



*ARAŞTIRMA MAKALESİ (Research Article)*

**ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN BATARYA YÖNETİM SİSTEMİNİN SOĞUTMA SİSTEM TASARIMI VE KONTROLÜ**

Murat TÖREN<sup>1,\*</sup>, Hakkı MOLLAHASANOĞLU<sup>2</sup>, Salih Muhsin KAYA<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Rize, [murat.toren@erdogan.edu.tr](mailto:murat.toren@erdogan.edu.tr), ORCID: 0000-0002-7012-7088

<sup>2</sup> Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Rize, [hakki.mollahasanoglu@erdogan.edu.tr](mailto:hakki.mollahasanoglu@erdogan.edu.tr), ORCID: 0000-0001-6233-9198

<sup>3</sup> Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Rize, [salihmuhsin\\_kaya17@erdogan.edu.tr](mailto:salihmuhsin_kaya17@erdogan.edu.tr), ORCID: 0000-0002-9720-4223

*Geliş Tarihi(Received Date):18.07.2022*

*Kabul Tarihi(Accepted Date): 05.08.2022*

**ÖZ**

Elektrikli araç teknolojisinin gelişen otomotiv endüstrisi içerisindeki yeri her geçen gün artmaktadır. Bu araçların çalışma sistemleri içerisinde batarya yönetim sistemleri (BYS) ve bunların çalışması önemlidir. Bu çalışma kapsamında 18650 Li-iyon şarjlı ve uzun ömürlü olarak bilinen piller kullanarak yerli imkânların kullanıldığı özgün bir batarya paketi tasarlanmıştır. Tasarlanan bu batarya paketi 21 adet pilden oluşmaktadır. Batarya paketinin gerekli bağlantıları yapıldığında 11.1 V gerilim değerine sahip 10500 mAh kapasitede çalışan batarya paketi üretilmiştir. Tasarımda batarya paketinin çevresi yanmaz malzeme kaplanarak, aşırı ısınma ve alev alma gibi problemlerin önüne geçilmesi amaçlanmıştır. Tasarlanan bu batarya paketinin sağlıklı bir şekilde deşarj ve şarj olabilmesi için batarya yönetim sistemi özgün şekilde kontrol edilebilir olarak tasarlanmıştır. Batarya paketindeki hücre sayısını otomatik algılayarak özel dengeleme algoritması sayesinde şarj boyunca sürekli olarak dengeleme işlemi yapması, şarjın durumu ve batarya hücrelerinin sağlık durumunun izlenmesi, batarya paketinin sıcaklığının izlenmesi için sıcaklık sensörü ve harici olarak takılabilen sıcaklık sensörü girişi ile batarya paketinin sıcaklık kontrolü yapılmıştır. Farklı test koşullarında yapılan sıcaklık kontrollerinde, çift fanlı alüminyum soğutucu kullanılarak, BYS'nin daha uzun ömürlü olması sağlanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** *Batarya yönetim sistemi, BYS, Li-iyon, Balans, Batarya*

**COOLING SYSTEM DESIGN AND CONTROL OF BATTERY MANAGEMENT SYSTEM OF ELECTRIC VEHICLES**

**ABSTRACT**

The place of electric vehicle technology in the developing automotive industry is increasing daily. Battery management systems (BMS) and their operation are essential among the working systems of these vehicles. Within the scope of this study, a unique battery pack was designed, using local

resources, by using 18650 Li-ion charged and long-lasting batteries. This designed battery pack consists of 21 batteries. When the necessary connections of the battery pack are made, a battery pack with a voltage of 11.1 V and a capacity of 10500 mAh has been produced. The design is aimed to prevent problems such as overheating and ignition by covering the battery pack with non-combustible material. For this designed battery pack to be discharged and charged healthily, the battery management system has been designed as controllable uniquely. By automatically detecting the number of cells in the battery pack and using a special balancing algorithm, the temperature of the battery pack is controlled using a temperature sensor and an externally attachable temperature sensor input for balancing continuously during the charge, monitoring the state of charge and the health of the battery cells, monitoring the temperature of the battery pack. In temperature controls made under different test conditions, BMS's longevity was ensured using an aluminium heatsink with double fans.

**Keywords:** *Battery management system, BMS, Li-ion, Balance, Battery*

## 1. GİRİŞ

Dünyada fosil yakıtların kullanımı nüfus yoğunluğunun artmasıyla her geçen gün artmakta ve bu durum çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Bu endişe verici durumun yanında fosil yakıt rezervlerinin de sınırlı olması içten yanmalı motorlar yerine farklı alternatif arayışlarını ortaya çıkarmıştır. Alternatif arayışların başında kimyasal enerji depolayan bataryalar enerji kaynağı olarak ortaya çıkmaktadır. Pil grupları, süper kapasitör veya yakıt pilleri başlıca enerji kaynaklarıdır. Yakıt pilli elektrikli araçlar çok düşük emisyonlu olmasına rağmen yakıt pili ve hidrojen teknolojisi başlıca sorunlarıdır [1]. Diğer pil teknolojilerine kıyasla lityum iyon piller yüksek anma voltajı, yüksek enerji yoğunluğu, uzun ömrü ve hafıza etkisinin bulunmaması gibi önemli avantajlara sahip olmasından dolayı daha çok tercih edilmektedir [2]. Lityum iyon pillerin güvenliği ve performansı doğrudan batarya yönetim sistemine bağlıdır. Batarya yönetim sistemi (BYS) kısaca veri toplama, veri yorumlama ve dengeleme işleminin yapıldığı ünitedir. BYS'nin en önemli görevi pil şarj durumunu izleyerek pilin şarj/deşarj işleminin dengeli bir şekilde gerçekleşmesini sağlamaktır. Böylece BYS pilin aşırı şarj/deşarj durumunun önüne geçerek pil performansını arttırmaktadır [3]. Günümüzde BYS alanında yapılan çalışmalar elektrikli araçların güvenliği açısından büyük önem arz etmektedir. X. FAN ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, pil takımı tutarlılığı üzerine GMM ve GAN adı verilen iki yöntem denemışlerdir. Yapılan çalışma sonucunda, terminal voltajı için % 0,6'dan az ve enerji kullanım verimliliği için %0,3'ten az olup, pil parametrelerinin dağılımına uymada GAN tutarlılık modelinin avantajlarını kanıtlamışlardır [4]. Yapılan diğer bir çalışmada, hibrit batarya termal yönetim sistemleri (BTMS) için yeni bir tasarım önerilerek ekonomik ve mühendislik perspektiflerinden değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmede, hibrit soğutma sisteminin paket seviyesindeki termal performansı, hücreden hücreye değişim göz önünde bulundurularak araştırılmıştır. İki taraflı soğuk plakalara sahip bir hibrit soğutma sisteminin, maksimum sıcaklığı 64° C'den 46.3° C'ye düşürebileceği gözlemlenen çalışmada hücrelerin sıcaklık farkını istenen aralıkta yönetebildiği sonucunu belirlemişlerdir [5]. Pil tabanlı sistemler için yapılan diğer bir çalışmada, pasif ve aktif dengeleme yöntemlerine dayalı özgün bir pil yönetim sistemi devre topolojisi oluşturulmuştur. Uygulanan çalışmada pasif ve aktif tabanlı deney sistemleri olarak ayrı ayrı testler yapılmış, pasif dengeleme modunda 16 dakika sonra hücrelerde yaklaşık 0.140 V gerilim artışı gözlemlenmiş, aktif dengeleme modunda ise 14 dakika sonra 0.155 V gerilim artışı 0.155 ölçülmüştür. Böylece çalışma sonucunda aktif ve pasif dengeleme devre yapıları birleştirilmiş ve yeni bir devre topolojisi tanıtılmışlardır [6]. Başarılı bir BMS'de, Dutta ve arkadaşları tarafından yapılmıştır. BMS'nin güvenlik, koruma, şarj tahmini dahil akü yönetimi, akünün ile aracın etkin ve sorunsuz çalışması için hücre dengeleme dahil gerçekleştirilmesi gereken birçok işlevinden bahsettikleri

çalışmada, 3 seviyeli BMS için bir prototip tasarlamış ve gerçekleştirmişlerdir. Yazılım aracı olarak MATLAB/Simulink, proteus ve Arduino IDE kullanılmaktadır [7]. BYS'lerde kullanılan piller hakkında yapılan bir çalışmada, Li-iyon pil sistemlerinin güvenlik tehditleri, tasarım aşamasında BMS geliştiricileri tarafından genellikle göz ardı edildiğinden, BMS geliştiricileri için bir siber güvenlik referansı olarak kullanılacak BYS'lerde mevcut blok zinciri teknolojisinin benimsenmesini tartışmaktadırlar. BYS'leri kötü niyetli siber-fiziksel saldırılardan korumayı ve siber-fiziksel ortamlarda çok sayıda uygulama için pil sistemlerinin güvenli kullanımını sağlaması gerektiği belirlenmiştir[8].

Bu çalışmada ise hem şarj hem deşarj işleminde bataryanın eşit dolmasını ve eşit boşalmasını sağlayan, balansız bir BYS sistemi tasarlanıp, gerçekleştirilmektedir. Bu tasarım ile Batarya paketi üzerinde aşırı gerilim ve düşük gerilimin kontrolü, kısa devre kontrolü şarj deşarj modunda aşırı akım kontrolü, şarj ve deşarj modu için sıcaklık ölçümleri, hücreler arasındaki maksimum voltaj kontrolünün yapılması sağlanacaktır. Bu işlemler yapılırken aşırı ısınmanın BYS'ni olumsuz etkilememesi için çift fanlı alüminyum soğutma sistemi tasarlanmıştır. Batarya paketindeki hücre sayısını otomatik algılayarak özel dengeleme algoritması sayesinde şarj boyunca sürekli olarak dengeleme işlemi yapması, şarjın durumu ve batarya hücrelerinin sağlık durumunun izlenmesi, batarya paketinin sıcaklığının izlenmesi için sıcaklık sensörü ve harici olarak takılabilen sıcaklık sensörü girişi ile batarya paketinin sıcaklık kontrolü yapılmıştır. Bu aşamalar kullanıcıya LCD ekran ile gösterilerek kullanıcıya kolaylık sağlanmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT

Günümüzde farklı anma gerilimi ve enerji yoğunluğuna sahip çeşitli pil teknolojileri bulunmaktadır. Bu teknolojiler üzerine çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Elektrikli araçlarda yaygın olarak kullanılan ve araştırma aşamasında olan pil teknolojileri ve özellikleri Tablo 1'de verilmiştir [9].

**Tablo 1.** Elektrikli araçlarda kullanılan pil teknolojileri ve özellikleri.

Pil Türü	Nominal Gerilim (V)	Enerji Yoğunluğu (Wh/kg)	Çalışma Sıcaklığı (°C)
Pb-asit	2	35	-15, +50
NiCd	1.2	50-80	-20, +50
NiMH	1.2	70-95	-20, +60
Zebra	2.6	90-120	+245, +350
Li-iyon	3.7	118-250	-20, +60
LiPo	3.7	130-225	-20, +60
LiFePO4	3.2	120	-45, +70
Zn-hava	1.65	460	-10, +55
Li-S	2.5	350-650	-60, +60
Li-hava	2.9	1300-2000	-10, +70

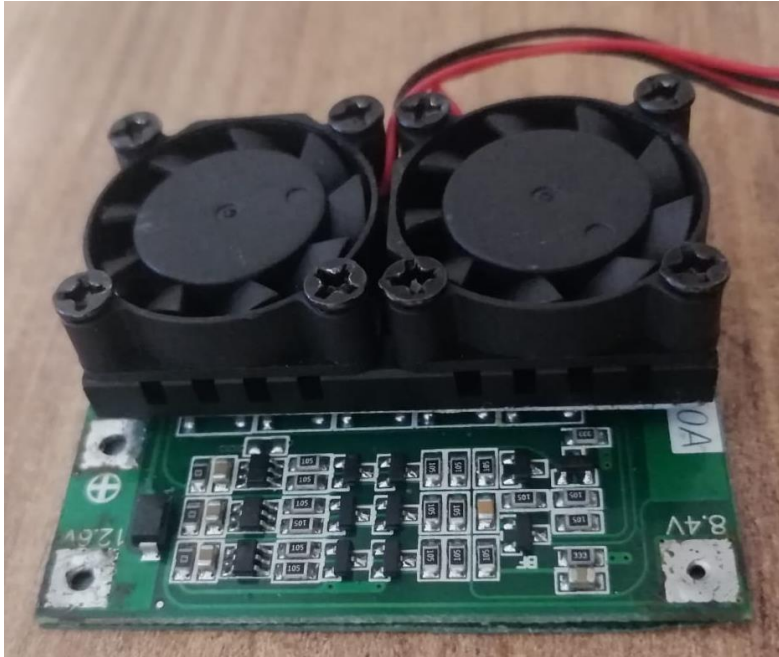
Bu çalışmada kullanılan batarya paketi oluşturmak için Li-iyon pil kullanılmıştır. Peki, neden Li-iyon pil? Lityum iyon pillerde pozitif elektrot olarak diğer materyallere göre düşük toksit, yüksek kapasite ve ucuz olması avantajı ile lityum metal oksitler kullanılmaktadır. Lityum iyon pil teknolojisi nikel tabanlı pil teknolojilerinden farklı özelliklere sahiptir. Nikel tabanlı pil gruplarına göre daha yüksek gerilim voltaj ve daha yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir. Kısa sürede kapasite kaybına uğramazlar. Daha az bakım gerektirirler. Bu piller, yanlış kullanımda tehlikeli olabilmektedirler [10].

Lityum iyon piller içerisinde yüksek kapasite barındırdığı için dikkatlice şarj edilmeli ve korunmalıdırlar. Çalışmayı yaparken kullanılan materyalleri ve yöntemleri ayrıntılı olarak açıklayın. Farklı kaynaklardan yaptığınız alıntılar referanslarda verilmeli ve kaynak gösterilmelidir.

### **2.1. Batarya Yönetim Sistemi (BYS)**

Batarya yönetim sistemi (BYS) bir pil takımının beyni olarak tanımlanabilir. BYS, pilin tüm performansını izleyen ve yöneten elektronik sistemdir. En önemlisi, pilin güvenlik sınırlarının dışında çalışmasını engellemektedir. Bu nedenlerle BYS, pilin güvenli çalışması, genel performansı ve uzun ömürlülüğü için kritik öneme sahiptir. BYS'nin birincil işlevi, pil hücrelerini aşırı şarj veya aşırı deşarjdan kaynaklanan hasarlardan korumaktır. Ek olarak, BYS kalan şarjı hesaplar, pilin sıcaklığını izler, gevşek bağlantılar ve dâhili kısa devreleri kontrol ederek pilin sağlık ve güvenliğini izler. BMS ayrıca her hücrenin maksimum kapasitede çalışmasını sağlamak için hücreler arasındaki yükü dengelemektedir. BMS ayrıca pilde kalan şarjı da izler. Pil paketine giren ve çıkan enerji miktarını sürekli olarak takip eder ve hücre voltajlarını izler. Pilin ne zaman boşaldığını bilmek için bu verileri kullanır ve pili kapatır. Bu nedenle lityum iyon piller kurşun asit gibi ölme belirtileri göstermezler, sadece kapanırlar.

Bu çalışmada 3S 40A BYS kartı kullanılmaktadır. BYS kartı üzerinde bulunan MOSFET yarıiletkenleri alüminyum soğutuculu çift fanlı sistem ile soğutulmaktadır. Batarya paketi ile montajı yapılan BYS kartının üzerine yerleştirilen alüminyum soğutuculu çift fanlı sistem Şekil 1'de verilmektedir.



**Şekil 1.** Alüminyum soğutuculu çift fanlı BYS kartı.

## 2.2. Metot

Yapılan çalışmada, pil paketini oluşturmak için 21 adet 1500 mAh, 3.7 V, ve 18650 Li-iyon şarj edilebilir pil kullanılmaktadır. Pillerin sabit ve sağlam bir şekilde sıralanması için ürün tasarımı ve üretim için bulut tabanlı 3B CAD, CAM ve PCB yazılım platformu olan Fusion 360 programı ile tasarlanan pil yatağının görüntüsü Şekil 2’de verilmektedir.



Şekil 2. Tasarlanan pil yatağı.

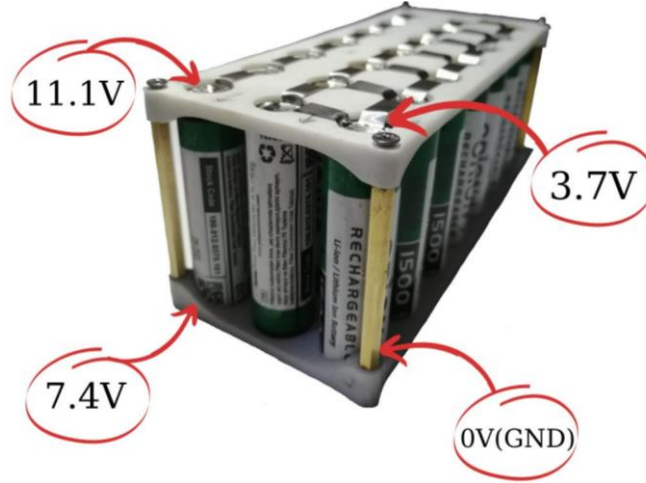
21 adet pil, yatak üzerinde bulunan ve pil çapıyla eşit olan yuvalarına teker teker yerleştirilmiştir. Üst kapak kapatılıp 50 mm M3 Metal dişi-erkek aralayıcı ile montajı tamamlanmıştır. Montajı yapılan pil paketi aşağıdaki Şekil 3’te verilmektedir.



Şekil 3. Montajı tamamlanan pil paketi.

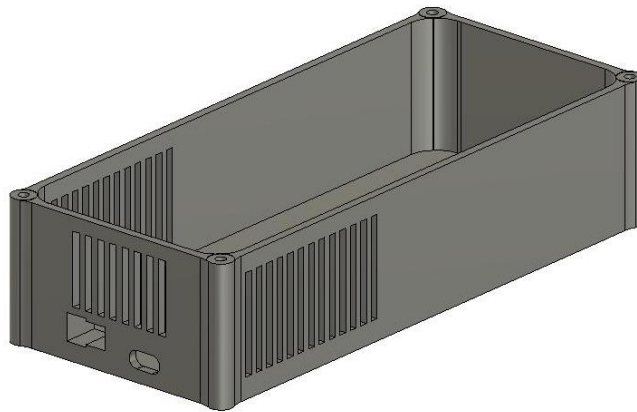
Pil paketi oluşturulduktan sonra 7 pil birbirine paralel kendi içerisinde grup olacak şekilde bağlantısı yapılmıştır. Bu 7’li gruplar kendi arasında 1 adet hücreyi oluşturmaktadır. Bu işlem ile 3.7 V 10500 mAh pil oluşturulmuştur. Oluşturulan 3 adet 7’li pil grubu seri şekilde bağlanarak 11.1 V pil paketi oluşturulmuştur. Pillerin bağlantısı için 0.20 x 6 mm nikel şerit tel kullanılmıştır. Nikel şerit telin bağlantılarını lehim ile yapmak yerine punto kaynak makinesi ile yapılmıştır. Pillerin aşırı ısınıp

kimyasal yapısının bozulmaması ve daha sağlam bir bağlantı olması için punto kaynak makinesi kullanılmıştır. Bağlantılar sonrasında pil paketinin 4 çıkışı olmaktadır. Bu çıkışlar (0 V (GND), 3.7 V, 7.4 V, 11.1 V), Şekil 4’te verilmektedir.



**Şekil 4.** Pil paketi çıkış gerilimleri.

Oluşturulan pil paketinin kısa devre olmasını engellemek için bağlantı yüzeyleri yapışkanlı yalıtkan conta kâğıdı ile kaplanmıştır. Tamamlanan batarya paketini sağlıklı bir şekilde şarj ve deşarj etmek için BY5 kartı ile bağlantıları yapılmıştır. BY5 kartı, soğutucu fan, işlemci ve sensörlerin bağlı olduğu devre kartı ile LCD ekranın birleştirildiği kasa Fusion 360 programı üzerinde tasarlanmış 3D yazıcı ile çıktıları alınmıştır. Tamamlanan batarya paketini sağlıklı bir şekilde şarj ve deşarj etmek için BY5 kartı ile bağlantıları yapılmıştır. BY5 kartı, soğutucu fan, işlemci ve sensörlerin bağlı olduğu devre kartı ile LCD ekranın birleştirildiği kasa Fusion 360 programı üzerinde tasarlanmış 3D yazıcı ile çıktıları alınmıştır. Üretilen kasanın görüntüsü Şekil 5’te verilmektedir.



**Şekil 5.** BY5 kartı ile işlemci kartı için tasarlanan mahfaza.

Batarya yönetim sisteminin bileşenleri olan fanlar, işlemci ve LCD ekranın beslenmesi için BYS kartının çıkışından alınan 12 V gerilim aşağıda tasarlanan devre ile 5 V gerilim değerine düşürülmüş ve bu gerilim ile fanlar, işlemci ve LCD ekran beslenmiştir. Sensörlerin giriş ve çıkışlarının BYS kartı ile bağlantıları yapılmıştır. İşlemci ile LCD ekranın bağlantıları yapıp BYS sistemi tamamlanmıştır. BYS sisteminin genel görünümü Şekil 6'da verilmektedir.



**Şekil 6.** Tasarlanan BYS sisteminin genel görünümü.

### 3. BULGULAR

Bu çalışmada, tasarlanan batarya paketi ile BYS kartının montajı yapılarak, Tablo 2'de verilen test koşullarında ölçümler gerçekleştirilmiştir. Tablo 2'de verilen test koşullarını sağlamak için, yüksek akım taşıma kapasitesine sahip dirençler tercih edilmiştir. Söz konusu direnç değerleri ve harcanan güç miktarları da Tablo 2'de verilmektedir.

**Tablo 2.** Test koşulları.

Deşarj Süresi (sn)	Gerilim (V)	Akım (A)	Direnç ( $\Omega$ )	Harcanan Güç (W)
60	12	15	0.8	180
60	12	20	0.6	240
60	12	25	0.48	300
60	12	30	0.4	360
60	12	40	0.3	480

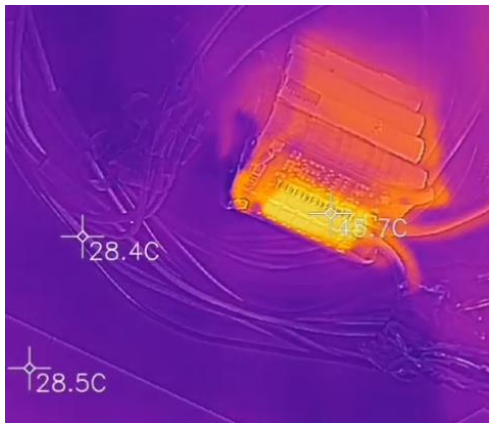
Tablo 2'de verilen test koşulları için, sistemden çekilen farklı akım değerinde BYS kartının sıcaklık ölçümleri, termal kamera ile gerçekleştirilmiştir. Bu BYS kontrol kartından araç için çekilen akım değerleri 15 A ile 40 A arasında değişken değerler aldığıında harcanan güç dolayısıyla da transfer edilmesi gereken ısı artmaktadır. Her bir akım değeri için elde edilen sıcaklık ölçümleri Şekil 7 ve Tablo 3'te verilmektedir.

**Tablo 3.** Test koşulları uygulandığında BYS kartı üzerinde oluşan sıcaklık değerleri.

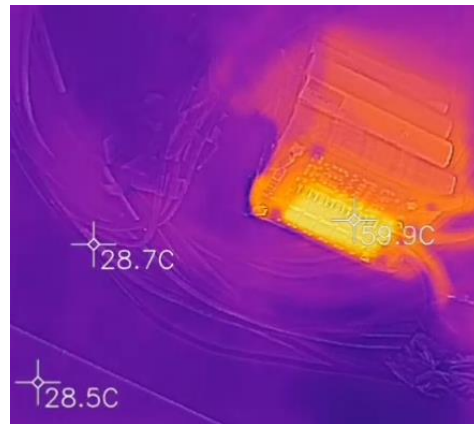
Deşarj Süresi (sn)	Gerilim (V)	Akım (A)	Oluşan Sıcaklık Değeri ( $^{\circ}\text{C}$ )
60	12	15	45.7
60	12	20	59.9
60	12	25	73.2

*Tören, vd., Journal of Scientific Reports-B, Sayı 5, 11-21, Haziran 2022.*  
*Tören, et al., Journal of Scientific Reports-B, Number 5, 11-21, June 2022.*

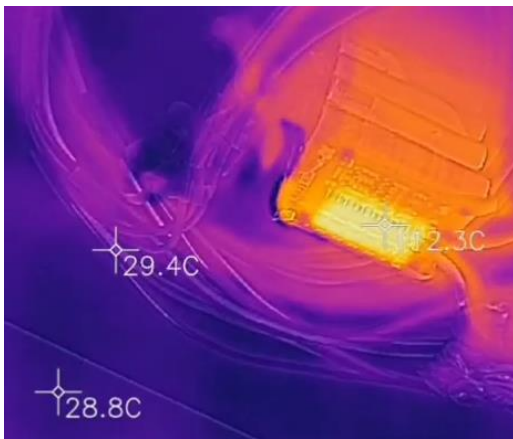
<b>60</b>	12	30	112.3
<b>60</b>	12	40	141.3



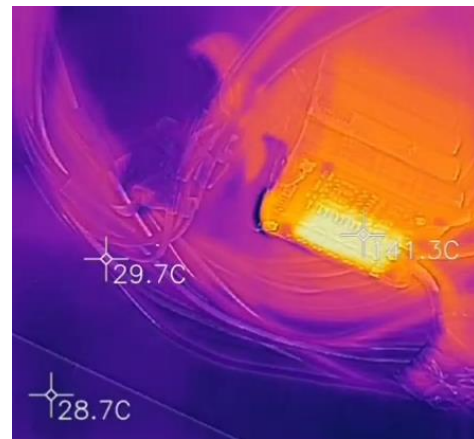
(a) 15 A



(b) 20 A

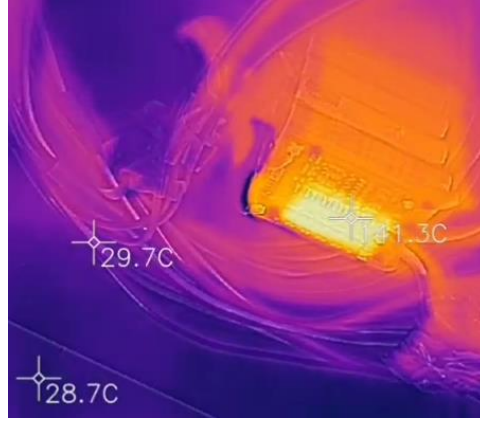


(c) 25 A



(d) 30 A

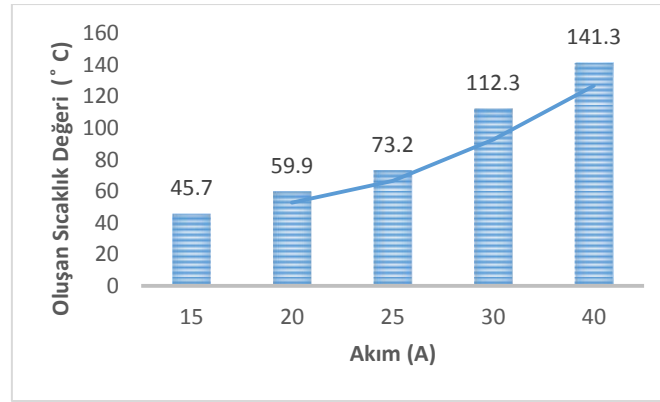




(e) 40 A

**Şekil 7.** BYS kartı üzerinde oluşan sıcaklığın termal kamera ile görüntüsü.

Şekil 7 ve Tablo 3 'te görüldüğü gibi, BYS 'den görülen akım değeri artışı sistem içerisindeki sıcaklığı da arttırmaktadır. Sistemde Tablo 3 'e göre 15 A 'de 45,7 °C sıcaklık oluşuyor iken, 30 A akım çekildiğinde sıcaklık değeri 141,3°C olmaktadır. Akım iki kat artsa da sıcaklık değerinin 3,09 kat arttığı belirlenmektedir. Bu değişim, Şekil 7'de grafik olarak gösterilmektedir.



**Şekil 8.** BYS kartı üzerinde oluşan sıcaklığın, akım değerleri ile değişimi.

Bu durum ısının transferinin ne kadar gerekli olduğunu göstermektedir. Tasarlanan sistemde sıcaklık sensörünün +40 derece üzerinde ölçüm almaya başlaması ile MOSFET'ler üzerinde bulunan özgün tasarımı üretilen çift fan kullanılan alüminyum soğutuculu sistem devreye girmektedir. Böylece yüksek sıcaklıkların önüne geçilmektedir. Böylelikle BYS kartının nominal değerlerde çalışması sağlanmış olup, BYS kartının yüksek sıcaklıklarda oluşabilecek olumsuzlukları giderilmiş, BYS kartının daha uzun ömürlü olmasını sağlanmaktadır.

Ayrıca, BYS kartı ile bağlantısı yapılan batarya paketinde şarj ve deşarj işlemi uygulanmıştır. Her bir hücrenin deşarj ve şarj gerilimleri ölçülmüştür. Deşarj işleminde batarya yönetim sistemi her bir

hücreyi 2.7 V gerilimde kapatmaktadır. Batarya tekrar şarj edildiğinde batarya yönetim sistemi her bir hücreyi 4.2 V gerilim değerinde şarj işlemini sonlandırmaktadır.

#### **4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR**

Li-iyon piller, uzun ömürlü olmalarından dolayı, çoğu endüstriyel sistemde tercih edilmektedir. Bu çalışmada, Li-iyon pillerin özgün bir şekilde paketlenmesiyle, elektrikli araçlar için BYB tasarlanmaktadır. Ayrıca BYB 'de görülen gerilim değerleri ve BYB kartı üzerinde oluşacak sıcaklık LCD ekranda görüntüleyerek batarya paketinin sağlıklı çalıştırılması ve uzun ömürlü olması sağlanmıştır. Bu tasarım ve sistemler ile, BYB kartı üzerinde bulunan yüksek akım değerlerinde oluşan ayrıca, elektrikli araç için de oluşabilecek sıcaklık değerlerinin transfer edilerek, araç sisteminin nominal değerde çalışması sağlanabilmektedir. Ayrıca Li-iyon kullanılmasıyla sistemin BYB ve enerji üretim kısımlarında toksit oluşturma olasılığının düşürülmesi, maliyet azalımı ve yüksek gerilim ile enerji yoğunluğu elde edilmesi sağlanmaktadır.

#### **TEŞEKKÜR**

Araştırmamızın uygulama aşamasındaki laboratuvar desteği için, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölüm Başkanlığına teşekkür ederiz.

#### **KAYNAKÇA**

- [1] Frieske, B., Kloetzke, M. ve Mauser, F., (2013), Trends in vehicle concept and key technology development for hybrid and battery electric vehicles, World Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS27), 1-12.
- [2] Khaligh, A. ve Li, Z., (2010), Battery, Ultracapacitor, Fuel Cell, and Hybrid Energy Storage Systems for Electric, Hybrid Electric, Fuel Cell, and Plug-In Hybrid Electric Vehicles: State of the Art, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 59, 2806-2814.
- [3] Bowkett, M., Thanapalan, K., Stockley, T., Hathway, M. ve Williams, J., (2013), Design and implementation of an optimal battery management system for hybrid electric vehicles, 19th International Conference on Automation and Computing, 1-5.
- [4] Fan, X., Zhang, W., Sun, B., Zhang, J. ve He, X. (2022), Battery pack consistency modeling based on generative adversarial networks. Energy, 239, 122419.
- [5] Wang, R., Liang, Z., Souri, M., Esfahani, M.N. ve Jabbari. M. (2022), Numerical analysis of lithium-ion battery thermal management system using phase change material assisted by liquid cooling method. International Journal of Heat and Mass Transfer, 183.
- [6] Kıvrak, S., Özer, T., Oğuz, Y. ve Kelek, M.M. (2021), Novel active and passive balancing method-based battery management system design and implementation. J. Power Electron. 21, 1855–1865.
- [7] Dutta B., Jaiswal S., Phatarpekar V., Tayal V.K., Singh H.P. (2022), Design and Implementation of a 3 Level Battery Management System (BMS) for an Electric Vehicle. In: Natarajan S.K.,

*Tören, vd., Journal of Scientific Reports-B, Sayı 5, 11-21, Haziran 2022.*  
*Tören, et all., Journal of Scientific Reports-B, Number 5, 11-21, June 2022.*

---

Prakash R., Sankaranarayanan K. (eds) Recent Advances in Manufacturing, Automation, Design and Energy Technologies. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Singapore.

- [8] Kim, T., Ochoa, J., Faika, T., Mantooth, A., Di, J., Li, Q. and Lee, Y. (2020), An overview of cyber-physical security of battery management systems and adoption of blockchain technology. IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics.
- [9] Yong, J. Y., Ramachandramurthy, V. K., Tan, K. M., ve Mithulananthan, N. (2015), A review on the state-of-the-art technologies of electric vehicle, its impacts and prospects. Renewable and sustainable energy reviews, 49, 365-385.
- [10] Çetin, M. S., Karakaya, B., ve Gençoğlu, M. (2021). Elektrikli araçlar için lityum iyon bataryaların modellenmesi. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 33(2), 755-763.