

**T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM  
DALI**

**BATARYA YÖNETİM SİSTEMLERİNDE ANA VE UYDU  
DENETLEYİCİ MODÜL TASARIMI VE CAN PROTOKOLÜ  
KULLANIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ARDA KILIÇ**

**DENİZLİ, TEMMUZ - 2016**

**T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM  
DALI**



**BATARYA YÖNETİM SİSTEMLERİNDE ANA VE UYDU  
DENETLEYİCİ MODÜL TASARIMI VE CAN PROTOKOLÜ  
KULLANIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ARDA KILIÇ**

**DENİZLİ, TEMMUZ - 2016**

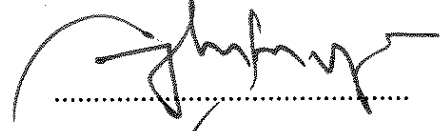
## KABUL VE ONAY SAYFASI

Arda Kılıç tarafından hazırlanan “Batarya yönetim sistemlerinde ana ve uydu denetleyici modül tasarımı ve can protokolü kullanımı” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 12.08.2016 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

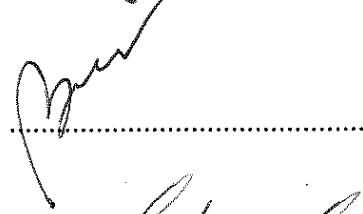
Jüri Üyeleri

İmza

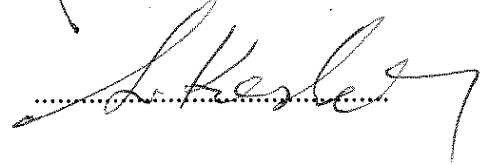
Danışman  
Prof. Dr. Ceyhun KARPUZ  
Pamukkale Üniversitesi



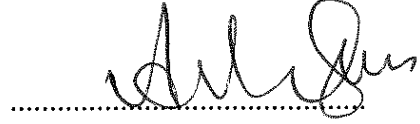
Üye  
Doç. Dr. Selim BÖREKCI  
Akdeniz Üniversitesi



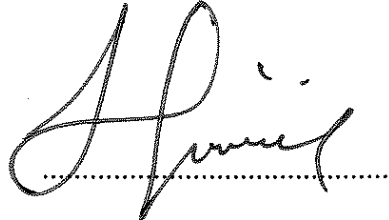
Üye  
Yrd. Doç. Dr. Selami KESLER  
Pamukkale Üniversitesi



Üye  
Yrd. Doç. Dr. Ahmet ÖZEK  
Pamukkale Üniversitesi



Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 07.09.2016 tarih ve 33/21.... sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Prof. Dr. Uğur YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

**Bu çalışma 2539,TÜBİTAK (Türkiye)-FWO (Belçika) İşbirliği Programı kapsamında yürürlükte olan 114E023 numaralı ve “Şehir içi Kullanımlar İçin Yüksek Verimli Elektrikli Araç Prototip Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi” başlıklı proje kapsamında desteklenmiştir.**

**Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.**

**ARDA KILIÇ**



## ÖZET

**BATARYA YÖNETİM SİSTEMLERİNDE ANA VE UYDU  
DENETLEYİCİ MODÜL TASARIMI VE CAN PROTOKOLÜ  
KULLANIMI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ARDA KILIÇ  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. CEYHUN KARPUZ)  
DENİZLİ, TEMMUZ - 2016**

Günümüzde LiFePO<sub>4</sub> bataryaların kullanımını giderek artmaktadır. Ancak bu bataryaların güvenli ve verimli olarak kullanılabilmesi için dikkat edilmesi gereken önemli özellikleri vardır. Bataryaların yanlış kullanılması sonucunda yanma, patlama veya bataryaların ömrünün kısalması gibi durumlar ortaya çıkmaktadır. Bu yüzden, batarya hücrelerinin gerilim, sıcaklık ve akım değerleri sürekli kontrol altında tutulmalıdır. Diğer taraftan, toplam batarya grubunun her bir hücre ile birlikte yönetimini gerçekleştirecek bir ana yönetim sistemi de gereklidir. Ayrıca, hücrelerde denetimi sağlayan uydu yönetici birim ile ana yönetim birimi arasındaki haberleşme sistemi de önem arz etmektedir.

Bu tez çalışmada, Lityum temelli bataryalar için literatürde var olan batarya yönetim sistemleri araştırılarak daha verimli çalışan ve CAN protokol ile haberleşen bir batarya yönetim sistemi gerçekleştirilmiştir. Bataryalar için mikro denetleyici tabanlı kontrol ve koruma donanımları tasarlanıp üretilmiştir. Bu devreler; bataryaların gerilim, sıcaklık ve akım değerlerini ölçüp görüntülemektedir. Batarya hücrelerini aşırı şarj olma, aşırı deşarj olma, yüksek akım, yüksek sıcaklık gibi durumlardan korumaktadır. Batarya yönetim sistemi, hücre gerilim dengeleme işlemi ile batarya hücre gerilimlerini dengelemektedir. Batarya yönetim sisteminde ana denetleyici modüle yardımcı olarak uydu denetleyici modüller eklenerek, yüksek ve düşük gerilim batarya gruplarında, yüksek çözünürlüklü gerilim ve sıcaklık takibi sağlanmıştır. Birbirinden elektriksel olarak yalıtılmış uydu denetleyici modüller sayesinde farklı gerilim değerlerindeki batarya gruplarında kullanılabilen, modüler bir batarya yönetim sistemi tasarlanmıştır.

Tasarımı gerçekleştirilen batarya yönetim sistemi (BYS) Üniversitemizde yürütülen Uluslararası TUBİTAK projesi kapsamında tamamen yerli üretimi gerçekleştirilen “Çok Hafif Şehir içi Dolaşım için Elektrikli Araç” projesinde kullanılan 32 adet seri olarak bağlanmış LiFePO<sub>4</sub> batarya hücresi üzerinde denenmiştir. Yapılan bu uygulamada başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

**ANAHTAR KELİMELELER:** Batarya yönetim sistemi, batarya görüntüleme, hücre dengeleme işlemi, LiFePO<sub>4</sub> bataryalar

## **ABSTRACT**

### **DESIGN OF MASTER AND SLAVE MODULES ON BATTERY MANAGEMENT SYSTEM AND USING OF CAN PROTOCOL**

**MSC THESIS**

**ARDA KILIÇ**

**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE**

**ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING**

**(SUPERVISOR:PROF. DR. CEYHUN KARPUZ)**

**DENİZLİ, JULY 2016**

Today, use of LiFePO<sub>4</sub> batteries gradually increase. However, there are important features to be considered in order to use these batteries safely and efficiently. As a result of wrong use of batteries, conditions such as burning, explosion or shortening of the life of batteries occur. For this reason, voltage, temperature and current values of the battery cells should always be controlled. Besides, a main management system which will perform the management of the total battery group along with each cell is also necessary. Moreover, communication system between the satellite management unit providing control in cells and the main management unit is also important.

In this thesis study for lithium based batteries, a battery management system which operates more efficiently and communicates with CAN protocol was made by examination of the battery management systems existing in literature. For batteries, microcontroller based control and protection equipment were designed and produced. These circuits measure and monitor the voltage, temperature and current values of the batteries. They protect the battery cells from the conditions such as over charge, over discharge, high current, high temperature. Battery management system balances battery cell voltages with cell voltage balancing process. In the battery management systems, by adding satellite controller modules as auxiliary to the main controller module high definition voltage and temperature monitoring was provided in high and low battery groups. Thanks to the satellite controller modules electrically insulated from each other, a modular battery management system which can be used in battery groups with different voltage values was designed.

Designed battery management system (BMS) was tried on 32 serially connected LiFePO<sub>4</sub> battery cells which are used in “Quite Light Electric Vehicle for Urban Driving” project which is completely produced locally within International TUBITAK project conducted in our University. Successful results were obtained in this application.

**KEYWORDS:** Battery management system, battery monitoring, cell balancing, LiFePO<sub>4</sub> batteries

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>v</b>
<b>SEMBOL LİSTESİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>viii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. BATARYALAR VE YÖNETİM SİSTEMLERİ</b> .....	<b>4</b>
2.1    LiFePo4 Bataryalar.....	4
2.2    Batarya Yönetim Sistemi ve Görevleri .....	7
2.2.1    Kapasite Hesaplama.....	7
2.2.2    Güvenlik ve Koruma.....	10
2.2.2.1    Yüksek-Düşük Gerilim Koruması ve Gerilim Takibi.....	10
2.2.2.2    Yüksek Akım Koruması ve Akım Takibi .....	11
2.2.2.3    Yüksek-Düşük Sıcaklık Koruması Ve Sıcaklık Takibi.....	11
2.2.2.4    Gerilim Dengeleme İşlemi .....	14
2.2.3    Haberleşme ve Görüntüleme .....	16
<b>3. BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ TASARIMI</b> .....	<b>17</b>
3.1    Uydu Denetleyici Kart Tasarımı .....	18
3.1.1    Mikro Denetleyici Seçimi .....	19
3.1.2    Sıcaklık Sensörü ve Gerilim Okuma .....	20
3.1.3    Besleme Regülatör Devresi .....	23
3.1.4    Gerilim Dengeleme Devresi .....	24
3.1.5    Haberleşme Devresi .....	26
3.1.6    Uydu Denetleyici Kart Üretimi.....	27
3.1.7    Uydu Denetleyici Akış Diyagramı .....	28
3.2    ANA DENETLEYİCİ TASARIMI.....	29
3.2.1    Akım Ölçme Devresi .....	30
3.2.2    Röle Kontrol Devresi .....	31
3.2.3    Besleme Regülatör Devresi .....	33
3.2.4    Haberleşme Protokolü ve Devresi .....	34
3.2.5    Görüntüleme Sistemi .....	35
3.2.6    Kablosuz Haberleşme .....	36
3.2.7    Ana Denetleyici Devre Tasarımı .....	38
3.2.8    Ana Yönetici Devresi Kontrol Akış Diyagramı .....	40
3.3    BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ KORUMA KUTUSU.....	42
<b>4. DENEYSEL SONUÇLAR VE BULGULAR</b> .....	<b>44</b>
<b>5. SONUÇLAR</b> .....	<b>48</b>
<b>6. KAYNAKLAR</b> .....	<b>49</b>
<b>7. EKLER</b> .....	<b>52</b>
EK A.1 Ana denetleyici şema-1 .....	52
EK A.2 Ana denetleyici şema-2 .....	53
EK A.3 Ana denetleyici şema-3 .....	54



EK A.4 Ana denetleyici şema-4 .....	55
EK B.1 Ana denetleyici şema-1 .....	56
EK B.2 Ana denetleyici şema-2 .....	57
EK B.3 Ana denetleyici şema-3 .....	58
EK C.1 WN36AH hücre özellikleri-1 .....	59
EK C.2 WN36AH hücre özellikleri-2 .....	60
<b>8. ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>61</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2. 1 Batarya tipine göre enerji yoğunlukları .....	4
Şekil 2. 2 LifePO4 batarya hücreleri .....	5
Şekil 2. 3 LiFePO4 kapasite-tekrar dolun grafiği .....	6
Şekil 2. 4 LiFePO4 gerilim-kapasite eğrisi .....	8
Şekil 2. 5 Akım sayma yöntemi .....	9
Şekil 2. 6 LiFePO4 hücre gerilimi güvenli bölge .....	10
Şekil 2. 7 LiFePO4 ısı sürüklenme eğrisi .....	12
Şekil 2. 8 Farklı sıcaklıklarda deşarj eğrisi .....	13
Şekil 2. 9 Batarya hücresi eş devresi .....	14
Şekil 2. 10 Pasif gerilim dengeleme metodu .....	15
Şekil 2. 11 Ana denetleyici görüntüleme ekranı .....	16
Şekil 3. 1 Ana ve uydu denetleyici sistemi .....	17
Şekil 3. 2 Uydu denetleyici blok şeması .....	18
Şekil 3. 3 Mikro denetleyici azami devre şeması .....	19
Şekil 3. 4 Sıcaklık sensörünün devre üzerindeki konumu .....	20
Şekil 3. 5 Tmp36 sıcaklık sensörü devre şeması .....	21
Şekil 3. 6 Uydu denetleyici gerilim okuma devre şeması .....	22
Şekil 3. 7 Uydu denetleyici regülatör devre şeması .....	23
Şekil 3. 8 Uydu denetleyici kart balans işlemi devre şeması .....	24
Şekil 3. 9 Uydu denetleyici kart balans parçası .....	25
Şekil 3. 10 Uydu denetleyici modül UART haberleşme devresi .....	26
Şekil 3. 11 Uydu denetleyici elemanları .....	27
Şekil 3. 12 Uydu denetleyici modüllerin batarya üzerine yerleşimi .....	27
Şekil 3. 13 Uydu denetleyici akış diyagramı .....	28
Şekil 3. 14 Ana denetleyici kart blok şeması .....	29
Şekil 3. 15 Akım sensörü akım-gerilim eğrisi .....	30
Şekil 3. 16 Akım sensörü devre şeması .....	31
Şekil 3. 17 Şarj röle sürme devre şeması .....	31
Şekil 3. 18 Yük röle sürme devre şeması .....	32
Şekil 3. 19 Ana denetleyici kart regülatör devresi .....	33
Şekil 3. 20 MCP2551 entegresi devre şeması .....	34
Şekil 3. 21 Ana denetleyici kart UART haberleşme devre şeması .....	35
Şekil 3. 22 Ana denetleyici TFT konektörü ve görüntüleme ekranı .....	36
Şekil 3. 23 Kablosuz haberleşme blok şeması .....	37
Şekil 3. 24 Telemetri sistemi kutusu .....	37
Şekil 3. 25 Ana denetleyici modül üst görünümü .....	38
Şekil 3. 26 Ana denetleyici modül arkadan görünümü .....	39
Şekil 3. 27 Ana denetleyici modül akış diyagramı .....	40
Şekil 3. 28 Batarya Yönetim Sistemi 3D Modeli .....	42
Şekil 3. 29 Batarya Yönetim Sistemi Kutusu .....	43
Şekil 4. 1 Ana denetleyici gerilim ve sıcaklık takip ekranı .....	44
Şekil 4. 2 Ana denetleyici grafiksel gerilim takip ekranı .....	45
Şekil 4. 3 Uydu denetleyici modüller .....	45
Şekil 4. 4 BYS genel görünümü .....	46

Şekil 4. 5 BYS'nin elektrikli araç içerisindeki görünümü.....47

## SEMBOL LİSTESİ

<b>LiFePO4</b>	:	Lityum Demir Fosfat
<b>RF</b>	:	Radyo frekansı
<b>PWM</b>	:	Darbe genişlikli modülasyon
<b>Vcc</b>	:	Besleme gerilimi
<b>ADC</b>	:	Analog dijital çevirici
<b>Vmax</b>	:	En yüksek gerilim
<b>Vmin</b>	:	En düşük gerilim
<b>Vort</b>	:	Ortalama gerilim
<b>Vdif</b>	:	Gerilim farkı
<b>Tmax</b>	:	En yüksek sıcaklık
<b>Tmin</b>	:	En düşük sıcaklık
<b>Tort</b>	:	Ortalama sıcaklık
<b>Imax</b>	:	En yüksek akım
<b>BYS</b>	:	Batarya yönetim sistemi
<b>SOH</b>	:	State of health
<b>SOC</b>	:	State of charge
<b>DVL</b>	:	Discharge voltage limit
<b>CVL</b>	:	Charge voltage limit
<b>UART</b>	:	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
<b>I2C</b>	:	Inter-Integrated Circuit
<b>SPI</b>	:	Serial Peripheral Interface Bus
<b>CAN</b>	:	Controller Area Network
<b>TFT</b>	:	Thin Film Transistor
<b>SMD</b>	:	Surface Mount Technology(Yüzey montaj teknolojisi)

## ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında, LiFePO<sub>4</sub> bataryalar için, CAN protokol haberleşmeli uydu ve ana denetleyici sistemi, gerçek bir görüntüleme sistemi ile birlikte tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Birbirinden elektriksel olarak yalıtılmış uydu denetleyici modüller ile yüksek gerilim batarya gruplarında da kullanılacak batarya yönetim sistemi tasarlanmıştır.

Bu çalışmada büyük desteği olan aileme, tez danışmanım Prof. Dr. Ceyhun KARPUZ' a, yardımcı tez danışmanım Doç. Dr. Sinan KIVRAK' a, desteklerini esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Selami KESLER ve Yrd. Doç. Dr. Selim KÖROĞLU hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

# 1. GİRİŞ

LiFePO<sub>4</sub> bataryalar, tekrar şarj edilebilen, zehirli madde içermeyen, ısı kararlılığı yüksek ve tekrar dolun ömrü uzun olan bir batarya türüdür. Enerji yoğunluğu kurşun asit akülere göre daha yüksektir. Bu nedenlerden dolayı son yıllarda elektrikli arabalarda ve yedek güç kaynaklarında kullanımı giderek artmaktadır. Ancak, LiFePO<sub>4</sub> bataryaları şarj veya deşarj ederken dikkat edilmesi gereken önemli özellikleri ve hassasiyetleri vardır. Bataryaların bozulmaması ve güvenli bir şekilde kullanılabilmesi için batarya hücre gerilim, akım ve sıcaklık değerleri güvenli bölge içerisinde tutulmalıdır. Bu nedenle, gerilim, sıcaklık ve akım gibi önemli değerler sürekli olarak gözlenmelidir.

Batarya yönetim sistemi (BYS), bataryaları daha güvenli ve verimli kullanabilmek için kullanılan donanım ve yazılım sistemi bütünüdür. Batarya hücrelerinin sıcaklık, gerilim ve akım gibi önemli değerlerini okuyarak şarj ve deşarj işlemlerini yöneten, yazılım ve donanım tabanlı bir sistemdir.

Zheng çalışmasında CANBUS ile haberleşebilen ve 22 adete kadar batarya hücresini kontrol edebilen modüler bir batarya yönetim sistemi tasarlamıştır. Tasarladığı modüller elektrikli bir araç içerisinde araçtaki diğer sistemlerle CANBUS üzerinden iletişim kurmuştur. Kendisinin bağlı bulunduğu kısmın akımını, gerilimlerini ve sıcaklığını ölçerek bu verileri ileten modüller ve bu ölçümler ile SOC kestirimi yapan akıllı ana birim tasarımı yapmıştır(Zheng 2008).

Qaisar ve diğerleri çalışmalarında lityum iyon batarya paketleri için Linear Technology ve Maxim Integrated firmaların tasarlandığı LTC6802 ve MAX11068 tüm devrelerin deneme kartları ile denemeler yapmışlardır. Çalışmalarında bu iki firmanın ürettiği tüm devrelerin ölçüm performansı açısından karşılaştırmalarını yapmışlardır(Qaisar 2010).

Shi-qi ve diğerleri, Linear Technology firmasının (LTC6802) entegresini kullanarak bir batarya yönetim sistemi tasarımı yapmışlardır. Her biri on iki adet

batarya hücresi için gerilim görüntülemesi yapan bu tüm devreden, üç adet kullanılarak 36 hücrenin gerilim görüntüleme işlemini yapmışlardır. Çalışmada izolasyon entegrasi olarak Analog Devices firmasının ADUM1411 kullanılarak sağlıklı ölçümler yapıp yapılmadığı test edilmiştir(Shi-qi 2011).

Baronti ve diğerleri süper kapasitörler kullanarak batarya gerilim dengeleme işlemlerini yapmışlardır. Gerilimi fazla olan batarya hücresinin enerjisi, yükseltilen DC-DC dönüştürücülerle süper kapasitöre oradan da batarya paketine gönderilmiştir. İşlem yapılacak hücreler bütün batarya hücrelerine bağlı anahtarlar ile seçilip süper kapasitöre bağlanarak aktif hücre dengeleme işlemini gerçekleştirmişlerdir(Baronti 2013).

Altun tez çalışmasında literatür de yapılmış BYS yazılım algoritmaları incelemiş ve BYS' nin genel özellikleri ve ihtiyaçlarını belirlemiş daha sonra akademik bir çalışma sonucunda donanımı tasarlanan BYS' nin hem ana kart için hem de çocuk kartlar için yazılım algoritmaları tasarlanmıştır. Ayrıca bu çalışma kapsamında, batarya paketinin daha verimli kullanılması için Enerji Koruma Modu (EKM) algoritması geliştirilmiştir. (Altun 2012).

Baykal tez çalışmasında yüksek enerji kapasiteli lityum polimer bataryaların gerilim, sıcaklık değerlerini ölçerek, geliştirilen bilgisayar yazılım ile görüntüleyecek batarya izleme sisteminin prototipi gerçekleştirmiştir. Çalışmasında 4 adet seri bağlanmış lityum polimer bataryaya paralel olarak bağlanan, içerisinde izoleli haberleşme, güç ve ölçüm bloklarını barındıran kart tasarlamıştır. Haberleşme arayüzü RS485 olup, kartlar için gereken güç, kartın bağlı bulunduğu bataryadan sağlamıştır. tasarlanan batarya izleme sisteminin, olası tüm fonksiyonları ele alınan batarya yönetim sistemi ve son ürün haline getirilmiş ticari batarya yönetim sistemleri ile karşılaştırmıştır(Baykal 2013).

Nafiz tez çalışmasında elektrikli otobüslerde kullanılan bataryaların takibi ve yönetilmesi için batarya yönetim sistemi geliştirilmiştir. Bu çalışmasında batarya sayısının değişimine uyum sağlayan bir batarya yönetim sistemi tasarlamış ve çalışan prototipi üretilmiştir. Ürettiği batarya yönetim sistemi, hizmet verdiği bütün bataryalardan gerilim, akım, sıcaklık bilgisini okuyup RS232, RS485 ve CanBus haberleşmeleri ile raporlamıştır. Bataryalar arasında aktif şarj dengeleme işlemi yapabilmekte ve sistemde bulunan bataryaların aşırı şarj ve derin deşarj durumlarına

karşı korumuştur(Nafiz 2014).

Singamala, lityum tabanlı batarya yönetim sistemlerinde (AFE) sistemini araştırmıştır. Gerilim farkı karşılaştırıcıları kullanarak batarya hücre gerilimlerinin güvenli bölge aralığında olup olmadığını tespit etmiştir. Tez kapsamında üretilen devre ile yedi hücreye kadar olan batarya paketlerinin hücre gerilim görüntüleme işlemi yapılabilmektedir(Singamala 2014).

Soydaş bu çalışmasında lityum tabanlı batarya hücreleri incelenmiş, batarya yönetim sistemleri araştırmış ve anlatmıştır. Çalışmasında batarya yönetim sistemlerinin dengeleme metotlarından olan aktif veya pasif hücre dengeleme metotları kullanılarak çeşitli tasarımlar yapmıştır. Yapılan bu tasarımların bir kaç tanesi çeşitli güneş enerjili araç yarışları ve elektrikli araba yarışmalarında test etmiştir(Soydaş 2015).

Bu tez çalışmasında, LiFePO<sub>4</sub> bataryalar için, CAN protokol haberleşmeli uydu ve ana denetleyici sistemi, gerçek bir görüntüleme sistemi ile birlikte tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Birbirinden elektriksel olarak yalıtılmış uydu denetleyici modüller ile yüksek gerilim batarya gruplarında da kullanılacak batarya yönetim sistemi tasarlanmıştır. Bu modüler sistem sayesinde, yüksek gerilim uygulamalarında 12 bit çözünürlükte gerilim ve sıcaklık değeri okunabilmektedir. Yapılan bu çalışma, Uluslararası bir TUBİTAK projesinde uygulama fırsatı bulmuştur. Sözü edilen bu proje; tamamen yerli tasarım ile gerçekleştirilen bir elektrikli araç projesi olup bu araç için kullanılan batarya grubunda seri olarak bağlanmış 32 adet 36Ah kapasiteli LiFePO<sub>4</sub> batarya hücresi kullanılmıştır.

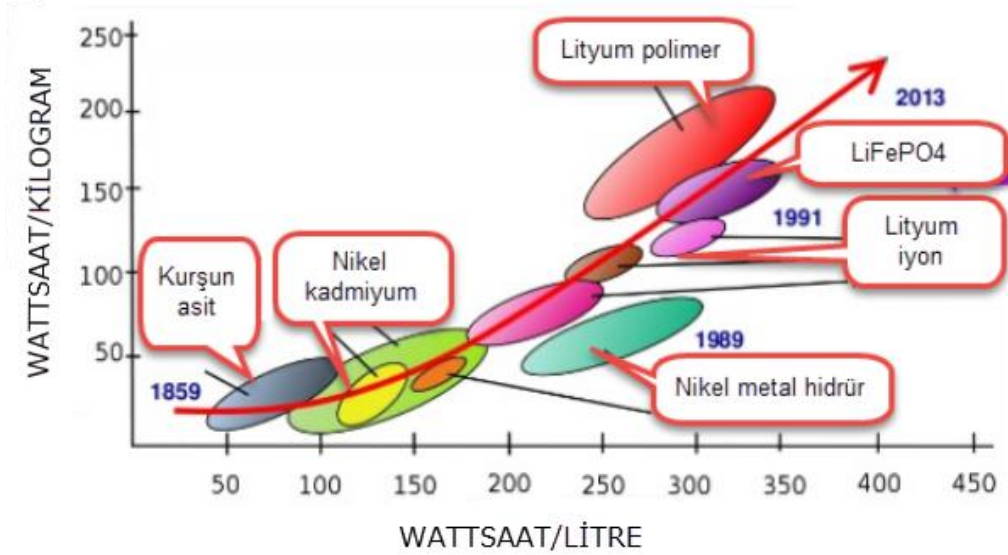


## 2. BATARYALAR VE YÖNETİM SİSTEMLERİ

Bu bölümde LiFePO<sub>4</sub> bataryalar, batarya yönetim sistemleri, temel kavramlar ve batarya yönetim sistemi temel bileşenleri hakkında genel bilgiler verilmiştir.

### 2.1 LiFePO<sub>4</sub> Bataryalar

Lityum, doğadaki en hafif ve elektromekanik potansiyeli en fazla olan metaldir. Ağırlığına oranla enerji yoğunluğu çok fazladır. Lityum anodu kullanılarak yapılan ve şarj edilebilen bataryalar yüksek enerji yoğunluğu sağlayabilirler(Goodenough 2006). Farklı tip bataryalar için enerji yoğunlukları Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2. 1 Batarya tipine göre enerji yoğunlukları

Enerji yoğunluğunun kabul edilebilir seviyede yüksek olmasına rağmen, Lityum kararsız bir metaldir. Bu yüzden, batarya üretiminde Lityum metalleri yerine Lityum iyonları tercih edilir. Lityum iyonları, Lityum metallerine göre biraz daha az enerji yoğunluğuna sahiptir, ama daha karardır. Yine de, Lityum su ile güçlü olarak tepkimeye girer. Tepkime sonucunda hidrojen açığa çıkarır ve Lityum hidroksite (LiOH) dönüşür. Bu tepkime ile açığa çıkan ısı, hidrojeni tutuşturabilir ve Lityum

metalini yakabilir. Bu tepkime batarya hücresinin patlamasına neden olabilir(Goodenough 2007).

LiFePO<sub>4</sub> bileşiminin batarya olarak kullanılabilceği fikri, ilk olarak 1996'da Texas Üniversitesi'nde yayınlanmıştır(Goodenough 2006). Tekrar dolun ömürleri fazladır ve diğeri Lityum iyonlara göre daha güvenlidir. Ucuza mal olması, toksik madde içermemesi, termal kararlılığının yüksek olması, elektrokimyasal performansının yüksek olması gibi nedenlerden dolayı elektrikli arabalarda, elektrikli bisikletlerde ve yedek güç kaynağı uygulamalarında kullanımı yaygınlaşmaktadır (Owen 1997).

En önemli özelliklerinden biri olan termal kararlılığının yüksek olması, LiFePO<sub>4</sub> bileşimini tercih sebebi yapmıştır. Bu da, batarya güvenliğini artırmaktadır. Fe – P – O kimyasal bağı, Co – O bağına göre daha sağlamdır. Batarya kısa devre olması veya aşırı ısınması gibi durumlarda oksijen atomları daha zor koparlar. Bu kimyasal kararlılık patlama ve bozulma ihtimalini azaltırken daha hızlı iyon transferi sağlar(Xu 2008). Sabit bir boşalma gerilimine sahiptir. Batarya kapasitesi bitene kadar gerilim değeri 3.2V seviyesine yakın olarak kalır. Bu sayede gerilim regülasyon devrelerini çok basitleşir ya da hiç kullanılmayabilir. Fakat gerilimin sabit kalması, batarya gerilimi okuyarak batarya kalan enerjisinin hesaplanması işlemini zorlaştırır.

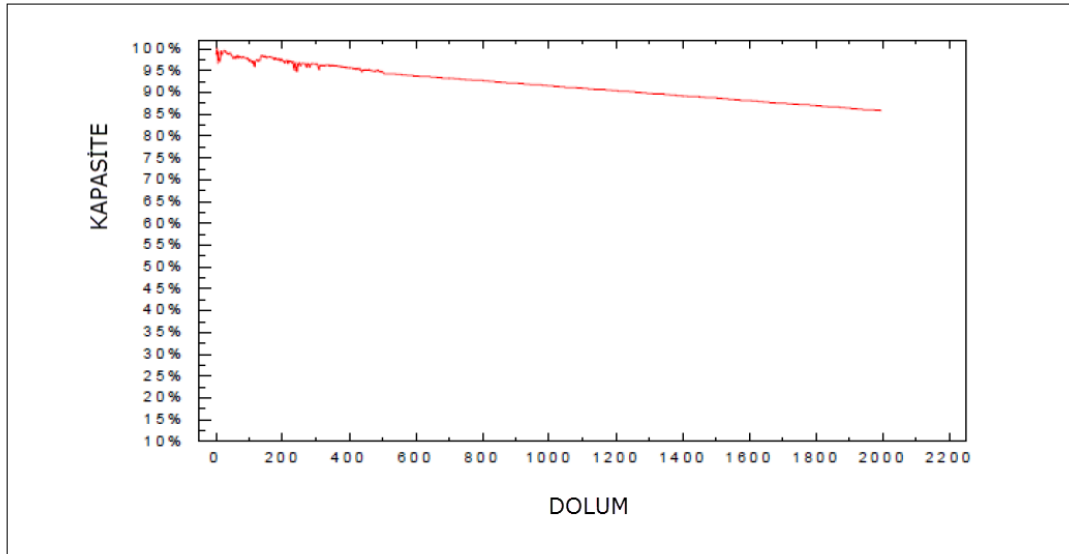


**Şekil 2. 2** LifePO<sub>4</sub> batarya hücreleri

Bataryalar seri bağlanarak oluşturulacak 12.8V ve 25.6V gerilimleri, kurşun asit akü gerilimlerine yakın olduğu için, LiFePO4 bataryalar, elektrikli arabalarda ve solar enerji uygulamalarında kullanılan kurşun asit akülerin yerini almaya başlamıştır. Standarda yakın temel özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Şarj gerilimi üst limiti= 3.7V
- Deşarj gerilimi alt limiti = 2.5V
- Kullanım gerilim aralığı 2.6V – 3.65V
- Hacimsel enerji yoğunluğu = 22 Wh/dm<sup>3</sup> (790 kJ/dm<sup>3</sup>)
- %100 kapasite ile tekrar dolun ömrü = 2000 şarj-deşarj
- %80 kapasite ile tekrar dolun ömrü = 2000-7000 şar-deşarj

LiFePO4 bataryalar uzun tekrar dolun ömrüne sahiptir. Şekil 2.3' te tez kapsamında kullanılan WN36AH LiFePO4 bataryalar için kapasite-tekrar dolun grafiği verilmiştir.



Şekil 2. 3 LiFePO4 kapasite-tekrar dolun grafiği

## 2.2 Batarya Yönetim Sistemi ve Görevleri

Batarya yönetim sistemi, batarya arızalarını azaltmak, batarya ömrünü ve verimliliğini arttırmak için kullanılan batarya paketinin bir parçasıdır. Batarya için önemli parametreler olan gerilim, akım ve batarya iç sıcaklık gibi verileri okur ve görüntüler. Şarj ve deşarj işlemleri sırasında bu değerleri kontrol ederek önemli durumlarda sesli ve görüntülü olarak uyarı verir. Gerekli durumlarda batarya paketini yükten veya şarj cihazından ayırarak bataryayı korur.

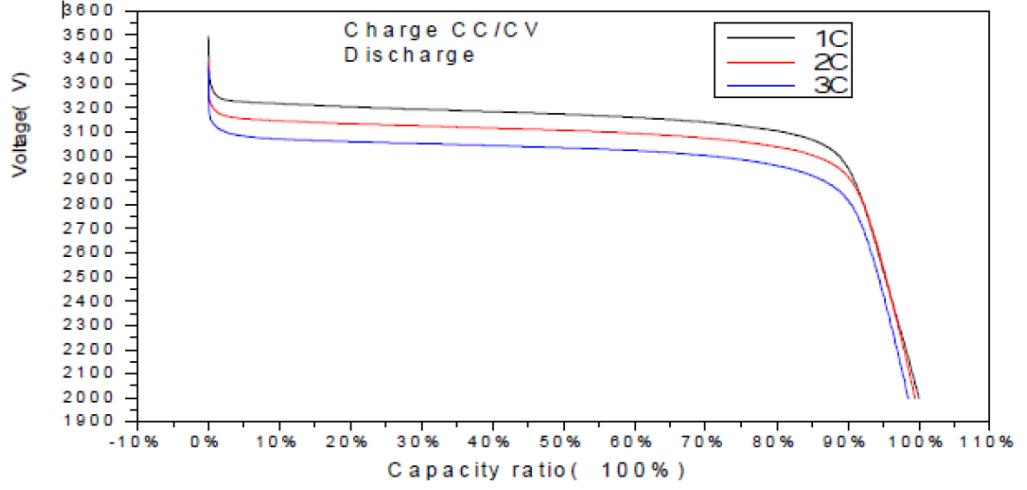
Zamanla batarya hücre gerilimleri arasında farklılıklar oluşabilir. Batarya yönetim sistemi gerilim dengeleme işlemi ile şarj veya deşarj işlemi sırasında batarya hücre gerilimlerini dengeler.

Batarya yönetim sistemi hücre gerilim, akım ve sıcaklık verilerine göre batarya paketinin kalan enerjisini hesaplar. Böylece bataryanın ne kadar süre daha kullanılabilmesi (SOC) tahmin edilebilir. Şarj işlemi sırasında batarya paketinin ne kadar enerji depoladığını hesaplayarak batarya ömrünü (SOH) tahmin edebilir.

### 2.2.1 Kapasite Hesaplama

Batarya yönetim sistemi devreleri kullanılan bataryanın gerilim, akım ve sıcaklık değerlerine bakarak batarya içerisinde ne kadar enerji kaldığını hesaplar. Elektrikli araba uygulamasında arabanın daha kaç km gidebileceğini, yedek güç kaynağı uygulamalarında kaç saat daha enerji sağlayabileceği gibi önemli bilgiler BYS devreleri tarafından hesaplanır. Bataryanın anlık kapasitesinin toplam kapasitesine oranı (SOC) yüzde olarak hesaplanır ve kullanıcıya gösterilir.

Şekil 2.3'de bu çalışmanın uygulama alanı bulunduğu projede kullanılan LiFePO<sub>4</sub> bataryanın gerilim-kapasite grafiği görülmektedir. Bu grafik değerleri dikkate alınarak bataryanın anlık gerilim, akım ve sıcaklık değerleri kullanılarak batarya kalan kapasitesi hesaplanabilir.

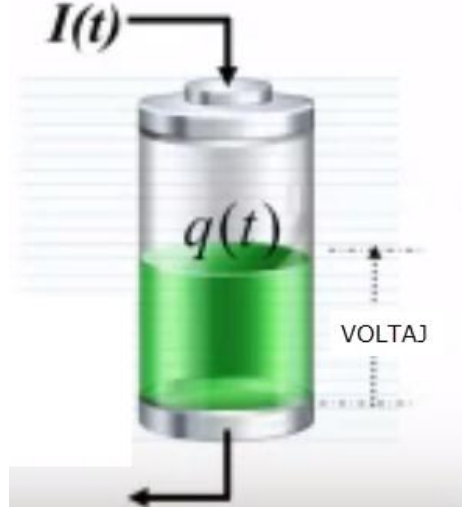


Şekil 2. 4 LiFePO4 gerilim-kapasite eğrisi

LiFePO4 batarya hücresi nominal (etiket değeri, anma değeri) voltajı gerilimi 3.2V'dur. Kapasitenin büyük bölümünde gerilim 3.2V seviyesinde kalır. LiFePO4 bataryaların bu özelliği gerilim ile kapasite hesaplama işini zorlaştırır. Kapasite hesaplama yöntemlerinden biri akım sayma yöntemidir. Bu yöntemde batarya şarj işleminde iken şarj aletinden çekilen akımlar ölçülerek toplanır. Daha sonra batarya deşarj durumuna girdiğinde çekilen akımlar çıkarılarak kalan kapasite hesaplanır. Akım sayımı olarak bu yöntemle ilişkin bağıntılar Denk.(1) ve (2) de verilmiştir.

$$q(t) = q_0 + \int I(t).dt \quad (1)$$

$$q_k = q_0 + \Delta t. \sum_k I_k \quad (2)$$



**Şekil 2. 5** Akım sayma yöntemi

Bu yöntemlerde, PCB malzemelerin kayıpları, üretilen her batarya hücresinin birbirinden farklı olması, kesin bir batarya hücre modelinin oluşturulamaması, batarya hücrelerinin kimyasal özelliklerinin batarya yaşına ve ortam sıcaklığına göre farklılıklar göstermesi gibi nedenlerden dolayı batarya kalan kapasitesinin kesin olarak belirlenmesi zordur.

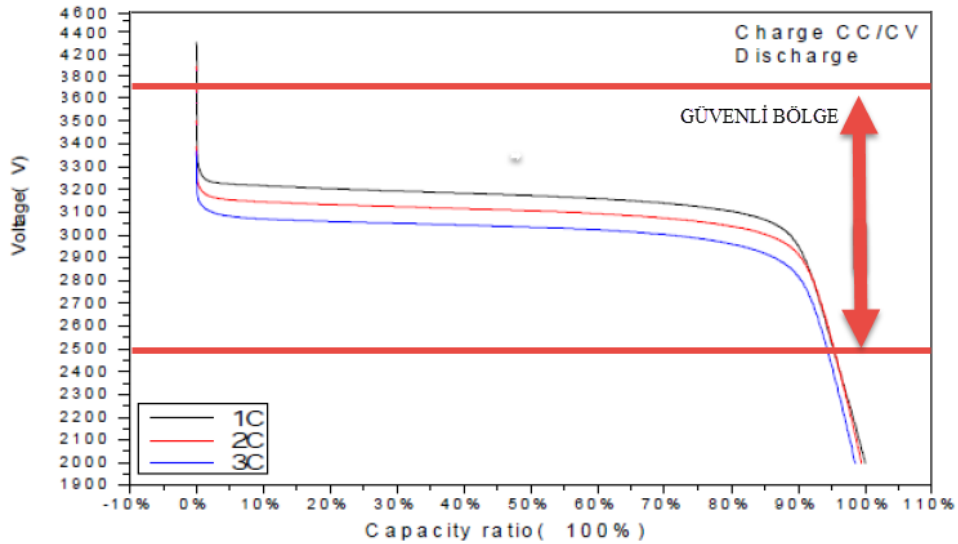
## 2.2.2 Güvenlik ve Koruma

Batarya yönetim sistemlerinin en önemli görevlerinden birisi bataryaların güvenli bir şekilde kullanılmasını sağlamaktır. Bunun için, bataryanın sıcaklık, gerilim ve akım bilgileri sürekli kontrol altında tutulmalıdır. Bu veriler, güvenli bölge dışına çıkarsa bataryalar hasar görebilir. Yüksek akım veya yüksek gerilim gibi durumlarda önlem alınmazsa batarya hücreleri çok ısınır alev alabilir.

### 2.2.2.1 Yüksek-Düşük Gerilim Koruması ve Gerilim Takibi

Batarya şarj ve deşarj işlemleri sırasında, hücre gerilim değerlerini güvenli bölgede tutmak, hücre gerilim farklılıklarını tespit etmek ve batarya kalan kapasite hesaplamaları yapabilmek için, hücre gerilimleri sürekli olarak okunmalıdır.

LiFePO<sub>4</sub> batarya hücre gerilimleri için güvenli bölge 3.7 V ile 2.5 V aralığındadır. Şarj esnasında hücre gerilimleri sürekli olarak okunur ve hücre gerilimi şarj gerilim limiti olan 3.7 V değerine ulaştığında şarj işlemi sonlandırılır. Şekil 2.5'te batarya güvenlik bölgeleri tanımlanmıştır.



Şekil 2. 6 LiFePO<sub>4</sub> hücre gerilimi güvenli bölge

Deşarj işlemi sırasında hücre gerilimi, deşarj sonlandırma gerilimi olan 2.5 V değerine ulaştığında yük, batarya grubundan ayrılır ve hücre aşırı deşarj olmaktan korunur. Hücre gerilimi 2.5 V değerinin altına düştüğünde hücrenin depolayabileceği azami kapasite değeri azalır veya tamamen bitebilir.

Batarya kalan kapasite hesaplama işleminde, hücre gerilim değeri çok önemlidir. Hücre gerilimi, hücre gerilim-kapasite eğrisinin büyük bölümünde 3.2V seviyesinde kaldığı için kapasite hesaplamada yüksek çözünürlüklü bir analog-dijital çevirici kullanılmalıdır.

### **2.2.2.2 Yüksek Akım Koruması ve Akım Takibi**

Bataryalardan çekilecek akımın sınır değerlerine dikkat edilmesi gerekir. Bataryalardan çekilecek azami anlık akım ve sürekli akım batarya cinsine ve kapasitesine göre değişiklik gösterir. Tez uygulamasında kullanılan bataryalarda sürekli akım değeri 108 A ve ani akım değeri 180 A'dir (5sn boyunca çekilebilecek akım). Bu şartların dışına çıktığında bataryalar ısınabilir, patlayabilir veya kullanım ömürleri azalabilir.

Şarj ve deşarj işlemleri sırasında akım değeri sürekli olarak okunmalıdır. Akım değerleri güvenli bölge dışına çıktığında BYS devreleri şarj aletini veya yükü batarya grubundan ayırmalıdır.

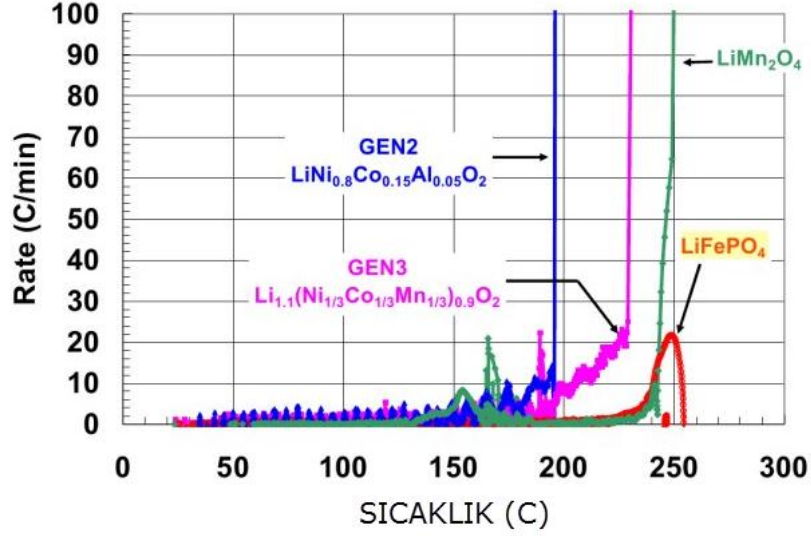
### **2.2.2.3 Yüksek-Düşük Sıcaklık Koruması Ve Sıcaklık Takibi**

Bataryaların çok ısınması hücre içerisindeki kimyasal bağların kopmasına neden olabilir. Bu durum bataryaların ömrünün azalmasına, bozulmasına veya patlamasına neden olabilir.

LiFePO<sub>4</sub> bataryaların kimyasal yapısı demir ağırlıklı olduğu için diğer Lityum pillere göre termal kararlılığı daha fazladır. LiFePO<sub>4</sub> bataryaların kimyasal yapısındaki Fe – P – O bağı diğer Lityum pillerdeki kimyasal bağlardan daha kuvvetlidir. LiCoO<sub>2</sub> bataryaların yüksek sıcaklık patlama limiti 175°C iken LiFePO<sub>4</sub>



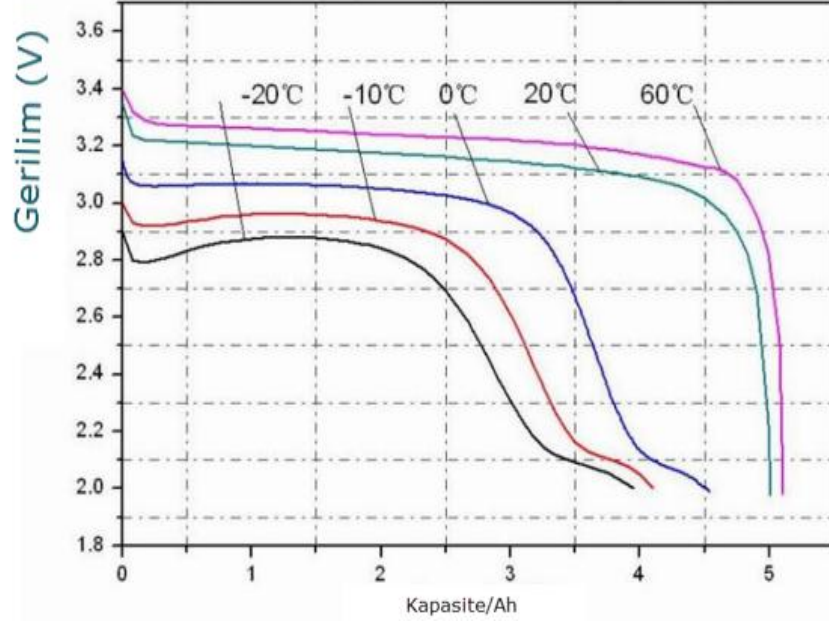
bataryaların patlama limiti 250°C'tır (derece olarak anılacak). Deşarj esnasında verimli kullanım için olması gereken sıcaklık değeri -20 ile +45 derece arasındır. Şarj esnasında ise sıcaklık 0 derece ile 45 derece arasında olmalıdır.



Şekil 2. 7 LiFePO4 ısıl sürüklenme eğrisi

BYS devreleri şarj ve deşarj süresince sürekli olarak batarya sıcaklıklarını okumalı ve kritik durumlarda kullanıcıyı uyarmalıdır. Gerektiğinde şarj ünitesini veya yükü batarya grubundan ayırmalıdır. Şekil 2.6'da bataryanın ısıl sürüklenme eğrisi ve Şekil 2.7'de batarya hücre sıcaklıklarına göre deşarj eğrisi görülmektedir. Gerilim – kapasite eğrisi sıcaklık değerine göre değişmektedir. Bu yüzden batarya hücresi gerilim bilgisi ile batarya kalan kapasitesinin hesaplanması işleminde batarya hücre sıcaklığı da dikkate alınmalıdır.

Şarj esnasında bataryaların yüksek gerilim, yüksek akım ve yüksek sıcaklık gibi durumlardan korunması gerekir. Yüksek gerilim koruması için gerilim bilgisi şarj esnasında sürekli olarak takip edilir.



**Şekil 2. 8** Farklı sıcaklıklarda deşarj eğrisi

Batarya hücrelerini şarj esnasında aşırı şarj olmaktan ve yüksek akımdan koruyarak batarya bozulmalarının önüne geçilebilir. Batarya gerilimi üst sınırına ulaştığı zaman şarj işlemi durdurulur. Batarya toplam gerilimi gerekli seviyeye gelmeden bataryalardan biri yüksek gerilim değerine ulaşırsa şarj işlemi durdurulup balans işlemi başlatılır. Gerilim seviyesi normale dönenene kadar gerilimi fazla olan batarya deşarj direnci üzerinden deşarj edilir. Gerilim seviyesi diğer hücreler ile aynı seviyeye gelince balans işlemi durdurulur ve şarj işlemine devam edilir.

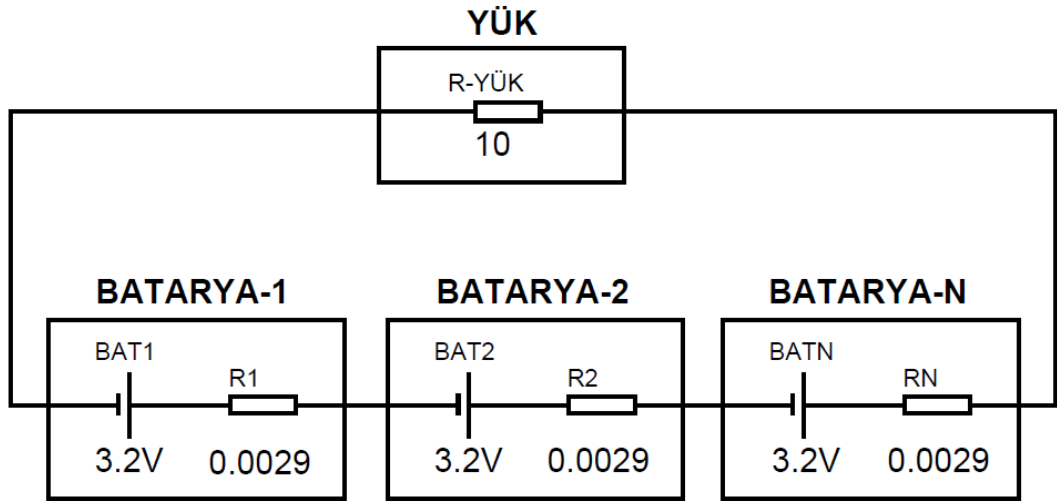
Kapasite hesaplama algoritması için şarj esnasında her saniye şarj cihazından çekilen akımlar toplanır. Amper/saat cinsinden toplanan akım değeri ile bataryanın toplam kapasitesi bulunabilir. Bu amper/saat cinsinden elde edilen değer etiket değerine oranı batarya ömrünü (SOH) verir.

Deşarj işlemi sırasında ise batarya grubundan her saniye çekilen akım, toplam akımdan çıkarılarak bataryanın kalan kapasitesi (SOC) hesaplanabilir.

#### 2.2.2.4 Gerilim Dengeleme İşlemi

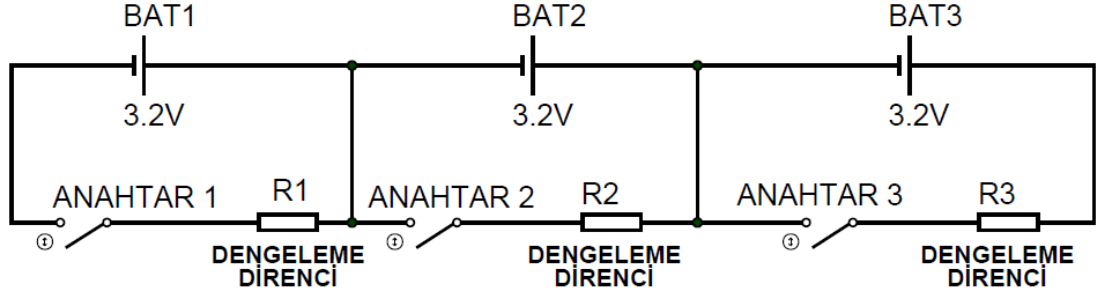
Batarya şarjı sırasında dikkat edilmesi gereken konulardan biride hücre gerilim dengeleme işlemidir. Seri olarak bağlanmış bataryaların gerilim seviyelerinde zamanla farklılıklar oluşabilir. Güvenli bir şarj işlemi için hücre gerilim seviyeleri dengeli olmalıdır.

Şekil 2.8’de bir bataryanın eşdeğer devresi verilmiştir. Görüldüğü gibi batarya iç direnci her bataryada farklılık gösterebilir. Seri olarak bağlanmış bir batarya paketinden akım çekildiğinde her batarya hücresi üzerinde harcanan enerji farklı olacaktır. Aynı şekilde seri olarak bağlanmış batarya paketi şarj edilirken depolanan enerjiler birbirinden farklı olacaktır. Bu durumda şarj ve deşarj işlemleri sırasında bataryalar arasında gerilim farklılıkları oluşabilir. Şekil 2.9’da görüldüğü gibi gerilimi fazla olan batarya hücresi, pasif dengeleme metodu ile deşarj edilerek gerilim seviyesi düşürülür. Bat2 hücresinin gerilimi Bat1 hücresinden fazla ise anahtar-2 kapatılır ve fazla enerji R2 dengeleme direnci üzerinde harcanır. Bu işlem gerilim seviyeleri eşitlenene kadar devam eder.



Şekil 2. 9 Batarya hücresi eş devresi

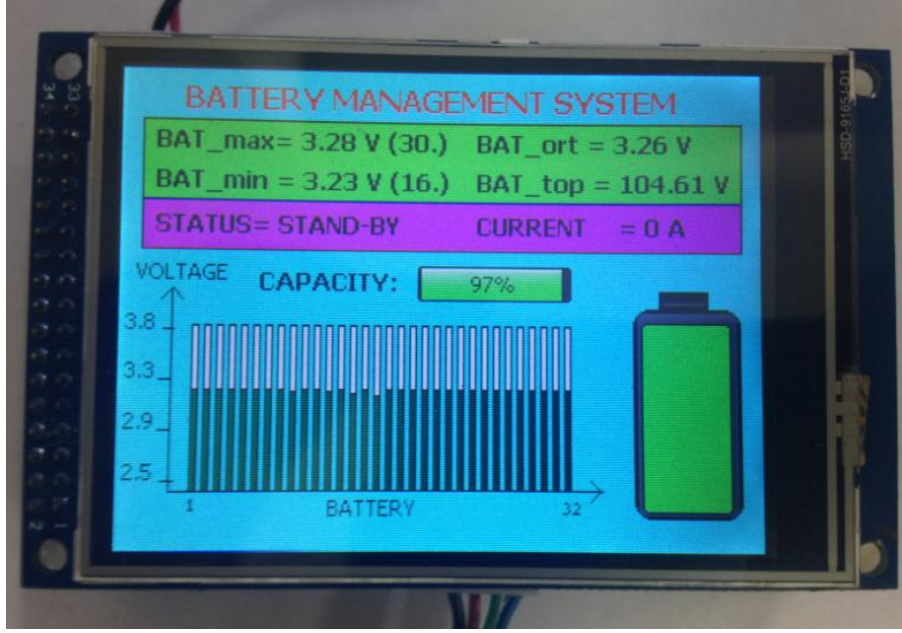
Şarj esnasında toplam gerilimde bir sorun olmamasına rağmen hücre başına düşen gerilimler de bazı bataryalar kritik gerilim seviyesine ulaşmış olabilir. Bu yüzden bataryalar şarj olurken tüm bataryaların gerilimleri ayrı ayrı ölçülüp gerekli durumlarda batarya gerilimleri dengelenmelidir.



Şekil 2. 10 Pasif gerilim dengeleme metodu

### 2.2.3 Haberleşme ve Görüntüleme

Batarya yönetim sisteminde kullanılan devreler kendi aralarında ve kullanıcı ile sürekli olarak haberleşirler. Batarya hücrelerine bağlı uydu denetleyici devreleri hücre sıcaklık ve gerilim bilgilerini ana denetleyici devreye gönderirler ve ana denetleyici devresinden gelen BYS komutlarını uygularlar. Ana ve uydu denetleyiciler kendi aralarında haberleşirken dijital haberleşme protokollerini kullanırlar.



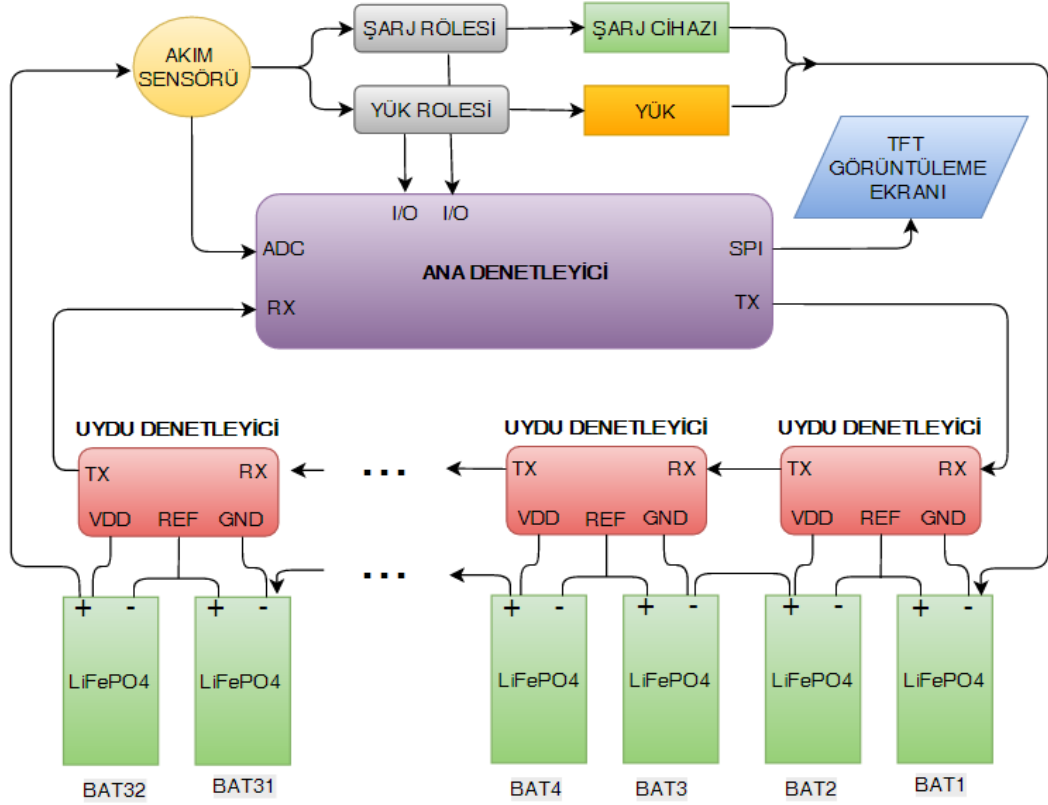
Şekil 2. 11 Ana denetleyici görüntüleme ekranı

Batarya paketindeki en yüksek ve en düşük gerilimdeki hücreler, batarya toplam gerilimi, batarya durumu, bataryadan çekilen akım gibi bilgiler kullanıcı ekranında gösterilir (Şekil 2.10). Ana denetleyici tüm batarya hücrelerinin akım, gerilim ve sıcaklık bilgilerini ve bataryanın kalan kapasitesini kullanıcıya gösterir. Yüksek akım, yüksek-düşük gerilim ve yüksek sıcaklık gibi kritik durumlarda kullanıcıyı görsel ve sesli olarak uyarır.

### 3. BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ TASARIMI

Bu bölümde elektrikli araba projesinde kullanılan, seri olarak bağlanmış 36Ah kapasiteli, 32 adet LiFePO4 batarya hücresi için batarya yönetim sistemi devreleri tasarlanıp üretilmiştir. Üretilen BYS devreleri batarya hücreleri üzerine yerleştirilerek BYS uygulaması gerçekleştirilmiştir.

Bu yüksek gerilim uygulamasında batarya sayısı çok olduğu için merkezi bir sistem yerine, uydu denetleyici modüller ve bu modülleri kontrol eden ana denetleyici modülün birlikte çalıştığı bir sistem tasarlanmıştır. Bu sayede verimi yüksek ve batarya paketine montesi kolay bir batarya yönetim sistemi kurulmuştur. Batarya hücre gerilimleri ve sıcaklık değerleri yüksek çözünürlükte okunabilmektedir. Tasarlanan uydu denetleyici sistem sayesinde en az 2 en fazla 32 batarya hücresinden oluşan bütün batarya gruplarında kullanılabilir.



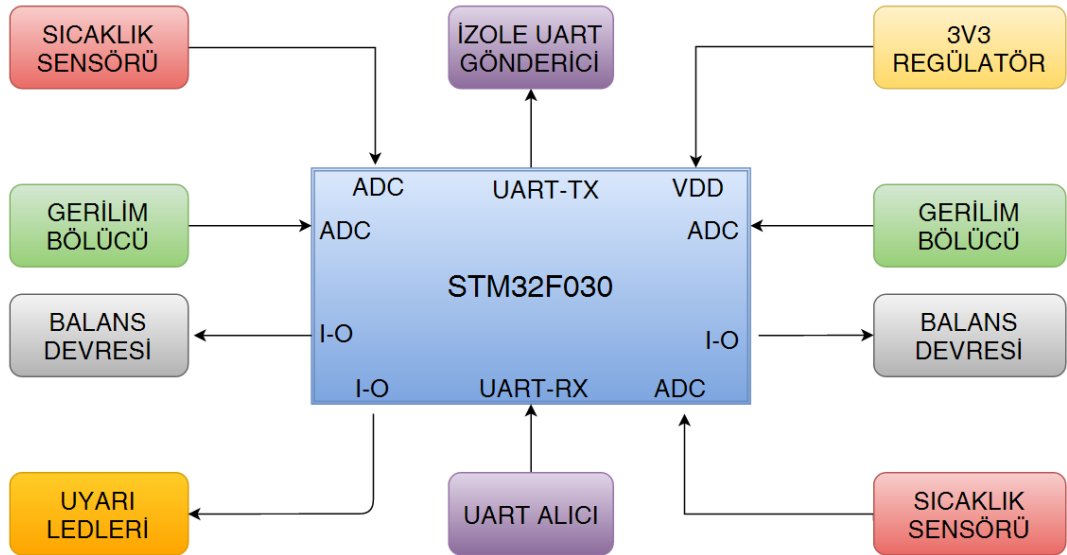
Şekil 3. 1 Ana ve uydu denetleyici sistemi

Şekil 3.1’de ana ve uydu denetleyicilerin batarya paketi üzerine yerleşimi görülmektedir. Bir uydu denetleyici kart iki tane batarya hücresine bağlanarak, bağlı oldukları batarya hücrelerinin akım, gerilim ve sıcaklık değerlerini yüksek çözünürlükte okuyup ana denetleyici devresine göndermektedir.

Ana denetleyici modüle bağlı TFT ekran ile tüm batarya hücrelerine ait gerilim, sıcaklık ve durum bilgileri tek ekranda kullanıcıya aktarılabilmiştir. Grafikselsel ve canlı olarak gösterilen bu bilgiler ile batarya gerilim ve sıcaklık dengesi kolaylıkla görülebilmektedir. Bu değerlerden kritik seviyede olanlar TFT ekranda gösterilirken farklı renklerde işaretlenmiştir.

### 3.1 Uydu Denetleyici Kart Tasarımı

Uydu denetleyici kartlar bağlı oldukları bataryaların akım, sıcaklık ve gerilim değerlerini okuyup ana denetleyiciye gönderen, ana denetleyiciden gelen balans işlemi gibi yönetim işlemi komutlarını uygulayan yardımcı kartlardır. Uygulama devresi blok şeması Şekil 3.2’de gösterilmiştir.

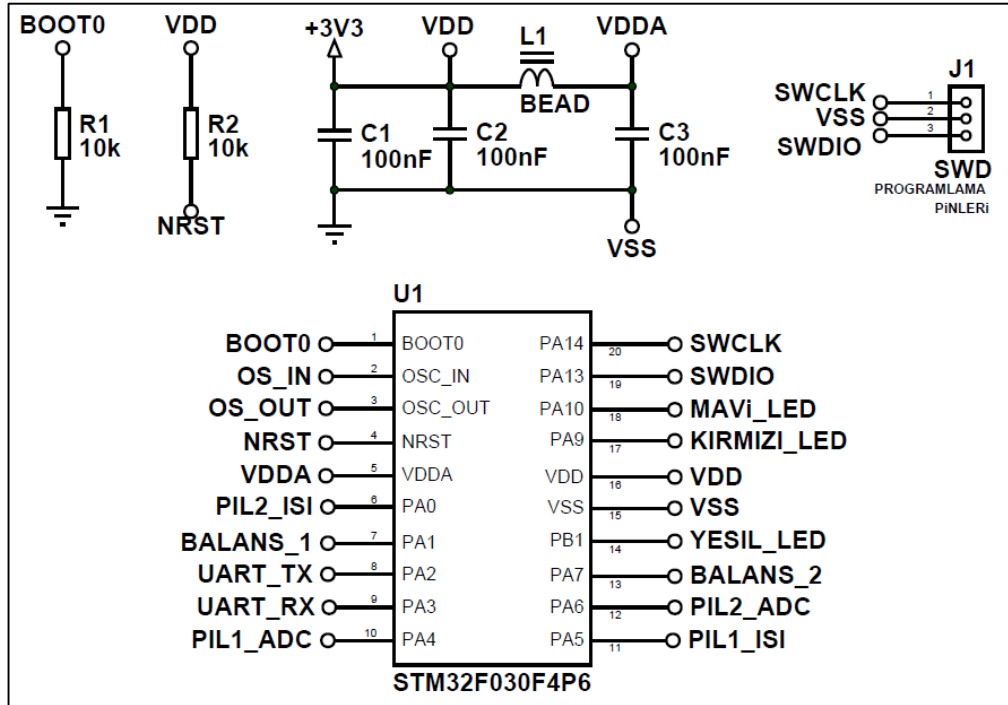


Şekil 3. 2 Uydu denetleyici blok şeması

Uydu denetleyici kart iki adet batarya hücresine bağlanarak, çalışması için gerekli olan enerjiyi bu batarya hücrelerinden almaktadır. Üzerinde iki tane sıcaklık sensörü, gerilim bölücü devreleri, gerilim dengeleme devreleri, kullanıcı uyarı ledleri ve elektriksel olarak yalıtılmış haberleşme devreleri bulunmaktadır.

### 3.1.1 Mikro Denetleyici Seçimi

Uydu denetleyici kartına, mikro denetleyici olarak ST firmasının 32 bitlik ARM çekirdekli STM32F030 mikro denetleyicisi seçilmiştir. LiFePO4 bataryalar sabit bir deşarj gerilimine sahiptir. Şarj ve deşarj işlemleri sırasında batarya hücre gerilimi 3.2V değerine yakın olarak kalır. Bu yüzden batarya gerilim ölçme işleminde yüksek çözünürlüklü bir analog-dijital dönüştürücü kullanılmalıdır. STM32F030 mikro denetleyicisi 12bit analog-dijital dönüştürücü donanımına sahiptir. Bu sayede hücre gerilimi okumada 0.01V çözünürlük elde edilebilir. Şekil 3.3'de, tasarımı yapılan uydu denetleyici modülün mikro denetleyici azami devresinin açık devresi verilmiştir.



Şekil 3. 3 Mikro denetleyici azami devre şeması

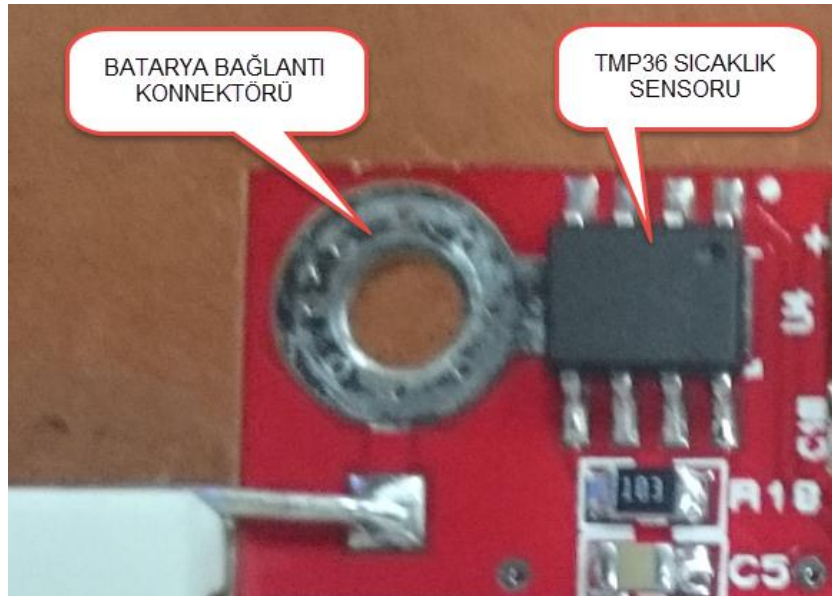


Batarya yönetim sistemi maliyetinin düşük olması istenir. Bu yüzden piyasada kolay bulunan ve fiyat-performans değeri yüksek olan bir mikro denetleyici seçilmelidir. STM32F030 mikro denetleyicisi 0.5 \$ altında fiyatıyla uydu denetleyici kart tasarımında kullanılmaya çok uygundur.

Uydu denetleyici kartları iki adet batarya hücresi üzerine monte edilecek şekilde tasarlanmıştır. Kullanılan mikro denetleyici TSSOP20 tipi yüzey montaj kılıftadır. Bu da uydu denetleyici kart ağırlığının ve boyutlarının asgari ölçülerde olabilmesi için büyük avantaj sağlamıştır.

### 3.1.2 Sıcaklık Sensörü ve Gerilim Okuma

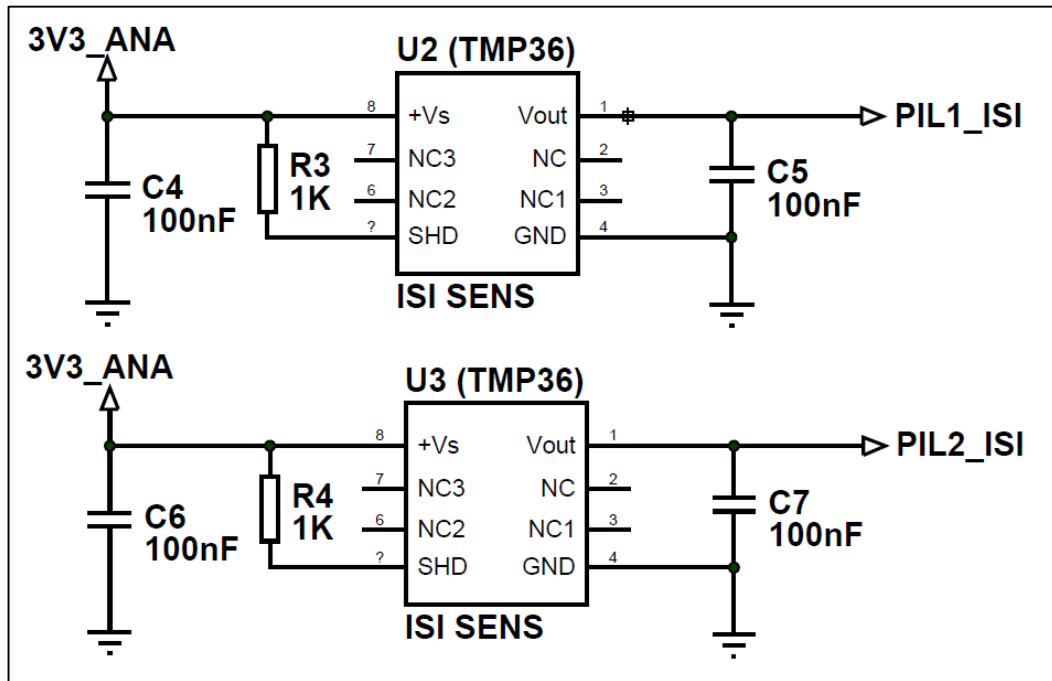
Uygulama devresinde sıcaklık sensörü olarak TMP36 kullanılmıştır. Her bir uydu denetleyici kart iki adet bataryaya bağlı olduğu için uydu denetleyici üzerinde iki adet sıcaklık sensörü eklenmiştir. Tmp36 sıcaklık sensörü sıcaklık-gerilim dönüştürme işlemi yapmaktadır. Sensörün  $V_{out}$  çıkışı, mikro denetleyicinin ADC bacağına bağlanarak sıcaklık değeri ölçülmektedir. Şekil 3.4’de gerçekleştirilen uydu denetleyici modülün üzerindeki sıcaklık sensörü görülmektedir.



Şekil 3. 4 Sıcaklık sensörünün devre üzerindeki konumu

Devre üzerinde Tmp36 sıcaklık sensörünün soic8 kılıfta olanı kullanılmıştır. Sıcaklık sensörleri bataryalara giden yol üzerine monte edilerek bu yol üzerinden sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Batarya hücrelerine yakın bir yerden ölçülen sıcaklık değerleri dijital haberleşme ile ana denetleyici karta gönderilmektedir.

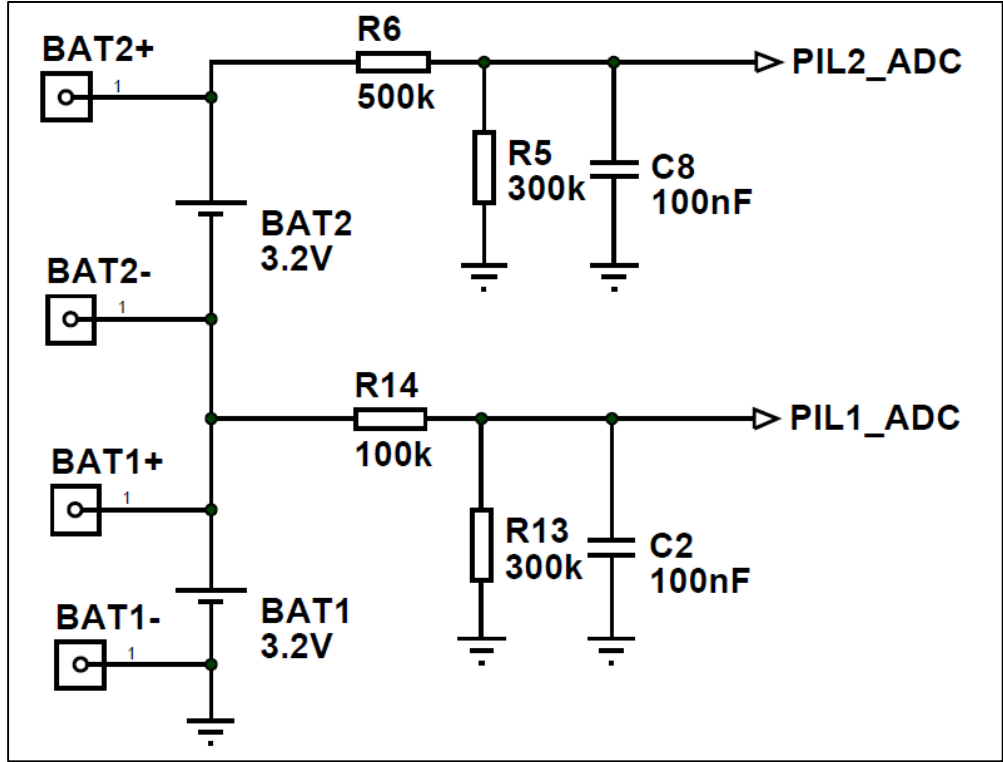
Şekil 3.5’de sıcaklık sensörü devresi ve Şekil 3.6’da uydu denetleyici modül gerilim okuma devresi görülmektedir. STM32F030 analog-dijital çeviricisi 0V-3.3V aralığında dönüşüm yapabilirken batarya gerilimi 2.5V-3.8V arasında değişmektedir. Batarya gerilimlerini, mikro denetleyicinin okuyabileceği seviye düşürebilmek için gerilim bölücü devresi kullanılmaktadır.



Şekil 3.5 Tmp36 sıcaklık sensörü devre şeması

BAT1 gerilimi R14 ve R13 gerilim bölücü dirençlerinden geçerek mikro denetleyici analog-dijital dönüştürme bacağına giriyor. BAT2 gerilimi ise PIL2\_ADC ucundan okunan değerden BAT1 gerilimi çıkarılarak bulunuyor. Gerilim okuma işleminde kullanılan dirençler %1 toleranslı smd dirençlerden seçildi. Bu sayede adc okuma işlemindeki hatalar azami düzeye indirildi. BYS devreleri batarya üzerinde

uzun süre kaldığında batarya kapasitesini bitirmemesi için gerilim bölücü direnç değerleri yüksek seçilmiştir.



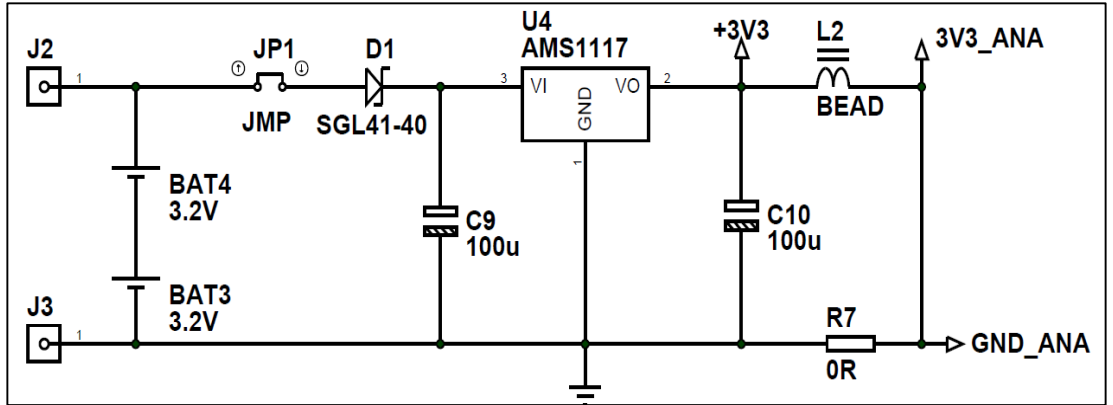
Şekil 3. 6 Uydu denetleyici gerilim okuma devre şeması

Uydu denetleyici devreleri bağlı oldukları batarya hücrelerinin gerilimini ölçerek ana denetleyiciye göndermektedir. Ana denetleyici gelen gerilim ve sıcaklık verilerini değerlendirerek BYS işlemlerini yürütmektedir.

### 3.1.3 Besleme Regülatör Devresi

Uydu denetleyici, çalışması için gerekli olan enerjiyi bağlı olduğu batarya hücrelerinden sağlamaktadır. Seri olarak bağlanmış iki LiFePO4 hücre gerilimi en az 5V, en fazla 7.4V olabilmektedir. Güç devresine eklenen AMS1117(3V3) gerilim regülatörü ile mikro denetleyici ve sensörlerin çalışması için gerekli olan 3.3V elde edilmiştir.

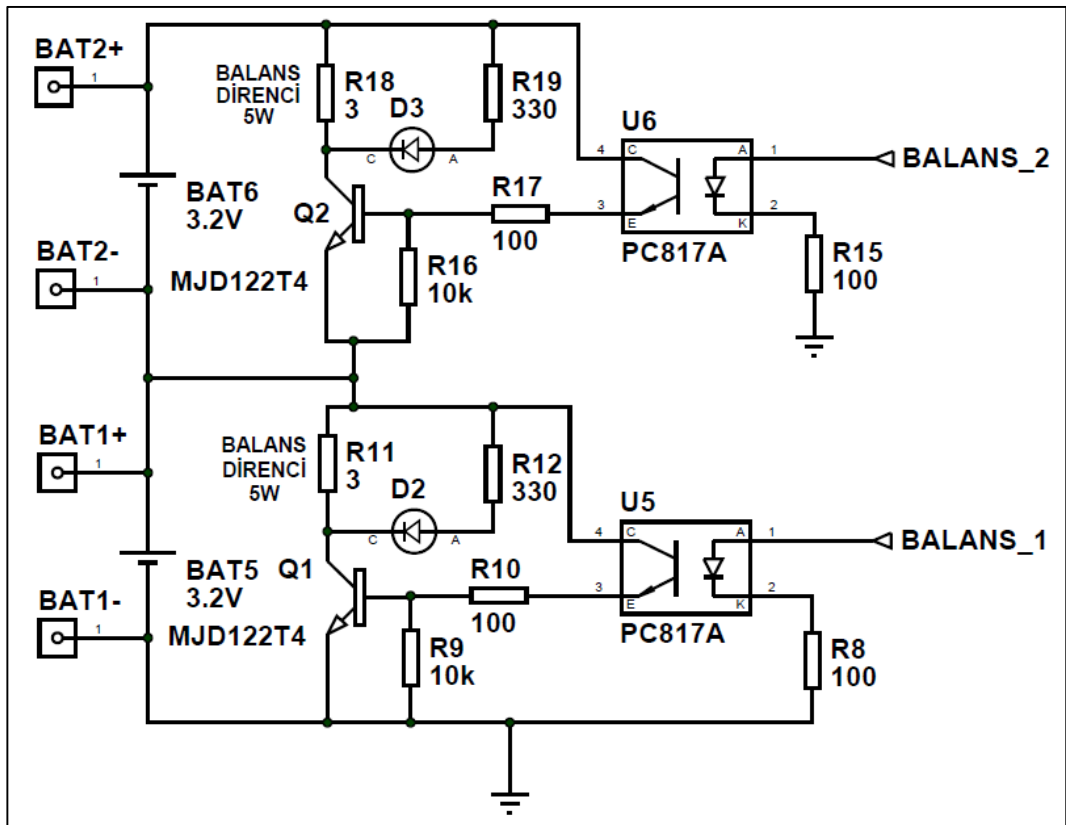
Şekil 3.7’de verilen regülatör devresinde, uydu denetleyici modül normal çalışma modunda iken 5 mA, uyku modunda ise 1 mA akım çekmektedir. Uzun süre bataryalar kullanılmazsa bu çekilen akım bataryanın geriliminin 2.5 V sınırının altına düşmesine neden olabilir. Devre girişine eklenen JP2 jumper ile uydu denetleyicinin enerjisi kesilmektedir. Bataryalar uzun süre kullanılmadığında bu jumperlar çıkarılarak uydu denetleyicinin enerjisi kesilir.



Şekil 3. 7 Uydu denetleyici regülatör devre şeması

### 3.1.4 Gerilim Dengeleme Devresi

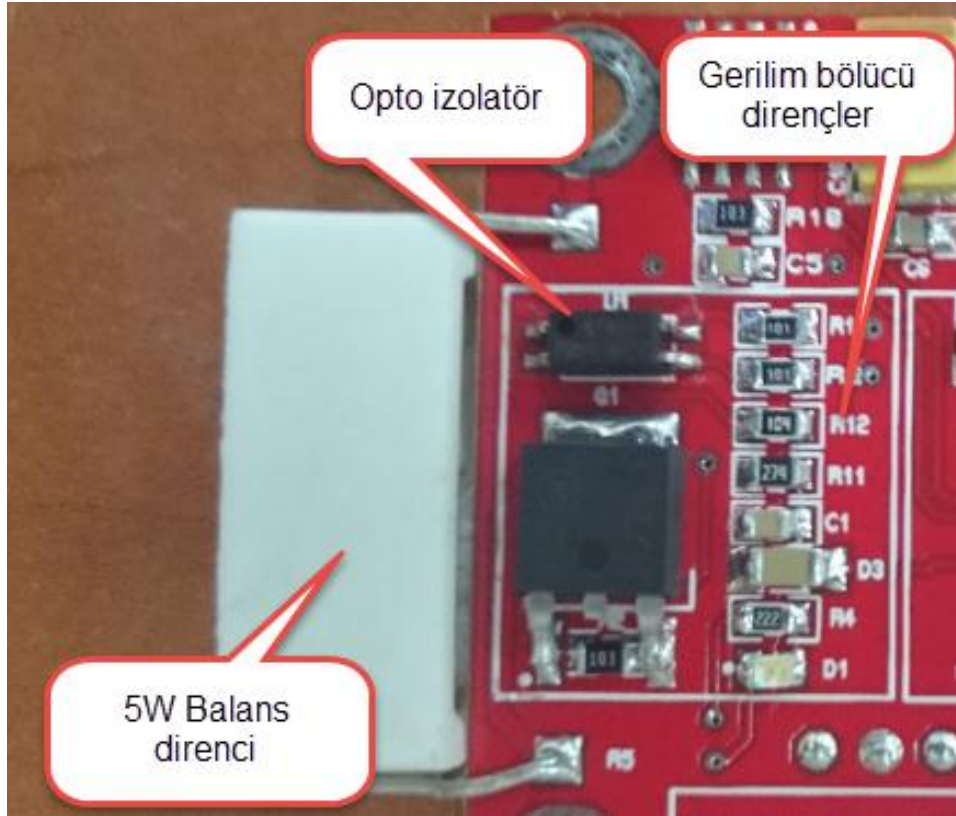
Tasarımı yapılan uydu denetleyici kartında (Şekil 3.8) hücrelerin gerilim dengelenmesi için, bağlı olduğu batarya hücrelerine ait gerilim bilgilerini okur ve ana denetleyiciye gönderir. Ana denetleyici ise tüm uydu denetleyiciden gelen gerilim bilgilerinin alır ve gerektiğinde balans işleminin başlatılması için talimat verir. Uydu denetleyici ana denetleyiciden gelen balans komutu ile bağlı olduğu bataryalar için balans işlemini yürütebilmektedir.



Şekil 3. 8 Uydu denetleyici kart balans işlemi devre şeması

Şekil 3.8’de Uydu denetleyici kart balans devre şeması görülmektedir. Balans devresi ile Uydu denetleyici kart, bağlı olduğu batarya hücreleri için gerilim dengeleme görevini yapmaktadır. Dengeleme işlemi sırasında mikro denetleyici ile batarya hücreleri arasında elektriksel yalıtım sağlamak için transistör anahtarlama işleminde optik yalıtıcı (opto-izolatör) entegresi PC817 kullanılmıştır.

Şekil 3.8’de pasif gerilim dengeleme metodunda, enerjisi fazla olan hücre enerjisi R11 ve R18 balans dirençleri üzerinde harcanmaktadır. Optik yalıtıcının anot bacağı mikro denetleyicinin PWM donanım bacaklarından birine bağlanarak balans akımı ayarlanabilmektedir. BYS devresi hassas balans işlemi sırasında veya sıcaklık arttığında PWM duty (görev oranı) değerini azaltarak balans akımını azaltabilir. Hızlı balans işlemi sırasında ise tekrar PWM duty değerini arttırarak balans akımını yükseltebilmektedir. Şekil 3.9’da Uydu denetleyici üzerindeki balans devresinin gerçekleştirilmiş kartı gösterilmiştir.

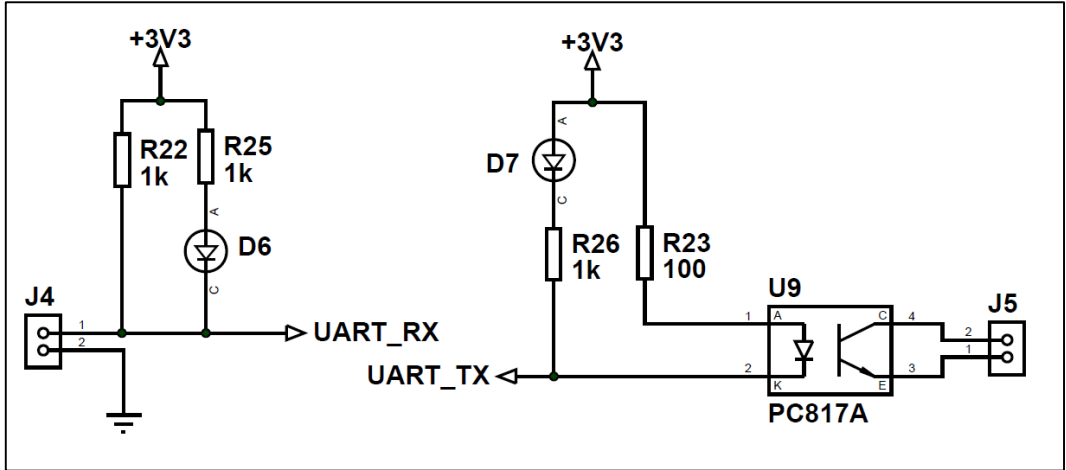


Şekil 3. 9 Uydu denetleyici kart balans parçası

### 3.1.5 Haberleşme Devresi

Uydu denetleyici modüllerin, kendi aralarında ve ana denetleyici modül ile haberleşmesi UART haberleşme protokolü ile gerçekleştirilmiştir. Her uydu denetleyici modülü bağlı olduğu batarya hücrelerinin gerilim ve sıcaklık verilerini okuyup bir sonraki uydu denetleyici modüle gönderilmektedir. Son sıradaki uydu denetleyici modül ise tüm hücrelerin sıcaklık ve gerilim bilgilerini ana denetleyici modüle aktarmaktadır.

Uydu denetleyici modüller enerjilerini bağlı oldukları batarya hücrelerinden almaktadır. Bu durum seri bağlanmış modüller arasında gerilim referans farklılıkları oluşturur. Uydu ve ana denetleyici modüllerin haberleşebilmesi için birbirlerinden elektriksel olarak izole edilmeleri (yalıtılması) gerekir.

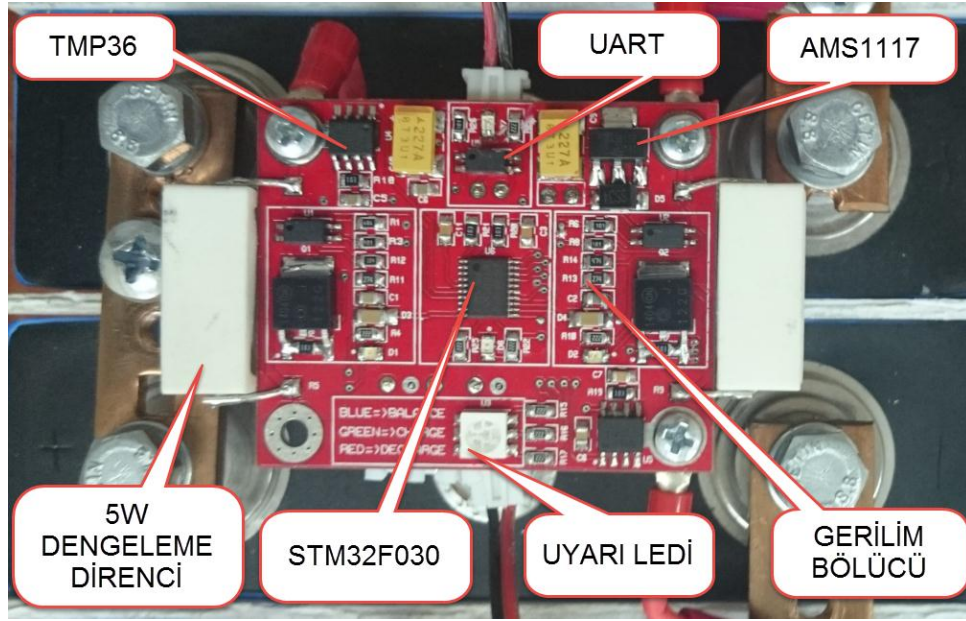


Şekil 3. 10 Uydu denetleyici modül UART haberleşme devresi

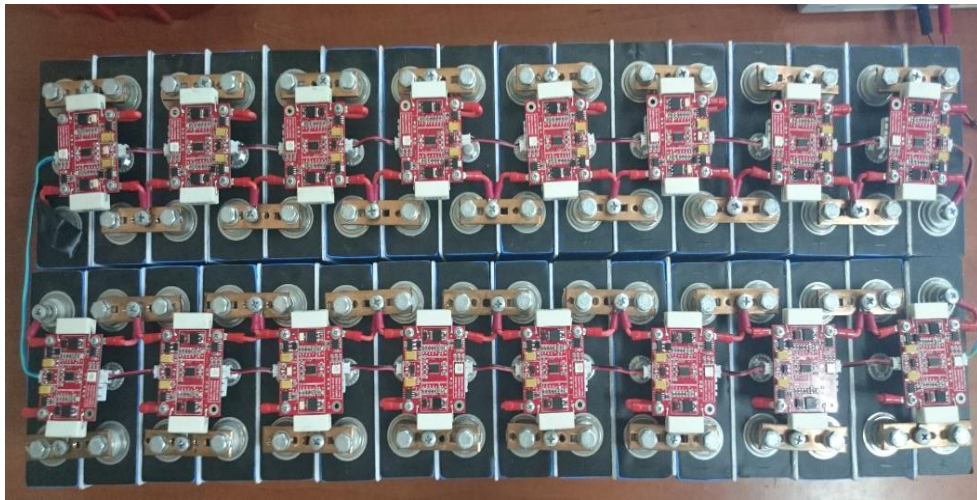
Şekil 3.10' de iki uydu denetleyici modül arasındaki haberleşme devresi görülmektedir. Uydu denetleyici modül haberleşme çıkışında optik yalıtıcı entegresi kullanılarak BYS devreleri birbirinden izole edilmiştir.

### 3.1.6 Uydu Denetleyici Kart Üretimi

Elektrikli araba projesinde kullanılan seri bağlanmış 32 adet LiFePO4 bataryanın BYS işlemi için, 16 adet uydu denetleyici modül üretilmiştir. Şekil 3.11’ de BYS mini devresinin baskı devre işlemi yapılmış ve elemanları üzerine lehimli hali görülmektedir ve bütün mini uydu yöneticilerin toplam batarya grubuna yerleştirilmesi Şekil 3.12’de gösterilmiştir.



Şekil 3. 11 Uydu denetleyici elemanları



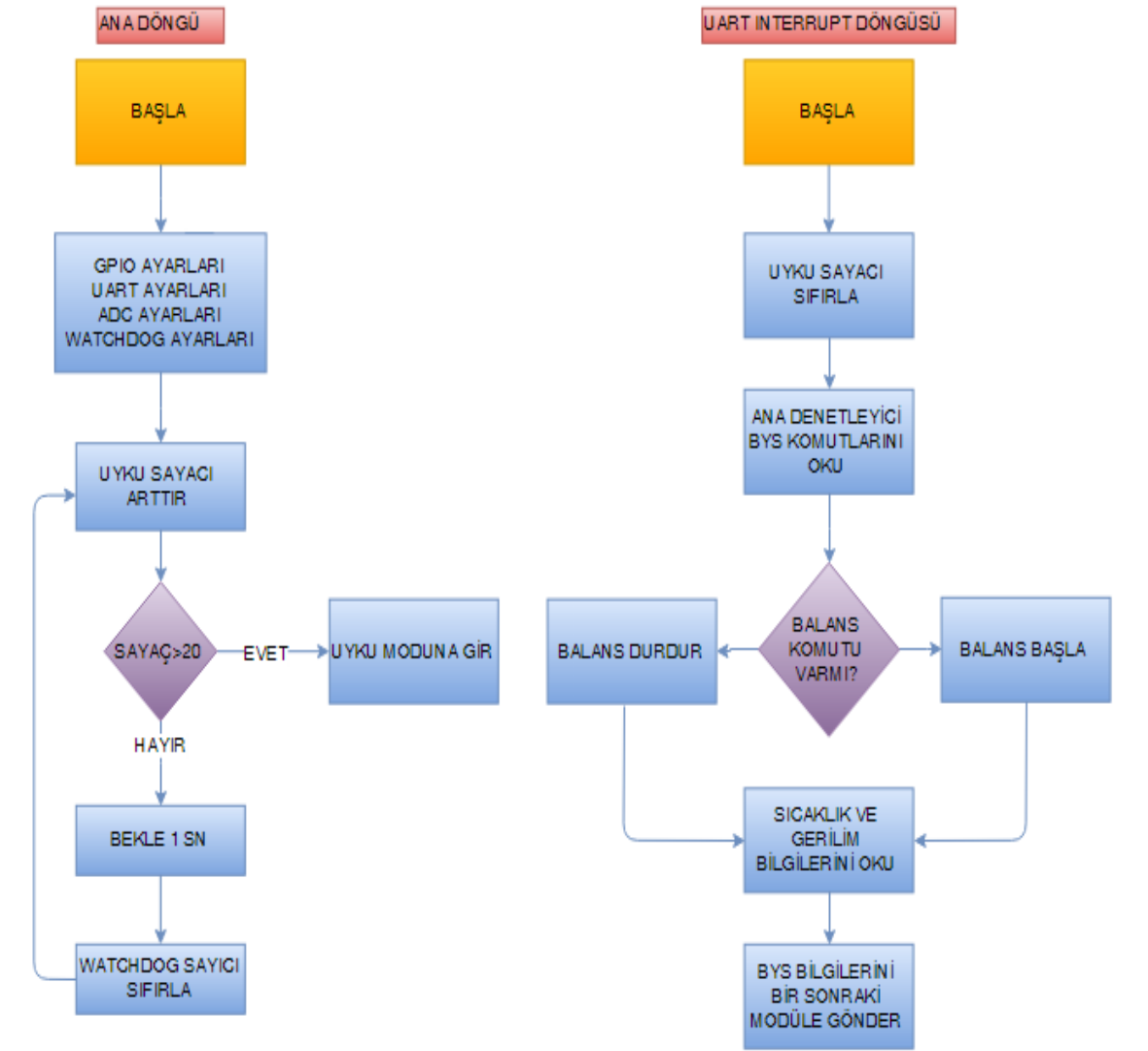
Şekil 3. 12 Uydu denetleyici modüllerin batarya üzerine yerleşimi



### 3.1.7 Uydu Denetleyici Akış Diyagramı

Şekil 3.13’de uydu denetleyici akış diyagramı görülmektedir. Ana döngü içerisinde, mikro denetleyici giriş-çıkış ayarları, UART donanım ayarları, ADC ayarları ve watchdog ayarları yapılmaktadır. Ana denetleyici modülden haberleşme sinyali gelmediğinde uyku sayaç değeri üst limitine ulaşır ve uydu denetleyici enerji tasarrufu sağlamak için uyku moduna girmektedir.

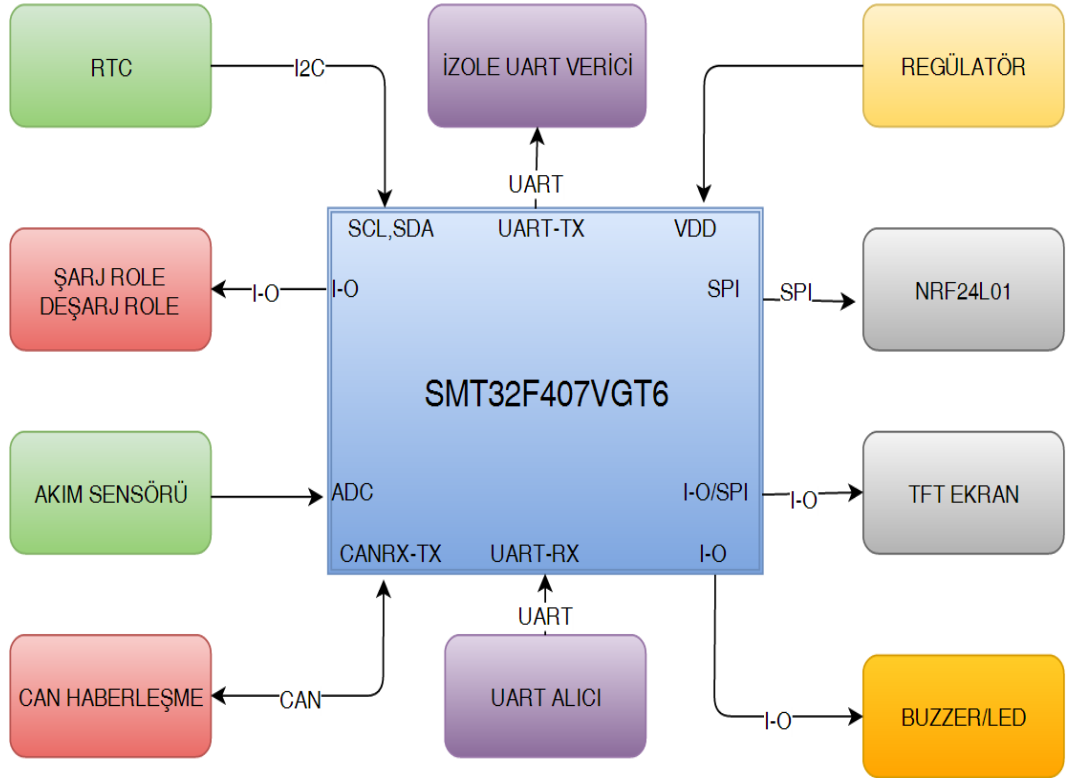
Harici UART kesmesi ile uyku modundan çıkan uydu denetleyici modül bağlı olduğu bataryaya ait sıcaklık ve gerilim değerlerini okuyup ana denetleyici modüle göndermekte ve ana denetleyiciden gelen BYS komutlarını işlemektedir.



Şekil 3. 13 Uydu denetleyici akış diyagramı

### 3.2 ANA DENETLEYİCİ TASARIMI

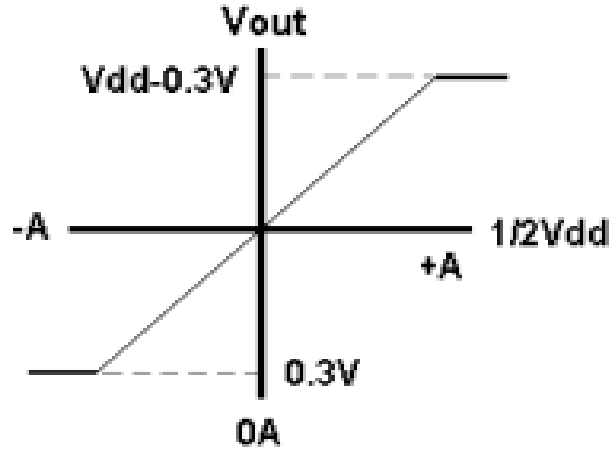
Ana denetleyici kart, uydu denetleyiciden gelen akım, sıcaklık ve gerilim bilgilerini değerlendirip batarya yönetim sistemi işlemlerini yürüten karttır. Uydu kartlardan gelen sıcaklık ve gerilim bilgilerini büyükten küçüğe sıralar ortalamasını alır. Kritik değerlerde olan batarya hücrelerini işaretler. Balans ve şarj işleminin başlamasına veya durmasına karar verir. Batarya kalan kapasitesini hesaplar ve gösterir. Gerekli durumlarda bataryayı yükten veya şarj cihazından ayırarak bataryaları aşırı şarj olmaktan veya aşırı deşarj olmaktan korur. Şekil 3.14' te Ana denetleyici kart blok şeması görülmektedir.



Şekil 3. 14 Ana denetleyici kart blok şeması

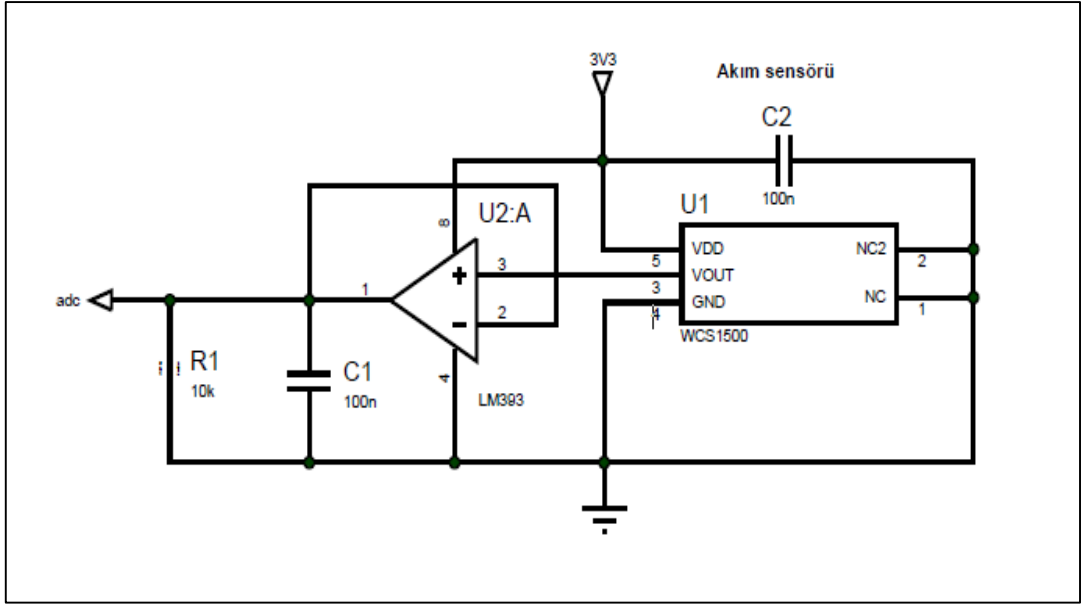
### 3.2.1 Akım Ölçme Devresi

Alan etkili akım sensörleri, yüksek akım uygulamalarında daha sık kullanılır ve sisteme montajı daha kolaydır. BYS devresi ile bataryalar arasında elektriksel yalıtım sağlar. Uygulama devresinde -200A, +200A arasında akım okuma yapabilen WCS1500 alan etkili akım sensörü kullanılmıştır. Kullanılan akım sensörüne ilişkin akım-gerilim dönüşüm eğrisi Şekil 3.15' te verilmiştir.



Şekil 3. 15 Akım sensörü akım-gerilim eğrisi

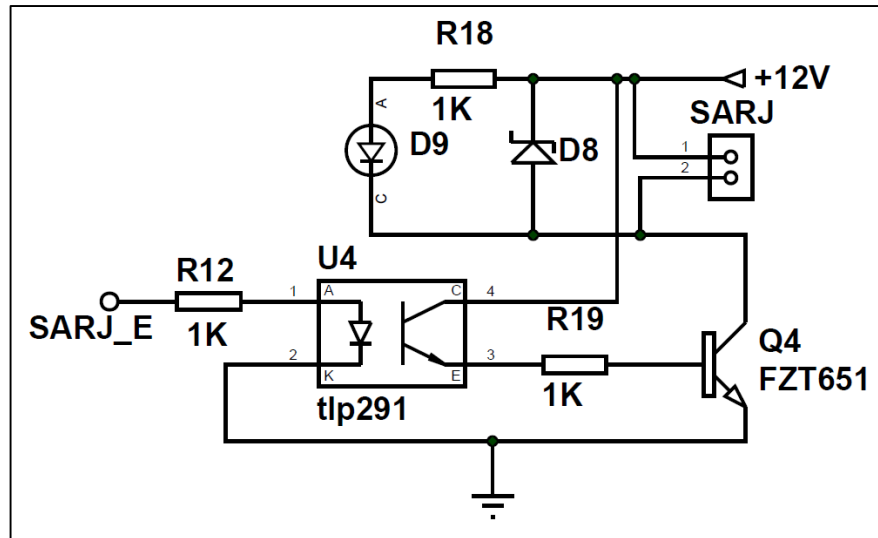
Akım sensörü alan etki özelliği ile akım değerini gerilim değerine dönüştürerek Vout bacağından çıkış vermektedir (Şekil 3.16). Vout bacağından çıkan sinyal gerilim izleyici devresinden geçerek mikro denetleyici analog dijital dönüştürücü bacağına iletilmektedir. Analog bilgi, mikro denetleyici tarafından dijital değere dönüştürülmektedir. Batarya akımları sürekli okunup ana devreye gönderilerek kullanıcı için görüntülenmektedir.



Şekil 3. 16 Akım sensörü devre şeması

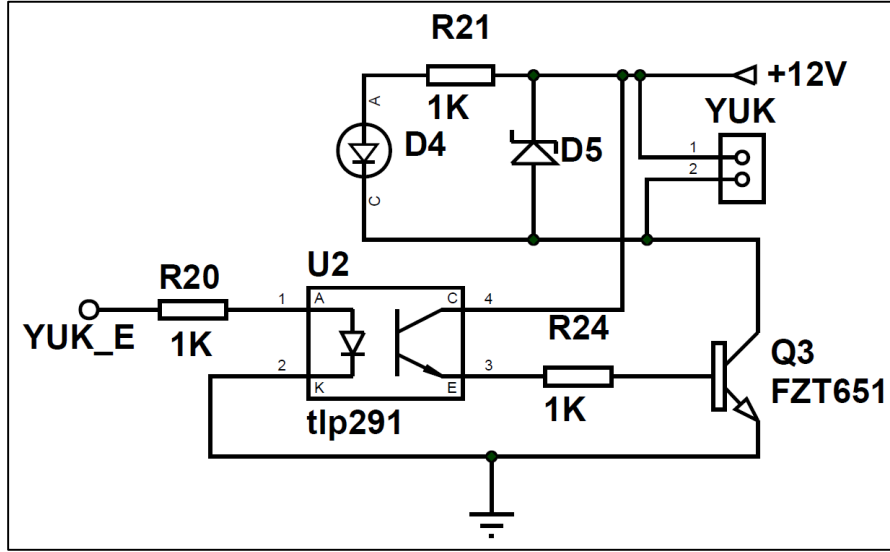
### 3.2.2 Röle Kontrol Devresi

Ana denetleyici kart, uydu denetleyiciden aldığı bilgilere göre gerektiğinde şarj ve deşarj işlemlerini durdurup başlatabilmelidir. Şekil 3.17' de batarya yönetim sistemi şarj rölesi sürme devresi görülmektedir.



Şekil 3. 17 Şarj röle sürme devre şeması

Şarj işlemi sırasında, batarya hücrelerinin gerilim değeri şarj üst gerilim sınırına ulaşırsa veya batarya hücreleri için balans işlemi gerekiyorsa, şarj işlemi sonlandırılmalıdır. Şekil 3.17’ de gösterilen devre ile SARJ\_E bacağı mikro denetleyicinin giriş-çıkış bacaklarından birine bağlanarak J1 konektörüne bağlanan şarj rölesi ana denetleyici kart tarafından kontrol edilmektedir.

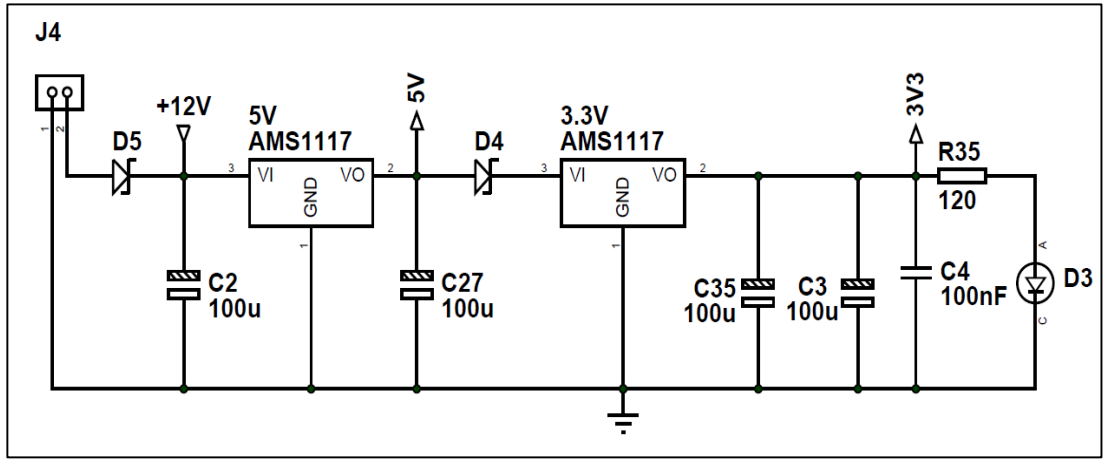


Şekil 3. 18 Yük röle sürme devre şeması

Deşarj işlemi sırasında batarya hücre gerilimleri, deşarj alt gerilim limitine ulaşırsa, batarya hücreleri yüksek sıcaklık veya yüksek akım değerlerine çıkarsa, yük batarya grubundan ayrılmalıdır. Şekil 3.18’ de görüldüğü gibi YUK\_ENABLE bacağı mikro denetleyicinin giriş-çıkış bacaklarından birine bağlanarak, J2 konektörüne bağlanan yük rölesi açıp-kapatabilmektedir.

### 3.2.3 Besleme Regülatör Devresi

Ana denetleyici kart +12V besleme ile çalışmaktadır. Mikro denetleyici ve sensörler için gerekli olan 5V ve 3.3V gerilimleri AMS1117 gerilim regülatörleri ile sağlanır. Ana denetleyici için gerekli olan 12V gerilim, batarya hücrelerine bağlı 12V dc-dc dönüştürücüden alınmaktadır. Şekil 3.19' da ana denetleyici kart gerilim besleme regülatör devresi görülmektedir.



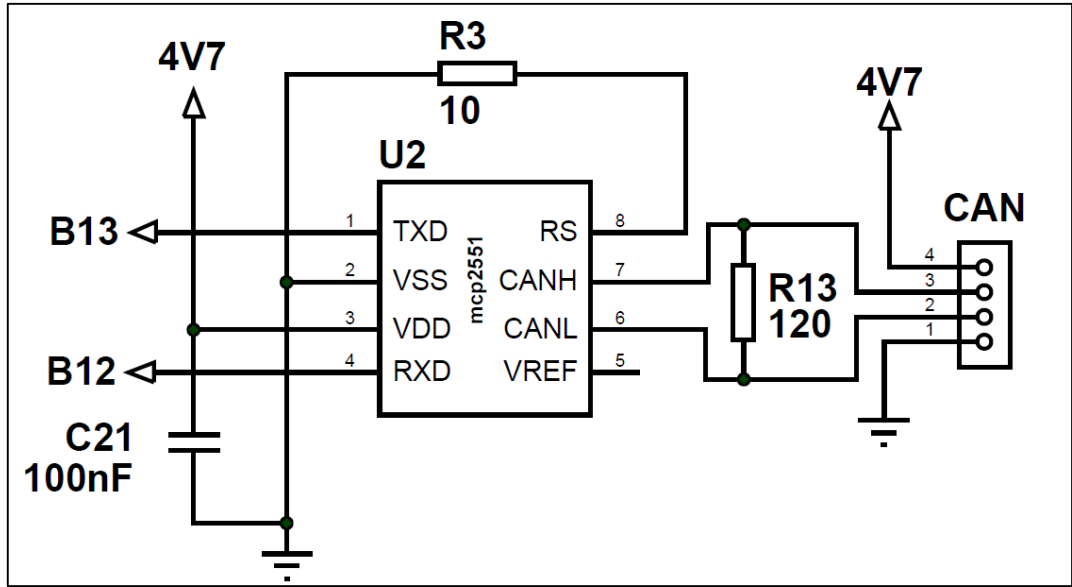
Şekil 3. 19 Ana denetleyici kart regülatör devresi

Kritik durumlarda yükün batarya hücresinden ayrılması durumunda, ana denetleyici modülün enerjisiz kalmaması için sisteme harici bir 12V' luk kurşun asit akü bağlanmıştır. Bu akü enerji kesildiğinde yedek güç kaynağı olarak kullanılarak, enerji geri geldiği zaman tekrar şarj edilmektedir.

### 3.2.4 Haberleşme Protokolü ve Devresi

Uydu denetleyici modüller kendi aralarında ve ana denetleyici modül ile elektriksel olarak yalıtılmış UART protokolü ile haberleştirilmiştir. Ana denetleyici modül de araç içerisindeki diğer birimler ile CAN protokolü ile haberleşmektedir.

Şekil 3.20' de CAN haberleşme protokolünde kullanılan MCP2551 entegresinin devre şeması görülmektedir. Entegrenin TXD ve RXD bacakları mikro denetleyicinin CANTX ve CANRX bacaklarına bağlanmaktadır. Bu haberleşme protokolü ile BY5 bilgileri, araç içerisindeki motor sürücü, gösterge ekranı, telemetri sistemi gibi birimlere gönderilmektedir.

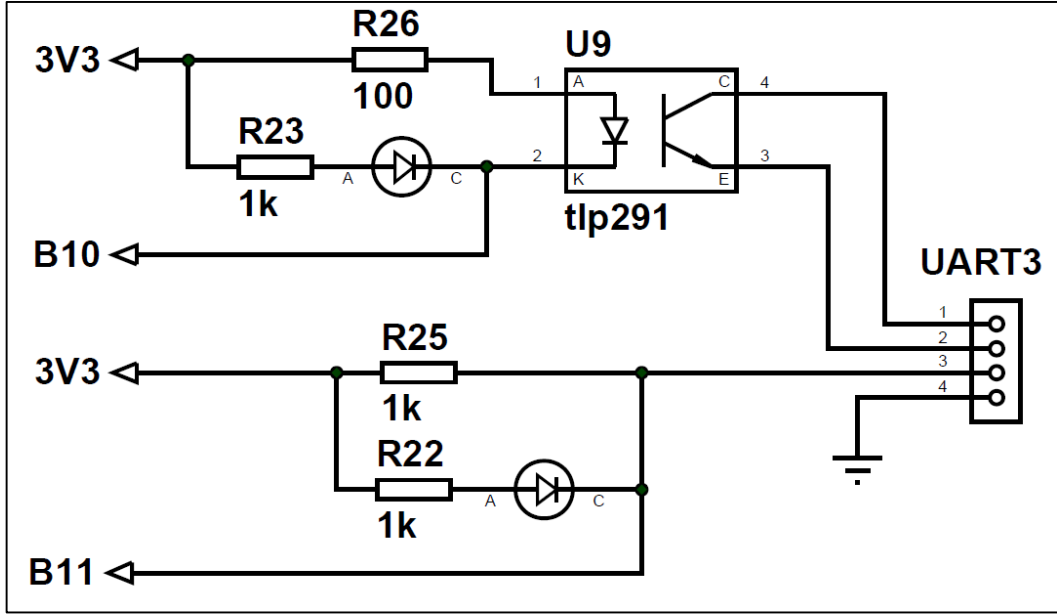


Şekil 3. 20 MCP2551 entegresi devre şeması

Bağlı oldukları batarya hücrelerine ait sıcaklık ve gerilim bilgilerini okuyan uydu denetleyici modüller bu bilgileri UART protokolü kullanarak ana denetleyici modüle gönderirler.

Uydu denetleyici modüller enerjilerini bağlı oldukları batarya hücrelerinden alırlar. Seri olarak bağlanmış batarya hücrelerine bağlı olan uydu denetleyicilerin

gerilim referansları farklı olur. Bu yüzden uydu denetleyicilerin haberleşmesi için izole edilmiş bir haberleşme sistemi kullanılmalıdır.



Şekil 3. 21 Ana denetleyici kart UART haberleşme devre şeması

Şekil 3.21' de ana denetleyici modülde kullanılan UART haberleşme protokolü devresi görülmektedir. Devrede kullanılan U9 opto-izolatörü ile UART-TX sinyali elektriksel olarak izole edilip uydu denetleyici modüle iletilmektedir.

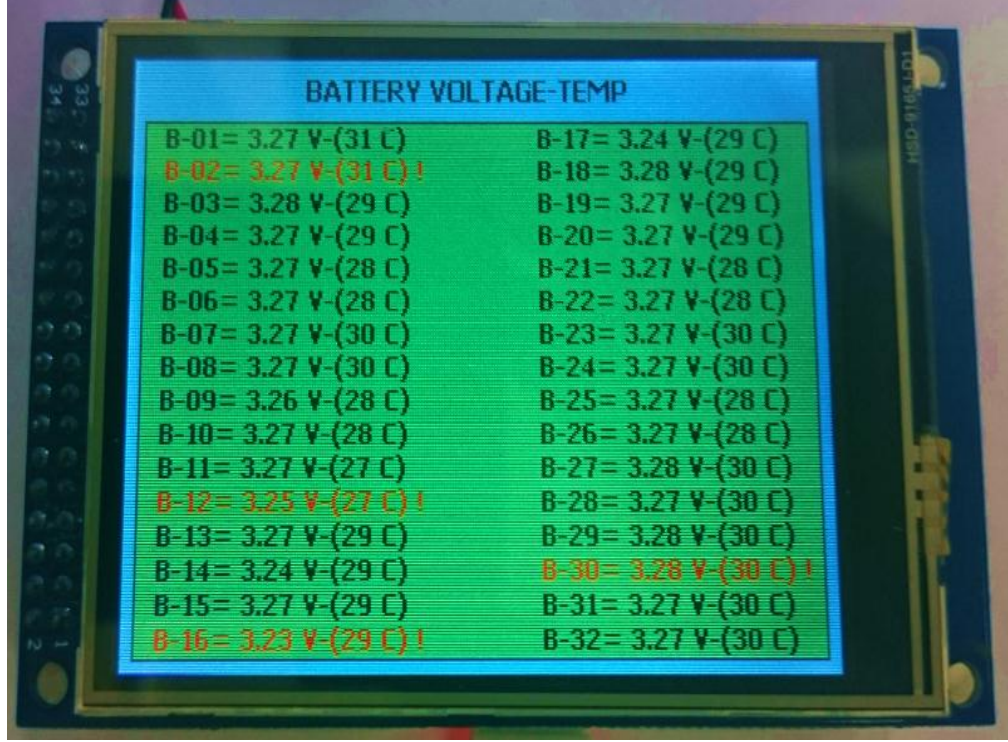
### 3.2.5 Görüntüleme Sistemi

Batarya yönetim sistemi, batarya hücrelerine ait sıcaklık, gerilim ve akım bilgilerini kullanıcıya göstermelidir. Tüm batarya bilgilerinin tek bir ekranda gösterilebilmesi için ana denetleyici modül üzerine 3.2 inç TFT ekran yerleştirilmiştir. Bu ekranda bütün batarya hücre gerilimleri ve bu batarya hücrelerinden hangisinin en yüksek veya en düşük gerilim değerine sahip olduğu kullanıcıya gösterilmektedir.

Batarya yönetim sistemi uyku moduna girdiğinde, TFT ekran arka ışığı kapatılarak enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. TFT ekran dokunmatik özelliği ile



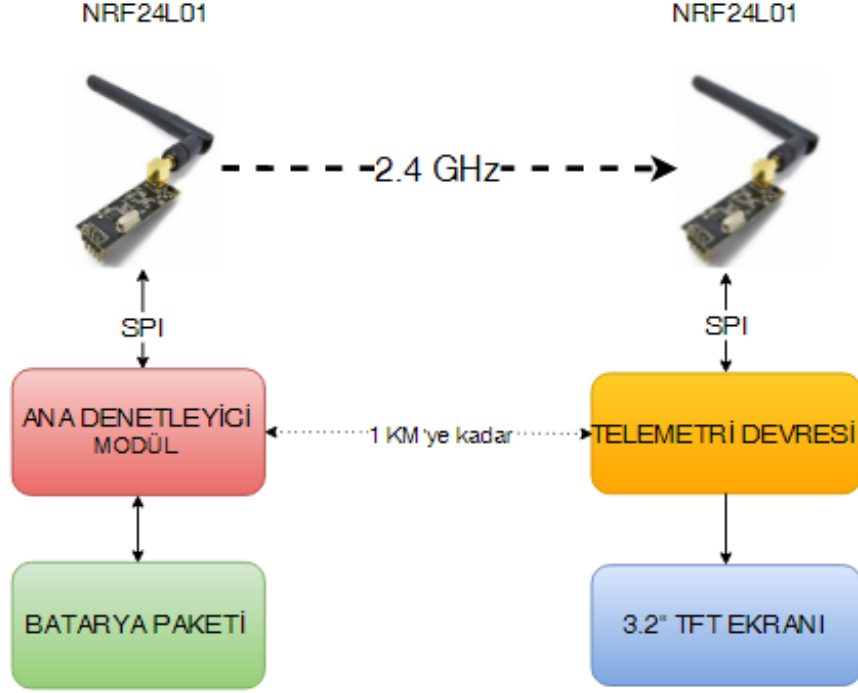
batarya yönetim sistemi parametreleri TFT ekran üzerinden değiştirip kaydedilebilmektedir. Şekil 3.22' de ana denetleyici kart gerilim ve sıcaklık takip ekranı görülmektedir.



Şekil 3. 22 Ana denetleyici TFT konektörü ve görüntüleme ekranı

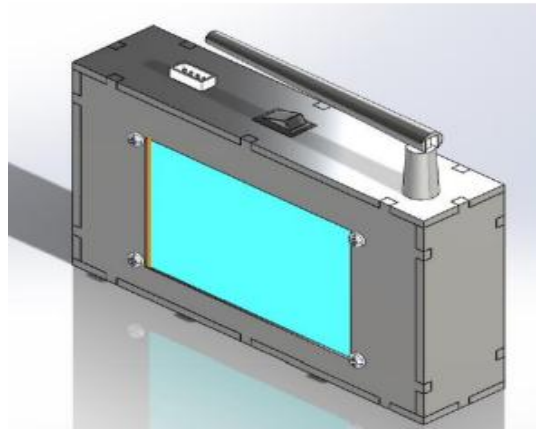
### 3.2.6 Kablosuz Haberleşme

Elektrikli araçlarda, araç dışında da bataryaya ait BYS verilerinin gözlemlenebilmesi için telemetri sistemi de bu çalışmayla eşzamanlı olarak geliştirilmiştir. Bu sistem sayesinde batarya hücre gerilim ve sıcaklıkları, batarya kalan kapasitesi gibi önemli bilgiler batarya paketinden uzak mesafede de gözlemlenebilmektedir.



**Şekil 3. 23** Kablosuz haberleşme blok şeması

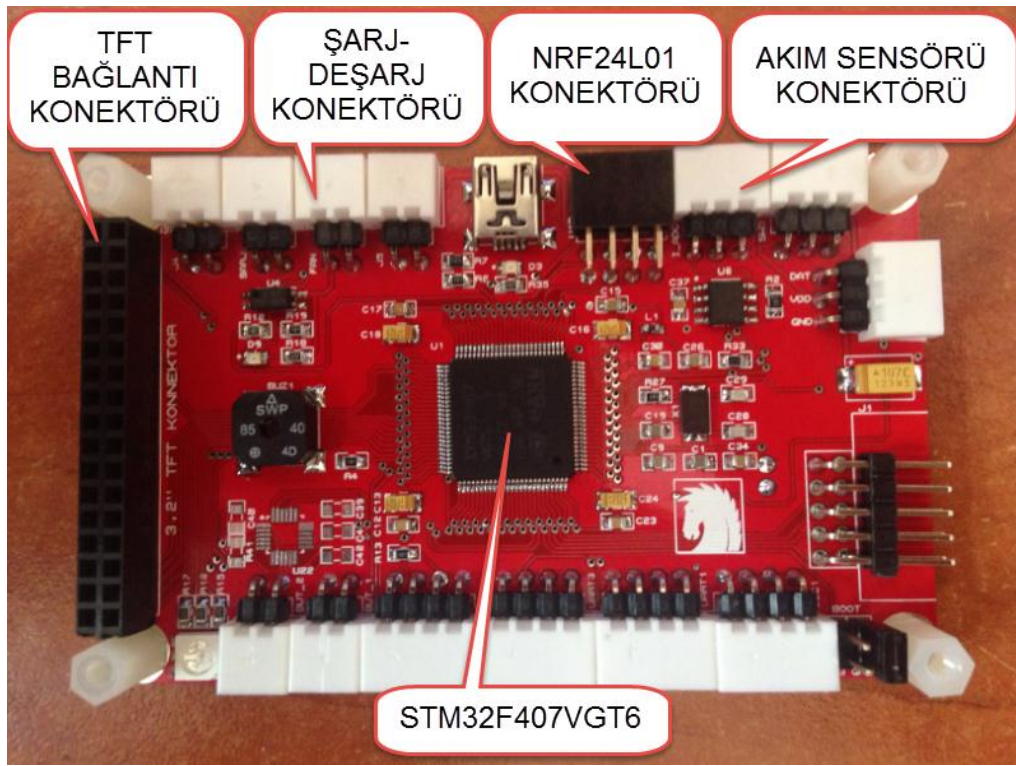
Şekil 3.23' te kablosuz haberleşme sistemi blok şeması görülmektedir. Bu çalışmada, kablosuz haberleşme entegresi olarak NRF24L01 entegresi kullanılmıştır. Bu entegre 2.4 GHZ veri aktarım hızına sahiptir ve SPI haberleşme protokolü ile haberleşmektedir. Şekil 3.24' te telemetri haberleşme devresi alıcı birimi tasarımın gerçekleştirilmiş kartı gösterilmiştir.



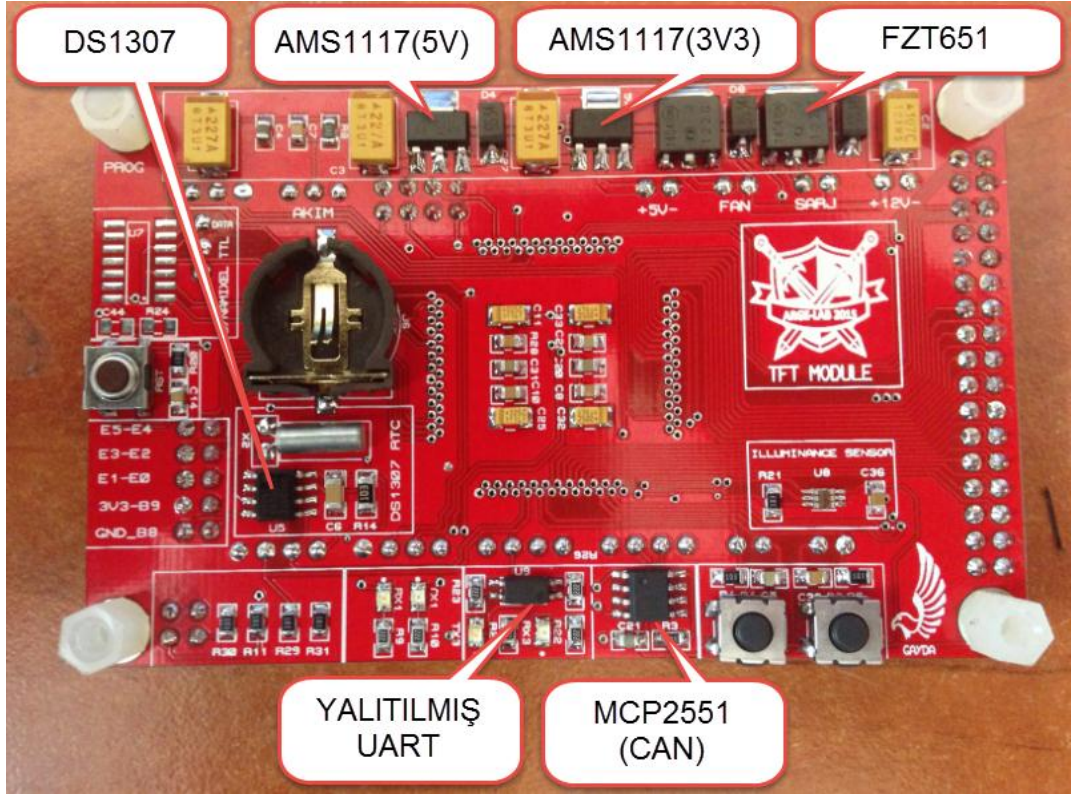
**Şekil 3. 24** Telemetri sistemi kutusu

### 3.2.7 Ana Denetleyici Devre Tasarımı

Ana denetleyici modül mikro denetleyici olarak ST firmasının STM32F407VGT6 modeli seçilmiştir. M4 ARM çekirdeğe sahip işlemci 168Mhz hızda çalışabilmektedir. Bu da 32 bataryanın sıcaklık, gerilim gibi BYS verilerini hızlı bir şekilde işleyebilmesini ve TFT ekranda gösterebilmesini sağlamaktadır. CAN, SPI ve UART haberleşme donanımları sayesinde haberleşme işlemi kolaylıkla yapılabilmektedir. Batarya grubu ana yönetim devreleri için gerçekleştirilen kart görünümü Şekil 3.25 ve Şekil 3.26'de gösterilmiştir.

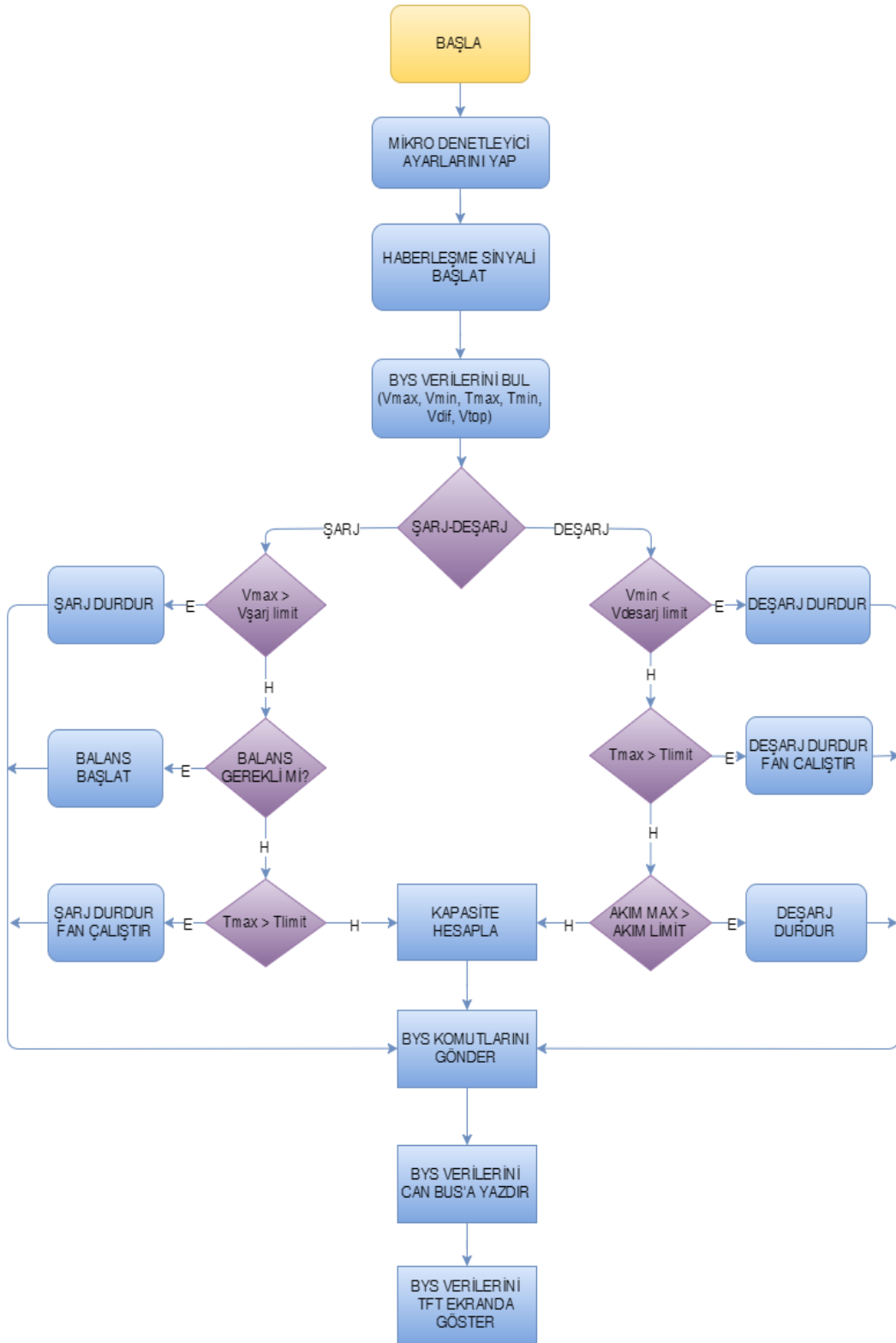


Şekil 3. 25 Ana denetleyici modül üst görünümü



Şekil 3. 26 Ana denetleyici modül arkadan görünümü

### 3.2.8 Ana Yönetici Devresi Kontrol Akış Diyagramı



Şekil 3. 27 Ana denetleyici modül akış diyagramı

Şekil 3.27’da ana denetleyici devresinin kontrol akış diyagramı görülmektedir. Akış diyagramında ilk olarak mikro denetleyici başlangıç ayarları yapılmıştır. Ana denetleyici BYS işlemleri için gerekli olan batarya verilerini almak üzere başlangıç haberleşme sinyalini uydu denetleyici kartlara göndermesi gerekmektedir. Arkasından, uydu denetleyici karttan gelen verileri değerlendirerek en yüksek ve en düşük gerilimdeki batarya hücresi, en yüksek ve en düşük sıcaklık değeri, toplam gerilim değeri gibi verileri bulup batarya yönetim sistemi komutlarına karar vermektedir.

Bu ana denetleyici sisteminde; şarj işlemi sırasında batarya hücrelerinden gerilimi en yüksek olan hücre, şarj üst limiti olan 3.7V değerine ulaşırsa şarj rölesi açılarak şarj işlemi durdurulur. Aynı şekilde tüm batarya sıcaklıkları değerlendirilerek batarya sıcaklık seviyesi sıcaklık üst limitine ulaşmışsa batarya arızalarının önüne geçmek için şarj işlemi yine durdurulmalıdır.

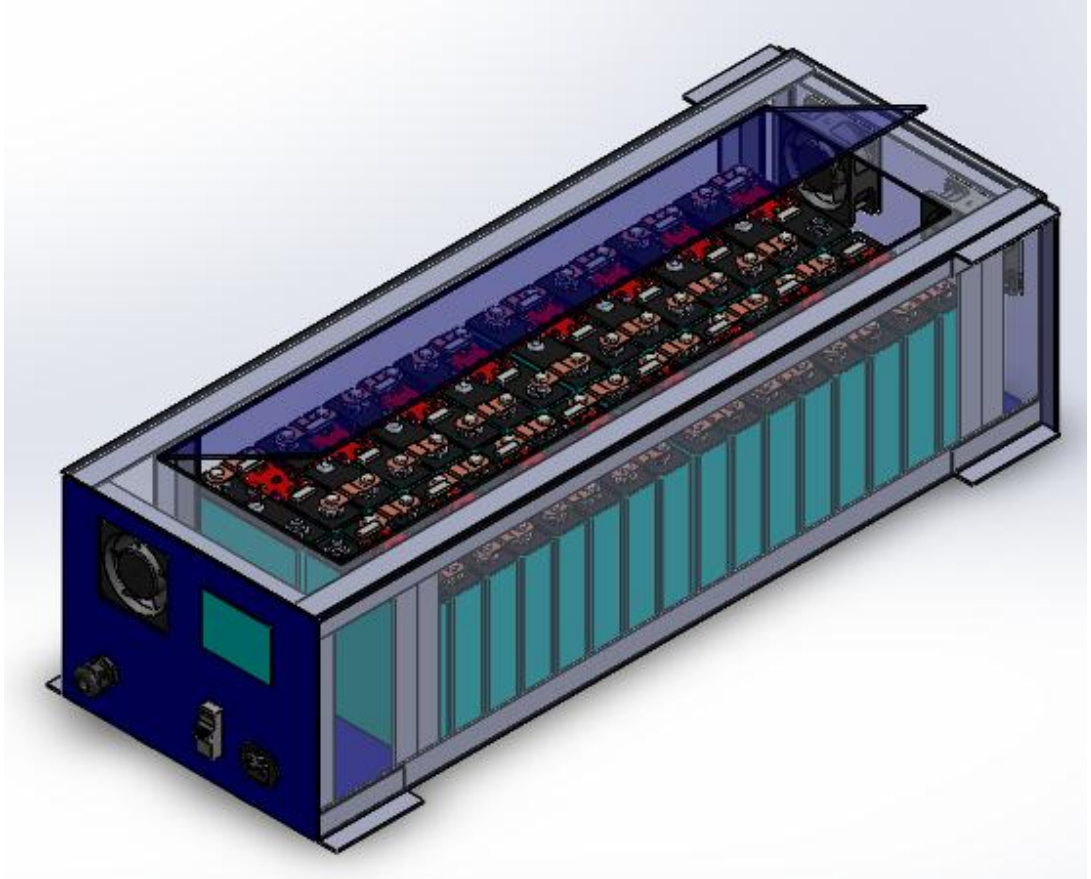
Ana yönetici kart, tüm batarya hücrelerinin gerilim değerlerini karşılaştırarak, hücreler arasındaki gerilim farkını hesaplamaktadır. Hücre gerilimlerinin fark değeri 0.1V değerinden fazla ise gerilimi fazla olan batarya hücreleri, pasif gerilim dengeleme yöntemi ile deşarj edilmektedir. Tüm batarya hücre gerilimleri dengelenene kadar deşarj işlemi sürmektedir. Tüm hücre gerilim seviyeleri eşit olduktan sonra, sistem şarj işlemine tekrar başlayacaktır.

Deşarj işlemi sırasında en düşük gerilim seviyesine sahip batarya hücresinin gerilimi deşarj alt limiti olan 2.5V’ tan az ise yük rölesi açılarak batarya aşırı deşarj olmaktan korunmaktadır. Batarya paketinden çekilen akım, anlık çekilebilecek akım değerinden fazla ise veya batarya paketinin sıcaklığı sıcaklık üst limitine ulaşmışsa yük batarya paketinden ayrılarak kullanıcıya sesli ve görsel uyarı gönderilmektedir.

Bu işlemlerin ardından, batarya yönetim sistemi gerekli olan BYS komutlarını uydu yönetici karta göndererek  $V_{max}$ ,  $V_{min}$ ,  $T_{max}$ ,  $T_{min}$ , SOC gibi önemli verileri CAN hattına yazmaktadır. Tüm batarya grubunun hücre gerilim ve sıcaklıklarını ve BYS verilerini kullanıcı ara yüzü TFT ekranında görüntülemektedir.

### 3.3 BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ KORUMA KUTUSU

Bu çalışma kapsamında; batarya hücrelerinin, batarya yönetim sistemi devrelerinin ve elemanlarının içinde bulunacağı bir koruma kutusu tasarlanmıştır. Kutu, batarya hücrelerini ve BYS devrelerini kısa devre olmaktan da korumaktadır. Batarya hücrelerini, BYS devrelerini sigorta ve kesicileri, görüntüleme elemanlarını, fan ve şarj soketini üzerinde bulundurarak toplu bir şekilde durmasını sağlamaktadır. Batarya hücreleri arasına ısı yalıtıcı ve yangın etkisini azaltıcı özel bir malzeme yerleştirilmiştir. Şekil 3.28’de tasarlanan batarya yönetim sistemi kutusunun 3D çizim modeli görülmektedir.



Şekil 3. 28 Batarya Yönetim Sistemi 3D Modeli

Batarya hücreleri SolidWorks çizim programında çizilerek batarya grubunun 3D modeli oluşturulmuştur. Bu model üzerine alüminyum şase çizilerek batarya yönetim sistemi kutusu tamamlanmıştır.

Batarya yönetim sistemi kutusu alüminyum şase üzerine lazer kesim ile kesilmiş epoxy kaplama monte edilerek oluşturulmuştur. Batarya hücreleri, batarya yönetim sistemi devreleri, sigorta ve kesiciler, görüntüleme ekranı kutu içerisine yerleştirilmiştir. Şekil 3.29’ da batarya yönetim sistemi kutusunun tamamlanmış hali görülmektedir.



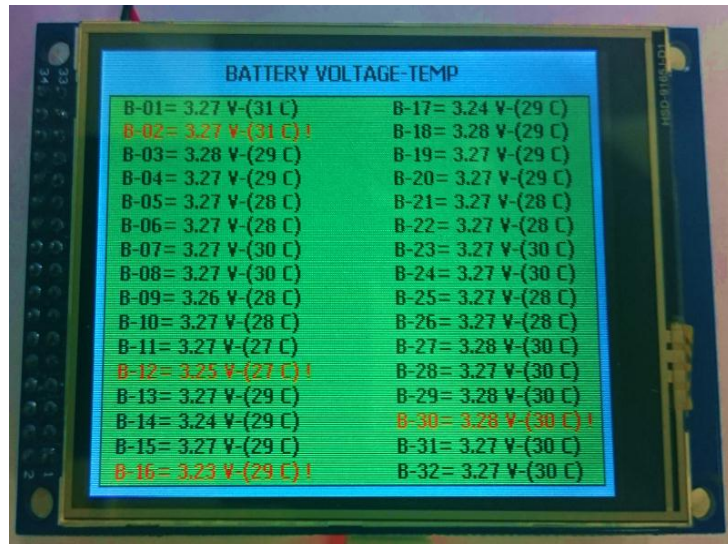
**Şekil 3. 29** Batarya Yönetim Sistemi Kutusu



## 4. DENEYSEL SONUÇLAR VE BULGULAR

Bu bölümde tasarlanan batarya yönetim sistemi devrelerinin yazılım ve donanım testlerinden bahsedilecektir. Tasarlanan sistem için batarya bilgilerini okuma, modüller arası haberleşme, BYS işlemlerine karar verme ve batarya bilgilerini görüntüleme testleri yapılmıştır.

İlk olarak üretilen uydu denetleyici modülün, gerilim ve sıcaklık ölçüm testleri ve bu ölçüm değerlerinin ana denetleyici modüle gönderim testleri yapılmıştır.



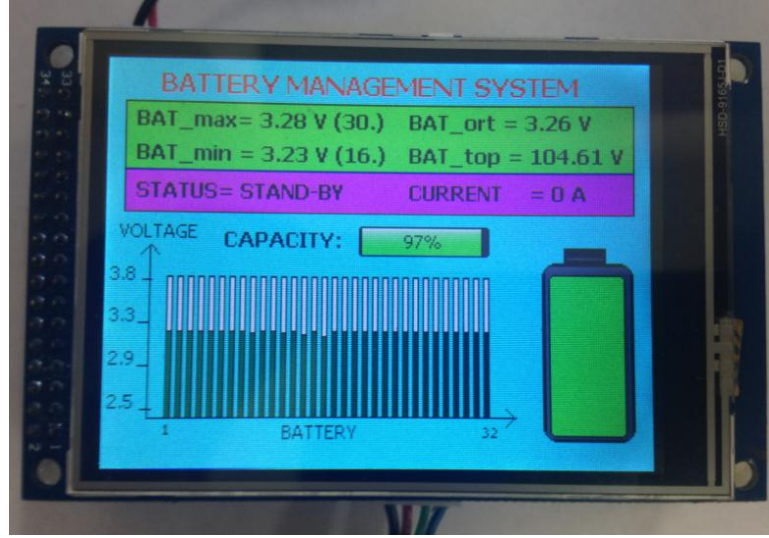
BATTERY VOLTAGE-TEMP	
B-01= 3.27 V-(31 C)	B-17= 3.24 V-(29 C)
B-02= 3.27 V-(31 C) !	B-18= 3.28 V-(29 C)
B-03= 3.28 V-(29 C)	B-19= 3.27 V-(29 C)
B-04= 3.27 V-(29 C)	B-20= 3.27 V-(29 C)
B-05= 3.27 V-(28 C)	B-21= 3.27 V-(28 C)
B-06= 3.27 V-(28 C)	B-22= 3.27 V-(28 C)
B-07= 3.27 V-(30 C)	B-23= 3.27 V-(30 C)
B-08= 3.27 V-(30 C)	B-24= 3.27 V-(30 C)
B-09= 3.26 V-(28 C)	B-25= 3.27 V-(28 C)
B-10= 3.27 V-(28 C)	B-26= 3.27 V-(28 C)
B-11= 3.27 V-(27 C)	B-27= 3.28 V-(30 C)
B-12= 3.25 V-(27 C) !	B-28= 3.27 V-(30 C)
B-13= 3.27 V-(29 C)	B-29= 3.28 V-(30 C)
B-14= 3.24 V-(29 C)	B-30= 3.28 V-(30 C) !
B-15= 3.27 V-(29 C)	B-31= 3.27 V-(30 C)
B-16= 3.23 V-(29 C) !	B-32= 3.27 V-(30 C)

Şekil 4. 1 Ana denetleyici gerilim ve sıcaklık takip ekranı

Şekil 4.1’de çalışan sistem üzerindeki, ana denetleyici modül gerilim ve sıcaklık takip ekranı görülmektedir. Bu ekranda 32 adet batarya hücresine ait sıcaklık ve gerilim değerleri gözlemlenebilmektedir.

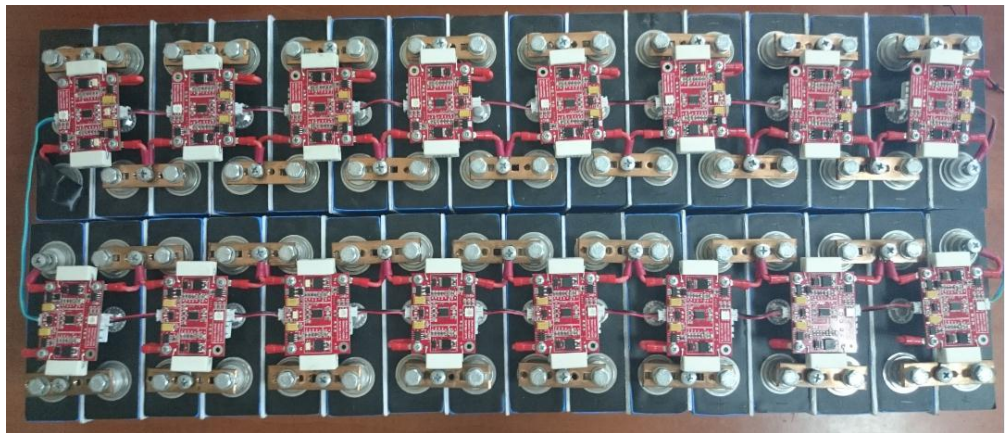
Gerilim okuma testleri için ilk olarak batarya hücre gerilimleri ölçü aleti ile ölçülerek bütün hücre gerilimleri kaydedilmiştir. Daha sonra çalışan BYS sistemi ekranı üzerinde okunan gerilim ve sıcaklık değerleri, ölçü aletinden okunan değerler ile teker teker karşılaştırılmıştır. Ölçüm sonuçlarının BYS ekranında gösterilen sonuçlara çok yakın olduğu ve haberleşme sisteminin hatasız bir şekilde çalıştığı gözlemlenmiştir.

Gerilim okuma işleminde kullanılan direnç değerlerinin %1 toleranslı olmasından kaynaklanan gerilim okuma hataları yazılım yardımıyla düzeltilmiştir.



**Şekil 4. 2** Ana denetleyici grafiksel gerilim takip ekranı

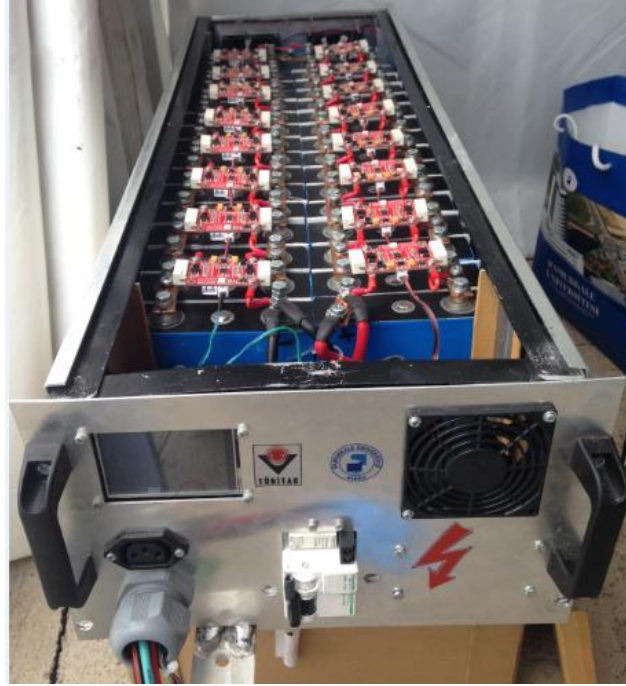
Şekil 4.2' de ana denetleyici grafiksel gerilim görüntüleme ekranı görülmektedir. Bu ekran sayesinde, kullanıcı tek ekran üzerinden tüm batarya gerilim bilgilerine grafiksel olarak ulaşabilmektedir. Ayrıca bu ekranda BYS işlemleri için çok önemli olan  $V_{max}$ ,  $V_{min}$  ve  $V_{top}$  gibi bilgiler görülmektedir. Şekil 4.2' de görüldüğü gibi en yüksek batarya gerilimine sahip olan hücre 30. Batarya hücresidir ve gerilim değeri 3.28 V' tur. Aynı şekilde en düşük gerilime sahip batarya hücresi 16. hücredir ve gerilim değeri 3.23 V' tur. Bu değerler hem grafiksel gösterimdeki değerlerle hem de gerçek ölçüm değerleri ile karşılaştırılarak doğru olduğu gözlemlenmiştir.



**Şekil 4. 3** Uydu denetleyici modüller

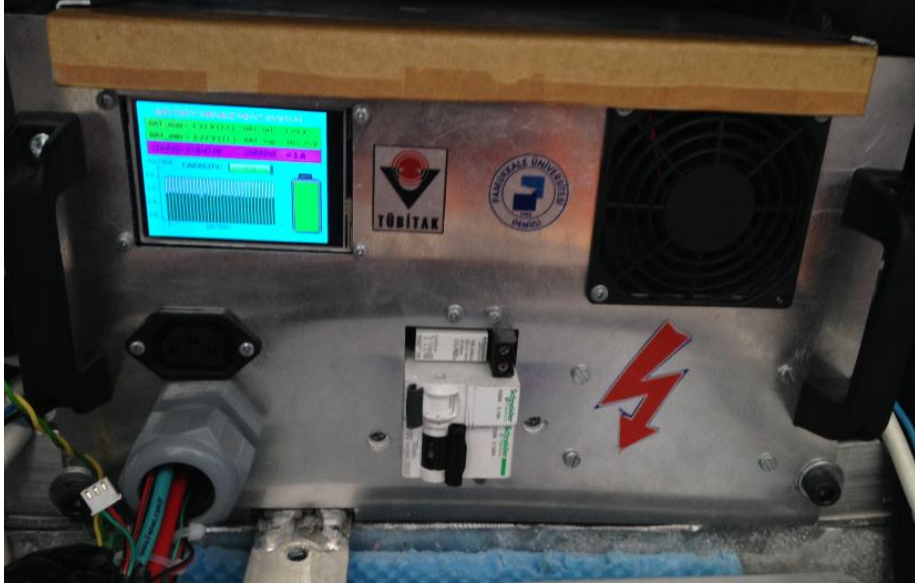
Farklı gerilim referansına sahip devreler arasında haberleşebilmek için kullanılan yalıtılmış UART protokolünün düzgün bir şekilde çalıştığı gözlemlenmiştir. Her modülün kendi değerlerini okuyup bir sonraki modüle gönderdiği yazılımda, seri haberleşme işlemindeki gecikme sonucunda; ana denetleyici BYS verilerinin 1 saniyede bir güncellendiği görülmüştür. BYS işlemleri için bu gecikmenin kabul edilebilir olduğuna karar verilmiştir.

Ana denetleyiciden gönderilen komutlarla batarya hücresi için gerilim dengeleme işlemi başlatma testleri yapılmıştır. Uydu denetleyici kartta, PWM donanımı ile gerilim dengeleme akımının 0A-2A arasında ayarlanabildiği gözlemlenmiştir.



**Şekil 4. 4** BYS genel görünümü

Tasarımı gerçekleştirilen batarya yönetim sistemi, Üniversitemizde yürütülen Uluslararası TUBİTAK projesi kapsamında tamamen yerli üretimi gerçekleştirilen “Çok Hafif Şehir içi Dolaşım için Elektrikli Araç” projesinde kullanılmıştır. Batarya yönetim sistemi kutusu sayesinde BYS sistemi araç içerisine kolaylıkla monte edilebilmiştir.



**Şekil 4. 5** BYS'nin elektrikli araç içerisindeki görünümü

Batarya Yönetim sistemi araç içi CAN BUS haberleşme ağına bağlanarak Araç içi gösterge ekranına, motor sürücü devrelerine ve yerleşik şarj birimine  $V_{max}$ ,  $V_{min}$ , akım ve SOC gibi batarya önemli verileri gönderilmiştir.

## 5. SONUÇLAR

Ana ve Uydu denetleyici kart tasarımı ile hem düşük gerilim hem de yüksek gerilim batarya gruplarında kullanılabilen bir BYS tasarımı yapılmıştır. BYS devreleri batarya hücrelerine çok yakın olduğu için devreleri batarya hücrelerine bağlayan kablo boyları çok kısalmıştır. Bu sayede analog veri okumada sorun yaratacak kablo kayıplarının önüne geçilmiştir. Modüler tasarım sayesinde BYS devrelerinin batarya üzerine montesi kolaylaşmıştır.

Yalıtılmış UART protokolünün seri olarak bağlanmış uydu denetleyicilerde kullanılması ile referansı farklı olan modüller arasında haberleşme sağlanabilmiştir. Bu haberleşme yöntemi ile bütün batarya verileri sorunsuz bir şekilde ana denetleyici modüle iletilebilmiştir.

Gerilim dengeleme devresi için 5W taş direnç kullanılarak 2A e kadar gerilim dengeleme işlemi yapılabilmektedir. Dengeleme işleminde pwm donanımı ile balans akımı 0A-2A arasında ayarlanabilmektedir. Sıcaklığın artması durumunda veya hassas dengeleme işleminde pwm görev oranı azaltılarak dengeleme akımı azaltılabilmektedir.

Tasarlanan batarya yönetim sistemi kutusu ile hem batarya için hem de BYS devreleri için kısa devre koruması sağlanmıştır. Koruma kutusu, BYS sisteminde kullanılan denetleyici devreler, akım sensörü, kesiciler ve görüntüleme ekranı gibi elemanları bir arada tutarak, tüm sistemin elektrikli araç içerisine montesini kolaylaştırmıştır. Ayrıca bu elemanları tozdan ve darbeden koruduğu için kullanılmasının çok önemli olduğu anlaşılmıştır. Batarya kutusu üzerine monte edilen soğutucu fanlar ile batarya gerilim dengeleme işlemi ile şarj-deşarj işlemleri sırasında batarya soğutma işlemi kolaylıkla yapılabilmektedir.

## 6. KAYNAKLAR

Padhi, A. K., Nanjundaswamy, K. S., & Goodenough, J. B., "LiFePO<sub>4</sub>: a novel cathode material for rechargeable batteries", In Electrochemical Society Meeting Abstracts, (1996).

Padhi, A. K., Nanjundaswamy, K. S., & Goodenough, J. B. D., "Phospho-olivines as positive-electrode materials for rechargeable lithium batteries", Journal of the electrochemical society, (1997).

Owen, J. R., "Rechargeable lithium batteries", Chemical Society Reviews, (1997).

Xu, K., Deveney, B., Nechev, K., Lam, Y., & Jow, T. R., "Evaluating LiBOB/lactone electrolytes in large-format lithium-ion cells based on nickelate and iron phosphate", Journal of The Electrochemical Society, (2008).

Zheng, M., Qi, B., & Wu, H., "A Li-ion battery management system based on CAN-bus for electric vehicle", In 2008 3rd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, 1180-1184, (2008).

Qaisar, S. M., Dallet, D., Desprez, P., & Benjamin, S., "An evaluation methodology for the Li-Ion battery multiplexed voltage measurement systems", In Instrumentation and Measurement Technology Conference, 785-788, (2010).

Singamala, S., Brandl, M., Vernekar, S., Vulligadala, V., Adusumalli, R., & Ele, V., "Design of AFE and PWM drive for Lithium-Ion battery management system for HEV/EV system", In 2014 27th International Conference on VLSI Design and 2014 13th International Conference on Embedded Systems, 186-191, (2014).

Haq, I. N., Leksono, E., Iqbal, M., Sodami, F. N., Kurniadi, D., & Yulianto, B., "Development of battery management system for cell monitoring and protection", In Electrical Engineering and Computer Science (ICEECS), 2014 International Conference, 203-208, (2014).

Shi-Qi, A., An-ning, Q., & Yu-wei, Z., "Design and realization of SPI interface in lithiumion battery voltage measuring system", In Computer Science & Education (ICCSE), 2011 6th International Conference, 83-87, (2011).

Baronti, F., Fantechi, G., Roncella, R., & Saletti, R., “High-efficiency digitally controlled charge equalizer for series-connected cells based on switching converter and super-capacitor”, IEEE Transactions on Industrial Informatics, 9(2), 1139-1147, (2013).

Miyamoto, H., Morimoto, M., & Morita, K., “Online SOC estimation of battery for wireless tramcar”, Electrical Engineering in Japan, 186(2), 83-89, (2013).

Altun, Ş., “Elektrikli Araçlar İçin Batarya Yönetim Sistemi Algoritması Tasarımı Ve Uygulaması”, Yüksek Lisans, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze,(2012).

Baykal, T., “Lityum Polimer Bataryalar İçin Batarya Yönetim Sistemi Geliştirilmesi“ Yüksek Lisans, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul,(2013).

Nafiz, S., “Elektrikli otobüsler için batarya yönetim sistemi tasarımı “ Yüksek Lisans, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir,(2014).

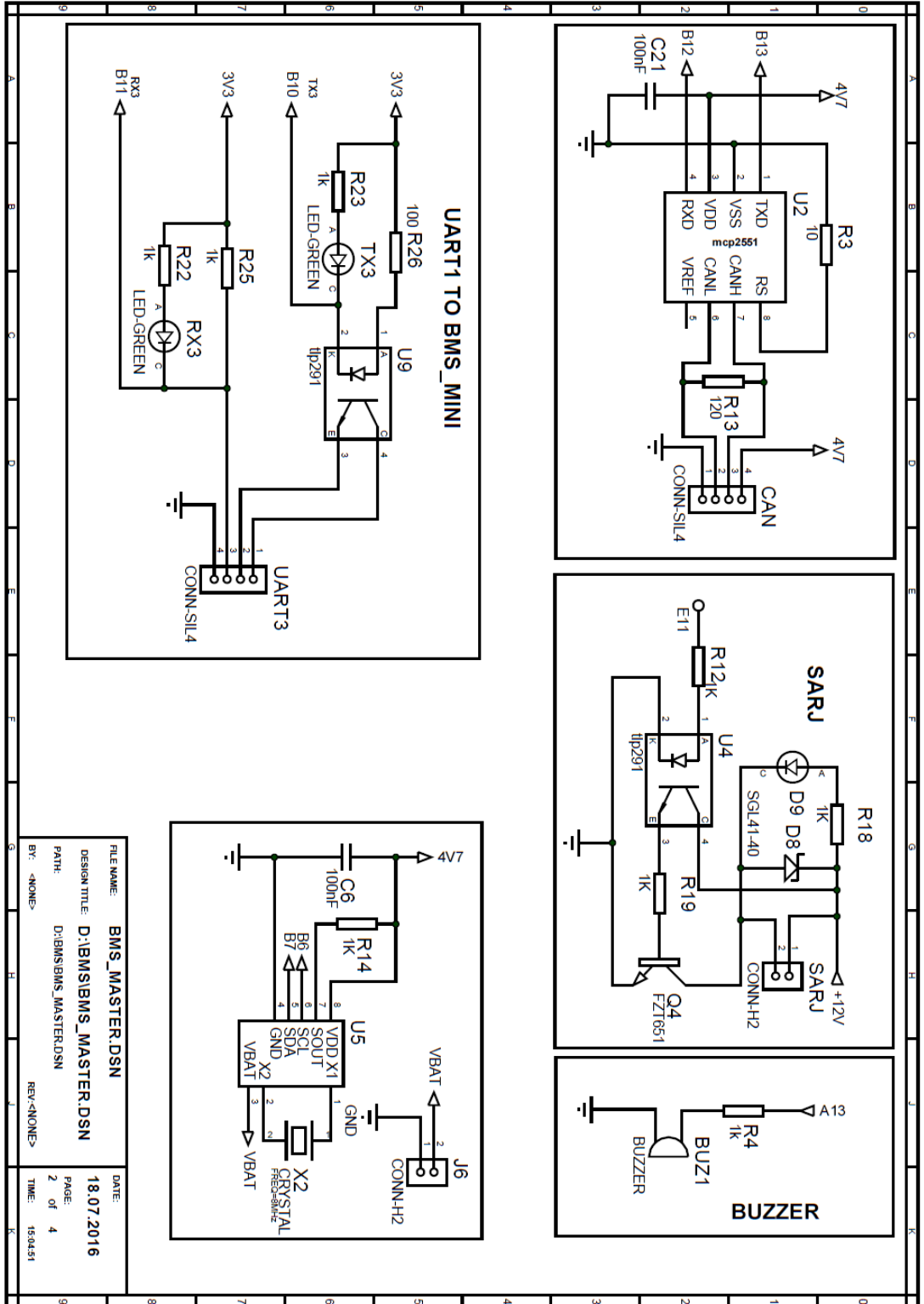
Soydaş, Ş., “Lityum tabanlı batarya paketleri için batarya yönetim sistemi tasarımı “ Yüksek Lisans, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük,(2015).

# **EKLER**

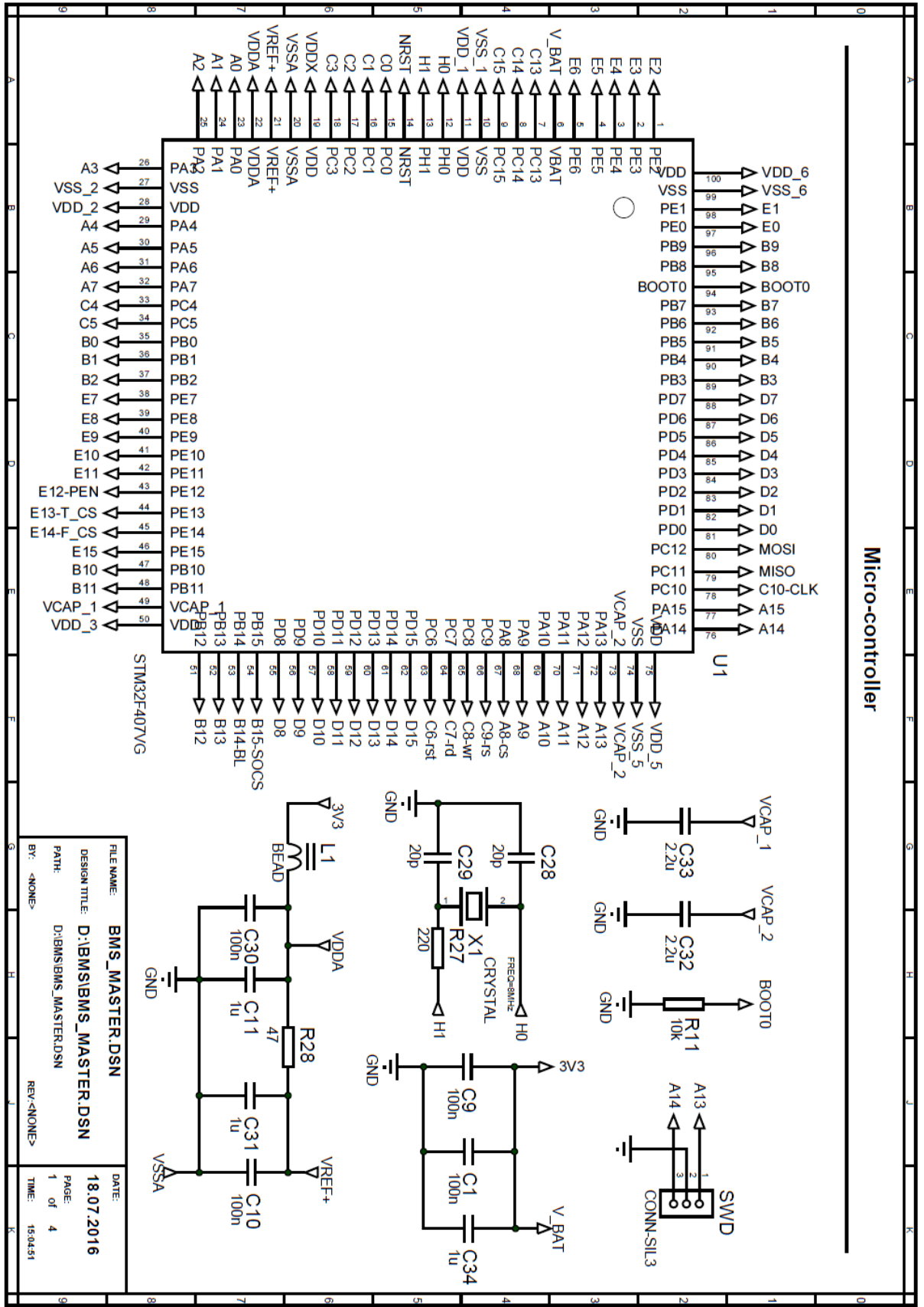


# 7. EKLER

## EK A.1 Ana denetleyici şema-1

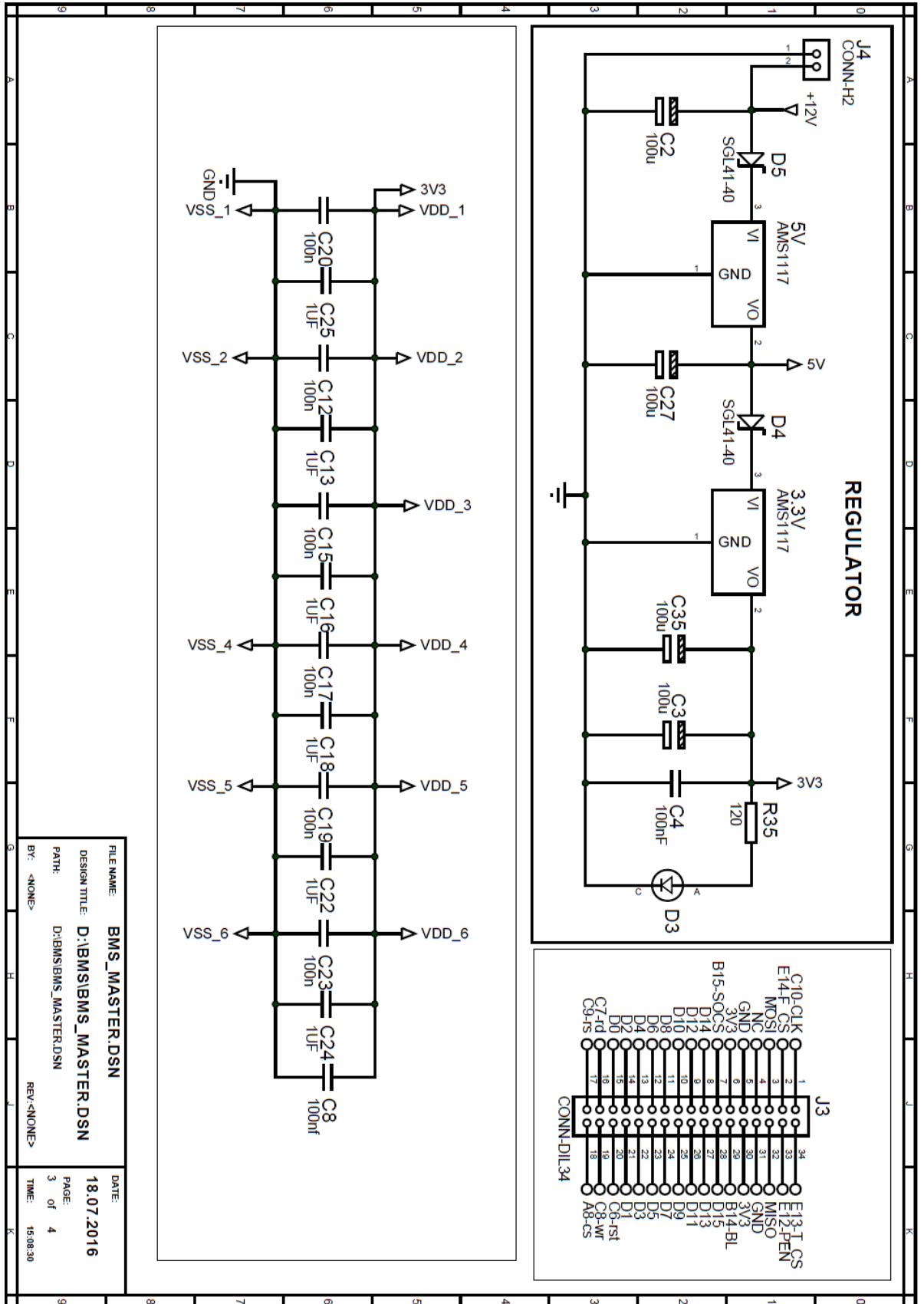


## EK A.2 Ana denetleyici şema-2

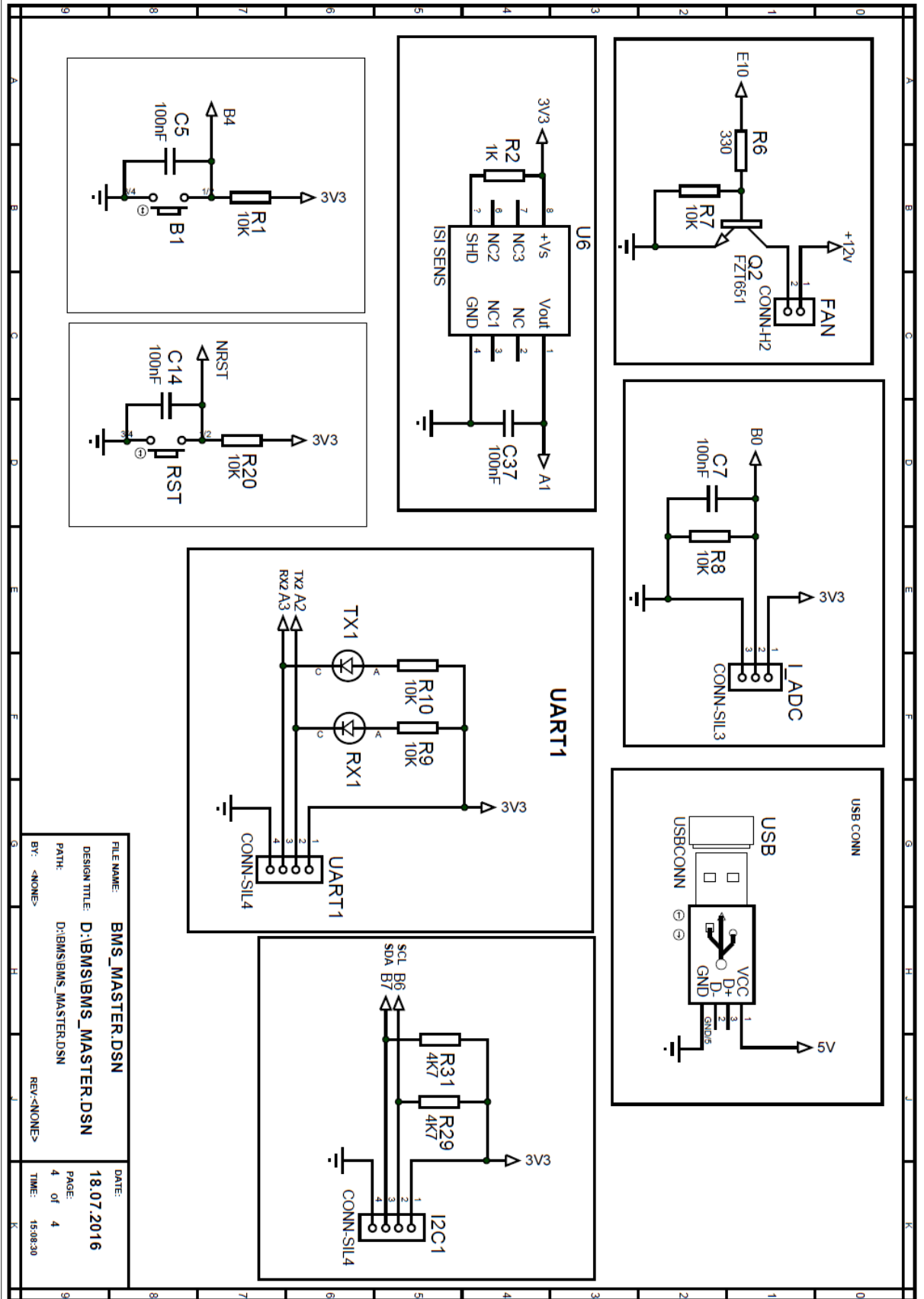


FILE NAME: <b>BMS_MASTER.DSN</b> DESIGN TITLE: <b>D:\BMS\BMS_MASTER.DSN</b> PATH: <b>D:\BMS\BMS_MASTER.DSN</b> BY: <b>&lt;NONE&gt;</b>	DATE: <b>18.07.2016</b> PAGE: <b>1 of 4</b> TIME: <b>15:04:51</b>
---	---

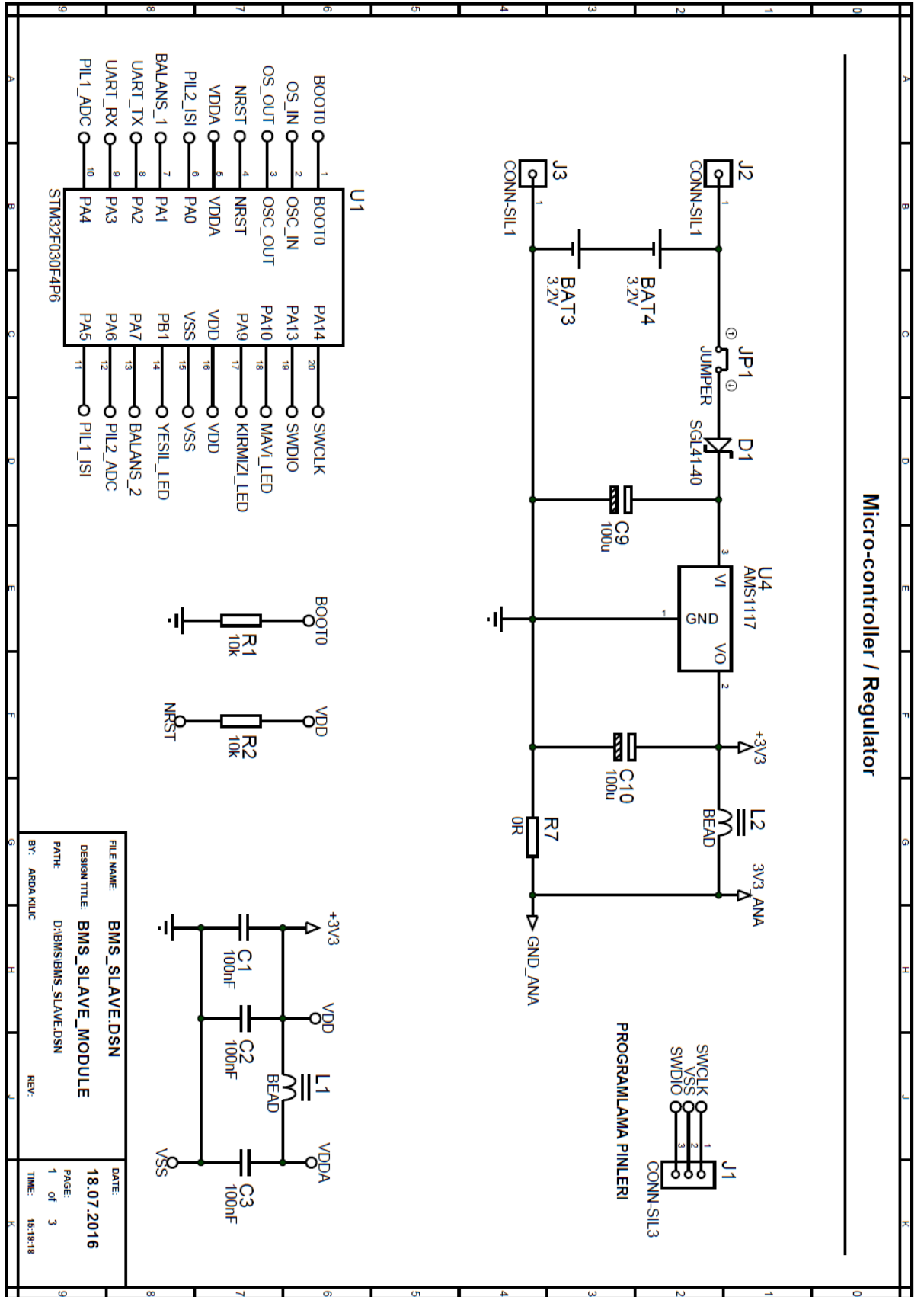
### EK A.3 Ana denetleyici şema-3



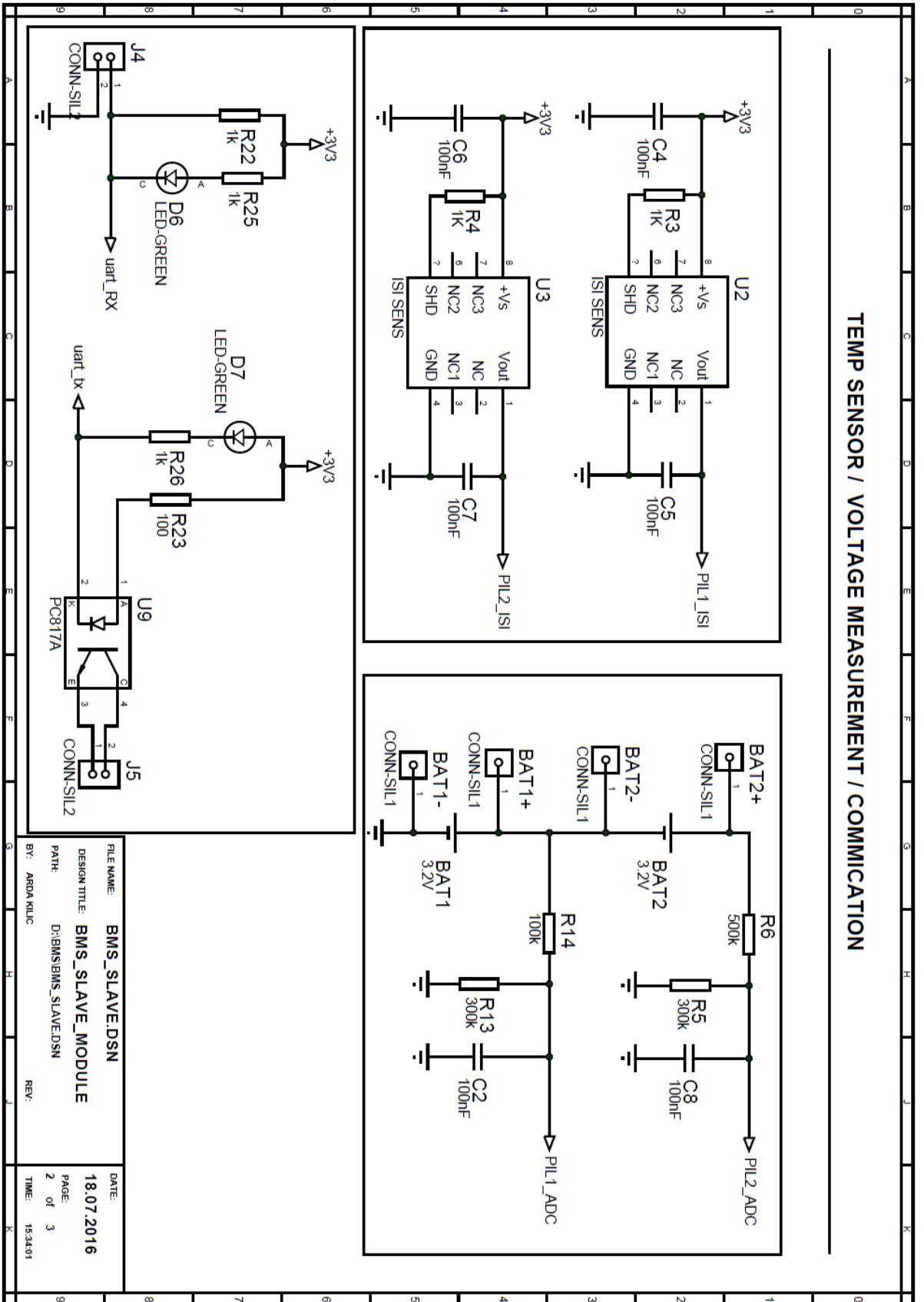
# EK A.4 Ana denetleyici şema-4



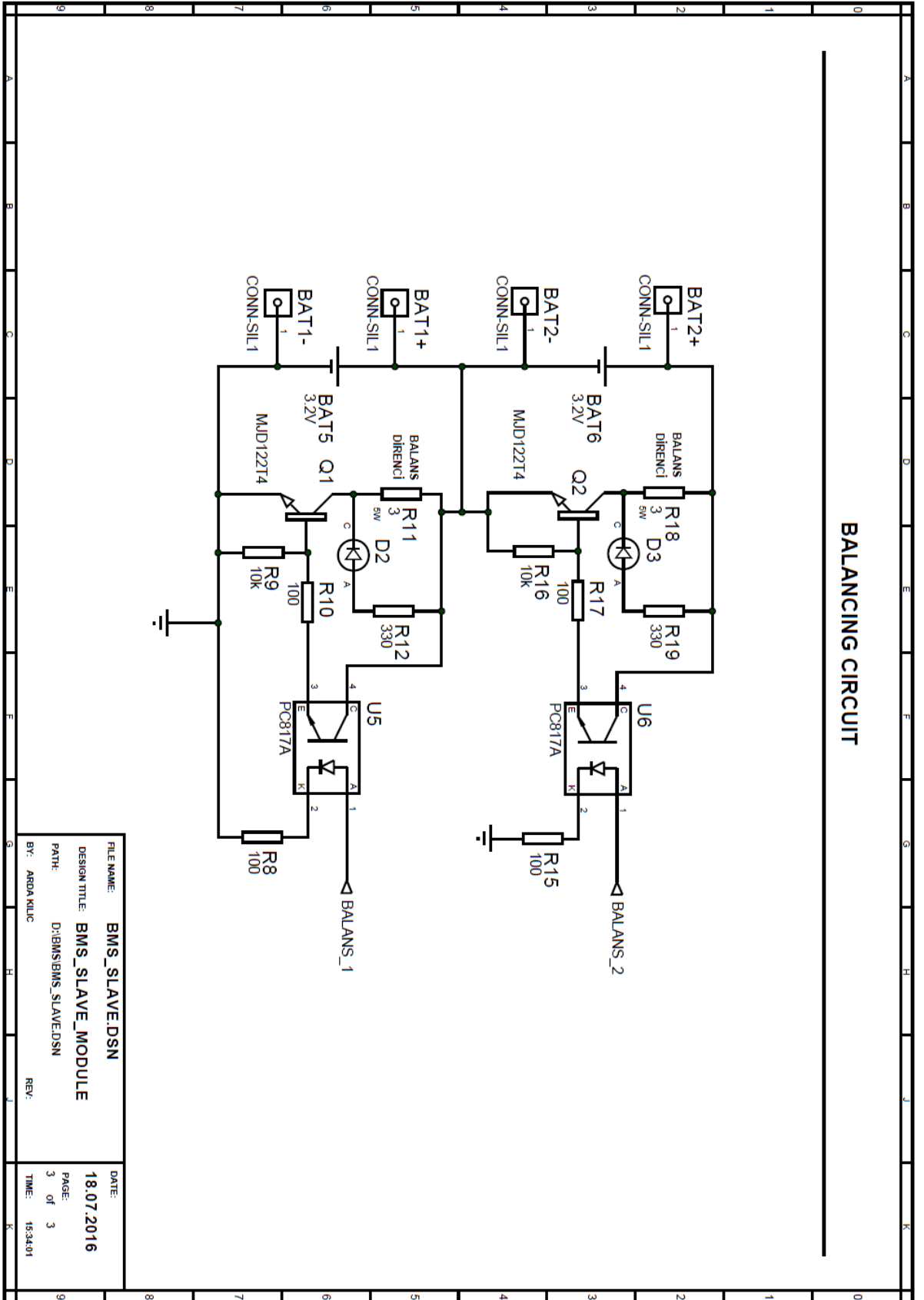
## EK B.1 Ana denetleyici şema-1



## EK B.2 Ana denetleyici şema-2



### EK B.3 Ana denetleyici şema-3



## EK C.1 WN36AH hücre özellikleri-1

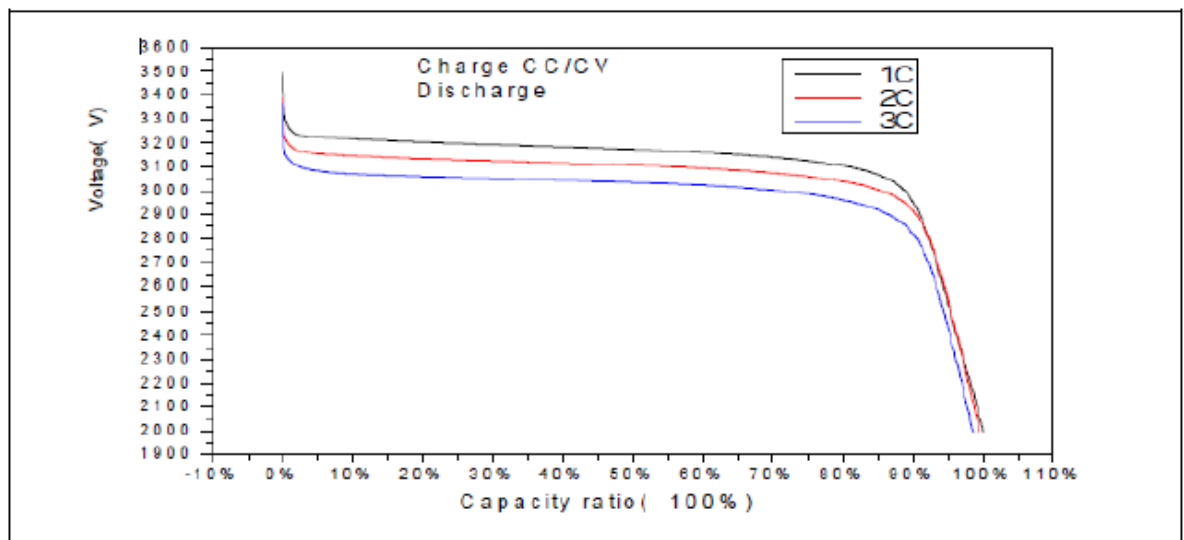
GWL/ Power Group Technology Solutions – Stay Powered for the Future

### WN36AH cell specification



Model name	WN36AH	Alternative product marking IFP36Ah
Nominal voltage	3.2 V	Operating voltage under load is 3.0 V
Capacity	36 AH	+/- 5%
Internal Resistance	<3 mΩ	
Operating voltage	min 2.6V - max 3,65 V	At 80% DOD
Discharge Termination Voltage	2.5 V	The cells is damaged if voltage drops below this level
Charging Voltage Limit	3.7 V	The cells is damaged if voltage exceeds this level
Standard Charge Current	12 A	0,3C Constant Current
Standard Discharge Current	12 A	0,3C Constant Current
Life cycles	>2000	0.3C, 80% DDC
Maximum Continuous Discharge Current	108 A	3 C Constant Current
Maximum Instantaneous Discharge Current	180 A	5 C >15sec
3C Discharge Capacity	≥ 32.4 Ah	Nominal Capacity 90%
Working Temperature - charging	0°C ~ 45°C	The battery temperature should not increase this level
Working Temperature - discharging	-20°C ~ 60°C	The battery temperature should not increase this level
Storage thermal Ambient	-20°C ~ 45°C	The battery temperature should not increase this level
Atmospheric Pressure	86~106	KPa
Relative Humidity	25%~85%	RH
Shell Material	AL / plastik	flame retardants
Size (LxWxH)	36 × 130 × 155 mm	millimeters (tolerance +/- 1 mm)
Weight	1300g	grams (tolerance ±50g)

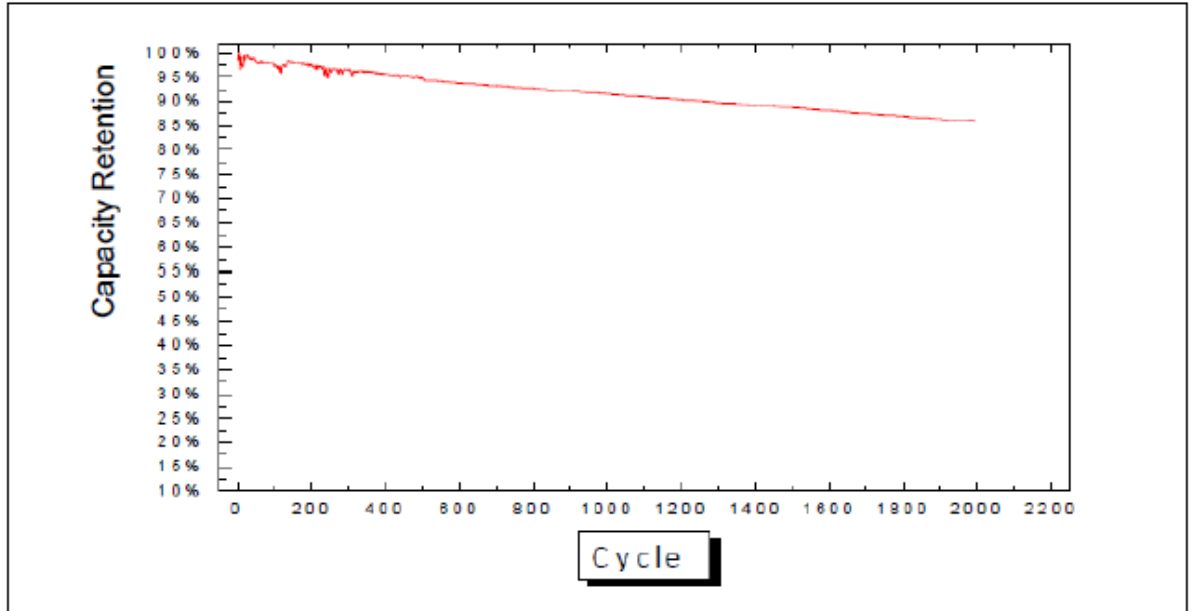
Rate Discharge Typical Curve:



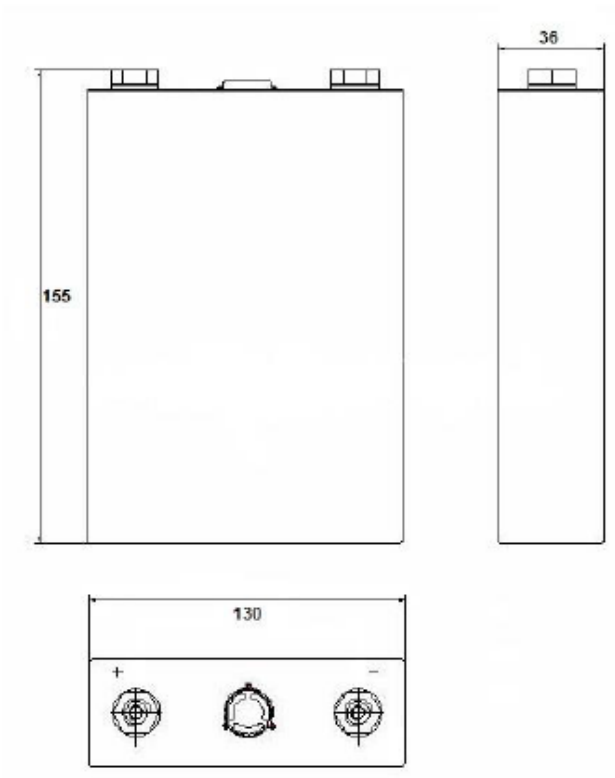


## EK C.2 WN36AH hücre özellikleri-2

Circle Life Curve:



Dimensions:



## 8. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Arda KILIÇ

Doğum Yeri ve Tarihi : ANKARA, 28.03.1987

Lisans Üniversite : Pamukkale Üniversitesi

Elektronik posta : kilic.arda@outlook.com

İletişim Adresi : Siteler mahallesi Barbaros caddesi No:7  
Daire:17 Fulya Apartmanı kat:5 Kınıklı/Denizli