

**FOTOVOLTAİK SİSTEMLER İÇİN PROTOTİP  
BATARYA YÖNETİMİ SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ**

**DEVELOPMENT OF PROTOTYPE BATTERY  
MANAGEMENT SYSTEM FOR PHOTOVOLTAIC  
SYSTEMS**

**KAMİL OKAY**

**PROF. DR. AYNUR ERAY**

**Tez Danışmanı**

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Temiz Tükenmez Enerjiler Anabilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

## ÖZET

# FOTOVOLTAİK SİSTEMLER İÇİN PROTOTİP BATARYA YÖNETİMİ SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ

**Kamil OKAY**

**Yüksek Lisans, Temiz Tükenmez Enerjiler Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Aynur ERAY**

**Şubat 2021, 155 sayfa**

Enerji ve batarya yönetim sistemler (BYS), bataryalı-FV sistemlerde verimliliği artırmak, bataryaların kullanım ömrünü uzatmak için büyük öneme sahiptir.

Bu tez çalışmasında, 18650 tipi lityum-iyon bataryalar kullanılarak oluşturulan bataryalı-FV sisteminde, enerji ve batarya yönetimi yapabilen prototip BYS tasarlanmış, gerçekleştirilmiş ve test edilmiştir.

Çalışma kapsamında, bir evin güç tüketimine yönelik olarak, 400 W<sub>p</sub> FV modül, 353 Wh kapasiteye sahip batarya bloğu (7 seri 4 paralel), şebekeden enerji alımını sembolize eden 300 W güç kaynağı, fazla enerjinin şebekeye aktarılmasının benzetimini sağlayan 24 V ampuller (basit yük) ve gerçek ev enerji tüketiminin 1/15'i oranında azaltılmış yük dağılımının oluşturulduğu programlanabilir elektronik yükün kullanıldığı, prototip sistem göz önüne alınarak;

- FV sistemi, şebeke, batarya bloğu, ev yükü arasındaki enerji akışını kontrol eden *Ana devre*,
- Batarya bloğunda, seri olarak bağlanmış 7 lityum-iyon batarya içeren dört modülün her birinde gerilim ve sıcaklıkları ölçen ve dengeleme işlemini yapan

*dengeleme devresi* ile her modül için, bataryaları sabitlemenin yanı sıra dolma/boşalma akımlarını ölçen *batarya devresini* içeren dört adet *yardımcı devreden*

oluşan ve batarya/enerji yönetim işlevi gören *kontrol birimi* tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir.

Emekli ve çalışan ev tüketim profilleri için, hafta içi ve hafta sonu farklı günlerde 24 saatlik güç tüketimlerine yönelik farklı senaryolar oluşturulmuş ve bu senaryolar elektronik yüke yüklenerek yapılan deneylerle, tasarlanan batarya/enerji yönetim devresinin çalışması test edilmiştir. Batarya yönetim sistemi, bataryaların güvenli çalışma koşullarında çalışmasını sağlamıştır. Enerji yönetim sistemi sayesinde, FV-batarya sistemi yeterli olmadığında, gerekli enerji şebeke gibi davranan DA güç kaynağından alınmış; FV'ler bataryaları tamamen doldurduktan sonra fazla enerji ise şebekeye satış gibi davranan 24 V basit yük üzerinde harcanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Batarya yönetim sistemi, Lityum-iyon batarya, Enerji yönetim sistemi, FV-Bataryalı sistemler.

## ABSTRACT

# DEVELOPMENT OF PROTOTYPE BATTERY MANAGEMENT SYSTEM FOR PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

**Kamil OKAY**

**Master, Department of Clean Renewable Energies**

**Supervisor: Prof. Dr. Aynur ERAY**

**February 2021, 155 pages**

An energy and battery management system (BMS) has a great importance in PV-battery system to increase the system efficiency and battery life.

In this thesis, a prototype BMS that can provide energy and battery management for an on-grid PV-battery system with 18650 type lithium-ion batteries was designed, realized and tested.

Within the scope of the study, the designed prototype system consists of programmable electronic DC load that can act as a 1/15 reduction of realistic home energy consumption, 400 W<sub>p</sub> PV module, battery block with a capacity of 353 Wh (7 series 4 parallel), 300 W power supply for obtaining energy from the grid, 24 V light bulbs (dummy load) for the sale of excess energy to the grid. For this prototype system, **the control unit** that consists of;

- **“The main circuit”** that controls the energy flow between the PV system, the grid (buying, selling), battery block, household load,
- four **“slave circuits”** include the **balancing circuit** capable of measuring voltages temperatures and balancing in each of the four modules with 7 lithium-ion

batteries connected in series, **the battery circuit**, which fixes the batteries well and measures the charge / discharge currents on the battery module and also provide battery and energy management

has been designed and realized.

For retired and working household power consumption profiles, scenarios were created for 24-hour power consumption on different days on weekdays/weekends. These scenarios were uploaded on the electronic load, the operation of the designed battery and energy management system was tested with these experiments. The battery management system ensured that the batteries operate in safe working conditions. Due to the energy management system, when the PV-batteries system is not sufficient, the energy is taken from the grid; when the PVs charged batteries fully, the excess energy is sold to the grid.

**Keywords:** Battery Management System, Li-on batteries, Energy Management System, PV-Battery System.

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında ve özellikle son dönemde salgın hastalığın zorluklarına rağmen sonsuz sabırla bana yol gösteren, sadece bilimsel anlamda değil sahip olduğuengin bilgi ve tecrübeleri ile akademik hayatıma yön veren değerli danışmalarım Sayın Prof. Dr. Aynur ERAY'a ve Öğretim Görevlisi Sermet ERAY'a,

Çalışmamı her daim destekleyen ve yardımlarını esirgemeyen değerli amirlerim (E) P.Alb. Cantürk KÖLETELİOĞLU'na, İkm.Alb. Ali KUL'a ve P.Kur.Alb. Serdar İPEKOĞLU'na, Mu.Alb. Oktay CEYLAN'a,

Hacettepe Üniversitesi Yeni ve Temiz Enerji Uygulama ve Araştırma Merkezi'ne (YETAM),

Deneysel çalışmaların Katıhal Fiziği Araştırma Laboratuvarında yapılmasına olanak sağlayan Hacettepe Üniversitesi Fizik Mühendisliği Bölümü'ne,

Hacettepe Üniversitesi Fizik Mühendisliği Bölümü bünyesindeki Mekanik Atölyeye ve Uygur TOMBULOĞLU'na,

Hacettepe Üniversitesi Fizik Mühendisliği Bölümü bünyesindeki Elektronik Laboratuvarı'na, Yavuz ÜNAL'a ve Levent ÖZTÜRK'e,

Tez çalışmamı, BAP FYL-2018-17425 proje ile destekleyen Hacettepe Üniversitesi BAP Koordinasyon Birimi'ne

Her zaman yanımda olan canım çekirdek AİLEME içtenlikle teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	iii
TEŞEKKÜR .....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL KESİM .....	7
2.1. Batarya Yönetim Sistemleri .....	7
2.2. Batarya Yönetim Sistemi Fonksiyonları ve Yerine Getirilme Şekilleri.....	9
2.2.1. Bataryanın Dolma/Boşalma İşleminin Takip ve Kontrolü.....	11
2.2.2. Batarya Kapasitesinin Belirlenmesi .....	14
2.2.3. Bataryaları Dengeleme .....	16
2.2.4. Veri Alış-Verişi/Veri Kaydı .....	19
2.2.5. Güvenlik Kontrolü.....	21
2.3. Fotovoltaik Sistemler İçin Prototip Batarya Yönetim Sistemi Tasarımı.....	23
2.3.1. Yük Profiline Oluşturulması .....	26
2.3.2. FV Sisteminin Boyutlarının Belirlenmesi .....	28
2.3.3. Batarya Bloğunun Büyüklüğüne Karar Verilmesi .....	30
2.3.4. DA Güç Kaynağının ve DA/DA Dönüştürücünün Belirlenmesi .....	31
2.3.5. Şebekeye Aktarılacak Enerjinin Belirlenmesi.....	32
3. FOTOVOLTAİK SİSTEM İÇİN PROTOTİP BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ.....	36
3.1. Batarya Yönetim Sistemi Yük Profilleri ve Tüketim Senaryoları .....	36
3.2. Prototip BYS Ön Çalışma Devreleri .....	48
3.2.1. 18650 tipi Tek Lityum-iyon Batarya Üzerine Yapılan Çalışmalar .....	48
3.2.2 Üç Adet Seri Bağlı Lityum-iyon Batarya Üzerine Yapılan Çalışmalar .....	58

3.3. Batarya Yönetim Sistemi Kontrol Birimi .....	69
3.3.1. 7seri 4paralel Batarya Grubu Dengeleme Devresi .....	69
3.3.2. Seri Bağlı 7 LIB için Batarya Devre Tasarımı .....	76
3.3.3. Ana Devrenin Tasarımı.....	79
3.4 Bölüm Sonu Değerlendirmesi.....	91
4. BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ SAHA ÇALIŞMA SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ .....	99
4.1. 3'lü Batarya Grubu Saha Deney Sonuçları.....	100
4.2. 4'lü Batarya Grubu Saha Deney Sonuçları.....	112
5. TARTIŞMA VE ÖNERİLER.....	123
6. KAYNAKLAR .....	126
EKLER.....	137
EK 1 – Programlanabilir Elektronik DA Yükün Teknik Özellikleri .....	137
EK 2 – LG INR18650 MJ1 LIB Teknik Özellikleri .....	138
EK 3 –300 W DA-DA Dönüştürücünün Teknik Özellikleri .....	138
EK 4 – Evde Bulunan Elektrikli Cihazlar ve Güç Tüketimleri .....	139
EK 5 – 15 Dakikalık Profil Örneği .....	145
EK 6 – Samsung ICR18650-26J LIB Teknik Özellikleri .....	146
EK 7 - Arduino Uno Teknik Özellikleri .....	146
EK 8 – Tek LIB Doldurma Devresi Baskılı Devre Kartı .....	147
EK 9 – Yardımcı Devre Baskılı Devre Kartı .....	148
EK 10 – Batarya Devresi Baskılı Devre Kartı .....	149
EK 11 – Ana Devre Baskılı Devre Kartı .....	150
EK 12 - Arduino Mega Teknik Özellikleri .....	151
EK 13 - Tezden Türetilmiş Bildiriler.....	152
EK 14- Tez Çalışması Orjinallik Raporu.....	154
ÖZGEÇMİŞ .....	155



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Türkiye'nin güneş haritası .....	2
Şekil 2.1 BYS blok şeması.....	8
Şekil 2.2 Sabit akım/Sabit gerilim dolma profili .....	12
Şekil 2.3 LIB Boşalma Profili .....	13
Şekil 2.4 Boşalma Esnasında Bataryalar Arası Uyumsuzluk .....	16
Şekil 2.5 Dolma Esnasında Bataryalar Arası Uyumsuzluk.....	17
Şekil 2.6 Pasif dengeleme yöntemi .....	19
Şekil 2.7 a. Şebekeden Bağımsız FV Sistem b. Şebekeye Bağlı FV Sistem.....	24
Şekil 2.8 Tasarlanan şebekeye bağlı olan bataryalı-FV sisteminin blok diyagramı .....	25
Şekil 2.9 Evin günlük ortalama gerçek enerji tüketimi.....	28
Şekil 2.10 Ankara (Beytepe) aylık ışıınım miktarları .....	28
Şekil 2.11 PVGIS ile elde edilen Ankara (Beytepe) aylık ışıınım miktarları .....	30
Şekil 2.12 Tasarlanan Batarya Bloğu.....	31
Şekil 2.13 Günlük şebekeden alış-veriş ve bataryadan karşılama (Ocak ayı) .....	33
Şekil 2.14 Günlük şebekeden alış-veriş ve bataryadan karşılama (Temmuz ayı) .....	34
Şekil 3.1 Çalışan_Pazartesi Evde Kullanılan Cihazların Enerji Tüketim Değerleri.....	39
Şekil 3.2 Çalışan_Cumartesi Evde Kullanılan Cihazların Enerji Tüketim Değerleri.....	40
Şekil 3.3 Çalışan_Pazar Evde Kullanılan Cihazların Enerji Tüketim Değerleri .....	41
Şekil 3.4 Emekli_Pazartesi Evde Kullanılan Cihazların Enerji Tüketim Değerleri .....	43
Şekil 3.5 Emekli_Cumartesi Evde Kullanılan Cihazların Enerji Tüketim Değerleri .....	44
Şekil 3.6 Emekli_Pazar Evde Kullanılan Cihazların Enerji Tüketim Değerleri.....	45
Şekil 3.7 Çalışan günlük güç tüketim profilleri (Çalışan).....	46
Şekil 3.8 Emekli günlük güç tüketim profilleri.....	47
Şekil 3.9 Tasarlanan LIB Doldurma Devresi Blok Diyagramı .....	48
Şekil 3.10 a. Sabit akım ile doldurma devresi b. Sabit gerilim ile doldurma devresi ....	49
Şekil 3.11 AGM değerlerine karşılık çıkış gerilimi.....	50
Şekil 3.12 Akım/ Gerilim ölçme devresi .....	51
Şekil 3.13 Sıcaklık ölçme devresi .....	52
Şekil 3.14 LCD ile görüntüleme devresi.....	53
Şekil 3.15 Tek 18650 LIB için doldurma devresi fotoğrafı.....	54

Şekil 3.16 Tek 18650 LIB doldurma devre şeması .....	55
Şekil 3.17 Program Akış Şeması .....	56
Şekil 3.18 Farklı Akım Değerleri ile LIB'ları Doldurma Eğrileri.....	57
Şekil 3.19 Tek LIB SoC Tespiti .....	58
Şekil 3.20 Seri Bağlı 3 18650 LIB doldurma devresi.....	59
Şekil 3.21 Seri Bağlı 3 adet LIB Doldurma Devresi Blok Diyagramı .....	59
Şekil 3.22 Seri Bağlı 3 adet LIB doldurma devre şeması.....	60
Şekil 3.23 Seri Bağlı 3 LIB Dengeleme Olmadan Dolma Eğrisi (1A).....	61
Şekil 3.24 Gerilim farkı ile gerilim ölçme devresi .....	62
Şekil 3.25 Gerilim bölücü ile batarya gerilimini ölçme devresi.....	63
Şekil 3.26 Fark yükseltici ile gerilim ölçme devresi .....	64
Şekil 3.27 ADS1115 ile gerilim ve akım ölçme devresi .....	66
Şekil 3.28 Üç adet LIB için MOSFET yardımıyla pasif dengeleme devresi .....	68
Şekil 3.29 Seri Bağlı 3 LIB Dengelemeli Dolma Eğrisi (1A) .....	68
Şekil 3.30 Yardımcı (Dengeleme) Devresi Blok Diyagramı.....	70
Şekil 3.31 Yardımcı devre şeması .....	71
Şekil 3.32 Sıcaklık ölçerlerin fotoğrafı.....	73
Şekil 3.33 Seri bağlı 7 batarya dengeleme devresi .....	74
Şekil 3.34 Yardımcı devre fotoğrafı .....	75
Şekil 3.35 Batarya Devresi Blok Diyagramı .....	76
Şekil 3.36 Batarya Devresi Devre Şeması.....	78
Şekil 3.37 Batarya devresinin fotoğrafı.....	79
Şekil 3.38 Ana Devre Yüksek Akım Tarafı Blok Diyagramı.....	80
Şekil 3.39 Ana Devre Yüksek Akım Tarafı Devre Şeması .....	81
Şekil 3.40 Ana Devre Düşük Akım Tarafı Devre Şeması.....	85
Şekil 3.41 Fan kontrol devresi.....	88
Şekil 3.42 Röle kontrol devresi .....	90
Şekil 3.43 Ana Devre Fotoğrafı.....	90
Şekil 3.44 Tasarımda kullanılan devreler .....	91
Şekil 3.45 Ana Devrenin Blok Diyagramı.....	94
Şekil 3.46 Seri Bağlı 7 LIB Dolma/Boşalma Devresi Blok Diyagramı .....	95
Şekil 3.47 Seri Bağlı 7 LIB Dolma/Boşalma Devresi .....	96
Şekil 3.48 Seri Bağlı 7 LIB Dolma Grafiği .....	97

Şekil 3.49 Seri Bağlı 7 LIB Dolarken Sıcaklık Değişimi .....	97
Şekil 3.50 Seri Bağlı 7 LIB Boşalma Grafiği .....	98
Şekil 3.51 Seri Bağlı 7 LIB Boşalırken Sıcaklık Değişimi.....	98
Şekil 4.1 7s-3p batarya bloğu.....	99
Şekil 4.2 3'lü Batarya Grubu ile Yapılan Deneyler için Kurulan sistem.....	100
Şekil 4.3.a. 3'lü Batarya Grubu Deney Seti (Dış Ünite).....	101
Şekil 4.3.b 3'lü Batarya Grubu Deney Seti (İç Ünite).....	101
Şekil 4.4 Çalışan Pazartesi Profilinin arayüz görüntüsü .....	102
Şekil 4.5 3'lü Batarya Grubu Çalışan_Pazartesi .....	104
Şekil 4.6 3'lü Batarya Çalışan_Pazartesi (Tekrar).....	104
Şekil 4.7 3'lü Batarya Çalışan_Cumartesi .....	105
Şekil 4.8 3'lü Batarya Çalışan_Pazar .....	105
Şekil 4.9 3'lü Batarya Emekli_Çarşamba .....	106
Şekil 4.10 3'lü Batarya Emekli Perşembe .....	106
Şekil 4.11 3'lü Batarya Emekli_Cumartesi.....	107
Şekil 4.12 3'lü Batarya Emekli_Pazar .....	107
Şekil 4.13 Gölgeleme etkisi .....	108
Şekil 4.14 Sıcaklık Değişimi-Çalışan Pazartesi Deneyi .....	111
Şekil 4.15 Çalışan Pazartesi Seri Bağlı 7 LIB Gerilim Değişimi (A Grubu).....	112
Şekil 4.16 4'lü Batarya Grubu Çalışan_Pazartesi .....	114
Şekil 4.17 4'lü Batarya Grubu Çalışan Salı .....	114
Şekil 4.18 4'lü Batarya Grubu Çalışan Cuma.....	115
Şekil 4.19 4'lü Batarya Grubu Çalışan Cumartesi .....	115
Şekil 4.20 4'lü Batarya Grubu Çalışan Pazar .....	115
Şekil 4.21 4'lü Batarya Grubu Emekli Pazartesi .....	116
Şekil 4.22 4'lü Batarya Grubu Emekli Salı.....	116
Şekil 4.23 4'lü Batarya Grubu Emekli Cuma .....	116
Şekil 4.24 4'lü Batarya Grubu Emekli Cumartesi (Işınım Yüksek ) .....	117
Şekil 4.25 4'lü Batarya Grubu Emekli Cumartesi (Işınım Düşük) .....	117
Şekil 4.26 4'lü Batarya Grubu Emekli Pazar .....	117

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b>Çizelge 2.1</b> Örnek LIB paketinin BYS alarm sınır değerleri .....	22
<b>Çizelge 2.2</b> Evin günlük enerji tüketimin gerçek ve 1/15 oranında küçültülmüş hali....	27
<b>Çizelge 2.3</b> Kullanılan FV modül teknik özellikleri.....	29
<b>Çizelge 2.4</b> Şebeken alışı- şebekeye veriş ve bataryadan karşılama verileri (Ocak).....	33
<b>Çizelge 2.5</b> Şebeken alışı- satış ve bataryadan karşılama verileri (Temmuz) .....	34
<b>Çizelge 3.1</b> Gün İçinde Saatlik Elektrik Enerjisi Tüketim (Wh) Verisi (Çalışan) .....	38
<b>Çizelge 3.2</b> Gün İçinde Saatlik Elektrik Enerjisi Tüketim (Wh) Verisi (Emekli).....	42
<b>Çizelge 3.3</b> ADS1115 adresleme şekilleri .....	65
<b>Çizelge 3.4</b> Enerji akış şekli .....	93
<b>Çizelge 4.1</b> 7s-3p batarya grubu ile yapılan saha deneyleri .....	103
<b>Çizelge 4.2</b> 7s-4p batarya grubu ile yapılan saha deneyleri .....	113

# SİMGELER VE KISALTMALAR

## Kısaltmalar

LIB: Lityum İyon Batarya	AA: Alternatif akım
BYS: Batarya Yönetim Sistemi	DA: Doğru akım
EYS: Enerji Yönetim Sistemi	OCV: Açık devre gerilimi ( <i>Open Current Voltage</i> )
EA: Elektrikli araç	CC: Sabit akım ( <i>Constant Current</i> )
FV: Fotovoltaik	CV: Sabit gerilim ( <i>Constant Voltage</i> )
Pb: Kurşun-asit	RTC: Gerçek zamanlı saat ( <i>Real Time Clock</i> )
NCA: Nikel Kobalt Oksit	MISO: Master In Slave Out
SoC: Kapasite Durumu ( <i>State of Charge</i> )	MOSI: Master Out Slave In
SoH: Sağlık Durumu ( <i>State of Charge</i> )	SCK: Serial Clock
KF: Kalman Filtre	SDA: Serial Data
	CS: Chip Select
	AGM: Atma Genlik Modülasyonu
	NC: Normalde Kapalı ( <i>Normally-Closed</i> )
	NO: Normalde Açık ( <i>Normally-Open</i> )
	UART: Donanımsal Seri Port ( <i>Universal Asynchronous Receiver Transmitter</i> )
	ADC: Örneksele Sayısal Dönüştürücü ( <i>Analog-Digital Converter</i> )

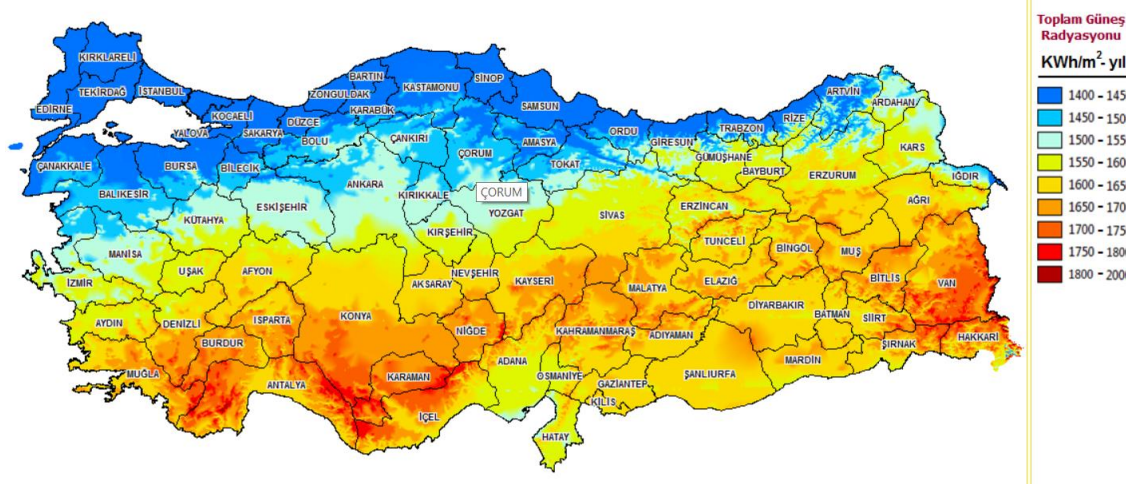
# 1. GİRİŞ

Fosil yakıtların rezervlerinin giderek azalması, dünyanın rüzgâr, güneş ve bio-yakıt gibi temiz tükenmez enerji kaynaklarına yönelmesine neden olmuştur. Ülkeler yakın gelecekte yenilenebilir enerjilerin kullanımını daha da yaygınlaştırmak ve dışa bağımlılığı en aza indirmek için geliştirdikleri politikaları hayata geçirmeyi planlamaktadır. Avrupa Birliği'nin 2010-2020 yılları arasında "20-20-20 hedefleri" olarak tanımlanan hedefleri arasında "yenilenebilir enerjinin AB'nin enerji tüketimi içerisindeki payını en az %20'ye çıkarmak" gibi bir hedefi vardır [1].

Ülkemizde de temiz tükenmez enerji kaynaklarından elektrik üreten ve aynı zamanda tüketici olan kullanıcıların, üretmiş olduğu enerjilerin devlet tarafından satın alınarak yenilebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik eden politikalar vardır (feed-in tariff). Türkiye'de bu tür konuları düzenleyen kanun hükmü (*Çatı Yasası*), 27 Mart 2017'de Resmî Gazetede yayınlanarak kanunlaşmıştır [2]. Söz konusu düzenlemeye göre; bireyler, hanesinin çatısına ve cephelerine (apartman daireleri dahil) fotovoltaik (FV) sistem yerleştirerek, kendi enerji ihtiyacını karşılayabilmekte ve fazlasını dağıtım firmalarına sabit fiyat üzerinden satabilmektedir. Satılan enerji için kullanıcılar, belge düzenleme, beyanname verme, defter tutma gibi yükümlülüklerden de muaf tutulmaktadır. Böylece üreten-tüketici (producer + consumer = prosumer) olarak adlandırılan bu tür aboneler, vergi muafiyetinden yararlanabilmektedir.

Son zamanlarda ülkemizde, ulusal paranın döviz karşısında düşük seviyelerde seyir etmesi, üretim ve ticaretin ithalata bağımlı olması nedeniyle önemli bir sorun haline gelen cari açıkta, enerji ithalatı en büyük payı oluşturmaktadır [3,4]. Gelişmekte olan ülkeler grubunda yer alan Türkiye, cari açığını yerli üretim, teknoloji açığını ise millî üretim ile kapatabilir [5]. Cari açığındaki enerji payının düşürülebilmesi için katma değeri yüksek yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapılmalı ve bu yönde politikalar izlenmelidir. Yukarıda söz edilen *Çatı Yasası* böyle bir politikanın ürünüdür.

Türkiye gibi enerjide dışa bağımlılığı olan ülkeler için, yenilenebilir enerji kaynakları ve özellikle güneş enerjisi, son derece stratejik öneme sahiptir. Şekil 1.1'de görüldüğü gibi, Türkiye güneş bakımından oldukça zengin ve yüksek potansiyele sahip bir ülkedir [6,7].



Şekil 1.1 Türkiye'nin güneş haritası [6]

Son zamanlarda gelişen teknolojisi ve azalan yatırım maliyeti ile güneş enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları arasında öne çıkmıştır. Diğer temiz tükenmez enerji kaynaklarına göre bakıma daha az ihtiyaç duyması ve kolay erişebilir olması güneş enerjisinin en önemli avantajlarıdır [8]. Ancak güneş enerjisinin kullanımında bazı zorluklar vardır:

- Güneş enerjisi, gelen güneş ışınımına bağlı olarak değişen, kesintili bir enerji kaynağıdır. Güneşten elde edilen enerji, gün içerisinde anlık olarak değişebildiği gibi, günlük ve mevsimlik olarak da değişkenlik gösterir. Gece ise herhangi bir enerji üretimi söz konusu olmaz.
- Güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının, geleneksel kaynaklarla birlikte şebekeye bağlanması, şebeke yönetimini zorlaştırır. Geleneksel elektrik santrallerinden elde edilen elektrik enerjisinin iletimi tek yönlü iken, küçük ve orta ölçekli güneş santralleri şebekeye hem birçok noktadan hem de çift yönlü bağlanır.
- Güneş enerjisi düzenli bir enerji kaynağı olmadığı için değişik profillere sahip yükün enerji talebini çok iyi şekilde karşılayamaz ve bu durum şebekede ciddi sorunlara neden olabilir.

Bu zorlukların üstesinden gelmek için genellikle kullanılan yöntem, elde edilen yenilenebilir enerjiyi depolamak ve daha sonra depolanan bu enerjinin kontrollü bir şekilde, istenilen zamanda ve büyüklükte, kullanılmasını sağlamaktır [9,10].

Birçok depolama sistemi üzerinde yapılan çalışma sonuçlarına göre, küçük ölçekli enerji depolama sistemi olarak çoğunlukla kurşun-asit (lead-acid), sodyum sülfür (NaS), nikel kadmiyum (NiCd), nikel-metal hidrit (NiMH) ve *lityum-iyon (li-iyon) gibi tekrar doldurabilir bataryalar* tercih edilmektedir [11]. *Lityum-iyon bataryalar (LIB)*, diğerlerine göre, daha yüksek enerji yoğunluğuna, daha düşük kendi kendine boşalma oranına (Self-discharge rate) ve çok düşük hafıza etkisine (Memory-effect) sahip olması, bakıma gereksinim duymaması, basit doldurma algoritması ile kısa sürede dolması nedeniyle enerji depolama sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır [11,12]. Ancak LIB'ler hem çevresel hem de çalışma koşullarından hemen etkilenen ve yanlış kullanım sonucunda, ömürleri ciddi oranda azalan bataryalardır. Aşırı sıcak veya soğuk havada güvenli olmadıklarından, yangın ve patlamalara karşı koruma devresine ihtiyaç duyarlar [12]. Bu nedenlerden dolayı LIB'lerle çalışılırken, bataryaların etkin ve verimli bir şekilde çalışmasını sağlayacak bir yönetim sistemi, daha büyük önem taşımaktadır. Bataryaların durumlarını belirleyen sıcaklık, nem, akım, gerilim ve yük bilgilerini kullanarak, bataryanın uygun çalışma şartlarında güvenli ve uzun ömürlü çalışmasını sağlayan yönetim sistemlerine **batarya yönetim sistemi (BYS)** adı verilmektedir. Diğer bir deyişle; batarya yönetim sistemi, bataryanın dolma/boşalma işlemini takip ve kontrol ederek, bataryanın içindeki enerjinin en uygun şekilde kullanılmasını sağlamak ve bataryaya zarar gelmesini önlemektedir [13].

Temiz tükenmez enerji kaynaklarının, mevcut sistemlere/şebekeye uyumlu şekilde bağlanabilmesi ve tüketicinin ihtiyacını karşılaması için, bataryalı sistemlerin kullanılması bu bağlamda hız kazanmıştır. Enerji tüketim pastasında, dolayısıyla cari açıkta, büyük paya sahip olan konutların enerji ihtiyaçlarının bataryalı güneş enerjisi ile karşılanması için, uygun bir **enerji yönetim sistemine** ve bataryalar için verimli bir **batarya yönetim sistemine** gerek duyulur [14]. Bu sistemlerin millî ve yerli algoritmalar ile üretilmesi ve kontrol edilmesi, ülke ekonomisi, ülke politikası ve menfaatleri açısından oldukça önemlidir.

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, özellikle LIB'lere yönelik çalışmaların yoğunlaştığı son dönemde, BYS'lere yönelik çalışmalar da artmıştır. Dünya basınında BYS hataları nedeniyle belirlenen güvenli çalışma koşullarında çalıştırılmayan lityum-iyon bataryalarla ilgili kaza haberleri yakın zamanda yer almıştır [15]. Bu nedenle özellikle havacılık LIB'lere yönelik ciddi birtakım güvenlik önlemleri alınmıştır [16].



Bataryalı yönetim sistemi, bataryaların enerji kaynağı olarak kullanılmaya başladığı ilk zamanlarda enerji yönetim sistemi olarak ortaya çıkmış, daha sonra ihtiyaçlarla birlikte, BYS'nin fonksiyon alanı daha da genişlemiştir [17-44].

- Literatürde bataryaların performansını arttırmak için, sıcaklık, gerilim, dolma/boşalma akımı ve yaşlanmanın batarya performansı üzerinde etkilerine yönelik çalışmalar yapılmış, [17-24], aşırı-dolma/boşalmanın, aşırı akımın ve sıcaklığın bataryalar üzerine etkileri incelenmiştir [25-30].
- BYS ile ilgili çalışmaların çoğunluğu elektrikli ve hibrit elektrikli araçlara yöneliktir [31-39]. Divakar vd. [31], elektrikli ve hibrit araçlarda bulunan BYS'lere yönelik bir değerlendirme yaptıkları çalışmaları ile, mevcut BYS'lerin zayıf yönleri ortaya koyarak, güçlü bir BYS'de olması gerekenler önerilmiştir. Kabir vd. [32], insansız otomobiller için batarya yönetim sistemini incelemiş, batarya yönetim sisteminin insansız otomobillerde yaygınlaşması durumunda, lojistik sektörün önemli ilerleme kaydedileceği vurgulanmıştır. Infineon firmasının Essen Üniversitesi ile yaptığı ortak çalışmada [33], elektrikli araçlar için tasarlanan aktif dengelemeye sahip BYS'nin, 12 adet seri bağlı LIB üzerinde modelleme yönetimi ile denemeleri yapılmıştır. Denemeler sonucunda geliştirilen BYS'nin, her bir bataryanın kullanılabilir kapasitesini arttırdığı ve dolayısıyla bu durumun EA'nın sürüş menzilini genişletebileceği savunulmuştur. Delphi firması yapmış olduğu çalışmada [34], BYS için en uygun dengeleme yöntemini bulmaya çalışmıştır. CENS Energy-Tech Co. Ltd ile Harbin Bilim ve Teknoloji Üniversitesi ise lityum iyon bataryalar için anlık kapasite hesaplama yöntemleri üzerine ortak bir çalışma yapmıştır [35].
- Her bir batarya bloğunun kullanılma şekli ve çalışma koşulları değişkenlik gösterir. Örneğin elektrikli araç için tasarlanan bir batarya bloğu, çalışma koşulları ve maruz kaldığı çevresel şartlar birbirinden farklı olduğu için, FV sistemler için kullanılamaz, bu nedenle bir batarya/batarya bloğu için tasarlanan BYS o sisteme özeldir. Literatürde FV-sistemler için BYS tasarımına yönelik çalışmaların genellikle MATLAB-SIMULINK üzerinden modelleme çalışmaları olduğu görülmektedir [40-46]. Feng vd. yükün ihtiyacı olan enerjiyi karşılamak için FV-Lityum iyon batarya sistemi için bir enerji yönetim sistemi geliştirmeye çalışmışlardır. Bu sistemle değişen koşullar altında gerçek zamanlı SoC / SoH' u

tespit edebildiklerini savunmuşlardır [42]. Sarah yaptığı çalışmada [43], akıllı evler için Bataryalı-FV sistemde, Matlab/Simulink ile karşılaştırma yaparak, Kurşun-Asit (Pb) ve Lityum Nikel Kobalt Oksit (NCA) tipi bataryalardan hangisinin daha uygun olacağına karar vermiştir. Ghafoor vd. Pakistan'ın Faisalabad şehrinde, normal bir konutun elektrik ihtiyacını karşılamak için şebekeden ayrı (off-grid) bir FV-batarya sistemi hakkında çalışma yapmıştır. Tasarlanan yük için gerekli olan FV güç miktarı, batarya depolama kapasitesinin, şarj regülatörünün boyutunun belirlenmesine yönelik bir model önermiştir [44].

Ülkemizde “Batarya Yönetim Sistemleri” konusunda yapılan çalışmalar incelendiğinde,

- Elektrikli araçların bataryalarını yöneten sistemler üzerinde bazı çalışmalar mevcuttur [46-52]. Bu çalışmalar arasında, Aldoğan E. [47], elektrikli araçlar için batarya yönetim sistemi donanımı tasarımı, Özer vd. [48], elektrikli araçlar için aktif ve pasif batarya kontrolü, Türev vd. [49], lityum bazlı batarya hücrelerinin özgün bir yöntem ile kapasite tahmini, Ozay vd. [50] ise lityum-iyon bataryalarda modelleme ve kapasite kestirimi konuları üzerine çalışmalar yapmıştır.
- FV-batarya sistemlerine ait Batarya Yönetim Sistemi ile ilgili deneysel bir çalışmaya ise rastlanılmamıştır. Sadece Aslan vd. tarafından yapılan fotovoltaik panel destekli batarya şarj/deşarj devresi simülasyon ile tasarlanmış ve incelenmiş, İşcan vd., LED aydınlatma ekipmanları için şebekeden bağımsız bataryalı FV prototip sisteme yönelik şarj kontrol ünitesi tasarlamış ve bu ünite ile enerji üretim ve tüketim verileri üzerine değerlendirmeler yapmıştır [51,52].

Bu tez çalışmasında, ülkemizde kurulacak bataryalı FV sistemler için sektöre yol gösterici nitelikte, örnek bir prototip batarya yönetim sisteminin geliştirilmesi planlanmıştır. Bu amaçla, şebekeye bağlı FV-batarya sistemle beslenen gerçek bir evi modellemek için; ev halkının elektrik enerji gereksinimi farklı senaryolar (**hiçbir ev halkının hafta içi evde olmadığı, hafta içinde enerji ihtiyacının devam ettiği, her gün belirli bir standarda yakın bir enerji ihtiyacının olduğu**) göz önüne alınarak;

- *programlanabilir elektronik yük* kullanılarak, bu evlerdeki farklı profilli elektrik tüketimi oluşturulmuş,
- LIB'lerin kullanıldığı batarya bloğunun enerji ve batarya yönetimini birlikte sağlayan bir *kontrol birimi* tasarlanıp, geliştirilmiştir.

Sistem, bir prototip olarak, gerçek boyutu 1/15 oranında küçültülerek tasarlanmış ve geliştirilen kontrol birimi ile gerçek dünyadaki şebekeye bağlı FV-batarya sisteminin üzerinde, Batarya Yönetimi ve Enerji Yönetimi (BYS/EYS) incelemesi gerçekleştirilmiştir.

Çalışma kapsamında,

- konutun enerji tüketimi gibi davranabilen ayarlanabilir DA (Doğru Akım) elektronik yük,
- seri/paralel bağlı FV modüller,
- 18650 tipi lityum-iyon bataryalardan oluşan batarya bloğu,
- şebekeden enerji alımını sembolize eden DA güç kaynağı,
- fazla enerjinin şebekeye aktarılmasının benzetimini sağlayan basit DA yük,

barındıran FV bataryalı prototip sistem için, batarya/enerji yönetim işlevi gören ***kontrol birimi***

- FV sistemi, şebeke, batarya bloğu, ev yükü arasındaki enerji akışını kontrol eden ***Ana devre***,
- 7seri, 4paralel (7s4p) bataryadan oluşan batarya bloğunda; paralel bağlı batarya modüllerinin her biri için, gerilimleri ve sıcaklıkları ölçen, dengeleme işlemi yapan ***dengeleme devresi*** ile bataryaların düzgün bir biçimde yerleştirilmesini sağlayan, dolma/boşalma akımını ölçen ***batarya devresinden*** meydana gelen 4 adet ***yardımcı devre***,

olarak tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Prototip sistemin 7s4p düzenlenimde gerçek yükün 1/15'i oranında tasarlanmasına karşın, deneylerinin tekrarlanırlığı ve çeşitlendirilmesi amacıyla, 7s3p düzenlenimi de 1/20 oranı ile denenmiştir. Bu çalışma Hacettepe Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Birimi tarafından desteklenmiştir (BAP FYL-2018-17425). Proje kapsamında; programlanabilir DA elektronik yük, lityum-iyon bataryalar, FV modüller ve elektronik malzemeler alınmıştır. Çalışmada farklı senaryolarla (emekli, çalışan) farklı enerji tüketim profilleri için batarya ve enerji yönetim sisteminin yerli olarak yazılımsal ve donanımsal tasarımı ve yapımı tezin özgün değerleridir.

## 2. KURAMSAL KESİM

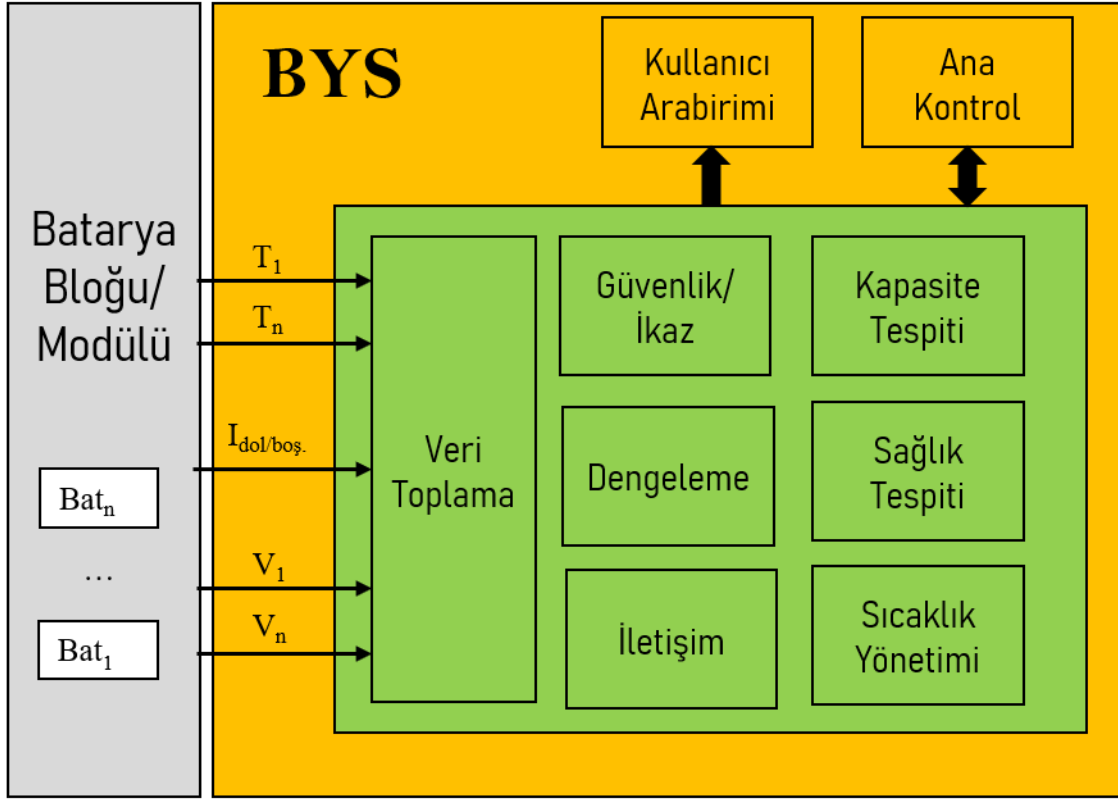
### 2.1. Batarya Yönetim Sistemleri

FV ve rüzgâr enerji gibi kesikli enerji sistemlerini, enerji depolama sistemleri ile bütünleştirmek, bu sistemlerin değişkenliğini azaltıp ve devamlılığını sağlamaktadır. Batarya depolama sistemleri, şebekeye bağlı yenilenebilir enerji sistemleri içinde, son yıllarda en yüksek paya sahip olan depolama yöntemidir [53-56].

Bataryalı sistemlerde, istenilen gerilim ve akım değerlerini sağlayabilmek için birden fazla batarya seri ve paralel olarak bağlanır ve batarya blokları elde edilir, ancak bloklarda bulunan bataryalar hiçbir zaman %100 özdeş değildir ve bu nedenle bataryalar arası bir *uyumlandırma/dengeleme* yapılması gerekir [57]. Bataryalar yüksek akımda doldurma/boşaltma, sıcaklık, nem, direkt güneş ışığı gibi farklı çalışma koşullarına maruz kalınca performans/güvenlik problemleri ortaya çıkar. Ayrıca, bataryalar kullanıldıkça zamanla yaşlandığından dolma ve boşalma davranışları da değişir ve bu parametreler kontrol amaçlı okunmalı ve kaydedilmelidir [58]. Bu nedenlerle, batarya depolama sistemleri kullanılırken;

- Bataryanın çalışma sınırları dışına çıkılmaması,
- Batarya doluluk durumunun (state of charge - SoC) yüksek doğrulukla tespit edilmesi,
- Bataryalarda sağlık durumu (state of health - SoH) kötü olan bataryaların en kısa zamanda belirlenmesi,
- Her batarya tipinin kendine has karakteristiğine özen gösterilmesi,
- Sıcaklık ölçümünün yapılması ve gerekiyorsa kontrolünün sağlanması,
- Bataryalar arası dengelenmenin yapılması,

dikkat edilmesi gereken noktalar. Bu noktaları göz önüne alarak bataryaları yöneten sistemlere *batarya yönetim sistemi* adı verilir [59]. Şekil 2.1'de örnek bir BYS blok şeması verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, BYS'ler genel olarak bataryaya ait verileri toplayabilmeli, bataryanın kapasite ve sağlık durumunu tespit edebilmeli, elektriksel ve termal yönetim sağlayabilmeli, bataryanın geçmiş bilgilerini kayıt altına alabilmeli, güvenliğini sağlayabilmeli, diğer sistemler ile iletişim imkânı vermelidirler [60,61].



Şekil 2.1 BYS blok şeması

Batarya yönetim sistemleri, *merkezi* ve *dağınık yapıda* olmak üzere iki şekilde tasarlanabilir [62];

- **Merkezi yapı BYS**'lerde, BYS tüm fonksiyonları (gerilim, sıcaklık, akım, iç-direnç, durum tahmini ve iletişim) merkezde bulunan bir ana devre tarafından gerçekleştirilir. İlave yardımcı devreleri yoktur. Düşük maliyetli bu yapılar, başlangıçtaki toplam batarya sayısı göre tasarlanır ve daha sonra üzerinde değişiklikler yapılamaz.
- **Dağınık yapı BYS** ise, merkezi kontrol birimi ve yardımcı kontrol birimlerinden oluşur. Yardımcı kontrol birimleri, batarya paketlerinin verilerini ölçer ve bunları ana merkezi birime aktarır, dengeleme ve termal yönetim gibi fonksiyonları yerine getirir. Merkezi kontrol birimi ise *toplam gerilim ve akım, giren ve çıkan toplam enerji, iç direnç ölçümü, dolma / boşalma rölesi kontrolü* gibi işlevleri yerine getirir. Bu çalışmada tasarlanan BYS, dağınık yapıdadır.

## 2.2. Batarya Yönetim Sistemi Fonksiyonları ve Yerine Getirilme Şekilleri

Bataryalı sistemlerde, ölçülen gerilim, akım, sıcaklık, toplam gerilim, kapasite durumu, sağlık durumu ve iç direnç, BYS'nin en kritik girdilerini oluşturan batarya değişkenleridir. BYS elde ettiği doğru veriler ile bataryayı düzgün yönetebildiğinden, bu değişkenlerin ölçümlerinin genellikle gerçek zamanlı olarak yapılması istenir. Bu amaçla, batarya yönetim sistemlerinin Şekil 2.1'de verildiği gibi, aşağıdaki fonksiyonlarını yerine getirmesi beklenir;

- **Bataryaların gerilimlerinin ölçümü;** Bataryanın gerilimi, bataryanın durumunu gösteren en önemli değişkendir ve bataryanın performansı büyük ölçüde batarya gerilimine bağlıdır. Paralel bağlı bataryalarda gerilim ölçmek ve bataryaların durumunu izlemek daha kolayken, seri bağlı bataryalarda her bir batarya geriliminin ayrı ayrı ölçülmesi gerektiğinden bu işlem daha karmaşıktır. Seri bağlı bataryaların gerilimlerinin ölçülmesinde *Gerilim bölücü, Aç/kapa Röle, Farksal (diferansiyel) Ölçüm* ve *Entegre Devreler ile Ölçüm* olmak üzere başlıca 4 yöntem vardır [63]. Seçilecek yöntem belirlenirken, ölçüm hassasiyeti/doğruluğu ile basitliği arasında bir optimizasyon yapılır.
- **Bataryaların sıcaklığının ölçümü;** Bataryaların sıcaklıklarını ölçmek için BYS'lerinde genellikle, ısı-çift, metal dirençli sıcaklık algılayıcı, termistör ve akıllı sıcaklık algılayıcı kullanılır [64-67].
- **Batarya dolma/boşalma akımı ölçümü;** Dolma/boşalma akımı, bataryanın kapasitesi ve enerjisi için tespit edilmesi gereken önemli bir değişkendir. Bu değişkenin sadece batarya yönetim sistemi için değil enerji yönetim sistemi için de düzgün biçimde ölçülmesi gerekir. BYS'lerde ölçülen akım, bataryanın/batarya bloğunun SoC, SoH tahmininde, dolma ve boşalma kontrolünde kullanılır. Akım ölçümünün; doğru, hassas ve dış etkilerden (parazit, sıcaklık, doğrusal olmama) etkilenmeyecek şekilde yapılması istenir. *Manyetik etkili akım algılayıcı* ve *şönt direnci yardımıyla akım ölçümü*, BYS'de en çok kullanılan akım ölçme yöntemleridir [68].
- **Bataryaların toplam gerilim ölçümü;** Seri bağlı bataryaların dolma ve boşalma durumları, bağlantılar arasında herhangi bir kopukluğun olup olmadığı toplam batarya geriliminin değeri ile anlaşılabilir. Bunun yanında hem doldurma cihazının hem de batarya bloğunun uygun gerilimlerde olup/olmadığı, toplam

gerilim ile doğrulanabilir. Toplam gerilim, genellikle uygun gerilim bölücüler kullanılarak hesaplanır. Gerilim bölücü değeri, RC filtresi üzerinden Örneksel-Sayısal Dönüştürücüye (Analog Digital Converter-ADC) gönderilip uygun çarpanla çarpılır ve batarya bloğunun toplam gerilim büyüklüğü bulunur.

- **Bataryanın dolma/boşalma işlemini takip ve kontrolü;** Li-iyon bataryaları doldurma yöntemleri arasında, *sabit akım-sabit gerilim (CC-CV) ile doldurma yöntemi, 5 basamaklı doldurma yöntemi, darbe doldurma yöntemi ve yüksek hızlı doldurma yöntemi vardır* [69]. CC-CV ile doldurma yöntemi, günümüzde çoğu doldurma cihazlarında en çok tercih edilen yöntemdir ve bu çalışmada da kullanılmıştır. Bataryaların dolma boşalma süreçleri ve takibi Kesim 2.2.1'de açıklanacaktır.
- **Bataryaların kapasite durumu (State of Charge-SoC) tahmini,** bataryaların kapasite miktarını gösteren SoC'un doğru tespit edilmesi; aşırı dolma/boşalmayı önler, bataryanın korunmasına ve ömrünün uzatılmasına katkı sağlar. SoC tahmini Kesim 2.2.2'de açıklanacaktır.
- **Bataryaların sağlık durumu (State of Health-SoH) tahmini,** Bataryalar hem çalışırken hem de saklama koşullarında yaşlanır, kapasiteleri ve dolayısıyla ömürleri zamanla azalır. Literatürde, belirli şartlar altında bataryanın kapasitesi başlangıç kapasitenin %80'inin altına düştüğünde, bataryanın artık sistem için uygun olmadığı ve değiştirilmesi gerektiği şeklinde ifadeler yer almaktadır [70]. BYS tarafından, bataryaların yaşlanma durumunun dolayısıyla sağlık durumunun güvenli bir şekilde belirlenmesi istenir. Batarya paketinde herhangi bir bataryanın sağlık durumu, önceden belirlenen sınırın altına düştüğünde değiştirilmelidir, aksi takdirde o batarya sağlam olan bataryaları da olumsuz etkiler, sistemin performansını düşürür. Literatürde kullanılan *deneysel ve model bazlı SoH tespit yöntemleri* bulunmaktadır [71,72].
- **Batarya dengeleme;** Kimyasal yapılarına ve çalışma koşullarına bağlı olarak bataryaların iç dirençleri değişkenlik gösterdiğinden, kendi kendine boşalma oranları ve başlangıç SoC değerleri farklıdır. Özellikle seri bağlı bataryalarda dolma/boşalma esnasında meydana gelen uyumsuzluğu önlemek amacıyla BYS ile bataryalar arası dengeleme yapılır. Dengeleme, Kesim 2.2.3'te açıklanacaktır.

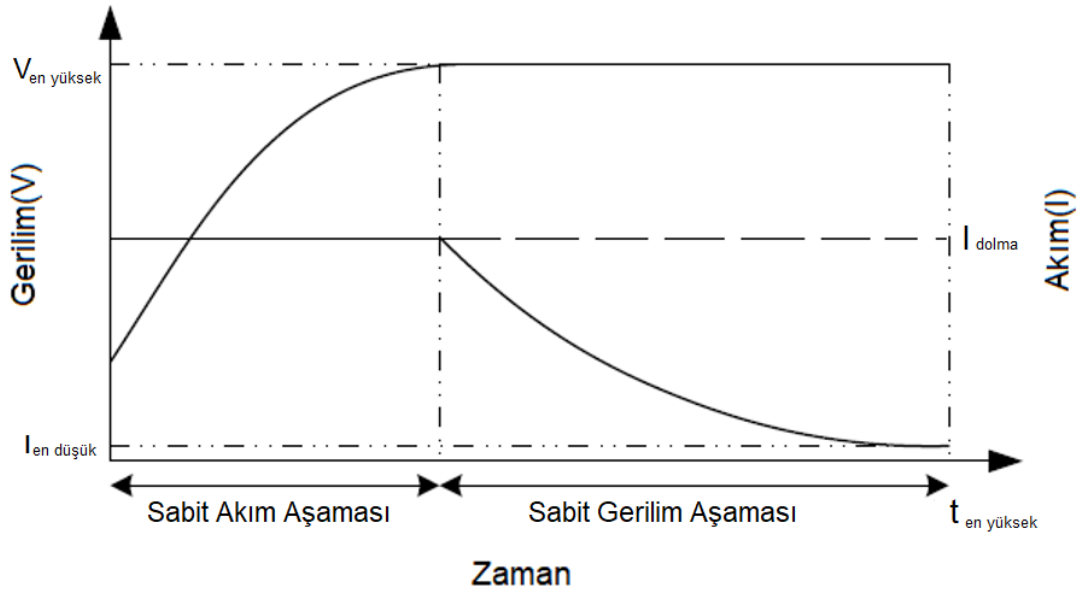
- **Veri alış-verişi ve veri kaydı**, Yapay zekâ, nesnelerin interneti ve akıllı cihaz kavramlarının iyice yaygınlaştığı günümüzde, tasarlanacak sistemlerin elde ettiği verileri istenilen yere göndermesi oldukça önemlidir. Bu nedenle BYS'nin gerek kendi içinde yer alan gerekse dış dünyadaki diğer cihazlarla veri alış-verişi yapabilmesi istenir. Veri alış-verişi ve kaydı Kesim 2.2.4'te açıklanacaktır.
- **Güvenlik kontrolü, arıza tespiti ve uyarma**: Bataryalı sistemlerinin güvenli ve verimli bir biçimde çalışması için BYS'nin bazı güvenlik kontrollerini yapması gerekir. BYS, bataryanın durumu sürekli takip ederek genellikle bataryanın boşaltılması, doldurulması ve çalışma sıcaklığı konularında bataryanın güvenliğini sağlar. Güvenlik kontrolü, Kesim 2.2.5'te açıklanacaktır.

### 2.2.1. Bataryanın Dolma/Boşalma İşleminin Takip ve Kontrolü

Lityum iyon bataryaların **doldurulması için**; doldurma süresi, dolma verimi ve yaşlanmaya bağlı olarak çeşitli doldurma teknikleri vardır. LIB'lerin performanslarını geliştirmek ve verimlerini artırmak için, dolma ve boşalma işleminin kontrol edilmesi ve yönetilmesi önemlidir. En çok kullanılan LIB doldurma yöntemleri [73];

- **Sabit Akım-Sabit Gerilim (CC-CV) ile Doldurma Yöntemi**: Şekil 2.2'de gösterilen bu yöntemde, batarya kendine özgü en yüksek doldurma gerilimine ( $V_{en\_yüksek}$ ) ulaşmaya kadar, sabit bir akımla ( $I_{dolma}$ ) doldurulur (**sabit akım aşaması-CC**). Batarya kapasitesinin %70-80'ine kadar olan büyük bir bölümünün dolduğu bu aşamada kullanılması tavsiye edilen en yüksek  $I_{dolma}$  akımı bataryaların kataloğunda verilmektedir. CC aşamasında, yüksek akımla doldurulan batarya, düşük iç direnci nedeniyle ısınmaya başlar ve doldurma işlemi devam ettirilse batarya yanabilir/patlayabilir. Ayrıca yüksek akımla dolum esnasında, bataryanın gerilimi sınır değer olan  $V_{en\_yüksek}$ 'in üstüne çıkabilir ve bu durum bataryalarda kalıcı hasara ve/veya kapasite kaybına neden olmaktadır [74]. Batarya gerilimi,  $V_{en\_yüksek}$  büyüklüğüne ulaştığında CC aşaması tamamlanarak, **sabit gerilim-CV aşamasına** geçilir ve  $V_{en\_yüksek}$  büyüklüğünde sabit gerilim uygulanır. CV aşamasında uygulanan bu gerilimle bataryaların kalan %20-30 kapasitesi dolarken, batarya akımında azalma gözlenmektedir. Batarya akımı, bataryaya özgü  $I_{en\_düşük}$  değerine düştüğünde doldurma işlemi bitirilir. Şekil 2.2'den görüldüğü gibi, CV aşamasında, CC aşamasına göre daha az kapasitenin doldurulmasına karşın bu aşama daha uzun sürmektedir [75].





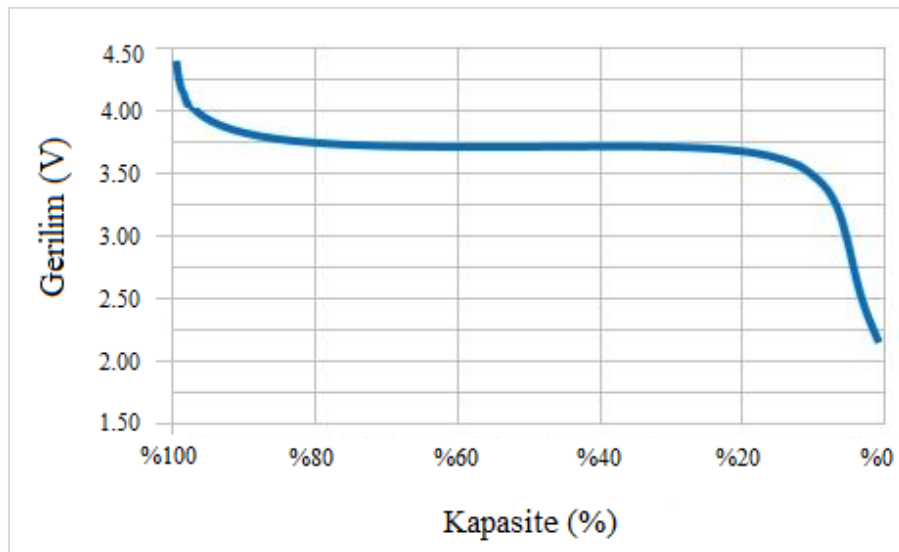
Şekil 2.2 Sabit akım (*Constant Current-CC*)/Sabit gerilim (*Constant Voltage-CV*) dolma profili

- **5 Basamaklı Doldurma Yöntemi (Five-step charging pattern):** CC-CV yöntemindeki CV aşaması, dolma süresini uzatmaktadır. Dolma süresini kısaltmak için geliştirilen ve aşamalı doldurma yöntemi olarak adlandırılan bu yöntem, dolma işlemi 5 adıma böler. Her adımda, yüksek değerden başlayarak belirli bir süre boyunca sabit dolma akımı uygulanır. Bataryanın gerilimi, o adımda önceden belirlenmiş değere ulaştığında bir sonraki adıma geçilir. Adımlardaki doldurma akımlarının büyüklüklerinin belirlenmesi önemli olmakla birlikte, yaşlanma etkileri altında karmaşık ve zor bir süreç olduğundan tercih edilen yöntem değildir. Yaşlanmaya bağlı olarak farklı algoritmalar ile uygulanacak akım değerinin güncel olarak bulunmasına yönelik çalışmalar yapılmaktadır [76].
- **Atmalı Doldurma Yöntemi (Pulse charging method):** Bataryanın elektrolitinde bulunan iyonları eşit dağıtarak, dolma süresini hızlandırmanın ve batarya ömrünün artırmanın hedeflendiği yöntemde, doldurma süresi ve kapasitesi miktarına bağlı doldurma frekansı belirlenmelidir. Dolma frekansı, en uygun atma akımı verildiğinde dolma hızının ve dolma veriminin en yüksek olduğu süre ile tanımlanmaktadır. LIB'lerde optimum dolma frekansını bulmak için, batarya yükten ayrılarak, 2-3 saat mertebesinde, bir süre dinlendirilmesi gerektiğinden BYS'lerde kullanımı uygun değildir [77].

- **Yüksek Hızlı Doldurma Yöntemi (Boostcharging method):** Özellikle EV araçların bataryalarını kısa sürede çok yüksek akımla (5C'e kadar) hızlı bir şekilde doldurmak için geliştirilmiş yöntemdir. Yapılan denemelerde bu yöntemin, CC-CV doldurma yöntemine göre süreyi 4/10 oranında azalttığı ancak, bataryanın erken yaşlanmasına sebep olduğu gözlemlenmiştir [78].

FV-batarya sistemler ile kullanılacak BYS'lerde en uygun doldurma yöntemi, CC-CV yöntemidir. BYS, sabit akım modunda batarya gerilimini, sabit gerilim modunda batarya akımındaki değişimi izleyerek ve kaydederek, dolma boşalma sürecini kontrol eder.

Li-iyon bataryalar için, boşalma sürecini gösteren, bataryanın kapasitesine bağlı olarak gerilim değişimi grafiği Şekil 2.3'te verilmiştir. Batarya gerilimi, ~ %20 kapasiteye kadar sabite yakın bir değerde iken, daha sonra hızla düşmektedir. Lityum tipi bataryaların kimyasına ve yüke bağlı olarak boşalma süresince 3,30 – 3,70 V arasında değişen özgün (nominal) bir gerilim verdiği gözlenmektedir. Bataryanın izin verilen alt gerilim değerinin (end of discharge) altına düşmesi durumunda tamir edilemez ciddi hasar meydana gelip, bataryalar öldüğünden, saha uygulamalarında sistemin güvenliği ve bataryanın sağlığı açısından, kapasitesinin %0 olduğu gerilime kadar boşalmasına müsaade edilmez. Bu nedenle, kontrol devrelerinde, gerilim değerinin birden düşmeye başladığı ve bataryanın %70-80 oranında boşalmasına karşılık gelen kırılma noktası **derin boşalma** (DoD - Deep of Discharge) olarak tanımlanır ve batarya gerilimi belirlenen



Şekil 2.3 LIB Boşalma Profili [79]

DoD'a karşılık gelen gerilim değerine ulaştığında, boşaltma işlemine son verilir. Seri bağlı batarya modülünde de, bataryalardan herhangi biri DoD değerine ulaştığında boşalma işlemine son verilir. Yapılan bu tez çalışmasında, DoD %80 olarak alınmış ve seri bağlı bataryalardan herhangi biri 2,90 V'a düştüğünde, bataryalar güç kaynağından doldurulmaya başlanmıştır.

Literatür çalışmalarda, lityum-iyon bataryaların en uygun çalışma sıcaklık aralığı 15°C ile 35 °C arasında olduğu ve bu aralık dışında aşırı sıcak/soğuk koşullarında LIB'in performansı ve kapasitesi ciddi oranda etkilendiği belirtilmiştir. Zhang vd. yaptığı çalışmada [80], 25°C'de %100 olan batarya kapasitesinin, -15°C'de %77 seviyelerine kadar azaldığı görülmektedir. Aşırı sıcak ortamın etkisi ise daha karmaşıktır. Sıcak hava koşulları öncelikle kimyasal yapıyı bozduğu için yaşlanmayı hızlandırmaktadır. Bu durumlarla karşılaşmamak için dolma ve boşalma esnasında BYS'den bataryaları uygun sıcaklık aralığında tutması istenir.

### 2.2.2. Batarya Kapasitesinin Belirlenmesi

Batarya kapasite durumu, (SoC), bataryadaki mevcut kapasitenin, tamamen dolu olduğu durumundaki özgül kapasitesine ( $Q_n$ ) oranı olarak tanımlanır ve

$$SOC(t) = \frac{Q(t)}{Q_n}$$

eşitliği ile verilir [81]. Bataryaların kimyası zamana bağlı olarak ve çevresel etkilerle değiştiği için doğru SoC ölçümü karmaşık bir işittir ve dolayısıyla üzerinde çalışılan bir konudur. Günümüzde SoC'u daha doğru tespit etmek için birden fazla yöntemin birleştirilerek oluşturulduğu karma yöntemlerin kullanımı artmıştır [82-86]. Bu nedenle SoC tespit yöntemlerini keskin çizgiler ile ayırmak kolay değildir. SoC tespit yöntemleri, *doğrudan* ve *dolaylı yöntemler* olmak üzere iki grup altında toplanmaktadır;

***Doğrudan SoC tespit yöntemlerinde***, gerilim, akım ve sıcaklık gibi bataryanın fiziksel özellikleri ölçülür, sonrasında ölçülen bu değerler kullanılarak birtakım hesaplamalar ile SoC belirlenir. *Açık Devre Gerilimi (Open Circuit Voltage-OCV) Yönteminde* bataryalarda açık devre gerilimi ile kapasite durumu arasında doğrusal/doğrusala yakın olan ilişkiden yararlanarak bataryanın SoC'u tahmin edilir. Bu yöntemde bataryaların

belirli bir süre dinlendirilmesinden sonra açık devre gerilimi okunduğundan, sürekli yüke bağlı BYS sistemlerinde SoC tahmini için uygun değildir.

*Yük sayma yöntemi (Coulomb counting method)*, bataryanın SoC'unun deneysel ve anlık olarak tespit edilmesinde kullanılan diğer bir yöntemdir. Bu yöntemde SoC, batarya dolarken/boşalırken, bataryaya giren/çıkan yükün zamana göre integralinin alınmasıyla [81];

$$SoC(t) = SoC(t - 1) + \int_0^t \frac{1}{C_{Bat}} \cdot dt$$

eşitliği ile verilir. Burada;

SoC (t): t anındaki bataryanın kapasitesi (%)

SoC (t-1): başlangıç anında bataryanın kapasitesi (%)

I: dolma/boşalma akımı (A)

t: zaman (s)

$C_{Bat}$ : bataryanın kapasitesi

şeklinde tanımlanabilir. Ancak bu yöntemdeki temel bir sorun, başlangıç değerinin tam olarak saptanamamasıdır. Başlangıç durumunun  $[SoC_{(t-1)}]$ , doğru olarak tespit edilmemesi durumunda, SoC hesabında birikimsel hatalar meydana gelebilir. Bunu önlemek için periyodik olarak, kapasite kalibrasyonu yapılması gerekir.

***Dolaylı SoC tespit yöntemlerinde*** ise, bataryanın gerçek koşullardaki davranışlarını verebilecek model/filtrelere, ölçülen gerçek koşullardaki batarya verileri (gerilim, akım sıcaklık, nem vb.) yerleştirilerek SoC hesabı yapılır. Bu yöntemlerde, bataryanın gerçek özelliklerini olabildiğince gerçeğe yakın yansıtabilecek modele/filtreye ihtiyaç vardır. Model/filtre belirlenirken, yöntemin karmaşıklığı ile SoC tahminindeki doğruluk arasında bir optimizasyon yapılmalıdır [83]. *Model-bazlı SoC tahmini* yaklaşımında, doğrudan ölçüm yöntemlerindeki yüke bağlı iken SoC'u ölçme, başlangıç değerini belirleme ve değişken koşullardaki durumu belirleme gibi sorunları çözmek için çeşitli batarya modelleri geliştirilmiştir. En yaygın kullanılan modelleme çeşitleri; *elektrokimyasal model* ve *eşdeğer devre modelidir* [84]. *Uyarlanabilir filtre algoritmaları (Adaptive filter*

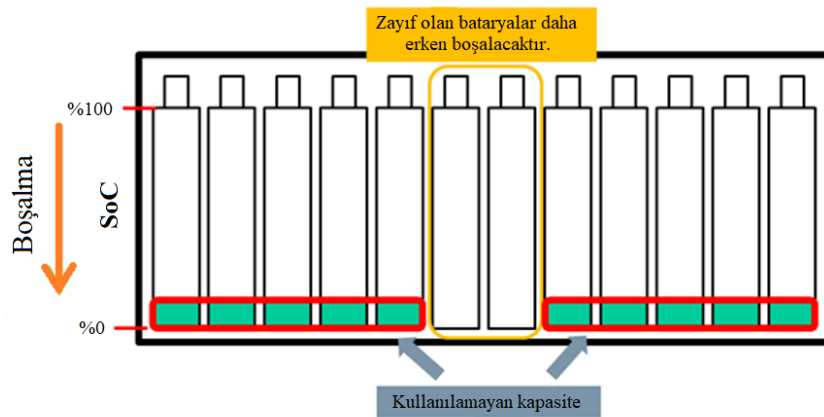
*algorithm*), bataryanın kimyasal özelliklerine bağlı olarak doğrusal olmayan değişkenleri kontrol edip ortalama değerden farklı olanları filtreleyerek, değişkenleri optimize eder.

Bu filtreleme, özellikle değişkenlerin sürekli olarak değiştiği veya bilenemeyeceği sistemlerde kullanılır. [85]. Bu amaçla yaygın olarak Kalman filtresi (KF) kullanılmaktadır [87]. Literatürde ayrıca çeşitli *öğrenme algoritmaları* kullanılarak *diğer SoC belirleme çalışmaları* da bulunmaktadır [88, 89]

Sonuç olarak, bataryaların giderek önem kazandığı günümüzde, SoC'un doğru olarak tespit edilmesi, kullanıcıya batarya hakkında doğru bilgi verilmesi, bataryanın aşırı dolma/boşalmasına engel olarak sağlığını korunması için önemlidir.

### 2.2.3. Bataryaları Dengeleme

Seri bağlı bataryalardan oluşan bir batarya modülünde, bataryaların yaşlanmasına bağlı olarak uyumsuzluklar oluşabilir. Modülün dolduğuna/boşaldığına karar verilirken, kapasitesi en düşük değer bir deyişle en zayıf batarya göz önüne alınır [90]. Şekil 2.4'te, seri bağlı batarya modülünde, boşalma sırasındaki uyumsuzluk gösterilmiştir. Batarya modülü boşaltılırken; zayıf olan batarya diğerlerine göre daha kısa sürede boşalacak ve bu durumda modülün tamamen boşaldığı kabul edilecektir, ancak iyi durumda olan bataryalarda halen kullanılmamış kapasite bulunacaktır. Ayrıca, boşalma işlemini devam ettirilirse iyi durumda olan bataryalar, zayıf olanı ters besleyecek, zayıf olan LIB ilk önce ısınacak daha sonra tamamen kısa devre olacaktır [91].

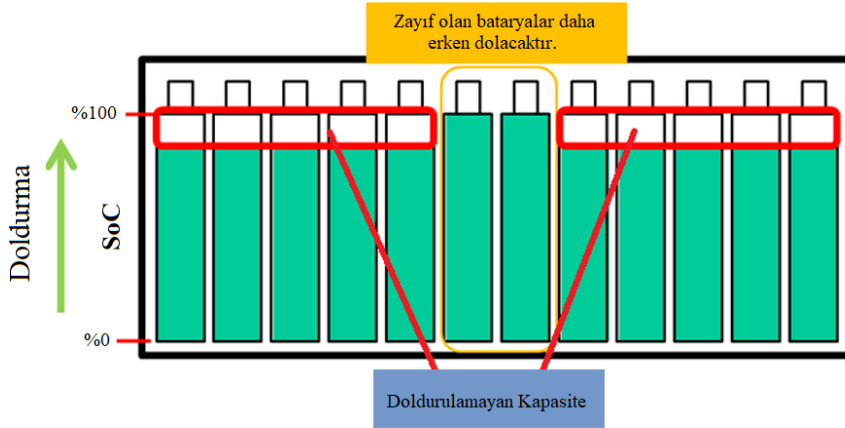


Şekil 2.4 Boşalma Esnasında Bataryalar Arası Uyumsuzluk

Batarya modülü doldurulurken ise; zayıf olan batarya, diğer bataryalara göre daha erken dolacak ve modülün doldurma işlemi güvenlik nedeniyle bu bataryaya göre

sonlandırılacaktır. Fakat bu durumda, daha iyi durumdaki diğer bataryalar tamamen dolamayacak, modülün verimi düşecektir (Şekil 2.5).

Modül eğer doldurulmaya devam edilirse zayıf bataryalar üst sınır gerilim değerini aşarak “aşırı dolmuş” (over-charge) duruma geçecek ve bataryalar ısınacaktır. Isınma ile iç direnci daha da küçülecek, daha fazla akım geçecek ve modülde sıcak bölgeler (*hot spot*) oluşacaktır [92].



Şekil 2.5 Dolma Esnasında Bataryalar Arası Uyumsuzluk

Seri bağlı batarya modülündeki uyumsuzluk gerek bataryalar dolarken gerekse boşalırken büyük sorun yarattığından, zayıf batarya sorunu çözülmediği sürece modül hiçbir zaman tam kapasitede kullanılamaz, bu durum daha çok dolma-boşalma yapılmasına neden olarak modülün daha kısa sürede yaşlanmasına neden olur [93]. Seri bağlı bataryalarda dolma/boşalma esnasında meydana gelen uyumsuzluğu önlemek amacıyla, BYS tarafından yönetilen dengelemede, *fazla enerjinin bataryalar arasında paylaşıldığı aktif dengeleme* veya *fazla enerjinin basit bir yük üzerinde harcadığı pasif dengeleme* yöntemi olmak üzere 2 yöntem kullanılır [93,94];

- ***Enerjinin Paylaşıldığı Aktif Dengeleme Yöntemi***

Enerjinin paylaşıldığı dengeleme yönteminde, fazla enerjinin geçici olarak depolanarak ihtiyacı olan bataryaya aktarılması için *sığaçlar* veya *dönüştürücüler* kullanılır. Batarya bloğunun büyüklüğüne bağlı olarak, yapılacak aktif dengelemenin bataryalar arası veya modüller arası olmasına, maliyet göz önüne alınarak karar verilir.

*Sığaçlar Yardımıyla Dengeleme* yapılırken, diğerlerine göre daha yüksek gerilime sahip olan bataryanın enerjisi, ona paralel olarak bağlı olan sığaçta toplanır. Daha sonra

depolanan bu enerji, düşük gerilimdeki bataryaya aktarılır. Bunun için tekli basit anahtarlama kontrol devreleri kullanılabilir gibi otomatik anahtarlama, zincir yapıda anahtarlama kontrol devreleri de kullanılabilir [95].

*Dönüştürücü Yardımıyla Dengeleme*, düşük gerilimde olan bataryayı/batarya modülünü doldurmak için yüksek gerilimdeki bataryalar/batarya modülleri enerji kaynağı gibi kullanılır. Diğer bir deyişle DA-DA dönüştürücü ile diğer bataryalara göre düşük gerilime sahip bataryalar, tüm modülden beslenerek diğer bataryalar ile aynı seviyeye getirilir. Kullanılan dönüştürücüler, *multi-winding transformer*, *multiple transformers* and *single switched transformer* gibi çeşitli şekillerde olabilir [96].

Aktif dengeleme; eğer merkezde bir sığaç /dönüştürücü varsa ve enerji alış-verişi bunun üzerinden yapılıyorsa buna *merkezi aktif dengeleme*, sığaç /dönüştürücüler her bir batarya/modül/blok için devrede dağıtılmış şekilde bulunuyorsa, buna ise *dağılık aktif dengeleme* adı verilir [97].

Aktif dengeleme yönteminde; çok sayıda DA-DA dönüştürücüye veya sığaca, anahtar devrelere, kontrol sinyallerine ve karmaşık algoritmaya gerek duyulduğundan sistemin maliyeti oldukça yüksektir. Ayrıca bu yöntemde dönüştürücü/sığaçtan ve devrede yer alan diğer bileşenlerden kaynaklanan enerji kaybı meydana gelir.

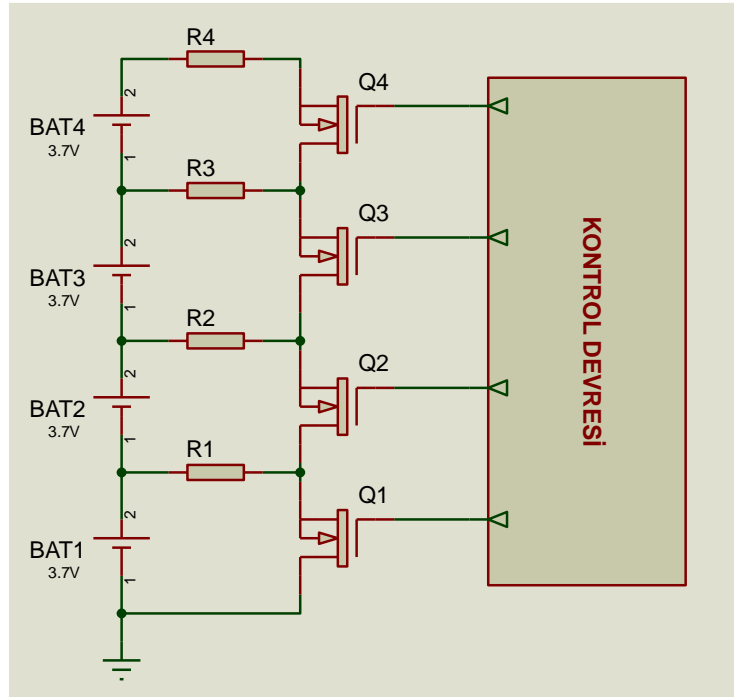
- ***Enerjinin Harcandığı Pasif Dengeleme Yöntemi***

Enerjinin harcandığı pasif dengeleme yöntemi, seri bağlı bataryalar doldurulurken, tamamen dolmuş bataryadaki fazla enerjinin bir yük üzerinde harcanarak, kritik seviyeyi aşmasının engellendiği ve böylece aşırı dolmadan diğer bataryaların dolmasını beklediği bir tür dengeleme yöntemidir.

Seri bağlı bataryalardan (Bat1...Bat4) diğerlerinden erken dolan zayıf bataryanın üst sınır gerilimi aşmaması ve diğerlerinin dolmasını beklemesi için üzerinde fazla enerjinin harcandığı dengeleme dirençleri ( $R_1 \dots R_4$ ), dengelemeyi kontrol etmek için her bataryaya paralel olarak bağlanmış güç anahtarları (MOSFET) ve bu güç anahtarlarını kontrol etmek için gerekli olan kontrol devresi Şekil 2.6'da gösterilmiştir.

Pasif dengeleme yönteminde; bataryalardan herhangi biri, belirlenen üst sınır gerilim değerine ulaştığında, bu bataryanın fazla enerjisi direnç üzerinde harcanır. Bu işlem tüm bataryalar, üst sınır gerilimine ulaşana dek sürer. Bu yöntemin en büyük avantajı, basit ve maliyetinin düşük olmasıdır. Ayrıca algoritması aktif dengeleme yöntemlerine göre

kolaydır. Ancak bu yöntemde bataryalara doldurmak için basılan gücün bir miktarı, dirençler üzerinde boşuna harcanır.



Şekil 2.6 Pasif dengeleme yöntemi

Literatürde, LIB yönelik pasif dengeleme yöntemi kullanılan tasarımlarda 30W ila 40W aralığında güç çekildiği ve her bir batarya geriliminin 4,2 V olduğu varsayılırsa dengeleme akım değerinin yaklaşık 100 mA değerlerinde olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca piyasada bulunan ticari BYS incelendiğinde, pasif dengeleme sisteminin basit ve güvenilirliğinden dolayı en çok kullanılan dengeleme yöntemi olduğu söylenebilir [98]. Bu çalışmada, pasif dengeleme yöntemi kullanılmıştır.

#### 2.2.4. Veri Alış-Verişi/Veri Kaydı

BYS'ler anlık olarak birçok değişkeni ölçer ve oldukça fazla veri elde eder. En alt sistemden başlayarak ölçülen gerilim, sıcaklık, akım vb. verilerin yanı sıra durum verileri de belirli bir düzen içerisinde üst sisteme aktarılmalı, en üst sistem tarafından toplanan bu veriler incelenmeli ve istenirse görüntüleme birime gönderilmelidir. Sonra bu veriler ışığında ana sistem tarafından çalışma koşuluna yönelik kararlar verilmeli ve bu kararlar alt sisteme gerektiğinde tekrar iletilmelidir. Bu nedenle BYS, çift taraflı (geri-beslemeli) sağlıklı bir veri ilişkisine sahip olmalıdır [99].



Batarya yönetim sistemlerinde kullanılan veri iletişim kanalları *dahili*, *harici* ve *kontrol* veri iletişim kanalı şeklinde üç ana gruba ayrılabilir [100].

***Dahili iletişim kanalı***, BYS'nin yardımcı devrelerin kendi içinde yer alan birimleri arasında kullandığı haberleşme kanalıdır. Bu kanalla yardımcı devrede yer alan mikro-denetçi; algılayıcı, modül gibi birimlere kontrol sinyalleri gönderir ve söz konusu birimler ölçtüğü verileri mikro-denetçiye gönderilir.

***Harici iletişim kanalı*** ile yardımcı devreler tarafından toplanan veriler, ana devrenin mikro-denetçisine gönderilir. Ana kontrol devresi bu verileri analiz ederek gerekli komutları ilgili yardımcı mikro-denetçiye gönderebilir. Böylelikle çift taraflı bir veri akışı sağlanır.

***Kontrol veri iletişim kanalı***, ana devrenin mikro-denetçisinin, yardımcı mikro-denetçiler dışında diğer birimlerle (bilgisayar, programlayıcı, cep telefonu vb.) güvenlik, görüntüleme, iletişim ve algoritma güncelleme vb. maksatlarla yapacağı veri transferleri için kullanılan kanaldır.

Yüksek gürültü direnci ve kayda değer sayıda veri yoluna sahip olmasından dolayı CAN (Controller Area Network) iletişim yolu, şu an elektrikli araçlar için BYS'lerde en uygun ve en çok tercih edilen, ancak pahalı, veri iletişim yoludur. Bunun yanında, Yerel Bağlantı Ağı (Local Interconnect Network-LIN), SPI (Serial Peripheral Interface), I<sup>2</sup>C ve Onewire; CAN veri iletişim yoluna nazaran daha yavaş ve onun kadar esnek bir yapıya sahip olmayan ancak daha az donanım ihtiyacına gereksinim duyması ve ucuz olması nedeniyle tercih edilen diğer iletişim yöntemlerdir [101]. Yapılan tasarımda dahili iletişim kanalı olarak kullanılan algılayıcı ve sensörlere bağlı olarak *SPI (Serial Peripheral Interface)*, *I<sup>2</sup>C* ve *Onewire*; harici ve kontrol verili iletişim kanalı olarak *TTL düzeyde Seri Port İletişim Yolu* kullanılmıştır. Veri iletişiminin yanı sıra, BYS'nin çalışma koşullarının ve/veya bataryaların durumlarının ve tüm sistemin performansının daha sonradan incelenmesi veya herhangi bir hatanın/güvenlik ihlalinin tespit edilmesi için BYS'nin veri kayıt özelliğinin de olması istenebilir. Bu durumda kaydedilecek verilerin özelliğine, sayısına ve zaman aralığına bağlı olarak Batarya Yönetim Sistemine veri kayıt fonksiyonu eklenebilir. Kaydedilen verilerin genellikle gerçek zamanlı olması istenir. Veri kaydında en çok kullanılan yöntem SD karta kayıt yöntemidir.

### 2.2.5. Güvenlik Kontrolü

Bataryalı sistemlerinin güvenli ve verimli bir biçimde çalışması için BYS'nin bazı kontrolleri yapması gerekir, kontrol dışı bir durum gerçekleştiğinde BYS gerekli önlemleri almalıdır [102].

Örneğin sistemin verimli çalışması için; elektrikli araç park edildiğinde gereksiz enerji harcanmasını önlemek için motor ile bataryaların bağlantısı kesilebilir, bataryaların ısıtıcı/soğutucu sistemin çalışma sıcaklıkları belirli bir limite geldiğinde devreye girmesi ve söz konusu koşul geçtikten sonra sistemin devreden çıkması istenebilir. BYS, genellikle bataryanın boşaltılması, doldurulması ve çalışma sıcaklığı konularında bataryanın güvenliğini sağlar. Buna bataryanın enerji yönetimi de denebilir. Sistemin güvenli çalışması için;

- Bataryalarda yeterli enerji yokken onları dolduracak güç kaynakları çalışmadığı özel bir durumda, bataryalardan hala güç çekiliyorsa bataryaların sağlığı için batarya ile yük arasındaki bağlantı kesilebilir.
- Bataryalar arası gerilim farkı/bataryanın toplam gerilimi çok yüksek/düşük bir değere geldiğinde bataryaların ölmesini engellemek için dolma/boşalma işlemi durdurulabilir.

Yukarıda söz edilen verimlilik/güvenlik kontrolleri için genellikle röleler veya güç MOSFET'leri kullanılır. Kullanılacak bu elemanlarının sayısına veya özelliklerine BYS tasarımına göre karar verilir. BYS'nin kontrol ettiği röleler/MOSFET'ler (açma/kapama ve doldurma/boşaltma) yüksek gerilimle çalışan elektronik elemanlardır. Batarya Yönetim Sisteminde kullanılan mikro-denetçiler ve diğer sensörler ise 5 V, 3,3V gibi oldukça düşük gerilimle çalışır. Bu nedenle, BYS'nin yüksek gerilim tarafından yalıtılmasını da sağlayan gerilim düzenleyici ve DA/DA dönüştürücü gibi ara bileşenler kullanılmalıdır.

Bataryanın çalışma sıcaklık karakteristiğine göre, BYS tarafından sıcaklık kontrolü yapılmalıdır. Bu kontrol için öncelikle sıcaklık kontrol değerleri belirlenir. Bataryalara bağlı olarak değişkenlik gösteren bu değerleri belirlemek için belirli sayıda test ve korelasyon analizleri yapılır [103]. Genellikle, düşük ve yüksek sıcaklıklar için Seviye-1 ve Seviye-2 olarak tanımlanan sıcaklık kontrol değerleri belirlenir. Her seviye kendi içinde *düşük* ve *yüksek* olmak üzere iki değerle tanımlandığında 4 sıcaklık kontrol değeri bulunmaktadır. Batarya sıcaklığı yüksek sıcaklık için Seviye-1'i aştığında soğutucu işlem

devreye girmeli ve bataryadan çekilen/verilen akım bir miktar azaltılmalıdır. Sıcaklık değeri, üst limit değeri olan Seviye-2'ye ulaştığında ise bataryadan akım çıkışı/girişi tamamen kesilmeli ve soğutma işlemine devam edilmelidir. Aksi takdirde bataryalarda termal kaçak oluşur ve bataryalar yanmaya/patlamaya başlar. Sıcaklık değeri düşük sıcaklık değeri olan Seviye-1'e geldiğinde ısıtıcılar devreye girmeli ve bataryadan çekilen güç azaltılmalıdır. *Düşük* sıcaklık değeri Seviye-2 ulaştığında ise batarya tamamen doldurma işleminden/yükten kesilmeli ve ısıtma işlemi devam edilmelidir. Eğer bu yapılmazsa bataryaların iç yapısında ciddi arızalar meydana gelir ve batarya kapasitesinde ciddi azalmalara neden olur [104].

Bataryanın güvenliği sağlamak için bataryanın durumu sürekli takip edilmeli ve değerlendirilmelidir. Eğer bir güvenlik hatası varsa bunun ikaz ve uyarı sistemi ile ana programa ve kullanıcıya hemen bildirilmesi gerekir. Böylece kullanıcı/BYS gerekli önlemleri alır ve olası problemler önlenmiş olur. Burada belirlenecek hata sınır değerleri, bataryanın/batarya paketinin özelliklerine göre belirlenir. Literatürden alınan örnek olarak, 120 seri bataryadan oluşan, 210 Ah kapasiteye ve 384 V özgün gerilime sahip olan demir fosfat lityum batarya paketinin, belirlenen hata sınır değerleri, Çizelge 2.1'de verilmiştir [105].

**Çizelge 2.1** Örnek LIB paketinin BYS alarm sınır değerleri

No.	Hata Çeşidi	1. Derece Hata Kriteri	2. Derece Hata Kriteri
1	Bataryalar Arası Sıcaklık Dengesizliği	> 10°C	/
2	Bataryalar Arası Gerilim Dengesizliği	> 1,0 V	/
3	Sıcaklık Üst Limiti	> 50 °C ( $T_{max}$ )	> 55 °C ( $T_{max}$ )
4	Çok Yüksek Gerilim (Tek Batarya)	> 3,65 V	> 3,75 V
5	Çok Düşük Gerilim (Tek Batarya)	< 3,0 V	< 2,8 V
6	Çok Yüksek Gerilim (Toplam Paket)	> 432 V ( $3,6 \times 120$ )	> 438 V ( $3,65 \times 120$ )
7	Çok Düşük Gerilim (Toplam Paket)	< 366 V ( $3,05 \times 120$ )	< 360 V ( $3,0 \times 120$ )
8	Yüksek Akım ile Doldurma	>1 C (1 dk.)	>1.5 C (10 sn)
9	Yüksek Akım ile Boşaltma	>1.5 C (3 dk.)	>2 C (60 sn)
10	Yüksek SoC	>%100	>%110
11	Düşük SoC	<%30	<%10
12	İzolasyon Sorunu	<500 $\Omega/V$ ve > 100 $\Omega/V$	$\leq 100 \Omega/V$

Çizelge 2.1’de belirtildiği gibi, seri bağlı bataryalar arasındaki sıcaklık farkı 10°C’nin üstüne çıktığında veya gerilim farkı 1,0 V’dan daha fazla olduğunda sistem, 1.derece hata uyarısı vermektedir. Sistem ayrıca, herhangi bir bataryanın gerilimi 3,75V’u geçtiğinde ya da 2,80V’un altına düştüğünde, SoC seviyesi %10’ın altına düştüğünde ya da %110’un üstüne çıktığında ise 2.derece hata uyarısını vermektedir.

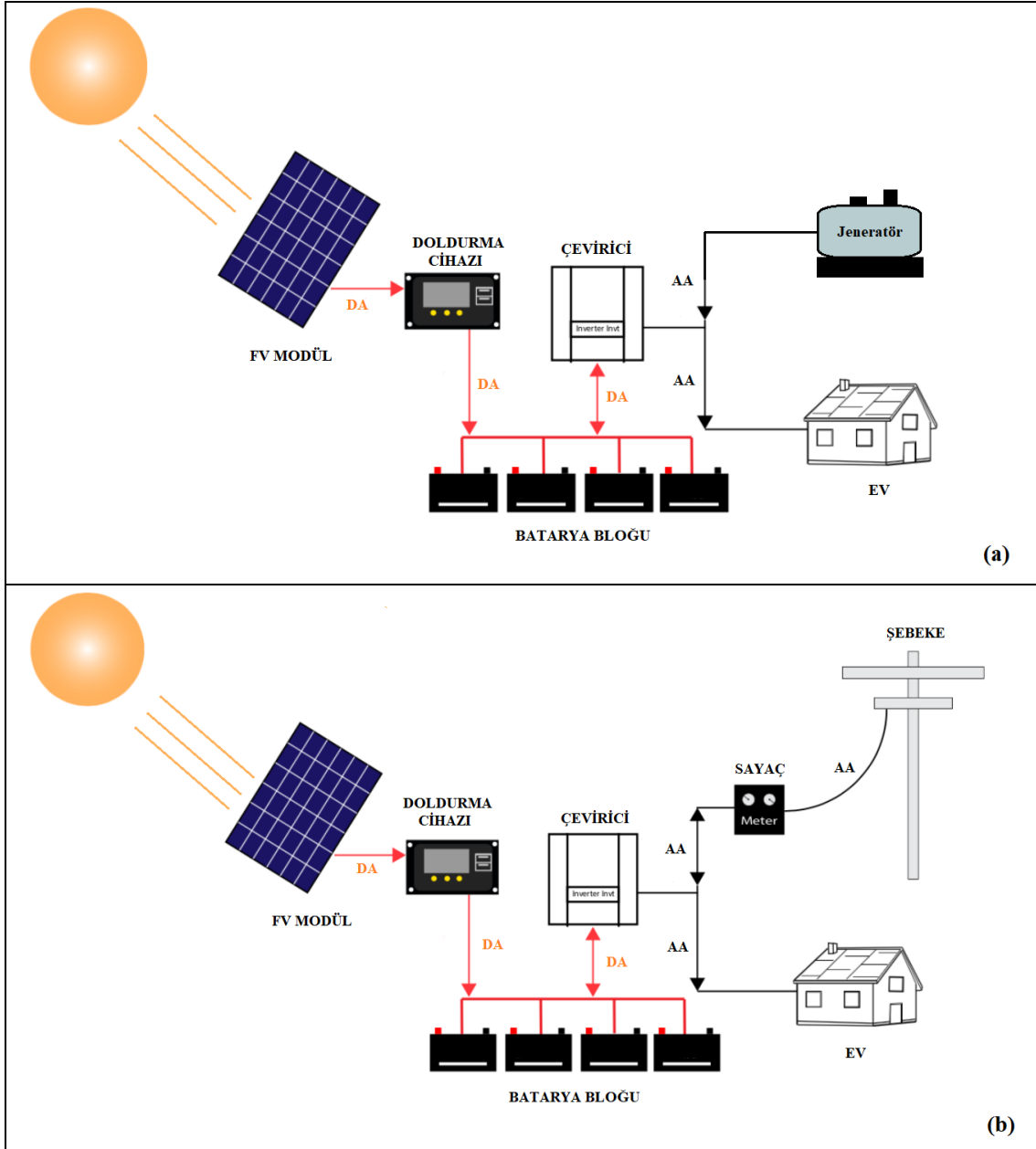
### **2.3. Fotovoltaik Sistemler İçin Prototip Batarya Yönetim Sistemi Tasarımı**

Literatürde FV sistemler, *şebekeye-bağlı* (on-grid) ve *şebekeden-bağımsız* (off-grid) sistemler olmak üzere ikiye ayrılır [106]. Şekil 2.7.a’da görüldüğü gibi şebekeden bağımsız bataryalı-FV sistemlerde, FV dışında başka alternatif güç kaynağı olmadığından, gündüz yükün ihtiyacı karşılayacak ve bataryaları dolduracak büyüklükte FV sisteme ve gece yükün ihtiyacı karşılayacak büyüklükte bir batarya bloğuna gereksinim duyulur. Batarya bloğunun büyüklüğü, gece yükün talep ettiği en yüksek enerji ihtiyacına (worst case-en kötü senaryo) ve otonom gün sayısına göre belirlenir. Bu nedenle, bu tür sistemlerde çok sayıda FV modüle ve batarya bloğuna ihtiyaç duyulur.

Şekil 2.7.b’de verilen şebekeye bağlı sistemde, ışınımın az olduğu ve otonom günlerde, FV sistemden yeterli verim alınamadığında, bataryalar şebekeden doldurulabilir. Ayrıca bu sistemlerde istenildiğinde, bataryalar doldurduktan sonra FV sistemden üretilen fazla enerji, akıllı sayaç (net-metering) olarak bilinen ve çift yönlü enerji akışını hesaplayan sayaçlarla şebekeye satılabilir [107].

Tez kapsamında, Ankara’da (Beytepe) bulunan bir evin elektrik ihtiyacının *şebekeye bağlı*, bataryalı FV sistemi ile karşılanmasını belirli oranda küçültülmüş prototip bir tasarım ile gerçekleştirmek ve sistemde yer alan bataryalarının güvenli bir ortamda, yüksek performans ile çalışması için özgün BYS tasarlanması amaçlanmıştır. Sistemin tamamı doğru akım ve gerilim üzerine kurulmuştur. Bu nedenle şebekeden enerji satın almayı temsilen DA güç kaynağı, enerji satmayı temsilen ise DA basit yük kullanılmıştır.

Bu bölümde tasarlanan BYS sisteminin kullanılacağı şebekeye bağlı bir FV sisteminin ana çerçevesi ve çalışma metodolojisi anlatılmıştır.



Şekil 2.7 a. Şebekeden Bağımsız FV Sistem b. Şebekeye Bağlı FV Sistem

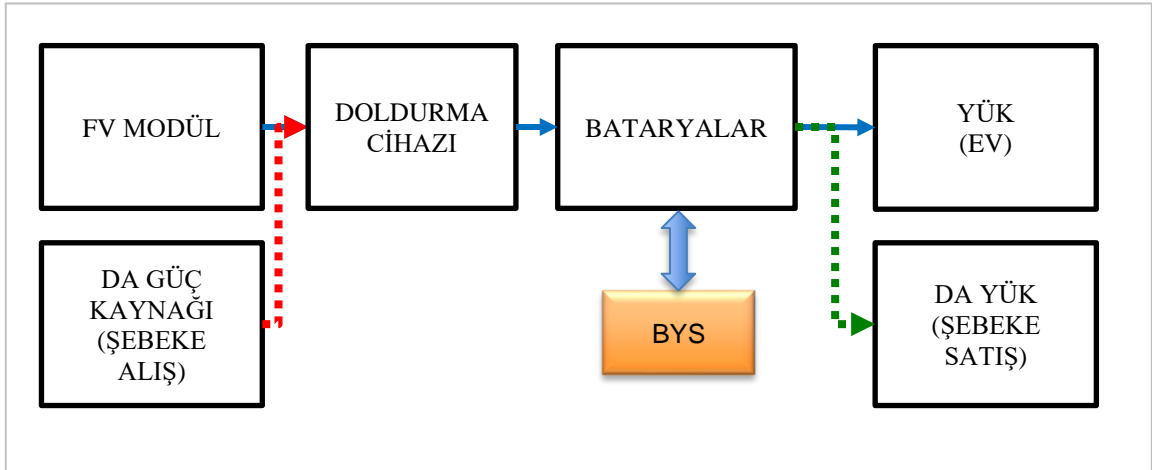
Tasarlanan şebekeye bağlı olan bataryalı-FV sisteminin basit blok diyagramı Şekil 2.8’de verilmiştir.

Sistem tasarlanırken aşağıdaki varsayımlar göz önüne alınmıştır:

- Bataryalardan yeterli enerji sağlanamadığı ve/veya FV sistemin enerjisinin bataryaları beslemeye yetmediği durumlarda, Şekil 2.8’de görüldüğü gibi, şebekeden enerji alımını sembolize etmek amacıyla 300W’lık DA güç kaynağı kullanılmıştır.
- Bataryalar tamamen dolduğu ve FV sistemi yükün talebinden daha çok enerji ürettiği durumlarda, fazla enerjinin DA yük üzerinde harcanarak, şebekeye enerji

aktarımı-şebekeye satış işleminin gerçekleştiği kabul edilmiştir. FV modüllerin ürettiği bu kullanım fazlası enerjinin şebekeye iletiminin benzetimini sağlamak için 24 V'luk ampuller kullanılmıştır.

- Batarya yönetim sisteminin tasarım ve test aşamalarında, olumsuz bir etki yaratmayacağı düşünülerek sistem evirici olmadan, yalnızca doğru akım ve doğru gerilim ile çalışan sistem olarak ele alınmıştır. Bu nedenle “ev” deki enerji tüketimini oluşturan dinamik yük profilleri, teknik özellikleri Ek-1’de verilen programlanabilir DA elektronik yük kullanılarak yaratılmıştır.
- Tasarımda “ev” deki tüketimi tanımlayan dinamik yükler, her zaman bataryalar üzerinden beslenmektedir.
- Şebekeden enerji alımı ve şebekeye enerji aktarımı, yükün beslenmesi batarya bloğu üzerinden olduğundan, DoD değerine ulaştıktan sonra şebekeden enerji alma; bataryalar tam dolduktan sonra şebekeye enerji aktarma işlemi gerçekleşmiştir.
- FV sistem tasarlanırken mevcut kullanılan programlanabilir DA elektronik yükün güç modunda en yüksek 350 W çekebilmesi nedeniyle, sistem gücü  $400 W_p$  ile sınırlandırılmıştır.



Şekil 2.8 Tasarlanan şebekeye bağlı olan bataryalı-FV sisteminin blok diyagramı

Tasarlanan sistem, batarya yönetim sistemi fonksiyonlarının yanı sıra, FV sistem, şebeke, ev yükü, batarya bloğu arasında enerji akışını da kontrol ettiği için aynı *enerji yönetim sistemi (EYS)* olarak da davranmaktadır. Bu işlevleri ile tasarlanan sistem Şekil 2.8’de enerji akış yönleri belirtilerek verilmiştir. Buna göre tasarlanan sistemde,

- Şebekeden enerji alımını sembolize eden DA güç kaynağı ile FV modüllerden oluşan güç kaynağı bölümü,
- Bataryaları doldurma devresi olarak kullanılan DA-DA dönüştürücü bölümü,
- Enerjinin depolandığı batarya bloğu bölümü,
- Bir evin enerji tüketimi gibi davranan programlanabilir DA yük bölümü,
- Fazla enerjinin şebekeye aktarıldığı durumu yansıtan DA basit yük bölümü,
- Bataryaları ve bölümler arası enerjiyi yöneten Batarya Yönetim Sistemi (BYS)

yer almaktadır.

İzleyen bölümde; gerçek ev tüketiminin 1/15'i oranında küçültülen ev tüketimini karşılayacak, prototip şebekeye bağlı FV-bataryalı sistem tasarımı için gerekli alt bileşenler belirlenmiştir.

### 2.3.1. Yük Profiline Oluşturulması

2011'de yapılan TEİAŞ araştırmasına göre, Türkiye'de yıllık ortalama elektrik enerjisi tüketimi 3.036 kWh [108] olarak belirlenen dört kişilik bir ailenin, ortalama tüketimi 8,3 kWh/gündür. Başka bir incelemede 4 kişilik bir ailenin aylık ortalama elektrik enerjisi tüketiminin 230 kWh olduğu belirtilmiştir [109]. Buna göre bu ailenin günlük harcadığı ortalama tüketim ise; 7,7 kWh/gün olarak hesaplanabilir. Bu veriler ışığında, Ankara'da bulunan, ısınmak için doğalgaz enerjisi kullanan (ısınmak ve sıcak su için elektrikli cihaz kullanmayan) ortalama bir evin yıllık toplam elektrik tüketimi 2500-3000 kWh arasında değiştiği ve günlük ortalama tüketim miktarının da 7-8 kWh arasında olduğu varsayılabilir.

Tez çalışması kapsamında; Kesim 3.1'de, normal bir evde bulunan elektrikli cihazların (buzdolabı, çamaşır makinesi, bulaşık makinesi, kombi, ütü, fırın vb.) gerçek tüketimleri göz önünde bulundurularak, ayrıntılı biçimde oluşturulan Emekli ve Çalışan günlük enerji tüketim profillerinin, ortalama gerçek enerji tüketim değerleri 7-8 kWh'dir.

FV sistemin, batarya bloğunun, DA güç kaynağının (*şebekeden alış*) ve DA basit yükün (*şebekeye satış*) büyüklüğüne karar verilirken ise tasarlanan sistem *şebekeye bağlı* bataryalı-FV bir sistem olduğu varsayıldığından, yine Ankara'da bulunan bir evin günlük ortalama enerji tüketim değeri üzerinden gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalarda çalışan günlük profilleri kullanılmıştır. Pazartesi gününden Pazar gününe

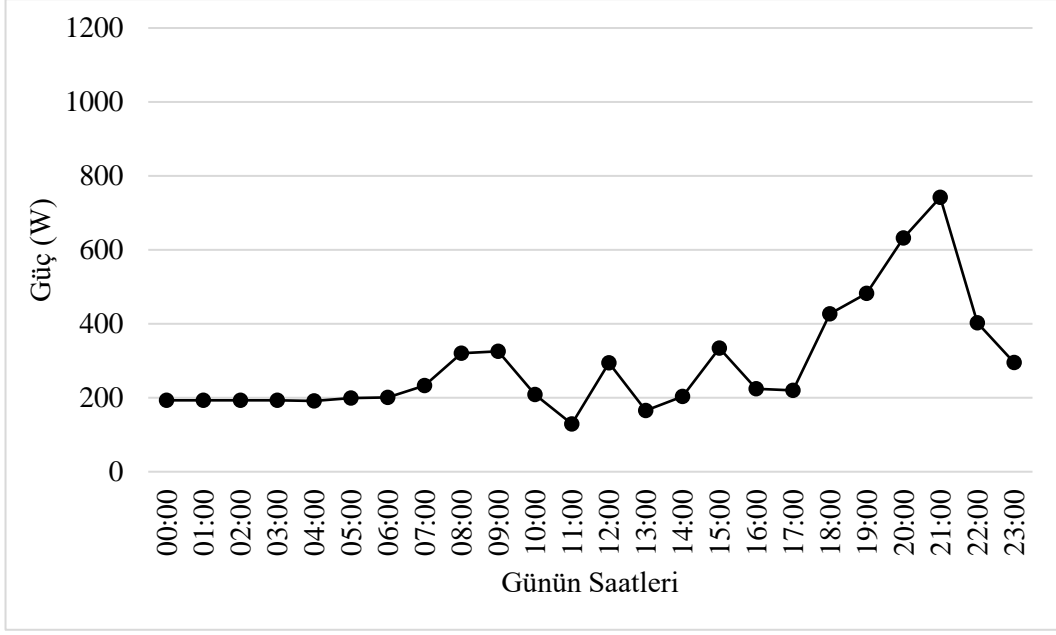
kadar olan günlük profillerin ortalaması alınmış ve 7000 Wh olarak bulunmuştur (Çizelge 2.2). Yapılan tez çalışması, gerçek tüketimin 1/15 oranında küçültüldüğü bir prototip çalışma olduğundan, sistem bileşenlerinin (*FV sistemi, batarya bloğu, şebekeden alış ve veriş*) büyüklüklerinin tespitinde belirlenen oranda küçültülmüş günlük ortalama tüketim miktarı ( $7000Wh / 15 = 469,6 Wh$ ) 467 Wh kullanılmıştır (Çizelge 2.2).

FV sistemin ve batarya bloğunun büyüklüğüne karar verilirken gece/gündüz tüketim ayrımının önemli olduğu değerlendirildiğinden, Çizelge 2.2’de gündüz tüketim sarı fonda, gece tüketim ise siyah fonda gösterilmiştir. Ayrıca ortalama tüketimin grafiği Şekil 2.9’da verilmiştir.

**Çizelge 2.2** Evin günlük enerji tüketimin gerçek ve 1/15 oranında küçültülmüş hali

Günün Saatleri	Gerçek Yük (W)	Gerçek Yükün 1/15 Oranı (W)
01:00	193,5	12,9
02:00	193,5	12,9
03:00	193,5	12,9
04:00	193,5	12,9
05:00	190,5	12,7
06:00	199,5	13,3
07:00	201	13,4
08:00	232,5	15,5
09:00	319,5	21,3
10:00	310,5	20,7
11:00	208,5	13,9
12:00	129	8,6
13:00	294	19,6
14:00	165	11
15:00	204	13,6
16:00	289,5	19,3
17:00	225	15
18:00	220,5	14,7
19:00	487,5	32,5
20:00	483	32,2
21:00	631,5	42,1
22:00	742,5	49,5
23:00	402	26,8
00:00	295,5	19,7
<b>Toplam (Wh)</b>	<b>7004</b>	<b>466,9</b>

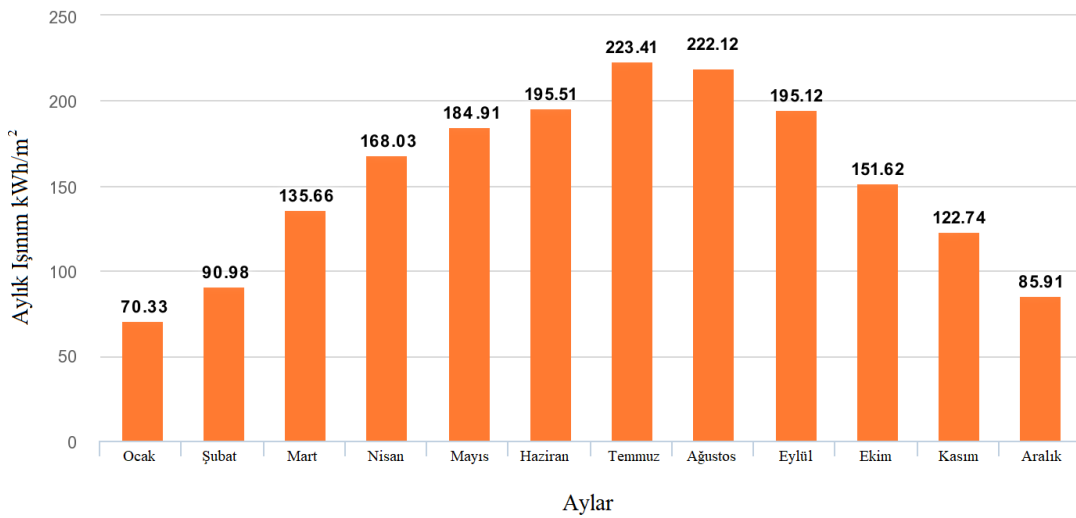




Şekil 2.9 Evin günlük ortalama gerçek enerji tüketimi

### 2.3.2. FV Sisteminin Boyutlarının Belirlenmesi

FV modüllerinin Hacettepe Üniversitesi Beytepe Yerleşkesinde Güneş Evinin bahçesinde (enlem, boylam: 39.867, 32.734 ve yükseklik: 1.062 m.) kurulması planlanmıştır. Bu bölge için PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) arayüzü kullanılarak [110], eğim açısı  $37^\circ$ , azimuth açısı ise  $0^\circ$  olduğunda aylık ışınım miktarları Şekil 2.10'da gösterilmektedir. Buna göre ışınımın en düşük olduğu ay  $70,33 \text{ kWh/m}^2$  ile Ocak ayı, en yüksek olduğu ay ise  $223,41 \text{ kWh/m}^2$  ile Temmuz ayıdır.



Şekil 2.10 Ankara (Beytepe) aylık ışınım miktarları

FV sisteminin büyüklüğüne, ışınımın en kötü olduğu Ocak ayına göre karar verilmiştir. Çizelge 2.3'te teknik özellikleri verilen ve yerli piyasadan sağlanan FV modüllerinin verimi %15, tüm toplam sistem kayıpları ise %30 olarak kabul edildiğinde;

$$A = \text{Toplam FV sistem alanı (m}^2\text{)}$$

$$\eta_{FV} = \text{FV modül verimi (\%)}$$

$$H = \text{FV modül üzerine düşen günlük ışınım (Wh/m}^2\text{)}$$

$$PR = \text{Sistem Performansı}$$

olmak üzere, FV sistemden sağlanacak enerji,

$$E_{FV} (Wh) = A (m^2) \times \eta_{FV} \times H (Wh/m^2) \times PR = 154,79 Wh$$

olarak hesaplanır ve günlük ortalama 467 Wh tüketimi karşılayabilmek için, FV sistemin 4 adet modül içermesi gerektiği bulunur. Bu durumda, 1/15 oranında küçültülmüş ev yükünün günlük ihtiyacını karşılamak için gerekli FV sistemi boyutu 400 W<sub>p</sub> olacaktır.

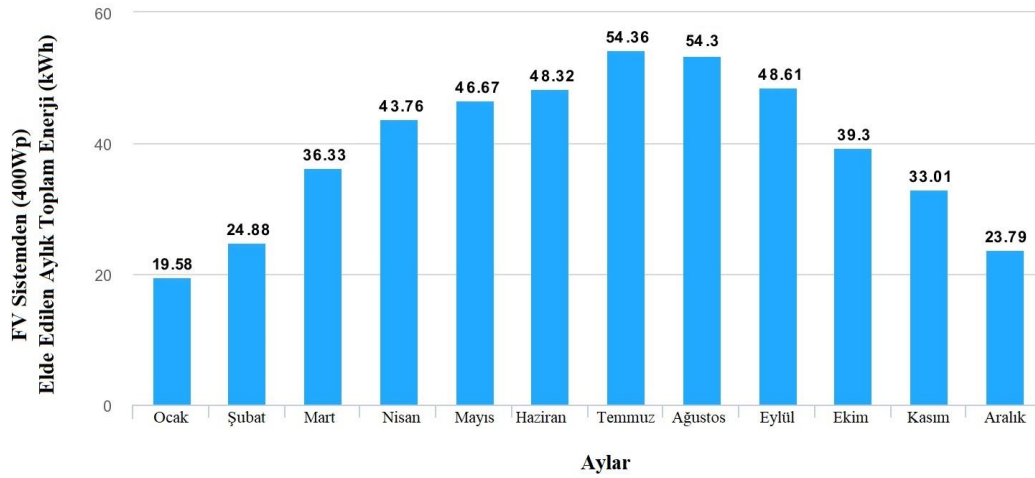
Seçilen FV modüllerin, DA-DA dönüştürücünün batarya bloğunu istenilen akım ve gerilim değerlerinde doldurulabilmesi (en yüksek 29,4V ve 6A) ve dönüştürücü için gerekli olan gerilim ve akım değerlerini (en yüksek giriş gerilimi 40V, akımı 8A) sağlayabilmesi için 2'si seri, 2'si paralel olarak bağlanması uygun olacaktır.

**Çizelge 2.3** Kullanılan FV modül teknik özellikleri

<b>Güç</b>	100 W <sub>p</sub>
<b>V<sub>mp</sub></b>	18 V
<b>I<sub>mp</sub></b>	5,55 A
<b>V<sub>oc</sub></b>	21,50 V
<b>I<sub>sc</sub></b>	6,05 A
<b>Yükseklik</b>	970 mm
<b>Genişlik</b>	670 mm
<b>Kalınlık</b>	30 mm
<b>Kütle</b>	9 kg
<b>Panel Tipi</b>	Polikristal

Tasarlanan 400 W<sub>p</sub> FV sisteminin, Güneş Evine 37° eğim, 0° azimuth açısı ile yerleştirilmesi; tüm sistem kayıplarının %30 olması durumunda, FV kayıpları da %14 alınmıştır. PVGIS arayüzü kullanılarak sistemin üreteceği aylık enerji miktarları hesaplanmış ve Şekil 2.11'de verilmiştir. Beklendiği gibi en az üretim 19,58 kWh ile

Ocak ayında gerçekleşmektedir ve 631 Wh olan günlük ortalama enerji üretimi evin ortalama enerji tüketimi olan 467 Wh'ın üstündedir.



Şekil 2.11 PVGIS ile elde edilen Ankara (Beytepe) aylık ışınım miktarları

### 2.3.3. Batarya Bloğunun Büyüklüğüne Karar Verilmesi

Çizelge 2.2’de verilen bir evin günlük enerji tüketimine yönelik yapılan incelemede;

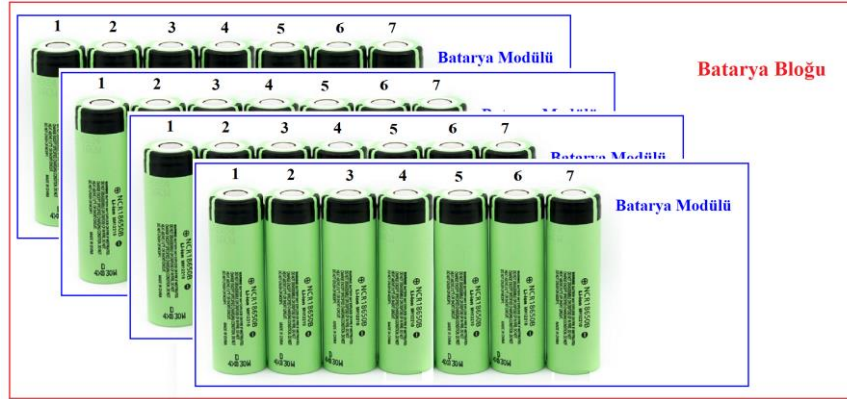
- güneşin olduğu gündüz saatlerinde (07.00-18.00) %40,
- güneşin olmadığı gece saatlerinde (18.00-07.00) %60 oranında bir dağılım olduğu görülmektedir.

Buna göre; 467 Wh olan gün boyu ortalama enerji tüketiminin yaklaşık olarak 280 Wh’i gece, kalan 187 Wh’i ise gündüz harcanmaktadır. Böylece, tasarlanan prototip FV-batarya sisteminde, batarya bloğunun gece ortalama enerji tüketim miktarı olan 280 Wh’ı karşılanması beklenir. Bataryaların DoD oranı %80 alınarak,

$$\text{Batarya Toplam Kapasitesi} \geq 350 \text{ Wh}$$

elde edildiğinden, tasarımda kullanılacak olan bataryanın bloğunun en az 350 Wh olması beklenir. Tasarımda LG MJ1 marka 18650 LIB (lityum-iyon batarya) kullanılmıştır ve bataryaların katalog özellikleri Ek-2’de verilmiştir. Kapasitesi 3500 mAh, boşalırken özgün gerilimi 3,60V bu LIB’lerden 28 adet kullanılması gerekmektedir. 28 adet LIB bataryanın bağlanma şekline karar verilirken, sabit akım (CC) modunda önerilen en yüksek doldurma akım değeri olan 1,7A ve doldurma cihazının en fazla 8A verebileceği göz önüne alınarak, 7 adeti seri batarya modülünden 4 tanesinin paralel bağlandığı düzenlenim seçilmiştir. Böylece, gerilimi 25,2 V ve kapasitesi 14Ah olan batarya bloğu

oluşturulmuştur. Sonuç olarak evin gece ihtiyacını karşılayacak batarya bloğu, Şekil 2.12’de gösterildiği gibi, birbirine paralel bağlı 4 Batarya Modülünden oluşur. Her bir Batarya Modülünde, birbirine seri bağlı 7 adet 18650 LIB bulunmaktadır. Kısaca batarya bloğu 7s4p olarak ifade edilebilir.



Şekil 2.12 Tasarlanan Batarya Bloğu

#### 2.3.4. DA Güç Kaynağının (Şebekeden Enerji Alışı) ve DA/DA Dönüştürücünün Belirlenmesi

Küçültülmüş ev tüketimi için belirlenen batarya bloğunun ve FV’nin yeterli olması beklenir ancak belirlenen bu değerler ortalama günlük tüketime göre ve ışınım için ideal koşulların altında hesaplanmıştır. Işınımın kötü olduğu ve/veya tüketimin ortalamanın üstünde olduğu günlerde, FV ve batarya sistemi, “ev” tüketimini karşılamak için yeterli olmayacaktır. Bu durumda gerekli enerji, şebekeden alınarak, bataryalar beslenecek ve bataryalar üzerinden “ev” enerji tüketimi karşılanacaktır. Şebekeden enerji alma seçeneğini gerçekleştirebilmek için, BYS sisteminde şebeke gibi davranacak, 300 W’lık (30 V, 10 A) güç kaynağı tasarlanmıştır.

Bataryaları istenen gerilim ve akım değerlerinde doldurmak için, katalog bilgileri Ek-3’te verilen, 300 W gücünde DA-DA dönüştürücü kullanılmıştır. DA-DA dönüştürücü, FV sistemden veya şebeke gibi davranan güç kaynağından gelen gerilimi, batarya bloğu için uygun dolma gerilimi olan 29,4 V’a (7x4,2V) ayarlamaktadır. DA-DA dönüştürücü, çıkış akımının da ayarlanabilir olması sayesinde, dönüştürücünün çıkış akımı, batarya bloğunun CC modunda güvenli koşullarda doldurulabilmesi için uygun sınırlar içinde kalan akım değeri olarak, 6A (1,5Ax4) değerine ayarlanmıştır. Böylece batarya bloğu, katalogunda belirlenen güvenli sınır değerleri içinde, sabit akım-sabit gerilim (CC-CV) doldurma yöntemi ile doldurulabilmektedir.

### 2.3.5. Şebekeye Aktarılacak Enerjinin Belirlenmesi

Bu bölümde; ışınımın en az ve en fazla olan Ocak ve Temmuz aylarında ideal bir günde tüm sistem bileşenlerinin [FV'nin enerji üretimi, yükün enerji ihtiyacı, bataryaların enerji ihtiyacı/karşılması, şebekeden enerji alımı] 24 saat boyunca aldıkları/verdikleri güç değeri incelenerek; şebekeye aktarılacak en yüksek enerji miktarları verilmiştir. Ocak ayında alt bileşenlerin (ev yükü, FV sistem, batarya, şebekeden alış ve şebekeye veriş) güç alış-veriş saatlik olarak Çizelge 2.4'te, elde edilen değerlere göre çizilen güç değişim grafiği ise Şekil 2.13'te gösterilmiştir. Aynı yöntemle, Çizelge 2.5 ve Şekil 2.14'te, Temmuz ayı için hazırlanan çizelge ve saatlik güç tüketim grafiği verilmiştir. Ev yükünün tükettiği güç için, günlük ortalama güç tüketimi Çizelge 2.2'den, FV sistemin ürettiği güç içinse Güneş Evine kurulacak 400 W<sub>p</sub> FV sistemin Ocak ve Temmuz ayında gün içerisindeki üretimi PVGIS'ten alınmıştır. Deneylerin ışınım ile birlikte sabah başladığı ve deney başında bataryaların boş olduğu kabul edilmiştir.

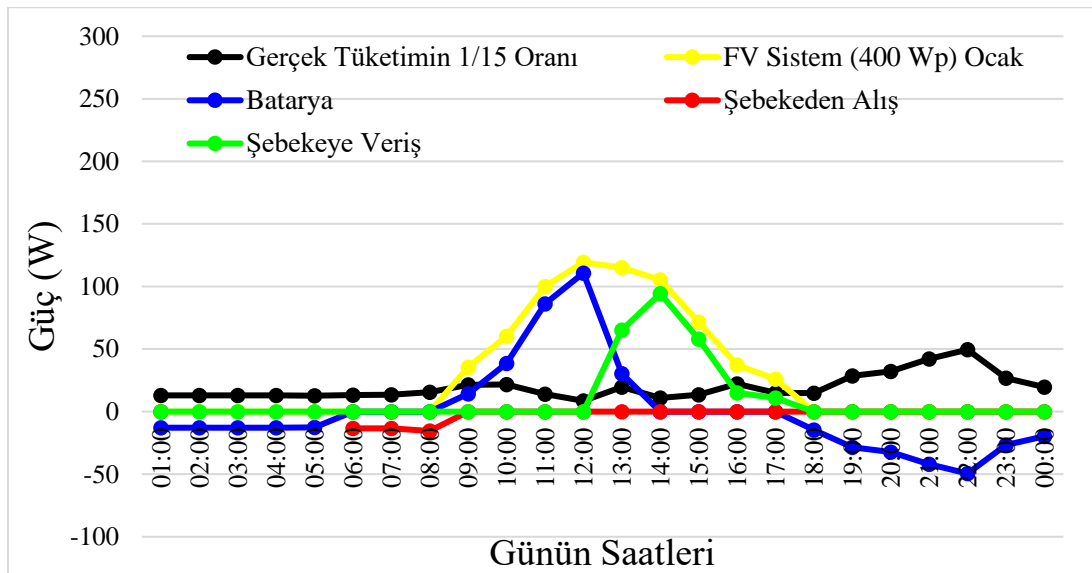
Çizelge 2.4'te ve Çizelge 2.5'te ev yükü ve FV sistemde siyah renkle gösterilen bölüm FV üretimin olmadığı gece saatlerini (ışınım yok), sarı renkle gösterilen bölüm ise FV üretimin gerçekleştiği gündüz saatlerini (ışınım var) belirtmektedir.

Çizelge 2.4 ve Şekil 2.13 incelendiğinde, Ocak ayında;

- FV sistemin gündüz 09.00-17.00 saatleri arasında evin talep ettiği 147 Wh'ı karşıladığı ve ürettiği ilave enerji ile 280 Wh kapasiteye sahip batarya bloğunu 09.00- 13.00 saatleri arasında doldurduğu,
- 13.00 civarında batarya bloğunun dolmasının ardından FV sistemin ürettiği güç ile evin ihtiyacının karşılanıp, fazlasının şebekeye aktarıldığı gibi DA basit yük üzerinde harcadığı ve toplamda 243,6 Wh büyüklüğünde gerçekleşen bu harcama (satış) işleminin 17.00'de sona erdiği,
- Ocak ayında güneş daha erken battığı için batarya bloğu, evin ihtiyacını karşılamaya daha erken başladığı, gündüz doldurulan bataryalardaki 280 Wh enerjinin saat 05.00 civarında bittiği ve bu saatten itibaren sabaha kadar evin ihtiyacı olan 42,2 Wh büyüklüğündeki enerjinin şebekeden alınır gibi DA güç kaynağından alındığı görülmektedir.

**Çizelge 2.4** Şebeken alışı- şebekeye veriş ve bataryadan karşılama verileri (Ocak)

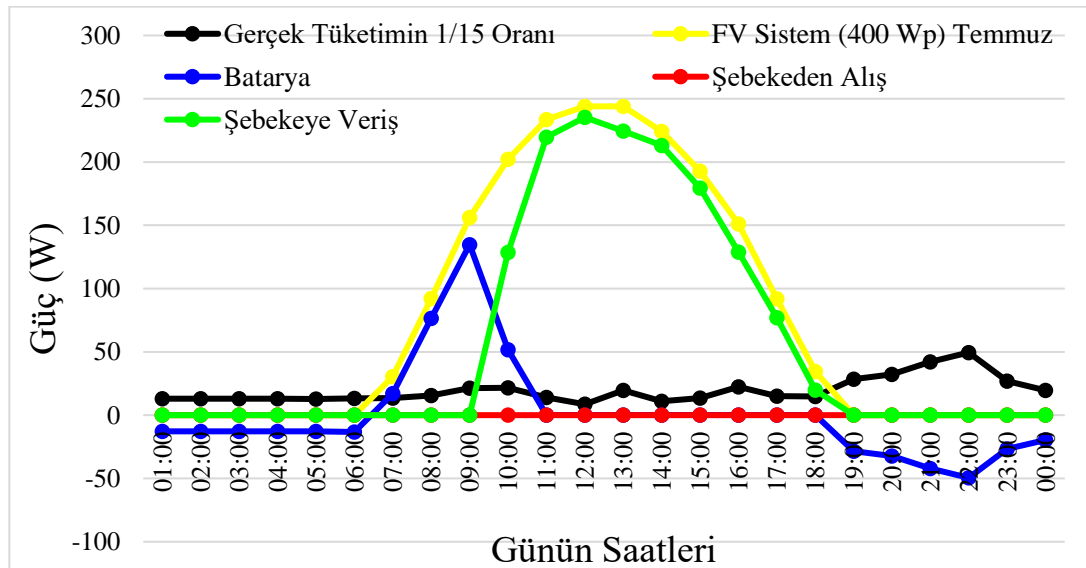
Günün Saatleri	Ev Yüğü- Gerçek Tüketimin 1/15 Oranı (W)	FV Sistem (400 W <sub>p</sub> ) Ocak 2016)	Batarya (W)	Şebekeden Alış (W)	Şebekeye Veriş (W)
01:00	12,9	0,0	-12,9	0	0
02:00	12,9	0,0	-12,9	0	0
03:00	12,9	0,0	-12,9	0	0
04:00	12,9	0,0	-12,9	0	0
05:00	12,7	0,0	-12,7	0	0
06:00	13,3	0,0	0	-13,3	0
07:00	13,4	0,0	0	-13,4	0
08:00	15,5	0,0	0	-15,5	0
09:00	21,3	35,5	14,2	0	0
10:00	20,7	60,3	39,6	0	0
11:00	13,9	100,0	86,1	0	0
12:00	8,6	119,4	110,8	0	0
13:00	19,6	115,1	30,3	0	65,2
14:00	11	105,3	0	0	94,3
15:00	13,6	71,7	0	0	58,1
16:00	19,3	37,3	0	0	18,0
17:00	15	26,0	0	0	11,0
18:00	14,7	0,0	-14,7	0	0
19:00	32,5	0,0	-32,5	0	0
20:00	32,2	0,0	-32,2	0	0
21:00	42,1	0,0	-42,1	0	0
22:00	49,5	0,0	-49,5	0	0
23:00	26,8	0,0	-26,8	0	0
00:00	19,7	0,0	-19,7	0	0



**Şekil 2.13** Günlük şebekeden alış-şebekeye veriş ve bataryadan karşılama (Ocak ayı)

**Çizelge 2.5** Şebeken alış- satış ve bataryadan karşılama verileri (Temmuz)

Zaman	Ev Yüğü-Gerçek Tüketimin 1/15 Oranı (W)	FV Sistem (400 W <sub>p</sub> ) Temmuz 2016)	Batarya (W)	Şebekeden Alış (W)	Şebekeye Veriş (W)
01:00	12,9	0,0	-12,9	0	0
02:00	12,9	0,0	-12,9	0	0
03:00	12,9	0,0	-12,9	0	0
04:00	12,9	0,0	-12,9	0	0
05:00	12,7	0,0	-12,7	0	0
06:00	13,3	0,0	-13,3	0	0
07:00	13,4	30,4	17,0	0	0
08:00	15,5	92,1	76,6	0	0
09:00	21,3	156,1	134,8	0	0
10:00	20,7	202,1	51,7	0	129,7
11:00	13,9	233,4	0	0	219,5
12:00	8,6	243,9	0	0	235,3
13:00	19,6	244,0	0	0	224,4
14:00	11	224,1	0	0	213,1
15:00	13,6	192,9	0	0	179,3
16:00	19,3	151,0	0	0	131,7
17:00	15	92,0	0	0	77,0
18:00	14,7	34,4	0	0	19,7
19:00	32,5	0,0	-32,5	0	0
20:00	32,2	0,0	-32,2	0	0
21:00	42,1	0,0	-42,1	0	0
22:00	49,5	0,0	-49,5	0	0
23:00	26,8	0,0	-26,8	0	0
00:00	19,7	0,0	-19,7	0	0



**Şekil 2.14** Günlük şebekeden alış-şebekeye veriş ve bataryadan karşılama (Temmuz ayı)

Çizelge 2.5 ve Şekil 2.14 incelendiğinde, Temmuz ayında;

- Ocak ayından farklı olarak FV sistem sabah daha erken saatlerde üretime başladığından, saat 07.00'den 19.00'a kadar FV sistemin, yükün talep ettiği 219,1 Wh tüketimi karşıladığı, aynı zamanda sabahtan itibaren 280 Wh kapasiteye sahip bataryaları doldurduğu,
- Işınımına bağlı olarak Temmuz ayında FV sistemden güç üretimi daha fazla olduğundan, bataryaların saat 10.00 civarlarında tamamen dolduğu ve bu saatten itibaren FV sistem tarafından üretilen enerji ile evin ihtiyacı karşılandıktan sonra fazlasının şebekeye aktarılır gibi DA basit yük üzerinde harcandığı,
- Bu harcama (satış) işleminin saat 10.00'da başlayıp, 19.00'a kadar sürdüğü ve toplamda 1425,9 Wh enerjinin şebekeye aktarıldığı,
- Akşam ise 19.00'dan itibaren, güneş olmadığından, evin enerji ihtiyacını karşılama için batarya bloğunun devreye girdiği ve sabaha kadar evin ihtiyacının bataryalardan karşılandığı, şebekeden enerji alımını sembolize eden DA güç kaynağından herhangi bir enerji alma işlemine gerek duyulmadığı görülmektedir.



### 3. FOTOVOLTAİK SİSTEM İÇİN PROTOTİP BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ

Prototip sistem için gerekli olan FV modüller, şebekeden alış için DA güç kaynağı, şebekeye satış için basit yük tasarımı oluşturulduktan sonra ev için yük profilleri oluşturulmuş ve programlanabilir DA yüke yüklenmiştir. Batarya paketinin büyüklüğüne de karar verildikten sonra son aşama olan BYS ve EYS için elektronik devre tasarımlarına geçilmiştir. Bu kesimde, yük profillerinin oluşturulması ve BYS sisteminin tasarlanması/geliştirilmesi üzerine yapılan çalışmalar aktarılacaktır.

#### 3.1. Batarya Yönetim Sistemi Yük Profilleri ve Tüketim Senaryoları

Ev tüketim profili oluşturulurken, evin içerisinde yaşayan insanların *çalışan* ve *emekli* olmasına göre, iki farklı profil tasarlanmıştır. Her iki profile yönelik; *hafta içi*, *Cumartesi* ve *Pazar* günleri için ayrı ayrı günlük elektrik tüketim senaryoları oluşturulmuştur.

Gün tüketim senaryoları oluşturulurken; Ankara’da standart bir evde bulunan elektrikli cihazlar göz önüne alınmıştır. Bu cihazların gerçek dünyadaki güç tüketimleri, enerji ölçer ile ölçülmüş ve her bir elektrikli cihazın güç tüketim bilgileri, Ek-4’te sunulmuştur.

Günlük profiller, evdeki elektrikli cihazların gün içerisinde çalıştığı zaman ve çalışma süreleri, çalışan ve emekli insanların gerçek dünyadaki tüketim şekilleri ve Ek-4’teki ölçümler hesaba katılarak oluşturulmuştur. Çalışan insanların yaşadığı evdeki Pazartesi, Cumartesi ve Pazar saatlik tüketim profilleri sırasıyla Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’te emekli insanların yaşadığı evdeki Pazartesi, Cumartesi ve Pazar saatlik tüketim profilleri ise sırasıyla Şekil 3.4, Şekil 3.5 ve Şekil 3.6’da verilmiştir.

Şekil 3.1- Şekil 3.6’da A4 sayfaya tez formatında sığdırılabilmesi için, cihazların saatlik güç tüketimleri verilmiştir. Ancak, günlük tüketim profilleri oluşturulurken cihazların 15’er dakikalık zaman dilimlerinde harcadıkları güçler hesaplanmış ve profile yerleştirilmiştir. Böylece profil oluşturulurken daha hassas bir çalışma yapılmıştır. Örnek olarak 15 dakikalık zaman dilimleri şekilde oluşturulan profil, Ek-5’te verilmiştir.

Son olarak; günlük tüketim profilleri oluşturulurken emekli ve çalışan kişilerin yaşadığı evde aynı elektrikli cihazların olduğu varsayılmış, cihazların adedi veya cinsi değiştirilmemiştir.

Şekil 3.1’de, çalışan profilinin hafta içi tüketimine yönelik, örnek olarak verilen *Çalışan\_Pazartesi* profili incelendiğinde; hafta içi, sabahları çalışan insanların uyanması ve elektrikli cihazları (tost makinesi, anlık su ısıtıcısı vb.) çalıştırmaları ile enerji tüketimlerinin arttığı, çalışanlar işe gittikten sonra gündüz saatlerinde evde sadece buzdolabının ve modemin çalıştığı, kombinin ise uyku modunda bekliyor olduğu görülmektedir. Akşam saatlerinde, insanların tekrar eve gelmesi ile birlikte elektrik cihazlar tekrar yoğun olarak çalıştırılmaya başlanmış ve tüketim büyük oranda artmıştır.

Çalışan insanlar, genellikle hafta içi yapamadığı ev işlerini (ütü, çamaşır makinası, bulaşık makinası, elektrik süpürgesi kullanımı gerektiren) hafta sonu yapacaklarından, haftalık tüketim profillerinde, hafta sonu tüketimlerinin hafta içine göre daha fazla olacaktır. Bu durum, Şekil 3.2’deki *Çalışan\_Cumartesi* ve Şekil 3.3’teki *Çalışan\_Pazar* profilleri incelendiğinde kolayca görülebilir. Hafta sonu özellikle ışınımın olduğu gündüz saatlerinde tüketimi yüksek cihazların çalıştırılması bilinçli tüketici oluşturulması açısından uygun bir hareket tarzı olacaktır. Hafta sonu profilleri oluşturulurken bu hareket tarzı dikkate alınmıştır.

Çalışan profillerle ilgili son olarak cihazların saatlik tüketimlerine bağlı olarak saatlik tüketim çizelgesi olan Çizelge 3.1 oluşturulmuştur. Çizelge incelendiğinde; hafta içi gündüz tüketimlerinin birbirine benzer biçimde olduğu, hafta sonu enerji tüketiminin bariz şekilde artarak ortalamanın üstünde seyrettiği görülmektedir.

Hafta içi emekli profillerine örnek olarak, Şekil 3.4’te verilen *Emekli\_Pazartesi* profili incelendiğinde; hafta içi gündüz saatlerindeki enerji tüketimi ile gece tüketimleri arasında, çalışanlarda olduğu gibi, belirgin bir fark yoktur.

Evin, FV-bataryalı sistem ile desteklendiği düşünüldüğünde, çalışan hafta sonlarında olduğu gibi, özellikle çok fazla enerji harcayan (çamaşır makinesi, bulaşık makinesi gibi) elektrikli cihazlar ışınımın yüksek olduğu gündüz saatlerinde çalıştırılması emekliler için daha ekonomik ve faydalı bir alışkanlık olacaktır. Dolayısıyla profiller oluşturulurken bu durum göz önüne alınmıştır. Zorunlu kalmadıkça yüksek güç tüketen elektrikli cihazlar akşamları çalıştırılmamıştır. Bu sayede; akşamları bataryadan daha az enerji harcanarak bataryaların daha uzun süre dayanması sağlanacak ve şebekeden alınan enerji oranı azalacaktır.

Şekil 3.5 ve Şekil 3.6’da ise emeklilerin hafta sonu (*Cumartesi ve Pazar*) profilleri verilmiştir. Ayrıca Çizelge 3.2’de ise günlük saatlik tüketim verileri ışığında günlük toplam tüketim verileri verilmiştir. Şekiller ve çizelgeler birlikte incelendiğinde, emeklilerde çalışanlardaki gibi hafta içi-hafta sonu ayrımı olmamaktadır. Haftanın her günü ortalama tüketime yakın büyüklükte günlük enerji tüketimlerinin olduğu görülmektedir.

**Çizelge 3.1** Çalışan İnsanların Yaşadığı Ev Örneğinde Gün İçinde Saatlik Elektrik Enerjisi Tüketim (Wh) Verisi

<b>Günün Saatleri</b>	Pzrt. Güç Tüketimi (W)	Salı Güç Tüketimi (W)	Çrş. Güç Tüketimi (W)	Prş. Güç Tüketimi (W)	Cuma Güç Tüketimi (W)	Cmrts. Güç Tüketimi (W)	Pzr. Güç Tüketimi (W)	Ort. (W)
01:00	209	209	209	209	209	209	209	209
02:00	209	209	209	209	209	209	209	209
03:00	209	209	209	209	209	209	209	209
04:00	201	201	201	201	201	201	201	201
05:00	201	201	201	201	201	201	201	201
06:00	201	201	201	201	201	201	201	201
07:00	461	511	561	441	601	201	201	425
08:00	551	676	601	656	656	201	201	506
09:00	81	81	121	81	81	636	521	229
10:00	81	81	81	81	81	581	706	242
11:00	81	81	81	81	81	279	279	138
12:00	81	81	81	81	81	279	279	138
13:00	81	81	81	81	81	279	279	138
14:00	81	81	81	81	81	279	881	224
15:00	81	81	81	81	81	1282	249	277
16:00	81	81	81	81	81	254,5	784	206
17:00	81	81	81	81	81	1727	527	380
18:00	81	81	81	81	81	227	712	192
19:00	301	493	299	281	556	589	339	408
20:00	1074	451	309	1351	451	279	279	599
21:00	519	511	269	641	261	274	274	393
22:00	344	339	841,5	239	286	329	579	423
23:00	249	949	729	254	324	324	824	522
00:00	249	244	751,5	259	269	264	319	337
<b>Toplam (Wh)</b>	<b>5.788</b>	<b>6.214</b>	<b>6.441</b>	<b>6.162</b>	<b>5.444</b>	<b>9.514,5</b>	<b>9.463</b>	<b>7.004</b>

SAATLER	00.00	01.00	02.00	03.00	04.00	05.00	06.00	07.00	08.00	09.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	TOPLAM (Wh)		
	01.00	02.00	03.00	04.00	05.00	06.00	07.00	08.00	09.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	00.00			
MUTFAK	Lamba						20	20											12	20	20	20			112 Wh		
	Bulaşık makinesi																									0 Wh	
	Anlık Su Isıtıcı						200															250				450 Wh	
	Buzdolabı	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	1680 Wh	
	Tost Makinesi							250																		250 Wh	
	Fırın																					800				800 Wh	
	Kombi	125	125	125	125	125	125	125	125	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	125	125	125	125	125	125	1800 Wh	
	Dav'lumbaz																									0 Wh	
	27" LED TV + Alıcı								40													40	40	20	20	20	120 Wh
	Lamba																										60 Wh
MİSAFİR	Ütü																									0 Wh	
	Elektrik Süpürgesi																									0 Wh	
	Bilgisayar																						18	18	13	49 Wh	
	Lamba																			20			20			40 Wh	
SALON	49" LED TV+Alıcı																			60			60			120 Wh	
	Modem	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	144 Wh		
BANYO	Çamaşır Makinesi																									0 Wh	
	Lamba						20	20													5		5		5	55 Wh	
YATAK	Lamba						20	20																10	10	60 Wh	
	Şarj Aleti	8	8	8																8	8	8				48 Wh	
	Saç Kur.Mak.																									0 Wh	
<b>TOPLAM (Wh)</b>	<b>209</b>	<b>209</b>	<b>209</b>	<b>201</b>	<b>201</b>	<b>201</b>	<b>461</b>	<b>551</b>	<b>81</b>	<b>81</b>	<b>81</b>	<b>81</b>	<b>81</b>	<b>81</b>	<b>81</b>	<b>81</b>	<b>81</b>	<b>81</b>	<b>301</b>	<b>1074</b>	<b>519</b>	<b>344</b>	<b>249</b>	<b>249</b>	<b>5788 Wh</b>		

**Şekil 3.1** Çalışan\_Pazartesi Senaryosu için Evde Kullanılan Cihazların Gün İçerisindeki Tahmini Saatlik Elektrik Enerji Tüketim Değerleri

SAATLER	00.00	01.00	02.00	03.00	04.00	05.00	06.00	07.00	08.00	09.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	TOPLAM (Wh)		
	01.00	02.00	03.00	04.00	05.00	06.00	07.00	08.00	09.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	00.00			
MUTFAK	Lamba																		20	20	15				55 Wh		
	Bulaşık makinesi																									0 Wh	
	Anlık Su Isıtıcı									300									250							550 Wh	
	Buzdolabı	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	1680 Wh	
	Tost Makinesi									375																	375 Wh
	Fırın																										0 Wh
	Kombi	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	3000 Wh	
Davlumbaz																										0 Wh	
27" LED TV + Alıcı															40					40	40					200 Wh	
MİSAFİR	Lamba																									80 Wh	
	Ütü																									0 Wh	
	Elektrik Süpürgesi																									1500 Wh	
	Bilgisayar																	1500								1500 Wh	
SALON	Lamba										18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	252 Wh	
	49" LED TV+Alıcı										60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60 Wh	
	Modem	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	420 Wh	
BANYO	Çamaşır Makinesi															1015	27,5									1042,5 Wh	
	Lamba									20												10			5	35 Wh	
YATAK	Lamba								20	20														5	20	65 Wh	
	Şarj Aleti	8	8	8											8	8	8	8	8							56 Wh	
	Şaç Kur.Mak.																									0 Wh	
<b>TOPLAM (Wh)</b>	<b>209</b>	<b>209</b>	<b>209</b>	<b>201</b>	<b>201</b>	<b>201</b>	<b>201</b>	<b>201</b>	<b>636</b>	<b>581</b>	<b>279</b>	<b>279</b>	<b>279</b>	<b>279</b>	<b>279</b>	<b>1282</b>	<b>255</b>	<b>1727</b>	<b>227</b>	<b>589</b>	<b>279</b>	<b>274</b>	<b>329</b>	<b>324</b>	<b>264</b>	<b>9514,5 Wh</b>	

Şekil 3.2 Çalışan\_Cumartesi Senaryosu için Evde Kullanılan Cihazların Gün İçerisindeki Tahmini Saatlik Elektrik Enerji Tüketim Değerleri

SAATLER	00.00	01.00	02.00	03.00	04.00	05.00	06.00	07.00	08.00	09.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	TOPLAM (Wh)		
	01.00	02.00	03.00	04.00	05.00	06.00	07.00	08.00	09.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	00.00			
MUTFAK	Lamba																			20	20	15			55 Wh		
	Bulaşık makinesi																									1159 Wh	
	Anlık Su Isıtıcı								300									300					250			850 Wh	
	Buzdolabı	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	1680 Wh	
	Tost Makinesi										425															425 Wh	
	Fırın																									0 Wh	
	Kombi	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	3000 Wh	
	Dav'lumbaz																									0 Wh	
	27" LED TV + Alıcı										40											40	40				150 Wh
	Lamba																				20			20	20	20	80 Wh
MİSAFİR	Ütü																							500		500 Wh	
	Elektrik Süpürgesi																									0 Wh	
	Bilgisayar																									0 Wh	
SALON	Lamba																									252 Wh	
	49" LED TV+Alıcı																									60 Wh	
	Modem	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	525 Wh	
BANYO	Çamaşır Makinesi																									0 Wh	
	Lamba																									45 Wh	
	Lamba																									65 Wh	
YATAK	Şarj Aleti	8	8	8																						48 Wh	
	Şaç Kur.Mak.																									425 Wh	
	<b>TOPLAM (Wh)</b>	<b>209</b>	<b>209</b>	<b>209</b>	<b>201</b>	<b>201</b>	<b>201</b>	<b>201</b>	<b>201</b>	<b>521</b>	<b>706</b>	<b>279</b>	<b>279</b>	<b>279</b>	<b>881</b>	<b>249</b>	<b>784</b>	<b>527</b>	<b>712</b>	<b>339</b>	<b>279</b>	<b>274</b>	<b>579</b>	<b>824</b>	<b>319</b>	<b>9463 Wh</b>	

Şekil 3.3 Çalışan\_Pazar Senaryosu için Evde Kullanılan Cihazların Gün İçerisindeki Tahmini Saatlik Elektrik Enerji Tüketim Değerleri

**Çizelge 3.2** Emekli İnsanların Yaşadığı Ev Örneğinde Gün İçinde Saatlik Elektrik Enerjisi Tüketim (Wh) Verisi

<b>Günün Saatleri</b>	Pzt. Güç Tüketimi (W)	Salı Güç Tüketimi (W)	Çrş. Güç Tüketimi (W)	Prş. Güç Tüketimi (W)	Cuma Güç Tüketimi (W)	Cmrts. Güç Tüketimi (W)	Pzt. Güç Tüketimi (W)	Ort. (W)
<b>01:00</b>	199	199	199	199	199	199	199	<b>199</b>
<b>02:00</b>	199	199	199	199	199	199	199	<b>199</b>
<b>03:00</b>	199	199	199	199	199	199	199	<b>199</b>
<b>04:00</b>	191	191	191	191	191	191	191	<b>191</b>
<b>05:00</b>	191	191	191	191	191	191	191	<b>191</b>
<b>06:00</b>	191	191	191	191	191	191	191	<b>191</b>
<b>07:00</b>	191	191	191	191	191	191	191	<b>191</b>
<b>08:00</b>	211	191	211	191	191	191	191	<b>197</b>
<b>09:00</b>	211	231	211	211	191	191	211	<b>208</b>
<b>10:00</b>	451	211	586	536	491	531	461	<b>467</b>
<b>11:00</b>	481	231	391	516	441	421	531	<b>430</b>
<b>12:00</b>	251	1268	251	191	209	269	251	<b>384</b>
<b>13:00</b>	251	251	251	251	269	269	251	<b>256</b>
<b>14:00</b>	251	251	251	251	1541	199	251	<b>428</b>
<b>15:00</b>	826	833	561	1259	191	429	251	<b>621</b>
<b>16:00</b>	266	281	251	894	763	199	391	<b>435</b>
<b>17:00</b>	316	808	499	284	281	277	491	<b>422</b>
<b>18:00</b>	251	251	394	209	808	269	191	<b>339</b>
<b>19:00</b>	304	296	334	334	332	1324	452	<b>482</b>
<b>20:00</b>	1159	291	329	329	337	279	567	<b>470</b>
<b>21:00</b>	362	322	657	357	342	342	347	<b>390</b>
<b>22:00</b>	309	277	317	317	327	327	337	<b>316</b>
<b>23:00</b>	319	242	322	204	191	319	191	<b>255</b>
<b>00:00</b>	226	247	297	209	191	319	191	<b>240</b>
<b>Toplam (Wh)</b>	<b>7.806</b>	<b>7.843</b>	<b>7.474</b>	<b>7.904</b>	<b>8.457</b>	<b>7.516</b>	<b>6.917</b>	<b>7.702</b>

Son olarak yukarıdaki varsayımlar ve ölçümler doğrultusunda hem emekli hem de çalışana yönelik BYS için 1/15 oranında küçültülmüş günlük tüketim eğrileri Şekil 3.7’de çalışan, Şekil 3.8’de Emekli için gösterilen tüketim profilleri oluşturulmuştur.

SAATLER	00.00	01.00	02.00	03.00	04.00	05.00	06.00	07.00	08.00	09.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	TOPLAM (Wh)		
	01.00	02.00	03.00	04.00	05.00	06.00	07.00	08.00	09.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	00.00			
MUTFAK	Lamba									20									20	20					60 Wh		
	Bulaşık makinesi																									0 Wh	
	Anlık Su Isıtıcı										250						125									375 Wh	
	Buzdolabı	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	1680 Wh	
	Tost Makinesi									200																200 Wh	
	Firin																									0 Wh	
	Kombi	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	2760 Wh	
	Dav'lumbaz																										0 Wh
	27" LED TV + Alıcı										40	40										40	40				160 Wh
	Lamba																					20	20	20	20	20	100 Wh
MİSAFİR	Ütü																				800					800 Wh	
	Elektrik Süpürgesi																									0 Wh	
	Bilgisayar																						18	18		54 Wh	
SALON	Lamba																			20	20	20	20	20		100 Wh	
	49" LED TV+Alıcı											60	60						60	60	60	60	60	60		540 Wh	
	Modem	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	144 Wh	
BANYO	Çamaşır Makinesi															625	75									700 Wh	
	Lamba								20										5			5			5	45 Wh	
YATAK	Lamba							20																10	10	40 Wh	
	Şarj Aleti	8	8	8																8	8	8	8			48 Wh	
	Şaç Kur.Mak.																									0 Wh	
<b>TOPLAM (Wh)</b>	<b>199</b>	<b>199</b>	<b>199</b>	<b>191</b>	<b>191</b>	<b>191</b>	<b>191</b>	<b>211</b>	<b>211</b>	<b>451</b>	<b>481</b>	<b>251</b>	<b>251</b>	<b>251</b>	<b>826</b>	<b>266</b>	<b>316</b>	<b>251</b>	<b>304</b>	<b>1159</b>	<b>362</b>	<b>309</b>	<b>319</b>	<b>226</b>	<b>7806 Wh</b>		

Şekil 3.4 Emekli\_Pazartesi Senaryosu için Evde Kullanılan Cihazların Gün İçerisindeki Tahmini Saatlik Elektrik Enerji Tüketim Değerleri

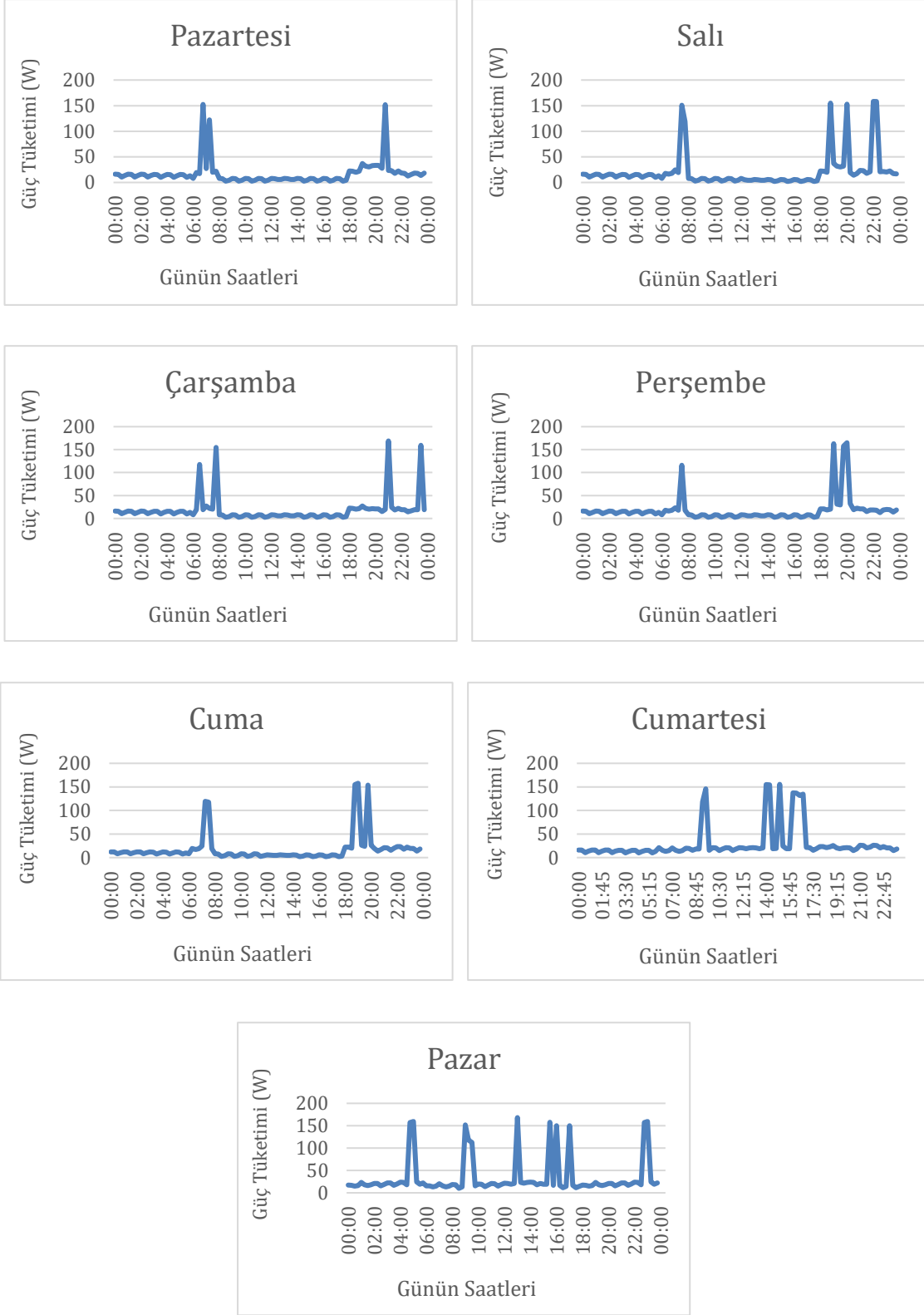


SAATLER	00.00	01.00	02.00	03.00	04.00	05.00	06.00	07.00	08.00	09.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	TOPLAM (Wh)		
	01.00	02.00	03.00	04.00	05.00	06.00	07.00	08.00	09.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	00.00			
MUTFAK	Lamba									20										10	20	20			70 Wh		
	Bulaşık makinesi																									0 Wh	
	Anlık Su Isıtıcı									250																450 Wh	
	Buzdolabı	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	1680 Wh	
	Tost Makinesi											200														200 Wh	
	Fırın																				1050					1050 Wh	
	Kombi	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	2760 Wh	
	Davulmbaz																										30 Wh
	27" LED TV + Alıcı											40	30								40	40					150 Wh
	Lamba																				20	20	20	20	20	20	120 Wh
MİSAFİR	Ütü																									0 Wh	
	Elektrik Süpürgesi																									0 Wh	
SALON	Bilgisayar											18	18									18	18	18	18	144 Wh	
	Lamba																					20	20	20	20	80 Wh	
	49" LED TV+Alıcı											60	60									60	60	60	60	480 Wh	
BANYO	Modem	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	144 Wh		
	Çamaşır Makinesi																									0 Wh	
YATAK	Lamba									10										5		5		10		30 Wh	
	Lamba									20													10		10	40 Wh	
	Şarj Aleti	8	8	8									8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	88 Wh	
	Şaç Kur.Mak.																									0 Wh	
<b>TOPLAM (Wh)</b>	<b>199</b>	<b>199</b>	<b>199</b>	<b>191</b>	<b>191</b>	<b>191</b>	<b>191</b>	<b>191</b>	<b>191</b>	<b>531</b>	<b>421</b>	<b>269</b>	<b>269</b>	<b>199</b>	<b>429</b>	<b>199</b>	<b>277</b>	<b>269</b>	<b>1324</b>	<b>279</b>	<b>342</b>	<b>327</b>	<b>319</b>	<b>319</b>	<b>7516 Wh</b>		

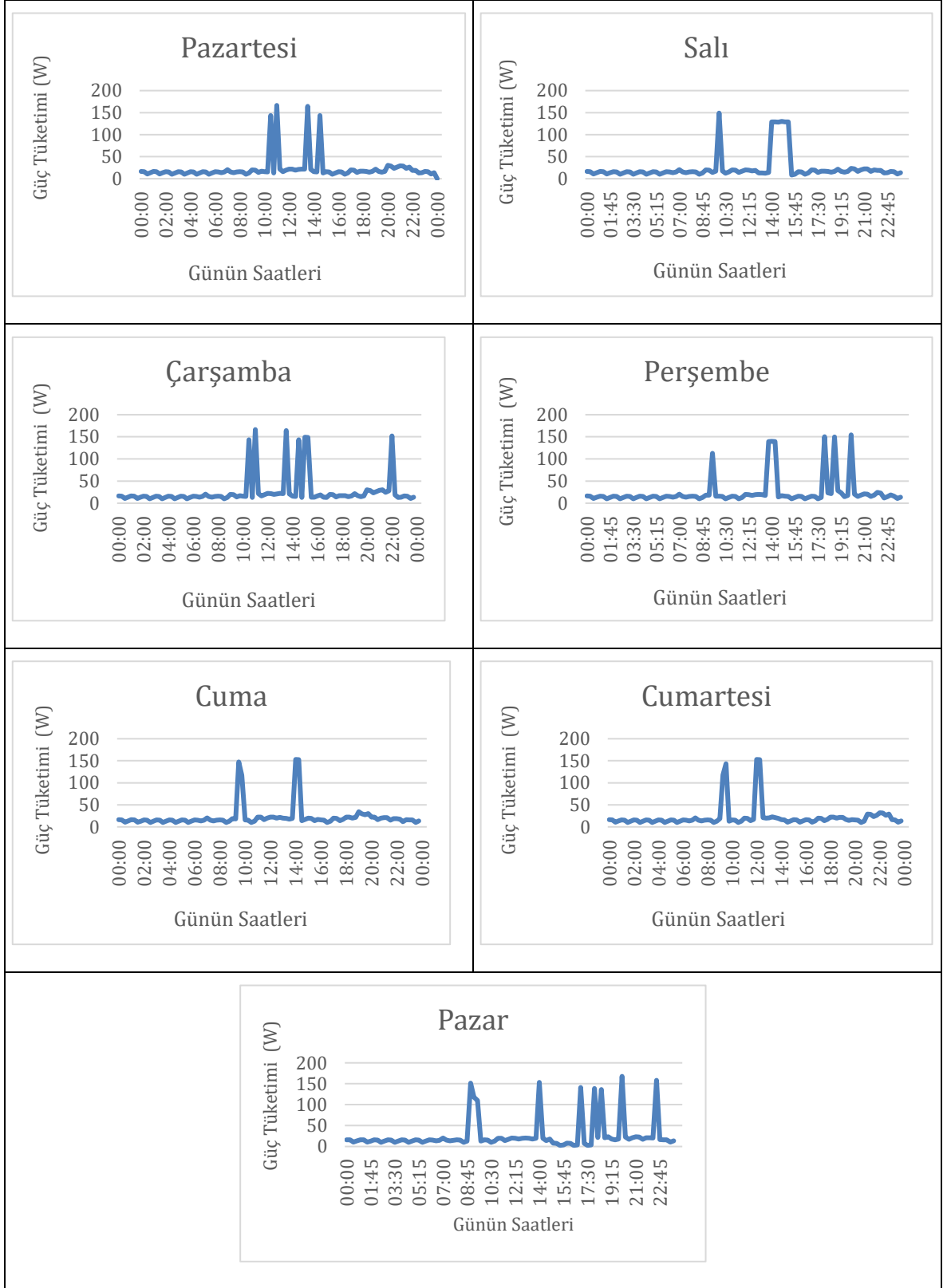
Şekil 3.5 Emekli\_Cumartesi Senaryosu için Evde Kullanılan Cihazların Gün İçerisindeki Tahmini Saatlik Elektrik Enerjisi Tüketim Değerleri

SAATLER	00.00	01.00	02.00	03.00	04.00	05.00	06.00	07.00	08.00	09.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	TOPLAM (Wh)		
	01.00	02.00	03.00	04.00	05.00	06.00	07.00	08.00	09.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	00.00			
MUTFAK	Lamba																		10	20	20				50 Wh		
	Bulaşık makinesi																									0 Wh	
	Anlık Su Isıtıcı									250																450 Wh	
	Buzdolabı	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	1680 Wh	
	Tost Makinesi											300														300 Wh	
	Firin																									0 Wh	
	Kombi	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	2760 Wh	
	Dav'lumbaz																				95	190					285 Wh
	27' LED TV + Alıcı											40								20	40						100 Wh
	Lamba																			20	20	20	20	20	20	20	80 Wh
MİSAFİR	Ütü																									0 Wh	
	Elektrik Süpürgesi																									0 Wh	
	Bilgisayar																			18	18	18	18	18	18	72 Wh	
SALON	Lamba																		20	20	20	20	20	20	20	80 Wh	
	49' LED TV+Alıcı											60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	480 Wh	
	Modem	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	144 Wh	
BANYO	Çamaşır Makinesi																									0 Wh	
	Lamba								20										10			10				40 Wh	
YATAK	Lamba									20																40 Wh	
	Şarj Aleti	8	8	8														300		8	8	8	8	8	8	356 Wh	
	Şaç Kur.Mak.																									0 Wh	
<b>TOPLAM (Wh)</b>	<b>199</b>	<b>199</b>	<b>199</b>	<b>191</b>	<b>191</b>	<b>191</b>	<b>191</b>	<b>191</b>	<b>211</b>	<b>461</b>	<b>531</b>	<b>251</b>	<b>251</b>	<b>251</b>	<b>251</b>	<b>391</b>	<b>491</b>	<b>191</b>	<b>452</b>	<b>567</b>	<b>347</b>	<b>337</b>	<b>191</b>	<b>191</b>	<b>6917 Wh</b>		

Şekil 3.6 Emekli\_Pazar Senaryosu için Evde Kullanılan Cihazların Gün İçeresindeki Tahmini Saatlik Elektrik Enerji Tüketim Değerleri



**Şekil 3.7** Çalışan insanların yaşadığı evin 1/15 oranında azaltılmış günlük güç tüketim profilleri

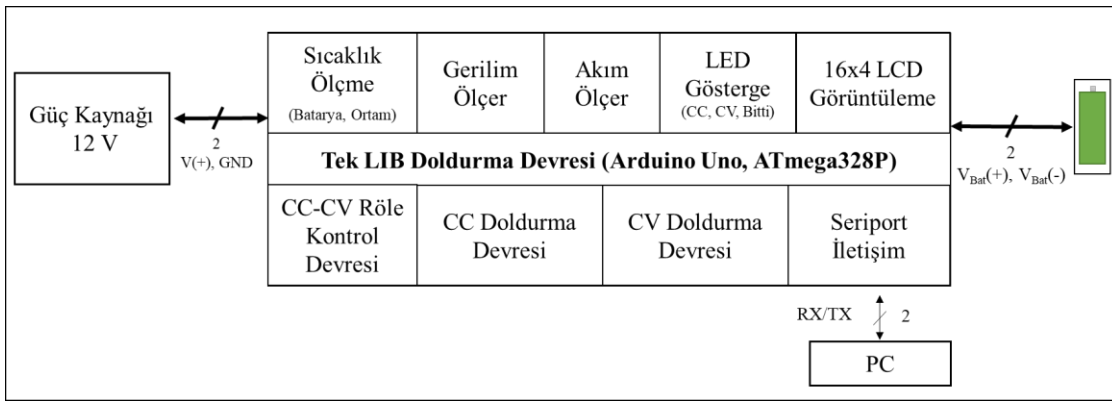


**Şekil 3.8** Emekli insanların yaşadığı evin 1/15 oranında azaltılmış günlük güç tüketim profilleri

### 3.2. Prototip BYS Ön Çalışma Devreleri

#### 3.2.1. 18650 tipi Tek Lityum-iyon Batarya Üzerine Yapılan Çalışmalar

LIB'in, Kesim 2.2.1'de açıklanan sabit akım-sabit gerilim (CC-CV) yöntemi ile dolma karakteristiğini anlamak için, Şekil 3.9'da blok diyagramı gösterilen, 18650 tipi tek Li-iyon bataryayı dolduran elektronik bir devre tasarımı yapılmıştır. Bu devre, bataryayı belirlenen (1A) *sabit akım* ile doldurabilmekte, doldurma gerilimi  $V_{en\_yüksek}$ 'a ulaştığında kendiliğinden *sabit gerilim* ( $V_{en\_yüksek}$ ) uygulayabilmekte, batarya ve ortam sıcaklığını ölçebilmekte, bataryanın gerilimi, doldurma akımı ve sıcaklığı anlık olarak LCD ekrana verebilmektedir.



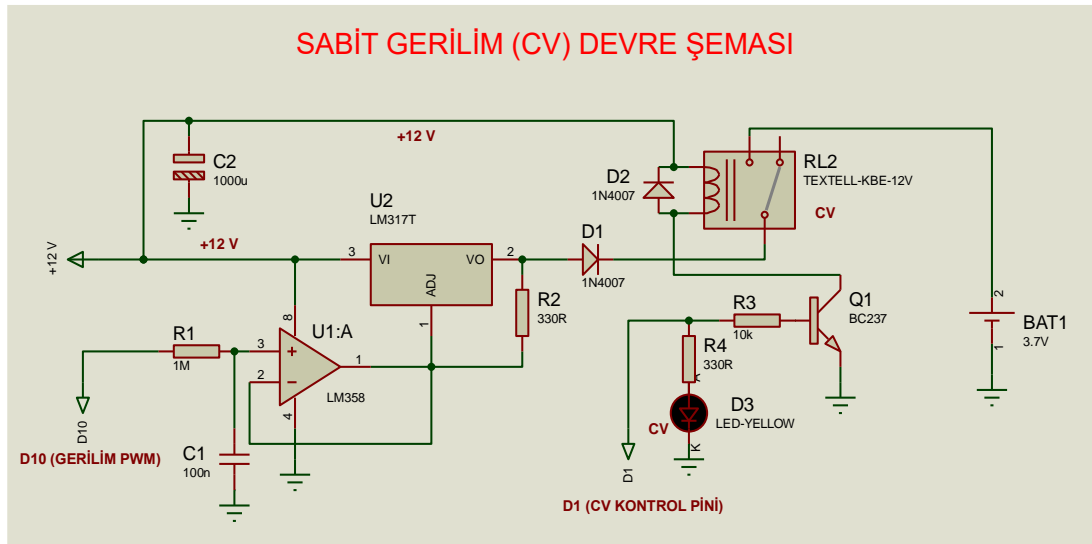
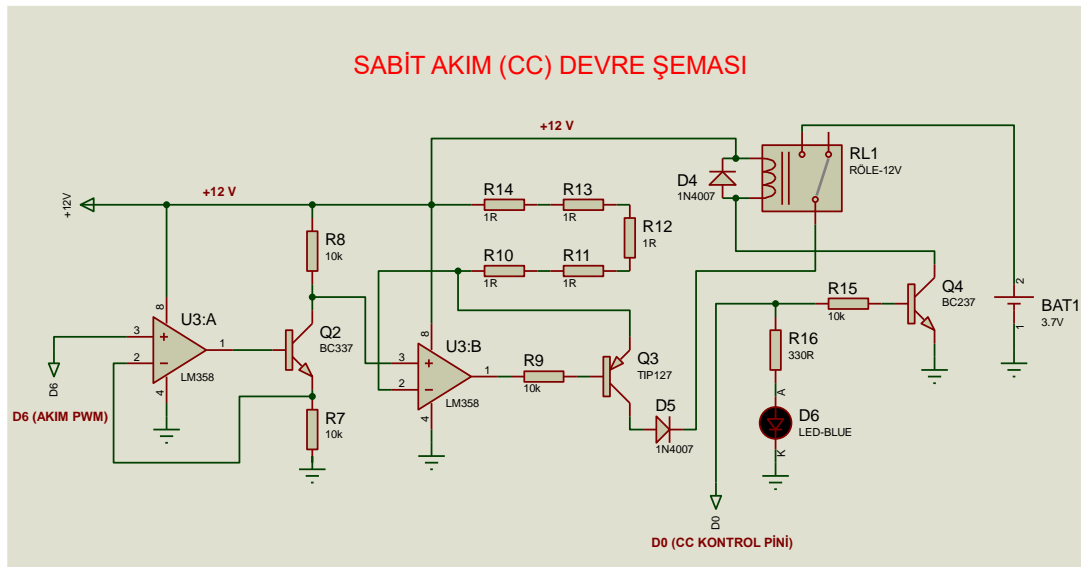
Şekil 3.9 Tasarlanan LIB Doldurma Devresi Blok Diyagramı

Sabit akım (CC) devre tasarımından sonra, sabit gerilim (CV) ile doldurma devresinin tasarımına geçilmiştir. Tasarlanan sabit gerilim (CV) devresinin özelliklerinin belirlenmesinde ve denenmesinde yine Samsung ICR18650-26C LIB kullanılmıştır. Bu bataryanın katalog değerinde (Ek-6), sabit doldurma gerilim değerinin  $V_{en\_yüksek}=4,2$  V, doldurma bitirme akımının ise  $I_{bitirme}=2600/20=130$ mA olduğu görülmektedir. Böylece tasarlanan devre ile batarya geriliminin üst sınır değeri olan 4,2 V sabit gerilimin bataryaya uygulanması ve doldurma akımının değeri 130 mA'in altına düştüğünde ise, bataryanın tamamen dolduğu kabul edilerek dolma işleminin durdurulması sağlanmıştır.

Tasarlanan sabit akım ve sabit gerilim ile doldurma devresi Şekil 3.10'da verilmiştir. Sabit akım doldurma devresinde, U3 (LM358) tümleşik devresi, Q2 ve Q3 transistörü ve R10, R11, R12, R13, R14 (toplam olarak 5 ohm) dirençler kullanılarak 0-1.5 amper arasında ayarlanabilen bir DA gerilim kontrollü akım kaynağı tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir.

Şekil 3.10'da verilen her iki devrede de teknik özellikleri Ek-7'de verilen *Arduino Uno*'un sayısal çıkışları kullanılmıştır. Bunlar:

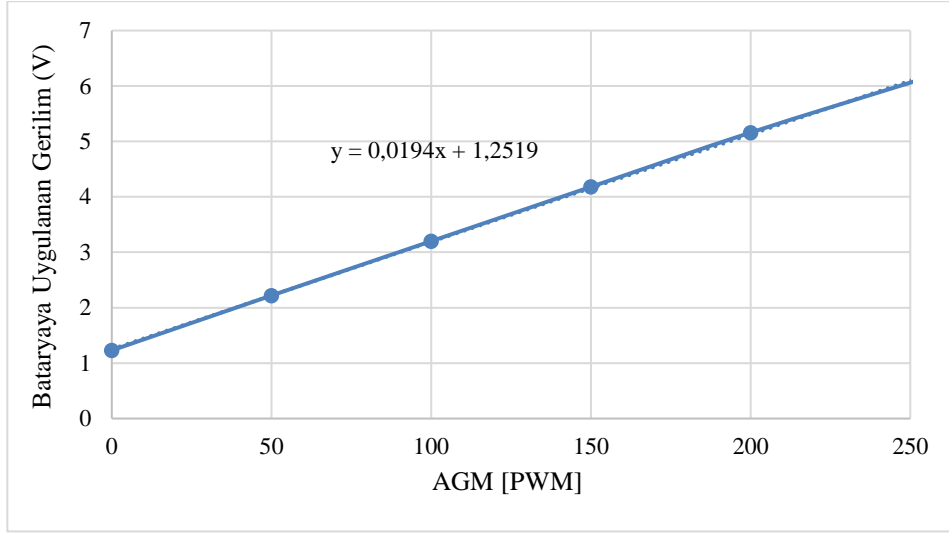
- Sabit akım değerini kontrol eden Atma Genlik Modülasyonu (AGM) özelliğine sahip D6 çıkışı,
- Sabit akımı bataryaya uygulayan RL1 rölesi kontrol eden D0 çıkışı,
- Sabit gerilim değerini kontrol eden AGM özelliğine sahip D10 çıkışı,
- Sabit gerilimi bataryaya uygulayan RL2 rölesini kontrol eden D1 çıkışı.



**Şekil 3.10 a.** Sabit akım (CC) ile doldurma devresi **b.** Sabit gerilim (CV) ile doldurma devresi

D10, AGM çıkışı, R1 ve C1'den oluşan bir alt geçiren süzgeç ile U1 (LM358) tümleşik devresine bağlanarak ve U2 (LM317T) gerilim düzenleyicisi kullanılarak, ayarlanabilir

bir sabit gerilim kaynağı yapılmıştır. AGM çıkış ile uygulanabilen gerilim arasındaki doğrusallığı göstermek amacıyla, AGM değerlerine karşılık gelen çıkış gerilim grafiği Şekil 3.11’de verilmiştir. Grafikten görüldüğü gibi, çıkış gerilimi ve AGM değerleri arasında doğrusal bir ilişki vardır ve bu da yazılımcıya, istediği gerilimi ayarlamak konusunda kolaylık sağlar.



Şekil 3.11 AGM değerlerine karşılık çıkış gerilimi

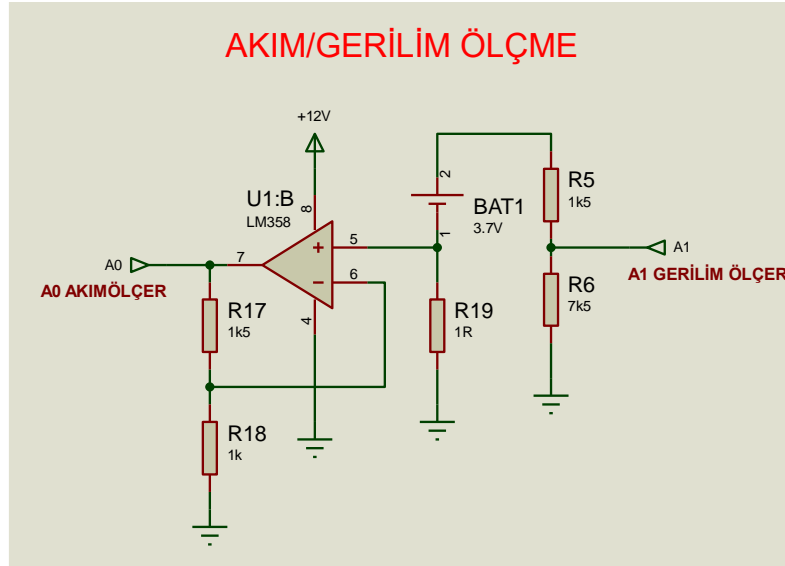
Bataryaya sabit gerilimin uygulanması, RL2 rölesi ve D1 sayısal çıkışı ile kontrol edilmektedir. RL2 rölesinin kontrolü için, Q1 (BC237B) transistörü ve R3 (330  $\Omega$ ) direnci ile yapılan bir transistörlü anahtar devresi kullanılmış ve rölenin devrede olup/olmadığını göstermek için, devreye uygun değerde R4 direnci ile, D3 sarı LED’i eklenmiştir. Böylece sayısal D1 çıkışının durumuna bağlı olarak,

- *DÜŞÜK* (“0”, *LOW*) durumunda iken; transistör iletimde olmayacağı için, RL2 rölesi normalde kapalı konumda (NC konumunda) olacak, NC ucu açık olduğu için çıkış gerilimi (4,2 V) bataryaya uygulanmayacak, sabit gerilim aşamasını gösteren D3 sarı LED’i yanmayacaktır,
- *YÜKSEK* (“1”, *HIGH*) konumuna getirildiğinde ise; Q1 transistörü iletime geçecek, röle NO konumuna geçecek ve önceden ayarlanmış gerilim değeri (4,2 V) bataryaya uygulanacak, D3 sarı LED’i yanmaya başlayacaktır.

### **Akım, Gerilim ve Sıcaklık Ölçme**

LIB’ler, kurşun asit, nikel kadmiyum gibi klasik bataryaların sahip olduğu aşırı dolma/boşalma (over-charge/over-discharge) toleranslarına sahip değildir. Bu yüzden LIB doldurulurken, gerilim doğru ölçülmeli ve gerilime bağlı olarak (CC-CV) dolum

aşamasına geçiş kararı doğru verilmelidir. Akım değerinin ölçüm hassasiyeti ise, özellikle sabit gerilim ile doldurma aşamasında önem kazanır. Dolu işleminin tamamlanması için,  $C/20$  ( $2600 \text{ mAh} / 20 = 130 \text{ mA}$ ) gibi düşük değerlere sahip, doldurma bitirme akımının ( $I_{\text{bitirme}}$ ) tasarlanan akım ölçer tarafından ölçülmesi gerekir.



Şekil 3.12 Akım/ Gerilim ölçme devresi

### ***Akım Ölçer***

Tasarlanan devrede akım ölçer için; bataryanın negatif tarafına seri olarak R19 ( $1\Omega$ ) direnci bağlanmıştır ve böylece bataryaya basılan akım ile doğru orantılı biçimde R19 direnci üzerinde bir gerilim oluşturmaktadır (Şekil 3.12). Oluşan bu gerilim değeri, R17 ( $1.5k\Omega$ ) ve R18 ( $1k\Omega$ ) dirençleri ve U1B (LM358) tümleşik devre ile yükselterek Arduino'nun 10 bit örnekselden sayısala çevirici A0 girişine aktarılır. Burada yapılan hesaplamalar ile doldurma akımı belirlenir. En yüksek doldurma akımının  $2 \text{ A}$  olduğu düşünüldüğünde tasarlanan akım ölçer ile  $1,95 \text{ mA}$  [ $2000\text{mA}/1024 \cong 1,95 \text{ mA}$ ] hassasiyetle akım ölçülebilir. Bu değer, dolma işleminin bitirilmesine karar verebilmek için yeterli bir hassasiyettir.

### ***Gerilim Ölçer***

Gerilim ölçer için, bataryanın artı ucuna bağlanan R5 ( $1,5k\Omega$ ) ile R6 ( $7,5k\Omega$ ) dirençlerden bir gerilim bölücü oluşturulmuştur (Şekil 3.12). Arduino Uno'nun örneksel (analog) girişi (A1), gerilim bölücüden alınan gerilim değeri okur, gerekli hesaplamaları yapar ve o noktanın gerilim değerini bulur. Yapılan gerilim ölçer,  $6 \text{ V}$ 'a [ $(1,5+7,5)/1,5=6\text{V}$ ] kadar olan gerilim değerini  $5,85 \text{ mV}$  [ $6000\text{mV}/1024 \cong 5,85 \text{ mV}$ ] hassasiyetle ölçebilmektedir.



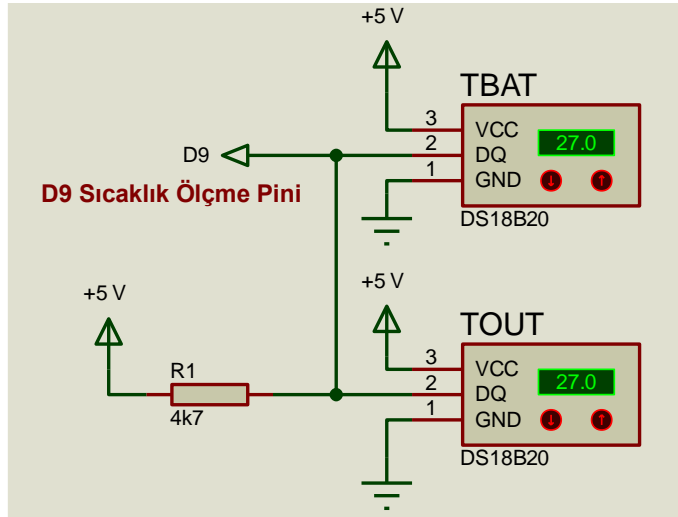
Bataryanın gerilimi ölçülürken, doldurma akıma bağlı olarak bir önceki bölümde anlatılan akım ölçer direnci (R19) üzerinde oluşan gerilim de dikkate alınır. Bataryanın gerilimi hesaplanırken, toplam ölçülen değerden, bu değer çıkartılır.

### ***Sıcaklık Ölçer***

Yüksek/düşük sıcaklıklar, LIB'nın doldurulma/boşaltma performanslarını düşürdüğünden, doldurma aşamasında batarya/ortam sıcaklıkları ölçülmeli, gerekirse fan/ısıtıcı ile sıcaklık kontrolü sağlanmalıdır. Eğer sıcaklık kontrol edilemiyorsa ölçülen sıcaklık değerlerine göre, doldurma akımı/gerilimi en uygun değere göre ayarlanmalıdır.

Tasarımlanan tek batarya doldurma devresinde 2 adet DS18B20 sıcaklık ölçer kullanılmıştır. Ortam sıcaklığı ve batarya sıcaklığı, Arduino'nun *OneWire* ve *DallasTemperature* kütüphanesini yardımı ile tek veri kablosu ve tek sayısal uç (D9) kullanarak ölçülmüştür (Şekil 3.13).

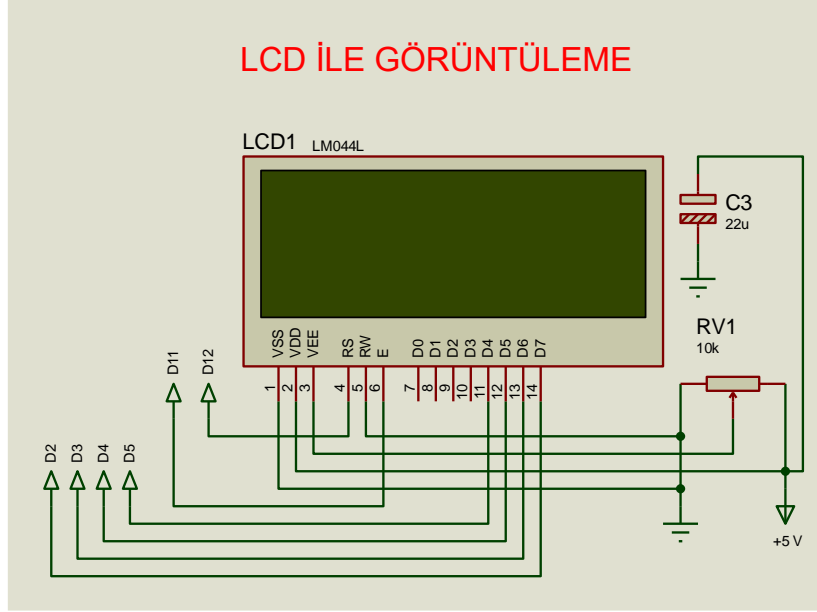
Kullanılan DS18B20 sıcaklık ölçer;  $-10^{\circ}\text{C}$  ile  $+85^{\circ}\text{C}$  arasında değerleri  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  hata payı ile,  $-30^{\circ}\text{C}$  ile  $+100^{\circ}\text{C}$  arasındaki değerleri ise  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  hata payı ile ölçebilmektedir. Ölçülecek ortamlar dikkate alındığında tasarlanan devrede çalışma aralığı  $-30^{\circ}\text{C}$  ile  $+100^{\circ}\text{C}$  olarak belirlenmiştir ve  $1^{\circ}\text{C}$  hata payı hassasiyetle sıcaklık ölçülecektir.



Şekil 3.13 Sıcaklık ölçme devresi

### ***Durum Göstergeleri***

Tasarlanan devrede değişkenleri göstermek için, ekranda aynı anda 80 adet karakterin görüntülenebildiği,  $20 \times 4$  LCD ekran kullanılmıştır. LCD ekranın, Arduino Uno ile bağlantı biçimi Şekil 3.14'te gösterilmiştir. 15 ve 16 numaralı ayaklar, ekran aydınlatması bulunan ekranlarda arka ışığı yakmak için kullanılır.



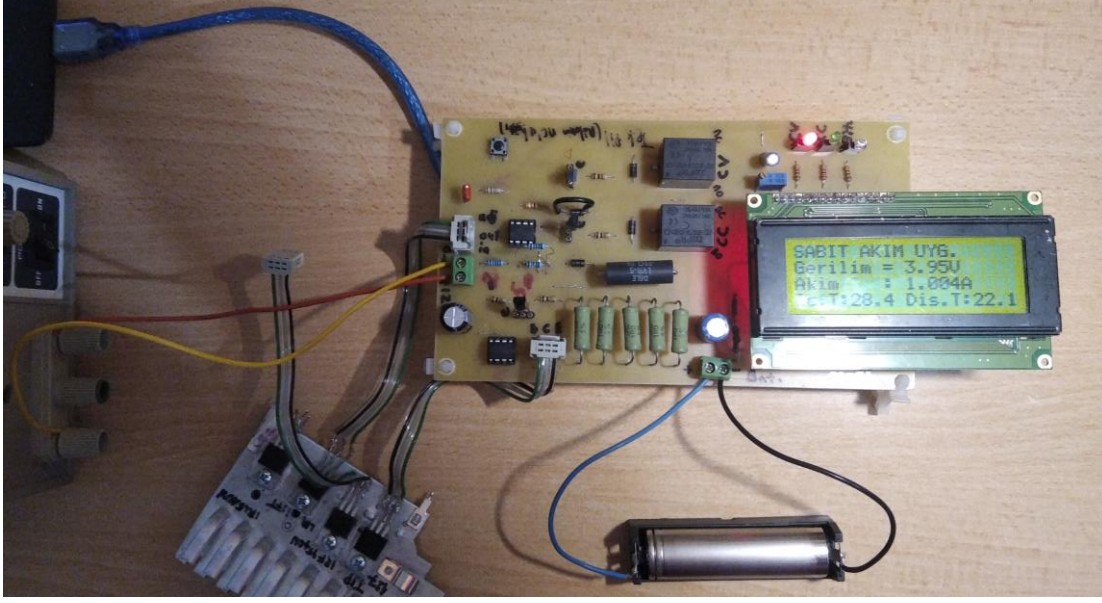
**Şekil 3.14** LCD ile görüntüleme devresi

Arduino Uno’da kullanılan LCD kütüphanesinde sırasıyla;

- LCD’nin 4, 6, 11, 12, 13, 14 numaralı çıkışları, Arduino’nun sayısal D12, D11, D5, D4, D3 ve D2 girişlerine,
- $V_{ss}$  ve RW çıkışları toprağa,
- $V_{DD}$  çıkışı, Arduino’dan gelen 5V’a
- LCD’nin kontrastlığını ayarlamak için  $V_{EE}$  çıkışı ise RV1 (10K) potansiyometrenin ayar ucuna bağlanmıştır.

LCD ekran ile, kullanıcıya bataryanın gerilim değeri, doldurma akım değeri ve doldurma aşama bilgisi anlık olarak verilmektedir.

Bu kesimde tasarlanan ve yukarıda anlatılan tüm alt birimleri içeren **tek 18650 LIB için doldurma devresinin** fotoğrafı Şekil-3.15’te, devre şeması Şekil 3.16’da devrenin Baskılı Devre Kartı ise Ek-8’de verilmiştir.



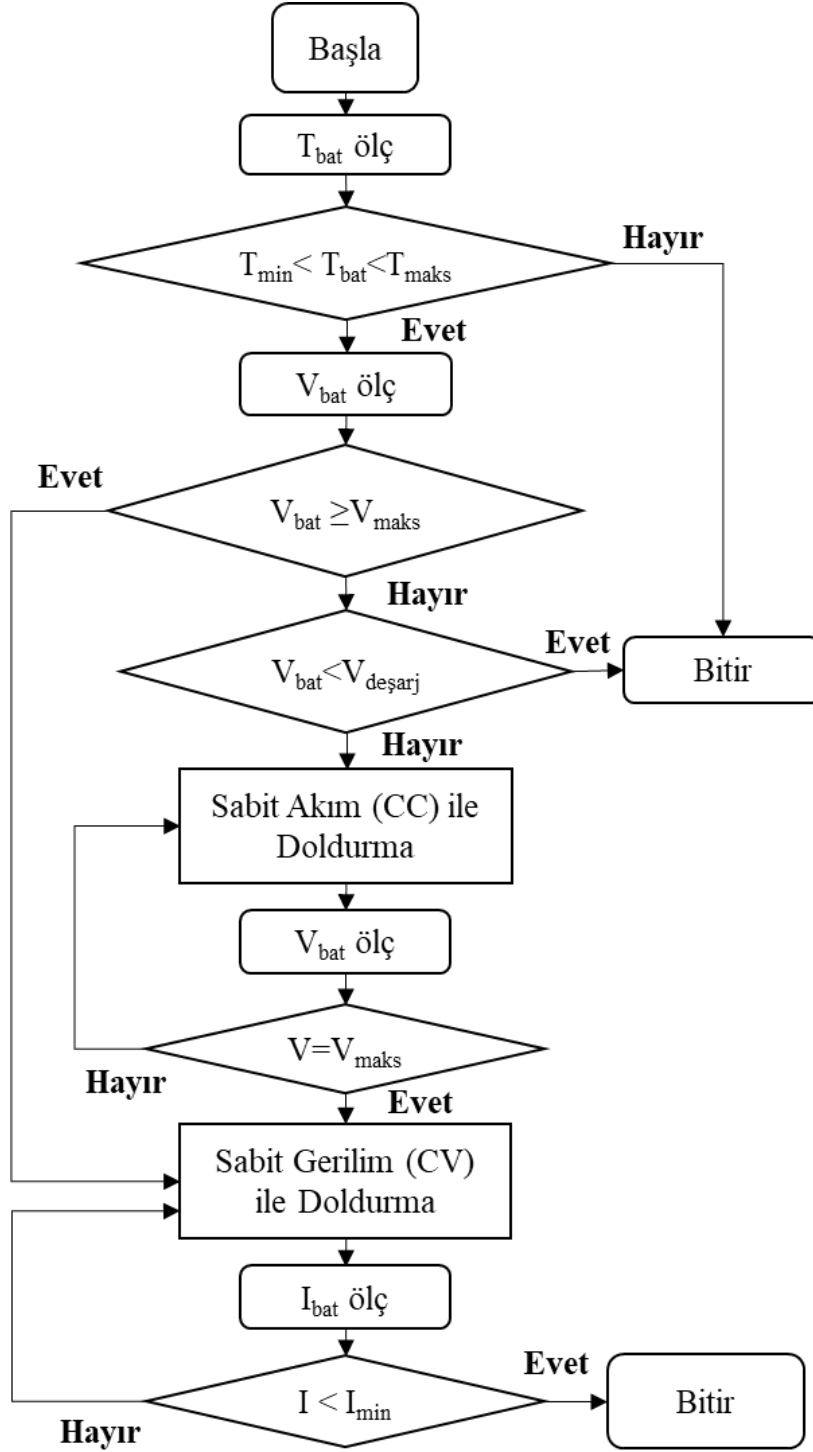
Şekil 3.15 Tek 18650 LIB için doldurma devresi fotoğrafı

Devreler için gerekli kontrol yazılımı Arduino Software (IDE) ortamında C dilinde yazılmış ve program akış şeması Şekil 3.17’de gösterilmiştir. Geliştirilen algorithmada, başlangıçta CC ve CV devreleri aktif değildir. RL1 ve RL2 röleleri, başlangıçta NC konumundadır ve bu aşamada, doldurulmak için takılan bataryanın sıcaklığı ve gerilimi ölçülür. Sıcaklık normal, batarya gerilim değeri 2,75 V ile 4,20 V arasında ise, CC aşamasının RL1 rölesi aktif hale gelir ve yazılımla belirlenen akım değeri ile batarya dolmaya başlar. Batarya gerilimi 4,20 V’a geldiğinde RL1 rölesi devreden çıkar ve CV aşama rölesi, RL2 devreye girer.

Batarya gerilimi 4,20 V ise doğrudan RL2 rölesi devreye girer ve sabit gerilim aşaması başlar. CV aşamasında batarya dolma akımı, beklenen değerinin altında değere düştüğünde dolma işlemi sona erer ve tüm röleler devreden çıkar. Bataryanın hangi aşamada olduğu, bataryanın gerilimi ve dolma akımı, iç/dış sıcaklık değerleri LCD’den izlenebilir.

Algoritmanın yaptığı kontrollerde, eğer batarya gerilimi ve sıcaklığı istenilen koşulları sağlamıyorsa, LCD ekrandan, “yüksek/düşük gerilim” veya “yüksek/düşük sıcaklık” uyarıları verilir ve doldurma işlemi başlatılmaz.



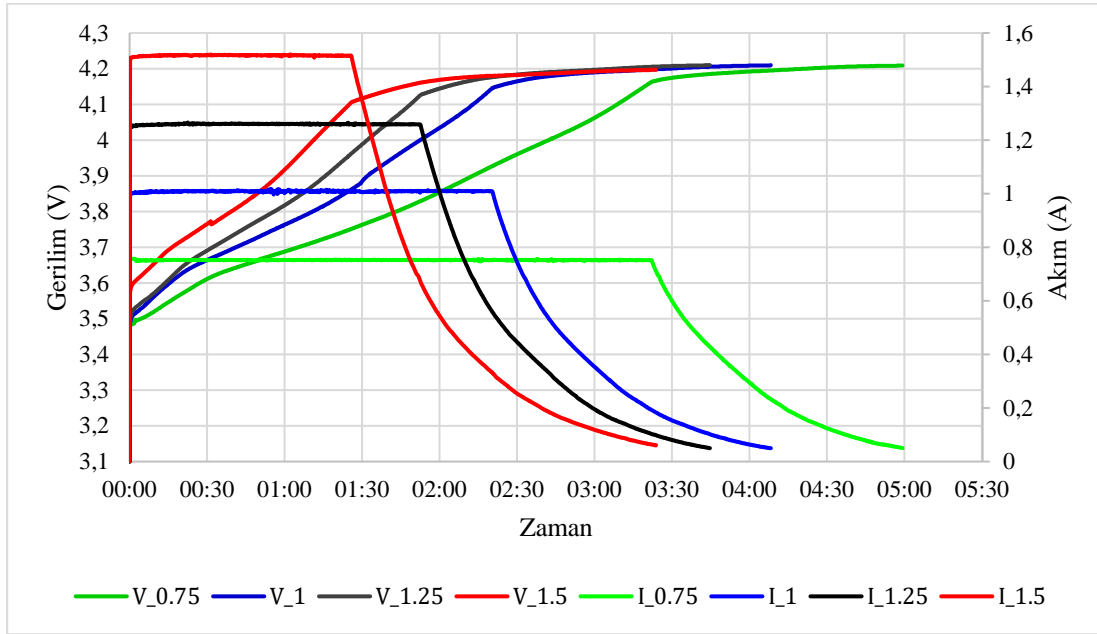


Şekil 3.17 Program Akış Şeması

**Tek 18650 LIB için doldurma devresinin çalıştırılması ve test edilmesi:**

Tasarlanan devre ve algoritmalar kullanılarak, 18650 tipi LIB için, 0,75-1, 5A aralığında değişen akım değerleri ile doldurma deneyleri yapılmış ve sonuçları Şekil 3.18'deki

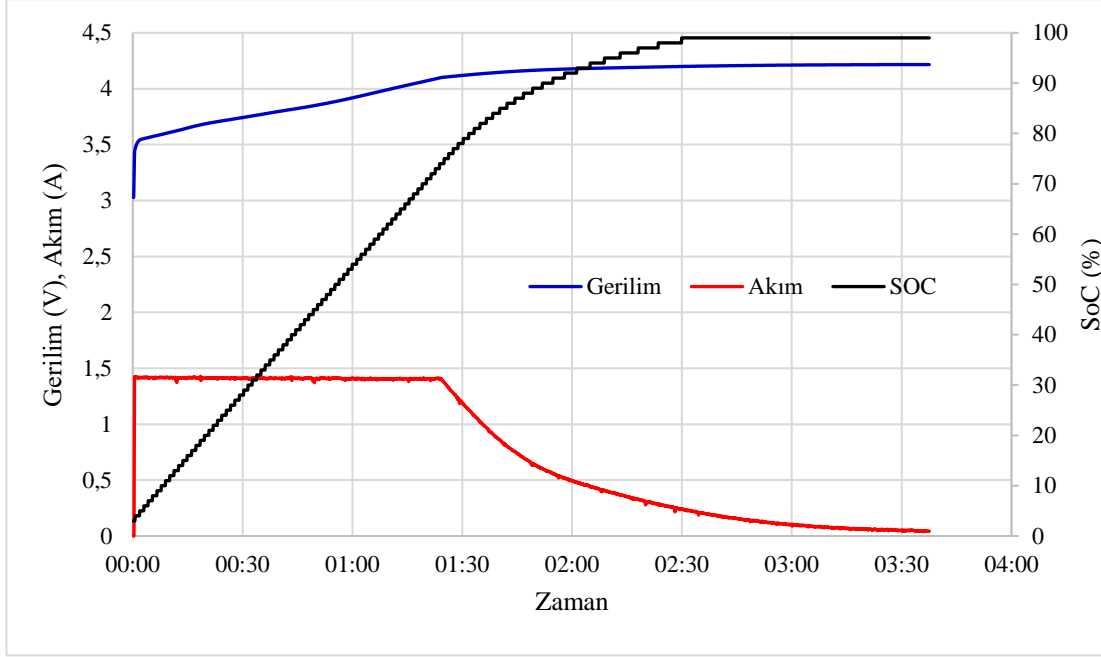
grafikte verilmiştir. Şekil 3.18’de görüldüğü gibi, sabit akım aşaması yüksek akımlarda, düşük akımlara göre, daha kısa sürmektedir. 1,5A; 1,25A; 1A ve 0,75A akım değerleri ile yapılan deneylerde, sabit akım aşama süreleri sırasıyla 1 sa 26 dk, 1 sa 53 dk, 2 sa 21 dk ve 3 sa 23 dk’dır. Yüksek akımlarda sabit akım aşamasının daha kısa sürmesine karşın, sabit gerilim aşaması, düşük akımlara göre, daha uzun sürmüştür. Bataryanın tamamen dolma süreleri ise 1,5A için 3 sa 24 dk iken, 0,75A için 4 sa 59 dk olarak gözlenmiştir.



**Şekil 3.18** Farklı Akım Değerleri ile LIB'leri Doldurma Eğrileri

Farklı akımlar ile tek batarya dolma denemeleri tamamlandıktan sonra geliştirilen algoritma ile doldurma esnasında, kuramsal kesimde açıklanan, *yük sayma yöntemi* kullanılarak bataryanın kapasitesi (SoC) hesaplanmıştır. Bu amaçla, algoritmadaki döngü süresi 5 s olacak şekilde ayarlanmış ve geçen bu süre ile bataryaya giren akım çarpılarak anlık kapasite hesaplanmış, daha sonra anlık kapasiteler toplanarak toplam kapasite elde edilmiştir. Yapılan deneyler için batarya ilk önce tamamen boşaltılmış, daha sonra sabit akım-sabit gerilim (CC-CV) yöntemi ile dolma işlemi gerçekleştirilmiştir.

Deney sonucu ölçülen akım, gerilim değerleri ile hesaplanan kapasite değerleri Şekil 3.19’da verilmiştir. Burada dikkat çeken nokta, sabit akım aşaması tamamlandığında bataryanın, 1 sa 30 dk gibi bir sürede, kapasitesinin yaklaşık %80’i oranında dolmuş olmasıdır. Geri kalan %20’lik kesimin doldurulması, sabit gerilim aşamasında yaklaşık 2 saatlik bir sürede tamamlanmıştır.



Şekil 3.19 Tek LIB SoC Tespiti

### 3.2.2 Üç Adet Seri Bağlı 18650 tipi Lityum-iyon Batarya Üzerine Yapılan Çalışmalar

Tek batarya ile ilgili bu çalışmalardan sonra, seri bağlı bataryaların dolma sırasında davranışlarını kavramak için tek LIB için tasarlanan devre, seri bağlı 3 adet LIB'leri doldurmak için geliştirilmiştir. Bu kesimde, önce üç adet seri bağlı batarya doldurma devresi, daha sonra dengeleme devresi açıklanacaktır.

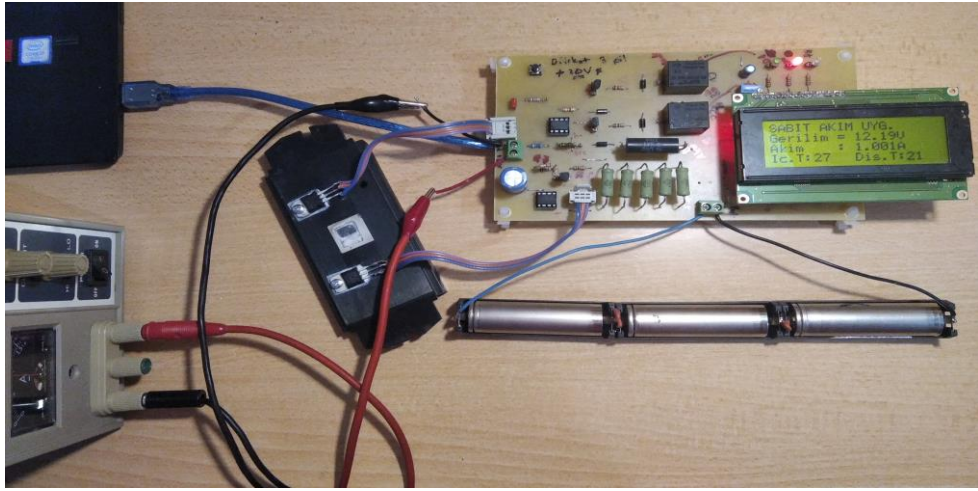
#### 3.2.2.1. Üç Adet Seri Bağlı Bataryalarda Doldurma Devresi

3 adet 18650 LIB batarya seri bağladığında, sabit gerilim doldurma aşamasında batarya bloğuna en az 12,6 V (4,2 V x 3 adet batarya) uygulanmalıdır. Bunun için tek bataryayı doldurma devresinde, aşağıda belirtilen gerekli düzeltmeler yapılmıştır;

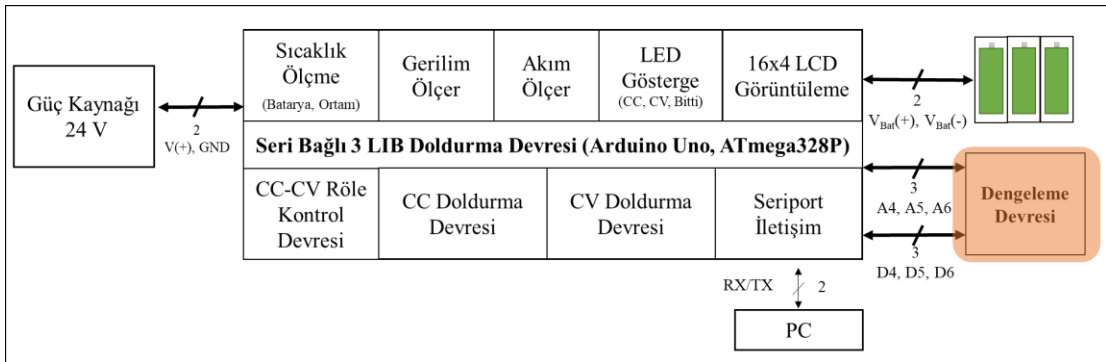
- Doldurma devresinin çalışabilmesi için, güç kaynağından alınan besleme gerilimi, 12 V'tan 24 V'a çıkartılmıştır.
- Tek bataryalı devrede yer alan 12 V'luk RL1 ve RL2 rölelerin çalışması için, uygun gerilim bölücüler ile gerilim ayarlanmıştır.
- Güç kaynağının ve bataryanın girişinde yer alan sığaçlar, gerilimlere uygun olarak değiştirilmiştir.

- Gerilim ölçerin gerilim bölücü dirençleri R5 ve R6, gerilimi 14 V'a kadar ölçecek biçimde değiştirilmiştir. Ancak bunun sonucunda gerilim ölçme hassasiyeti 5,85 mV'dan  $14000\text{mV}/1024 = 13,67 \text{ mV}$ 'a düşmüştür. Basılan akım değişmeyeceği için akım ölçerde değişiklik yapmaya gerek duyulmamıştır.

Tasarlanan devrenin fotoğrafı Şekil 3.20'de, Blok Diyagramı Şekil 3.21'de, Devre Şeması ise Şekil 3.22'de gösterilmiştir.



Şekil 3.20 Seri Bağlı 3 18650 LIB doldurma devresi

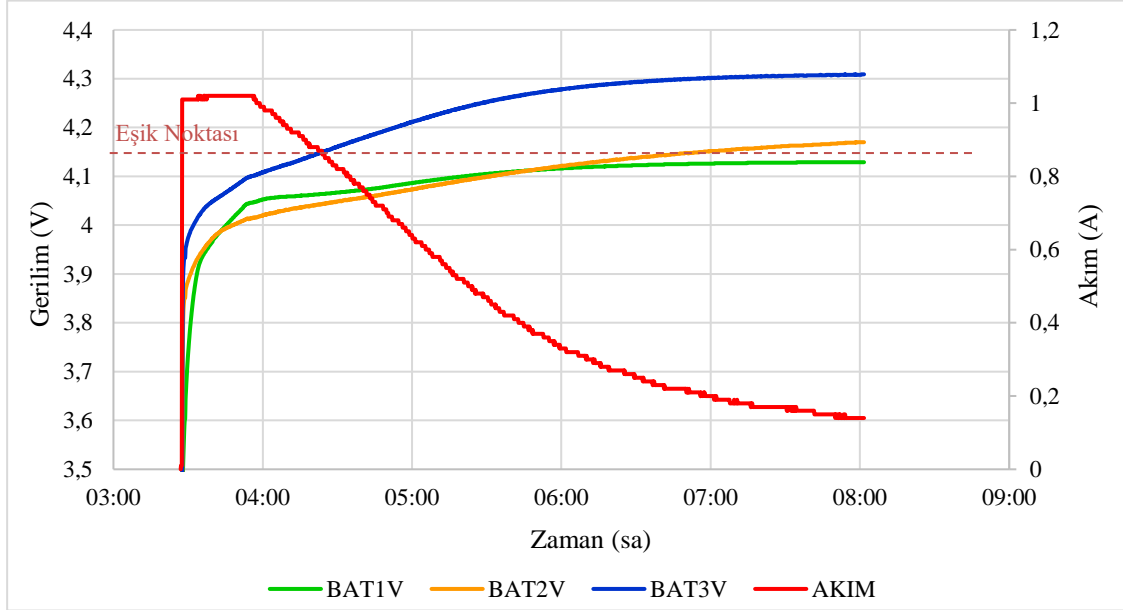


Şekil 3.21 Seri Bağlı 3 adet LIB Doldurma Devresi Blok Diyagramı





İstenmeyen toplam gerilim veya sıcaklık değerleri olduğunda, LCD ekranından uyarı verilip doldurma işlemi sonlandırılmaktadır.



Şekil 3.23 Seri Bağlı 3 LIB (3 Özdeş ve Eski) Dengeleme Olmadan Dolma Eğrisi (1A)

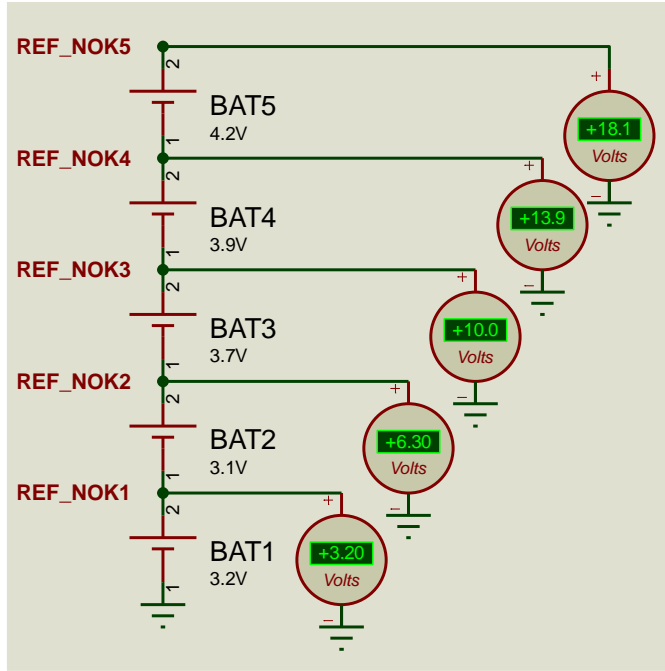
LIB hassas bir yapısı olduğundan doldurma işleme sırasında hiçbir bataryanın aşırı dolması (4,2 V'u geçmesi) istenmez. Yapılan denemelerde batarya bloğu sabit 1 A ile doldurulmuştur. Bataryalar dolarken voltmetre ile yapılan ölçümlerde toplam gerilim sınır değer olan 12,6 V'a gelmemişken, 3. bataryanın 4,2 V'a ulaştığı, diğer bataryaların da 4,06 seviyelerinde olduğu tespit edilmiştir. Bu aşamada, 3. bataryanın normalde sabit gerilim aşamasına geçmesi gerekirken toplam gerilim ( $4,2+3,8+3,9= 11,9$  V) 12,6 V ulaşmadığı için sabit 1 A ile doldurulmaya devam edilmiştir. Yapılan ölçümlerde batarya bloğunun gerilimi 12,6 V a ulaştığında, 3. bataryanın gerilim değerinin 4,30 V civarlarında olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3.23). 3. batarya aşırı doluma maruz kalmış ve ısınmaya başlamıştır. Yapılan bu deneylerden, bataryaların güvenliğinin sağlanması için *her bir bataryanın geriliminin ayrı ayrı ölçülmesinin* gerektiği sonucu çıkartılmış ve deneylere bu soruna çözüm getirerek devam edilmiştir.

### **Seri Bağlı Bataryalarda Her Bir Bataryanın Gerilimini Ölçme**

Her bir bataryanın gerilimi, *gerilim farkı ile ölçüm, fark yükselteci ve gerilim bölücü ile ölçüm* ve *16 bitlik Örnekselden (Analog) Sayısala (Dijital) Çevirici (ADS1115) Kullanarak Ölçme* yöntemleri uygulanarak üç farklı şekilde ölçülmüş, sonuçlar tartışılarak, hangi yöntemle devam edileceğine karar verilmiştir.

### Gerilim Farkı ile Ölçüm

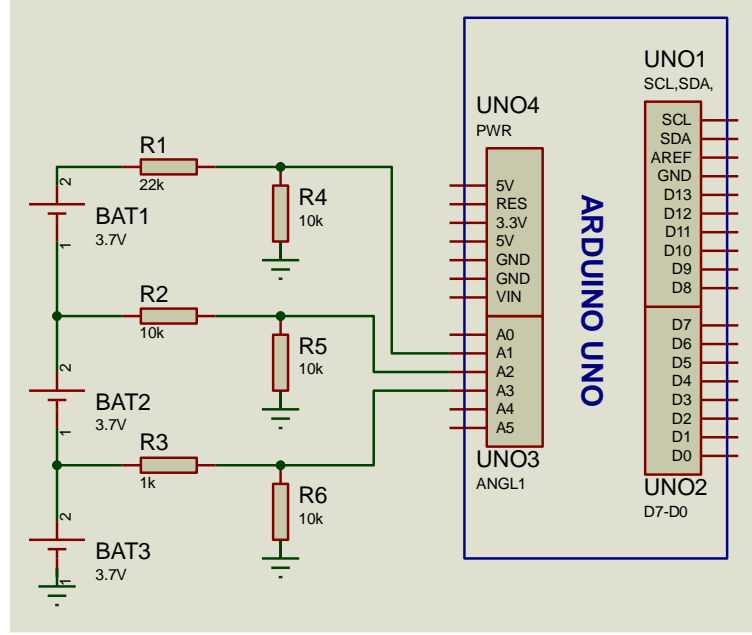
Seri bağlı bataryaların gerilimlerini ölçmede en basit yöntem, ara referans gerilim değerlerini birbirinden çıkararak, bu değerler arasında kalan bataryanın gerilim değerini hesaplama yöntemidir. Ölçme devresi Şekil 3.24'te verilen bu yöntemle; şekilde yer alan 2. bataryanın geriliminin ölçülmesi istendiğinde; ikinci gerilim ölçerdeki değerden (ref\_nok2) birinci gerilim ölçerdeki değer (ref\_nok1) çıkartılır ve aradaki bataryanın gerilimi bulunur ( $V_{BAT2} = 6,30 - 3,20 = 3,10V$ ). Her batarya için bu hesaplama yapılır.



Şekil 3.24 Gerilim farkı ile gerilim ölçme devresi

Üç seri batarya için, Şekil 3.25'te gösterilen devre kurularak ve Arduino Uno'nun örneksel (analog) girişi kullanılarak, seri bağlı 3 bataryanın gerilimleri uygun gerilim bölücülerle ölçülmüştür. Ölçülen değerler, gerilim bölücülerden kaynaklanan katsayı ile çarpılmış ve noktalar arasındaki fark bulunmuştur. Elde edilen değer iki nokta arasında kalan bataryanın gerilim değerini vermiştir.

Ölçümlerde, bataryalardan herhangi bir akım geçmiyorken, batarya gerilimleri düzgün şekilde hesaplanabilmiştir. Ancak bataryalardan akım geçerken, belirlenen noktalardaki gerilim değerlerinin sürekli değişmesinden dolayı ara değerler tam olarak doğru tespit edilememiştir.



**Şekil 3.25** Gerilim bölücü ile batarya gerilimini ölçme devresi

Devredeki seri bağlı batarya sayısı arttıkça ölçüm hata oranı birikimsel olarak artacağından, sapmaların özellikle iç direnci yüksek olan eski bataryalarda daha da belirgin olacağı öngörülmüş ve problemi çözmek için, fark yükselteci ve gerilim bölücülerden oluşan başka devre kullanılarak her bir bataryanın gerilimi ölçülmeye çalışılmıştır.

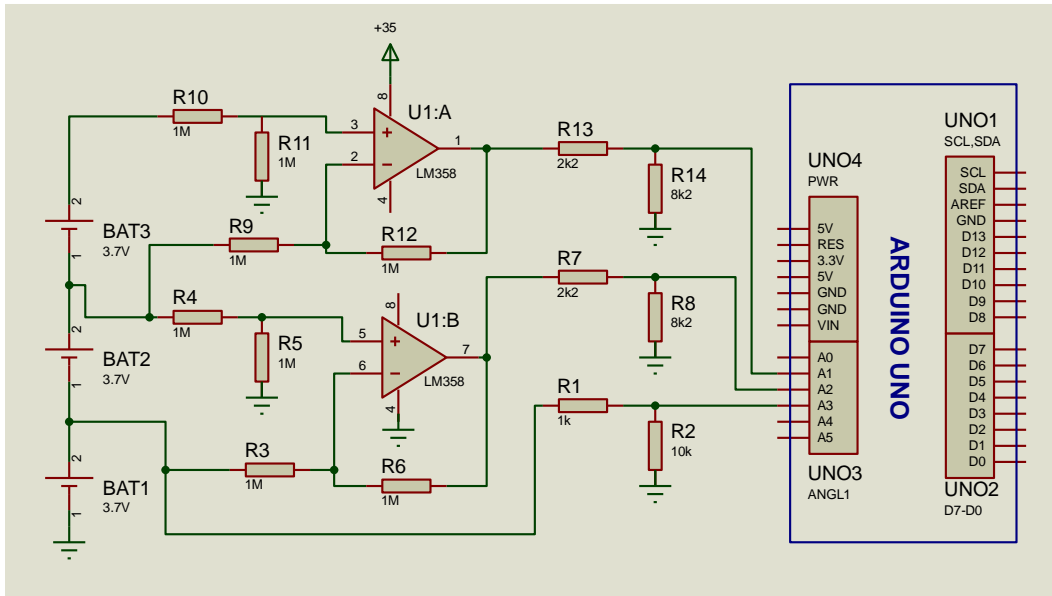
### ***Fark Yükselteci ve Gerilim Bölücü ile Ölçüm***

Bu yöntemde, fark yükseltecinin iki girişi arasındaki fark alma özelliği kullanılarak Şekil 3.26'da gösterilen devre kurulmuştur. Fark yükselteçlerinden biri U1A işlemsel yükselteci ve R9, R10, R11, R12 dirençlerinden, diğeri ise U1B işlemsel yükselteci ve R3, R4, R5, R6 dirençlerinden oluşmaktadır. Buna göre;

- 1. bataryanın (-) ucu toprağa bağlı olduğundan geriliminin farksal olarak ölçülmesine gerek duyulmamıştır. Sadece bataryanın gerilimi, Arduino'nun örneksel girişine zarar vermemesi için, uygun gerilim bölücüler (R1 ve R2) ile küçültülerek A3 örneksel girişine bağlanmıştır.
- 2. bataryanın (+) ve (-) uçları R3, R4, R5 ve R6 dirençleri üzerinden U1B işlemsel yükseltecinin giriş uçlarına bağlanmış, iki nokta arasındaki gerilim farkı elde edilmiş ve bu fark uygun gerilim bölücüler (R7 ve R8) ile Arduino'nun A2 örneksel girişine bağlanmış ve 2. bataryanın anlık gerilim değeri elde edilmiştir.

- 3. bataryanın da 2. bataryaya benzer biçimde, (+) ve (-) uçları R9, R10, R11 ve R12 dirençleri üzerinden U1A işlemsel yükseltecinin giriş uçlarına bağlanmış, uçlar arası gerilim farkı alınarak uygun gerilim bölücüler ile Arduino'nun A1 örneksel girişine bağlantı yapılmış, buradan 3. bataryanın gerilimi değeri okunmuştur.

Yapılan denemeler sonucunda, bu devrenin birinci olumsuz yönü, Arduino'nun örneksel sayısal dönüştürücü çözünürlüğünün 10 bit olmasıdır ve bu düşük çözünürlük ile bataryaların gerilimleri istenilen hassasiyetle ölçülememektedir.



Şekil 3.26 Fark yükseltici ile gerilim ölçme devresi

İkinci ve önemli olumsuz yönü ise, fark yükselticinin bir besleme gerilimine ihtiyaç duymasındır; diğer bir deyişle fark yükseltici, harici bir güç kaynağı ile beslenmelidir. Ayrıca devredeki seri bağlı batarya sayısı arttıkça, işlemsel yükseltecin çalışması için besleme gerilimi de doğru orantılı olarak yükseltilmelidir. Kullanılan LM358 işlemsel yükseltecin en yüksek besleme gerilimi 35 V'tur. Bunun için yüksek besleme gerilim değerlerine sahip, yüksek maliyetli işlemsel yükselteç kullanılabilir ancak bu devrenin maliyetini artırır. Bunun dışında tüm fark yükselticinin girişleri, gerilim bölücü ile düşürülebilir. Ancak bu, devreyi karmaşık hale getirir ve farksal olarak iki ucun gerilim değerleri arasındaki fark alınacağından gerilim bölücüleri dirençlerin mümkün olduğunca birbirine eş olması gerekmektedir.

## **16 bitlik Örnekselden (Analog) Sayısala (Dijital) Çevirici (ADS1115) Kullanarak Ölçme**

Yapılan denemelerde LM358 işlemsel yükseltecin en yüksek giriş geriliminin 35 V ile sınırlı olması ve Arduino'daki ADC'nin 10 bit çözünürlüğe sahip olması nedeniyle batarya gerilimlerini daha hassas ve doğru ölçmek için yapılan piyasa araştırması neticesinde Arduino ile uyumlu 16 bit çözünürlüğe sahip ADS1115 ADC modülünün kullanılmasına karar verilmiştir [111]. Modülün, besleme ucu (Vcc), toprak ucu (GND), adresleme ucu (ADDR), uyarma ucu (ALERT), I2C haberleşme protokolü için SerialClock (SCL) ve SerialData (SDA) uçları ile 4 adet örneksel (analog) girişi (A0, A1, A2 ve A3) olmak üzere toplam 10 adet bağlantı ucu bulunmaktadır.

Örneksel girişler 4 farklı gerilim için, tek tek ölçüm için kullanılabilirdiği gibi, A0 ile A1 ve A2 ile A3 şekilde bağlantı uçları arasında fark gerilimleri ölçüm yapacak şekilde kullanılabilir. Modülün adresleme biçimi Çizelge 3.3'te gösterilmiştir. Aynı I2C haberleşme hattı üzerinde 4 farklı ADS1115 kullanılabilir. ADS1115'in gelen sinyalleri yükseltmek için ayarlanabilir kazanç (GAIN) özelliği vardır. Ölçülecek sinyalin büyüklüğüne göre kazanç ayarlanabilir böylece daha düşük genlikli sinyaller daha hassas ölçülebilir. Örneğin en fazla 1 V çıkış gerilimi veren bir algılayıcının çıkış sinyalini ölçmek için kazanç  $\pm 1,024V$  aralığını ölçebilen GAIN\_FOUR'a ayarlanır ve bu aralıklardaki değerler 16 bit çözünürlükle ölçülür.

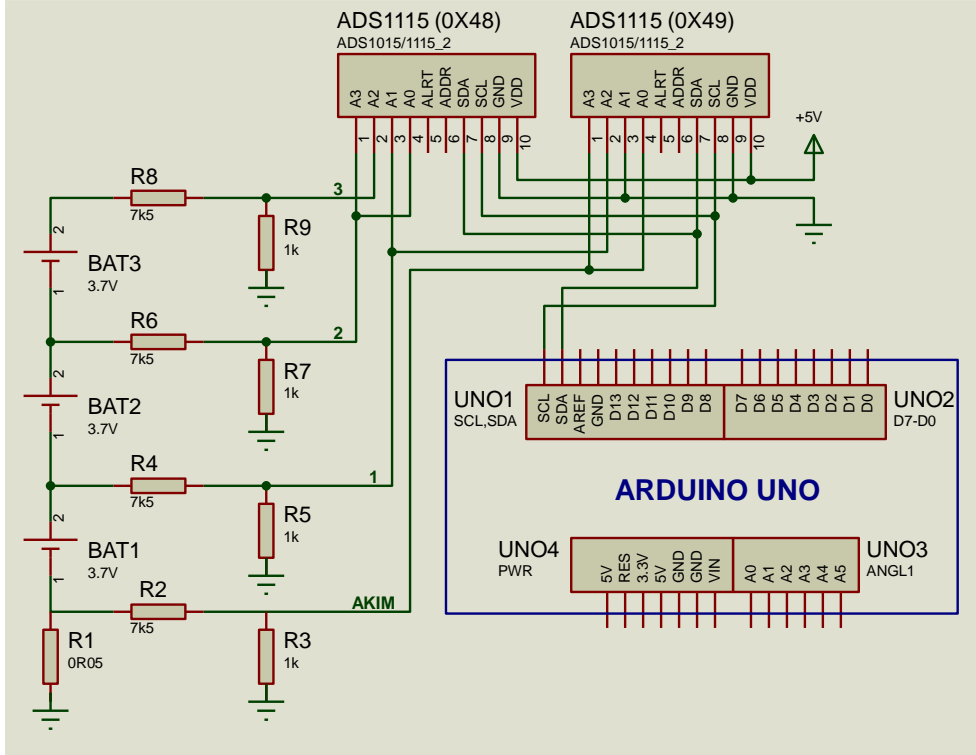
**Çizelge 3.3** ADS1115 adresleme şekilleri

<b>Adres Adı (Hex)</b>	<b>Adres Adı (Binary)</b>	<b>Adres Ucunun Bağlanacağı Yer</b>
0x48	1001000	Toprak
0x49	1001001	Besleme
0x4A	1001010	SDA
0x4B	1001011	SCL

Yapılan deneyde, 3 adet seri bağlı bataryanın doldurma/boşalma akımını, her bir bataryanın gerilimi ölçmek için Şekil 3.27'deki devre kurulmuştur. Şekildeki devrede, 2 adet ADS1115 16 bit ADC vardır. Bunlardan ADC1 (0x48 adresi ile) devreden geçen akımı ve 1. batarya gerilimini ölçmek için, ADC2 (0x49 adresi ile) ise 2. ve 3. batarya gerilimini ölçmek için kullanılmıştır.

ADS1115'in GAIN\_TWO ayarı modül,  $\pm 2,048 V$  aralığındaki gerilim değerlerini 1mV hassasiyetle ölçer. 3 seri bağlı batarya toplam gerilim değerinin  $4,5 \times 3 = 13,5 V$ 'u

aşmayacağı için gerilim bölücü direnç olarak 7,5 k ile 1 k kullanılmıştır. ( $13,5 \text{ V}/8,5=1,58 \text{ V}$ 'a) Böylece her bir bataryanın gerilimi  $1 \text{ mV} \times 8,5 = 8,5 \text{ mV}$  hassasiyetle ölçülebilmektedir.



Şekil 3.27 ADS1115 ile gerilim ve akım ölçme devresi

Bataryalardan en yüksek 2 A geçeceği düşünürse, akım ölçmeye yarayan R1 direnci üzerinde en fazla  $2000 \text{ mA} \times 0,05 \text{ ohm} = 100 \text{ mV}$  gerilim meydana gelecektir. Bu gerilim değerinin GAIN\_SIXTEEN ayarı ile 0,125 mV ile ADS1115 gerilimi ölçebilecek, gerilim bölücü ile bu değer çarpıldığında ise  $0,125 \text{ mV} \times 8,5 = 1,0625 \text{ mV}$  hassasiyetle direnç üzerindeki gerilim ölçülebilecektir. Bu durumda akım  $1,0625 \text{ mV} / 0,05 \text{ ohm} = 21,25 \text{ mA}$  hassasiyetle akım ölçülebilmektedir. Ayrıca ADC'nin hem pozitif hem de negatif gerilimi okuyabilmesi sayesinde dolma akımı artı (+) işaretle, boşalma akımı ise eksi (-) işaretle okunabilmektedir.

Sonuç olarak; tasarlanacak Batarya Yönetim Sisteminde tüm batarya gerilim (batarya, FV, yük vb.) ve akım değerlerinin ADS1115 ADC ile ölçülmesine karar verilmiştir.

### 3.2.2.2. Üç Adet Seri Bağlı Bataryalarda Dengeleme

3 adet seri bağlı LIB doldurma deneyinde toplam gerilim 12,6V'a ulaştığında bataryaların gerilimlerinin voltmetre ile ölçülmesi sonucunda, sırayla birinci batarya 4,10 V, ikinci

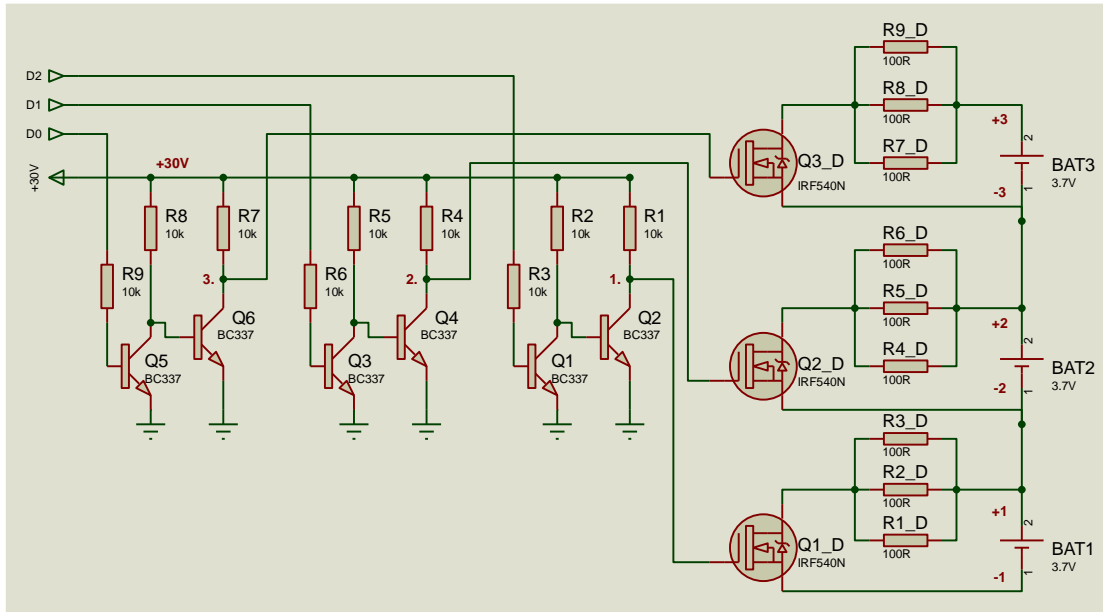
bataryanın 4,10 V civarlarında iken üçüncü bataryanın 4,30 V gibi çok yüksek gerilim değerlerine çıktığı tespit edilmiştir. Benzer problem aynı batarya grubunun boşaltılması sırasında meydana gelebileceği öngörülmüştür.

Seri bağlı 3 batarya için yapılan denemelerde; batarya grubunun toplam gerilimi, 8,25 V ( $2,75 \text{ V} \times 3$ ) olarak belirlenen boşalma alt gerilim değerine ulaştığında ve bataryaların gerilimleri voltmetre ile ölçüldüğünde; toplam gerilim alt gerilim değerine ulaştığında, 1. ve 2. bataryanın gerilimlerinin 2,60 V civarında iken, 3. bataryanın gerilimi 3,05 V olarak gözlenmiştir. Bu nedenle bataryalar arasında dengeleme yapılmasına karar verilmiş ve dengeleme için *pasif dengeleme* yöntemi seçilerek aşağıda açıklanan denemeler yapılmıştır.

Pasif dengeleme yöntemi için Şekil 3.28’de gösterilen devre kurulmuştur. Dengeleme için her bataryaya paralel biçimde, IRF540 MOSFET ve akım sınırlayıcı dirençler bağlanmıştır. Bataryalar doldurulurken herhangi biri dengeleme gerilimi seviyesine ulaştığında ilgili bataryanın MOSFET’i açılarak akım sınırlayıcı dirençler sayesinde belirlenen dengeleme akımı büyüklüğünde ve algoritma ile belirlenen süre boyunca bataryadan akım çekilmektedir. Batarya istenilen gerilime geldiğinden bu işlem durdurulur. Şekil 3.28’de gösterildiği gibi, her bir bataryaya ait MOSFETi (Q1\_D, Q2\_D, Q3\_D), kontrol etmek için BC337 tipi Q1- Q6 transistörleri ve R1- R9 dirençleri ile oluşturulan kontrol devresi tasarlanmıştır. Her batarya için, Arduino Uno’dan bir sayısal uç (D0, D1 ve D2), bataryaların kontrol devresine bağlanarak, dengeleme gerilimine ulaşan bataryanın sayısal ucu *YÜKSEK (1, HIGH)* konuma getirilmesiyle MOSFET’in açılması sağlanmıştır. Sınırın üstünde kaldığı sürece bu bataryadan, dengeleme akımı çekilmiştir. Eğer bataryanın gerilimi belirlenen eşğin altına düşerse, sayısal çıkışı *DÜŞÜK (LOW)* hale getirilerek dengeleme akımı çekilmesi durdurularak, bataryaların dolma sürecince birbiriyle eşit seviye dolması sağlanmıştır. Algoritma sayesinde bahsedilen dengeleme hem CC hem de CV aşamasına uygulanmaktadır.

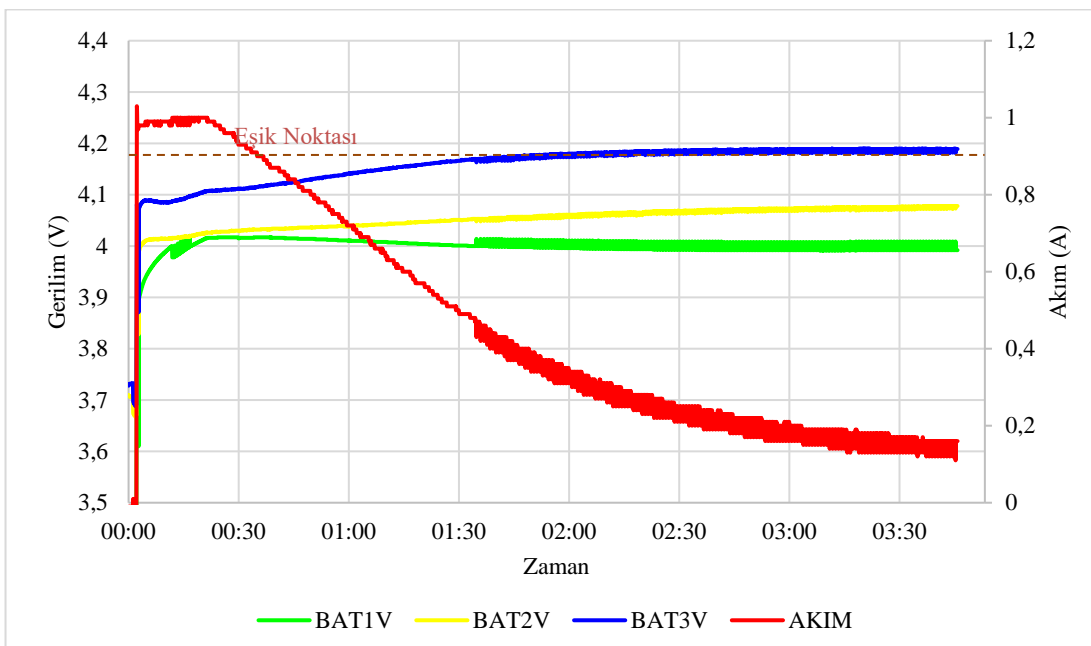
Literatür çalışmalarında, 100-200 mA seviyelerinde olduğu belirtilen dengeleme akımının sağlamak ve bu nedenle MOSFET’lerden geçen akımı sınırlamak için çeşitli direnç değerleri ile denemeler yapılmıştır. Denemeler sonucunda, her bir MOSFET’in Boşaltma (Drain) ayağına 100 ohm büyüklüğünde 3 adet direnç paralel biçimde bağlanarak, yaklaşık 127 mA ( $4,2 \text{ V} / 33,3 \text{ ohm}$ ) dengeleme akımının uygun olacağı gözlenmiştir.





Şekil 3.28 Üç adet LIB için MOSFET yardımıyla pasif dengeleme devresi

Daha önce, dengeleme olmadan doldurulan ve Şekil 3.23’de doldurma grafiği gösterilen seri bağlı 3 adet LIB’den 3cü bataryanın eşik seviye olan 4,20 V’u geçtiği belirtilmişti. Kurulan pasif dengeleme devresi ile aynı LIB’ların 1A ile doldurma deneyi yapılmış ve sonuç grafiği Şekil 3.29’da verilmiştir. Denemede bataryalar yaklaşık 20 dk. sabit akım ile doldurulduktan sonra, 3. bataryanın gerilimi diğer bataryalara göre daha hızlı artmaya başlamış, ancak dengeleme devresi sayesinde bu sefer bataryalar için kritik olan eşik seviyesini geçmesi engellenmiştir.



Şekil 3.29 Seri Bağlı 3 LIB (3 Özdeş ve Eski) Dengelemeli Dolma Eğrisi (1A)

Seri bağı 3 LIB ile yapılan denemelerde ve ölçümlerde kazanılan deneyimler sonucunda;

- Batarya gerilimlerinin, akımının ADS1115 ADC modülü ile farksal olarak ölçülmesinin,
- Sıcaklıkların (ortam ve bataryaların) DS18B20 sıcaklık ölçer kullanılarak Arduino'nun OneWire ve DallasTemperature kütüphanesini yardımı ile ölçülmesinin,
- Dengelemenin, pasif dengeleme yöntemi ile yani sabit bir dengeleme akımı ile MOSFET kontrollü aç/kapa olarak yapılmasının,
- Dolma/boşalma esnasında beklenen durum dışında bir durum geliştiğinde (bataryaların aşırı-dolma/boşalması, aşırı ısınması, aşırı-akım) sistemin LED veya Buzzer ile kullanıcıyı uyarmasının,
- Alınan gerilim, akım, sıcaklık, dengeleme durum göstere verilerinin LCD ekranında gösterilmesinin,
- Tasarlanacak olan BYS'de yukarıda bahsedilen işlemlerin yardımcı (slave) bir mikro-denetçi tarafından yapılarak, toplamış olduğu verileri değerlendirilmesi üzere ana (master) mikro-denetçiye göndermesinin,
- Veri iletiminin Seri Port kanalından yapmasının uygun olacağı değerlendirilmiştir.

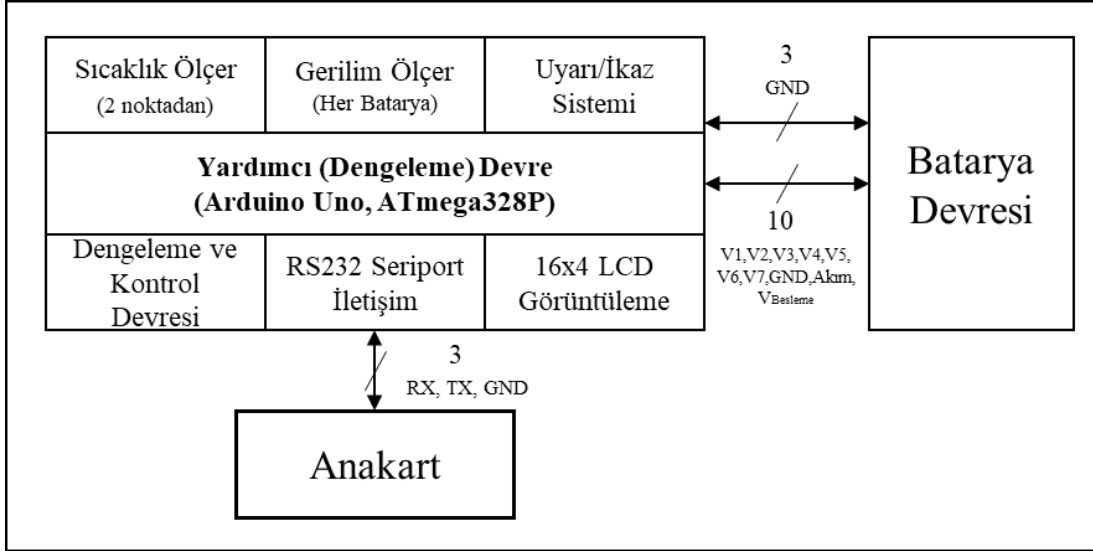
### **3.3. Batarya Yönetim Sistemi Kontrol Birimi**

“Batarya Bloğunun Büyüklüğüne Karar Verilmesi” bölümünde sistemin batarya bloğunun, 7s4p büyüklüğünde olmasına karar verilmişti. Kesim 3.2’de verilen tek LIB ve 3 adet LIB ile denemeler yapıldıktan ve elde edilen deneyimler ışığında, prototip sistemde yer alan batarya bloğuna ait BYS ve EYS için asıl devrelerin (Yardımcı devre, Batarya devresi ve Ana devre) tasarımına geçilmiştir ve izleyen kesimde bu tasarımlara yer verilmiştir.

#### **3.3.1. 7seri 4paralel Batarya Grubu Dengeleme Devresi**

Şekil 3.30’da blok diyagramı gösterilen Yardımcı Devre; seri bağı 7 bataryanın iki noktasından sıcaklık ölçme devresi, her bir bataryanın gerilim ölçme devresi, buzzer ve LED’li uyarı ikaz devresi, pasif dengeleme ve dengeleme kontrol devresi, Seri Port haberleşme devresi ve LCD ile görüntüleme devresinden oluşmaktadır. Yardımcı devreye ait devre şeması Şekil 3.31’de, baskılı devre kartı Ek-9’da verilmiştir. Şekil 3.31’de

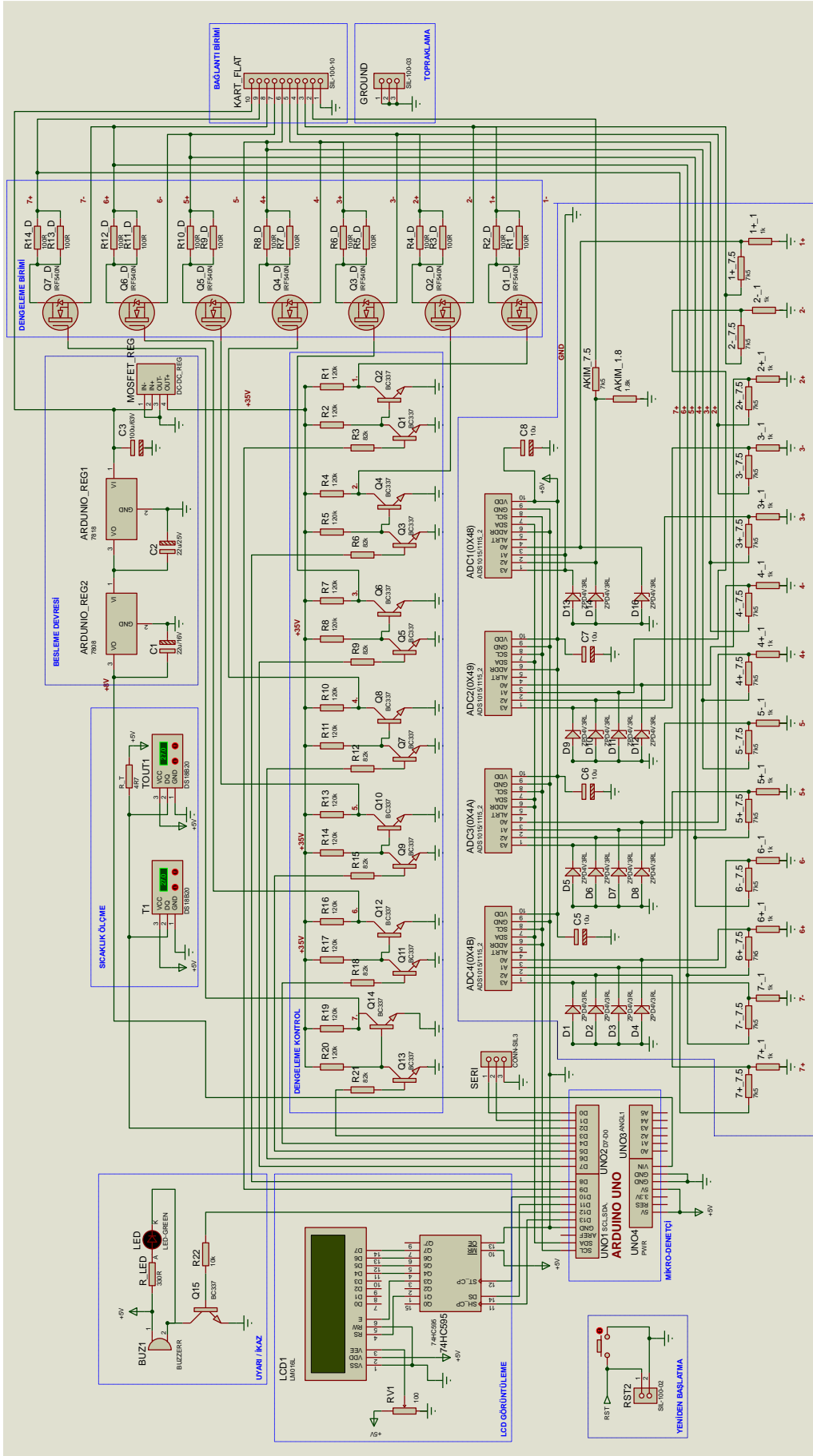
görüldüğü gibi, yardımcı devrede, Şekil 3.30’da belirtilen birimlerin yanı sıra, Arduino besleme devresi ve yeniden başlat devresi de bulunmaktadır.



Şekil 3.30 Yardımcı (Dengeleme) Devresi Blok Diyagramı

Yardımcı devrede mikro-denetçi olarak, tek batarya ve seri bağlı 3 batarya doldurma devrelerinde de kullanılan ve üzerinde ATmega328P işlemci bulunan Arduino Uno seçilmiştir ve tüm sayısal uçları (D0-D13), SCL ve SDA, 5V ile toprak uçları kullanılmıştır. Arduino Uno, 7 adet seri bağlı bataryalardan alınan gerilimin uygun gerilim düzenleyiciler vasıtasıyla (18 V’luk U1 ve 8V’luk U2) 8V’a düşürülerek beslenmiştir.

Mikro-denetçinin istenildiğinde yeniden başlatılması için tasarlanan *yeniden başlatma devresine* 4 ayaklı buton eklenmiş ve bu butonun bir ucu Arduino’nun yeniden başlatma (**Reset**) ucuna, diğer ucu ise toprağa bağlanmıştır. Diğer yardımcı devreler ile aynı anda başlatmaya ihtiyaç olduğunda RST2 bağlantısı oluşturulmuştur. Böylece diğer devrelerin mikro-denetçilerin yeniden başlatma çıkışları ve toprak hatları RST2 bağlantı sayesinde birbirine bağlanabilir ve herhangi bir kartın yeniden başlatma tuşuna basıldığında hepsi aynı anda yeniden başlatılabilir.



Şekil 3.31 Yardımcı devre şeması

Tasarlanan yardımcı devrede, geçen akım ile her bir bataryanın gerilimi, seri bağlı 3 LIB devresinde başarılı olan “16 bitlik Örnekselden Sayısala Çevirici (ADS1115) kullanılarak ölçülmüştür. 1 adet ADS111 ADC ile 2 adet farksal ölçüm yapılabilindiğinden, bu çalışmada 7’si batarya gerilimi, diğeri dolma ve boşalma akıma karşılık gelen gerilim olmak üzere 8 farksal ölçüm yapılması için toplam 4 adet ADS1115 modülü kullanılmıştır.

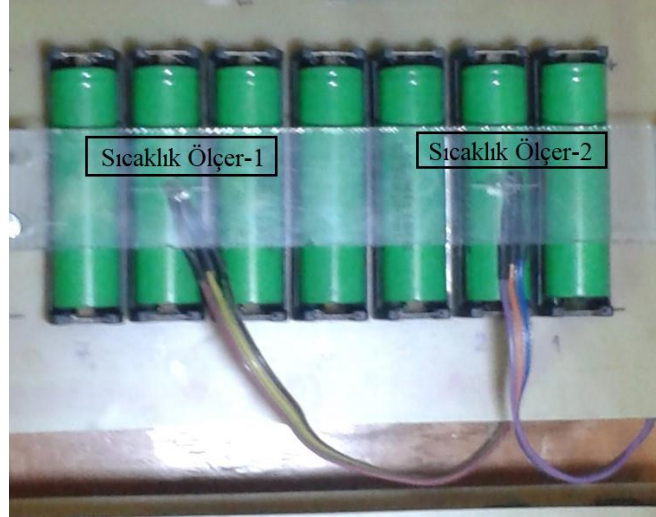
ADC’lerin ölçebildiği en yüksek gerilim 4,096V olduğundan, uygun gerilim bölücüler kullanılarak, tüm batarya gerilimleri 4,096 V’un altına düşürülmüştür. Birbirine seri bağlı bataryaların gerilimleri farksal olarak ölçüleceğinden, gerilim bölücüler için kullanılan dirençler eşdeğer alınmıştır. Seri bağlı 7 bataryanın toprağa göre diğeri uçtaki en yüksek gerilimi, tüm bataryalar dolduğunda 29,4 V olacağından, bu gerilimi 4,096’a düşürebilmek için 7,5k/1k ile yapılan gerilim bölücülerin kullanılması ADC’lerin güvenliği için yeterlidir.

Sistemde kullanılacak LG MJ1 LIB’ların kataloğunda en yüksek dolma gerilim değeri olarak 4,2±50mV olarak değer yer almaktadır. Bu nedenle gerilim değerinin 50mV’dan daha düşük hassasiyetle ölçülmesi gerekir. Tasarlanan devrede ölçüm (GAIN ONE’da her bit 0,125mV 16 bit hassasiyetle, 2mV olur gerilim bölücü katsayısı ile  $2 \times 8,5 = 17$  mV) 17mV hassasiyetle her bir bataryanın gerilimi ölçülebilmektedir.

ADS1115 modüllerinin ADC uçlarını yüksek gerilimden korumak için, her birinin ADC ucuna 4.3 V değerinde koruyucu Zener diyot (D1-D16) bağlanmıştır.

Yardımcı devre üzerinde bulunan ADS1115 ADC’ler, her bir bataryanın gerilim değerini batarya devresinden almaktadır. Yardımcı devre ile batarya devresinin toprak bağlantısı sadece 10’lu bağlantı kablosunun bir ucu ile yapılmıştır. Ancak hassas ölçüm yapan ADC’lerde, iki devre arasındaki toprak hattının ince ve uzun olmasından kaynaklanan gürültüden gerilim ölçümlerinde sapmaların meydana geldiği gözlenmiştir. Bu gürültüleri önlemek için yardımcı devre ile batarya devre arasındaki toprak hattı 10’lu bağlantı kablosunun bir ucu dışında sadece toprak hattından oluşan şekilde 3’lü bağlantı kablosu kullanılarak ADC’ler ile olan toprak hattı, **kısaltılmış** ve **kalinlaştırılmıştır**. Yapılan bu iyileştirme ile ADC’lerin batarya gerilimlerini daha doğru ölçebildiği gözlemlenmiştir.

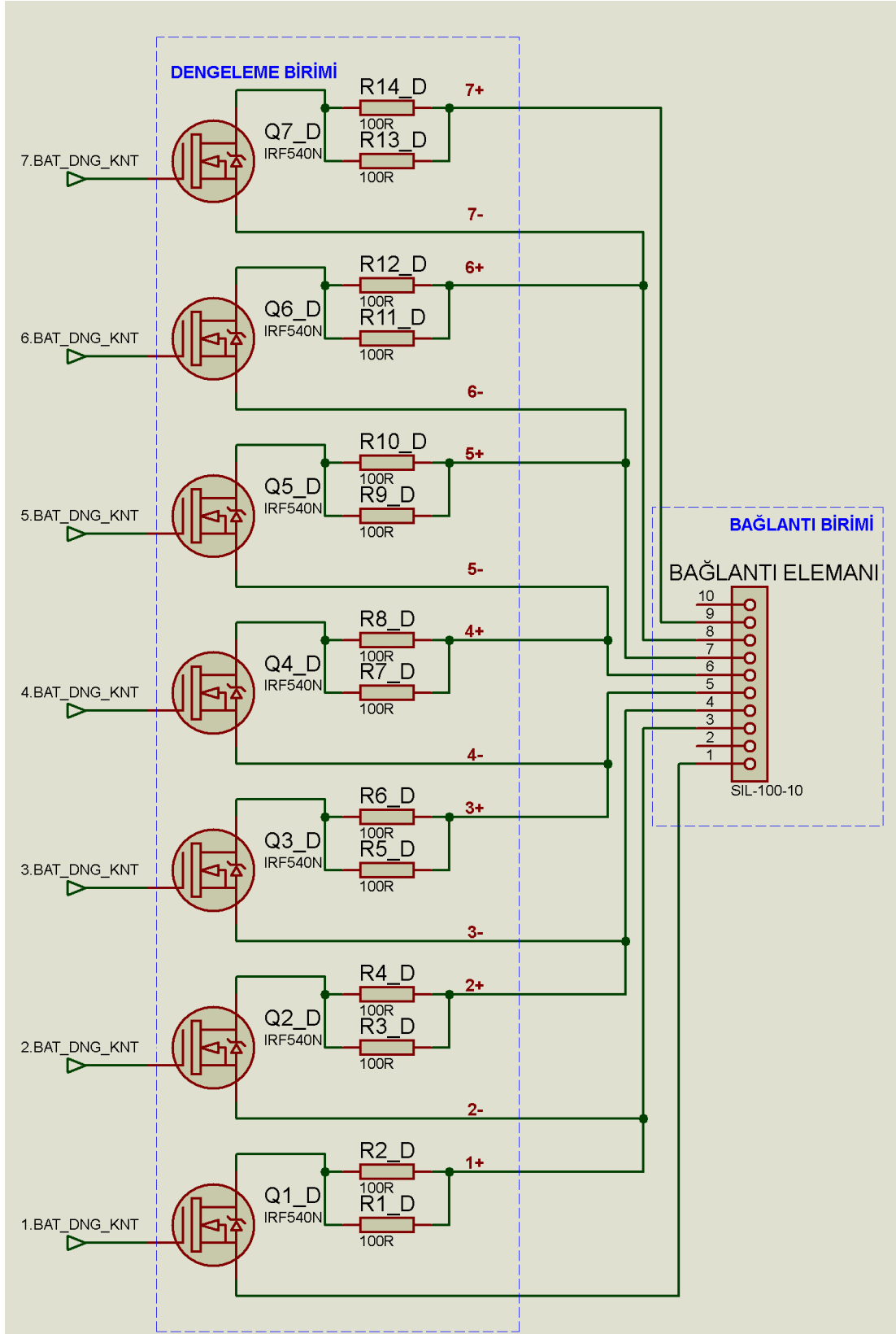
Batarya bloğundaki bataryaların sıcaklıklarındaki farklılığı gözlemlemek için, Şekil 3.31’de gösterildiği gibi, batarya bloğu üzerinde iki ölçüm noktası seçilerek bu noktalarda DS18B20 kullanılarak sıcaklık ölçümü yapılmıştır.



Şekil 3.32 Sıcaklık ölçerlerin fotoğrafı

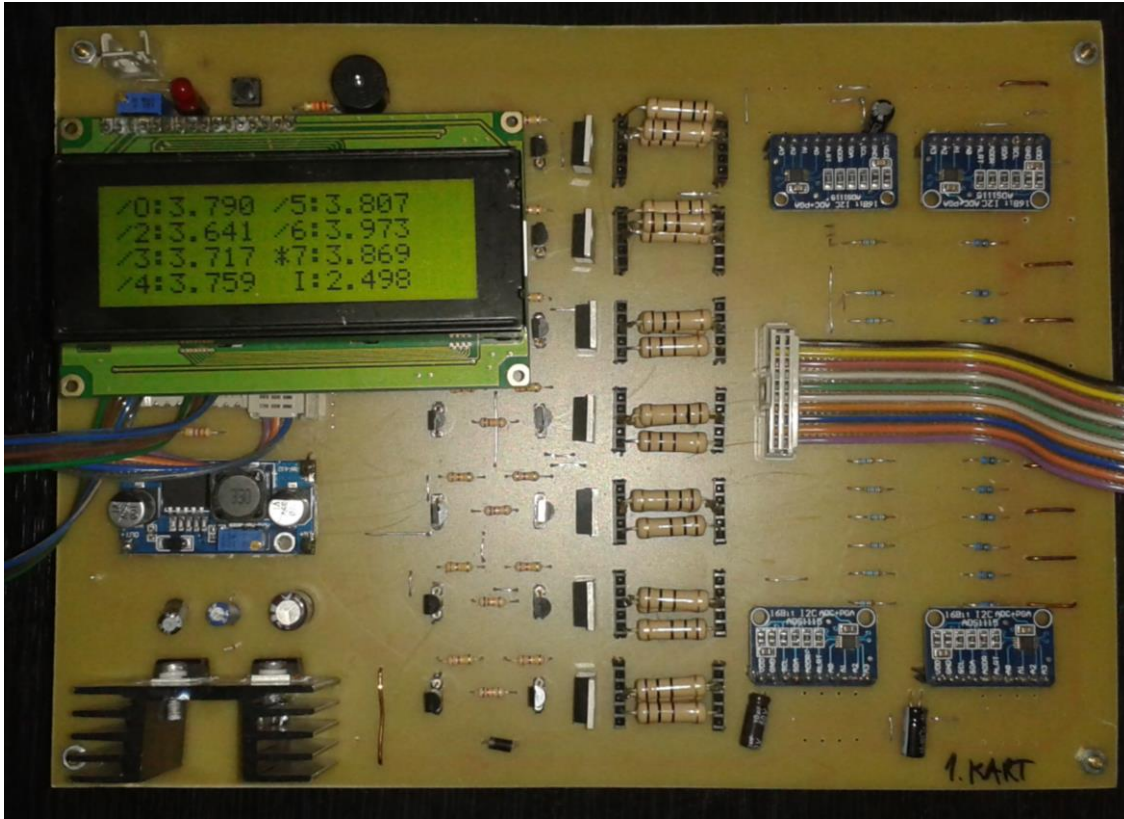
Seri bağlı 7 LIB batarya grubu için kullanılan pasif dengeleme devresi Şekil 3.33'te verilmiştir. Şekil 3.33'te de görüldüğü gibi, gerektiğinde her bir bataryadan dengeleme akımı çekebilmek için bataryalara paralel dengeleme dirençleri yerleştirilmiştir. Dengelemeyi kontrol etmek için, Şekil 3.31'de gösterilen, BC337 transistörlerinden ve uygun dirençlerden oluşan her bir LIB için dengeleme kontrol devresi ile MOSFET kullanılmıştır. Kesim 3.2.2'de açıklandığı gibi, doldurma esnasında bataryalardan herhangi biri belirlenen sınır değerini aştığında sayısal çıkışlardan YÜKSEK (1, HIGH) sinyali dengeleme kontrol devresine gönderilmekte, algoritma ile belirlenen bir süre o bataryadan belirlenen büyüklükte akım çekilmektedir. Tüm batarya gerilimleri aynı sınır değere yaklaşık olarak 4,20 V'a geldiğinde dengeleme işlemine son verilmektedir. Dengeleme kontrol devresinin düşük güç tüketmesi için BC337 in direnç değerleri, 120k ve 82k olacak şekilde devreye yerleştirilmiştir.

Dengeleme esnasında IRF540 MOSFET'in iletme geçmesi için Kapı (Gate) - Kaynak (Source) arası gerilim değeri farkının ( $V_{GS}$ ) en az 5 V olması gerekir. Seri bağlı batarya bloğunda devredeki en yüksek gerilim değeri (29,4V) 7. bataryanın (+) ucundadır. Bu nedenle 7. bataryaya bağlı MOSFET'in Kapı (Gate) ucuna uygulanması gereken gerilim bu değer üstünde olmalıdır. Bu amaçla, kontrol devresi için batarya bloğundan alınan gerilimi 35 V'a çıkartmak için, gerilim yükseltici XL6009 entegre devresi kullanılmış ve böylece batarya bloğundan alınan gerilim sabit olacak şekilde 35 V'a ayarlanmıştır.



Şekil 3.33 Seri bağlı 7 batarya dengeleme devresi

Yardımcı devrenin, *her bataryanın gerilimini, dolma/boşalma akımını, 2 ayrı bölgedeki sıcaklık değerlerini ve dengeleme durumlarını* Ana (Master) devreye aktarması için Seri Port iletişim kanalı kullanılmıştır. Yardımcı devreden çıkan Seri Port bağlantı uçları [bilgi aktarma ucu (TX), bilgi alma ucu (RX) ve toprak (ground) ucu], ana devredeki karşılıklarına takılmıştır. Yazılan algoritma sayesinde, Seri Port ile ana devreden gönderilen bir mesaj, ilgili yardımcı devreyi kesmeye sokmakta ve yardımcı devrenin ölçtüğü tüm verileri ana devreye göndermektedir. Gönderme işlemi sona erdikten sonra yardımcı devre tekrar kendi programına devam etmektedir.



Şekil 3.34 Yardımcı devre fotoğrafı

Tasarlanan Yardımcı Kartın çalışma esnasındaki fotoğrafı Şekil 3.34'te gösterilmiştir. Şekil 3.34'te görüldüğü üzere, yardımcı devre, ölçülen her bir bataryanın gerilimini, bloğun dolma/boşalma akımını, 2 noktadaki sıcaklık değerlerini ve bataryaların dengeleme durumunu (aktif/pasif) kullanıcının kontrol etmesi amacıyla LCD ekrana verecek şekilde tasarlanmıştır. LCD olarak bu kesimde, 20x4 karakterli ekran kullanılmıştır. Normalde LCD ekranın Arduino ile bağlantısında 6 sayısal bağlantı ucu kullanılır. Ancak Arduino'nun sayısal uçları kısıtlı olduğu için 74HC595 kayan yazmaç/kayıtçı (shift register) kullanılmış ve böylece 3 adet sayısal uç ile LCD kontrol edilebilmiştir. LCD ekranın yanı sıra, aşırı dolma/boşalma, aşırı sıcaklık artışı,



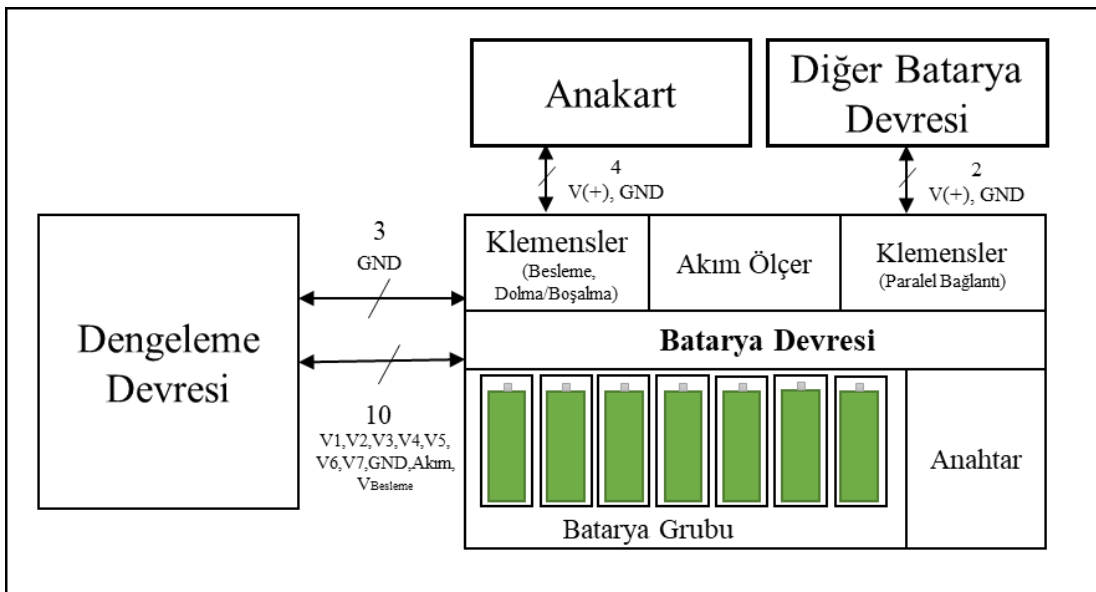
temassızlık vb. istenilmeyen durumlar meydana geldiğinde kullanıcıyı uyarması için bir adet sayısal uca sesli uyarı cihazı (buzzer) ve LED bağlanmıştır. Algoritma sayesinde bataryalardan biri 2,75 V altına / 4,20 V'un üstüne çıktığında, sıcaklık istenilen aralıklarda olmadığında (Dolarken 0 - 45 °C, Boşalırken -20 - 60 °C), belirlenen dolma/boşalma akımlarından daha büyük akımlar değerlerine çıktığında kullanıcı sesli ve görüntülü uyarılır.

### 3.3.2. Seri Bağlı 7 LIB için Batarya Devre Tasarımı

Batarya devresi, seri bağlı 7 adet 18650 LIB'i sabit bir biçimde tutup batarya grubunun oluşmasını sağlayan "pil yuvası" işlevi görmekle birlikte, Şekil 3.35'te görüldüğü gibi,

- Gerekliğinde bataryaları, bir anahtar ile devreden ayrılabilen,
- Bataryaların üzerinden geçen akımı ölçmek için ACS712 akım ölçeri besleyen ve bu akım ölçer ile batarya grubuna giren/çıkan akımı ölçen,
- Bataryalar bilgileri (gerilim, akım) uygun bağlantı elemanı ile yardımcı devreye aktarır, dengeleme için yardımcı devre ile gerekli olan bağlantıyı sağlayan,
- Kapasiteyi artırmak için diğer batarya devrelerine paralel olarak bağlanabilen,
- Bağlı olduğu yardımcı devreyi besleyen ve koruma diyotu (D1) ile onu koruyan
- İstenildiğinde ana devreyi besleyen

çok amaçlı bir devredir.



Şekil 3.35 Batarya Devresi Blok Diyagramı

Şekil 3.36'da Seri Bağlı 7 LIB için Batarya Devresinin devre şeması gösterilmektedir. Devrenin baskılı devre kartı Ek-10'da verilmiştir. Devre şemasında görüldüğü gibi, batarya devresinin diğer batarya devreleri ile paralel olarak bağlanabilmesi için, J3 ve J4 tak-çıkart geçmeli klemensleri bulunur. J5 klemensi ise ana devreyi batarya bloğu üzerinden beslemek için eklenmiştir. Paralel bağlı 4 batarya devresinden sadece birinden anakart beslenmiştir dolayısıyla sadece bir devreden bu bağlantı yapılmıştır.

Yapılan denemelerde batarya devresine giren/çıkan akımın ölçülmesinde, manyetik alan etkili (hall-effect) ACS712 akım ölçer (en yüksek 5 A) kullanılmıştır. Batarya devresinden; dolma/boşlama akımının 5A'ı geçmeyeceği ve çift taraflı (dolma/boşalma) ölçüme ihtiyaç olduğu için akım ölçer olarak bu özelliklere sahip ACS712ELC-5B kullanılmıştır. Bu tip akım-ölçer 5A'e kadar, 180-190 mV/A aralığında ölçüm hassasiyeti, %1,5 hata toleransı ile çift yönlü olarak üstünden geçen akımı ölçebilmektedir.

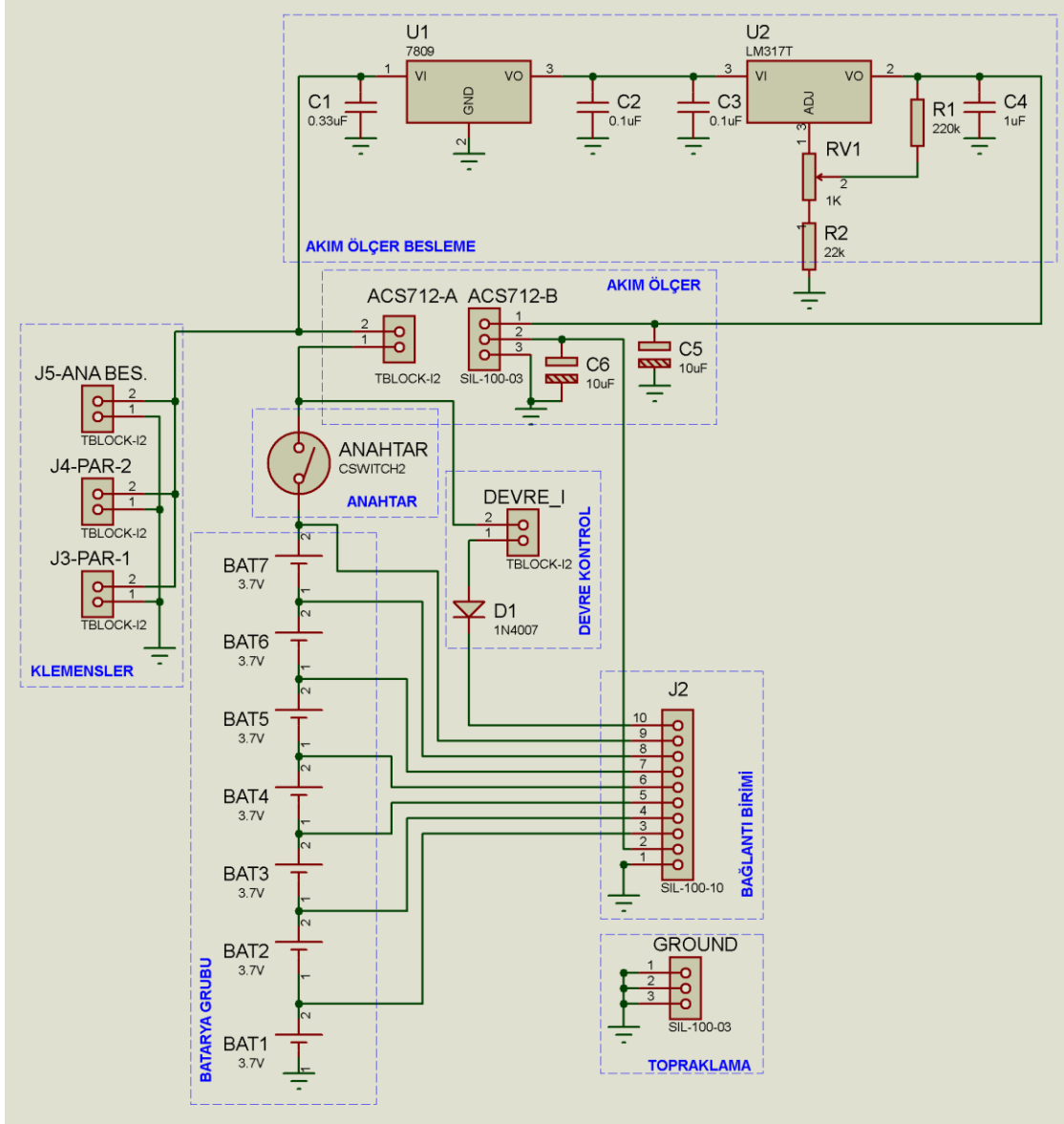
Şekil 3.36'da, ACS712-A ile akım ölçerin yüksek akım geçen tarafının bağlantıları, ACS-712-B ile ise besleme, toprak ve çıkış gerilimleri gösterilmektedir. Çıkış gerilimi, dengeleme devresine gönderilerek ADS1115 ile hassas biçimde ölçmesi sağlanmıştır.

ACS712 akım ölçerin hassas bir biçimde akımı ölçebilmesi ve bağlantı uçları arasında direnç, gürültü vb. etkenlerden etkilenmemesi için akım ölçerin yüksek akım uçları doğrudan karta lehimlenmiştir. Akımın doğru biçimde ölçülebilmesi için akım ölçerin besleme geriliminin kararlı olması gerekir ve bu algılayıcıların 4,65 V ile beslendiğinde oldukça kararlı çalıştığı tespit edilmiştir. Devreye yerleştirilen akım ölçer, U1 ve U2 (LM7809 ve LM317) gerilim düzenleyicileri ve sığaçlar (C1, C2, C3, C4) ile besleme gerilimi 4,65 V olacak şekilde (batarya bloğundan) beslenmiştir.

Batarya devresinde yer alan ve Şekil 3.36'da bağlantı birimi olarak gösterilen *J2 10'lu bağlantı elemanı*;

- her bir batarya geriliminin yardımcı devre tarafından okunması,
- dengeleme için gerektiğinde bu bataryalardan dengeleme akımı çekilmesi,
- yardımcı devresinin beslenmesi,
- akım ölçerin üzerinden geçen akıma bağlı olarak oluşan gerilim değerinin gönderilmesi

amacıyla kullanılmıştır.



Şekil 3.36 Batarya Devresi Devre Şeması

Şekil 3.36’da görüldüğü gibi J2’in toprak bağlantı ucuyla yardımcı devre ile batarya devresinin toprak bağlantısı sağlanmış olsa da yardımcı devrede yer alan ADC’lerin, gerilimleri (batarya ve akıma bağlı gerilimleri) daha doğru ve hassas ölçebilmesi için batarya devresi ile yardımcı devresi toprak bağlantı hatları kalınlaştırılmıştır. İki devre arasındaki toprak bağlantısı, 3’lü klemens ile güçlendirilmiş böylece yardımcı devredeki gerilim ölçerlerin gerilimleri daha doğru okuduğu gözlemlenmiştir.

Yardımcı kart, kendi batarya devresinden beslendiğinden, bu besleme esnasında bataryaları ters akımdan ve devreyi olası zararlardan korumak için besleme hattına D1 diyotu bağlanmıştır. Ayrıca gerektiğinde bu iki devrenin beslemesini kesmek için devreye J1 çift kontak anahtar yerleştirilmiştir (Şekil 3.36).

Akım ölçümü ve SoC hesaplamalarında kullanılmak üzere batarya kartının bağlı olduğu yardımcı devrenin çektiği akımın ölçülebilmesi için, ampermetrenin bağlanmasını kolaylaştırmak amacıyla, devreye DEVRE\_I olarak adlandırılan klemens yerleştirilmiştir (Şekil 3.36). Tasarlanan Batarya Devresinin gerekli monte işlemleri yapılmış çalışır durumda iken fotoğrafı Şekil 3.37’de gösterilmiştir.



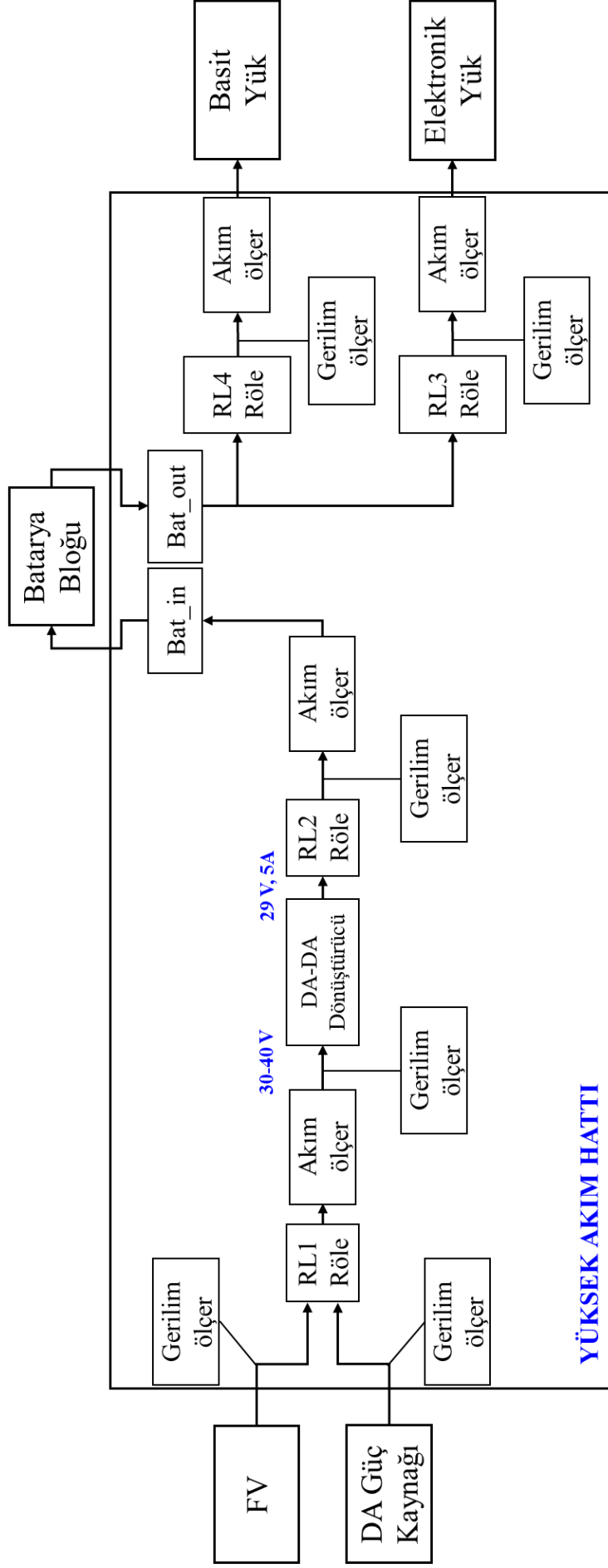
Şekil 3.37 Batarya devresinin fotoğrafı

### 3.3.3. Ana Devrenin Tasarımı

Bu kesimin girişinde açıklandığı gibi, Batarya Yönetim Sistemi ve Enerji Yönetim Sistemi (EYS) içeren ana devre.

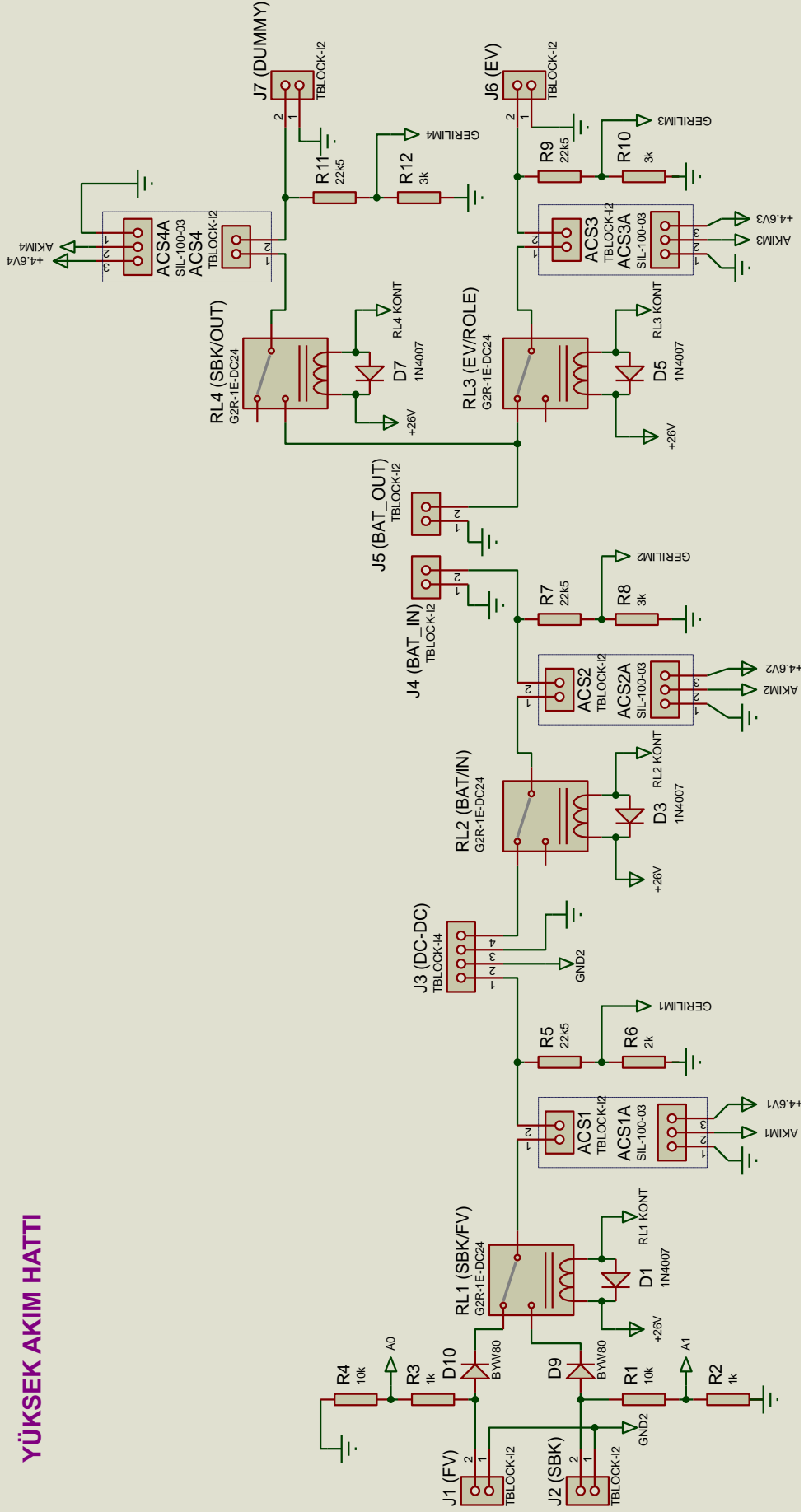
- dolma/boşalma akımının geçtiği *yüksek akım tarafı*,
- veri akışı ve kontrolünün gerçekleştiği *düşük akım tarafı*

olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Ana devrenin bütünü içeren Baskılı Devre Kartı Ek-11’de, Ana devrenin yüksek akım tarafının blok diyagramı Şekil 3.38, devre şeması Şekil 3.39’da, düşük akım tarafının devre şeması Şekil 3.40’ta verilmiştir.



Şekil 3.38 Ana Devre Yüksek Akım Tarafı Blok Diyagramı

## YÜKSEK AKIM HATTI



Şekil 3.39 Ana Devre Yüksek Akım Tarafı Devre Şeması

Şekil 3.38 ve Şekil 3.39’da görüldüğü gibi, *ana devrenin yüksek akım* tarafında;

**J1**; FV panellerin bağlandığı ucu,

**J2**; şebekeden alışı temsilen tasarlanan DA güç kaynağının bağlandığı ucu,

**D9 ve D10**; her iki kaynak için ters akım koruma diyotlarını,

**RL1**; hangi kaynaktan (FV veya DA güç kaynağı) enerji alınacağına karar veren için mikro-denetçi kontrollü rölesini,

**ACS(1)**; FV/DA güç kaynağı (*şebekeden alışı*) alınan toplam gücü (akım ve gerilim) belirlemek için akım ölçeri,

**R3 ve R4**; FV/DA güç kaynağı (*şebekeden alışı*) alınan toplam gücü (akım ve gerilim) belirlemek için gerilim bölücü dirençleri,

**J3**; CC-CV dolma yöntemi ile bataryaları doldurmak için 300W doldurma cihazının bağlandığı ucu,

**RL2**; acil durumda bataryaların dolumunu durdurmak için mikro-denetçi kontrollü röleyi,

**ACS(2)**; bataryalara giren toplam gücü (akım ve gerilim) belirlemek için akım ölçeri,

**R5 ve R6**; bataryalara giren toplam gücü (akım ve gerilim) belirlemek için gerilim bölücü dirençleri,

**J4 ve J5**; batarya bloğuna giriş ve çıkış uçlarını,

**RL3**; ev yüküne giden akımı gerektiğinde kesmek için mikro-denetçi kontrollü röleyi,

**ACS(3)**; ev yükünün çektiği gücün belirlenmesi için akım ölçeri,

**R7 ve R8**; ev yükünün çektiği gücün belirlenmesi için gerilim bölücü dirençleri,

**J6**;ev gibi davranan programlanabilir yük için bağlantı ucunu,

**RL4**; fazla enerjinin basit yükte harcanmasının (*şebekeye aktarılan enerjiyi temsilen*) kontrolü için mikro-denetçi kontrollü röleyi,

**ACS(4)**; basit yükte harcanan gücün büyüklüğünün belirlemek için akım ölçeri,

**R9 ve R10**; basit yükte harcanan gücün büyüklüğünün belirlemek için gerilim bölücü dirençleri,

**J7**; şebekeye satış gibi davranan basit yük için bağlantı ucunu göstermektedir.

Yukarıda bahsedilen ve Şekil 3.39'da gösterilen hattan ve devre elemanları üzerinden en yüksek 8 A geçeceği düşünülerek devre elemanlarının seçimi yapılmıştır. Buna göre;

**Geçmeli Klemensler:** Devrede birimler arası bağlantı için kullanılan tüm klemensler (J1, J2, J4, J5, J6 ve J7), 2 uçlu 5,08mm geçmeli tak-çıkart klemensdir. Bu klemenslerin temas direnci ortalama 20 mΩ olup, 15 A ve 300 V'a kadar düzgün biçimde çalışabilirler.

**Röleler:** RL1, RL2, RL3, RL4 için 24 VDC, 8 A, RSB2A080BD, Genel Amaçlı Röle, RSB Serisi rölelerden seçilmiş, rölelerin mikro-denetçi ile sayısal kontrolünün sağlanması için BC237 transistörlü devreler kullanılmıştır.

- RL1, enerjinin FV ya da şebekeden alınacağına karar vermek için her iki NC/NO bağlantı ucu ilgili enerji kaynağı için kullanılmıştır. Normalde kapalı (NC) durumunda FV'den, normalde açık (NO) durumda ise DA güç kaynağından olacak şekilde röle bağlantıları yapılmıştır.
- RL2'i doldurma işleminin durdurulacağı acil durumlarda açılacağı için normal şartlarda NC ucundan doldurma cihazına bağlıdır: İstenmeyen bir durumda röle, NO konumuna getirilerek doldurma işlemi sonlandırılır.
- RL3 sadece batarya kapasitesi beklenmedik kritik boşalma seviyesinin altına düştüğünde yük ile batarya bloğu bağlantısını keseceği zaman kullanılacağından normal şartlarda NC ucundan yüke bağlıdır. Bataryalar ile yükün bağlantısı kesilmek istendiğinde röle, NO konumuna getirilir.
- RL4 ise enerji arz fazlası olduğunda bataryalardan güç çekeceği için normal şartlarda NO ile basit yüke bağlıdır. Fazla enerji üretildiği zaman röle sayesinde bataryalar ile basit yük arasında bağlantı sağlanarak-fazla enerji bu yük üzerinde harcanacaktır.

Hat üzerinden geçen akımları ölçmek için batarya devresinde olduğu gibi çift yönlü ACS712ELC-5B akım ölçer değil, tek yönlü ACS712ELC-30A akım ölçer modülü kullanılmıştır. ACS712ELC-30A, 30A'e kadar üzerinden geçen akımı 126-138 mV/A hassasiyet ile tek yönlü olarak ölçebilmektedir. Tek yönlü olduğundan akım ölçerler devreye monte edilirken yönlerine dikkat edilmiştir. Ayrıca direnci azaltmak için klemensle bağlantı yapmak yerine akım ölçerler doğrudan karta lehimlenmiştir.

Ana devrenin, enerji/güç hesaplamalarını yapabilmesi ve enerjiyi yönetebilmesi için belirlenen noktadaki gerilimleri, uygun gerilim bölücüler kullanılarak ölçülmektedir.

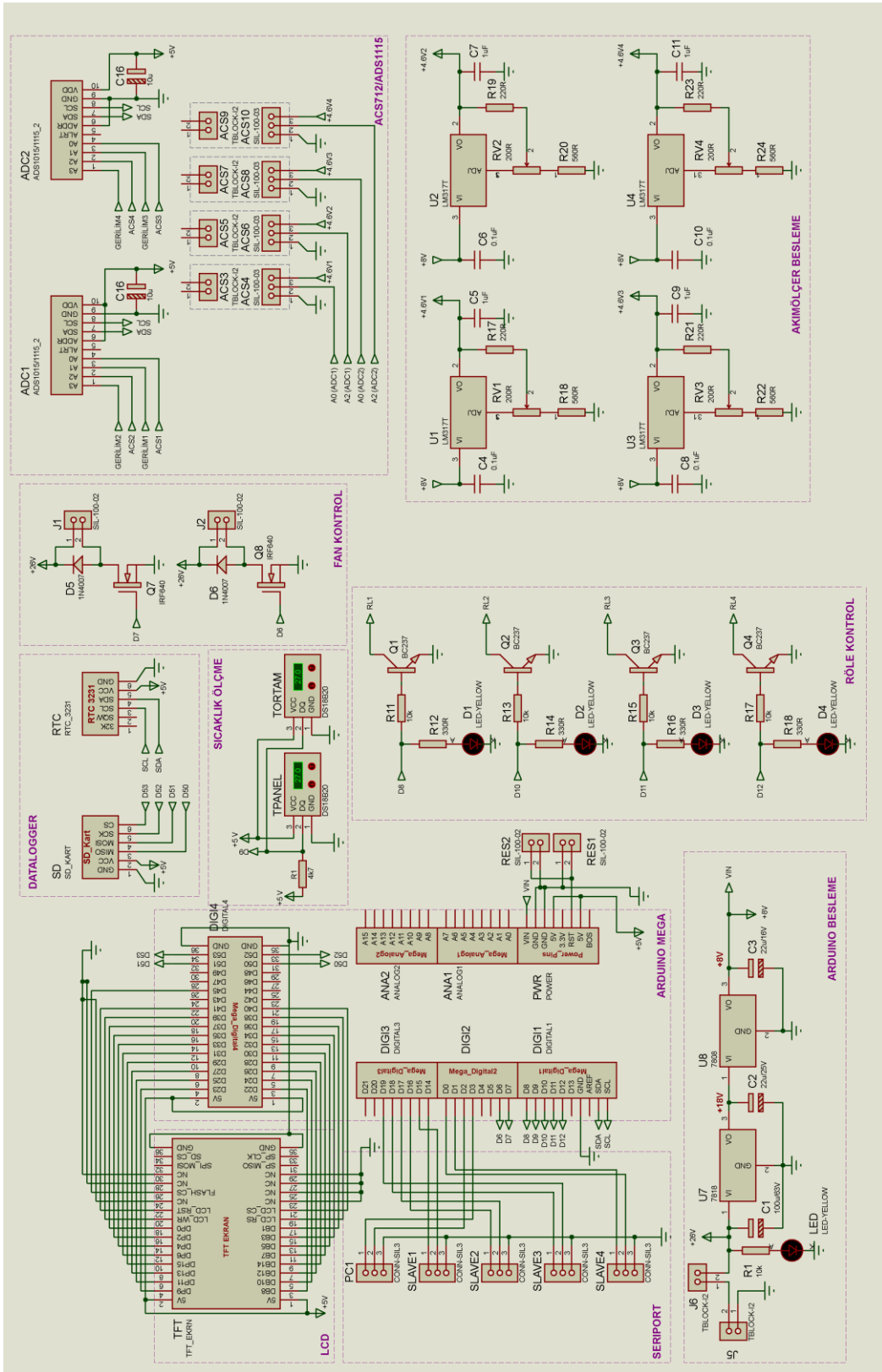


FV sistem ve şebekeden enerji alışıını temsil eden DA güç kaynağı için en yüksek geriliminin 48 V, batarya ve yük tarafında ise en yüksek gerilim 34 V olabileceği ve ADS1115'in gerilim okuma üst limitinin 4,096 V olduğu düşünüldüğünde, FV ve DA güç kaynağı tarafındaki gerilim bölücü oranının en az 1/11, batarya ve yük tarafında ise 1/8 olması gerekir. Bu durumda DA güç kaynağı ve FV gerilimleri için R1, R2 ile R3, R4 (10k, 1k) gerilim bölücü dirençleri, batarya, yük ve DA basit yük (*şebekeye enerji aktarımı*) gerilimlerini ölçmek içinse R5, R6; R7, R8; R9, R10, R11, R12 gerilim bölücü dirençler kullanılmıştır. Uygun gerilim bölücü dirençler Şekil 3.39'da gösterilmiştir (22,5k ve 3k, 2k). Devrenin çektiği akımı azaltmak dolayısıyla enerji kaybını önlemek için olabildiğince büyük değerli ve hassas ölçüm yapılabilmesi için hata oranı düşük dirençler sıcaklıkla değişimleri az olan, tolerans %1 metal film dirençler kullanılmıştır.

Bataryaların CC-CV dolma yöntemi ile dolmasını sağlamak için, üzerinde sabit akım ve sabit gerilim ayarı bulunan 300 W doldurma modülü kullanılmıştır.

- Sistemin 4 adet 7 seri bağlı LIB'den oluşan batarya modülleri dolduracağı ve her bir batarya modülü için dolma akımın 1,5 A olması gerektiği düşünüldüğünde toplam batarya bloğu için sabit en yüksek dolma akımı  $(1,5 \text{ A} \times 4 = 6 \text{ A})$  6 A'e,
- Her bir bataryanın 4,20 V olan dolma üst gerilimi düşünüldüğünde ise seri bağlı 7 batarya modülleri için, en yüksek dolma gerilimi 29,4 V'a ayarlanmıştır.

*Ana devrenin düşük akım* tarafında (Şekil 3.40), *mikro-denetçi olarak* devrede ATmega2560 mikro-denetçi içeren Arduino Mega 2560 kullanılmıştır. Arduino Mega'da 54 adet sayısal giriş / çıkış ucu vardır. Bu uçlardan 15 tanesi AGM çıkışı olarak kullanılabilir. Sayısal uçların dışında Arduino Megada, 16 adet örnek sel giriş, 4 UART donanımsal Seri Port, USB bağlantısı, güç bağlantı ucu (2,1mm), ICSP bağlantısı ve yeniden başlatma düğmesi bulunmaktadır. Arduino Mega 2560'ın teknik özellikleri Ek-12'de verilmiştir. Ana devrede yer alan mikro-denetçiyi (Arduino Mega) batarya bloğundan 7-12 V arası gerilim ile beslemek için, devreye J5 bağlantı ucu eklenmiştir. Batarya bloğundan 26 V civarlarında gelen gerilim, U7 (18V) ve U8 (8V) aracılığıyla 8 V'a düşürülerek Arduino Mega'nın besleme ucuna ( $V_{in}$ ) bağlanmıştır. Devrenin batarya bloğundan çektiği akımı ölçmek için, J6 bağlantı ucu devreye yerleştirilmiştir. Yapılan ölçümlerde devrenin 300-450 mA çektiği gözlenmiştir. U7 ve U8 tümleşik devreleri üzerinde açığa çıkan ısı uygun soğutucu ile dağıtılmıştır. Ayrıca soğutucu metalin üzerine bir adet 24 V soğutucu fan yerleştirilmiştir.



Şekil 3.40 Ana Devre Düşük Akım Tarafı Devre Şeması

*Ultra HD 320x480 renkli LDC Ekran*, ana devrede, tüm yardımcı devrelerden gönderilen her bir bataryanın gerilimi ve dengeleme durumu, bloklardaki batarya sıcaklıkları, toplam gerilimleri ve dolma/boşalma akımlarının yanı sıra ana devre tarafından ölçülen ve hesaplanan gerilim, akım ve güç değerleri, SoC ve ortam sıcaklığı verilerinin ayrıca enerji yönetim aşamalarının da gösterildiği yüksek kalite 320x480 çözünürlüğe sahip renkli 3,2 inç LCD yer alır.

Tüm sistemin aynı anda başlatılabilmesini sağlamak amacıyla Arduino Meganın yeniden başlatma bağlantı ucu için RES1, devrenin diğer yardımcı devrelerin RES uçlarına bağlanması için RES2 bağlantı ucu yerleştirilmiştir. Söz konusu bağlantı ile ana devrenin RESET ucu, yardımcı devrenin RESET uçları birbirine bağlanır. Böylece ana devre üzerindeki yeniden başlatma tuşuna basıldığında tüm sistem aynı anda yeniden başlatılabilir.

*Yardımcı Devreler ve PC ile Seri Port Haberleşme Bağlantıları* Şekil 3.40'ta gösterildiği gibi, Arduino Mega'nın 4 adet Seri Port SERIAL1, SERIAL2, SERIAL3, SERIAL4 donanımsal Seri Port, ana devrenin yardımcı devreler ile veri alış-verişi yapabilmesi için kullanılmıştır. Veri alış-verişi çift yönlüdür. Algoritma sayesinde ana devre tüm kartlara sırasıyla veri gönderir ve onları kesmeye sokar (interrupt). Kesmeye giren yardımcı devre tüm bilgileri ana devreye aktarır ve söz konusu yardımcı devre ile veri alış-verişi sona erer. Bir sonraki yardımcı devreye geçilir.

Bunlara ilave olarak ana devrenin istendiğinde ölçmüş olduğu bilgileri Seri Port üzerinden herhangi bir bilgisayara aktarabilmesi için PC sanal Seri Port oluşturulmuştur. Bu hat sayesinde istenildiğinde ölçülen veriler bilgisayara aktarılabilmektedir.

*Akım Ölçerleri Besleme*; yüksek akım kısmında anlatıldığı gibi devrede 4 adet akım ölçer bulunmaktadır. Bu akım-ölçerlerin düzgün bir şekilde çalışabilmesi için uygun gerilime (4.65 V) ihtiyaç duyduğu daha önce batarya devresinde belirtilmişti.

Arduino Mega'nın beslemesi için batarya bloğundan alınan gerilim uygun gerilim düzenleyicilerle 8 V'a düşürülmüştür. 8 V, akım ölçer için en uygun besleme gerilimin değeri olan 4,65 V'a ayarlanması için her bir akım ölçere yönelik olarak LM317 U1, U2, U3, U4 gerilim düzenleyiciler, dirençler, ayarlı dirençler ve sığaçlar devreye yerleştirilmiştir. Böylece tüm akımölçerler birbirinden etkilenmeden 4,65 V ile beslenmiştir.

*Gerilim ve Akım Ölçme;* akımölçerlerin üzerinden akım geçtiğinde çıkış ucunda oluşan gerilimleri ve yüksek akım tarafında anlatılan gerilim bölücülerdeki gerilimleri okumak için ADS1115 ADC modül kullanılarak ana devre, yüksek akım bölümündeki tüm devre elemanlarının akım ve gerilim değerleri hesaplayabilecek ve bunları enerji yönetim sisteminde kullanabilecektir. Gerilimleri ölçmek için 16 bitlik “ADC olan 2 adet ADS1115, tek uçlu (single-ended) ölçüm yöntemi ile kullanılmıştır. Böylece 8 farklı noktanın gerilim değerleri ölçülebilmektedir. Bunlardan 4’ü gerilim ölçümü için, 4’ü ise akım ölçümü için kullanılmıştır. Akımölçerler olarak, tek taraflı 30 A’e kadar akım ölçebilen ACS712ELCTR-30A-T kullanılmıştır. Söz konusu akım ölçerlerin hassasiyeti 130 mV/A’dır. Bu durumda 1mV’a karşılık gelen akım çözünürlüğü 7,69 mA’dır (1000 mA/130 mV  $\cong$  7,69 mA/mV). Ana devrede gerilim ölçmek için kullanılan ADS1115, 0,5 mV hassasiyetle gerilim ölçebilmektedir (GAIN\_ONE). Bu durumda kullanılan akım ölçerlerin hassasiyeti  $7,69/2= 3,845$  mA’e düşer.

*Soğutucu Fan Kontrol Devresi;* Ana devrenin yüksek akım bölümünde batarya bloklarını dolduran DA-DA doldurma cihazının ayarlanabilir en yüksek çıkış akımı 8A’dır. Cihazın üzerinde 2 adet metal soğutucu bulunur ancak katalog değerlerinde soğutucu metallerin sıcaklığı 65°C üzerine çıkması durumunda ilave olarak soğutucu fan takılması tavsiye edilir.

Kullanılan doldurma cihazı, batarya bloklarının en yüksek 6A ile dolduracak şekilde ayarlanmış ve 6A ile dolum denemelerinde, soğutucu sıcaklığının 65°C’nin üzerine çıktığı tespit edilmiştir. Bunun üzerinde, doldurma cihazındaki soğutucu metallerinin üzerine 24V fan takılmıştır.

Şekil 3.40’ta kontrol devresinde de verilen bu fan, batarya bloklarından FAN1 bağlantı ucu vasıtasıyla beslenmiştir. Batarya bloğundan gereksiz fazla enerji çekilmesini engellemek için Şekil 3.41’de gösterildiği gibi AGM özelliği olan D7 sayısal çıkışlı kontrollü MOSFET devresi kurulmuştur. Bu sayede doldurma cihazının üzerinden geçen akımın büyüklüğü ile orantılı olacak şekilde fan hızı ayarlanmıştır. Diğer bir deyişle, doldurma işlemi düşük akımla yapılırken doldurma devresi daha az ısınacak ve fan onu soğutmaya yetecek kadar hızda çalışacak, doldurma akımı yükseldiğinde fan da onunla birlikte hızlanacaktır.

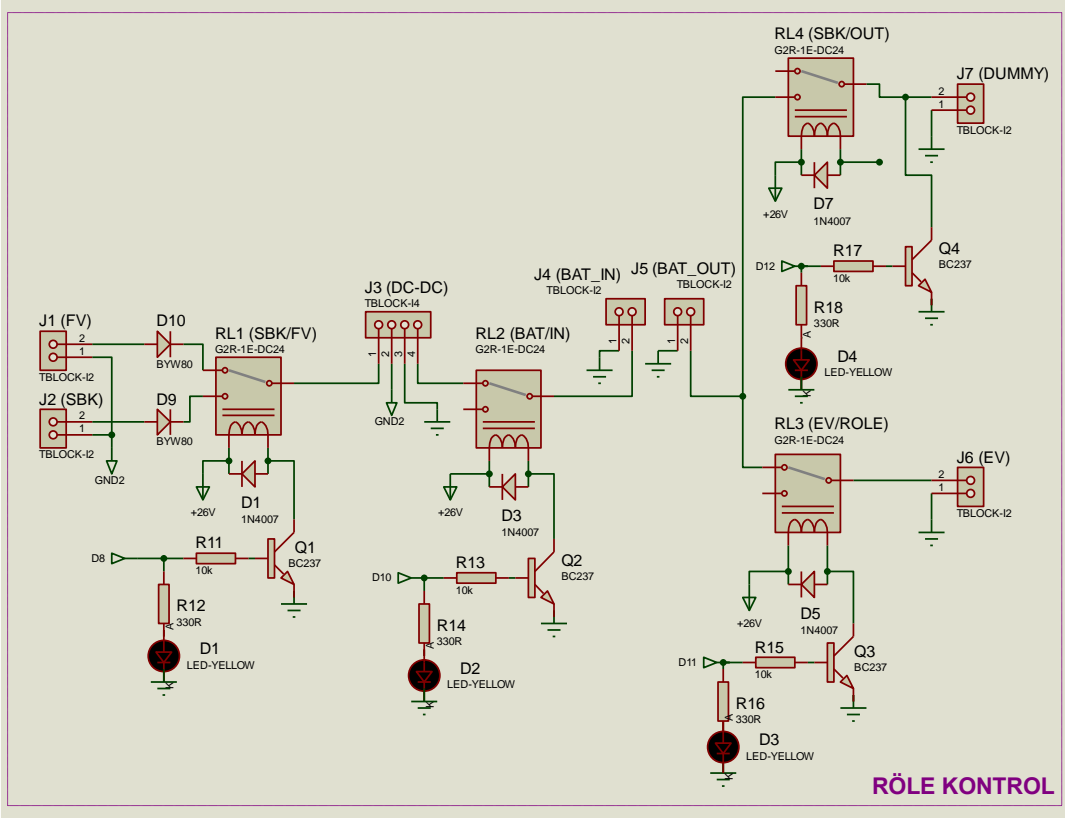


alan osilatör ve sıcaklık ölçer sayesinde, ölçülen zamanda yılda sadece 1 dakika sapma meydana gelir. Yazılım ile ölçülen tarih ve saat düzeltilebilir [112].

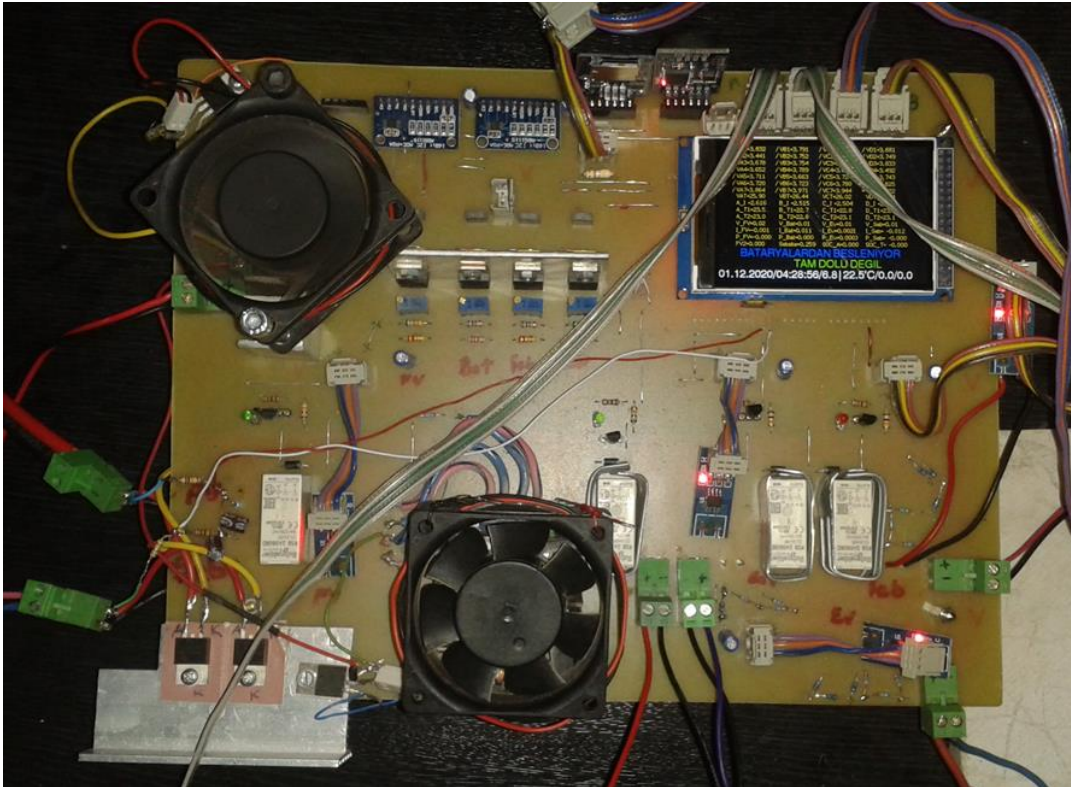
SD kart modülü [113] ile istenilen veriler SD karta yazılır ya da istendiğinde yazılan veriler okunabilir. Modül, SPI iletişim protokolünü [MISO - D50 (Master In Slave Out), MOSI – D51 (Master Out Slave In) ve SCK – D49 (Serial Clock)] kullanır. Modülü aktif/inaktif duruma getirmek için CS (Chip Select) ucu, Arduino'nun sayısal ucuna (D53) bağlanır. Zamana bağlı olarak veri kaydetme özelliği (Datalogger) için; Arduino ile uyumlu gerçek zaman DS3231 modülü ve verileri hafıza kartına kaydeden (SD kart) SD kart modülü kullanılmıştır. İki modül Şekil 3.40'taki gibi bağlanmıştır. Tasarlanan devre ile LCD ekrana yazdırılan tüm bilgiler gerçek zamanlı olarak SD kartta yazdırılabilmektedir. Bu sayede, istenildiğinde veriler grafik işleme programına aktarılarak grafikleri çizilir ve analiz edilebilir.

*Röle Kontrol Devresi;* EYS'nin enerji akışını sağlayabilmesi için şebeke ya da FV sistemden gelen enerjinin kullanılmasına karar verilmesi, batarya bloğunun devreden çıkarılması/devreye alınması, ev yükünün devreden çıkartılması/devreye alınması, şebekeye enerji aktarımın devreye alınması/devreden çıkarılması için (Çizelge 3.4) ana devre üzerinde toplam 4 adet röle bulunmaktadır. Bu röleleri kontrol etmek için daha önce tek batarya devresinde de kullanılan transistörlü röle kontrol devresi kullanılmıştır (Şekil 3.42). Yüksek akım bölümünde de işlevleri anlatılan RL1, RL2, RL3 ve RL4 röleleri BC237 transistörlü (Q1, Q2, Q3 ve Q4) devreler ile mikro-denetçinin sayısal uçları (D8, D10, D11, D12) ile kontrol edilmektedir. Her bir rölenin aktif/pasif durumunu kullanıcıya aktarmak için bu kontrol devrelerine LED yerleştirilmiştir.

Son olarak düşük akım tarafı ile yüksek akım tarafı tamamlanarak oluşturulan ve BYS ile EYS içinde barındıran ana devrenin çalışırken fotoğrafı Şekil 3.43'te gösterilmektedir. Burada devre kartının alt tarafında yer alan yeşil renkteki geçmeli klemensler vasıtasıyla diğer birimlere gerekli bağlantılar yapılmış, rölelerle birlikte kontrollü yüksek akım akışı ve devrenin beslemesi sağlanmıştır. Üst tarafta ise veri akışının gerçekleştiği düşük akımlı bölüm yer almaktadır. Gerilim ve akımları okuyan ADS1115, veri-kayıtçısı, dengeleme devreleri ile iletişimi sağlayan Seri Port iletişim bağlantıları ve bilgileri veren Renkli LCD ekran yer alır. Soğutucu fanlardan sol yukarıda yer alan fan ana devre çalıştığı müddetçe sürekli, alt tarafta yer alan fan ise devreye akım basıldığında ve doldurma cihazı çalıştığında devreye girer.



Şekil 3.42 Röle kontrol devresi



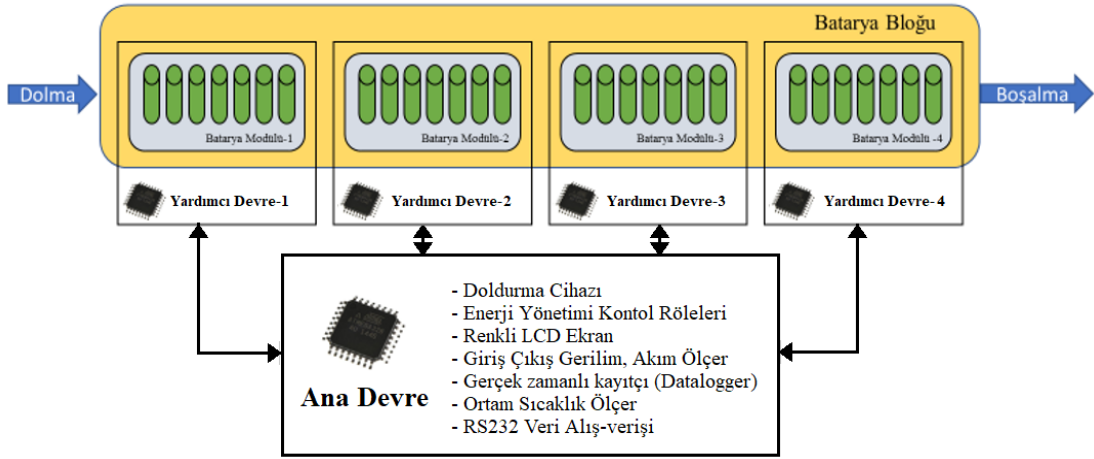
Şekil 3.43 Ana Devre Fotoğrafi

### 3.4 Bölüm Sonu Değerlendirmesi

Bu tez çalışmasında gerçekleştirilen BYS elektronik devre tasarımında; Şekil 3.44'te gösterildiği gibi,

- her bir batarya modülünde yer alan bataryaları yöneten toplam 4 adet yardımcı devre (slave),
- yardımcı devrelerden gerekli bilgiyi alarak tüm sistemi yöneten ve FV sistem, batarya grubu, ev yükü, şebeke arasında enerji akışını düzenleyen ana devre,

barındıran kontrol birimi devrelerinin tasarımı ve algoritma geliştirme işlemleri bitirildikten, sonra devre kartları basılmış, montaj işlemleri tamamlanmış ve sistem hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.44 Tasarımda kullanılan devreler

Yardımcı devrelerin görevi, bataryalar arası dengeleme yapmak, batarya modüllerdeki sıcaklığı ölçmek, ölçülen bu sıcaklık değeri ile birlikte modülde yer alan her bir bataryanın gerilim bilgilerini ve modüle giren/çıkan akım değerlerini ana devreye bildirmek, istenildiğinde bu bilgileri kullanıcı için LCD ekrana vermek, sesli ve görüntülü uyarı sistemi ile sistemde meydana gelen arızayı bildirmektir.

Yardımcı devrelerde elektronik kontrolün sağlanması için, üzerinde Atmel Atmega328P mikro-denetçi bulunan, Arduino-Uno devresi kullanılmıştır. Böylece yardımcı devreler,

- fazla enerjinin dirençler üzerinde harcandığı MOSFET kontrollü pasif dengeleme yöntemi ile bataryaları dengelemeyi,



- 16-bit örneksel-sayısal dönüştürücü kullanılarak batarya gerilimlerinin farksal olarak (diferansiyel) ölçülmesini,
- ACS712 manyetik etkili akım-ölçer ile batarya modülüne giren/çıkan akımın ölçülmesini,
- DS18B20 sayısal termometre ile bataryaların sıcaklığını ölçülmesini,
- 20x4 LCD göstergelerle, ölçülen verilerin istenildiğinde ekrana verilmesini,
- Seri Portlar üzerinden elde edilen bilgilerin ana devreye iletilmesini

sağlamaktadır.

Ana devrede ise kontrol için Atmel ATmega2560 mikro-denetçiye sahip Arduino Mega kullanılmıştır. Blok şeması, Şekil 4.5’de verilen ve bu çalışmada tasarlanan ana devre;

- yüksek akımın geçtiği, gücün ölçüldüğü ve böylece enerji akışının kontrol edildiği *yüksek akım* bölümü,
- veri akışının gerçekleştiği, yardımcı devrelerden gelen bilgilerin toplandığı ve toplanan bilgiler ışığında yüksek akım tarafının kontrol edildiği ayrıca kullanıcıya iletiildiği *düşük akım* bölümü

olmak üzere 2 kesimden oluşmaktadır.

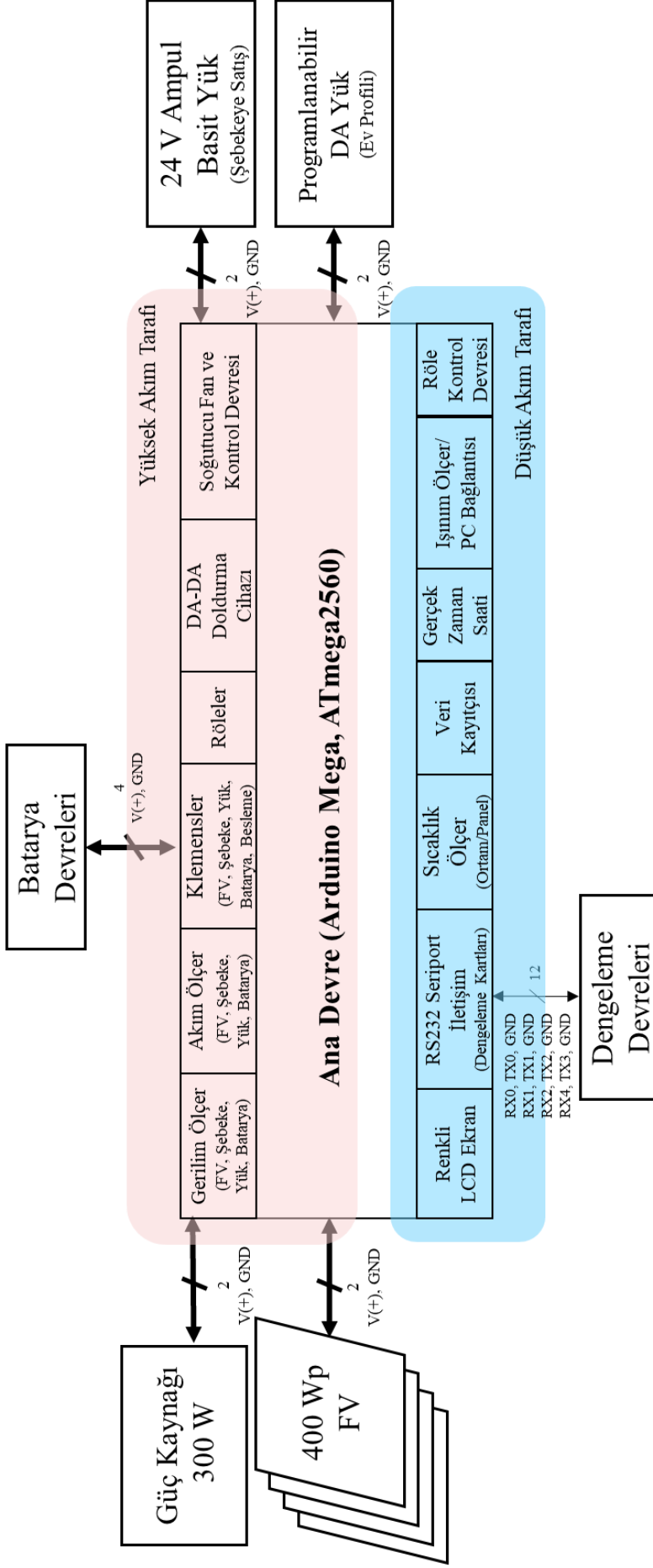
*Ana devrenin yüksek akım tarafı;* DA güç kaynağı (*şebekeden alış*) ya da FV modüllerden, bataryaların doldurulduğu, bataryaların ev tüketimi gibi davranan elektronik yükü beslediği, fazla enerjinin şebekeye aktarılıyormuş gibi DA basit yük üzerinde harcandığı durumlarda yüksek akımların (en fazla 8A) geçtiği bölümdür. Bu bölümde; ilgili elemanlara ve diğer devrelere bağlanmak için bağlantı uçları, enerji akışını kontrol etmek için yüksek akım röleleri, bu hatlardan geçen akımı ve gerilimi ölçmek için akım ölçer ve gerilim ölçerler bulunmaktadır,

*Ana devrenin düşük akım tarafında* ise, mikro-denetçi (Arduino Mega) ve besleme devresi, ultra HD 320x480 renkli LDC ekran, yardımcı devreler ve PC ile Seri Port haberleşme bağlantıları, akım ölçerlerin besleme ve çıkış bağlantıları, gerilim ve akım ölçerler için ADS1115 ADC modüler, röle kontrol devreleri, soğutucu fan kontrol devreleri, ortam sıcaklığı ve panel sıcaklığını ölçme devresi, gerçek zamanlı veri kayıtçı (Datalogger) devresi ile yüksek akım tarafında yer alan rölelerin kontrol devresi bulunmaktadır.

Ana devre için enerji akış şeklini sağlayacak şekilde bu çalışmada geliştirilmiş bir algoritma Çizelge 3.4’de verilmiştir.

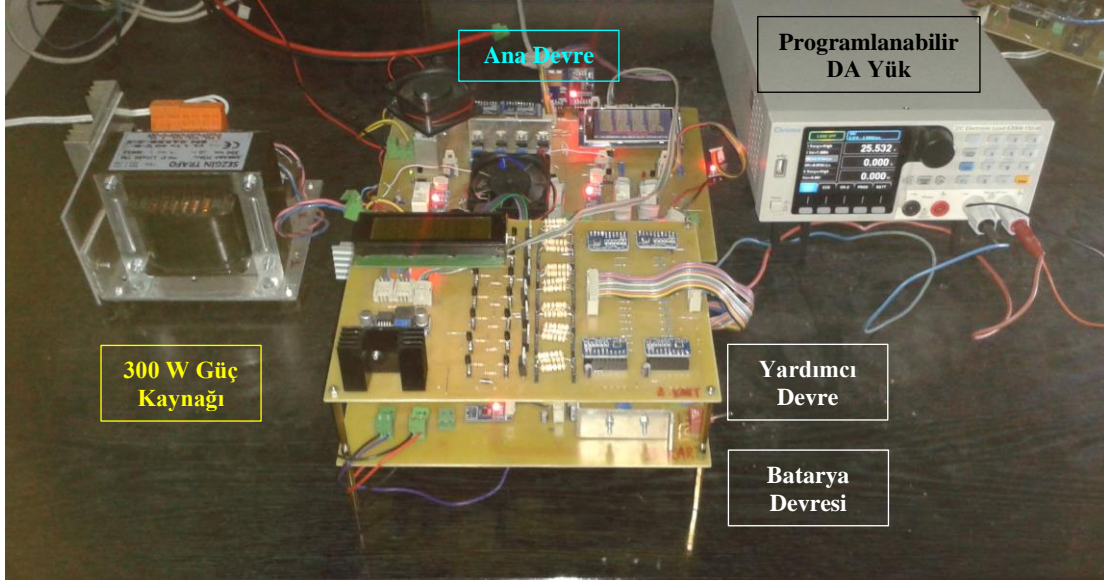
**Çizelge 3.4** Enerji akış şekli

No.	Koşul	Enerji Akış Şekli
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bataryalar boş,</li> <li>FV’den yeterli enerji elde ediliyor,</li> <li>FV, bataryaları dolduruyor ve ev yükünün ihtiyacını karşılıyor.</li> </ul>	<b>FV ⇒ Batarya ⇒ Yük</b>
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bataryalar dolu,</li> <li>FV’den ev yükünün ihtiyacından fazla enerji üretebiliyor,</li> <li>FV, ev yükünün ihtiyacı karşılıyor, fazlası DA basit yük üzerinde harcanıyor (şebekeye enerji aktarımı).</li> </ul>	<b>FV ⇒ Batarya ⇒ Yük + Şebekeye Aktarım</b>
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bataryalar boş,</li> <li>FV’den enerji elde edilemiyor,</li> <li>DA güç kaynağından (şebekeden alış) enerji alınıyor,</li> <li>DA güç kaynağı (şebekeden alış), hem yükün ihtiyacını karşılıyor hem de bataryaları dolduruyor.</li> </ul>	<b>Şebekeden Alış ⇒ Batarya ⇒ Yük</b>
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>FV’den enerji elde edilemiyor,</li> <li>Ancak bataryalar dolu,</li> <li>Bataryalar, ev yükünün ihtiyacını karşılıyor.</li> </ul>	<b>Batarya ⇒ Yük</b>



Şekil 3.45 Ana Devrenin Blok Diyagramı





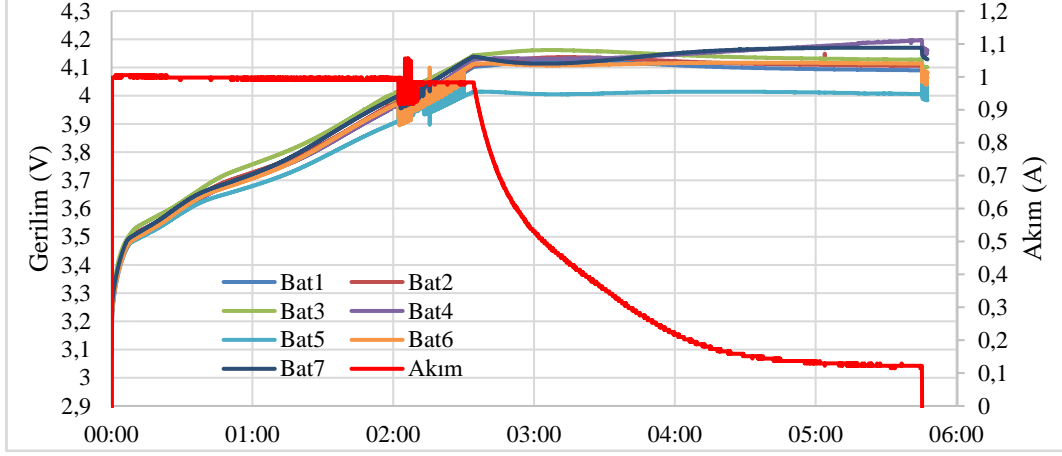
Şekil 3.47 Seri Bağlı 7 LIB Dolma/Boşalma Devresi

Seri bağlı 7 bataryaların dolma ve boşalma denemeleri ve bundan sonra yapılacak tüm deneylerde LG MJ1 18650 LIB kullanılmıştır. Bu bataryaların katalog bilgileri Ek-6'da sunulmuştur. Paketten çıkış gerilimleri yaklaşık olarak 3,65 V olan bu batarya grubu için 7 adet özdeş LIB seçilmiştir. Seçilen bu bataryalar deney öncesinde birbirine paralel bağlanarak elektronik yük ile 3,00 V'a kadar düşük akımla boşaltılmıştır.

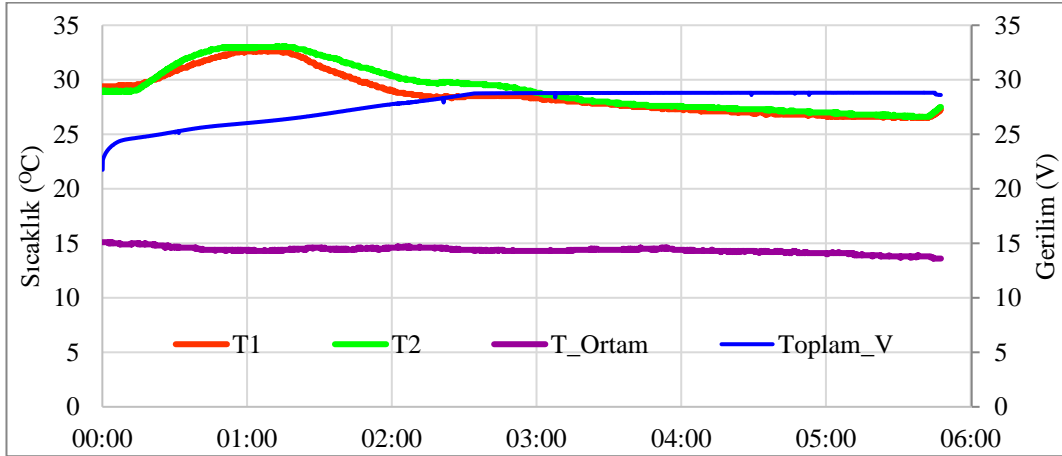
Dengeli bir şekilde boşaltılan bataryalar ardından batarya devresine takılarak tüm devreler çalıştırılmıştır. Daha sonra ana devre üzerindeki doldurma cihazı 1 A değerine ayarlanarak, doldurma işlemi başlatılmıştır. Şekil 3.48'de verilen doldurma grafiğine göre, bataryalar sabit akım ile yaklaşık 2 sa 34 dk dolduktan sonra sabit gerilim ile dolma aşamasına geçilmiştir. Dolma esnasında dengeleme yöntemi sayesinde hiçbir batarya eşik değer olan 4,2 V'u geçmemiştir. Yaklaşık 3 sa sabit gerilim ile dolma işlemi devam etmiş, doldurma akımı 120 mA seviyelerine geldiğinde doldurma işlemine ana devre son vermiştir. Tüm dolma işlemi toplamda 5 sa 45 dk sürmüştür.

Dolma işlemi sırasında yardımcı devrede bulunan sıcaklık ölçerler yardımıyla, bataryalar üzerinde 2 farklı noktadan bataryaların sıcaklıkları, ana devrede yer alan sıcaklık ölçer ile ortam sıcaklığını ölçülmüştür. Literatürde, LIB ile çalışılırken, özellikle yüksek akımlarla doldurma işlemi sırasında bataryaların sıcaklık artışına bağlı olarak doldurma işlemi esnasında bazı düzeltmeler (doldurma gerilimi/akımı değişimi) yapılması gerekebilir [64-66]. Tez çalışmasında, saha çalışmalarında batarya bloğu iç mekânda tutulmasına karşın, sıcaklık etkisi olup olmadığını test etmek amacıyla, doldurma işlemi sırasında dolma gerilimi ile sıcaklık değerleri ölçülmüş ve bu değerler kullanılarak Şekil 3.49'daki grafik

çizilmiştir. Deney öncesi 29°C olan batarya sıcaklığı sabit akımla doldurma esnasında yükselerek, en yüksek 34°C civarlarına çıkmıştır. Bataryalar dolmaya başladığında ve akım düştüğünde ise sıcaklıkları akımla beraber azalmıştır. Bu gözlemler sonucunda, dolma esnasında herhangi bir sıcaklık düzeltilmesi yapılmasına gerek duyulmamıştır.



Şekil 3.48 Seri Bağlı 7 LIB Dolma Grafiği

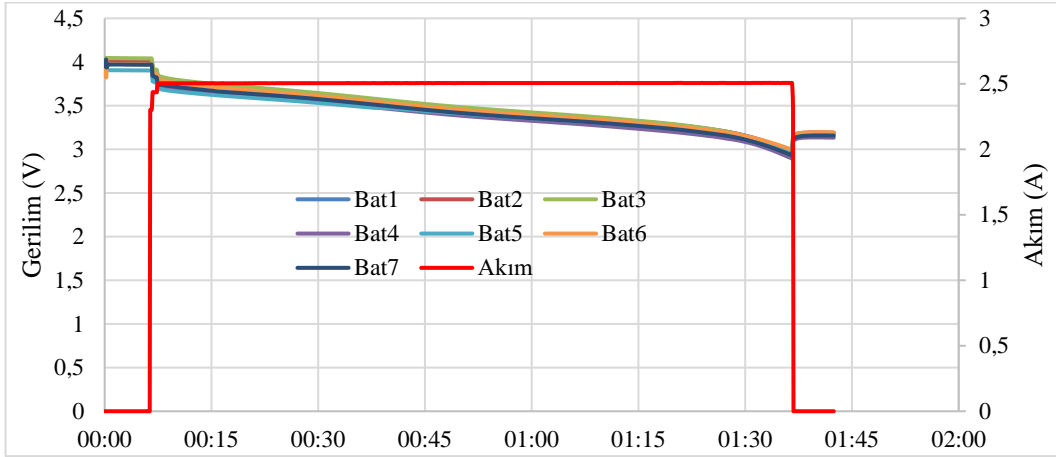


Şekil 3.49 Seri Bağlı 7 LIB Dolarken Sıcaklık Değişimi

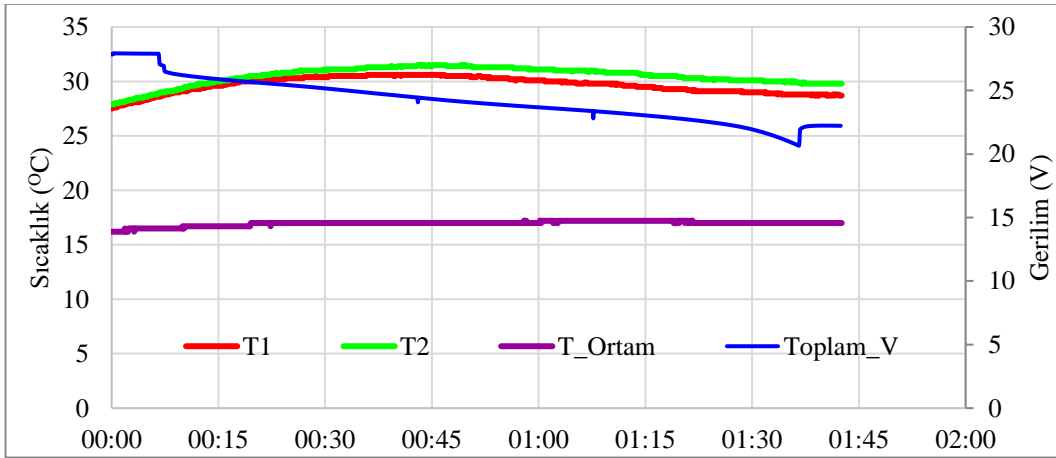
Aynı seri bağlı 7 batarya bloğu, doldurma işleminin ardından 2,5 A ile boşaltma işlemine tabi tutulmuştur. Boşaltma işlemi esnasında akım ve gerilim değişim grafiği Şekil 3.50'de verilmiştir.

Boşalma öncesi 4,00 V civarlarında olan batarya gerilimi 2,90 V'a ulaşınca kadar Programlanabilir DA Yükün, Sabit Akım Modu kullanılarak 2,5 A çekilmiştir. Boşalma işlemi 1 sa 36 dk sürmüştür. Boşalma işlemini durdurmak için herhangi bir bataryanın 2,90 V seviyesine düşmesi gerekir. Bu durum meydana geldiğinde yardımcı devrede bulunan uyarı ve ikaz sistemi, kullanıcıyı buzzer ve LED ile uyarır ve boşalma işlemi ana devrede bulunan röle vasıtasıyla durdurulur.

Bataryalar boşalırken sıcaklık değışimleri Şekil 3.51'deki grafikte verilmiştir. Dolma esnasında olduğu gibi bataryalar boşalırken de sıcaklıklarında artış meydana gelmiştir. Boşalma başlamadan önce 27 °C civarlarında olan batarya sıcaklığı boşalmanın başlamasıyla 34°C civarlarına çıkmış ve boşalma boyunca bu seviyelerde kalmıştır. Deney boyunca ana devre tarafından ölçülen ortam sıcaklığı ise 17°C seviyelerindedir.



Şekil 3.50 Seri Bağlı 7 LIB Boşalma Grafiği



Şekil 3.51 Seri Bağlı 7 LIB Boşalırken Sıcaklık Değişimi

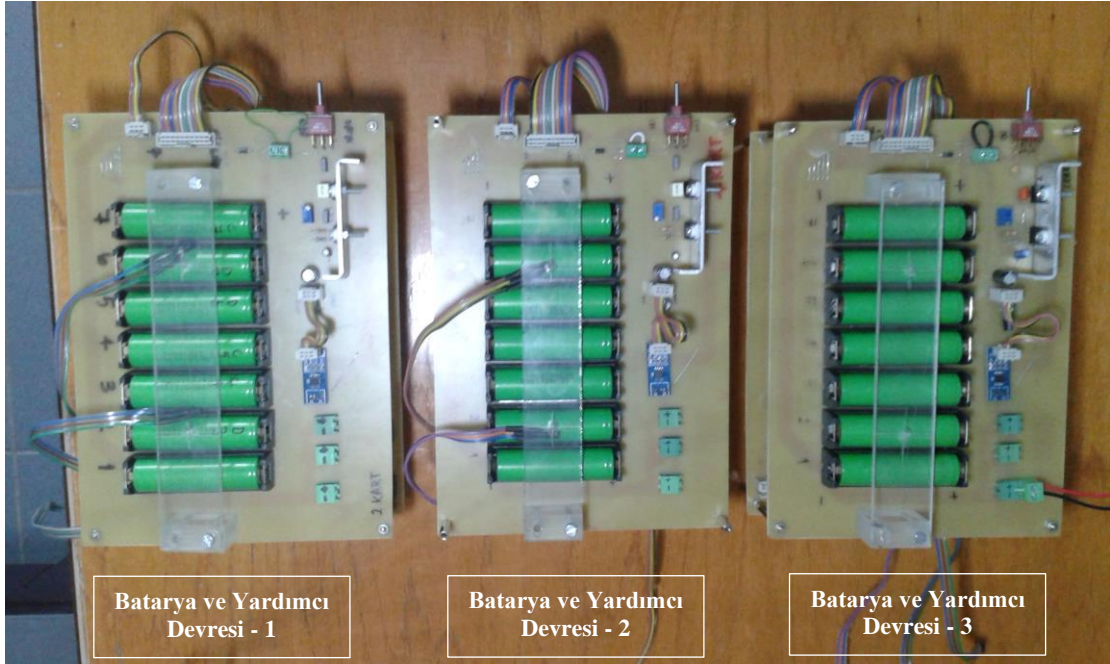
Sonuç olarak Yardımcı Devre, Batarya Devresi ve Ana Devre ile yapılan denemelerde tüm devrelerin istenilen şekilde çalıştığı tespit edilmiş ve müteakiben saha çalışmalarına geçilmiştir.

## 4. BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ SAHA ÇALIŞMA SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Sistemin saha çalışmaları, Hacettepe Üniversitesi, Beytepe Yerleşkesinde bulunan Güneş Evi'nde yapılmıştır. BYS tasarlanırken, kuramsal kesimde belirtildiği gibi, 7seri-4 paralel batarya grubu ve gerçek yükün 1/15 oranında azaltılmış farklı yük profilleri göz önüne alınmıştır. Saha deneyleri yapılırken hem tekrarlanırlığı görmek hem de farklı batarya bloğu ve farklı yük oranı için sistem tepkisine bakmak için;

- 7s-4p batarya bloğu için 1/15 oranında azaltılmış yük profilleri,
- 7s-3p batarya bloğu için 1/20 oranında azaltılmış yük profilleri

için çalışmalar yapılmıştır. Her batarya bloğu için gerekli yardımcı ve batarya devreleri oluşturulmuş ve birbiri ile gruplandırılarak, 7s-4p ve 7s-3p batarya blokları oluşturulmuştur. Şekil 4.1'de oluşturulan 7s-3p batarya bloğu görülmektedir.



Şekil 4.1 7s-3p batarya bloğu

Oluşturulan 3'lü ve 4'lü devreler kurularak prototip bataryalı-FV sistemi için tasarlanan BYS ve EYS denemelerine geçilmiştir. Denemeler için her batarya devre ve yardımcı devre bağlantıları kendi arasında yapıldıktan sonra 3'lü veya 4'lü batarya devreleri paralel olarak birbiriyle bağlanmıştır. Ardından batarya devrelerinden biri ana devreye bağlanarak ana devre çalıştırılmıştır.

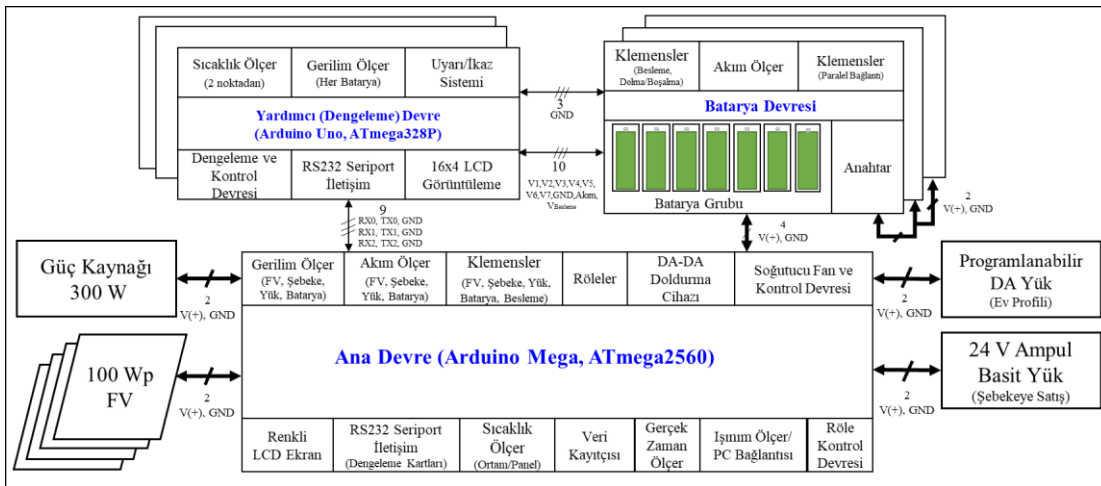


Ana program başladıktan sonra her bir yardımcı devrelerdeki Seri Port iletişim bağlantıları ana devreye bağlanmış ve bataryaların gerilim, akım, sıcaklık verileri ana devreye aktarılarak burada kaydedilmeye başlanmıştır.

Ana devrenin yüksek akım tarafı bağlantıları [FV, DA güç kaynağı (*şebekeden alışı*), DA basit yük (*şebekeye enerji aktarımı*), elektronik yük] yapılmış, ardından Kesim 3.1’de oluşturulan ve elektronik yüke yüklenen profil başlatılmıştır. Tüm deneylerde ışıma bağlı olarak FV sistemden elde edilen güç değerleri kullanılacağından, deneyler gerçek zamanlı olarak yapılmıştır. Deneylere sabah saat 06.00’da başlanmış ve ertesi gün sabah saat 06.00’da son verilmiştir.

Yapılan deneylerde SD karta kaydedilen veriler deney bitiminde bilgisayara yüklenmiş ve Excel’de güç grafikleri çizilmiştir.

#### 4.1. 3’lü Batarya Grubu SaHa Deney Sonuçları

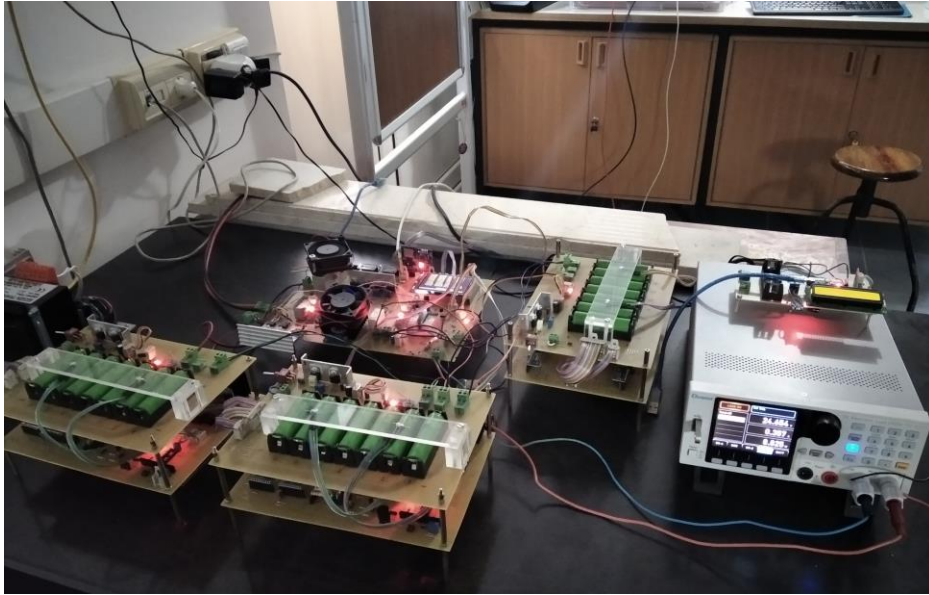


Şekil 4.2 3’lü Batarya Grubu ile Yapılan Deneyler için Kurulan sistem

3’lü batarya grubu ile yapılacak deneyler için kurulan sistemin blok diyagramı Şekil 4.2’de, deney seti fotoğrafı Şekil 4.3 a ve b’de gösterilmektedir. Güneş Evinde yapılan deneylerde, FV modüller Güneş evinin bahçesine Ankara için ideal eğim açısı olan 37°C açıyla en çok güneş alana (Şekil 4.3.a), FV modüller dışında kalan tüm sistem Güneş evinin içine (Şekil 4.3.b) yerleştirilmiştir.



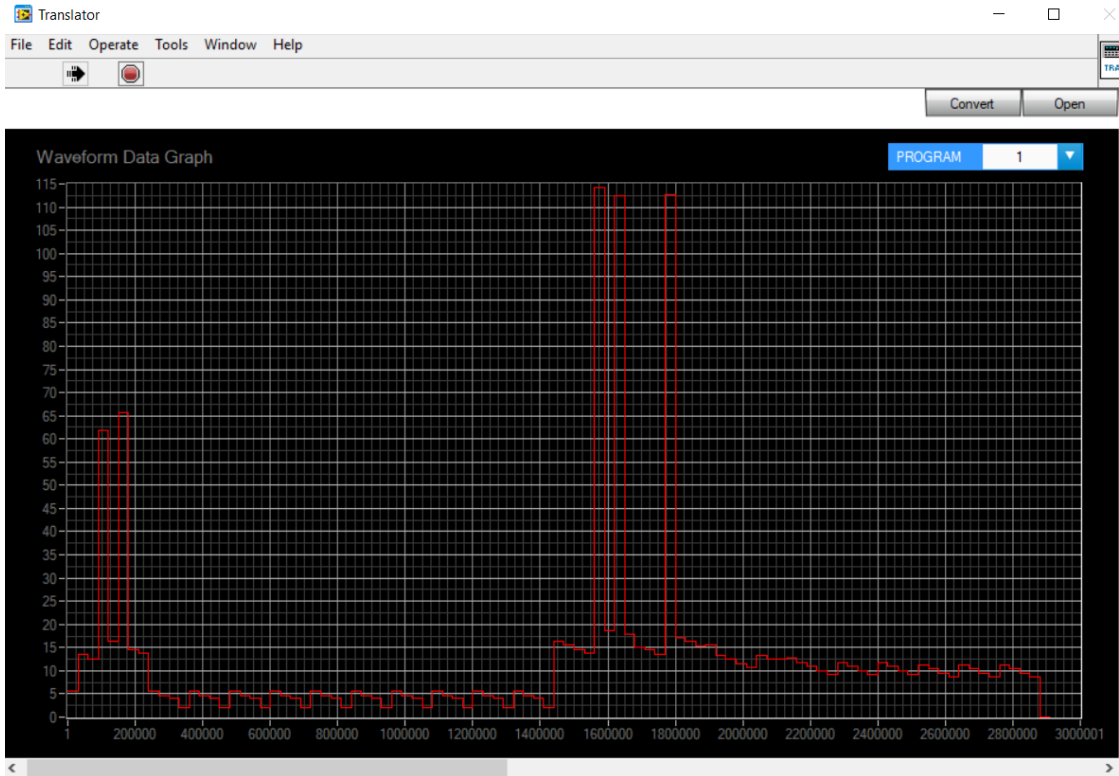
Şekil 4.3.a. 3'lü Batarya Grubu Deney Seti (Dış Ünite)



Şekil 4.3.b 3'lü Batarya Grubu Deney Seti (İç Ünite)

Bölüm 2’te sistem büyüklüğüne karar verilirken çalışan ve emekli insanların yaşadığı evin tüketimleri 4’lü batarya grubu için 1/15 oranında olacak şekilde belirlenmişti. Belirlenen bu oran ve dolayısıyla anlık güç ve toplam enerji tüketimi 3’lü batarya grubu deneyleri için 3/4 oranında daha küçültülmüştür. Başka bir ifade ile 3’lü batarya grubu denemelerinde kullanılmak üzere çeşitli günlerin (emekli/çalışan için ayrı ayrı olacak biçimde) 1/20 oranında küçültülmüş 24 saat gerçek güç tüketim profilleri oluşturulmuştur.

Programlanabilir elektronik yükün 10 adet dinamik programında kullanılabilir, toplam 99 dizi (sequence) bulunmaktadır. Bu diziler sadece bir program için kullanılabilir gibi 10 program için de kullanılabilir. Yapılan hesaplamada (bir gün =24 sa x 60 = 1440 dk., 1440 dk / 99 dizi = 14,54 dk/dizi  $\approx$  15 dk/dizi) dizilerin 15'er dakika olmasının uygun olacağına karar verilmiştir. Yük profillerini oluşturmak için gerçek tüketimleri ölçülen elektrikli ev aletlerinin güç tüketimleri belirlenen oranda (4'lü batarya grubu için 1/15 veya 3'lü batarya grubu için 1/20) azaltılmış ve enerji tüketimini yansıtacak biçimde 15'er dakikalık zaman dilimlerine bölünmüştür. Böylece belirlenen oranda azaltılmış 24 saat güç tüketimi, cihazın sabit güç modu (CP) kullanılarak arayüzü vasıtasıyla elektronik yüke yüklenmiştir. Şekil 4.4'te *Çalışan\_Pazartesi* profilinin arayüz görüntüsü verilmiştir. Bu arayüzde yer alan grafiğin dikey eksen *Watt* cinsinden yük tarafından çekilecek güç değerini, yatay eksen ise  *saniye* cinsinden zamanı göstermektedir.



Şekil 4.4 Çalışan Pazartesi Profilinin arayüz görüntüsü

Kesim 3.1'de verilen çalışan ve emekli haftalık yük profilleri kullanılarak yapılan 3'lü Batarya Grubu Deneylerinin ayrıntısı Çizelge 4.1'de verilmiştir.

**Çizelge 4.1** 7s-3p batarya grubu ile yapılan saha deneyleri

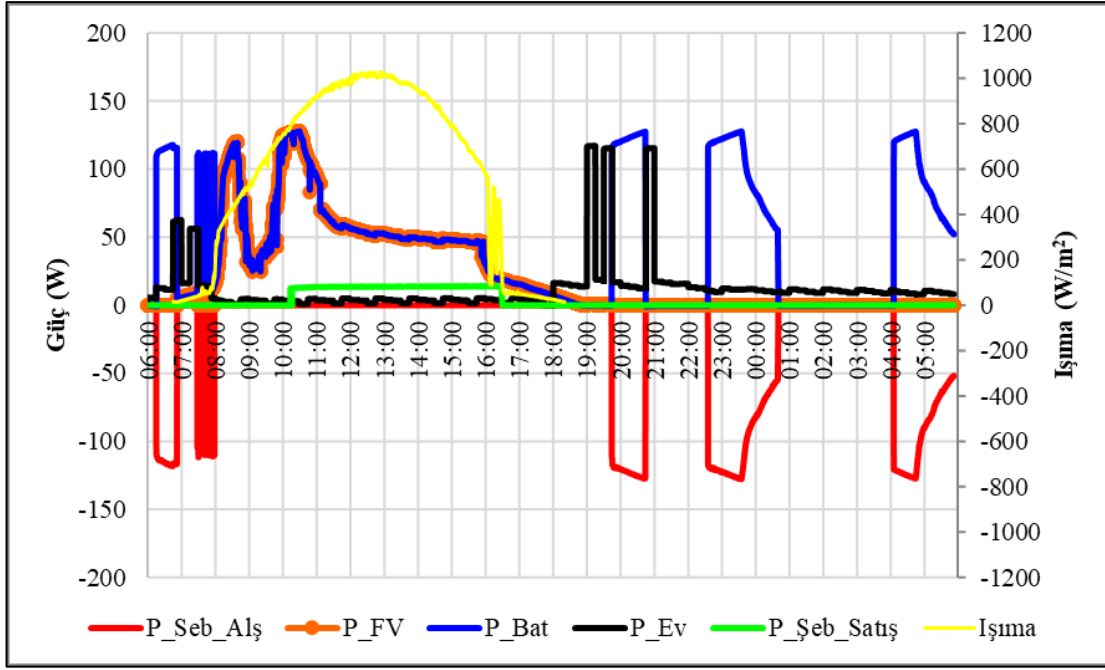
Deney	Gözönüne Alınan Yük Profili	Yapıldığı Tarih
7s3p_1	Çalışan_Pazartesi	10 Eylül 2020
7s3p_2	Çalışan_Pazartesi	09 Ekim 2020
7s3p_3	Çalışan_Cumartesi	11 Eylül 2020
7s3p_4	Çalışan_Pazar	20 Eylül 2020
7s3p_5	Emekli_Çarşamba	03 Ekim 2020
7s3p_6	Emekli_Perşembe	08 Ekim 2020
7s3p_7	Emekli_Cumartesi	19 Eylül 2020
7s3p_8	Emekli_Pazar	23 Eylül 2020

Çizelge 4.1'e göre yapılan ve her bir deney koşulu için, *ışınımı, yük profilini (P\_Ev), FV sistemin sağladığı enerjiyi (P\_FV), şebekeden alınan enerjiyi (P\_Seb\_Aış) ve şebekeye verilen enerjiyi (P\_Seb\_Sat), şebekeden veya FV sistemden bataryaya aktarılan enerjiyi (P\_Bat)* gösteren deney sonuçları Şekil 4.5 - Şekil 4.12'de verilmiş ve izleyen bölümde hafta günleri için deney sonuçları ayrı ayrı tartışılmıştır.

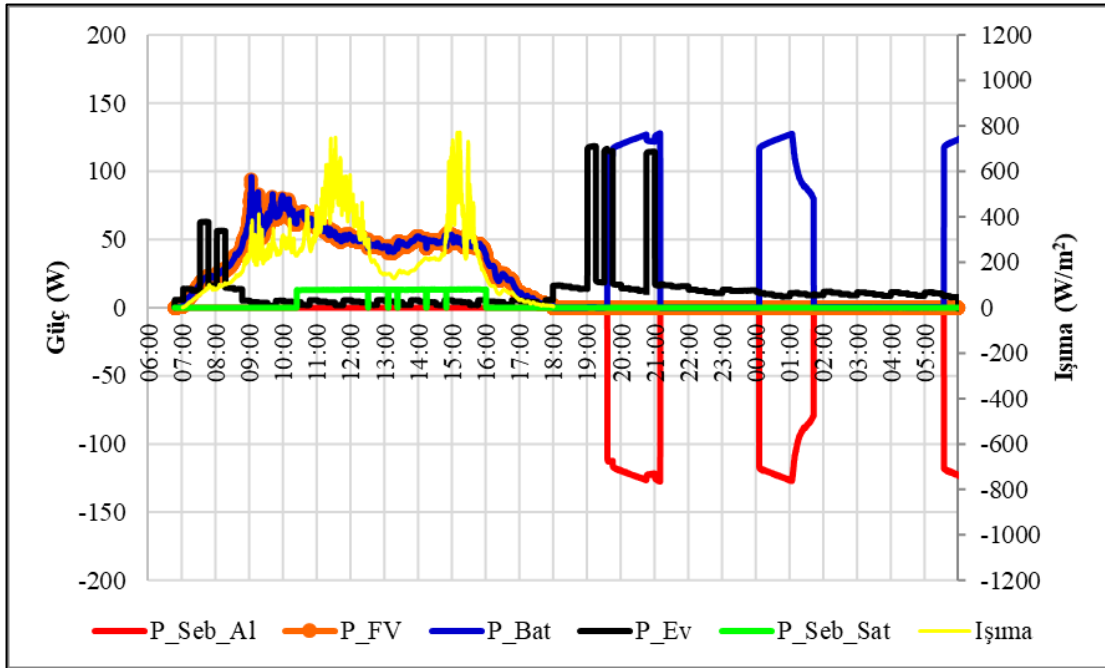
**Çalışan\_Pazartesi güç tüketimine yönelik deneyler, Şekil 4.5, Şekil 4.6 :**

Şekil 4.5'de verilen grafik ayrıntılı olarak incelendiğinde;

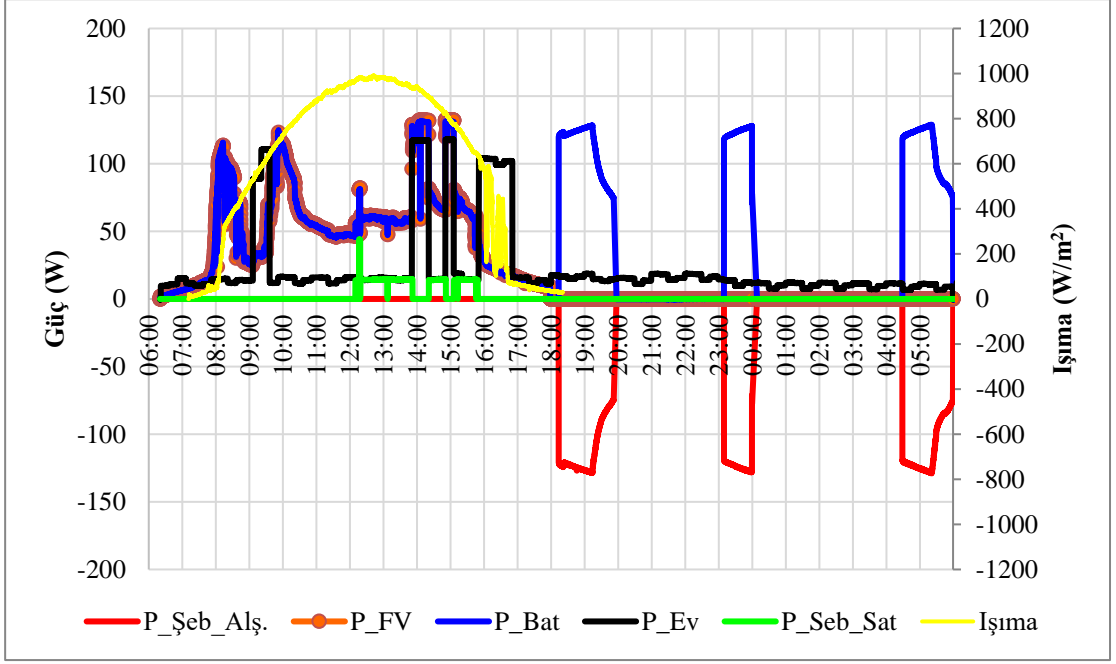
- Günün erken saatlerinde (06.00-08.00 arası), ışınlım şiddeti istenen düzeyde olmadığı için FV sistemden güç alınamamakta ve bataryalar da boşaldığından evin gereksinimi olan enerji şebekeden sağlanarak bataryalar üzerinden bu ihtiyaç karşılanmaktadır.
- 08.00-18.00 saatleri arasında, yeterli ışınlım ile FV sistem güç üretmeye başlar. Bataryalar, ışınlım şiddetine bağlı olarak FV sistemden dolarken, yükün ihtiyacı olan enerjiyi de sağlamaktadır.



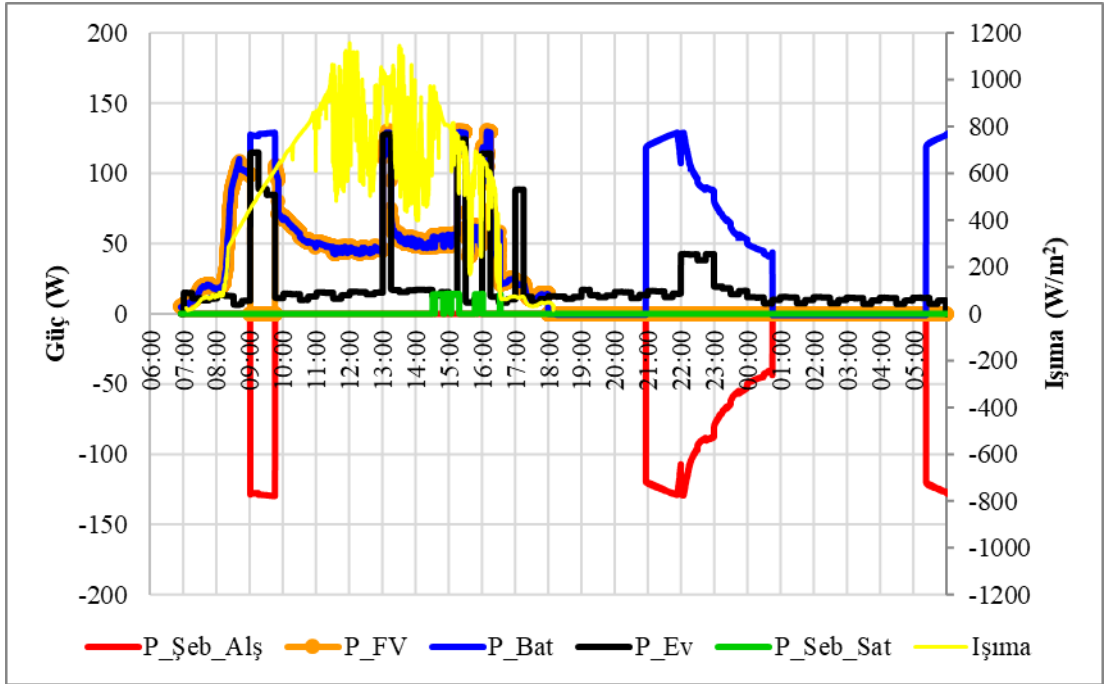
Şekil 4.5 3'lü Batarya Grubu Çalışan\_Pazartesi



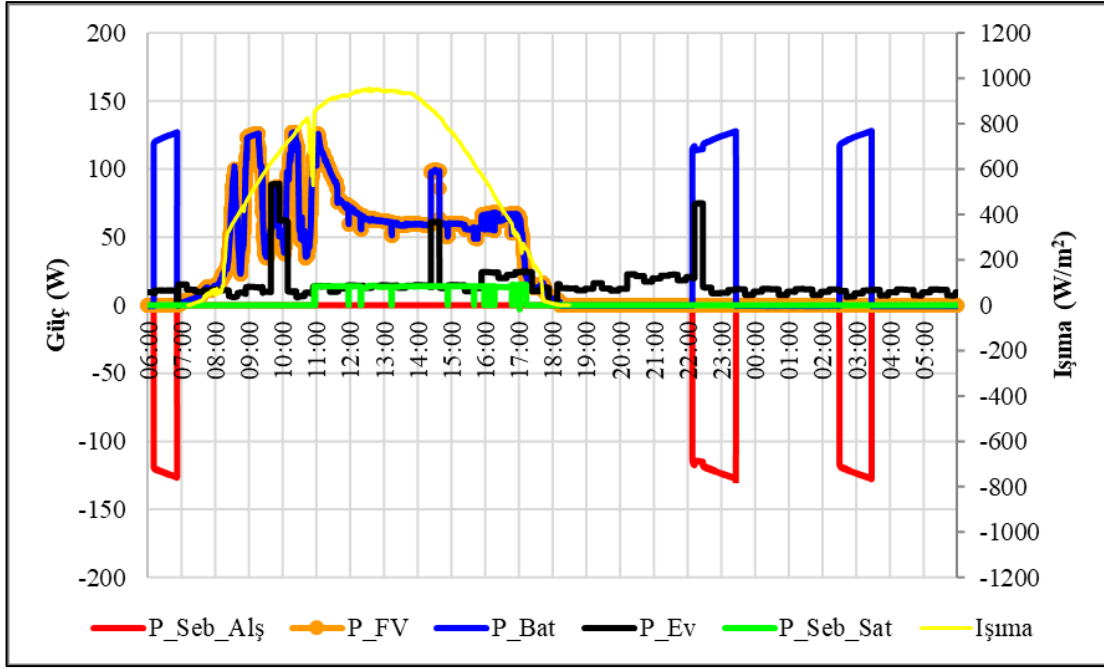
Şekil 4.6 3'lü Batarya Çalışan\_Pazartesi (Tekrar)



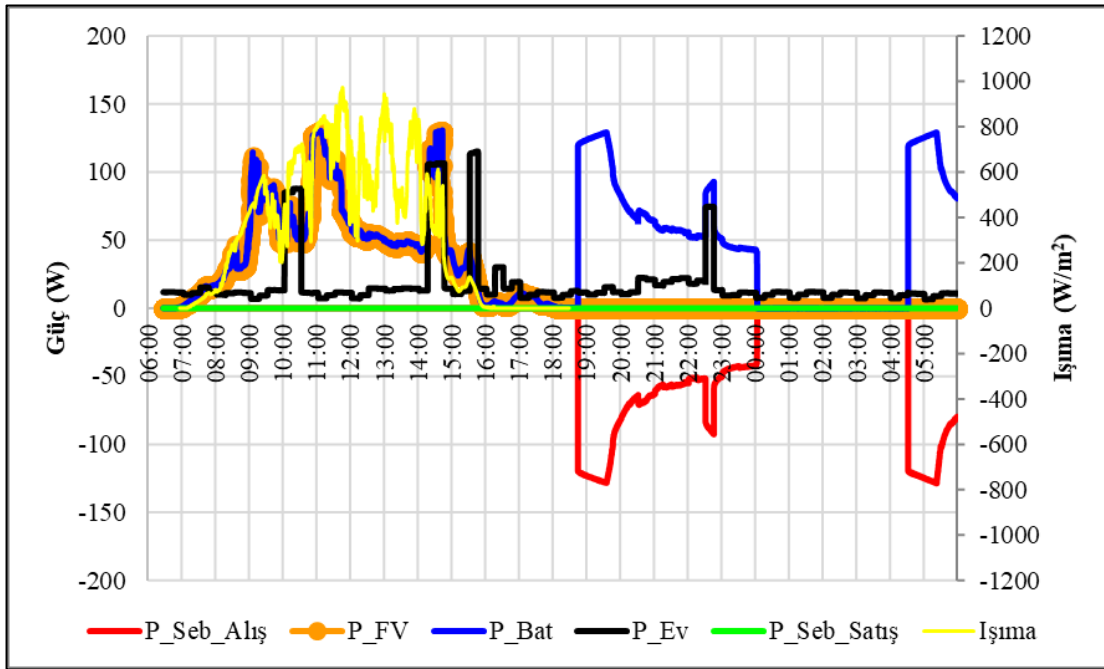
Şekil 4.7 3'lü Batarya Çalışan\_Cumartesi



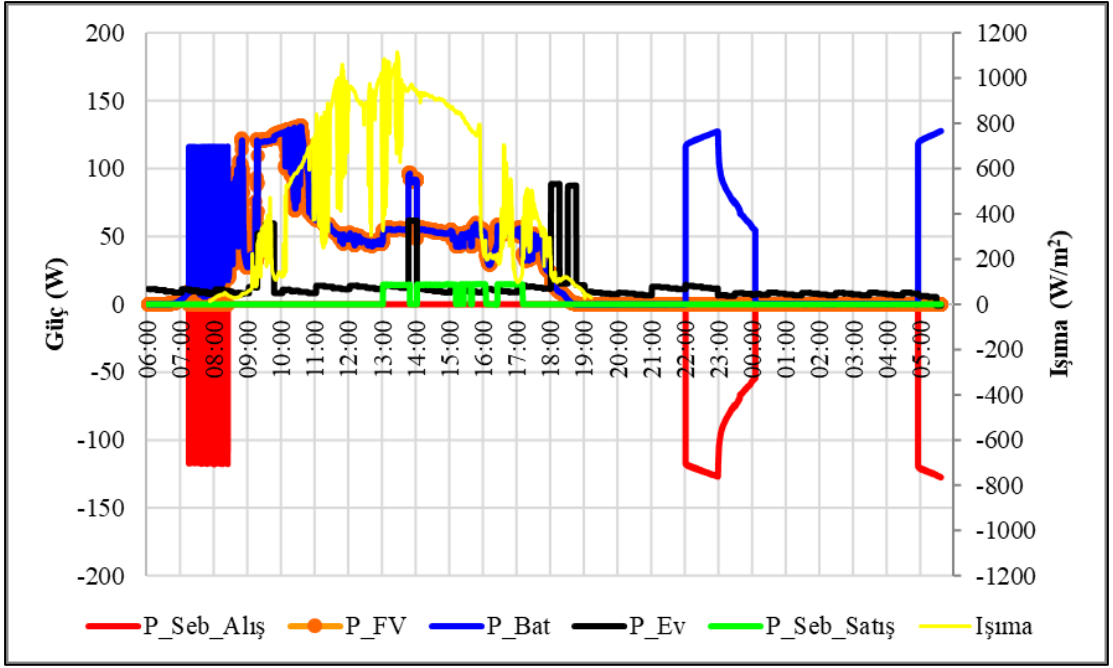
Şekil 4.8 3'lü Batarya Çalışan\_Pazar



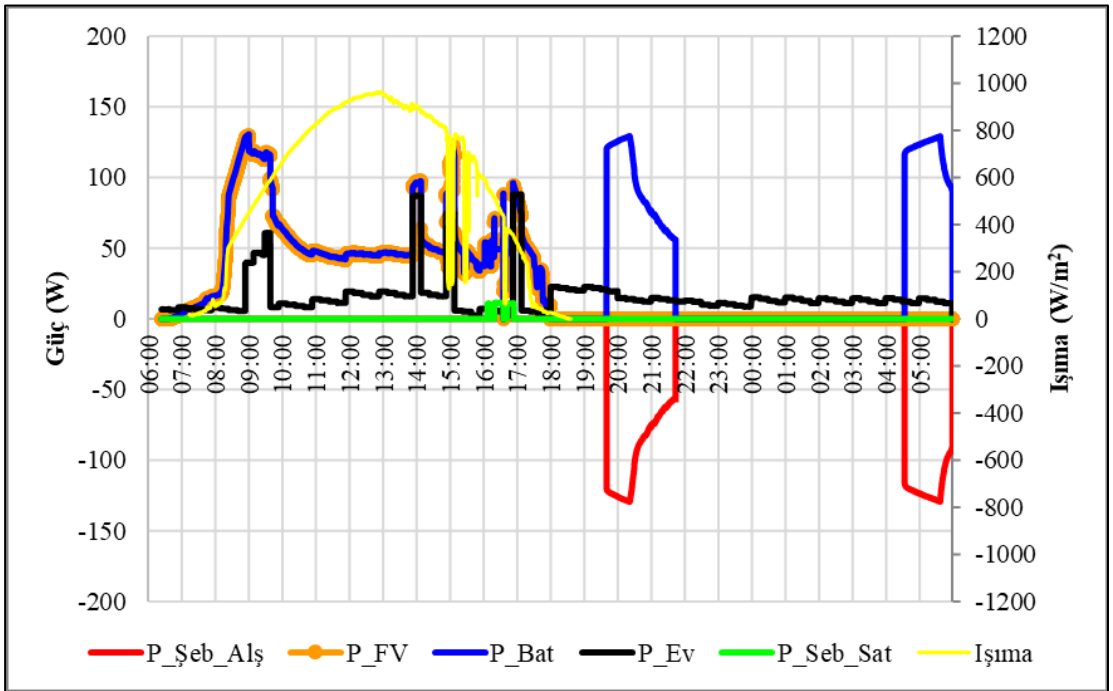
Şekil 4.9 3'lü Batarya Emekli\_Çarşamba



Şekil 4.10 3'lü Batarya Emekli Perşembe



Şekil 4.11 3'lü Batarya Emekli\_Cumartesi



Şekil 4.12 3'lü Batarya Emekli\_Pazar





Şekil 4.13 Gölgeleme etkisi

- Burada dikkat çeken husus, 08.30-10.30 arasında ışıınım şiddeti yüksek iken FV'den verilen gücün düşük olmasıdır. Bunun nedeni o saatler arasında FV modüller üzerinde ağaçlardan kaynaklanan gölgeleme olmasıdır (Şekil 4.13).
- Şekil 4.5'deki yük profilinden de anlaşılabilceği gibi, çalışan hafta içi profilinde, saat 08.00'den itibaren evin güç tüketiminin düşmesi nedeniyle, gündüz ışıınının yeterli olduğu sürelerde, bataryalar FV'den doldurulur ve bataryalar dolduktan sonra fazla enerji, şebekeye aktarılır. Yapılan deneyde saat 10.30'dan sonra bataryaların dolduğu ve saat 16.30'a kadar 6 saat boyunca 13,50 W (81Wh)'in 24 V ampuller üzerinde harcandığı (*şebekeye aktarıldığı*) görülmektedir.
- Akşam saatlerinde (18.00-00.00) ışıınım düşmesiyle birlikte FV'den üretim olmaması ve ev halkının eve gelmesi sonucu yükün artması nedeniyle, bataryalar belirli bir süre yükün ihtiyacını karşılar ancak bataryaların kapasitesi azaldığında tekrar şebekeden beslenir.
- Gece saatlerinde (00.00-06.00), hane halkının uykuya geçmesi ile birlikte güç tüketimi düşer ancak evde açık olan cihazlar enerji tüketmeye devam ettiği için bataryalar bu cihazları destekler. Zamanla bataryalar tekrar boşalır ve bu durumda şebeke gerektiğinde tekrar devreye girerek bataryaları doldurur.
- Çalışan-Pazartesi profili, gölgelemenin etkisini görmek amacıyla, Güneş Evi bahçesinde gölgelemeye neden olan ağaçların budanmasından sonra havanın kapalı olması nedeniyle ışıınının düşük olduğu bir gün tekrarlanmıştır. Gün boyu ışıınım düşük olsa bile, gölgeleme etkisinin kalkmasıyla, bataryalar günün

ortalarında dolmuş ve bundan sonra şebekeye enerji aktarımı başlamıştır (Şekil 4.6).

***Çalışan\_Haftasonu güç tüketimine yönelik deneyler, Şekil 4.7, Şekil 4.8 :***

Çalışan profilinde yük profilinin yüksek olduğu hafta sonu için yapılan deney sonuçları incelendiğinde;

- Ek-4'te anlatıldığı gibi çeşitli cihazların güç tüketimlerinin zirve yaptığı zamanlar, ev tüketimi profilinde açıkça görülmektedir. Örneğin Şekil 4.7'deki Cumartesi günkü profilde 14.00-16.00 saatleri arasında çamaşır makinası ve ani su ısıtıcı çalışmaktadır. Ardından 16.00-17.00 saatleri arasında yüksek güç harcayan elektrik süpürgesinin çalıştırıldığı profilde görülmektedir.
- Hafta sonu, hafta içine göre gündüz güç tüketimi arttığı için şebekeye enerji aktarım süresi azalmıştır.
- Cumartesi günü ışınlım açısından, Pazar gününe nazaran daha iyi olduğu için, şebekeye aktarılan enerji daha fazladır. Gündüz tüketim profillerine bağlı olarak; bu aktarım işlemi, evin yüksek güç tüketimi olduğu zamanlar durmuştur.
- Cumartesi tüketim profili, Pazar günü profiline göre daha yoğun olduğu için, akşam güneş battıktan sonra, FV'lerden artık enerji üretilemediğinde, bataryalar erken boşalmış, şebekeden enerji alma işlemine daha sık başvurulmuştur.
- Her iki günde, bataryalar tamamen dolmaya başladığı yani dolma akımı azalmaya başladığı sırada, yükün güç talebi yükseldiğinde; FV sistem güç üretebiliyorsa, bataryalara basılan akım, yükün talebini karşılamak için o zaman diliminde geçici bir süre artmıştır. Bu süre diliminde daha önceden şebekeye enerji aktarımı varsa da durmuş ve yüksek talebin bitmesinin ardından aktarım işlemine devam edilmiştir.

***Emekli\_Hafta içi güç tüketimine yönelik deneyler, Şekil 4.9, Şekil 4.10 :***

Benzer çalışmalar, emekli bireylerin bulunduğu evleri modelleyen yük profilleri için tekrarlanmıştır. Çalışanlardan farklı olarak emekliler için güç tüketimi tüm güne yayılmış bir şekilde tavrı sergilemektedir:

- Hafta içi Çarşamba günü (Şekil 4.9) için, deneyin başında bataryalar boşalınca, belirli bir süre şebekeden beslenmiştir. Ardından FV'ler güç üretmeye başlayınca bataryalar buradan beslenmeye başlamıştır. Ancak 09.00-10.00 arasında hava

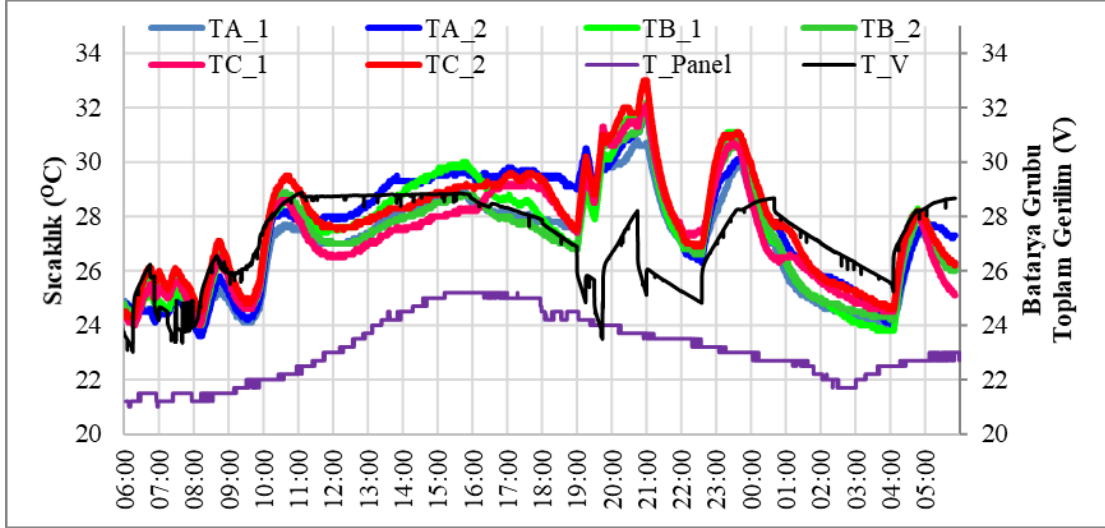
bulutlu olduğu için yer yer ışınım şiddeti azaldığından, FV'den bataryaları besleme gücü zaman zaman azalmıştır. Bulut etkisinin saat 11.00'den sonra geçmesi ile FV'den bataryalara istenilen enerji akışına başlanmıştır. Bataryalar doymaya başladığında ışınım şiddeti de yoğun olduğu için şebekeye enerji aktarımı başlamıştır. Akşam saatlerinde ışınım şiddetinin azalmasıyla harcama işlemi sona ermiş ve bataryalar boşalana kadar yükün talebi bataryalardan karşılanmıştır. Bataryalar gece boyunca iki defa şebekeden doldurulmuştur.

- Perşembe günü (Şekil 4.10), Çarşamba gününe nazaran, ışınım daha kötü olduğundan, gün boyunca bataryalar tam dolamamış ve şebekeye enerji aktarım işlemi gerçekleşmemiştir. Bataryalar dolarken ve dolma akımı düşerken gündüzleri yükün talebi birden yükseldiğinde, FV'de güç üretimi varsa bu talep FV'den (14.30), aynı durum gece olduğunda (22.45) ise bu talep şebekeden karşılanmıştır.

#### ***Emekli\_Haftasonu güç tüketimine yönelik deneyler, Şekil 4.11, Şekil 4.12 :***

Hafta içi denemelerinin ardından 3'lü batarya grubu ile *Emekli\_Cumartesi* ve *Emekli\_Pazar* günü profilleri ile denemeler yapılmıştır.:

- Cumartesi günü (Şekil 4.11) sabahın ilk saatlerinde bataryalar boşaldığı ve FV yeteri kadar güç üretmediği için bataryalar belirli bir süre şebekeden doldurulmuştur. FV sistem güç üretmeye başlayınca şebekeden dolun işlemi durdurulmuş ve bataryalar FV'den beslenmeye başlamıştır. Deney günü hava parçalı bulutlu olduğundan bataryalar saat 13.00 civarlarında tamamen dolabilmiş ve şebekeye enerji aktarım işlemi bu saatte başlayabilmiştir. İlerleyen saatlerde ışınım şiddeti azaldığında aktarım işlemi durmuş tekrar ışınım şiddeti yükseldiğinde ise devam etmiştir. Gece ise düşük ev tüketimini bataryalar, iki defa şebekeden dolarak karşılamıştır.
- Pazar günü (Şekil 4.12), Cumartesi deneyinden farklı olarak ışınım şiddeti iyi olmasına karşın gündüz tüketimi yoğun ve yüksek olduğu için bataryalar gündüz tamamen dolamamış ve şebekeye enerji aktarımı oldukça kısa süreli olabilmıştır. Cumartesi deneyine benzer bir şekilde bu deneyde de bataryalar evin gece tüketimini iki defa şebekeden doldurularak karşılanmıştır.

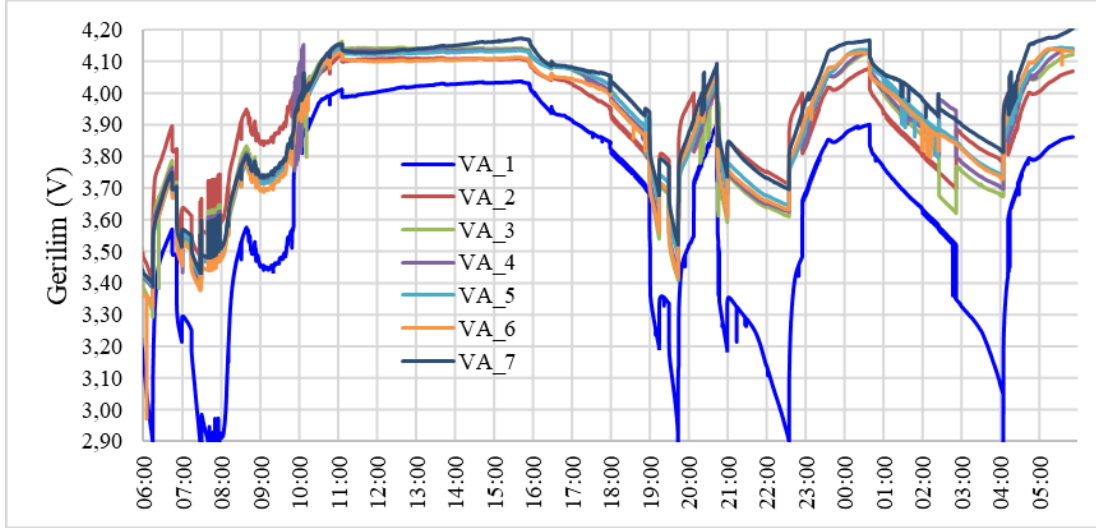


Şekil 4.14 Sıcaklık Değişimi-Çalışan Pazartesi Deneyi

Tasarım kısmında bahsedildiği gibi her bir batarya devresinde yer alan sıcaklık ölçerler ile bataryaların sıcaklıkları 2 noktadan ölçülmektedir. *Çalışan Pazartesi* deneyinde 3 batarya grubunun ayrı ayrı gün boyu sıcaklık değişimleri izlenmiş ve sonucu Şekil 4.14'deki grafikte gösterilmiştir. Aynı grafikte, bataryaların toplam gerilim değerleri de sağ tarafta verilmiştir. Buna göre sıcaklık verileri incelendiğinde;

- İlk olarak bataryalar dolarken, sıcaklıkları artmaktadır. Grafik incelendiğinde özellikle toplam gerilimin birden arttığı sabit akımla dolma aşamalarında batarya sıcaklıkları yüksek dolma akıma bağlı olarak birden artmıştır. Sabit akımla dolma aşamasının ardından sabit gerilimle dolma aşamasında akımla birlikte sıcaklıkların da düştüğü gözlenebilmektedir.
- Gün boyu en yüksek sıcaklık, saat 21.00 civarlarında sabit akım ile dolma aşamasında 3. Batarya grubunda 32,7°C olarak kaydedilmiştir. En düşük ise ortam sıcaklığının en düşük olduğu ve bataryaların düşük akımla boşaldığı saat 04.03'te 24,2°C olarak kaydedilmiştir. Bu değerler Li-iyon bataryalar (LIB) için kritik değerlerde değildir bu nedenle sıcaklık için ilave bir tedbir almaya gerek duyulmamıştır. Ancak tasarlanan devrelerin sıcaklıkları ölçme kabiliyeti istenildiği gibi çalışmaktadır.

Tasarım kısmında anlatıldığı gibi, yardımcı devreler, kendi batarya devrelerinde yer alan seri bağlı 7 LIB'nin her birinin gerilimlerini ölçebilmektedir. Batarya bloğunun tamamen dolduğuna/boşaldığına, dengelemenin açılıp/kapanmasına ölçülen her bir bataryanın gerilim değerine göre karar verilmektedir.



Şekil 4.15 Çalışan Pazartesi Seri Bağlı 7 LIB Gerilim Değişimi (A Grubu)

Örnek olarak yapılan *Çalışan\_Pazartesi* günü deneyindeki A Batarya Grubunun her bir bataryanın gün boyu gerilim değişimi Şekil 4.15'te verilmiştir. Grafik incelendiğinde;

- Başlangıç durumunda her ne kadar eşit gerilim değerleri ile başlamış olsalar da deney boyunca 1. bataryanın, batarya grubunda diğer bataryalara göre daha düşük gerilim değerlerine sahip olduğu görülmektedir.
- 1.bataryanın gerilimi, bataryalar dolarken diğer batarya grubuna yetişmemektedir. Özellikle batarya grubundan yüksek akım çekildiğinde 1.bataryanın gerilimi birden düşmektedir. Dolayısıyla kritik seviye olan 2,90 V seviyesinin altına düştüğü için batarya grubunun boşaldığına karar veren bataryadır. Buradan 1.bataryanın diğer bataryalara göre yaşlı olduğu ve iç direncinin yüksek olduğu için böyle bir tavır sergilediği sonucu çıkartılabilir.
- 1.batarya dışında diğer bataryalar dolarken/boşalırken gerilim değerleri birbirine benzer karakterler göstermektedir. Dengeleme devresi bataryaları üst kritik gerilim seviyesinin altında tutmakta başarılı olmuştur. Özellikle yüksek akımla dolma esnasında hiçbir batarya 4,20 V'u geçmemiştir.

#### 4.2. 4'lü Batarya Grubu Saha Deney Sonuçları

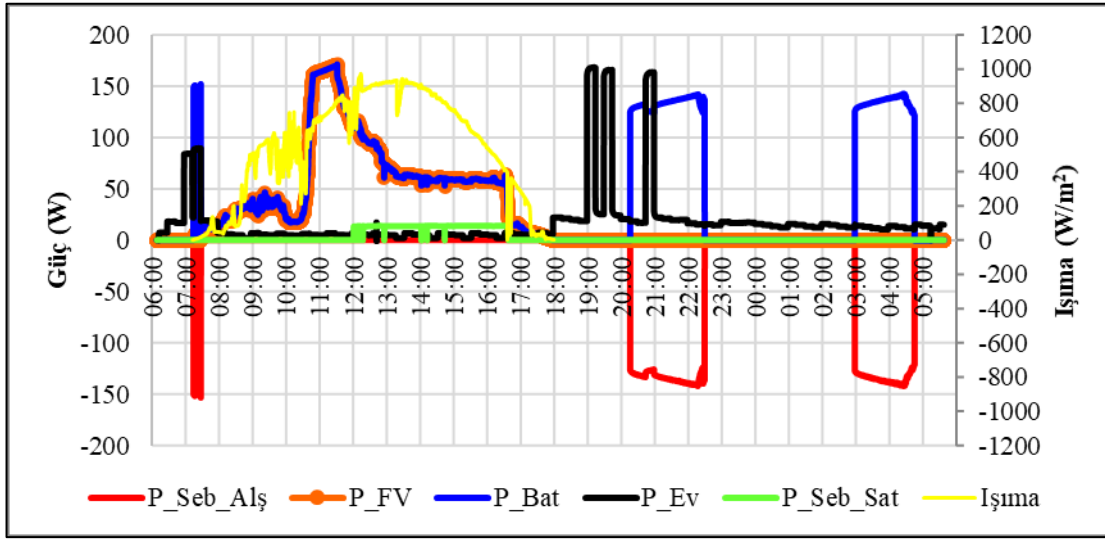
Sistemin büyüklüğüne karar verme aşamasında gerçek ev güç tüketiminin 1/15'inin gerçek zamanlı olarak enerji ihtiyacını karşılaması için 7s4p li-iyon batarya grubunun oluşturulmasına karar verilmişti. 3'lü batarya grubu ile yapılan deneylerin ardından asıl

sistem için gerekli olan 4'lü batarya grubu ile deneyler yapılmıştır. Yapılan 4'lü Batarya Grubu Deneylerinin ayrıntısı Çizelge 4.2'de verilmiştir.

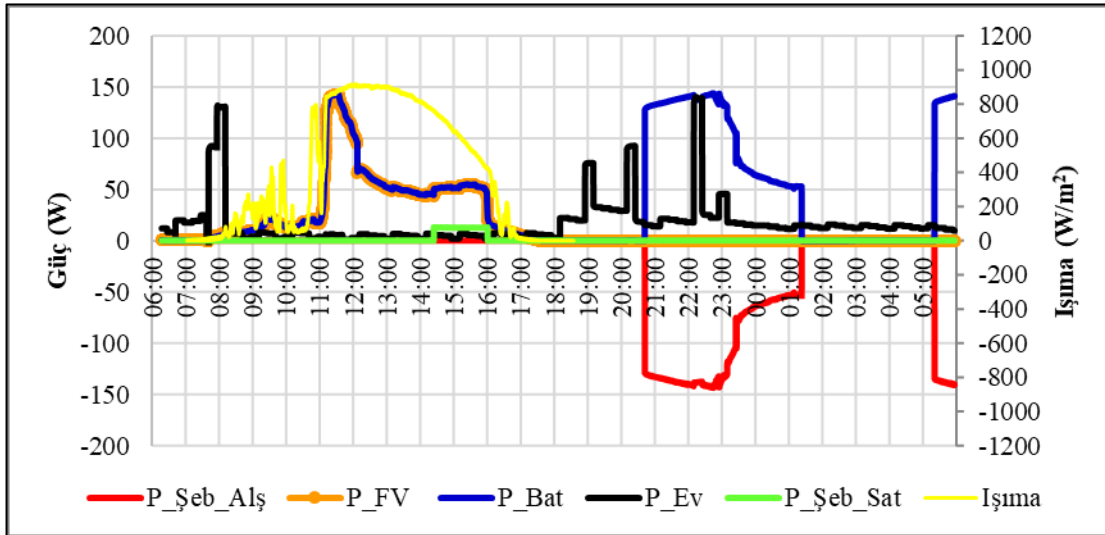
**Çizelge 4.2** 7s-4p batarya grubu ile yapılan saha deneyleri

<b>Deney</b>	<b>Gözönüne Alınan Yük Profili</b>	<b>Yapıldığı Tarih</b>
<b>7s4p_1</b>	Çalışan_Pazartesi	13 Ekim 2020
<b>7s4p_2</b>	Çalışan_Salı	09 Kasım 2020
<b>7s4p_3</b>	Çalışan_Cuma	13 Kasım 2020
<b>7s4p_4</b>	Çalışan_Cumartesi	04 Aralık 2020
<b>7s4p_5</b>	Çalışan_Pazar	26 Ekim 2020
<b>7s4p_6</b>	Emekli_Pazartesi	17 Ekim 2020
<b>7s4p_7</b>	Emekli_Salı	02 Kasım 2020
<b>7s4p_8</b>	Emekli_Cuma	04 Kasım 2020
<b>7s4p_9</b>	Emekli_Cumatesi (Yüksek Işınım)	23 Ekim 2020
<b>7s4p_10</b>	Emekli_Cumatesi (Düşük Işınım)	11 Aralık 2020
<b>7s4p_11</b>	Emekli_Pazar	27 Ekim 2020

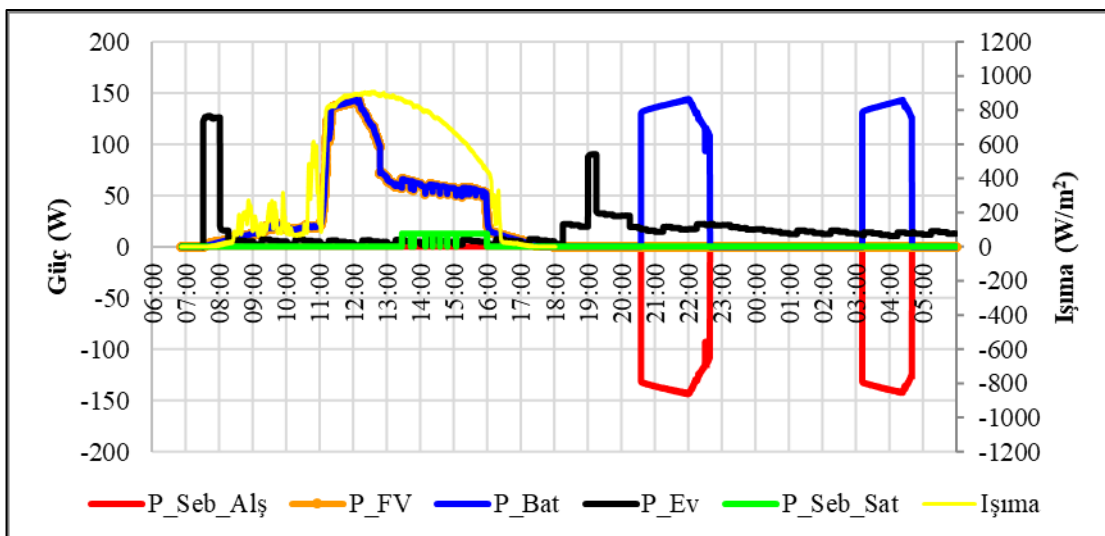
Çizelge 4.2'de gösterilen 4'lü batarya grubu ile yapılan deney sonuçları Şekil 4.16 - Şekil 4.26'da verilmiş ve izleyen bölümde bu sonuçlar ayrı ayrı tartışılmıştır.



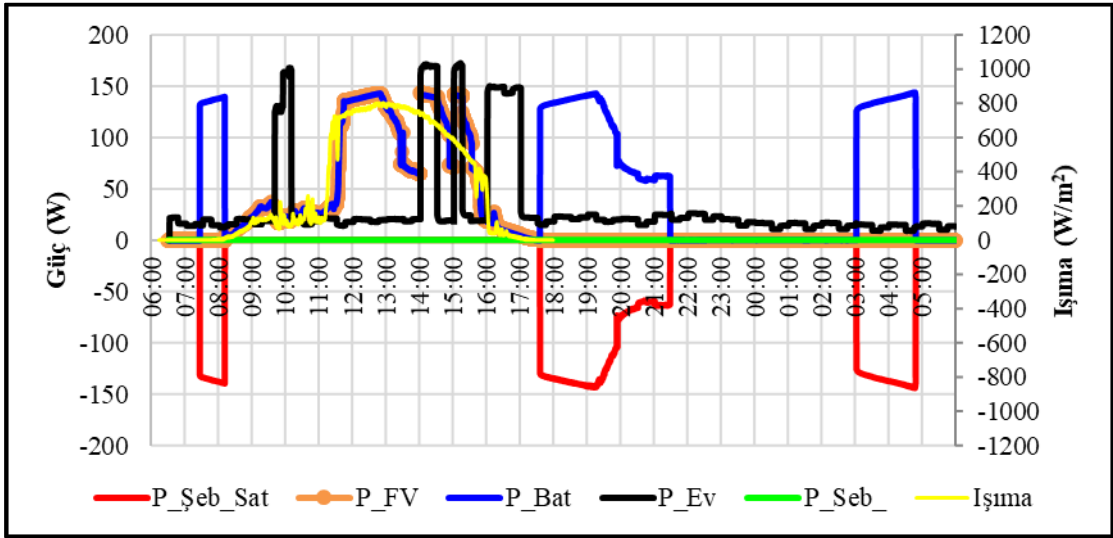
Şekil 4.16 4'lü Batarya Grubu Çalışan\_Pazartesi



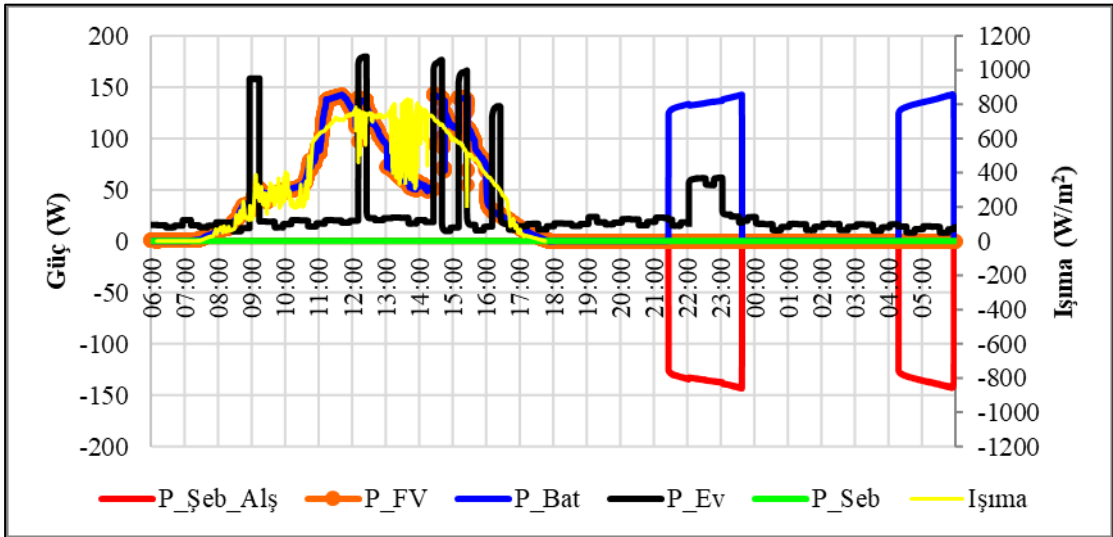
Şekil 4.17 4'lü Batarya Grubu Çalışan Salı



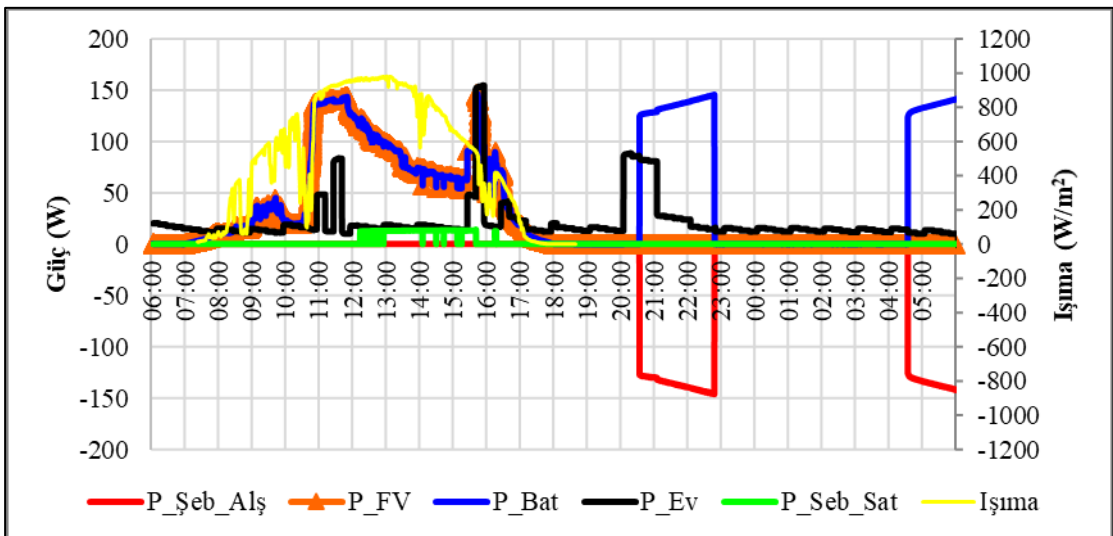
Şekil 4.18 4'lü Batarya Grubu Çalışan Cuma



Şekil 4.19 4'lü Batarya Grubu Çalışan Cumartesi

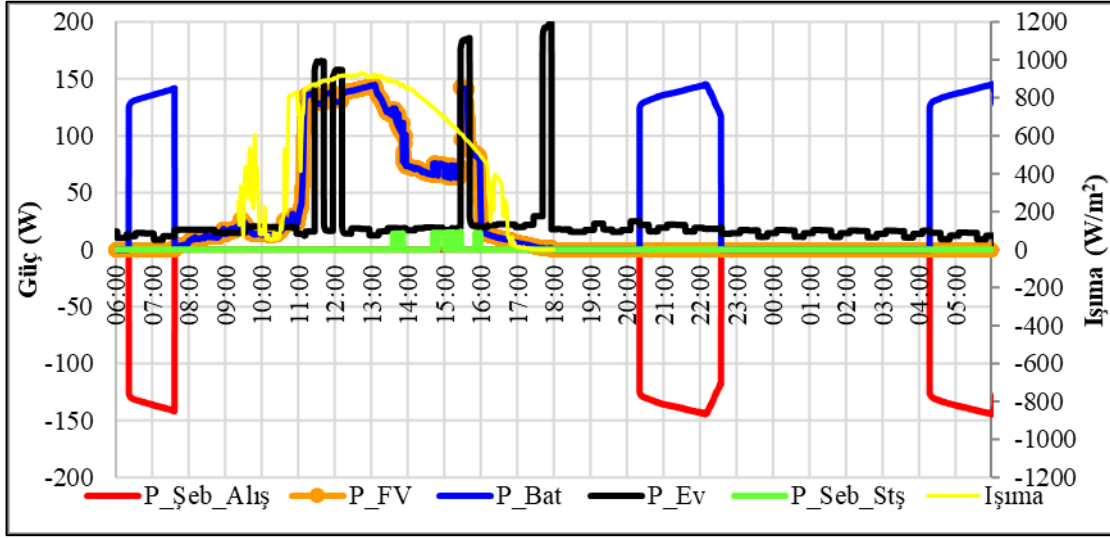


Şekil 4.20 4'lü Batarya Grubu Çalışan Pazar

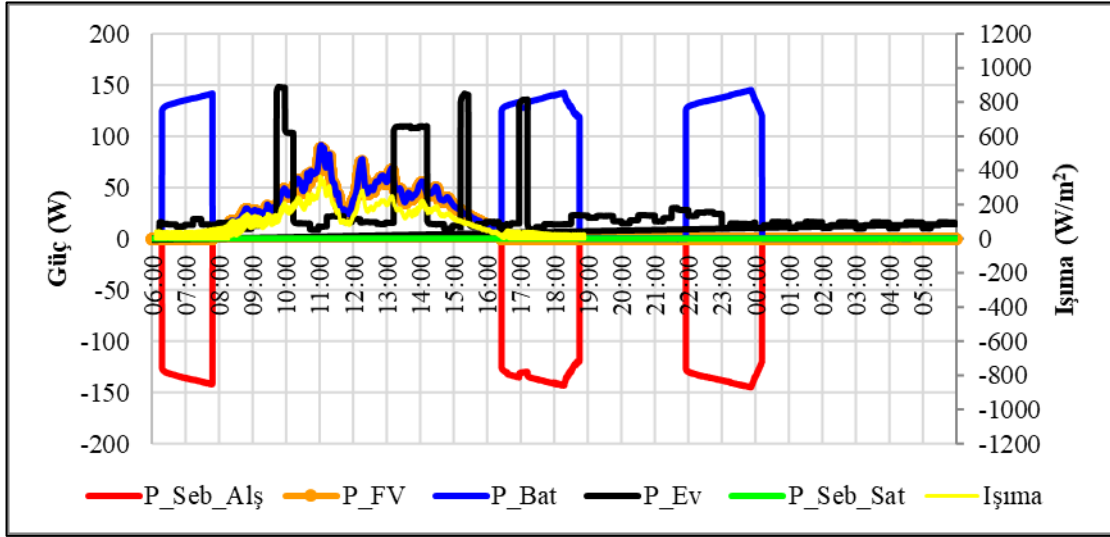




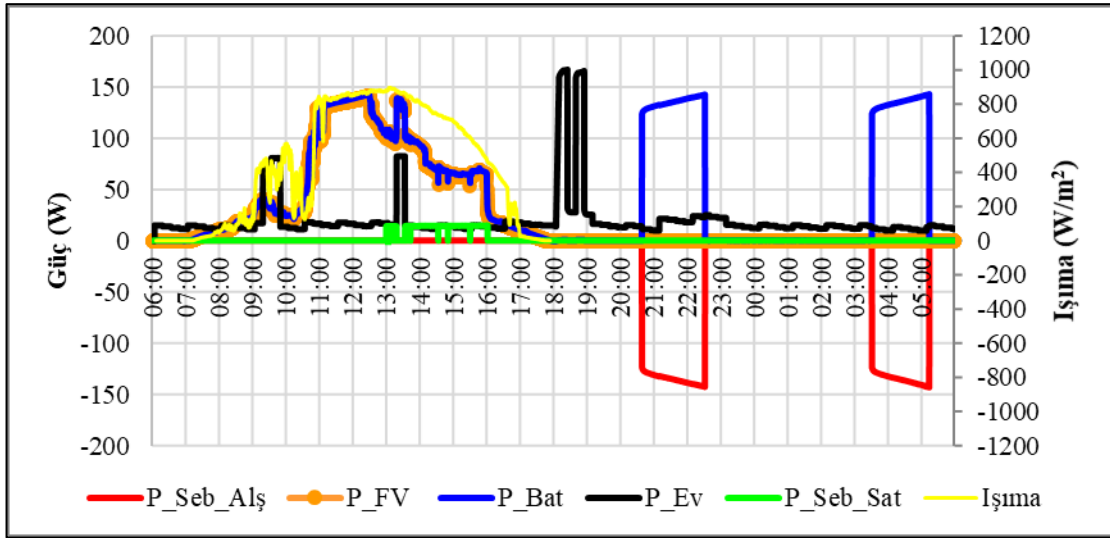
Şekil 4.21 4'lü Batarya Grubu Emekli Pazartesi



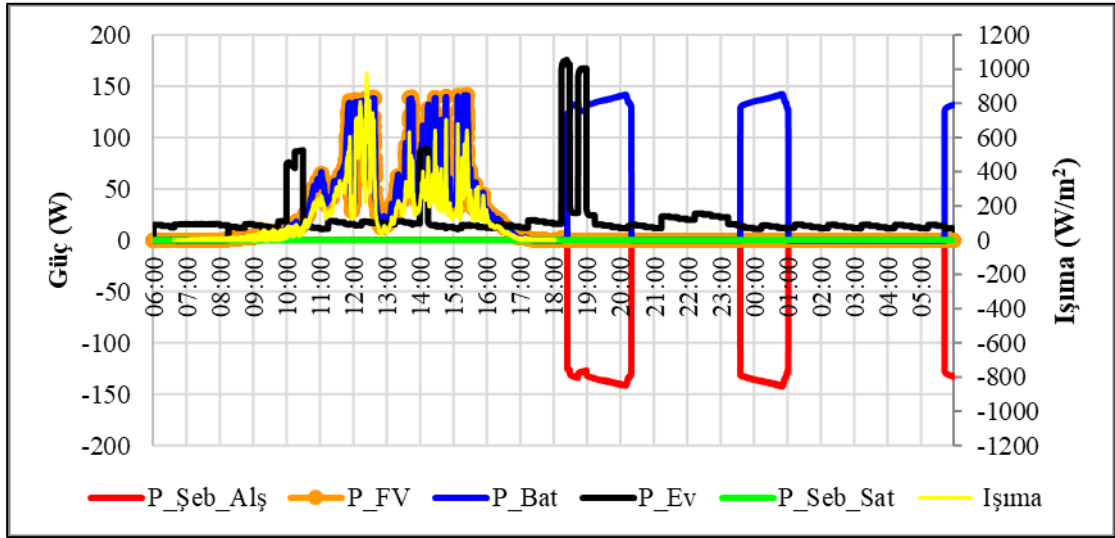
Şekil 4.22 4'lü Batarya Grubu Emekli Salı



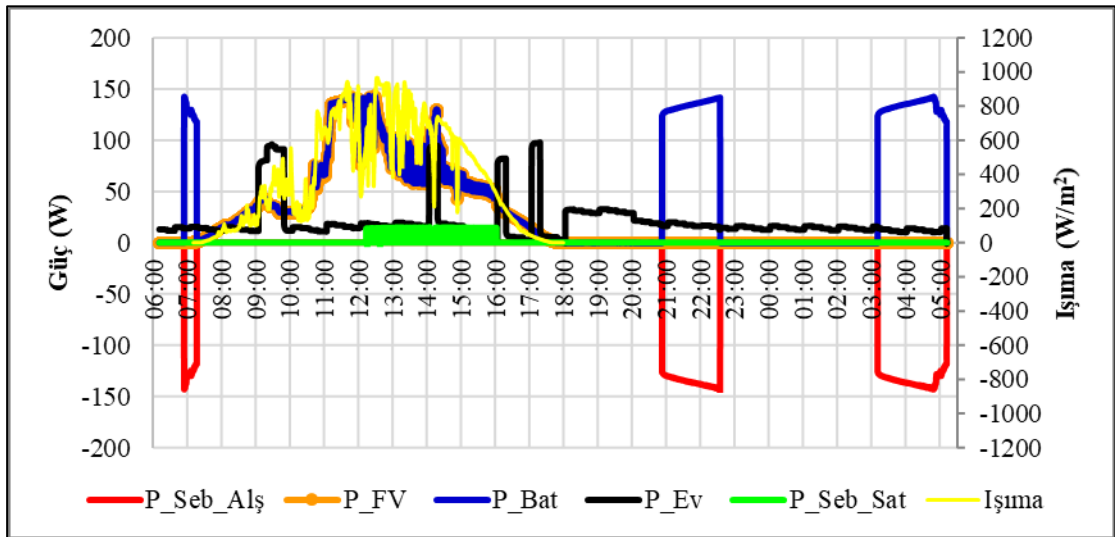
Şekil 4.23 4'lü Batarya Grubu Emekli Cuma



Şekil 4.24 4'lü Batarya Grubu Emekli Cumartesi (Işınım Yüksek )



Şekil 4.25 4'lü Batarya Grubu Emekli Cumartesi (Işınım Düşük)



Şekil 4.26 4'lü Batarya Grubu Emekli Pazar

Öncelikle 3'lü batarya grubu ile yapılan deneylerden farklı olarak bu deneylerde;

- 3'lü batarya grubuna paralel şekilde 4. batarya grubu bağlanmış,
- Güç tüketim profilleri 1/20 oranından 1/15 oranına yükseltilmiş,
- DA-DA dönüştürücünün dolma akımı 4,5 A'den 6 A'ye çıkartılmıştır.

Ancak 6A ile yapılan ilk deney olan *Çalışan\_Pazartesi* deneyinde;

- Gündüz bataryalar FV'den 6A ile doldurulurken herhangi bir problem olmamıştır
- Gece ise DA güç kaynağı, bataryaları 6 A ile doldurulurken ana devrede bir takılma meydana gelmiştir.

Bu problemi önlemek için diğer yapılan deneylerde dolma akımı en yüksek 5A (batarya grupları başına 1,25 A olacak şekilde) ayarlanmıştır. Bu akım değerinde hem FV sisteminden hem de DA güç kaynağından (*şebekeden alış*) bataryalar tüm deneylerde sorunsuz şekilde doldurulmuştur.

***Çalışan\_Hafta içi güç tüketimine yönelik deneyler, Şekil 4.16, Şekil 4.17, Şekil 4.18:***

*Çalışan\_Pazartesi* deneyi incelendiğinde,

- Sabah ışınımın düşük olduğu zamanlar, ev halkı uyandığı için enerji tüketimi artmıştır ve batarya bloğu boşaldığından FV sistem güç üretmeye başlayana kadar bir süre (07.14-07.25) şebekeden doldurulmuştur. 08.00'den itibaren çalışan ev halkı evi terk ettiğinden enerji tüketimleri eve geri döndükleri 18.00'a kadar düşük bir profil sergilemektedir. Bu zaman zarfında FV sistem, ışınımına bağlı olarak batarya bloğunu doldurmaktadır. Bataryalar saat 12.00'da dolduğunda; FV sistemden elde edilen enerjinin fazlası DA basit yük üzerinde harcanmaya (*şebekeye enerji aktarım işlemi*) başlamıştır. Harcama işlemi (*aktarım*) ışınım şiddetinin birden düştüğü 16.34'te sonlandırılmıştır.
- 18.00'dan sonra ev halkının eve geldiği, enerji tüketiminin artmasıyla kendini göstermektedir. Pazartesi günü saat 19.00'da Fırın 1 sa (15 dk Isıtma+Fan, 15 dk ise sadece Fan) çalıştırıldığı enerji tüketimin grafiğindeki tepe noktaları ile uyumlu olacak şekilde görülmektedir. Ayrıca saat 20.45'te 15 dk. boyunca anlık su ısıtıcısı çalıştırılmıştır. Tüketimin azaldığı gece boyunca evin enerji tüketimi, bataryaların iki defa şebekeden doldurulması ile karşılanmıştır.

*Çalışan\_Salı* deneyinde;

- Sabah saatlerinde ev halkının uyanması ile yüksek güç tüketen cihazlar (anlık su ısıtıcı ve tost makinası) çalıştırıldığı için enerji tüketimi artmıştır. Ardından Pazartesi günü gibi çalışan insanların evi terk etmesiyle enerji tüketimi 08.00-18.00 saatleri arasında düşük bir profil sergilemiştir. Ancak sabah 09.00-11.00 saatleri arasında bulutlanma olduğu için ışınım çok iyi değildir. Bu durum

bataryaların gündüz geç dolmasına, dolasıyla şebekeye aktarılan enerjinin Pazartesi gününe nazaran daha az olmasına neden olmuştur. Enerji aktarım işlemi, saat 14.32 gibi başlamış ve 16.40'da sona ermiştir.

- Yine Salı günü deneyinde, Pazartesi gününe nazaran akşam enerji tüketiminde tepe noktaları daha düşüktür. Akşam saat 22.00 civarlarında bataryalar şebekeden beslenirken çamaşır makinası çalıştırılmış ve en yüksek tüketim değeri bu zamanda kaydedilmiştir. Gece boyunca enerji tüketimi bataryaların bir kere tam doldurulması karşılanmıştır. Sabaha karşı bataryalar boşaldığı için şebekeden dolun işlemi 05.21'de tekrar başlamış, ancak deney sabah 06.00'da sonlandırılmıştır.

Çalışan hafta içinin son deneyi olan Cuma günü deneyinde ise;

- Sabah ve öğlen güç tüketimi ve ışınımın düşük olması hususları Salı deneyi ile benzer özelliklere sahiptir. Şebekeye enerji aktarımı, 13.25'te başlamış ve 16.25'te sona ermiştir.
- Akşam 18.00'den sonra hane halkının eve gelmesi ile tüketimin artmıştır. En fazla tüketimin 19.00'da çalıştırılan ani su ısıtıcıdan kaynaklandığı görülmektedir. Gece boyunca enerji tüketimi, iki defa bataryaların şebekeden doldurulması ile karşılanmıştır.

#### ***Çalışan\_Cumartesi güç tüketimine yönelik deney, Şekil 4.19:***

Hafta içi deneylerinden sonra hafta sonu deneylerinin yapılmasına geçilmiştir. 04 Aralık 2020 tarihinde yapılan Çalışan Cumartesi deneyine göre;

- Sabah saatlerinde bataryalar boşalınca FV sisteminden güç elde edilene kadar kısa bir süre bataryalar şebekeden doldurulmuştur. Ardından FV sistem güç üretmeye başlayınca bu işleme son verilmiştir. Sabah, hafta içinden farklı olarak hane halkı daha geç uyanmış ve dolasıyla güç tüketim tepe noktaları da ötelenmiştir. Sabahtan öğlene kadar ışınım kötü olduğu için FV sistem tam olarak bataryaları doldurmaya 11.45 civarında başlamıştır.
- Yüksek güç tüketen cihazlar (elektrik süpürgesi, çamaşır makinası, anlık su ısıtıcı gibi) bilinçli tüketici tarafından bataryaların dolduğu ve ışınımın iyi olduğu durumlarda çalıştırılmıştır. Gündüz tüketim yoğun olduğu için beklendiği gibi şebekeye enerji aktarımı gerçekleşmemiştir. Gece evin enerji tüketimi için

bataryalar şebekeden 2 defa doldurulmuş ve enerji ihtiyacı gece boyunca bataryalardan karşılanmıştır.

#### ***Çalışan\_Pazar güç tüketimine yönelik deney, Şekil 4.20 :***

Çalışan insanların yaşadığı ev ile ilgili son olarak 26 Ekim 2020 tarihinde *Çalışan\_Pazar* günü deneyi yapılmıştır.

- Cumartesi deneyinden farklı olarak; ışınım öğleden önce daha iyi olsa da öğleden sonra zaman zaman bulutlanmanın etkisi, FV sistem üzerinde görülmektedir. 12.50 civarlarında başlayan bulutlanma 14.15 civarlarında etkisini yitirmiş ancak bu sefer güç tüketim profilinde yüksek güç tüketen bulaşık makinesi, ani su ısıtıcı, saç kurutma makinası gibi cihazlar çalıştırılmıştır.
- FV sistem sadece yükün ihtiyacını karşılamaya ve bataryaları doldurmaya yetebilmiş, şebekeye enerji aktarımı gerçekleşmemiştir.
- Akşam gündüze göre daha düşük bir tüketim profilinin olduğu grafikte görülmektedir. Gece boyunca evin güç tüketimi için yine bataryalar 2 defa şebekeden doldurulmuştur.

#### ***Emekli\_Hafta içi güç tüketimine yönelik deneyler, Şekil 4.21, Şekil 4.22 ve Şekil 4.23:***

Çalışan insanların yaşadığı ev profili için 4'lü batarya grubu ile deneyler tamamlandıktan sonra, emekli insanların yaşadığı ev tüketim profilleri kullanılarak deneylerin yapılmasına geçilmiştir.

- *Emekli\_Pazartesi* deneyinde (Şekil 4.21) sabah güç tüketiminin 10.45'tan sonra arttığı görülmektedir. Gün içerisinde emekliler evde olduğu için güç tüketimlerine bağlı olarak bataryalar ancak öğleden sonra dolabilmektedir. Örneğin Pazartesi günü 15.30'da çamaşır makinası çalıştırılmıştır. Gündüz güç tüketimi çok artmadığında ve bataryalar dolduğunda ışınım şiddeti hala yüksek ise şebekeye enerji aktarım işlemi gerçekleşmektedir. Pazartesi günü ara ara ışınım şiddetine bağlı olarak aktarım işlemi devreden çıkmış ve bu işlem, 12.36 başlamış, 16.20'de sona ermiştir. Gece ise bataryalar, yükün ihtiyacını 2 defa şebekeden dolarak karşılayabilmiştir.
- *Emekli\_Salı* günü deneyinde (Şekil 4.22), deney başlatıldıktan kısa süre sonra sabahın erken saatlerinde bataryalar boşalmış, şebekeden yaklaşık bir saat (06.21-07.37) doldurulmuştur. Işınım ile birlikte FV sistem bataryaları doldurmaya

başlayınca şebekeden doldurma işlemi devreden çıkmış ve bataryalar yükün ihtiyacını karşılarken FV sistemden dolmaya başlamıştır. 10.00 ile 10.45 arasında FV modüller üzerindeki gölge etkisi burada da görülmektedir. Gölge etkisi geçtikten sonra bataryalar yüksek akımla FV tarafından doldurulmaya başlamıştır. Ardından emeklilerin uyanması ile güç tüketimleri artmış ve bu güç tüketimleri bataryalar doldurulurken karşılanmıştır. Bataryaların dolması sabahki gölgelenmeden dolayı geciktiği için şebekeye enerji aktarımı Pazartesi gününe oranla daha kısa süreli gerçekleşmiştir. Gece evin güç tüketimi, Pazartesi deneyine benzer biçimde bataryaların şebekeden 2 kez dolması ile karşılanmıştır.

- *Emekli\_Cuma* günü deneyinde (Şekil 4.23) ise, ilk olarak dikkat çeken ışınımın gün boyu oldukça düşük olduğudur. Işınım şiddeti gün boyunca en fazla 319 W/m<sup>2</sup>'a kadar çıkabilmiştir. Tıpkı Salı günü deneyindeki gibi, sabah deney başlatıldıktan sonra bataryalar kısa süre sonra boşalmış ve saat 06.17-07.48 arasında şebekeden doldurulmuştur. Gün boyunca ışınım şiddeti ile orantılı biçimde, bataryaların FV sistemden doldurulduğu çok net biçimde görülmektedir. Gündüz FV'den alınan doldurma gücü düşük olduğu için şebekeye enerji aktarım işlemi gerçekleşmemiştir. Gün içerisinde yükün yüksek güç tüketimleri, bataryalardan karşılanmıştır. Saat 16.26'da FV sistem, yükün ihtiyacını karşılamaya yetmediği için, bataryaların şebekeden doldurulmasına başlanmıştır. Gece ise bir kere daha bataryaların bu kaynaktan doldurulmasına ihtiyaç duyulmuştur (21.56 – 00.12). Bataryalar dolduktan sonra sabaha kadar tekrar doldurulmaya gerek duyulmamıştır.

#### ***Emekli\_Hafta sonu güç tüketimine yönelik deneyler, Şekil 4.24, Şekil 4.25 Şekil 4.26:***

Emekli hafta içi deneylerinin tamamlanmasının ardından, hafta sonu deneylerine geçilmiştir. Cumartesi günü tüketim profiline yönelik, iki ayrı günde deneyler yapılmıştır. Bu deneyler ile aynı tüketim profilinde hem düşük ve hem de yüksek ışınım varken sistemin davranışlarını gözlemek istenmiştir.

Cumartesi günü güç tüketim profiline yönelik olarak;

- Şekil 4.24'te ışınımın iyi olduğu 04 Kasım 2020 tarihindeki deneyin,
- Şekil 4.25'de ise ışınımın kötü olduğu 11 Aralık 2020 tarihindeki deneyin güç grafikleri gösterilmektedir.

Cumartesi gününe yönelik yapılan her iki deney birlikte incelendiğinde;

- Siyah renk ile gösterilen güç tüketim profilleri beklendiği gibi aynıdır. Her iki deneye de bataryalar dolu başlamıştır. Gündüz ışınım şiddetine bağlı olarak bataryalar FV sistemden doldurulmuş ve bu esnada yükün ihtiyacı karşılanmıştır.
- Işınım değeri yüksek olan gün, bataryalar 13.00 sularında dolduğundan şebekeye enerji aktarım işlemi başlamış ve 16.15'e kadar devam etmiştir. Işınımın kötü olduğu gün ise herhangi bir şebekeye enerji aktarım işlemi gerçekleşmemiştir.
- Akşam, ışınım kötü olduğu gün, bataryalar daha az dolduğu için, DA güç kaynağından doldurulmaya (şebekeden doldurma), ışınımın yüksek olduğu güne göre daha erken başlanılmıştır (18.24).
- Işınımın iyi olduğu gün ise güneş battıktan sonra bataryalar sadece 2 kez şebekeden doldurulmuştur. Işınımın kötü olduğu gün ise 2 kez tamamen bataryalar doldurulmuş, ardından sabaha karşı 3. doldurma işlemi başlamıştır.

Pazar günü (Şekil 4.26) ise; sabahı bataryalar boşaldığı için çok kısa bir şebekeden doldurulmuştur. Ancak ışınım ile birlikte FV'ler güç üretmeye başlayınca bu işlem durdurulmuş ve bataryalar FV'den doldurulmaya başlamıştır. Deney günü hava kapalı olduğundan ışınım şiddeti çok iyi değildir. Öğleden sonra bataryaların dolması ile birlikte 12.38'de şebekeye enerji aktarma işlemi başlamış, ancak bu işlem kesintisiz gerçekleşmemiştir. Yer yer aktarım gerçekleşmiş ardından tekrar devre dışı kalmıştır. Gece tüketimin karşılanması ise bataryaların 2 defa şebekeden doldurulması ile gerçekleşmiştir.

## 5. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, iki farklı (emekli ve çalışan) gerçek ev tüketim profillerinin belirli oranda azaltılmış (1/15) tüketimini karşılayabilen şebekeye bağlı, bataryalı-FV sistem için yazılım ve donanımı ile birlikte enerji ve batarya yönetim sistemi gerçekleştirilmiştir.

Ev tüketimine yönelik olarak; evdeki elektrikli cihazların gerçek tüketimleri ölçülmüş ve programlanabilir elektronik yük (Chroma 63004-150-60) ile iki farklı (emekli ve çalışan) profil için her güne ait belirlenen oranda (1/15) azaltılmış 15 dakikalık dizelerden oluşan 24 saat yük profilleri oluşturulmuştur.

Enerji yönetim sistemi sayesinde; 24 saat boyunca enerji uygun olan güç kaynağından alınabilmekte, evin ihtiyacı talep edildiği şekilde sorunsuz karşılanabilmektedir. Bunun yanı sıra EYS ile üretilen fazla enerji, yatırım maliyetini düşürmek ve tüketiciyi üretentüketiciye dönüştürmek amacıyla, şebekeye enerji aktarılmasını temsilen 24 V'luk ampuller üzerinde harcanabilmektedir. Yapılan deneylerde, Kesim 4.1 ve Kesim 4.2'de tartışıldığı gibi EYS tüm koşullarda;

- Bataryalar boşken ancak FV sistemden yeterli enerji üretilebildiğinde; FV sistem, bataryaları dolduracak ve yükün ihtiyacını karşılayacak,
- Bataryalar boşken ve FV sistemden yeterli üretim olmadığında; şebeke, yükün ihtiyacını karşılayacak ve aynı zamanda bataryaları dolduracak,
- Bataryalar doluyken ve FV sistem yükün ihtiyacından fazla enerji üretebildiğinde, FV sistem yükün ihtiyacı karşılayacak ve fazlasını şebekeye aktaracak diğer bir deyişle şebekeye iletiyormuş gibi 24 V'luk ampuller üzerinde harcayacak,
- FV sistemden üretim olmadığında ve bataryalar doluyken ise sadece bataryalar yükün ihtiyacını karşılayacak şekilde, beklendiği gibi çalışmaktadır.

Tasarlanan bataryalı-FV sisteminde, ev tüketiminin ihtiyacı her zaman bataryalar üzerinden karşılanmıştır. Kullanılan bataryalar hassas bir karaktere sahip li-iyon bataryalar olduğu için batarya yönetim sisteminin düzgün biçimde çalışması sistemin güvenliği ve verimi açısından önemlidir. Yapılan deneylerde oluşturulan 7s4p batarya bloğuna yönelik olarak tasarlanan batarya yönetim sistemi (BYS), BYS'nin ana fonksiyonları olan hem her bir bataryanın hem de batarya bloğunun gerilimlerinin, batarya bloğuna giren/çıkan akımın, bloğa ait sıcaklıkların doğru ölçülmesi; seri bağlı bataryalar arasında dengeleme yapılması; bataryaların güvenli çalışma aralığında



çalıştırılması; güvenli olmayan bir durum meydana geldiğinde bataryaların devreden çıkarılması, tüm bu durumların kullanıcıya uygun iletişim kanalıyla iletilmesi, bunun yanında ekran ile görüntülenmesi fonksiyonlarını başarılı bir şekilde yerine getirmiştir. Bu fonksiyonların dışında, FV modüllerinin üzerine yerleştirilen ve bataryaların bulunduğu ortamda bulunan sıcaklık ölçerler ile bu bölgelerin sıcaklıkları ölçülmüştür.

Gerek enerji yönetim sisteminin verileri gerekse batarya yönetim sisteminin verileri FV'nin ve bataryaların performanslarının incelenmesi, tasarlanan sistemin analizlerinin yapılması ve ileride sistemin geliştirilmesine yönelik çalışmaların yapılması maksadıyla 24 saat boyunca gerçek zamanlı olarak SD kartta kayıt altına alınmıştır. Devrelerin kesmeye sokulması ve gerekli bilgilerin alınmasına bağlı olarak 8-10 s aralıklarla sistem tüm bileşenlerinden verileri kayıt altına alabilmektedir.

Sonuç olarak, ev için şebekeye bağlı bataryalı FV sistem için prototip BYS ve EYS tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir.

Gelecek çalışmalarda:

- **SoC ölçümü:** Bataryalara giren/çıkan akım, zamana bağlı olarak ölçülebilmektedir. Bu sayede, yük sayma metodu kullanılarak SoC hesabı yapılabilir. Ancak yapılan bu kapasite hesabının doğruluğu için ilave bir kalibrasyon çalışması yapılması gereklidir.
- **SoH ölçümü:** SD karta kaydedilen 24 saat veriler incelendiğinde, batarya bloğunda iç direnci en yüksek olan dolasıyla yaşanan bataryanın tespiti yapılabilmektedir. Yapılan bu tespitin program çalışırken, algoritma tarafından yapılması için gelecekte çalışma yapılabilir.
- Yapılan ölçümlerde ana devrenin ve yardımcı devrelerin toplamda ortalama 15-16 W harcadığı ölçülmüştür. Bu tüketim, gerçek dünyada tasarlanacak bataryalı-FV sistem için çok büyük bir tüketim olmasa da (yaklaşık bir ampul kadar) tasarlanan sistemin prototip bir sistem olduğu göz önüne alındığında kayda değer bir tüketimdir. Prototip sistem bileşenlerinden batarya bloğunun büyüklüğü belirlenirken bu tüketim göz ardı edilmiş; ancak yapılan deneylerde geceleri bataryalar, BYS'i de beslediği için tahmin edilenden daha erken boşalmış, şebekeden enerji alımına daha erken başvurulmuştur. Bu durumu önlemek için ileride sistem bileşenlerinin büyüklüklerine karar verilirken BYS'nin tüketiminin de dikkate alındığı bir çalışma yapılabilir.

- Tasarılan sistemde evin ihtiyacı her zaman bataryalar üzerinden karşılanmaktadır. Gelecek çalışmalarda, gündüz bataryalar dolduktan sonra devreden çıkartılarak, ev yükünün ve şebekeye enerji aktarımının doğrudan FV sistem üzerinden gerçekleşebileceği ayrı bir tasarım gerçekleştirilebilir. Geçekleştirecek bu tasarım ile mevcut sistem karşılaştırılarak etkinlik ve verim analizi yapılabilir.
- Yapılan deneylerde, şebekeye enerji aktarımı için kullanılan basit yük 24 V'lük ampuller tam olarak şebekeye satış işlemini yansıtmadığı gözlemlenmiştir. Bataryalar tamamen dolduğunda, FV sistemde şebekeye aktarım için ampullere verilen daha fazla enerji varken, sistem sadece ampullerin çektiği kadar enerjiyi şebekeye aktarabilmiştir. Müteakip çalışmalarda gerçek şebeke gibi davranabilecek DA elektronik yük kullanılarak daha gerçekçi şebekeye satış/alış işlemi gerçekleştirilebilir.

## 6. KAYNAKLAR

- [1] Solar Power Europe Organization, Global Market Outlook Report For Solar Power, 2020 – 2024, **2020**.
- [2] <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/03/20180327M2-1.htm> (Ocak, **2021**).
- [3] Ayla D., Karış Ç., Türkiye’de Enerji İthalatı ve Cari Açık Üzerine Bir Değerlendirme, Adıyaman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Yıl:12, Sayı:32, Ağustos **2019**.
- [4] Canbay Ş., Pirali K., Türkiye’de Savunma Harcamaları ile Yenilenebilir Enerji Tüketiminin Enerji İthalatı Üzerindeki Etkileri, Akademik Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi Yıl: 11(21), 398-410, **2019**.
- [5] Eceral, T., Türk Savunma ve Havacılık Sanayisinin Küresel, Ulusal ve Yerel Dinamikleri: Ankara Örneği. Gazi Akademik Bakış. 11. 87-106. 10.19060/gav.379581, **2017**.
- [6] Ediger V.Ş., Kentel E., Renewable energy potential as an alternative to fossil fuels in Turkey, Energy Conversion and Management Volume 40, Issue, Pages 743-755, **1999**.
- [7] <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/> (Ocak, **2021**)
- [8] Wang Q, Qiu HN. Situation and outlook of solar energy utilization in Tibet, China. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2009; 13, 2181–6, **2009**.
- [9] Bortolini M., Gamberi M., Graziani A. Technical and economic design of photovoltaic and battery energy storage system. Energy Conversion and Management. 86. 81–92, **2014**.
- [10] Eltawil M. A., Zhao Z., Grid-connected photovoltaic power systems: Technical and potential problems - A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 14, Issue 1, Pages 112-129, **2010**.
- [11] Moslem U., Mohd Fakhizan R., Mohd Faris A., Syahirah Abd H., Ab Halim Abu B., Tan Chia K., A review on peak load shaving strategies, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 82, Part 3, Pages 3323-3332, **2018**.

- [12] Pesaran A., Santhanagopalan S., Kim G., Addressing the impact of temperature extremes on large format Li-ion batteries for vehicle applications (presentation), Tech. rep., National Renewable Energy Laboratory (NREL), Golden, CO, **2013**.
- [13] Stuart, T.; Fang, F.; Wang, X.P.; Ashtiani, C.; Pesaran, A. A modular battery management system for HEVs. Future Car Congress **2002**.
- [14] Gaurav S., Birla C., Lamba A., S. Umashankar, Ganesan S., Energy Management of PV – Battery Based Microgrid System, Procedia Technology, Volume 21, Pages 103-111, **2015**.
- [15] [www.skybrary.aero](http://www.skybrary.aero) (Ocak, **2021**)
- [16] [www.unece.org](http://www.unece.org). (Ocak, **2021**)
- [17] Andrea D., Battery Management Systems for Large Lithium-Ion Battery Packs, first ed., Artech House, September 30, **2010**.
- [18] [http://en.wikipedia.org/wiki/Battery\\_management\\_system](http://en.wikipedia.org/wiki/Battery_management_system) (Ocak, **2021**)
- [19] Daud Z. Asus, Experimental study of lithium-ion battery thermal behaviour under abuse discharge condition February **2019** Z.H.C.
- [20] X. Hu, Feng F., Liu K. “State estimation for advanced battery management: Key challenges and future trends” Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol.114, **2019**.
- [21] Cheng, K.W.E.; Divakar, B.P.; Wu, H.J.; Ding, K.; Ho, H.F. Battery-Management System (BMS) and SOC development for electrical vehicles. IEEE Trans. Veh. Technol., 60, 76–88, **2011**.
- [22] Jeon S., Yun J. and Bae S.,”Comparative Study on the Battery State-of-Charge Estimation Method” Indian Journal of Science and Technology, Vol 8(26), IPL0524, October **2015**.
- [23] F. Husnayain, A. R. Utomo, PS. Priambodo,” State of Charge Estimation for a Lead-Acid Battery Using Backpropagation Neural Network Method “IEEE International Conference on Electrical Engineering and Computer Science 24-25 November **2014**.
- [24] Wang, Shunli & Ji, Weikang. (**2020**). Research on balance control of battery management system.

- [25] Stamps, A.T.; Holland, C.E.; White, R.E.; Gatzke, E.P. Analysis of capacity fade in a lithium ion battery. *J. Power Sources*, 150, 229–239, **2005**.
- [26] Xiong R., Li L., Tian J.” Towards a smarter battery management system: A critical review on battery state of health monitoring methods” *Journal of Power Sources* vol.405, pp.18–29, **2018**.
- [27] Han, Weiji & Wik, Torsten & Kersten, Anton & Dong, Guangzhong & Zou, Changfu. Next-Generation Battery Management Systems: Dynamic Reconfiguration. *IEEE Industrial Electronics Magazine*. Lithium-ion battery pack modeling using accurate OCV model: Application for SoC and SoH estimation **2020**.
- [28] LIN, Chun & Cabrera, Javier & Yu, Denis & Yang, Fangfang & Tsui, Kwok. SOH Estimation and SOC Recalibration of Lithium-Ion Battery with Incremental Capacity Analysis & Cubic Smoothing Spline. *Journal of the Electrochemical Society* **2020**.
- [29] Huang, Shyh-Chin & Tseng, Kuo-Hsin & Liang, Jin-Wei & Chang, Chung-Liang & Pecht, Michael. An online SOC and SOH estimation model for lithium-ion batteries. *Energies*. **2017**
- [30] Divakar B.P., Cheng K.W.E. , Battery management system and control strategy for hybrid and electric vehicle. *Third International Conference on Power Electronics Systems and Applications*, **2009**.
- [31] Kabir, Q. S., Suzuki, Y., Increasing manufacturing flexibility through battery management of automated guided vehicles. *Computers & Industrial Engineering*. 117. 10.1016/j.cie.2018.01.026. S, **2018**,.
- [32] Zhang, Z., Kokozinski, R., Kirscher, J., Pelz, G. Simulative Analysis Methods Deployed to Optimize Automotive Battery Management. 10.1109/VPPC.2015.7353018, **2015**.
- [33] <https://www.tesla.com> (Ocak, **2021**)
- [34] Moore S.W., Schneider P.J., A Review of Cell Equalization Methods for Lithium Ion and Lithium Polymer Battery Systems, *Society of Automotive Engineers*, 2001-01-0959, **2001**.

- [35] Balasingam, Balakumar & Ahmed, Mostafa & Pattipati, Krishna. Battery Management Systems—Challenges and Some Solutions. *Energies*. 13. 2825. Development of Enhancing Battery Management for Reusing Automotive Lithium-Ion Battery, **2020**.
- [36] Duraisamy, Thiruvonasundari & Kaliyaperumal, Deepa. (). Active cell balancing for electric vehicle battery management system. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)* **2020**.
- [37] Orecchini, Fabio & Santiangeli, Adriano & Dell’Era, A.. EVs and HEVs Using Lithium-Ion Batteries. *Lithium-Ion Batteries: Advances and Applications*. 205-248. **2014**.
- [38] Pagaria, S. & Naik, N. & Dundesh, Si. & Sooriyaperakasam, N. & Rathee, U. Simulation of Smarter Battery Management System and Charging for Electrical Vehicle Application. *Journal of Green Engineering*. **2020**
- [39] K, Vishnu & Nema, Rajesh & Ojha, Amit. (2020). Various Types of Wireless Battery Management System in Ev. 1-5. 10.1109/SCEECS48394.2020.115.,**2019**.
- [40] Feng X., Gooi H. B., Chen S., Capacity fade-based energy management for lithium-ion batteries used in PV systems, *Electric Power Systems Research*, Volume 129, **2015**, Pages 150-159.
- [41] Ghafoor A., Munir A., Design and economics analysis of an off-grid PV system for household electrification, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 42, **2015**, Pages 496-502.
- [42] Mohanty P., Bhuvaneshwari G., Balasubramanian R., Dhaliwal N. K. MATLAB based modeling to study the performance of different MPPT techniques used for solar PV system under various operating conditions, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 38, **2014**, Pages 581-593.
- [43] Osama Saadeh, Rabi Rabady, Muath Bani Melhem, New effective PV battery charging algorithms, *Solar Energy*, Volume 166, **2018**, Pages 509-518.
- [44] Benabdelaziz K., Maaroufi M., Battery dynamic energy model for use in electric vehicle simulation, *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 42, Issue 30, **2017**.

- [45] Wang Y., Tian J., Sun Z., Wang L., Xu R., A comprehensive review of battery modeling and state estimation approaches for advanced battery management systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 131, **2020**.
- [46] Mehrtash, M. & Capitanescu, F. & Heiselberg, P. & Gibon, T. & Bertrand, A. An Enhanced Optimal PV and Battery Sizing Model for Zero Energy Buildings Considering Environmental Impacts. *IEEE Transactions on Industry Applications*. **2020**
- [47] Aldoğan, E., “Elektrikli araçlar için batarya yönetim sistemi donanımı tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze, 10-50, **2012**.
- [48] Kivrak, S. & Özer, T. & Oğuz, Y., Design and Implementation of Battery Management System Based on Passive Balancing Method for Electric Vehicles Using STM32f103C8 Microcontroller. 20. 426-433. 10.35414/akufemubid.691456, **2020**.
- [49] Sarıkurt, T., Balıkçı, A., Tam Elektrikli Araçlar İçin Özgün Bir Enerji Yönetim Sistemi Uygulaması *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* , 32 (2), 2017
- [50] Özay, O., Modelling And State Of Charge Estimation For Lithium-Ion Batteries, M.Sc. Thesis Istanbul Technical University, **2019**.
- [51] Aslan F., Fotovoltaik Panel Destekli Batarya Şarj/Deşarj Devresi Tasarımı Ve Simülasyonu, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, **2019**
- [52] İşçan, Serkan & Ersanlı, Cem. (2016). Fotovoltaik Güneş Paneli Destekli Batarya Şarj ve Led Aydınlatma Sistemi Uygulaması.
- [53] Hittinger E., Ciez R. E., Modeling Costs and Benefits of Energy Storage Systems, *Annual Review of Environment and Resources* 45:1, 445-469, **2020**.
- [54] A. Jossen, Chapter 8 - Battery Management, In *Valve-Regulated Lead-Acid Batteries*, edited by D.A.J. Rand, J. Garche, P.T. Moseley and C.D. Parker, Elsevier, Amsterdam, **2004**, Pages 207-240,
- [55] Viveros, P. & Wulff, F. & Kristjanpoller, F. & Nikulin, C. & Grubessich, T. Sizing of a Standalone PV System with Battery Storage for a Dairy: A Case Study from Chile. *Complexity*. **2020**.

- [56] Chandran D. R and Master A., Microgrid battery energy storage system approach  
Journal of Advanced Research in Power Electronics and Power Systems, 5(1, 2):15-18, **2018**.
- [57] Andrea Vezzini, 15 - Lithium-Ion Battery Management, In Lithium-Ion Batteries, edited by Gianfranco Pistoia,, El-sevier, Amsterdam, **2014**, Pages 345-360,
- [58] D. H. Doughty, "Li-ion battery abuse tolerance testing - an overview," Sandia National Laboratories **2006**.
- [59] [http://en.wikipedia.org/wiki/Battery\\_management\\_system](http://en.wikipedia.org/wiki/Battery_management_system) (Ocak, **2021**)
- [60] Davide A., Battery Management Systems for Large Lithium-Ion Battery Packs, first ed., Artech House, September 30, **2010**.
- [61] Nihal Kularatna, 3 - Dynamics, models, and management of rechargeable batteries, In Energy Storage Devices for Electronic Systems, Academic Press, Boston, **2015**, Pages 63-135
- [62] L. Li, Battery management system of lithium ion battery in pure EV. Master dissertation, Beijing Jiaotong University, June **2009**.
- [63] Takao H., Yoshiyuki N.. Battery voltage monitoring integrated circuit and battery voltage monitoring system. US Patent, No. 7248020B2, Jul. 24, **2007**.
- [64] Aris A.M., Shabani B., An Experimental Study of a Lithium ion cell operation at low temperature conditions, Energy Procedia, Volume 110, Pages 128-135, **2017**.
- [65] Nagasubramanian, G., Electrical characteristics of 18650 Li-ion cells at low temperatures, Journal of Applied Electrochemistry, 31 (1), pp. 99-104, **2001**.
- [66] Xi M., Choe S., Theoretical and experimental analysis of heat generations of a pouch type LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/carbon high power Li-polymer battery, Journal of Power Sources, Volume 241, Pages 46-55, **2013**.
- [67] <https://www.iee-sensing.com/en/automotive/battery-management> (Ocak, **2021**)
- [68] <http://www.farnell.com/datasheets/32393.pdf> (Ocak, **2021**)
- [69] Ayoub, E. & Karami, N.. (**2015**). Review on The Charging Techniques of a Li-ion Battery. 10.1109/TAEECE.2015.7113599.
- [70] Duong T.Q., USABC and PNGV Test Procedures, J. Power Sources 89, 244–248, **2000**.



- [71] Han X., Ouyang M., Lu L., Li J., A comparative study of commercial lithium ion battery cycle life in electric vehicle: Capacity loss estimation, *Journal of Power Sources*, Volume 268, Pages 658-669, **2014**.
- [72] Zheng, C., Chris Mi, C., Fu, Y., Xu, J., Gong, X. Online battery state of health estimation based on genetic algorithm for electric and hybrid vehicle applications *J Power Sources*, 240, p. 184-192, **2013**.
- [73] J. Fattal and P. B. Dib Nabil Karami, "Review on different charging techniques of a lithium polymer battery," 2015 Third International Conference on Technological Advances in Electrical, Electronics and Computer Engineering (TAECE), Beirut, **2015**, pp. 33-38.
- [74] Z. Xu, X. Yan, B. Huang, Y. Wang, D. Dong and Z. Liu, "The Effect of Charge Behavior on Lithium Battery SOH," 2020 3rd International Conference on Advanced Electronic Materials, Computers and Software Engineering (AEMCSE), Shenzhen, China, **2020**.
- [75] Shen, W.; Vo, T.T.; Kapoor, A. Charging algorithms of lithium-ion batteries: An overview. In *Proceedings of the 2012 7th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*, Singapore, 18–20 July **2012**.
- [76] Liu, Y. H., Hsieh, C. H., & Luo, Y. F. (2011). Search for an optimal five-step charging pattern for Li-ion batteries using consecutive orthogonal arrays. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 26(2), 654-661. **2011**.
- [77] Chen, L. R. Design of duty-varied voltage pulse charger for improving Li-ion battery-charging response. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 56(2), 480-487. **2009**.
- [78] Notten, P. H. L., Veld, J. H. G., & Van Beek, J. R. G. Boost charging Li-ion batteries: A challenging new charging concept. *Journal of Power Sources*, 145(1), 89-94. **2005**
- [79] [www.batteryuniversity.com](http://www.batteryuniversity.com) (Ocak, **2021**)
- [80] Zhang, Z. & Du, Z. & Han, Z. & Wang, H. & Wang, S. (2020). Temperature characteristics of lithium iron phosphate power batteries under overcharge. *International Journal of Energy Research*. 44. 10.1002/er.5824.

- [81] Chiasson J., Vairamohan B., “Estimating the state of charge of a battery,” *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol. 13, no. 3, pp. 465–470, **2005**.
- [82] D. Saji, P. S. Babu and K. Ilango, "SoC Estimation of Lithium Ion Battery Using Combined Coulomb Counting and Fuzzy Logic Method," 2019 4th International Conference on Recent Trends on Electronics, Information, Communication & Technology (RTEICT), pp. 948-952, **2019**.
- [83] Ng K. S., Moo C. S., Chen Y. P., Hsieh Y. C., “Enhanced Coulomb counting method for estimating state-of-charge and state-of-health of lithium-ion batteries,” 1506–1511, *Applied Energy*, vol. 86, **2009**.
- [84] R. Li, J. F. Wu, H. Y. Wang, and G. C. Li, “Prediction of state of charge of lithium-ion rechargeable battery with electrochemical impedance spectroscopy theory,” in *Proceedings of the 5th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA 10)*, pp. 684–688, Taichung, Taiwan, June **2010**.
- [85] Y. Zheng, M. Ouyang, X. Han, L. Lu, and J. Li, “Investigating the error sources of the online state of charge estimation methods for lithium-ion batteries in electric vehicles,” *J. Power Sources*, vol. 377, pp. 161-188, Feb. **2018**.
- [86] Linda O., William E. J., Huff M., “Intelligent neural network implementation for SOC development of Li/CFx batteries,” in *Proceedings of the 2nd International Symposium on Resilient Control Systems (ISRCS '09)*, pp. 57–62, Idaho Falls, Idaho, USA, August **2009**.
- [87] Zhang J., Lee J., A review on prognostics and health monitoring of Li-ion battery, *Journal of Power Sources*, Volume 196, Issue 15, Pages 6007-6014, **2011**.
- [88] yu, Zhihao & Huai, Ruituo & Xiao, Linjing. (2015). State-of-Charge Estimation for Lithium-Ion Batteries Using a Kalman Filter Based on Local Linearization. *Energies*. 8. 7854-7873. 10.3390/en8087854.
- [89] Sepasi, S.; Ghorbani, R.; Liaw, B.Y. Improved extended kalman filter for state of charge estimation of battery pack. *J. Power Sources* **2014**, 255, 368–376.
- [90] Lindemark B., “Individual cell voltage equalizers (IEC) for reliable battery performance”, in *Conf. Rec. INTELEC, Kyoto, Japan*, , pp. 196-201, **1991**.

- [91] Kim, C. Kim, J. Kim and G. Moon, "A modularized BMS with an active cell balancing circuit for lithium-ion batteries in V2G system," 2012 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, Seoul, **2012**.
- [92] A. Shafiei, S. S. Williamson "Plug-in hybrid electric vehicle charging: Current issues and future challenges" In Proceedings of the IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, Lille, France; pp. 1–8, **2010**.
- [93] Baronti F., Roncella R., S. Roberto, Performance comparison of active balancing techniques for lithium-ion batteries, Journal of Power Sources, Volume 267, Pages 603-609, **2014**.
- [94] Cao, J.; Schofield, N.; Emadi, A. Battery balancing methods: A comprehensive review. In Proceedings of the 2008 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), Harbin, China, 3–5 September **2008**.
- [95] Pascual C., P. Krein T., "Switched capacitor system for automatic battery equalization," U.S. Patent 5 710 504, Jan. 20, **1998**.
- [96] D. M. Divan, N. H. Kutkut, D. W. Novotny, H. L. Wiegman, "Battery charging using a transformer with a single primary winding and plural secondary windings," U.S. Patent 5 659 237, Aug. 19, **1997**.
- [97] Kim M., Kim C., Kim J. and Moon G., "A modularized BMS with an active cell balancing circuit for lithium-ion batteries in V2G system," 2012 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, Seoul, pp. 401-406, **2012**.
- [98] Moo C. S., Hsieh Y. C., Tsai I. S., "Charge equalization for series connected batteries," IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst., vol. 39, pp. 704-710, Apr. **2003**.
- [99] Turgut M., Bayir R., Can R.F., Communication Based Modular Type Battery Management System for Electric Vehicles, Elektronika Ir Elektrotechnika, Vol. 24, No. 3, Pages 53-60, **2018**.
- [100] Divyashree S., Madhavan P., Ranjeev A., Battery Management System Integrated with CAN Bus Safety Control Environment for Electric Vehicle, International Journal Of Engineering Research & Technology (IJERT) Volume 09, Issue 09 **2020**.

- [101] C. Hsu, K. Chang, Y. Ou, K. Liao and C. Wey, "On the implementation of CAN buses to battery management systems," 2011 IEEE 54th International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS), Seoul, 2011, pp. 1-4, **2011**
- [102] Shankar Kumar M., Balakrishnan N, K., "Functional Safety Development of Battery Management System for Electric Vehicles," 2019 IEEE Transportation Electrification Conference (ITEC-India), Bengaluru, India, , pp. 1-6 **2019**.
- [103] Doughty D., Roth E. P., "A general discussion of Li-ion battery safety," The Electrochemical Society Interface, vol. 21, pp. 37-44, **2012**.
- [104] E. P. Roth, C. C. Crafts, D. H. Doughty, and J. McBreen, "Advanced Technology Development Program for Lithium-Ion Batteries: Thermal Abuse Performance of 18650 Li-Ion Cells," Sandia National Laboratories **2004**.
- [105] Brewer, J., Nasser, A., Hommes, Q. V. E., Najm, W., Pollard, J., & Jackson, C. Safety management of automotive rechargeable energy storage systems: The application of functional safety principles to generic rechargeable energy storage systems, Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration. **2018**.
- [106] Anil, A. (2015). Performance Evaluation of On-Grid and Off-Grid Solar Photovoltaic Systems. International Journal Of Innovative Research In Electrical, Electronics, Instrumentation And Control Engineering, Vol. 3, Issue 2, **2015**.
- [107] Uddin M., Romlie M.F., Mohd F.A., Syahirah A.H., Ab-Halim A., Tan C. K., A review on peak load shaving strategies, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 82, Part 3, Pages 3323-3332, **2018**
- [108] <https://gazelektrik.com/faydali-bilgiler/elektrik-tuketimi> (Ocak, **2021**)
- [109] <https://www.enerjiekonomisi.com/elektrik-muhendisleri-odasi-4-kisilik-bir-ailenin-asgari-aylik-faturasi-142-tl-ye-cikti/7792> (Ocak, **2021**).
- [110] <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis> (Ocak, **2021**).
- [111] <https://www.ti.com/> (Ocak, **2021**).
- [112] <https://www.arduino.cc/en/reference/RTC> (Ocak, **2021**).
- [113] <https://www.arduino.cc/en/reference/SD> (Ocak, **2021**).



## EKLER

### EK 1 – Programlanabilir Elektronik DA Yük (Chroma 63004-150-60) Teknik Özellikleri

<b>Model</b>	<b>63004-150-60</b>
Gerilim	0-150 V
Akım	0-60 A
Güç (Low/Middle/High)	90 / 350 / 350 W
Min. Çalışma Gerilimi	L: 0.6 V @ 2 A
	M: 0.6 V @ 6 A
	H: 3 V @ 60 A
	H: 1.5 V @ 30 A
<b>Sabit Akım</b>	
Aralık (Low/Middle/High)	2 / 6 / 60 A
Çözünürlük (Low/Middle/High)	0.1 / 0.1 / 1 mA
Doğruluk	±(%0.05+%0.05 F.S. )
<b>Sabit Gerilim</b>	
Aralık(Low/Middle/High)	16 / 80 / 150 V
Çözünürlük(Low/Middle/High)	1 / 1 / 10 mV
Doğruluk	±(%0.025+%0.025 F.S.)
<b>Sabit Direnç</b>	
Aralık (Low/Middle/High)	0.05Ω-250 Ω (16 V /350 W) 18 Ω-125 Ω (80 V /350 W) 64 Ω - 2500 Ω (150 V /350 W)
Doğruluk	Vin/Rset x (%0.2) + %0.2 Irange F.S
Özgün direnç	700kΩ
<b>Sabit Güç</b>	
Aralık (Low/Middle/High)	7 / 35 / 350 W
Çözünürlük (Low/Middle/High)	3.5 / 35 / 350 Mw
Doğruluk	±(%0.1+%0.1 F.S.)
<b>Dinamik Mod</b>	
<b>Zamanlama</b>	
T1 & T2	0.05-99,999 ms/ 100ms-99,999 ms
Çözünürlük	1µs/1ms
Doğruluk	1µs+100ppm
Dönüş Oranı (Low/Middle/High)	0.1mA/µs – 0.1 A/ µs 1mA/ µs– 0.3 A/ µs 10mA/ µs– 3 A/ µs
Çözünürlük (Low/Middle/High)	0.1 / 0.1 / 1 mA/µs
Doğruluk	±(%5±10 µs)
Min. Artış Zamanı	20 µs
Akım Doğruluğu	±%0.1 F.S.
Giriş Kapasitesi	2.35µF+0.9Ω(4W)
AC Girişi	100-240 VAC / 47-63Hz
Maksimum VA	80 VA
Sigorta	1A
Ağırlığı	4.55 kg
Boyutu	88,1 x 209,9 x 355,00 mm
Hava akışı max.(CFM)	50.49
Gürültü	66 dB

## EK 2 – LG INR18650 MJ1 LIB Teknik Özellikleri

Kategori	Durum/Şart	Özellikleri
2.1 Kapasite	Standart Doldurma Standart Boşalma	Özgün 3500 mAh En az 3400 mAh
2.2 Özgün Gerilim	Ortalama	3.635 V
2.3 Standart Doldurma	CC Sabit Akım CV Sabit Gerilim Doldurma Bitirme Akımı	0.5 C (1700 mA) 4.2 V 150 mA
2.4 Maks. Doldurma Gerilimi		4.2 ± 0.05V
2.5 Maks. Doldurma Akımı		1.0 C (3400mA)
2.6 Standart Boşalma	Sabit akım Doldurma bitirme gerilimi	0.2 C (680mA) 2.5 V
2.7 En Yüksek Sürekli Boşalma Akımı		10 A
2.8 Ağırlık	Yaklaşık	49.0 g
2.9 Çalışma Sıcaklığı	Doldurma Boşalma	0 ~ 45°C -20 ~ 60°C
2.10 Depolama Sıcaklığı	1 ay 3 ay 1 yıl	-20 ~ 60°C -20 ~ 45°C -20 ~ 20°C

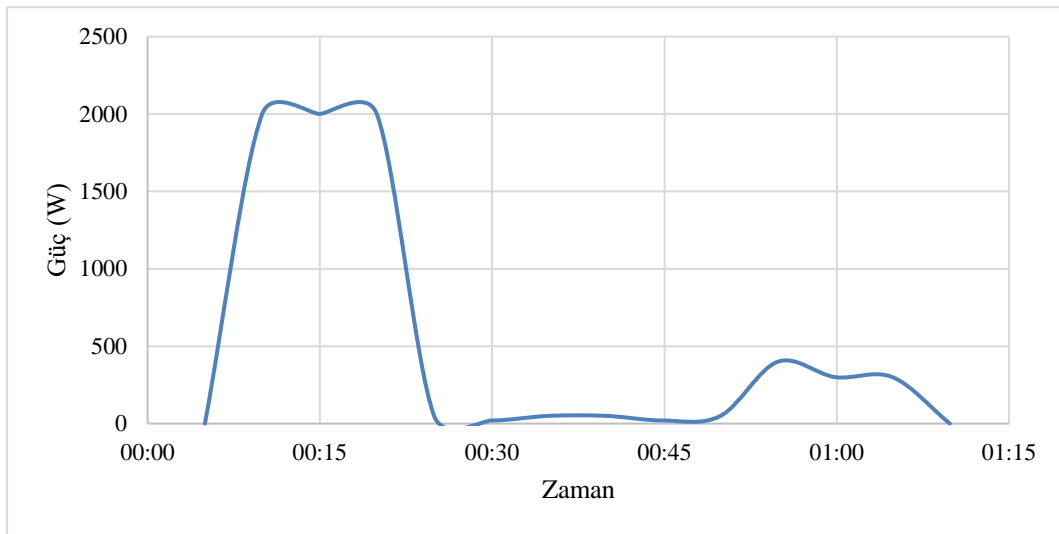
## EK 3 – Sabit Akım-Sabit Gerilim Özelliğine Sahip 300 W DA-DA Dönüştürücünün Teknik Özellikleri

Kategori	Özellikleri
Boyut (uzunluk x genişlik x yükseklik)	65 x47 x 23.5 mm
Giriş Gerilimi	DA 7-32 V
Çıkış Gerilimi	(1) Sürekli Ayarlanabilir DA 0.8-28V (2) Sabit Gerilim DA 0.8-28V
Çıkış Akımı	8A (soğutucu metaller üzerindeki sıcaklık 65°C'e ulaştığında soğutucu fan takın)
Sabit Akım	0.2-8A (ayarlanabilir)
Akım Lambasının Çalışması	Sabit Akım Değeri x 0.1 , Örn: sabit akım değeri 3 A 'e ayarlanırsa, Akım lambasının çalışmaya başladığı akım değeri 0.1 x 3A = 0.3A olur.
Çıkış Gücü	Maks. 300W
Güç Verimi	Yaklaşık 95%
Çalışma Frekansı	300 kHz
Çalışma Genişliği	20M band genişliği
Çıkış Kısa Devre Koruması	Var
Giriş Ters Polarizasyon Koruması	Yok
Ters Akım Koruması	Yok
Çalışma Akımı (Boşta)	Typical 20mA
Akım Ayar Hassasiyeti	± % 1 (sabit)
Gerilim Ayar Hassasiyeti	± % 1
Çalışma Sıcaklığı	(-40 °C ile +85 °C)

#### EK 4 – Evde Bulunan Elektrikli Cihazlar ve Güç Tüketimleri

*Çamaşır Makinesi:* Çamaşır makineleri model ve yıkanacak çamaşır cinslerine göre farklı şekilde çalışma modlarına sahip olabilmektedir. Ancak geleneksel çamaşır makinelerinin çalışma mekanizmaları aynıdır. Yıkama işlemi 3 aşamada gerçekleşir. 1. aşamada yıkamada kullanılacak su ısıtılır. 2. aşamada tamburun düşük hızla çevrilmesi ise yıkama işlemi gerçekleşir. Son aşamada ise, tambur hızlı bir şekilde döndürülerek yıkama işlemi sonrası sıkma gerçekleşir. Yıkama işlemi boyunca en fazla enerji tüketimi, yıkamada kullanılacak suyun ısıtılması sırasında gerçekleşir. 6 kg. yıkama kapasitesine sahip normal bir çamaşır makinesinin 40°C’de standart yıkama modu 1 saat sürmektedir. Bunun ilk 15 dakikası suyun ısıtılması, son 15 dakikası ise sıkma safhalarıdır. Geriye kalan 30 dakika boyunca ise yıkama işlemi gerçekleşir (Şekil-1).

Yıkama işlemi boyunca çamaşır makinesi yaklaşık 625 Wh enerji tüketir, bunun %80’i suyun ısıtılması esnasında harcanır. Tasarlanan bir evde haftada bir defa beyaz ve renkli çamaşırları yıkamak üzere toplamda 2 defa çamaşır makinesinin çalıştığı varsayılmıştır.

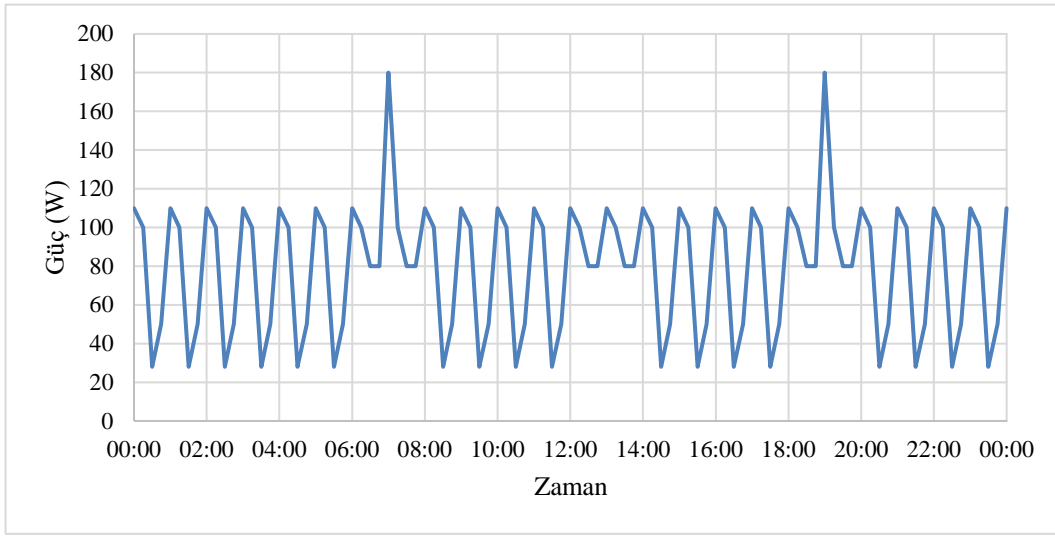


**Şekil-1** Çamaşır Makinesi Güç Tüketimi

*Buzdolabı:* Günümüzdeki buzdolapları genellikle soğutma ve derin dondurma özelliğine sahiptir. Tasarlanan ev için de bu tip özellikleri olan bir buzdolabı seçilmiştir. Günde 2 defa derin dondurucu devreye girmekte ve bu zamanlarda buzdolabı 15 dakika boyunca 180 W güç harcamaktadır. Soğutma aşamasında ise saatte ortalama 72 W güç

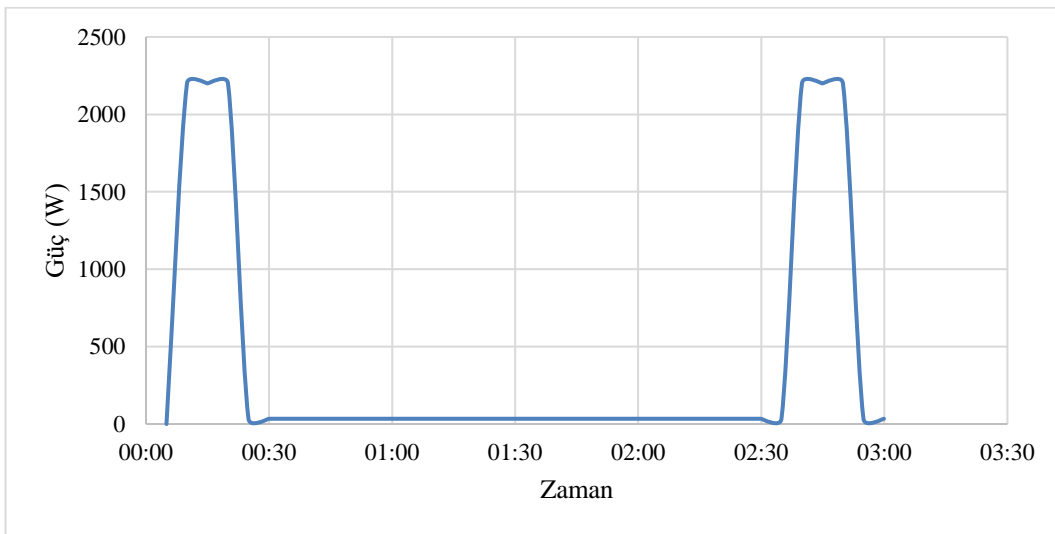


tüketmektedir. Buna göre normal bir kullanımda seçilen buzdolabı günde toplam 1.852 kWh elektrik enerjisi harcamaktadır (Şekil-2).



**Şekil-2** Buzdolabı Güç Tüketimi

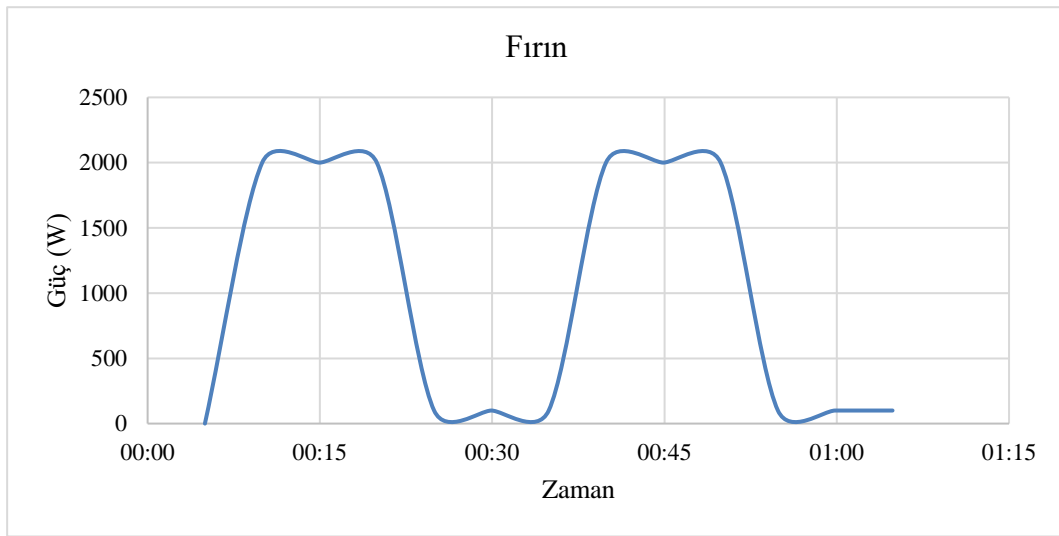
*Bulaşık Makinesi:* Ev tipi bulaşık makinelerinde genellikle kısa ve uzun program olmak üzere 2 program bulunur. Bireyler genellikle tasarruf için bunların arasından ekonomik programı seçer. Bu nedenle bulaşık makinesinin enerji tüketimi hesaplanırken 2 saat 30 dakika süren ekonomik program kullanılmıştır (Şekil-3).



**Şekil-3** Bulaşık Makinesi Güç Tüketimi

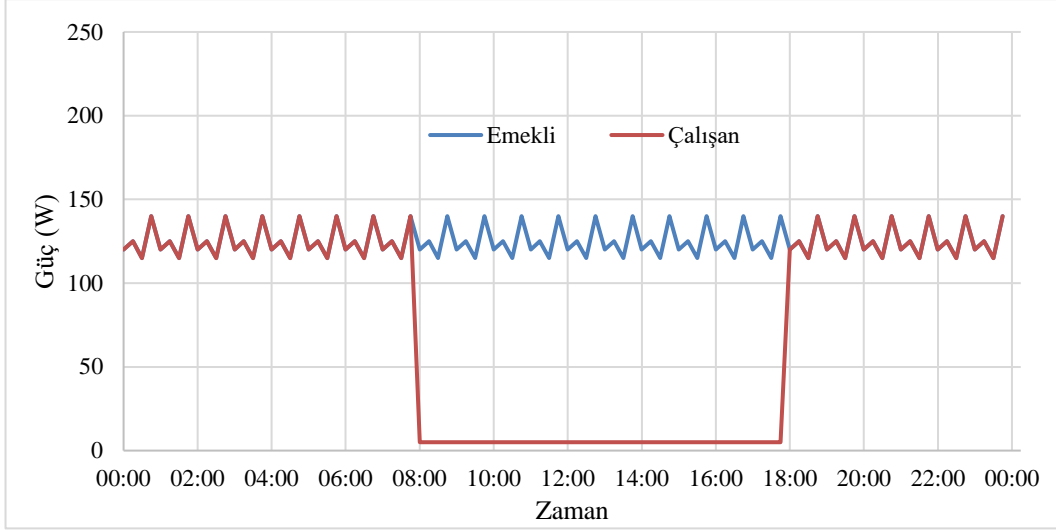
Bulaşık makinesi 3 aşamada çalışır. 1. aşamada makine, yıkamada kullanacağı suyu ısıtır. Bu safha yaklaşık 15-20 dakika sürer ve yaklaşık 2200 W elektrik harcar. 2. aşama olan yıkama aşamasında içerisinde yer alan su fiskiyeli pervaneleri döndürür. Bu aşamada makine ortalama 30-40 W harcar ve yıkama 2 saat sürer. Son aşama olan 3. aşamada ise makine yıkanan bulaşıkları kurutur. Bu safha yaklaşık 15 dakika sürer ve kurutma esnasında 2200 W güç harcanır. Bulaşık makinesi bir yıkamada toplam 1100 Wh enerjiye ihtiyaç duyar.

*Fırın:* Elektrikli cihazların arasında ciddi oranda elektrik enerjisi tüketen cihazların biri de fırındır. Yemek pişirmek için belirli bir sıcaklığa ayarlanan fırın, bu sıcaklıkta kalmak için fanını ve zaman zaman ısıtıcısı kullanır. Fırın sıcaklığı istenilen sıcaklığa geldiğinde ısıtıcı kapanır ancak genellikle fan çalışmaya devam eder. Hanelerde kullanılan fırının, bir yemeği pişirebilmesi için gerekli sürenin ortalama 1 saat olduğu değerlendirilmiştir. Fırın, ısıtıcısı ve fanı birlikte devredeyken 2000 W, sadece fanı devrede iken 100 W güç tüketmektedir (Şekil-4).



**Şekil-4** Fırın Güç Tüketimi

*Kombi:* Kombiler kış aylarında ortalama olarak günde 8-10 saat arasında çalışmaktadırlar. Elektrik tüketimleri ise saatte 100 W-150 W arasında değişmektedir. Seçilen kombinin saatlik ortalama tüketiminin 125 W olduğu tespit edilmiştir. Çalışan profilde gündüzleri evde kimse olmadığı için kombinin uyku moduna geçirildiği varsayılmıştır. Emekli profilinde ise gündüzleri de kombinin çalıştırıldığı varsayılmıştır (Şekil 5).



**Şekil-5** Kombi Güç Tüketimi

*Aydınlatma Lambaları:* Ev için üretilen lambaların güç tüketimleri verdiği ışığın şiddetine ve cinsine bağlı olarak 10 W ile 50 W arasında değişir. Tasarruf sağlamak için evlerde çoğunlukla 20 W'lık kompakt flüorsan lambalar ya da 10 W LED tipi lambalar tercih edilir. Çalışmamızda, evin tüm odalarında 20 W'lık kompakt flüorsan lambaların kullanıldığı varsayılmıştır. Hava karardıktan sonra eğer oda kullanıyorsa burada bir tüketim söz konusudur.

*Elektrikli su ısıtıcısı:* Genellikle mutfakta suyu kaynatmak ve ısıtmak için kullanılan bu elektrikli alet, elektrik enerjisi oluşan ısı enerjisine dönüştürür ve bu ısıyı suya aktarır. Evlerde kullanılan su ısıtıcılar genelde 1.7 L kapasiteye sahiptir ve çalışırken 2000 W güç harcarlar. Ev profili oluşturmak için kullanıldığını varsaydığımız cihazda yapılan ölçümlerde, 0.5, 1.0 ve 1.5 l suyu kaynatmak için sırasıyla 62.77 Wh (1 dk 53 sn), 109,4 Wh (3 dk 17 s), 155.06 Wh (4 dk 30 s) enerjinin harcandığı tespit edilmiştir

*Tost Makinesi:* Anlık su ısıtıcı ile aynı mantıkla çalışan tost makinesi, sahip olduğu rezistanslardan geçen elektrik enerjisini ısı enerjisine dönüştürür. Sabahları genelde ekmek kızartmak veya tost yapmak için kullanılan bu cihazın orta seviyede elektrik tüketiminin 1500 W olduğu tespit edilmiş ve kullanım süresinin ortalama 15 dakika olduğu varsayılmıştır.

*Davlumbaz:* Ev tipi davlumbazların genellikle 2 işlevi vardır; ilki ocağı aydınlatmak bir diğeri ise fanı ile kötü kokuları çekmektir. Aydınlatma lambaların 58 W, fanının ise çekiş gücüne göre 1, 2 ve 3. aşamalarda sırasıyla 123.76, 132.75 W ve 143.95 W harcadığı

tespit edilmiştir. Hanelerde lambası ile birlikte genelde 2. aşamada 1 saat 45 dakika kullanıldığı varsayılan sistemin toplamda 190 Wh enerji harcadığı düşünülmüştür

*TV ve Alıcı:* TV izleme alışkanlığı evden eve değiştiği gibi hafta içi ve hafta sonu olmak üzere de farklılık gösterir. Aile, hafta içi ortalama 4 saat TV izlerken hafta sonu bu süre 6 saatlere kadar çıkabilir. Profillerde TV'nin hafta içi akşam, hafta sonu ise tam gün TV izleme olacağı düşünülmüş ve profiller ona oluşturulmuştur

Hanelerde, mutfakta ve salonda birer adet olmak üzere evde toplamda hanede 2 adet TV olduğu varsayılmıştır. Mutfakta bulunan 27 inç TV ile alıcısının ortalama 40 W, salonda bulunan 47 inç TV ve alıcısının ise 60 W güç harcadığı tespit edilmiştir (Şekil 3.8).

*Ütü:* Hanede haftada 1 veya 2 defa kullanılan ütünün çeşitli programlama seçenekleri olmasına rağmen bireyler normal kırıyıkta kıyafetleri ütölemek için genellikle orta seviyeyi kullanmaktadır. Ütü çalışma mantığı gereği, buhar için suyu ısıtır ve en fazla elektrik gücü bu safhada harcar. Anlık su ısıtıcı mantığı ile çalışan ütülerin 38 dakika çalışma süresinde 15 dakika suyu ısıtma için 2000 W diğer zamanlar ise güç tüketmediği tespit edilmiştir. Buna göre hazırlanan profilde 40 dakika ütöleme süresince 15 dakika 2000 W enerji tüketimi yapıldığı varsayılmıştır.

*Elektrikli Süpürge:* Elektrikli süpürgeler, içerisinde yer alan motorların emiş gücüne bağlı olarak 1000W ile 2000W arasında değişen güçlerde üretilir. Tasarlanan ev profilleri için, 1800 W güce sahip bir elektrikli süpürge seçilmiştir. Buna göre bir evin temizliğinin 45 dakika sürdüğü varsayılmış bu sürede elektrikli süpürge'nin 1800 W elektrik gücü tükettiği tespit edilmiştir.

*Dizüstü Bilgisayar:* Dizüstü bilgisayarlar, sahip oldukları bataryaların gerilim ve dolma akımlarına bağlı olarak elektrik enerjisi tüketirler. Modellemede seçilen dizüstü bilgisayarın bataryasının 2 saatte dolduğu ve bu sürede 18 W güce ihtiyaç duyduğu varsayılmıştır. Bataryası doldukça çekilen gücün düştüğü tespit edilmiştir (Şekil 3.11).

*Modem:* Sabit enerji tüketen ve gün boyu açık kalan modem'in 6 W güç tükettiği tespit edilmiştir. Modem'in her iki profilde de gün boyu açık olduğu varsayılmıştır.

*Şarj Cihazları:* Dizüstü bilgisayarlar gibi, cep telefonları da bataryalarının enerji kapasitelerine göre belirli sürelerde belirli enerjiye ihtiyaç duyarlar. Ortalama bir cep telefonunun 3 saat boyunca tamamen dolduğu ve bu sürede 4 W güç harcadığı varsayılmıştır. Hanelerde 2 bireyinde cep telefonu olduğu düşünüldüğünde bu güç ihtiyacı 8 W'a çıkar.

*Saç Kurutma Makinesi:* Banyodan sonra kullanıldığı varsayılan saç kurutma makinelerinin orta seviyede kullanıldığı varsayılmıştır. Ortalama 15 dakika bu seviyede kullanılan cihazın 2000 W güç harcadığı tespit edilmiştir. Banyodan sonra kullanıldığı varsayılan saç kurutma makinelerinin orta seviyede kullanıldığı varsayılmıştır. Ortalama 15 dakika bu seviyede kullanılan cihazın 2000 W güç harcadığı tespit edilmiştir.

## EK 5 – 15 Dakikalık Profil Örneği

SAATLER SEQUENCE	Çalışan Pazartesi 18:00-24:00																								TOPLAM
	18.00-19.00			19.00-20.00			20.00-21.00			21.00-22.00			22.00-23.00			23.00-24.00									
	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	
SAAT DİLİMLERİ																									
MUTFAK																									
Aydınlatma Lambası	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
Bulaşık makinesi																									
Ketil																									
Buzdolabı	100	80	70	30	100	80	70	30	100	80	70	30	100	80	70	30	100	80	70	30	100	80	70	30	
Tost Makinesi																									
Fırın					1500	100	1500	100																	
Kombi	120	125	115	140	120	125	115	140	120	125	115	140	120	125	115	140	120	125	115	140	120	125	115	140	
Davulmbaz																									
27" LED TV + Alıcı					40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	
Aydınlatma Lambası																									
MISAFİR																									
Ütü																									
Elektrik Süpürgesi																									
Dizüstü Bilgisayar																									
SALON																									
Aydınlatma Lambası	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
49" LED TV+Alıcı	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	
Modem	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
BANYO																									
Çamaşır Makinesi																									
Lamba								20																	
Aydınlatma Lambası																									
YATAK																									
Şarj Aleti																									
Saç Kurutma Mak.																									
TOPLAM	326	311	291	276	1786	371	1751	356	304	289	269	2254	344	329	309	314	264	249	229	214	264	249	249	254	
1/15 Oramında Azalmış	21,7	20,7	19,4	18,4	119	24,7	117	23,7	20,3	19,3	17,9	150	22,9	21,9	20,6	20,9	17,6	16,6	15,3	14,3	17,6	16,6	16,6	16,9	

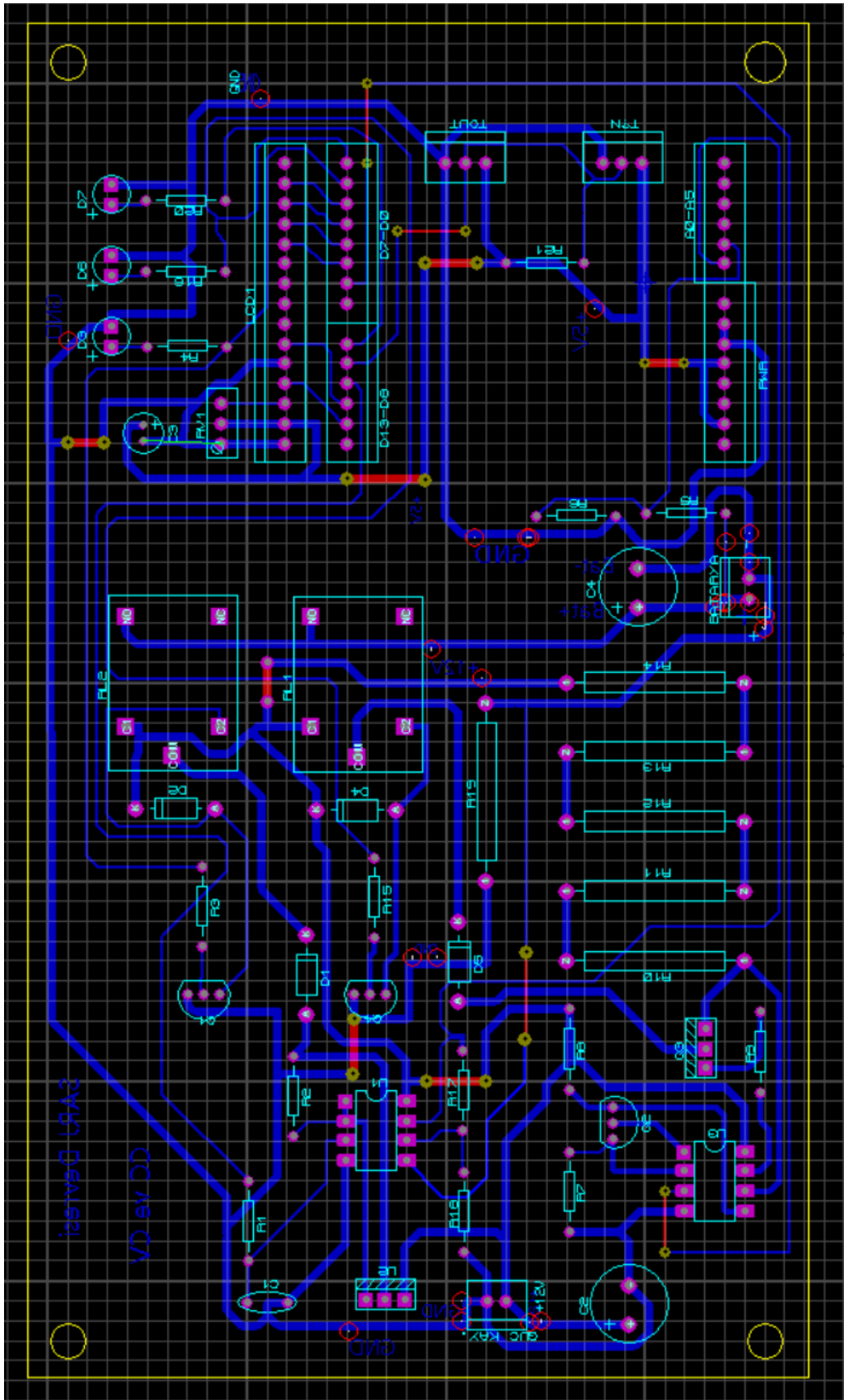
## EK 6 – Samsung ICR18650-26J LIB Teknik Özellikleri

Kategori	Özellikleri
1.1 Kapasitesi	En az 2550 mAh Özgün 2600 mAh
1.2 Özgün Gerilim	3.63 V
1.3 Standart Dolma Stratejisi (CC-CV)	1,3 A, 4,20 V, Boşalma bitirme akımı 20mA
1.5 Doldurma Süresi	Standart Doldurma 180 dakika Hızlı Doldurma 150 dakika
1.6 Maks. Sürekli Boşalma Akımı	5,2A
1.7 Boşalma Bitirme Gerilimi	2.75 V
1.8 Döngü Yaşı	300 döngüden sonra kapasite $\geq$ 1,785 mAh
1.9 Yeniden Canlandırma	Capacity recovery $\geq$ 2,040 mAh (80% of the capacity @ RT)
1.10 Ağırlık	45,0 g
1.11 Boyut	Yükseklik: 65.00 mm, Çap: 18.4 mm
1.12 Çalışma Sıcaklığı	Doldurma 0 - 45°C Boşalma -10 - 60°C
1.13 Depolama Sıcaklığı	1 ay -20~60°C 3 ay -20~45°C 1 yıl -20~23°C

## EK 7 - Arduino Uno Teknik Özellikleri

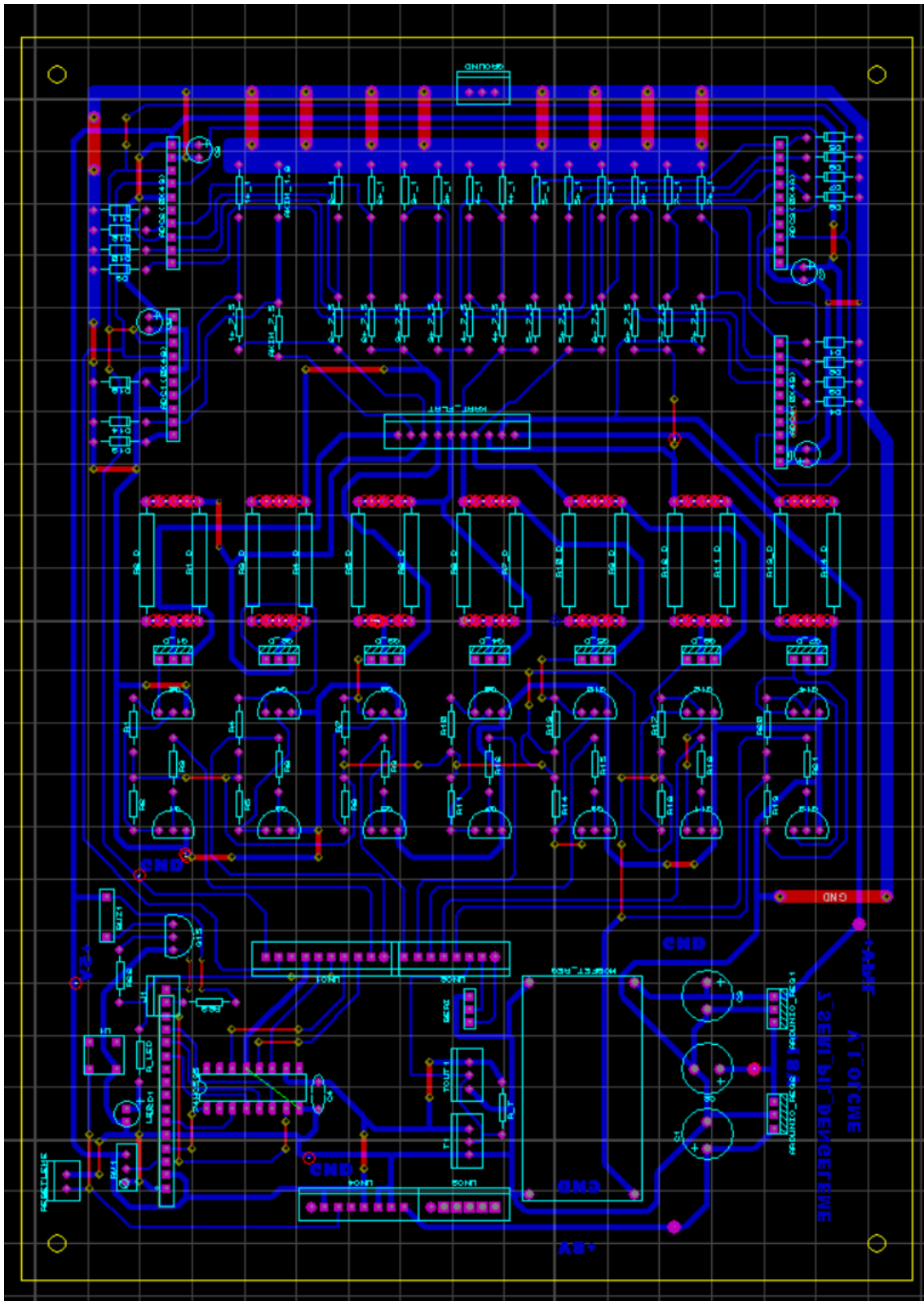
ARDUINO UNO TEKNİK ÖZELLİKLER	
Mikro-denetleyici	ATmega328
Çalışma Gerilimi	5V
Besleme Gerilimi (önerilen)	7-12V
Sayısal G/Ç Uçları	14 (6 tanesi PWM çıkışı)
Örneksel Giriş Uçları	6
Her G/Ç için Akım	40 mA
3.3V Çıkış için Akım	50 mA
Anlık Hafıza	32 KB (ATmega328)
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Saat Hızı	16 MHz
Uzunluk	68.6 mm
Genişlik	53.4 mm
Ağırlık	25 g.

# EK 8 – Tek LIB Doldurma Devresi Baskılı Devre Kartı

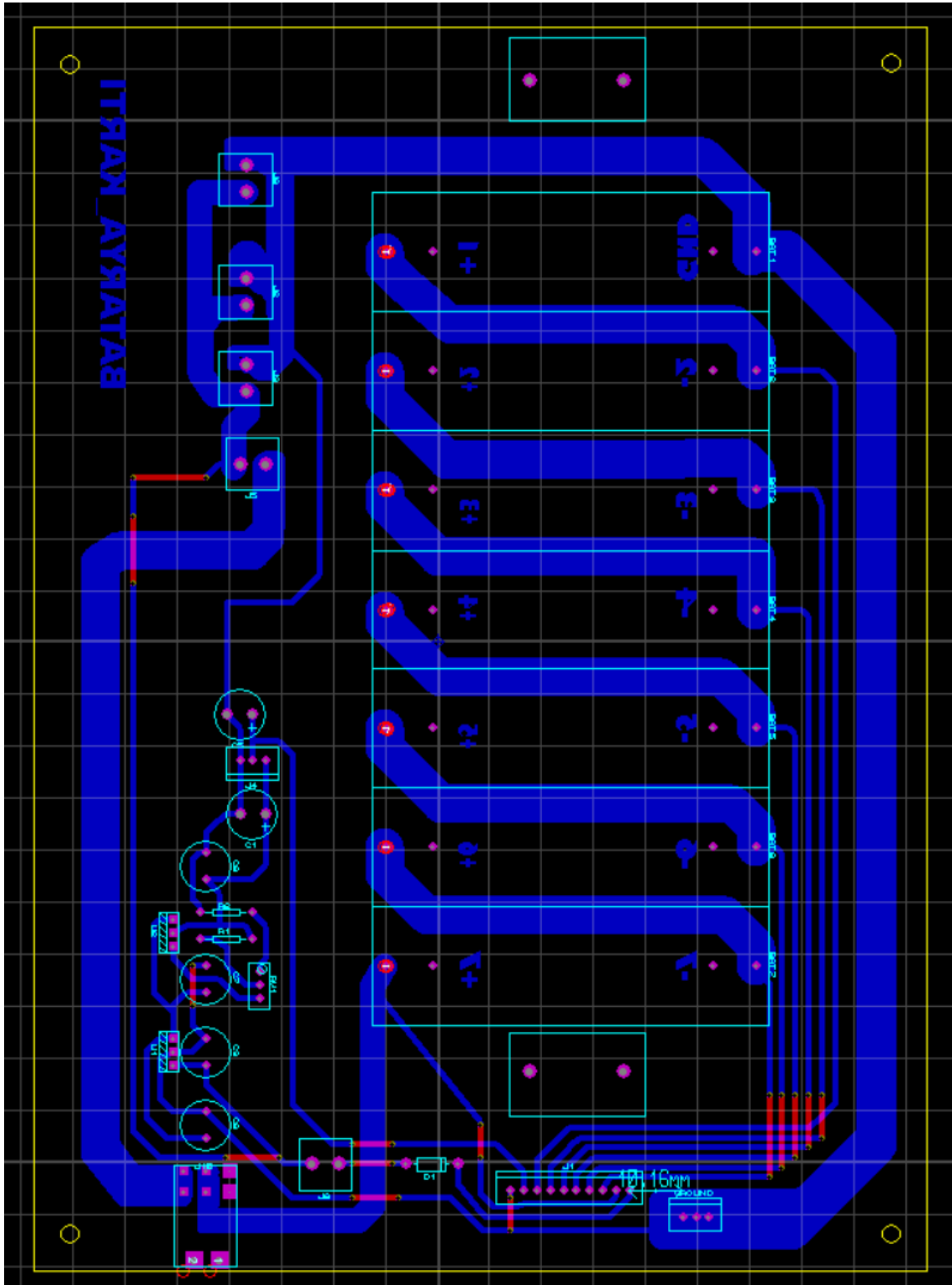




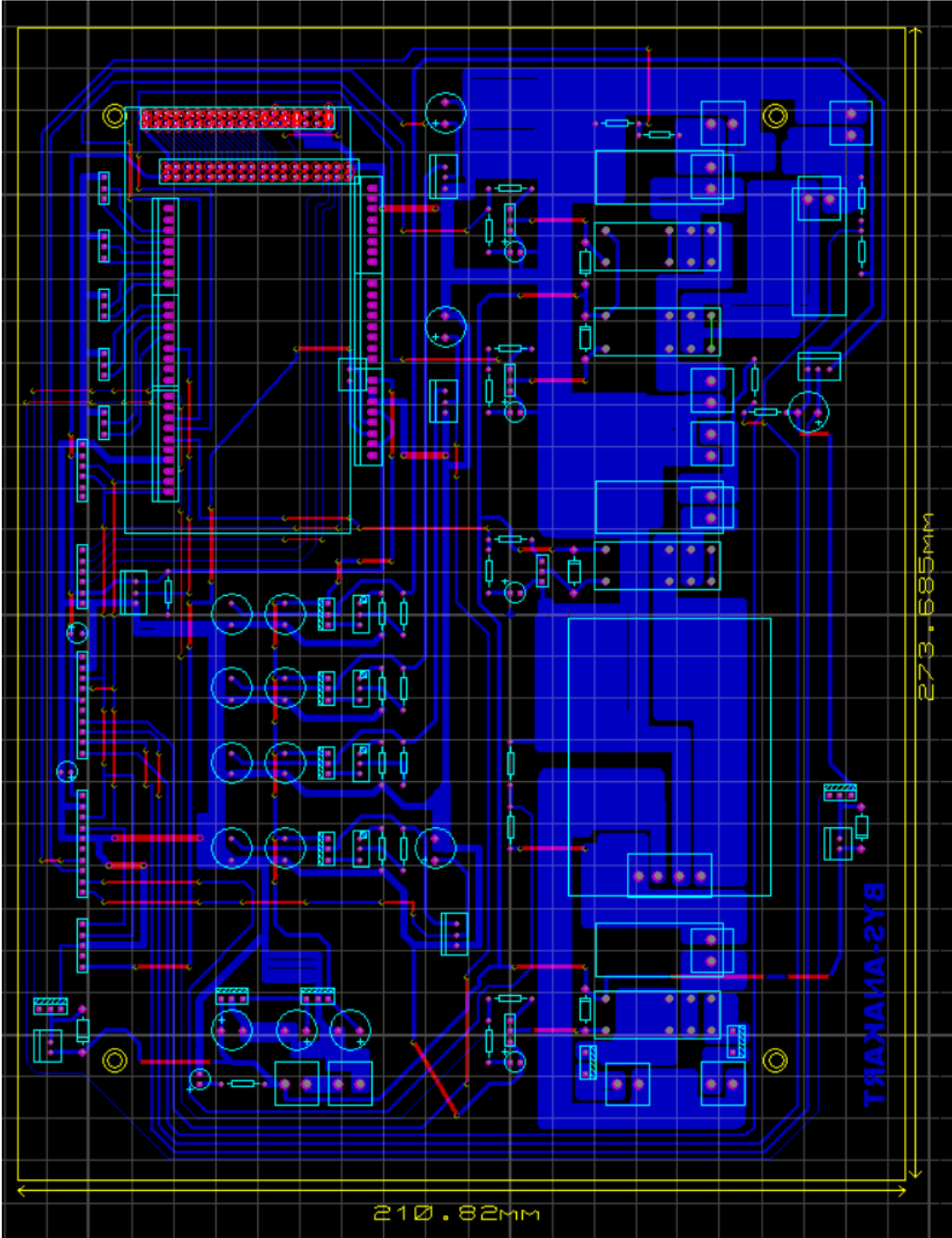
## EK 9 – Yardımcı Devre Baskılı Devre Kartı



## EK 10 – Batarya Devresi Baskılı Devre Kartı



**EK 11 – Ana Devre Baskılı Devre Kartı**



## EK 12 - Arduino Mega Teknik Özellikleri

<b>ARDUINO MEGA TEKNİK ÖZELLİKLERİ</b>	
<b>Mikro-denetleyici</b>	ATmega2560
<b>Saat Frekansı</b>	16 MHz
<b>EEPROM</b>	4 KB
<b>SRAM</b>	8 KB
<b>Flash Hafıza</b>	256 KB (8 KB bootloader için)
<b>Sayısal giriş / çıkış uçları</b>	54 adet (Bunların 15 tanesi AGM olarak kullanılabilir)
<b>Örneksel Giriş</b>	16 tane
<b>Çalışma Gerilimi</b>	+ 5V DA
<b>Tavsiye Edilen Besleme Gerilimi</b>	7 – 12 V DA
<b>Besleme Gerilimi</b>	6-20 V
<b>Uç Başına Düşen Akım</b>	40 mA
<b>3.3 V Ucu için Akım</b>	50 mA

## EK 13 - Tezden Türetilmiş Bildiriler

Tez çalışması kapsamında; 30 Kasım – 02 Aralık 2020 tarihleri arasında Ankara’da ODTÜ tarafından düzenlenen 2’nci Uluslararası Fotovoltaik Bilimleri ve Teknolojileri konuşmacı olarak katılım sağlanmıştır.

### DEVELOPMENT OF PROTOTYPE BATTERY MANAGEMENT SYSTEM FOR PV SYSTEM

Kamil OKAY<sup>1</sup>, Sermet ERAY<sup>2</sup>, Aynur ERAY<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Hacettepe University, Renewable Energy Research Center (YETAM), Beytepe, ANKARA

<sup>2</sup> Hacettepe University, Dept. of Nuclear Engineering, Beytepe, ANKARA

<sup>3</sup> Hacettepe University, Dept. of Physics Engineering, Beytepe, ANKARA

\*kamilokay@hacettepe.edu.tr

An energy and battery management system (BMS) has a great importance in PV-battery system to increase the system efficiency and battery life.

In this study, a prototype BMS system has been designed and constructed that provides energy and battery management of a grid-connected PV system with lithium-ion battery. The prototype set-up includes ( Figure-1);

- 400Wp PV modules,
- battery pack (connected as 7 series 4 parallel block) with 353 Wh (25,2 V, 14 Ah) capacity,
- 300 W power supply and dummy load to get power from the grid and to sale the excess energy to the grid respectively,
- a programmable electronic DC load to simulate the load profile of household consumption by the ratio of 1/15 of the real consumption
- designed control unit (consists of a main board and 4 slave boards. The main board controls all energy flow between PV system, batteries, Household loads and grid. Each slave board has a balancing circuit for 7 serially connected Li-ion batteries).

In the daily experiments, for the 24-hour consumption, so many scenarios have been considered by taking into account of retired and working household consumption profiles on different days on weekdays and weekends. These profiles were loaded into the electronic load, and the operation of the designed battery and energy management circuit was tested on this setup. Due to the energy management system, when the PV-batteries system is not sufficient, the energy is taken from the grid; when the PVs charged batteries fully, the excess energy is sold to the grid, Figure 2.

**Keywords:** PV system, Battery Management System, Energy Management System, Li-ion Batteries

This study has been supported by Hacettepe University BAP FYL-2018-17425.

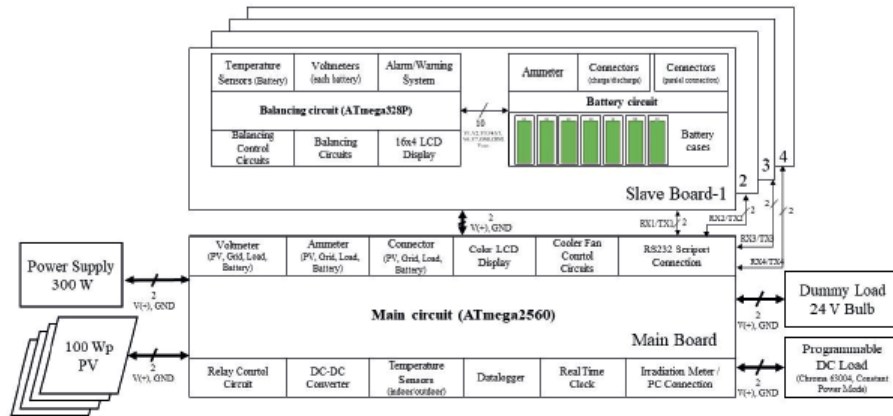


Figure 1. Block Diagram of The Designed System

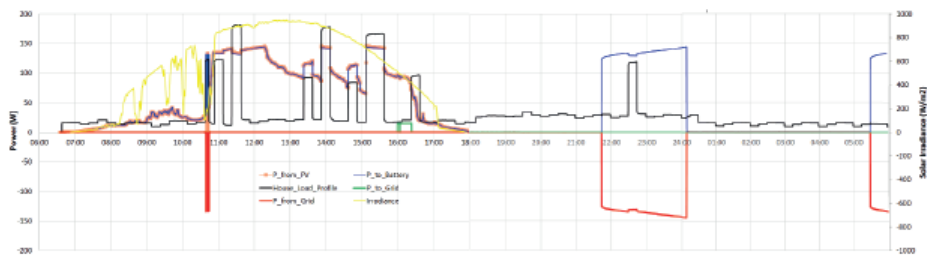


Figure 2. An example from the designed system outputs for selected scenario over 24 hours,