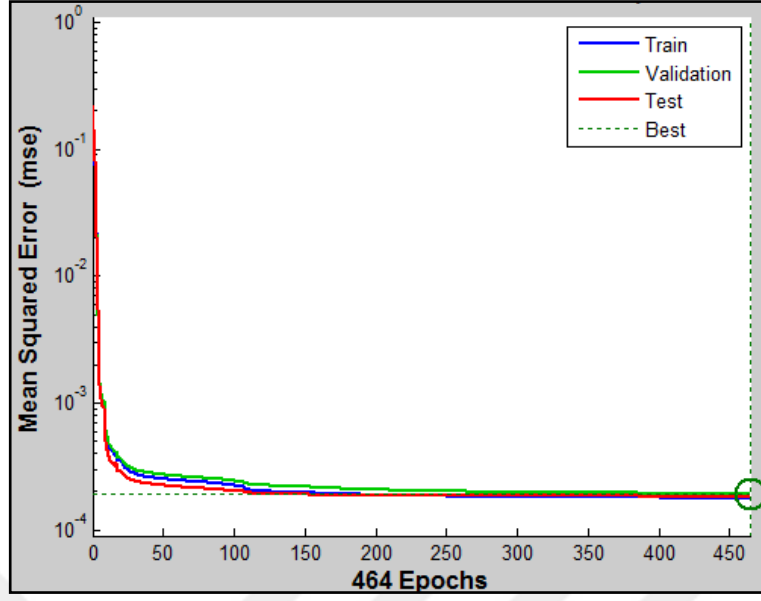


Şekil 6.31. Şarj durumu tahmininde kullanılan KBYSA mimari yapısı.

Çizelge 6.9. KBYSA eğitim parametreleri.

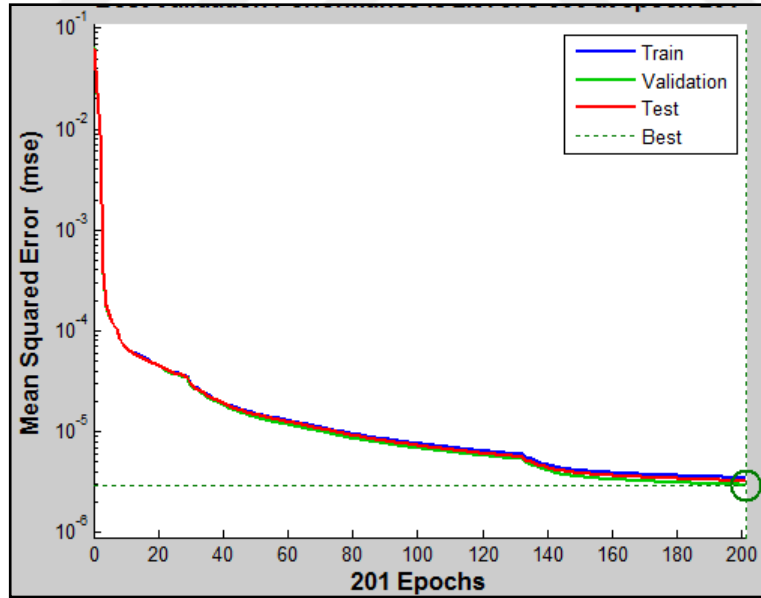
Batarya türü	Pb	Li-Ion	LiPo	NiCd	NiMH
Eğitim fonksiyonu	LM	LM	LM	LM	LM
Performans fonksiyonu	KOH	KOH	KOH	KOH	KOH
Katman sayısı	1	1	1	1	1
Gizli katman nöron sayısı	35	35	35	35	36
Transfer fonksiyonu	tansig	tansig	tansig	tansig	tansig
Adaptasyon öğrenme fonksiyonu	learnngdm	learnngdm	learnngdm	learnngdm	learnngdm
İterasyon sayısı	464	201	76	181	453
Eğitim süresi (sn)	82	201	49	73	280
Performans	0,00018	3,50E-06	4,64E-06	6,94E-06	4,69E-05
Gradyan	9,89E-06	9,43E-06	9,19E-06	8,47E-06	6,70E-06
Öğrenme katsayısı	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Eğitim verisi başarıım	92,77	99,24	99,99	99,2	99,15
Test verisi başarıım	92,7	99,23	99,98	99,1	99,14

Şekil 6.32'de KBYSA ile Pb batarya için eğitim, doğrulama ve testte kullanılan veriler için iterasyona bağlı karesel ortalama hatası grafiksel olarak gösterilmektedir.



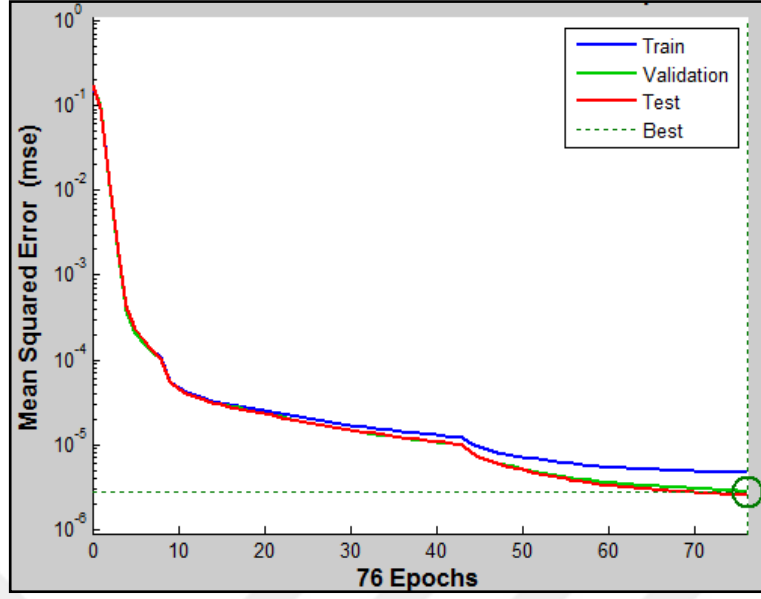
Şekil 6.32. Pb batarya eğitim grafiği.

Şekil 6.33'te KBYSA ile Li-Ion batarya için eğitim, doğrulama ve testte kullanılan veriler için iterasyona bağlı karesel ortalama hatası grafiksel olarak gösterilmektedir.



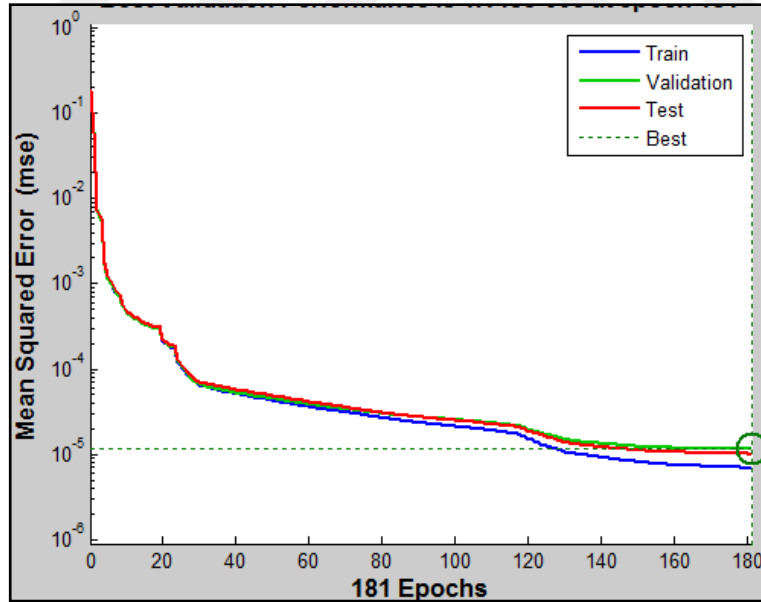
Şekil 6.33. Li-Ion batarya eğitim grafiği.

Şekil 6.34'te KBYSA ile LiPo batarya için eğitim, doğrulama ve testte kullanılan veriler için iterasyona bağlı karesel ortalama hatası grafiksel olarak gösterilmektedir.



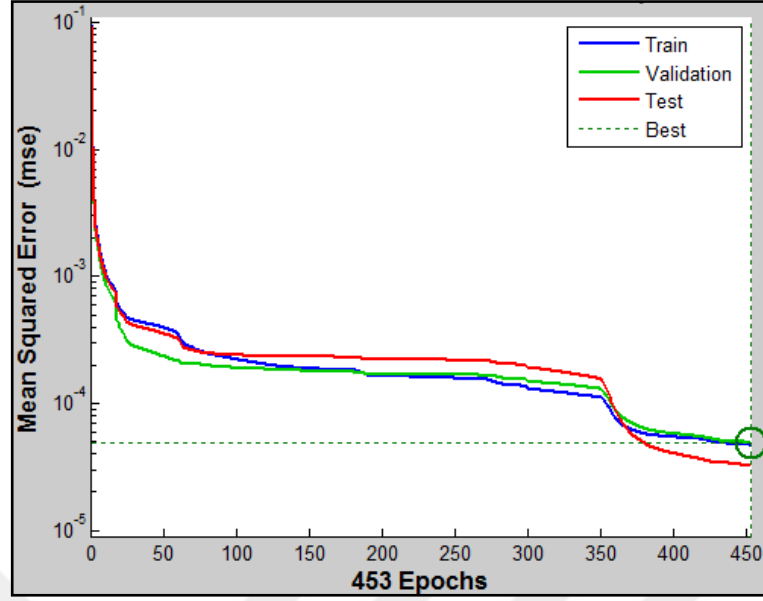
Şekil 6.34. LiPo batarya eğitim grafiği.

Şekil 6.35'te KBYSA ile NiCd batarya için eğitim, doğrulama ve testte kullanılan veriler için iterasyona bağlı karesel ortalama hatası grafiksel olarak gösterilmektedir.

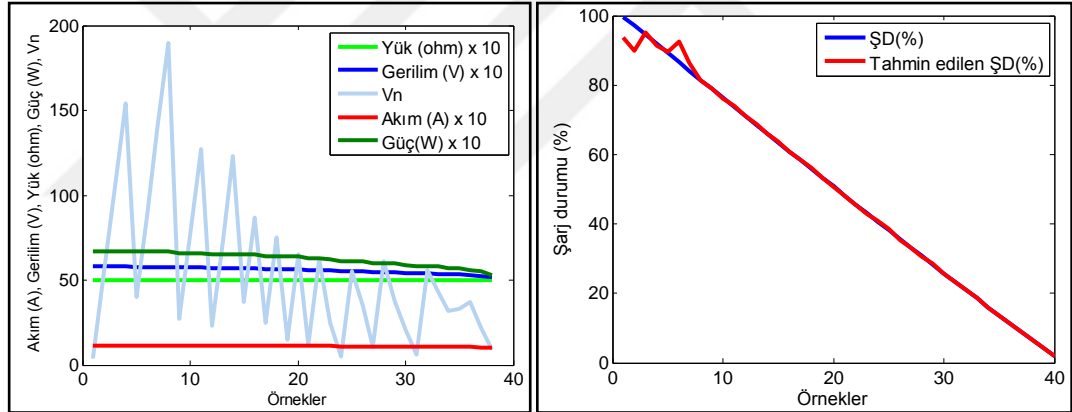


Şekil 6.35. NiCd batarya eğitim grafiği.

Şekil 6.34'te KBYSA ile NiMH batarya için eğitim, doğrulama ve testte kullanılan veriler için iterasyona bağlı karesel ortalama hatası grafiksel olarak gösterilmektedir.



Şekil 6.36. NiMH batarya eğitim grafiği.

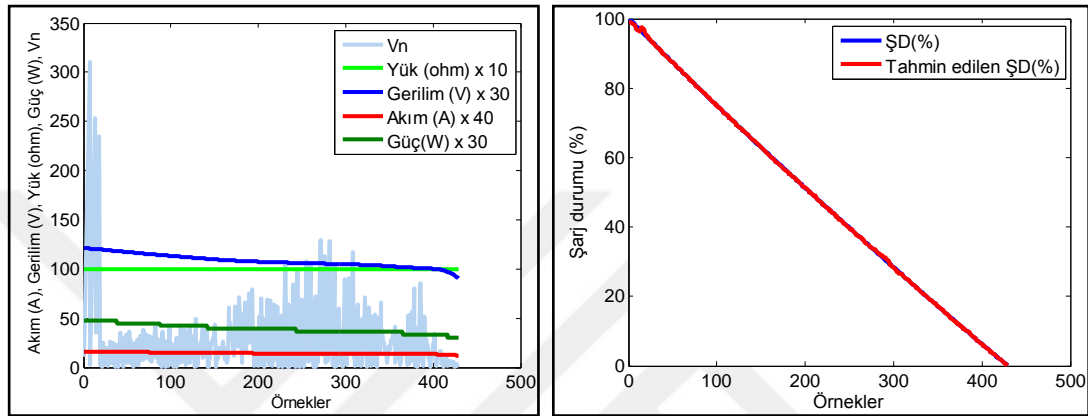


Şekil 6.37. Pb batarya için ŞD ve tahmin edilen ŞD eğrileri.

KBYSA ağı ile yapılan batarya ŞD tahmininde \pm % 1 tolerans kullanılmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre en başarılı tahmin % 99,98 oranla Li-Po bataryaya aittir. En başarısız tahmin oranı ise % 92,7 değeri ile Pb bataryaya aittir. Şekil 6.37, Şekil 6.38, Şekil 6.39, Şekil 6.40 ve Şekil 6.41de sırasıyla Pb, Li-Ion, Lipo, NiCd ve NiMH bataryalara ait akım ve gerilim değerlerine karşılık gelen bataryanın gerçek şarj durumu ile tahmin edilen şarj durumu eğrileri verilmektedir. Bu eğrilerin çizdirilmesinde kullanılan giriş verileri İBYSA yöntemi için kullanılan verilerin aynısıdır. Şekil 6.37'de KBYSA ile Pb batarya için verilen ŞD ile tahmin edilen ŞD eğrileri karşılaştırıldığında % 100 ile %95 ve % 90 ile % 85 aralıklarında tahmin

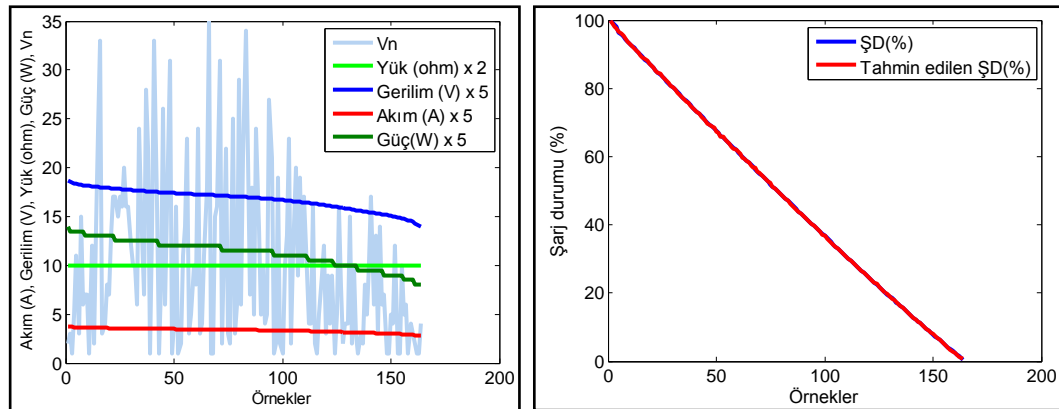
hataları yapıldığı görülmektedir. Bunun dışındaki alanlarda birebir tahmin yapılmaktadır.

Şekil 6.38'de KBYSA ile Li-Ion batarya için verilen ŞD ile tahmin edilen ŞD eğrilerinde % 96-% 98 arlığında gerçek ŞD'den % 0,5'i geçmeyen ihmal edilebilir çok küçük sıçramalar olmaktadır, diğer aralıklarda eğriler birebir uyuşmaktadır.



Şekil 6.38. Li-Ion batarya için ŞD ve tahmin edilen ŞD eğrileri.

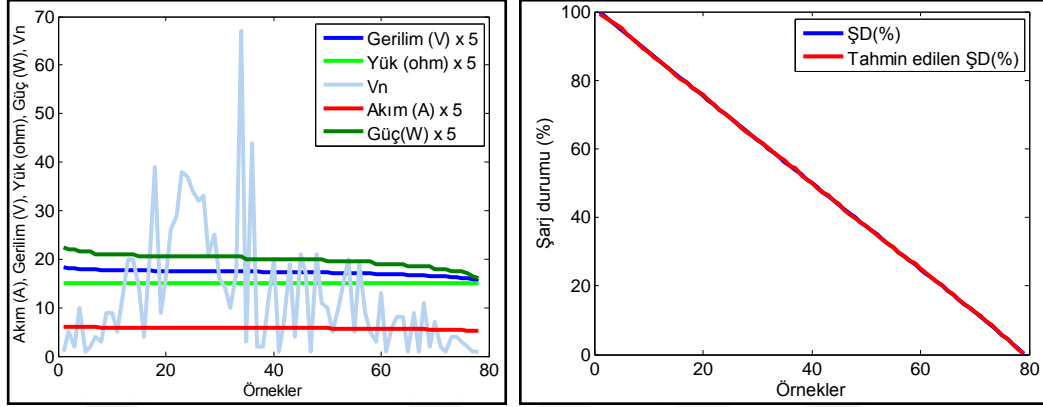
Şekil 6.39'da KBYSA ile LiPo batarya için verilen ŞD ile tahmin edilen ŞD eğrileri birebir uyuşmaktadır.



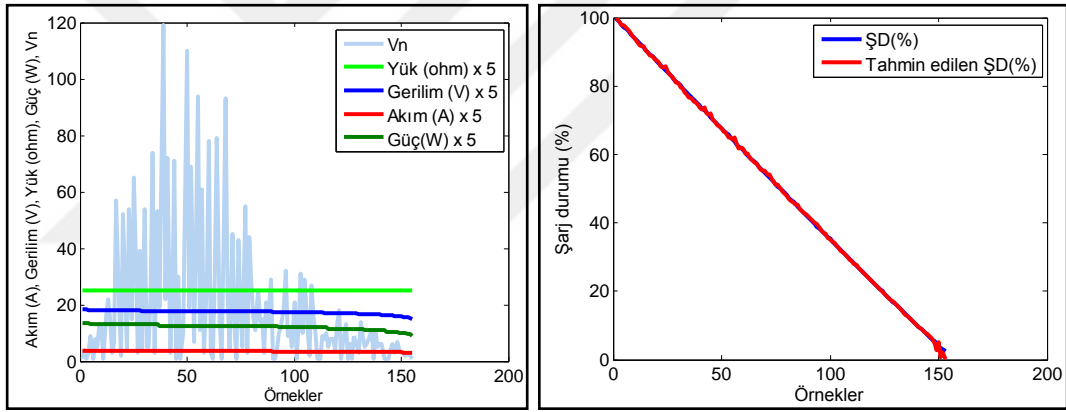
Şekil 6.39. LiPo batarya için ŞD ve tahmin edilen ŞD eğrileri.

Şekil 6.40'da KBYSA ile NiCd batarya için verilen ŞD ile tahmin edilen ŞD eğrileri birebir uyuşmaktadır. Şekil 6.41'de KBYSA ile NiMH batarya için verilen ŞD ile tahmin edilen eğrilerde % 0 ile % 5 aralığı dışında birebir uyum

gözlemlenmektedir. Bu aralıkta kalan sıçramalar ise % 0,5'i geçmediğinden ihmal edilebilir.



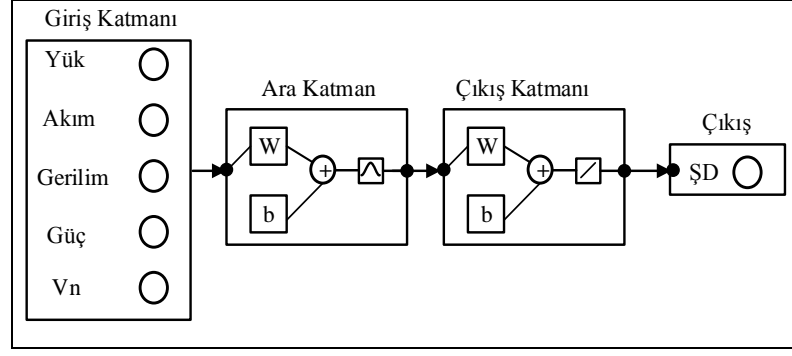
Şekil 6.40. NiCd batarya için ŞD ve tahmin edilen ŞD eğrileri.



Şekil 6.41. NiMH batarya için ŞD ve tahmin edilen ŞD eğrileri.

6.2.3. Radyal Tabanlı Fonksiyon Ağı İle Şarj Durumu Tahmini

Şekil 6.42'de şarj durumu belirlemede kullanılan radyal tabanlı fonksiyon sinir ağı mimari yapısı verilmektedir. Ağın giriş parametre sayısı 5, ara katman sayısı 1 ve çıkış sayısı 1'dir. Ara katmandaki nöron sayısı eğitimde kullanılan giriş matris boyutuna eşittir. Çizelge 6.10'da bu ağın eğitilmesinde kullanılan parametrelere ait bilgiler ve başarımlar verilmektedir.



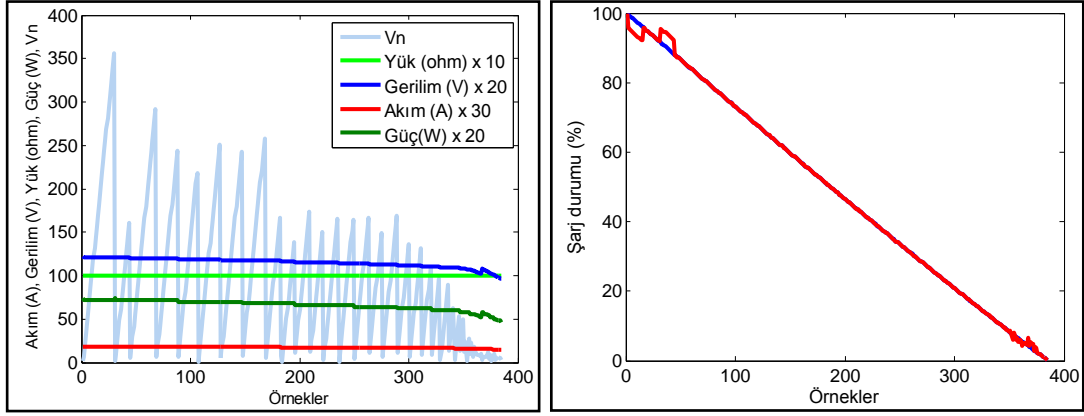
Şekil 6.42. Şarj durumu tahmininde kullanılan RTFSA mimari yapısı.

RTFSA ile yapılan batarya ŞD \pm % 1 tolerans kullanılmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre en başarılı tahmin % 94,65 oranla Li-Po bataryaya aittir. En başarısız tahmin oranı ise % 79,79 değeri ile Pb bataryaya aittir. RTFSA ile yapılan tahminlerdeki başarı oranı İBYSA ve KBYSA yöntemlerine göre daha azdır. RTFSA mimarisindeki ara katmandaki nöron sayısının çok fazla olması işlem yükü getirmektedir ve gerçek zamanlı uygulamalar için geç tepki verdiği için önerilmemektedir. Nöron sayısı daha az seçildiğinde tahmin başarı oranı da düşmektedir. Şekil 6.43, Şekil 6.44, Şekil 6.45, Şekil 6.46 ve Şekil 6.47'de sırasıyla RTFSA yöntemi için Pb, Li-Ion, LiPo, NiCd ve NiMH bataryalara ait akım ve gerilim değerlerine karşılık gelen bataryanın gerçek şarj durumu ile tahmin edilen şarj durumu eğrileri verilmektedir. Bu eğrilerin çizdirilmesinde kullanılan giriş verileri İBYSA yöntemi için kullanılan verilerin aynısıdır.

Çizelge 6.10. RTFSA eğitim parametreleri.

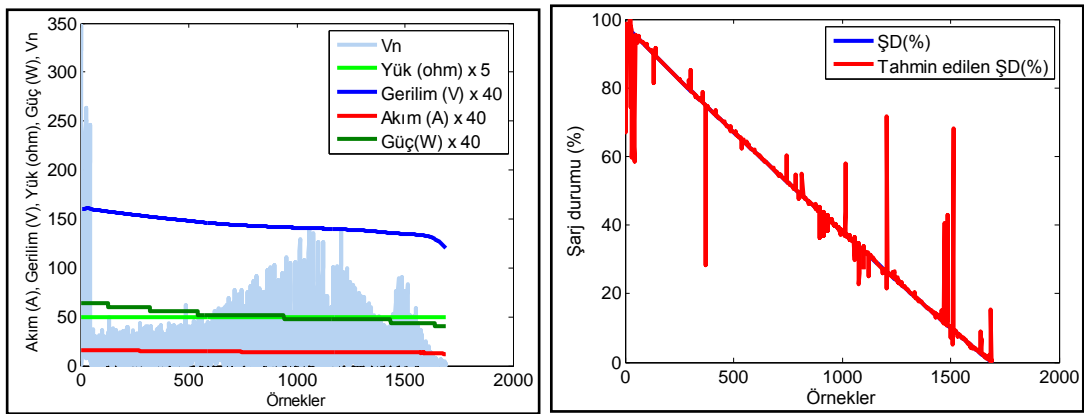
Batarya türü	Pb	Li-Ion	LiPo	NiCd	NiMH
Spread faktörü	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Katman sayısı	1	1	1	1	1
Gizli katman nöron sayısı	1578	7403	5675	3595	5529
Eğitim verisi başarımları	93,23	99,98	99,85	99,24	99,09
Test verisi başarımları	85,47	94,13	94,65	94,2	79,79

Şekil 6.43'te RTFSA ile Pb batarya için verilen ŞD ile tahmin edilen ŞD eğrileri % 8 ile % 87 ve % 90 ile % 95 aralıklarında birebir uyuşmaktadır. % 0 ile % 8 ŞD arasında meydana gelen sıçramalar % 0,5'i geçmediğinden ihmal edilebilir fakat diğer aralıklarda kalan sıçramalar % 1'i geçmektedir ve hassas uygulamalar için ihmal edilemez.

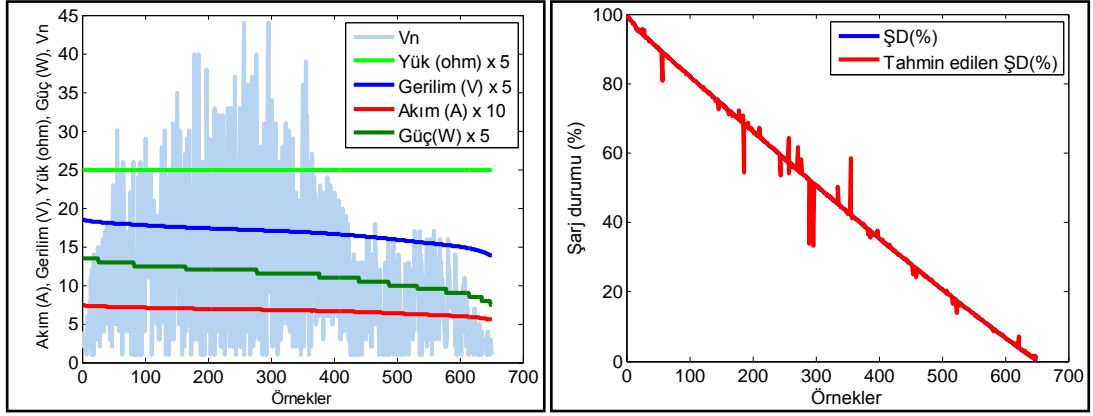


Şekil 6.43. Pb batarya için ŞD ve tahmin edilen ŞD eğrileri.

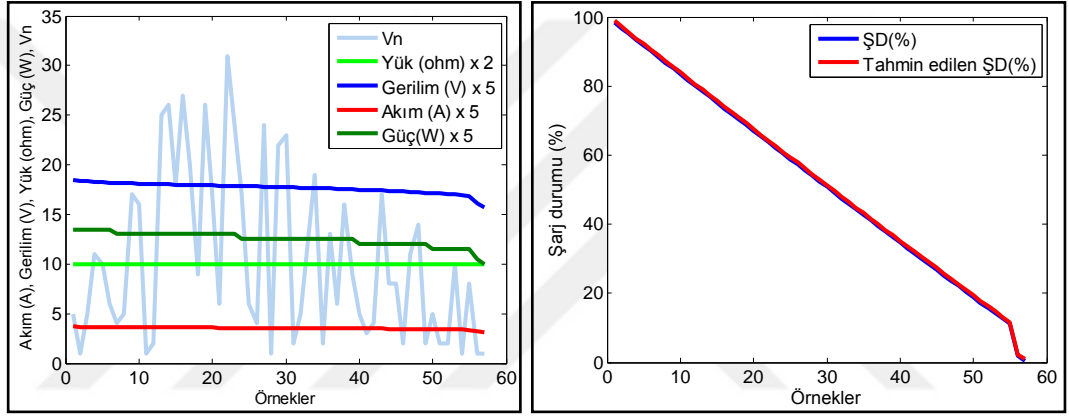
Şekil 6.44'te RTFSA ile Li-Ion batarya için verilen ŞD ile tahmin edilen ŞD eğrileri verilmektedir. Tahmin eğrisinde çok fazla sıçrama vardır ve bu şekilde bir tahmin eğrisi başarısız kabul edilmektedir. Şekil 6.45'te RTFSA ile LiPo batarya için verilen ŞD ile tahmin edilen ŞD eğrileri verilmektedir. Tahmin eğrisinde Li-Ion bataryaya göre daha az genlikte sıçramalar olmasına rağmen ihmal edilemeyecek tahmin hataları vardır. Şekil 6.46'da RTFSA ile NiCd batarya için verilen ŞD ile tahmin edilen ŞD eğrileri birebir uyuşmaktadır. Şekil 6.47'de RTFSA ile NiMH batarya için verilen ŞD ile tahmin edilen ŞD eğrileri verilmektedir. Tahmin eğrisinde Li-Ion bataryaya göre daha az genlikte sıçramalar olmasına rağmen ihmal edilemeyecek tahmin hataları bulunmaktadır.



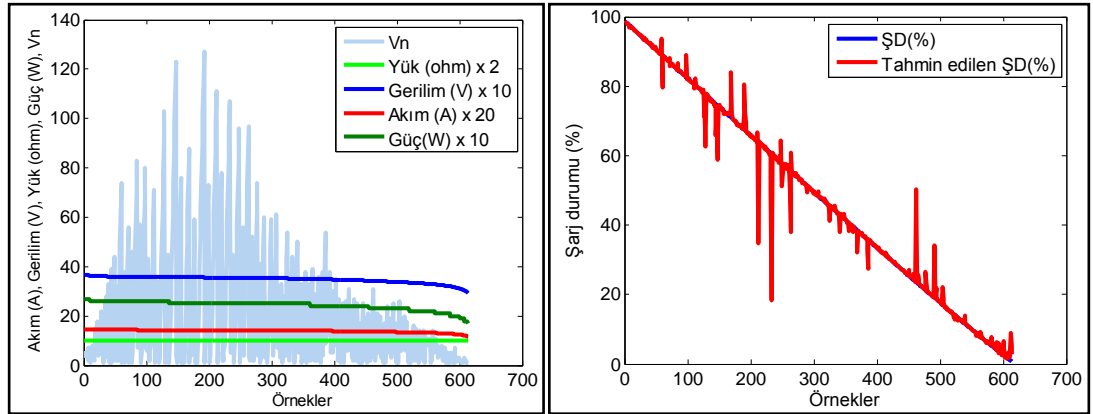
Şekil 6.44. Li-Ion batarya için ŞD ve tahmin edilen ŞD eğrileri.



Şekil 6.45. LiPo için ŞD ve tahmin edilen ŞD eğrileri.



Şekil 6.46. NiCd batarya için ŞD ve tahmin edilen ŞD eğrileri.



Şekil 6.47. NiMH batarya için ŞD ve tahmin edilen ŞD eğrileri.

6.3. KULLANICI ARAYÜZÜ İLE GERÇEK ZAMANLI OLARAK BATARYA TÜRÜ VE ŞARJ DURUMUNUN TAHMİNİ

Sinir ağlarının eğitimleri bittikten sonra bu ağlara ait ağırlık değerleri ve bias değerleri geliştirilen kullanıcı arayüzü programına aktarılmıştır. Programda yazılan batarya türü belirleme fonksiyonu ile giriş verisi, ağırlıklar ve bias değerleri bu fonksiyona gönderilerek fonksiyondan batarya türü geri döndürülmektedir. Aynı şekilde yazılan şarj durumu hesaplama fonksiyonu ile bataryanın şarj durumu tahmin edilmektedir. Batarya tür tahmini için deşarj esnasında gerilimdeki ve akımdaki düşüş açısı parametreleri kullanılmaktadır. Batarya belirli bir süre sabit yükte deşarj edildiğinde (en fazla 400 sn) batarya türü belirlenmektedir. Batarya türü tespit edildikten sonra ŞD tahmini yapılmaktadır. Şekil 6.48'de analiz penceresi verilmektedir. Bu pencerede kullanıcının seçimine göre gerçek zamanlı ya da çevrimdışı verilere göre batarya türü ve batarya şarj durumu tahmini yapılmaktadır. Tahminde kullanılacak yöntemler kullanıcının seçimine bırakılmaktadır. Batarya türü tahmin edildikten sonra bataryanın resmi getirilmektedir ve o bataryaya ait katalog bilgileri listelenmekte ve şarj durumu % olarak batarya resminin altında gösterilmektedir. Bir tek batarya hücresi için tasarlanan bu sistem batarya grubuna uyarlanabilir. Batarya grubunun seri ve paralel bağlantı yapısından yola çıkılarak tüm batarya grubuna ait tür ve şarj durumu tahmini yapılabilir.

Gerçek zamanlı yapılan ölçüm sonuçları ile Matlab yapay sinir ağı modelleri ile yapılan ölçüm sonuçları aynıdır.



Şekil 6.48. Kullanıcı arayüzü ile gerçek zamanlı batarya türü ve ŞD tahmini.

Bu yazılım batarya üreten araştırma ve geliştirme merkezlerinde, elektrikli araç batarya paketinin izlenmesinde, akademik çalışmalarda kullanılabilir. Yazılım ile batarya şarj ve deşarj edilirken akım, gerilim, batarya sıcaklığı ve ortam sıcaklığı ölçülmektedir. Veri seti gerektiren batarya sağlık durumu, şarj durumu tahmini uygulamaları için çeşitli şarj, deşarj deneyleri yapılabilir. Bataryaların sınır değerlerinin dışına çıkmadığından güvenli bir şekilde testler yapılabilmektedir.



BÖLÜM 7

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında şarj edilebilir batarya türlerinden Pb, Li-Ion, LiPo, NiCd ve NiMH batarya türlerinden Wh değerleri birbirine benzer olan beş çeşit batarya seçilmiş ve bu bataryalar üzerinde ileri beslemeli yapay sinir ağı, kademeli bağlantılı yapay sinir ağı ve radyal tabanlı fonksiyon sinir ağı yöntemleri kullanılarak batarya tür tahmini ve şarj durumu tahmini çalışmaları yapılmıştır. Bu yapay sinir ağlarının eğitilmesi ve test edilmesi için gerekli olan veri seti bataryaların tam şarjlı durumdan sabit yük değerlerinde tam boşaltılması süresince ölçülen elektriksel değerlerden elde edilmiştir. Batarya türlerine göre batarya tür tahmini ve batarya şarj durumu tahmini için en uygun olan ve uygun olmayan yöntemler Çizelge 7.1'de verilmektedir.

Çizelge 7.1. Tür tahmininde kullanılan YSA'ların karşılaştırılması.

Batarya Türü	En Uygun Yöntem	Başarım Oranı (%)	Uygun Olmayan Yöntem	Başarım Oranı (%)
Pb	İBYSA, KBYSA	100	RTFSA	0
Li-Ion	KBYSA	98,5	RTFSA	86,9
LiPo	İBYSA	93,6	RTFSA	86,6
NiCd	İBYSA	97,3	RTFSA	76
NiMH	İBYSA	96,8	RTFSA	79,5

Bu sonuçlara göre Pb batarya türü için en uygun yapay sinir ağları İBYSA ve KBYSA'dır. Li-Ion batarya türü için en uygun yapay sinir ağı KBYSA'dır. LiPo batarya türü için en uygun yapay sinir ağı İBYSA'dır. NiCd batarya türü için en uygun yapay sinir ağı İBYSA'dır. NiMH batarya türü için en uygun yapay sinir ağı İBYSA'dır. Kullanılan yöntemler arasında batarya türü belirlemede en iyi yöntem ortalama % 93,59 oranla İBYSA'dır. KBYSA ortalama % 93,27 ve RTFSA % 69,65 başarımlarına sahiptir.

Çizelge 7.2'de batarya şarj durumu tahmini için başarımlarına göre yapay sinir ağlarının karşılaştırılması verilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre RTFSA şarj durumu belirlemede en başarısız ağıdır. Pb batarya türü için en uygun yapay sinir ağı KBYSA, Li-Ion batarya türü için en uygun yapay sinir ağı KBYSA, LiPo batarya türü için en uygun yapay sinir ağları İBYSA ve KBYSA, NiCd batarya türü için en uygun yapay sinir ağı KBYSA, NiMH batarya türü için en uygun yapay sinir ağı İBYSA'dır. ŞD tahmininde İBYSA, KBYSA ve RTFSA yöntemlerinin en başarılı olduğu batarya türü LiPo bataryadır. Kullanılan yöntemler arasında batarya şarj durumu belirlemede en iyi yöntem KBYSA'dır. KBYSA'nın başarımları oranı % 98,07 İBYSA'nın başarımları oranı % 97,92 RTFSA'nın başarımları oranı % 89,65'tir.

Çizelge 7.2. Şarj durumu tahmininde kullanılan YSA'ların karşılaştırılması.

Batarya Türü	En Uygun Yöntem	Başarımları Oranı (%)	Uygun Olmayan Yöntem	Başarımları Oranı (%)
Pb	KBYSA	92,7	RTFSA	85,47
Li-Ion	KBYSA	99,23	RTFSA	94,13
LiPo	İBYSA, KBYSA	99,98	RTFSA	94,65
NiCd	KBYSA	99,1	RTFSA	94,2
NiMH	İBYSA	99,56	RTFSA	79,79

Bu tez çalışması için tasarlanan deney düzeneği ve arayüz tasarımı diğer batarya türleri için de deneyler yapmaya ve sistematik bir şekilde ölçülen verileri kaydetmeye, yapay sinir ağı eğitim verisi ve test verisi oluşturmaya uygundur. Bataryaya ait elektriksel testler yapılırken akım, gerilim ve sıcaklık değerleri izlendiğinden deneylerde bataryanın sınır değerlerine dikkat edilmektedir ve aşırı akım, aşırı sıcaklık, kesim gerilimi, aşırı şarj gibi bataryaya zarar verecek bir durum oluşturulduğunda deney sonlandırılmaktadır. Yazılımdan programlanabilir yük cihazına ve şarj cihazına müdahale edilebildiğinden batarya istenildiği kadar şarj, deşarj döngüsüne sokulabilmektedir.

Batarya tür tahmini, batarya şarj durumu tahmininde başarımları arttırmak için kullanılan V_n parametresi ve batarya izleme yazılımı bu tez çalışmasının özgünlüklerindedir. Ayrıca kademeli bağlantılı yapay sinir ağı ilk defa bu çalışmada batarya şarj durumu tahmininde kullanılmıştır. İBYSA ve KBYSA ile Li-Ion, LiPo

ve NiMH batarya türleri için literatürdeki YSA ile yapılan şarj durumu tahmininde literatüre göre daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Yapay sinir ağlarında eğitim verisi ve test verisi olarak kullanılan veriler bataryaların 3Ω , 5Ω ve 10Ω sabit yüklerde tam deşarjından elde edilmektedir. Daha büyük skalada daha sık aralıklarda deneyler yapılarak tahmin hassasiyeti artırılabilir. Sadece sabit yük değil, sabit güç sabit akım değerleri de deneylere dahil edilebilir. Tek hücreli bir batarya için oluşturulan batarya modeli batarya paketine uyarlanabilir. Geliştirilen ölçüm düzeneği ve yazılım test laboratuvarlarında, batarya üreten araştırma ve geliştirme merkezlerinde, bataryadan kaynaklı iade alan ve test çalışan kurumlarda, akademik çalışmalarda ölçüm testlerinde kullanılabilir. Mobil cihazlara uyarlanarak batarya durumu takip edilebilir. Geliştirilen yapay sinir ağı modelleri gömülü sistemlerde kullanılarak prototip cihaz üretimi yapılabilir. Bu şekilde üretimi yapılan bir cihaz batarya tür tahmininin ve batarya şarj durumunun göstergesinin gerekli olduğu alanlarda, elektrikli araçlarda ŞD izlemede, şarj durumunu belirlemek için yapay sinir ağı modeli çıkarmada rahatlıkla kullanılacak bir sistemdir. Bu şekilde bataryaların uzun süreli kullanımı sağlanarak ekonomik tasarruf yapıldığı gibi zamandan da kazanç sağlanabilir.

KAYNAKLAR

1. Chen, M., Member, S., and Rinc, G. A., "Accurate electrical battery model capable of predicting runtime and I – V performance", *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 21 (2): 504–511 (2006).
2. Low, W. Y., Aziz, J. A., Idris, N. R. N., and Saidur, R., "Electrical model to predict current-voltage behaviours of lithium ferro phosphate batteries using a transient response correction method", *Journal of Power Sources*, 221: 201–209 (2013).
3. Knauff, M. C., Dafis, C. J., Niebur, D., Kwatny, H. G., Nwankpa, C. O., and Metzger, J., "Simulink model for hybrid power system test-bed", *IEEE Electric Ship Technologies Symposium, ESTS 2007*, 421–427 (2007).
4. Kumar, A., Jangid, S., Patiyat, I., and Roychowdhury, J., "Intelligent battery management system for runtime optimization of an electric car", *International Conference on Information Communication and Embedded Systems, ICICES 2013*, (1): 1192–1196 (2013).
5. Plett, G. L., "Extended Kalman filtering for battery management systems of LiPB-based HEV battery packs: Part 1. Background", *Journal of Power Sources*, 134 (2): 252–261 (2004).
6. Grasberger, C., Dolan, D. S., and Taufik, T., "Development of an open-source high-performance battery management system", *North American Power Symposium (NAPS)*, 1–3 (2012).
7. Kaiser, R., "Optimized battery-management system to improve storage lifetime in renewable energy systems", *Journal of Power Sources*, 168 (1 SPEC. ISS.): 58–65 (2007).
8. Gotaas, E. and Nettum, A., "Single cell battery management systems (BMS)", *INTELEC. Twenty-Second International Telecommunications Energy Conference*, 2 (36): 695–702 (2000).
9. Jung, D. Y., Lee, B. H., and Kim, S. W., "Development of battery management system for nickel-metal hydride batteries in electric vehicle applications", *Journal of Power Sources*, 109 (1): 1–10 (2002).
10. Zhu, W., "A smart battery management system for large format lithium ion cells", Phd. Thesis, *The University of Toledo Graduate Faculty*, Toledo, iii–iv (2011).

11. Wan, X. W. X., Wu, J. W. J., and Hu, H. H. H., "The smart Battery management system", *Test and Measurement, 2009. ICTM '09. International Conference on*, 129–32 (2009).
12. Sitterly, M., Member, S., Wang, L. Y., Member, S., Yin, G. G., and Wang, C., "Enhanced identification of battery models for real-time battery management", *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 2 (3): 300–308 (2011).
13. Kaypmaz, T. C., "Li-iyon polimer pil karakteristiklerinin analizi and arıza Tanısı", Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, xvii (2009).
14. Vo, T. T., Chen, X., Shen, W., and Kapoor, A., "New charging strategy for lithium-ion batteries based on the integration of Taguchi method and state of charge estimation", *Journal of Power Sources*, 273: 413–422 (2015).
15. Karnama, A., Resende, F. O., and Lopes, J. a. P., "Optimal management of battery charging of electric vehicles: A new microgrid feature", *2011 IEEE Trondheim PowerTech*, 1–8 (2011).
16. Benchetrite, D., Gall, M. L., Bach, O., Perrin, M., and Mattera, F., "Optimization of charge parameters for lead-acid batteries used in photovoltaic systems", *Journal of Power Sources*, 144 (2): 346–351 (2005).
17. Malekjamshidi, Z. and Jafari, M., "Design, simulation and implementation of an intelligent battery charging system", *2009 Second International Conference on Computer and Electrical Engineering*, 2: 242–246 (2009).
18. Remmlinger, J., Buchholz, M., Meiler, M., Bernreuter, P., and Dietmayer, K., "State-of-health monitoring of lithium-ion batteries in electric vehicles by on-board internal resistance estimation", *Journal of Power Sources*, 196 (12): 5357–5363 (2011).
19. Singh, P. and Reisner, D., "Fuzzy logic-based state-of-health determination of lead acid batteries", *Telecommunications Energy Conference, 2002. INTELEC. 24th Annual International. IEEE*, 583–590 (2002).
20. Lin, H., Liang, T., and Chen, S., "Estimation of battery state of health using probabilistic neural network", *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 9 (2): 679–685 (2013).
21. Eddahech, A., Briat, O., Bertrand, N., Delétage, J.-Y., and Vinassa, J.-M., "Behavior and state-of-health monitoring of li-ion batteries using impedance spectroscopy and recurrent neural networks", *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 42 (1): 487–494 (2012).
22. He, Z., Gao, M., Ma, G., Liu, Y., and Chen, S., "Online state-of-health estimation of lithium-ion batteries using Dynamic Bayesian Networks", *Journal of Power Sources*, 267: 576–583 (2014).

23. He, H., Zhang, X., Xiong, R., Xu, Y., and Guo, H., "Online model-based estimation of state-of-charge and open-circuit voltage of lithium-ion batteries in electric vehicles", *Energy*, 39 (1): 310–318 (2012).
24. Bhangu, B. S., Bentley, P., Stone, D. A., and Bingham, C. M., "Nonlinear observers for predicting state-of-charge and state-of-health of lead-acid batteries for hybrid-electric vehicles", *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, 54 (3): 783–794 (2005).
25. Tian, Y., Chen, C., Xia, B., Sun, W., Xu, Z., and Zheng, W., "An adaptive gain nonlinear observer for state of charge estimation of lithium-ion batteries in electric vehicles", *Energies*, 7 (9): 5995–6012 (2014).
26. Lee, S., Kim, J., Lee, J., and Cho, B. H., "State-of-charge and capacity estimation of lithium-ion battery using a new open-circuit voltage versus state-of-charge", *Journal of Power Sources*, 185 (2): 1367–1373 (2008).
27. Sato, S. and Kawamura, A., "A new estimation method of state of charge using terminal voltage and internal resistance for lead acid battery", *Power Conversion Conference, PCC-Osaka 2002*, 2: 565–570 (2002).
28. Rodrigues, S., Munichandraiah, N., and Shukla, A. K., "A review of state-of-charge indication of batteries by means of a.c. impedance measurements", *Journal of Power Sources*, 87 (1): –(2): 12–20 (2000).
29. Hammouche, A., Karden, E., and Doncker, R. W. De, "Monitoring state-of-charge of Ni–MH and Ni–Cd batteries using impedance spectroscopy", *Journal of Power Sources*, 127 (1): –(2): 105–111 (2004).
30. Ng, K. S., Moo, C.-S., Chen, Y.-P., and Hsieh, Y.-C., "Enhanced coulomb counting method for estimating state-of-charge and state-of-health of lithium-ion batteries", *Applied Energy*, 86 (9): 1506–1511 (2009).
31. Cai, C., Du, D., Liu, Z., and Ge, J., "State-of-charge (SOC) estimation of high power Ni-MH rechargeable battery with artificial neural network", *Neural Information Processing, ICONIP '02. Proceedings of The 9th International Conference on*, 2: 824–828 (2002).
32. Peng, J., Chen, Y., and Eberhart, R., "Battery pack state of charge estimator design using computational intelligence approaches", *Battery Conference on Applications and Advances, 2000. The Fifteenth Annual*, 173–177 (2000).
33. Shen, Y., "Adaptive online state-of-charge determination based on neuro-controller and neural network", *Energy Conversion and Management*, 51 (5): 1093–1098 (2010).
34. Hansen, T. and Wang, C.-J., "Support vector based battery state of charge estimator", *Journal of Power Sources*, 141 (2): 351–358 (2005).

35. Li, I.-H., Wang, W.-Y., Su, S.-F., and Lee, Y.-S., "A Merged Fuzzy Neural Network and Its Applications in Battery State-of-Charge Estimation", *Energy Conversion, IEEE Transactions on*, 22 (3): 697–708 (2007).
36. Chang, W.-Y., "The State of Charge Estimating Methods for Battery: A Review", *ISRN Applied Mathematics*, 2013 (1): 1–7 (2013).
37. Aylor, J. H., Thieme, A., and Johnso, B. W., "A battery state-of-charge indicator for electric wheelchairs", *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, 39 (5): 398–409 (1992).
38. Alzieu, J., Smimite, H., and Glaize, C., "Improvement of intelligent battery controller: state-of-charge indicator and associated functions", *Journal of Power Sources*, 67 (1): –(2): 157–161 (1997).
39. Liu, T. H., Chen, D. F., and Fang, C. C., "Design and implementation of a battery charger with a state-of-charge estimator", *International Journal of Electronics*, 87 (2): 211–226 (2000).
40. Chan, C. ., Lo, E. W. ., and Weixiang, S., "The available capacity computation model based on artificial neural network for lead–acid batteries in electric vehicles", *Journal of Power Sources*, 87 (1): –(2): 201–204 (2000).
41. Piller, S., Perrin, M., and Jossen, A., "Methods for state-of-charge determination and their applications", *Journal of Power Sources*, 96 (1): 113–120 (2001).
42. Shen, W. X., Chan, C. C., Lo, E. W. C., and Chau, K. T., "Estimation of battery available capacity under variable discharge currents", *Journal of Power Sources*, 103 (2): 180–187 (2002).
43. Çadırcı, Y. ve Özkazanç, Y., "Microcontroller-based on-line state-of-charge estimator for sealed lead-acid batteries", *Journal of Power Sources*, 129 (2): 330–342 (2004).
44. Lee, J., Nam, O., and Cho, B. H., "Li-ion battery SOC estimation method based on the reduced order extended Kalman filtering", *Journal of Power Sources*, 174 (1): 9–15 (2007).
45. Zhou, W., Yang, H., and Fang, Z., "Battery behavior prediction and battery working states analysis of a hybrid solar-wind power generation system", *Renewable Energy*, 33 (6): 1413–1423 (2008).
46. Sun, F., Hu, X., Zou, Y., and Li, S., "Adaptive unscented Kalman filtering for state of charge estimation of a lithium-ion battery for electric vehicles", *Energy*, 36 (5): 3531–3540 (2011).
47. Wang, S., Verbrugge, M., Wang, J. S., and Liu, P., "Multi-parameter battery state estimator based on the adaptive and direct solution of the governing differential equations", *Journal of Power Sources*, 196 (20): 8735–8741 (2011).

48. Dai, H., Wei, X., Sun, Z., Wang, J., and Gu, W., "Online cell SOC estimation of Li-ion battery packs using a dual time-scale Kalman filtering for EV applications", *Applied Energy*, 95: 227–237 (2012).
49. Barlak, C., "Batarya model parametrelerinin, doluluk durumunun, sağlık durumunun kestirimi and Ni-Mh bataryalara uygulanması", Doktora Tezi, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, i, (2009).
50. Xiong, R., He, H., Sun, F., Liu, X., and Liu, Z., "Model-based state of charge and peak power capability joint estimation of lithium-ion battery in plug-in hybrid electric vehicles", *Journal of Power Sources*, 229: 159–169 (2013).
51. Barlak, C., "Batarya Kapasite Kestirimi", *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 26 (1): 185–191 (2011).
52. Huria, T., Ceraolo, M., Gazzarri, J., and Jackey, R., "High fidelity electrical model with thermal dependence for characterization and simulation of high power lithium battery cells", *2012 IEEE International Electric Vehicle Conference*, 1–8 (2012).
53. Salkind, A. J., Fennie, C., Singh, P., Atwater, T., and Reisner, D. E., "Determination of state-of-charge and state-of-health of batteries by fuzzy logic methodology", *Journal of Power Sources*, 80 (1): –(2): 293–300 (1999).
54. Singh, P., Fennie Jr., C., and Reisner, D., "Fuzzy logic modelling of state-of-charge and available capacity of nickel/metal hydride batteries", *Journal of Power Sources*, 136 (2): 322–333 (2004).
55. Malkhandi, S., "Fuzzy logic-based learning system and estimation of state-of-charge of lead-acid battery", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 19 (5): 479–485 (2006).
56. Singh, P., Vinjamuri, R., Wang, X., and Reisner, D., "Design and implementation of a fuzzy logic-based state-of-charge meter for Li-ion batteries used in portable defibrillators", *Journal of Power Sources*, 162 (2): 829–836 (2006).
57. Shen, W. X., "State of available capacity estimation for lead-acid batteries in electric vehicles using neural network", *Energy Conversion and Management*, 48 (2): 433–442 (2007).
58. Bo, C., Zhifeng, B., and Binggang, C., "State of charge estimation based on evolutionary neural network", *Energy Conversion and Management*, 49 (10): 2788–2794 (2008).
59. Liu, J., Saxena, A., Goebel, K., Saha, B., and Wang, W., "An adaptive recurrent neural network for remaining useful life prediction of lithium-ion batteries", *Annual Conference of The Prognostics and Health Management Society*, 1–9 (2010).

60. Charkhgard, M. and Farrokhi, M., "State-of-Charge Estimation for Lithium-Ion Batteries Using Neural Networks and EKF", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 57 (12): 4178–4187 (2010).
61. Zhou, Y., "Application of Genetic Neural Network in Power Battery Charging State-of-Charge Estimation", *International Journal of Intelligent Systems and Applications*, 3 (2): 24–30 (2011).
62. Zhu, Z. and Yang, B., "The research on intelligent management system of li-ion power battery string of electric vehicle", *International Conference on Electronics, Communications and Control (ICECC)*, 2370–2372 (2011).
63. Zhu, Z., Sun, J., and Liu, D., "Online state of charge EKF estimation for LiFePO₄ battery management systems", *Intelligent Signal Processing and Communications Systems (ISPACS)*, 609–614 (2012).
64. Man, K., Wan, K., and Ting, T., "Towards a hybrid approach to SoC estimation for a smart Battery Management System (BMS) and battery supported Cyber-Physical Systems (CPS)", *Future Internet Communications (BCFIC), 2012 2nd Baltic Congress on*, 113–116 (2012).
65. Zhang, L. and Li, Y., "Optimal energy management of wind-battery hybrid power system with two-scale", *Sustainable Energy, IEEE Transactions on*, 4 (3): 765–773 (2013).
66. Wang, Z., "The online monitoring system software design and the SOC estimation algorithm research for power battery", *Vehicular Electronics and Safety (ICVES), 2013 IEEE International Conference On. IEEE*, 89–92 (2013).
67. Chowdhury, F., Shabnam, F., Islam, F., and Azad, A., "Software implementation of the central solar battery charging station", *2013 International Conference on Power, Energy and Control*, 746–750 (2013).
68. Jensimiriam, E., Seenichamy, P., and Ambalavanan, S., "Prediction of lead-acid battery performance parameter: an neural network approach", *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 2 (1): 65–74 (2013).
69. Kim, J., Lee, S., and Cho, B., "Discrimination of battery characteristics using discharging/charging voltage pattern recognition", *Energy Conversion Congress and Exposition, 2009. ECCE 2009. IEEE*, 1799–1805 (2009).
70. He, W., Huang, D., and Feng, D., "The prediction of SOC of lithium batteries and varied pulse charge", *Mechatronics and Automation, 2009. ICMA 2009. International Conference on*, 1578–1582 (2009).
71. Zenati, A., Desprez, P., and Razik, H., "Estimation of the SOC and the SOH of Li-ion batteries, by combining impedance measurements with the fuzzy logic

- inference", *IECON Proceedings (Industrial Electronics Conference)*, 1773–1778 (2010).
72. Kim, J. and Cho, B. H., "State-of-charge estimation and state-of-health prediction of a Li-Ion degraded battery based on an EKF combined with a per-unit system", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 60 (9): 4249–4260 (2011).
 73. Zhang, D., Ma, Y., and Bai, Q.-W., "Estimation of Lithium-ion battery state of charge", *30th Chinese Control Conference*, 6256–6260 (2011).
 74. Xu, L., Wang, J., and Chen, Q., "Kalman filtering state of charge estimation for battery management system based on a stochastic fuzzy neural network battery model", *Energy Conversion and Management*, 53 (1): 33–39 (2012).
 75. Watrin, N., Blunier, B., and Miraoui, A., "Review of adaptive systems for lithium batteries State-of-Charge and State-of-Health estimation", *Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC), 2012 IEEE*, (3): 1–6 (2012).
 76. Lee, D. T., Shiah, S. J., Lee, C. M., and Wang, Y. C., "State-of-charge estimation for electric scooters by using learning mechanisms", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 56 (2): 544–556 (2007).
 77. Sun, B. and Wang, L., "The SOC estimation of NIMH battery pack for HEV based on BP neural network", *Intelligent Systems and Applications, 2009. ISA 2009. International Workshop on*, 1–4 (2009).
 78. Xiong, R., Sun, F., He, H., and Nguyen, T. D., "A data-driven adaptive state of charge and power capability joint estimator of lithium-ion polymer battery used in electric vehicles", *Energy*, 63: 295–308 (2013).
 79. Wang, Y., Zhang, C., and Chen, Z., "A method for joint estimation of state-of-charge and available energy of LiFePO₄ batteries", *Applied Energy*, 135: 81–87 (2014).
 80. Zhong, L., Zhang, C., He, Y., and Chen, Z., "A method for the estimation of the battery pack state of charge based on in-pack cells uniformity analysis", *Applied Energy*, 113: 558–564 (2014).
 81. Tian, Y., Xia, B., Sun, W., Xu, Z., and Zheng, W., "A modified model based state of charge estimation of power lithium-ion batteries using unscented Kalman filter", *Journal of Power Sources*, 270: 619–626 (2014).
 82. Kang, L., Zhao, X., and Ma, J., "A new neural network model for the state-of-charge estimation in the battery degradation process", *Applied Energy*, 121: 20–27 (2014).

83. Zhang, Y., Song, W., Lin, S., and Feng, Z., "A novel model of the initial state of charge estimation for LiFePO₄ batteries", *Journal of Power Sources*, 248: 1028–1033 (2014).
84. Leng, F., Tan, C. M., Yazami, R., and Le, M. D., "A practical framework of electrical based online state-of-charge estimation of lithium ion batteries", *Journal of Power Sources*, 255: 423–430 (2014).
85. Weng, C., Sun, J., and Peng, H., "A unified open-circuit-voltage model of lithium-ion batteries for state-of-charge estimation and state-of-health monitoring", *Journal of Power Sources*, 258: 228–237 (2014).
86. Zou, Y., Hu, X., Ma, H., and Li, S. E., "Combined state of charge and state of health estimation over lithium-ion battery cell cycle lifespan for electric vehicles", *Journal of Power Sources*, 273: 793–803 (2015).
87. Sun, F., Xiong, R., and He, H., "Estimation of state-of-charge and state-of-power capability of lithium-ion battery considering varying health conditions", *Journal of Power Sources*, 259: 166–176 (2014).
88. Fang, H., Zhao, X., Wang, Y., Sahinoglu, Z., Wada, T., Hara, S., and de Callafon, R. A., "Improved adaptive state-of-charge estimation for batteries using a multi-model approach", *Journal of Power Sources*, 254: 258–267 (2014).
89. He, W., Williard, N., Chen, C., and Pecht, M., "State of charge estimation for Li-ion batteries using neural network modeling and unscented Kalman filter-based error cancellation", *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 62: 783–791 (2014).
90. Xing, Y., He, W., Pecht, M., and Tsui, K. L., "State of charge estimation of lithium-ion batteries using the open-circuit voltage at various ambient temperatures", *Applied Energy*, 113: 106–115 (2014).
91. Hu, J. N., Hu, J. J., Lin, H. B., Li, X. P., Jiang, C. L., Qiu, X. H., and Li, W. S., "State-of-charge estimation for battery management system using optimized support vector machine for regression", *Journal of Power Sources*, 269: 682–693 (2014).
92. Wang, Y., Zhang, C., and Chen, Z., "A method for state-of-charge estimation of Li-ion batteries based on multi-model switching strategy", *Applied Energy*, 137: 427–434 (2015).
93. Burgos, C., Sáez, D., Orchard, M. E., and Cárdenas, R., "Fuzzy modelling for the state-of-charge estimation of lead-acid batteries", *Journal of Power Sources*, 274: 355–366 (2015).
94. Chun, C. Y., Baek, J., Seo, G. S., Cho, B. H., Kim, J., Chang, I. K., and Lee, S., "Current sensor-less state-of-charge estimation algorithm for lithium-ion

- batteries utilizing filtered terminal voltage", *Journal of Power Sources*, 273: 255–263 (2015).
95. Feng, F., Lu, R., and Zhu, C., "A combined state of charge estimation method for lithium-ion batteries used in a wide ambient temperature range", *Energies*, 7 (5): 3004–3032 (2014).
 96. Liu, X., Wu, J., Zhang, C., and Chen, Z., "A method for state of energy estimation of lithium-ion batteries at dynamic currents and temperatures", *Journal of Power Sources*, 270: 151–157 (2014).
 97. Dai, H., Guo, P., Wei, X., Sun, Z., and Wang, J., "ANFIS (adaptive neuro-fuzzy inference system) based online SOC (State of Charge) correction considering cell divergence for the EV (electric vehicle) traction batteries", *Energy*, 80: 350–360 (2015).
 98. Shao, S., Bi, J., Yang, F., and Guan, W., "On-line estimation of state-of-charge of Li-ion batteries in electric vehicle using the resampling particle filter", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 32: 207–217 (2014).
 99. Weigert, T., Tian, Q., and Lian, K., "State-of-charge prediction of batteries and battery–supercapacitor hybrids using artificial neural networks", *Journal of Power Sources*, 196 (8): 4061–4066 (2011).
 100. Cheng, K. W. E., Divakar, B. P., Wu, H., Ding, K., and Ho, H. F., "Battery-management system (BMS) and SOC development for electrical vehicles", *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, 60 (1): 76–88 (2011).
 101. Sauradip, M., Sinha, S. K., and Muthukumar, K., "Estimation of state of charge of lead acid battery using radial basis function", *The 27th Annual Conference of The IEEE Industrial Electronics Society*, 1131–136 (2001).
 102. Buchmann, I., "Batteries in a portable world a handbook on rechargeable batteries for non-engineers", 2nd. Baskı, *Cadex Electronics Inc*, (2001).
 103. Sternad, M., Cifrain, M., Watzenig, D., Brasseur, G., Winter, M., "Condition monitoring of lithium-ion batteries for electric and hybrid electric vehicles", *Elektrotechnik & Informationstechnik*, 126 (5): 186–193 (2009).
 104. Sauradip, M., Sinha, S. K., and Muthukumar, K., "Estimation of state of charge of lead acid battery using radial basis function", *The 27th Annual Conference of The IEEE Industrial Electronics Society*, 1131–136 (2001).
 105. Winter, M., Besenhard, J. O., "Rechargeable batteries. Part II. Secondary batteries with a nonaqueous electrolyte solution", *Chemie In Unserer Zeit*, 33: 320–332 (1999).

106. Tremblay, O. and Dessaint, L. A., "Experimental validation of a battery dynamic model for EV applications", *World Electric Vehicle Journal*, 3 (1): 289–298 (2009).
107. Koçak, E., "Olasılık Sinir Ağı Kullanılarak Alternatör Arızalarının Tespiti", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 21–25 (2010).
108. Bayır, R., "Yapay zeka teknikleri kullanılarak marş motorlarında hata teşhisi", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1–55 (2005).
109. Karadeniz, M., Yüncü, S., ve Aydemir, M. T., "Asenkron motorlarda stator direncinin yapay sinir ağları ile tahmini", *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 9. Ulusal Kongresi Bildirileri*, (2001).
110. METE, T., "Kesikli bir biyoreaktörde yapay sinir ağlarının kullanımı", Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 35–36 (2008).
111. Fahlman, S. E., "The Cascade-Correlation learning architecture", *Carnegie Mellon University*, (1989).
112. Powell, M. J. D., "Radial basis functions for multivariable interpolation: A review", *Algorithms for Approximation*, 143–167 (1987).
113. Broomhead, D. S. and Lowe, D., "Multivariable functional interpolation and adaptive networks", *Complex Syst.*, 2: 321–355 (1988).
114. Yu, H. and Xie, T., "Advantages of radial basis function networks for dynamic system design", *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, 58 (12): 5438–5450 (2011).
115. Kaynar, O., Tastan, S., ve Demirkoparan, F., "Ham petrol fiyatlarının yapay sınır ağları ile tahmini", *Ege Akademik Bakis*, 10 (2): 559–573 (2010).
116. Çetinkaya, C., "Retina görüntülerinde radyal tabanlı fonksiyon sinir ağları ile damar tipik noktalarının tespit edilmesi", *Ege Üniversitesi*, (2011).
117. Montazer, G. A., Sabzevari, R., and Khatir, H. G., "Improvement of learning algorithms for RBF neural networks in a helicopter sound identification system", *Neurocomputing*, 71 (1): 167–173 (2007).
118. Soylu, E. and Bayır, R., "Measurement of Electrical Conditions of Rechargeable Batteries", *Measurement and Control*, 49 (2): 72–81 (2016).
119. Patterson, D. W., "Artificial Neural Networks Theory and Applications", *Prentice Hall*, Singapore, 20-36, 56-71, 141-243, 367-404 (1996).

120. Chang, W. Y., "State of charge estimation for LiFePO₄ battery using artificial neural network", *International Review of Electrical Engineering*, 7 (5): 5874–5800 (2012).



ÖZGEÇMİŞ

Emel SOYLU 1986 yılında Karabük'te doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. 75. yıl Karabük Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2004 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü'nde lisans öğrenimine başlayıp 2008 yılında ile mezun oldu. 2008 yılında Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak göreve başladı. Halen aynı yerde çalışmaya devam etmektedir. 2008 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Anabilimdalı'nda başlamış olduğu yüksek lisans öğrenimini 2010 yılında tamamladı. Aynı yıl Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Doktora programında doktora programına başladı.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Karabük Üniversitesi
Teknoloji Fakültesi
Demir Çelik Kampüsü / KARABÜK

Tel : (544) 6071052

E-posta : ekocak@karabuk.edu.tr