

ULUSLARARASI 3B YAZICI TEKNOLOJİLERİ
VE DİJİTAL ENDÜSTRİ DERGİSİ

INTERNATIONAL JOURNAL OF 3D PRINTING
TECHNOLOGIES AND DIGITAL INDUSTRY

ISSN:2602-3350 (Online)

URL: <https://dergipark.org.tr/ij3dptdi>

ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN RÖLE ANAHTARLAMALI BATARYA YÖNETİM SİSTEMİNİN TASARLANMASI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A RELAY-
SWITCHED BATTERY MANAGEMENT SYSTEM FOR
THE ELECTRIC VEHICLES

Yazarlar (Authors): Abdulsamet PALTACI , Samet YALÇIN , Abdullah GENÇ 

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Paltacı A, Yalçın S., Genç A., “Elektrikli Araçlar İçin Röle Anahtarlama Batarya Yönetim Sisteminin Tasarlanması ve Gerçekleştirilmesi” *Int. J. of 3D Printing Tech. Dig. Ind.*, 7(2): 243-251, (2023).

DOI: 10.46519/ij3dptdi.1324753

Araştırma Makale/ Research Article

Erişim Linki: (To link to this article): <https://dergipark.org.tr/en/pub/ij3dptdi/archive>

ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN RÖLE ANAHTARLAMALI BATARYA YÖNETİM SİSTEMİNİN TASARLANMASI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Abdulsamet PALTACI ^a , Samet YALÇIN ^b , Abdullah GENÇ ^a 

^a Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, TÜRKİYE

^b Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, TÜRKİYE

* Sorumlu Yazar: sametyalcin@isparta.edu.tr

(Received: 09.07.23; Revised: 03.08.23; Accepted: 17.08.23)

ÖZ

Elektrikli araçların günümüzde yaygınlaşmaya başlamasıyla birlikte batarya teknolojileri gelişimiyle sorunları da beraberinde getirmektedir. Yükselen depolama talebiyle birlikte batarya yönetim sistemine olan ihtiyaç da artmaktadır. Ancak endüstride kullanılan yöntemlerin yanı sıra maliyetin düşürülmesi amacıyla röle anahtarlamalı batarya yönetim sistemi tasarımı ile bu makale literatüre önemli bir katkı sağlamıştır. Bu çalışmada 23 Seri LiFePO₄ hücre ile yaklaşık 5kW/h enerji kontrolü Master-Slave yöntemi, röle anahtarlamalı ve Stm32f108c8t6 mikro işlemcileri ile kontrolü sağlanmıştır. Master-Slave arasındaki haberleşme CAN-Bus protokolü ile yapılarak her Slave kartın göndermiş olduğu hücre gerilimleri, hücre paketi ve hücrelerin sıcaklık değerlerini Master kartı üzerinden kalan enerji miktarı ile birlikte, izleme merkezi tarafından takip edilmesi için Master kartına lora modülü entegre edilerek sistemin uzaktan izlenmesi sağlanmıştır. Bu sayede hücrelerin doğru bir şekilde izlenebilmesinden dolayı şarj anında herhangi bir hücrenin 3.6 V seviyesine çıktığında dengelemeye girmesi ve deşarj anında ise 2.8 V seviyesine indiğinde sistemin kapatılması sağlanarak hücrelerinin doğru kullanımı ile ömrünü uzatma işlemi sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli Araçlar, Batarya Yönetim Sistemi, LiFePO₄, Master-Slave, Can-Bus Haberleşme, Pasif Dengeleme.

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A RELAY-SWITCHED BATTERY MANAGEMENT SYSTEM FOR THE ELECTRIC VEHICLES

ABSTRACT

As electric vehicles are becoming more widespread today, battery technologies bring problems with their development. With the increasing storage demand, the need for a battery management system is also increasing. However, in addition to the methods used in the industry, this article has made an important contribution to the literature with the design of a relay-switched battery management system in order to reduce the cost. In this study, approximately 5kW/h energy control with 23 Series LiFePO₄ cells is provided with Master-Slave method, relay switching, and Stm32f108c8t6 microprocessors. The communication between Master-Slave is done with CAN-Bus protocol and the cell voltages, cell package, and temperature values of the cells sent by each Slave card are monitored remotely by integrating the lora module into the Master card in order to be monitored by the monitoring center together with the remaining energy amount on the Master card. In this way, since the cells can be monitored accurately, it is ensured that any cell enters into balancing when it reaches 3.6 V level at the time of charging and the system is turned off when it drops to 2.8 V level at the time of discharge, thus extending the life of the cells with the correct use of the cells.

Keywords: Electric Vehicles, Battery Management System, LiFePO₄, Master-Slave, CAN-Bus Communication, Passive Balance.

1. GİRİŞ

Artan nüfus yoğunluğu ve çevre kirliliğiyle birlikte atmosfere yayılan karbon salınımı gün geçtikçe önlem alınamaz bir şekilde artmaktadır. Bu nedenle fosil yakıtlı araçlardan elektrikli araçlara geçiş önemli bir hale gelmiştir. Böylece elektrikli araçlar ile birlikte elektrikli araçlarda kullanılan batarya ve bu bataryaların yönetim teknikleri de önemli bir hal almaktadır. Elektrikli araçların batarya yönetim sistemi (BYS) üzerinde literatürde pasif dengeleme (PD) üzerine birçok çalışma vardır [1-6]. Uygulanabilirlik ve maliyet açısından ön plana çıkan PD yöntemi birçok kez tercih sebebi olmuştur. Bu yöntemle birlikte kullanılan modüler sistemlerin gelişmesi günümüz elektrikli araçların temel ihtiyaçları arasına girmektedir [7]. BYS’de bataryaları kontrol etmenin yanı sıra seri haldeki bataryaların enerji akışı için ayrı bir devre yapısına ihtiyaç vardır. Bu devre yapısında bataryaları kontrol eden ünite/ler Slave, bu Slave ünite ile enerji giriş-çıkışı kontrol eden üniteye ise Master olarak isimlendirilir [5,8]. Master-Slave arasında haberleşme günümüz I2C, USART ve CAN-Bus protokolleri ile yapılmaktadır. Gerçekleştirdiğimiz çalışmamızda ise otomobillerinde de bulunan ve kullanılan kontrolcüde çıkış pinleri kontrol edilebilen CAN-Bus haberleşme protokolü kullanılmıştır.

Maliyetin gün geçtikçe arttığından dolayı eski anahtarlama yöntemlerinden rölenin birçok avantajlı olduğu kısımlar görülmüştür ve tasarlanması planlanan BYS yapısında röle ile başarılı sonuçlar alınacağı düşünülmektedir. Seri hücrelerin fazla olması batarya kontrolünü zorlaştırmaktadır.

Literatür incelendiğinde 2021 yılındaki bir çalışmada [1], 4 seri hücre kontrol edilmiş ve hücre ölçümleri fark alma Op-Amp devresiyle yapılmıştır. Yapılan çalışmada CAN-Bus kullanılarak da veri gönderimi gerçekleştirilmiştir. Başka bir çalışmada ise, hücre dengeleme kontrolünün anahtarlama sırasında PC817 optokuplörü kullanılmıştır [4,9]. Bunun yanı sıra, LiFePO₄ (Lityum Demir Fosfat) hücreler için hızlı dengelemenin yapıldığı çalışmada hem optokuplör hem de

Op-Amp yardımıyla fark alma işlemi gerçekleştirilmiştir [3]. Diğer bir çalışmada, STM32f103C8 mikroişlemcisi kullanılarak CAN-Bus ve Uart haberleşmesi kullanılarak yapılan Master-Slave çalışması yapılmıştır [5]. Hücre ölçümlerinin genellikle literatürde yaygın olan Op-Amp kullanarak fark alma ile yapıldığı tespit edilmiştir. Böylelikle tasarımların hassas ölçüm alınabilmesi ve uygun maliyetli olması sağlanmaktadır [1-4, 10].

Literatür incelendiğinde genellikle Li-Ion hücrelerin 4-12 seri ve maksimum 20 seri olduğu tespit edilmiştir [2]. Bu çalışmada ise özgün olarak 72V nominal gerilime sahip BLDC (fırçasız DC) motorun çalışabilmesi için 23 seri hücreyle kontrol edilmiştir. 3 adet Slave kartı kullanılmış ve bunun avantajı ise, her Slave hücre paketinin dengelemesinin ayrı şekilde olması nedeniyle sistemin ve dengelemenin hızlı yapılabilmesidir. Sistemin belirli aralıklarda dengelemeyi başlatması ise sahip olunan enerjiyi verimli kullanmak ve hücrelerin sağlığı açısından avantajlıdır.

Tasarımı ve gerçekleştirilmesi yapılan modüler BYS, Master-Slave kontrolüyle pasif dengeleme yapısı bozulmadan röle anahtarlama olarak gerçekleştirilmiştir ve bu sayede endüstriyel olarak uygulanabilirliğini arttırılmıştır. Sistemin modüler özellikte olması ile daha sonra kullanıcının isterse BMS devresindeki toplam gerilimi artırabilmesi veya azaltabilmesi hedeflenmiştir. Elektrikli araçlar için tasarlanan sistem LiFePO₄ hücrelerinden oluşturulmuş 23S 11P bir hücre paketine sahiptir. Tasarlanan sistemin haberleşme protokolleri ile birlikte hem kendi içindeki veri aktarımı hem de uzaktan izleme merkezine aktarılan verilerin kontrolü gerçekleştirilmiş olup, riskli durumlara karşı alınan önlemler belirtilmiştir.

Gerçekleştirilen çalışmada 2. Bölümde batarya yönetim sisteminin simülasyon ve PCB tasarımları gerçekleştirilmiş, tasarım sonuçları ve entegrasyonu açıklanmıştır. Makalenin 3. Bölümünde BYS’nin hücre gerilimleri sınır değerleri ve bu değerlere bağlı olarak gerçekleştirilen dengeleme aralıkları

verilmiştir. 4. Bölümde ise elde edilen sonuçlar gösterilmiş ve tartışılmıştır.

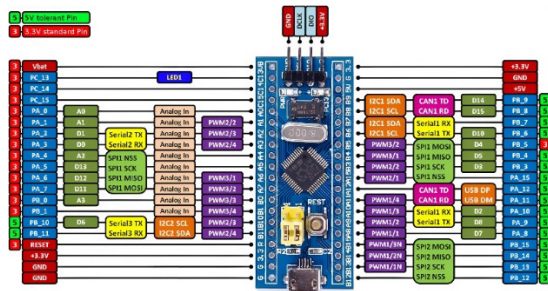
2. MATERYAL VE METOT

LiFePO₄ batarya hücrelerin ömürleri, 2000 çevrimi bulmakta ve güvenlik açısından yanma, patlama ve ısınma riskleri oldukça düşüktür. Elektrikli araçlar gibi yüksek kapasite ve deşarj gereken uygulamalarda yaygın olarak kullanılır ve farklı tiplerde bulunmaktadır. Bu çalışmada, LiFePO₄ 32700 3.2V 6000 mAh modeli tercih edilmiştir LiFePO₄ 32700 hücre özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir. Bu Çizelge incelendiğinde, kapasitelerinin yüksek olmalarından dolayı bu hücreler tercih edilmiştir [11]. Lityum tabanlı hücrelerin karşılaştırılmasının literatürde var olduğu bilinmektedir [12].

Çizelge 1. LiFePO₄ 32700 hücre özellikleri.

Parametreler	Değerler	Birimler
Ortalama voltaj	3.2	V
Deşarj kesme voltajı	2.0	V
Şarj voltajı üst sınırı	3.65	V
Hücre kapasitesi	6000	mAh
Beklenen şarj akımı	1200	mA
Beklenen deşarj akımı	3	A
Hızlı şarj akımı	6	A

Önerilen bataryaları sağlıklı bir şekilde kontrol eden Master-Slave kartları için tercih edilen mikroşlemci olarak STM32F103C8T6 seçilmiştir. Piyasada bulunan Blue Pill olarak da adlandırılan geliştirme kartına karar verilmiştir. Şekil 1’te STM32f103c8t6 geliştirme kartının pin bağlantıları verilmiştir. Blue Pill kartları üzerinde, 72MHz’a kadar hızla sahip ve ARM Cortex-M3 mikroşlemcisi bulunmaktadır ve 3.3V gerilimde çalışan bu kart, 10 adet ADC Pini içerir ve Can protokolü kullanır.

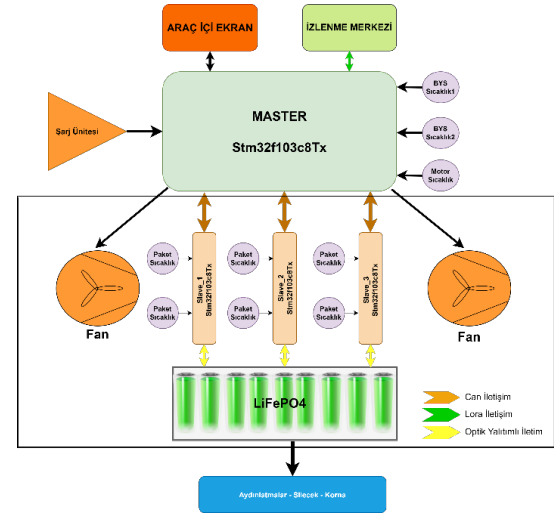


Şekil 1. Stm32f103c8t6 geliştirme kartı pin bağlantıları [13].

2.1. Batarya Yönetim Sisteminin Tasarlanması

Önerilen BYS için LiFePO₄ hücrelerden oluşan 23 seri, 11 paralel modüler bir sistem tasarlanmıştır. Bunun yanında modüler bir sistemle birlikte, Slave kartlarının artırılmasıyla yüksek voltajların kontrolünün sağlamak mümkündür. Kullanılması planlanan röle ve fark alıcı Op-Amplar ile tasarımın uygun maliyette olması planlanmıştır. Doğru veri aktarımı ve düşük enerji tüketimi gibi avantajlarından dolayı literatürde CAN-Bus protokolünün kullanıldığı bilinmektedir [14]. Bu nedenle bu çalışmada haberleşme sistemleri için CAN-Bus protokolü kullanılmıştır.

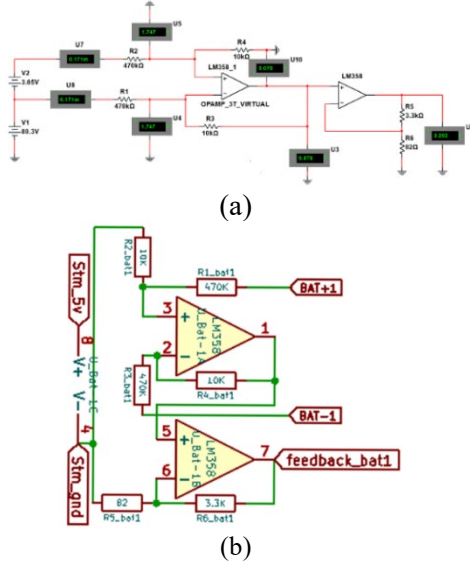
Elektrikli araçlar için BYS akış şeması Şekil 2’de verilmiştir. BYS tasarımı için, 1 adet Master, 3 adet Slave kart ile devre yapısı oluşturulmuştur. Sistemde izleme merkezi, aydınlatma, fan ve sıcaklık gibi giriş-çıkış birimleri bulunmaktadır. Ayrıca piller için gerekli olan 72 V DC gerilim girişi için şarj ünitesi girişi oluşturulmuştur.



Şekil 2. Elektrikli araçlar için BYS akış şeması

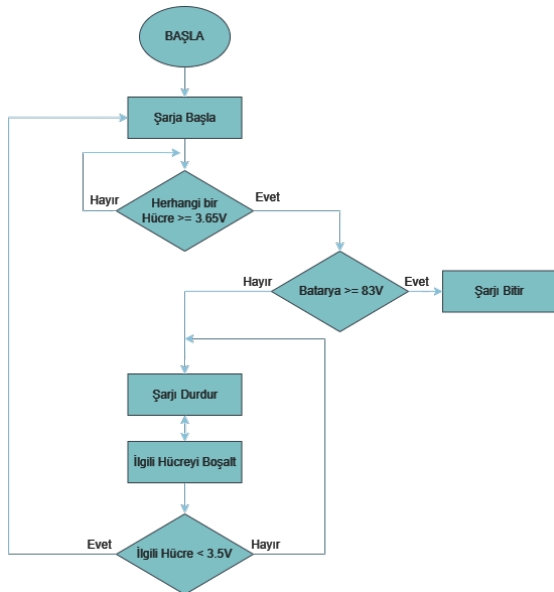
BYS’nin en önemli kısımlarından biri, gerilim ölçümüdür. Hücrelerin gerilim değerleri izlenerek dengeleme ve sağlıklı şarj-deşarj işlemine karar verilir. Bu işlem gerilim ölçüm entegresi, op-amp ile gerilim bölücü devresi veya fark alıcı devresi şeklinde gerçekleştirilebilir. Ancak burada maliyet ve performans açısından yapılabilecek en iyi çalışmanın fark alıcı op-amplar ile kontrolçüye bilgi verilmesi olduğu görülmüştür. Bu nedenle hücre gerilim ölçümü için, Şekil 3a’da simülasyonu verilen fark alıcı devresi kullanılmıştır. Simülasyonu yapılan bu

devrenin şematik tasarımı da Şekil 3b'de gösterilmiştir. Tasarım aşamasında kullanılan fark alıcı devresi için yaygın olan Op-Amp çeşitlerinden LM358 modeli tercih edilmiştir [15].



Şekil 3. Hücre gerilim ölçüm devresinin a) simülasyon görüntüsü, b) şematik tasarımı

Önerilen BYS akış şeması Şekil 4'te verilmiştir. Buna göre, tasarımı yapılan Slave kart, anlık hücre gerilimlerini okuyarak 23 seri hücreden herhangi biri 3.65V'u geçmesi durumunda şarj kapatıp ilgili hücrenin enerjisini taş direnç üzerine boşaltmasını sağlar. Boşalma işlemi belli bir süre devam ettikten sonra Slave kart, Master karttan aldığı komutla dengeleme işlemini kapatır ve Master kart şarj işlemi tekrar başlatır. Böylece, pasif dengeleme sistemi gerçekleştirilir [16-17].

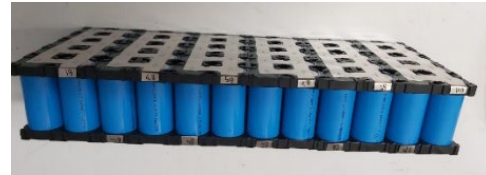


Şekil 4. Önerilen BYS akış şeması

LiFePO₄ batarya paketinin puntalanmış, izole edilmiş ve metal kutulanmış görüntüsü, Şekil 5'te verilmiştir. Pil hücreleri öncelikle puntalanarak dizginlenmiş olup daha sonra alev geçirmez kâğıt ile izole edilmiştir. Son olarak, metal bir kutu içerisinde kullanıma hazır hale getirilmiştir.

Dengeleme anahtarı olarak 3 adet 8 kanal 5 V röle kartı kullanılmıştır. Bu röle tipinde, kanal tetik pin hattına 0V uygulandığında anahtar kesime geçerek hücrenin taş direnç üzerinden boşalmasına izin verilir. Bunun yanı sıra, yapılan tasarımın hız, batarya gerilimleri, sıcaklık değerleri ve kalan enerji gibi verilerin görüntülenmesi için Nextion model 5.0 inch dokunmatik ekran kullanılmıştır.

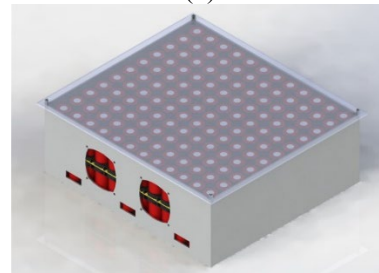
BYS ile dokunmatik ekran arasındaki veri akışı sağlamak için CAN-Bus haberleşme protokolü kullanılmıştır. Çünkü bu haberleşme protokolü, sağlıklı veri aktarımından dolayı otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılır. Burada, veri aktarımı sağlanırken Master Kart, Slave kartlar ile kendi aralarında veri hatlarını karşılaştırarak doğru veri hattında mesajın iletilmesini sağlar. Bu sayede veri kayması veya veri kaybolması gibi durumlar ortadan kaldırılır.



(a)



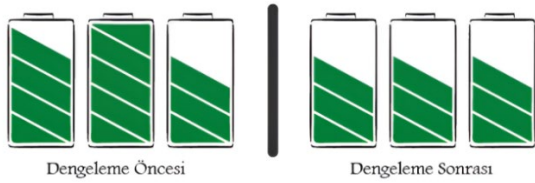
(b)



(c)

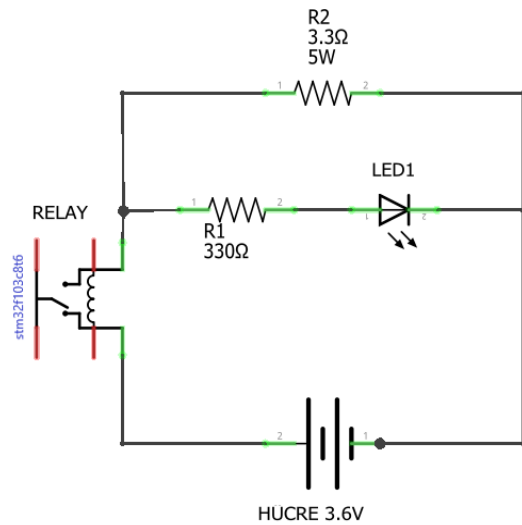
Şekil 5. LiFePO₄ batarya paketinin a) puntalanmış b) izole edilmiş c) metal kutulanmış görüntüsü

Hücreler sağlıklı şekilde şarj edilebilmesi için seri bağlanan hücre gerilimlerinin aynı olması istenmektedir ve bu, BYS'nin temel amaçlarından biridir. Pasif dengeleme için bataryanın önceki ve sonraki hali Şekil 6'da verilmiştir. Bu işlem, gerilimi yüksek olan hücrenin taş direnç üzerine boşaltılması ile diğer hücrelerin gerilim değerlerine eşitlenir. Bu yöntemin, aktif dengeleme yöntemine göre enerji kaybının daha fazla olmasından dolayı verimliliği daha düşüktür. Ancak, aktif dengeleme yöntemi, maliyet ve karmaşıklığından dolayı pasif dengeleme yöntemi kadar endüstride kullanılmamaktadır [7, 12].



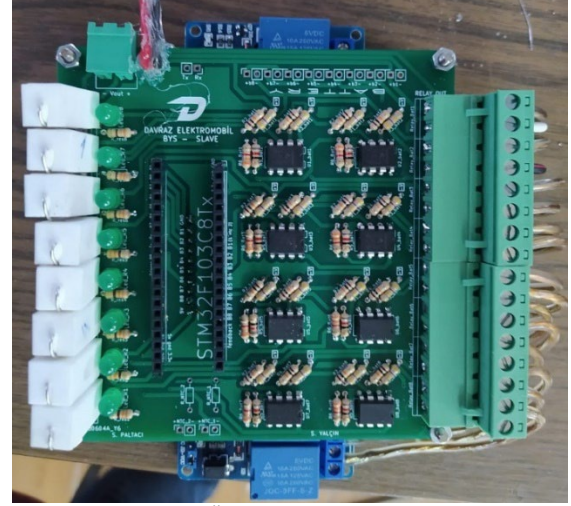
Şekil 6. Pasif dengeleme için bataryanın önceki ve sonraki hali

Dengeleme yaparken anahtarlamayı röle ile yapmak maliyet açısından verimli olacaktır. Her bir seri hücreye bir röle olmak üzere 23 adet röle kullanılmıştır. Röle kullanımındaki topoloji şekil 7'de verildiği üzere işlemci tarafından tetiklenmesi durumunda akım 1 A olacak şekilde hücreyi boşaltmak için 3.3Ω 'luk taş direnç tercih edilmiştir. Dengeleme esnasında hangi hücrenin dengelemeye girdiğini göstermek için de led kullanılmıştır.



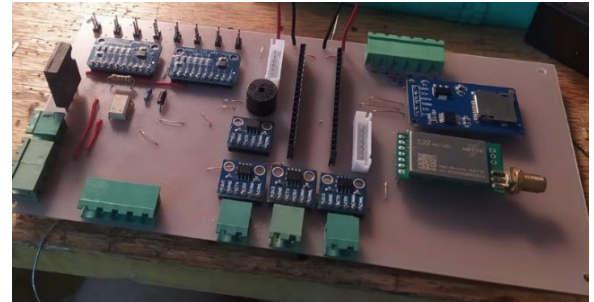
Şekil 7. Dengeleme topolojisi

Şekil 10'da görüldüğü üzere Slave kartın şematik devre çizimi verilmiştir. Kullanılan 23 seri hücre rölesi, 8 adet seri hücre alabilen 3 Slave karta son kartın 7 hücre alabileceği şekilde paylaştırılmıştır. Slave kartlar, 8 adet seri hücrenin gerilim okumasını ve röle tetiklemesini yaparken CAN-Bus ve sıcaklık okuma özelliklerini de bünyesinde barındırır. Şematiği verilmiş olan Slave kartın, PCB baskısı Şekil 8'da verilmiştir.

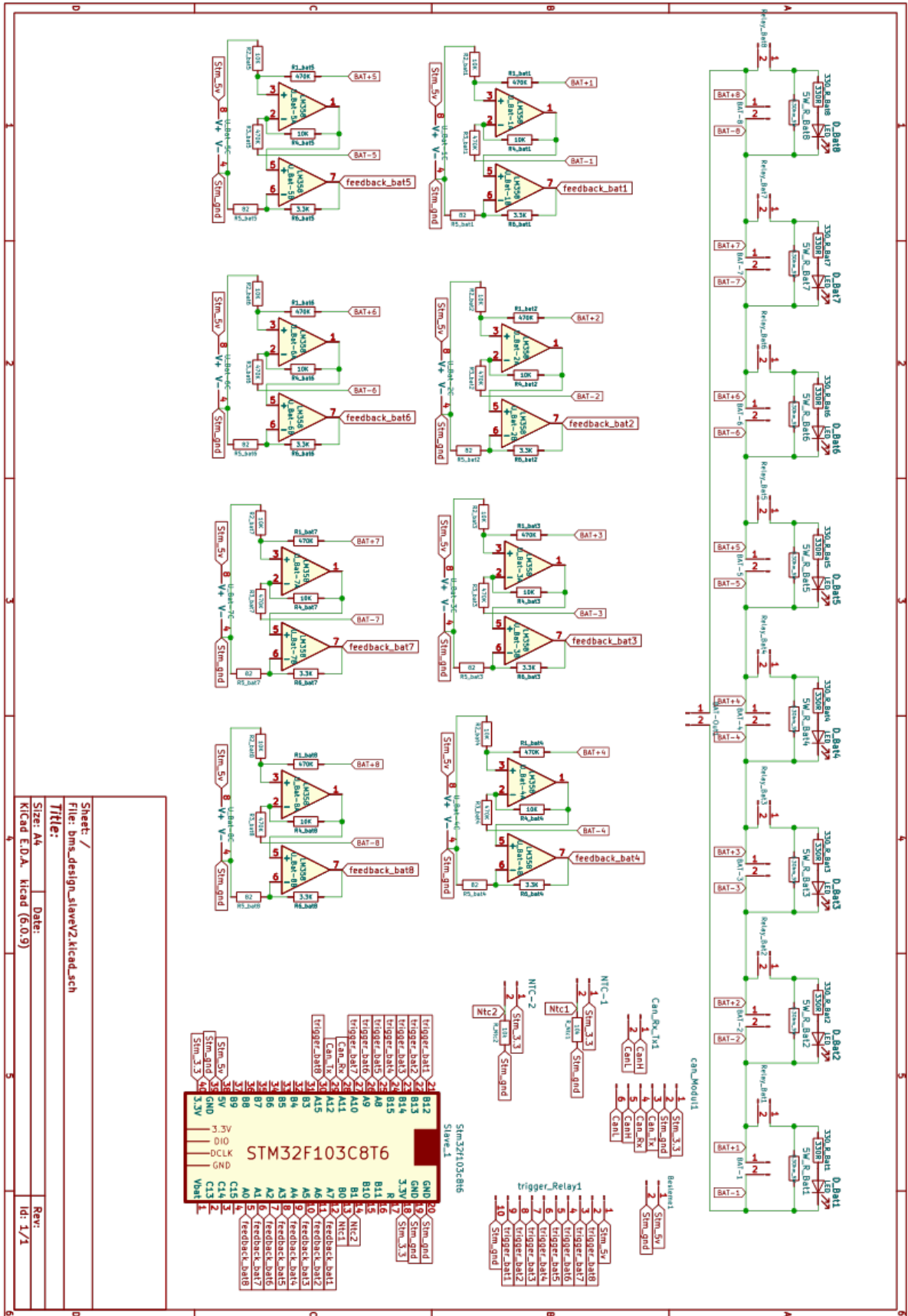


Şekil 8. Üretilen Slave PCB kartı

Üretilen Master kartı, Şekil 9'da gösterilmiştir. Buna göre, tasarımı yapılan Master kart, her Slave karttan seri hücrelerin gerilim bilgisini alıp yine Slave kartlara komut gönderir. Bunun yanı sıra kablosuz haberleşmeyi sağlayan LoRa (long range) modülü ve log kaydı sağlamak için kullanılan SD kart ve modülü, Master kart üzerinde bulunur. Ayrıca Master kart, sıcaklık ölçümü ve kontrolü, akım okuma ve CAN-Bus ile veri aktarımı gibi özelliklere de sahiptir. Slave kartların ve Master kartların test setupları kurulmuş olup algoritmaları yazılmış ve testler yapılmıştır. Böylelikle, tüm birimler harici olarak test edilmiştir.



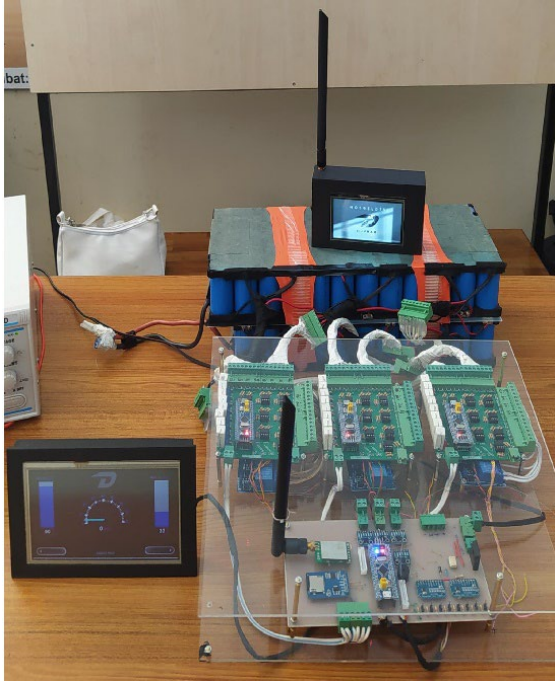
Şekil 9. Master kartı



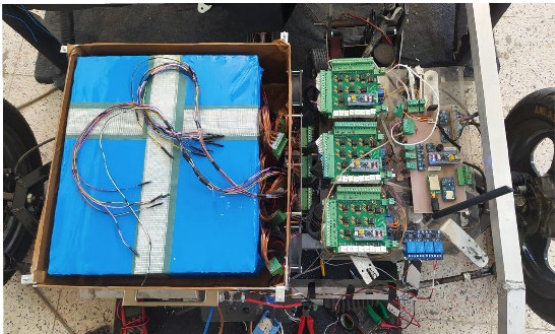
Şekil 10. Slave şematik tasarımı

2.2. Batarya Yönetim Sisteminin Entegrasyonu

Entegre edilmiş batarya yönetim sistemi ve elektrikli araç üzerindeki montajı, Şekil 11’de verilmiştir. Buna göre, Master kart ve Slave kartların entegrasyonu ile birlikte batarya hücrelerinin şarj, hücre gerilim kontrolü, kablosuz haberleşme ve veri depolaması gibi işlemler başarıyla gerçekleştirilmiştir. Daha sonra entegre edilmiş Master-Slave kartları elektrikli araca uygun bir şekilde yerleştirilmiş ve araç üzerinde test edilmiştir. Elde edilen bulgular Bölüm 3’te verilmiştir. Bu batarya yönetim sistemi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi bünyesinde üretilmiş ve Teknofest Uluslararası Efficiency Challenge Elektrikli Araç Yarışlarında 2022 ve 2023 yıllarında kullanılmıştır.



(a)



(b)

Şekil 11. a) Entegre edilmiş batarya yönetim sistemi, b) elektrikli araç üzerindeki montajı

3. DENEYSEL BULGULAR

Tasarımı yapılan BYS'nin dengeleme durumları test edilmiştir. Aşırı gerilim sınırları tanımlanmıştır. Aşırı gerilim sınırları Çizelge 2’de verildiği gibi çalıştırılmış ve sınır değerler incelenmiştir.

Çizelge 2. Dengeleme gerilim aralıkları

Parametreler	Değeri	Birimi
Dengeleme Giriş	3.60	Volt
Dengeleme Çıkış	3.40	Volt

Slave kart şarj dengeleme başlangıcı için seri hücrelerdeki gerilim değerleri Çizelge 3’te gösterilmiştir. Tasarımı yapılan Slave kartın aşırı gerilim koruması ve dengeleme sonuçları test edilmiştir. Grafik 1’de verilen Slave kartın seri hücrelerinin gerilim değerleri gözükmemektedir. Seri-2 hücresi 3.60V üzerinde bir gerilim algıladığında dengelemeye giriş için şarj işlemi kesilip, Seri-2 hücresinin geriliminin 3.40 V seviyesine gelene kadar deşarj işlemi yapmıştır.

Çizelge 3. Slave kart şarj dengeleme başlangıcı

Hücre Numaraları	Gerilim değeri (V)	Dengeleme Durumu
1. Seri Hücre	3.29	0
2. Seri Hücre	3.62	1
3. Seri Hücre	3.35	0
4. Seri Hücre	3.25	0
5. Seri Hücre	3.28	0
6. Seri Hücre	3.28	0
7. Seri Hücre	3.25	0
8. Seri Hücre	3.24	0

Çizelge 4’te gösterildiği gibi ilgili seri hücre deşarj işlemi 3.40V gerilim seviyesinin altına düşürdükten sonra tekrar şarj işlemine devam etmesi için işlemciden Master karta CAN-Bus haberleşmesi ile veri aktarılmıştır.

Çizelge 4. Slave kart şarj dengeleme sonrası

Hücre Numaraları	Gerilim değeri (V)	Dengeleme Durumu
1. Seri Hücre	3.26	0
2. Seri Hücre	3.39	0
3. Seri Hücre	3.35	0
4. Seri Hücre	3.20	0
5. Seri Hücre	3.28	0
6. Seri Hücre	3.27	0
7. Seri Hücre	3.25	0
8. Seri Hücre	3.23	0

Slave kart deşarj dengeleme sırası Çizelge 5'te verildiği gibi deşarj işlemi sırasında hücre gerilimleri anlık olarak takip edilerek 3.1 V'da uyarı ve 2.8 V altına düştüğünde ise sistemi kapatma komutu Master kart tarafından verilmektedir.

Çizelge 5. Slave kart deşarj dengeleme sırası

Hücre Numaraları	Gerilim değeri (V)	Sistem Kapatma durumu
1. Seri Hücre	2.86	0
2. Seri Hücre	3.00	0
3. Seri Hücre	2.95	0
4. Seri Hücre	2.80	1
5. Seri Hücre	2.90	0
6. Seri Hücre	2.92	0
7. Seri Hücre	2.85	0
8. Seri Hücre	2.89	0

Batarya paketine konumlandırılan 10 adet sıcaklık sensörünün tepki durumları incelendiğinde 40 °C seviyesine geldiğinde fanlar çalışarak ve 60 °C üstüne çıktığında ise sistemi kapatma komutu Master kart tarafından verilmektedir. Bu durum Çizelge 6'da detaylı bir şekilde gösterilmiştir.

Çizelge 6. Sıcaklığa bağlı olarak fan ve sistem kapatma durumları

Maksimum sıcaklık değeri (°C)	Fan çalışma durumu	Sistem Kapatma durumu
35	0	0
40	1	0
60	1	1

4. SONUÇLAR

Yapılan tasarımda yüksek deşarj, hızlı dengeleme ve maliyet, batarya yönetim sisteminin önemli parametrelerindedir. Tasarlanan sistemin Elektrikli araç yarışlarında yarışan aracımızda kullanılarak çalışması yakından takip edilmiştir. Böylelikle röle anahtarlama bir sistemin otomotiv sektöründe dahi kullanılabilirliği kanıtlanmıştır. Yapılan çalışmada röleli anahtarlama ile kontrolcünün gerçekleştirilen gerilim izleme yöntemi ile batarya hücrelerinin doğru zamanda 3.6 V değerinde dengelemeye alarak 2.8 V değerinde de bataryaların ömrünü uzun tutmak amacıyla sistemin kapatılması gerçekleştirilmiştir. Kapladığı alan ve büyüklüğünden dolayı gerçekleştirilen batarya yönetim sistemi için iyileştirmeye gidilebilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, 1919B012215008 nolu 2209-A projesi altında TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir. Bu çalışmanın ortaya çıkmasında verdiği destekten ötürü TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Guran, I.C., Perisoara, L.A., Florescu, A., Sacaleanu, vD.I., "4-Cell passive battery management system for automotive applications", 2021 IEEE 27th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME), Pages 338-341, Timisoara, Romania, 2021.
- Aktaş, M., Baygüneş, B., Kıvrak, S., Çavuş, B. & Sözen, F. (2020). Elektrikli Araç İçin Düşük Maliyetli Bir Batarya Yönetim Sistemi Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Ejosat Özel Sayı 2020 (HORA), 227-238.
- Soydaş, Ş., "Lityum tabanlı batarya paketleri için batarya yönetim sistemi tasarımı", Master's thesis, Karabük Üniversitesi, Karabük, 2015.
- Perisoara, L.A., Guran, I.C., Costache, D.C., "A passive battery management system for fast balancing of four LiFePO4 cells", 2018 IEEE 24th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME), Pages 390-393, Iasi, Romania, 2018.
- Kıvrak, S., Özer, T., Oğuz, Y., "STM32f103C8 mikroişlemcisi kullanılarak elektrikli araçlar için pasif dengeleme metodu tabanlı batarya yönetim sistemi tasarımı ve uygulaması", Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering, Cilt 20, Sayı 3, Sayfa 426-433, 2020.
- Dai, H., Zhang, X., Wei, X., Sun, Z., Wang, J., Hu, F., "Cell-BMS validation with a hardware-in-the-loop simulation of lithium-ion battery cells for electric vehicles", International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol. 52, Pages 174-184, 2013.
- Menak, R., Karadağ, T., Altuğ, M., Tan, N., "Elektrikli araçlarda batarya yönetim sistemleri üzerine bir derleme çalışması", Gazi University Journal of Science Part A: Engineering and Innovation, Cilt 8, Sayı 2, Sayfa 234-275, 2021.
- Özdemir, M.C., "Li-ion batarya karakterizasyonu, modellemesi ve batarya yönetim sistemi tasarımı", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2017.
- İnan, R., Güçkiran, M., Altinişik, Y.E., Tek, S. Potuk, M., "Elektrikli araçlar için iyileştirilmiş pasif

dengeleme yöntemi ile tasarlanan batarya yönetim sisteminin gerçek-zamanlı uygulaması”, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 38, Sayı 3, Sayfa 1757-1768, 2023.

10. Saleh Y.B., Kürüm, H., “Design of energy management system base on lithium-ion battery”, European Journal of Science and Technology, Özel Issue 28, Pages 1144-1151, 2021.

11. SoliCELL, “Specifications for Product 32700 LiFePO4 6000mAh Lithium-Ion Rechargeable Cell”, <https://docs.tuyap.online/FDOCS/39736.pdf>, Aralık 29, 2021.

12. Turğut, M., “elektrikli araçlar için batarya yönetim sistemi tasarımı ve geliştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi. Karabük Üniversitesi, Karabük, 2018.

13. Anonim, “STM32F103 Blue Pill Bootloader Yükleme (Arduino)”, <https://aattk.net/stm32f103-blue-pill-bootloader-arduino/>, Ekim 18, 2019.

14. Bae, J. H., Zhiguo, B., Koo, B. J., Kim, H. R., Jang, D.G., “The CAN communication application on the BMS”, 2013 International Conference on ICT Convergence (ICTC), Pages 1140-1145, Changwon-si, 2013.

15. Kumar, K., “LM358 IC and Its Applications”, <https://www.hnhcart.com/blogs/learn/lm358-ic-and-its-applications>, Ocak 15, 2022.

16. Lee, Y., Lin, C., Farooqui, S. A., Liu, H., Ahmad, J., “Validation of a balancing model based on master-slave battery management system architecture”, Electric Power Systems Research, Vol. 214, Part A, 2023.

17. Manenti, A., Abba, A., Mareti, A., Savaresi, A. M., Geraci, A., “A New BMS Architecture Based on Cell Redundancy” IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 58, Issue. 9, 2011.