

## A Study in Enhancing Battery Management Systems for Diverse Battery Types

Sami Melih Öztürk <sup>a,1</sup>, Ahmet Çifci <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Fen Bilimleri Enstitüsü, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Burdur, Türkiye  
ORCID ID: 0009-0009-9054-7483

<sup>b</sup> Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Burdur, Türkiye  
ORCID ID: 0000-0001-7679-9945

---

### Abstract

The rapid advancement of battery technology has led to an increasing interest in the utilization of various battery types for a wide range of applications. To optimize the performance, efficiency, and safety of these batteries, the implementation of an effective battery management system is imperative. Within the scope of this study, the battery management system responsible for overseeing the management of battery packs in electric vehicles is examined in terms of its utilization for monitoring fundamental conditions such as current, voltage, and temperature of batteries. Furthermore, the applicability of this battery management system in different types of battery packs is evaluated. With the aim of advancing the sustainability and efficiency of management systems capable of overseeing single-type batteries, the focus of attention lies in the capacity to manage diverse battery types. The developed battery management system is subject to testing on a variety of battery types, thereby investigating the methods by which these batteries can be optimally managed. The resultant data is collected within a computer-based environment, and analyses are conducted to derive findings from this information. This study illustrates the adaptability of the battery management system to varying current, voltage, and temperature parameters, enabling its effective deployment across different battery types. In this context, the potential to mitigate environmental pollution is envisioned through the implementation of more sustainable battery management systems.

**Keywords:** “Battery management system, electric vehicles, lithium batteries, sustainability.”

---

### 1. Giriş

Günümüzde, üç farklı çeşitte araç teknolojisi görülmektedir: İçten yanmalı motorlu araçlar, hibrit elektrikli araçlar ve tümü elektrikli araçlar [1]. Elektrik enerjisi yakıt olarak kullanıldığında ulaşım daha çevreci, daha ekonomik ve daha sessiz olmaktadır. Yaygınlaşan elektrikli araç teknolojileri ile beraber batarya yönetim sistemleri ve şarj edilebilir batarya teknolojileri üzerinde çalışılan önemli konulardan olmaya başlamıştır [2]. Batarya yönetim sistemleri, batarya ömrünü ve verimliliğini arttırmak için batarya sağlığını korumaya yönelik kullanılmakta olan batarya paketinin bir parçasıdır [3-5]. Batarya sağlığı açısından ciddi önem taşıyan değerler olan akım, gerilim ve sıcaklık gibi verileri şarj ve deşarj işlemleri sırasında kontrol ederek okur ve bu konuda batarya üzerinde müdahalelerde bulunur. Gerektiği an ve durumlarda şarj cihazından veya yükten batarya paketinin ayrılmasını sağlayarak bataryanın korunmasını sağlar [6]. Şarj ve deşarj yapılırken bataryaların hücre gerilimleri arasında farklılıklar oluşmaktadır. Batarya yönetim sistemi yapacağı gerilim dengeleme işlemi ile zamanla batarya hücre gerilimleri arasında oluşan farkı dengeler [7].

Gelecekte önem verilen çalışma alanlarından birinin bataryalar ve batarya yönetim sistemleri olacağı açık bir biçimde görülmektedir. Bu durum özellikle elektrikli araçların adedinde görülen artışla kaçınılmaz bir hal alacaktır. Otomotiv endüstrisi, şu anki araç teknolojilerinde bulunan çevre kirliliği, petrole bağımlılık, verimlilik ve enerji tüketimi benzeri sebeplerden ötürü son zamanlarda elektrikli araç teknolojilerine daha fazla yatırım yapmaya başlamıştır [8]. Elektrikli araç teknolojileri hakkındaki çalışmalara bakıldığında yaşanan sıkıntıların büyük bir kısmının bataryalar ile bağlantılı olduğu görülmektedir. Bataryaların en önemli sorunları kontrol edilmediklerinde patlama risklerinin bulunması ve sınırlı ömürleridir. Bu sorunlar çözüme kavuşturulması gereken başlıca unsurlardır. Bu sebepten ötürü bataryaların daha verimli çalışmaları ve uzun ömürlü olmaları etkili bir batarya yönetim sistemine bağlıdır [8]. Batarya yönetim sistemi sayesinde batarya sistemi daha uzun ömürlü olur ve batarya sisteminin daha güvenli ve sağlıklı bir biçimde kullanılması sağlanır. Bataryaların şarj seviyelerinin doğru bir biçimde saptanması şarj bilgisi bakımından oldukça yüksek önem göstermektedir [9].

---

<sup>1</sup> Corresponding Author  
E-mail Address: s.melih.oztr@gmail.com

Bataryalardan çekilen akım miktarının belirlenmiş sınırlarına özen gösterilmesi gerekir. Bu akım miktarı, bataryanın türü ve kapasitesine bağlı olarak hem anlık hem de sürekli kullanımda değişiklik arz eder. Öte yandan, belirlenmiş sıcaklık aralıklarının dışına çıktığında, bataryaların ısınma, patlama veya ömrünün azalması gibi riskleri bulunmaktadır. Şarj ve deşarj esnasında akım değerleri sürekli olarak izlenmeli ve kontrol edilmelidir. Eğer akım değeri belirlenmiş değerlerin üstesine çıkarsa ya da altına düşerse, batarya yönetim sistemi, yükü veya şarj cihazını batarya grubundan izole etmelidir. Ayrıca, şarj ve deşarj esnasında bataryaların yüksek gerilim, yüksek akım ve yüksek sıcaklık gibi riskli durumlara karşılaşmaması için gerekli tedbirler alınmalıdır. Özellikle yüksek gerilim riskini önlemek amacıyla, gerilim değerleri anlık olarak izlenmelidir [7]. Batarya paketinin şarj ve deşarj esnasında dikkat edilmesi gereken diğer bir husus da hücre gerilimlerinin dengelenmesi işlemidir. Seri bağlı hücrelerin şarj edilirken depoladığı enerji her bir hücre için farklılık gösterebilir, bu durum hücreler arasında gerilim farklılıklarına neden olabilir. Yüksek gerilime sahip olan hücreler, belirlenen dengeleme yöntemi kullanılarak diğer hücrelerle aynı seviyeye getirilene kadar deşarj edilir. Bu dengeleme işlemi, tüm hücrelerin gerilim seviyeleri eşit hale gelinceye kadar devam eder [10]. Batarya yönetim sistemlerinde büyük öneme sahip olan iki alt sistem bulunmaktadır: Şarj yönetim sistemi ve haberleşme alt sistemi. Batarya dengeleme yöntemi, özellikle şarj yönetim sistemlerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır ve batarya yönetim sistemlerinin etkinliğini arttırmaktadır [11].

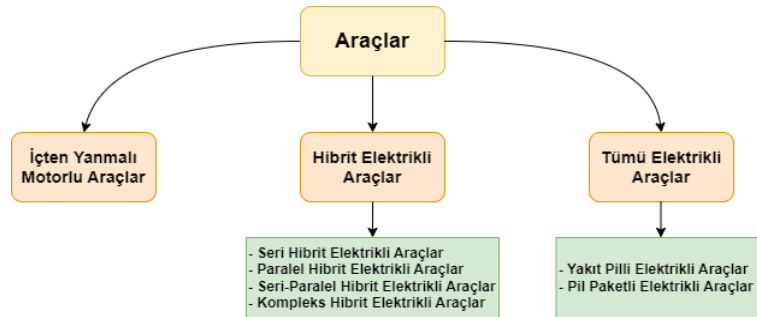
Elektrikli araçlarda birçok farklı türde pil teknolojileri kullanılmaktadır [12]. Her tür kendi içinde de alt türlere ayrılmaktadır. Bu pillerin her birinin sağlıklı çalışabilmesi için gerekli olan gerilim ve dayanabildiği sıcaklık değerleri farklıdır. Batarya yönetim sisteminin farklı tür pillerde çalışabilmesi için bu pillerin sisteme tanımlanıp bu değerlere göre önlemler alınması gerekmektedir. Bu çalışmada, tasarlanan batarya yönetim sistemi devresine eklenen devre elemanları sayesinde batarya yönetim sisteminin belirlenen farklı tür piller üzerinde çalışıp çalışmayacağı araştırılmıştır.

## 2. Genel Bilgiler

Bu bölümde öncelikle araçlar sınıflara ayrılarak yapıları hakkında detaylı bilgiler verilecektir. Ardından elektrikli araçlarda kullanılan bataryalar ve çeşitleri anlatılacaktır.

### 2.1. Araçlar

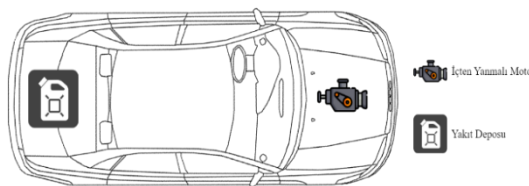
Araçlar, motor tahrik yöntemi ve enerji kaynağına bağlı olarak üç farklı sınıfa ayrılmıştır. Bu sınıflar içerisinde içten yanmalı motorlu araçlar, hibrit elektrikli araçlar ve tamamen elektrikli araçlar bulunmaktadır [13]. Şekil 1'de bu ayrım daha detaylı biçimde gösterilmektedir.



Şekil 1. Araç teknolojileri.

#### 2.1.1. İçten Yanmalı Motorlu Araçlar

İçten yanmalı motorlu araçların yakıt deposu içerisinde yer alan fosil yakıt kullanılarak motorun çalışabilmesini sağlamak için gereken enerji sağlanır. Enerjiyi sağlayabilmek için araçlarda fosil yakıt olarak dizel, benzin ve hidrojen yakıtları kullanılmaktadır [13]. İçten yanmalı motorlu araçların yapısı Şekil 2'de verilmiştir.



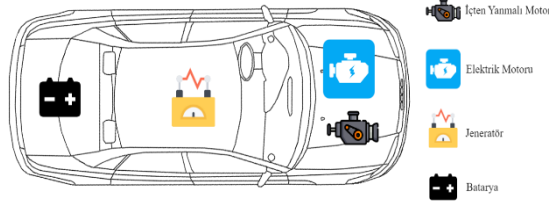
Şekil 2. İçten yanmalı motorlu araçların yapısı.

### 2.1.2. Hibrit Elektrikli Araçlar

Hem elektrik motoru hem de içten yanmalı motorun yardımıyla tahrik edilen araçlara hibrit elektrikli araçlar adı verilir. Bu araçların dört değişik karakteristiğe sahip olduğu bilinmektedir. Bu karakteristikler seri, paralel, seri-paralel ve kompleks şeklinde üç farklı çeşittir [14, 15].

- **Seri hibrit elektrikli araçlar**

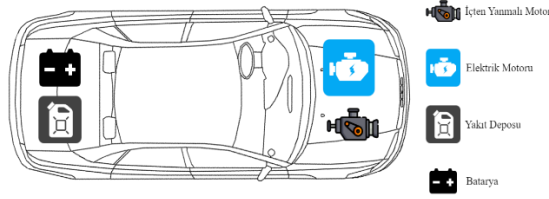
Bu tür araçlarda, içten yanmalı motor ana tahrik birimi olarak işlev görür. Bu motor sayesinde bir jeneratör çalıştırılarak enerji üretimi gerçekleştirilir. Üretilen bu enerji sayesinde elektrik motoru çalıştırılabilmekte ve pil hücrelerinin şarj olması sağlanmaktadır [14, 15]. Bu tür elektrikli araçların yapısı Şekil 3'te gösterilmektedir.



Şekil 3. Seri hibrit elektrikli araçların yapısı.

- **Paralel hibrit elektrikli araçlar**

Aracın hareketini aktarma mekanizmalarıyla birlikte elektrik motoru ve içten yanmalı motor sayesinde gerçekleştiren araçlara paralel hibrit elektrikli araçlar denmektedir. Tekerlere iletilen güç elektrik motoru ve içten yanmalı motor vasıtasıyla elde edilmektedir. Birbirine bağlanan iki motor sayesinde kazanılan güç bir mekanizma aracılığıyla tekerlere aktarılır. Seri hibrit elektrikli araçların bir aktarım mekanizmasına ihtiyacı yoktur. Paralel hibrit elektrikli aracın enerjisini sağlamak amacıyla yine fosil yakıt ve akü görev almaktadır. Paralel hibrit elektrikli araçların yapısı Şekil 4'te verilmiştir.

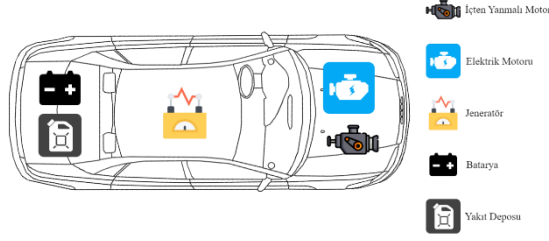


Şekil 4. Paralel hibrit elektrikli araçların yapısı.

Yokuş aşağı inerken ve frenleme sırasında oluşan enerjide oluşabilecek artış ile hafif paralel hibrit olarak bahsedilen sistemler daha fazla gelişim göstermektedir. Bu sistemler sayesinde oldukça küçük aküler ve elektrik motorları kullanılarak meydana gelen enerjinin geri kazanımı sağlanmaktadır. Küçük bir harcama ile hem elektrik motoru ufak olmasına rağmen büyük tork üreterek aracın çekiş gücünde ciddi bir artış yaratmakta, hem de yakıtın daha az harcanması sağlanabilmektedir. Üretilmekte olan ürünlere de üreticiler tarafından bahsedilen sistemin uygulanması için çalışmalar yapılmaktadır [16].

- **Seri-paralel ve kompleks hibrit elektrikli araçlar**

Verimi yükseltmek amacıyla hibrit araçlar hakkında birçok çalışma yapılmaktadır. Bu şekilde seri-paralel ve kompleks hibrit elektrikli araçlarda güç performansı yükselirken yakıt da ekonomik hale gelmektedir. Seri-paralel hibrit elektrikli araçlar, şekil bakımından paralel araçlara daha fazla benzeseler de seri ve paralel yapıdaki araçların sahip oldukları verimlilikleri barındırırlar. Tekerleklere direkt olarak bağlı olan içten yanmalı motor bir yandan da seri hibrit araçlara benzer olarak jeneratör yardımıyla enerji üreterek elektrik motoruna destek vermektedir. Bu durum daha çok alçak hızlarda aktif olurken, daha üst hızlarda içten yanmalı motor devreye girerek tekerleklerin ihtiyacı olan gücü vermektedir [17]. Seri-paralel ve kompleks hibrit elektrikli araçların yapısı Şekil 5'te gösterilmektedir.



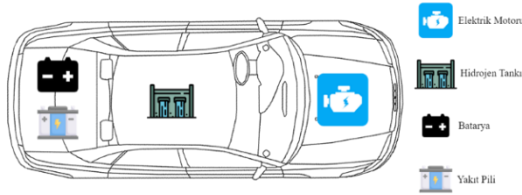
Şekil 5. Seri-paralel ve kompleks hibrit elektrikli araçların yapısı.

### 2.1.3. Tümü Elektrikli Araçlar

Sadece elektrik motorunun kullanıldığı bu yapıda, kullanılan elektrik motoru hem jeneratör gibi davranarak batarya hücrelerinin şarj edilebilmesini sağlama görevini hem de tahrik için ana etken olma görevini üstlenmektedir. Bakım maliyetlerinin düşük olmasına ek olarak yakıt maliyetine bakıldığında da içten yanmalı araçlara göre daha düşük değerlere sahiptirler. Örneğin elektrikli aracın yaklaşık 14 para birimi ile kat ettiği yolu içten yanmalı bir araç yaklaşık 23 para birimi harcayarak kat etmektedir. “Sıfır emisyonlu araçlar” şeklinde de bilinmekte olan bu araç yapılarının doğaya da zarar verebilecek herhangi bir salınımı bulunmamaktadır. Fakat bu yapıdaki araçların bazı problemlere sahip olduğu görülmektedir. Bu araçların satışı problemlerden ötürü önemli ölçüde etkilenmektedir. Şarj olma sürelerinin uzun sürmesi, kısa menzile sahip olmaları ve üretimdeki maliyete bağlı biçimde satışlardaki fiyatlarda artış yaşanması bu problemlerden bazılarıdır [18].

- **Yakıt pilli elektrikli araçlar**

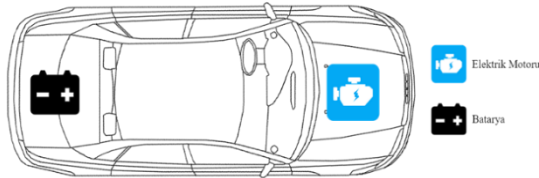
Bu yapıdaki araçlarda elektroliz dediğimiz işlem sayesinde istenmekte olan tahrik gücü elde edilmektedir. Yakıt pilleri üzerindeki kimyasal enerji bahsedilen elektroliz işlemi aracılığıyla elektrik enerjisi şekline çevrilir ve sonuç olarak yalnızca ısı ve su elde edilmektedir. Bu yapıdaki elektrikli araçların yapısı seri hibrit elektrikli araçlar ile benzerlik göstermektedir. Seri hibrit elektrikli araçlara benzer olarak içten yanmalı motor, jeneratör, yakıt pilleri ve yakıt deposu değil de hidrojen tankı vardır. Pil paketlerinin şarj edilmesi ve motorun çalıştırılması yakıt pilleri sayesinde sağlanan elektrik enerjisi ile yapılabilmektedir [19]. Yakıt pilli elektrikli araçların yapısı Şekil 6’da verilmiştir.



Şekil 6. Yakıt pilli elektrikli araçların yapısı.

- **Pil paketli elektrikli araçlar**

Bu yapıdaki elektrikli araçlar üzerinde farklı tip araçların sahip olduğu jeneratör, içten yanmalı motor ve yakıt deposu gibi yapılar yoktur [20]. Elektrik motorunun çalıştırılması amacıyla ihtiyaç duyulan tahriki elde etmek amacıyla yalnızca batarya hücrelerinden, elde edilmesi gereken elektrik enerjisi sağlanmaktadır. Biten ya da bitmekte olan batarya hücreleri tekrar şarj edilmelidir. Bu işlem şebeke üzerinden çekilen enerji ile yapılmaktadır. Bu tür elektrikli araçların yapısı Şekil 7’de gösterilmektedir.



Şekil 7. Pil paketli elektrikli araçların yapısı

## 2.2. Bataryalar

Kimyasal etkileşim ile meydana gelen enerji, bataryalar sayesinde kimyasal devreler üzerinde elektrik enerjisi şeklinde depolanabilmektedir. Enerjinin elektrik şeklinde saklanması gereken elektrikli araçlar, yenilenebilir enerji santralleri, telekomünikasyon altyapıları ve taşınabilir elektronik cihazlar ve benzeri farklı bazı alanlarda sıklıkla görülmektedir [21].

Otomobilin konforu, güvenliği ve güvenilirliğini yükseltebilmek ve bunun yanı sıra üretim maliyetleri, emisyon ve yakıt tüketimi gibi değerleri düşürebilmek amacıyla otomotiv sektöründe devamlı olarak çalışmalar yapılmaktadır. Klasik araçlar ile elektrikli araçlar arasında bir rekabet oluşabilmesi yapılan çalışmaların başarılı olarak hayata geçmesine bağlıdır. Elektrikli araçlarda bataryalar kalp gibidir ve farklı seyir çevrimleri, koşullar ve yapılandırılmalarda gerekli olan enerjinin temin edilmesine yararlar. Bu sebepten dolayı doğru bir batarya çeşidinin tercih edilmesi elektrikli araçlar için büyük önem taşımaktadır [22].

Geçtiğimiz yıllara baktığımızda elektrikli araç bataryalarında büyük ilerlemeler olduğu görülmektedir. Batarya teknolojileri, dayanıklılık, güvenlik, düşük maliyet, yüksek güç yoğunluğu ve enerji yoğunluğu gibi özellikler açısından sürekli olarak gelişmektedir. Tablo 1’de elektrikli araçlarda kullanılmakta olan batarya tiplerinin özellikleri gösterilmektedir [23].

**Tablo 1. Elektrikli araç batarya tiplerinin karşılaştırılması [23].**

Batarya Tipleri	Nominal Gerilim (V)	Enerji Yoğunluğu (Wh/kg)	Kullanım Ömrü	Bellek Etkisi	Çalışma Sıcaklığı (°C)
<b>Kurşun-Asit</b>	2,0	35	1000	Yok	-15 ile +50 arası
<b>Nikel Kadmiyum</b>	1,2	50-80	2000	Var	-20 ile +50 arası
<b>Nikel Metal Hidrit</b>	1,2	70-95	<3000	Nadiren	-20 ile +60 arası
<b>Lityum İyon</b>	3,6	118-250	2000	Yok	-20 ile +60 arası
<b>Lityum İyon Polimer</b>	3,7	130-225	>1200	Yok	-20 ile +60 arası
<b>Lityum Demir Fosfat</b>	3,2	120	>2000	Yok	-45 ile +70 arası
<b>Lityum Sülfür</b>	2,5	350-650	300	Yok	-60 ile +60 arası

### 2.2.1. Kurşun-asit (Pb-Asit) Bataryalar

Kurşun asit bataryalar, uzun yıllardır çeşitli alanlarda kullanılan bir tür pil teknolojisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Yapı bakımından kurşun asit pillerin içeriğine bakıldığında negatif elektrotun üstünde kurşun, pozitif elektrotun üstünde kurşun dioksit ve elektrolitinde de sülfürik asit bulunduğu görülmektedir. Bu tür pillerin ucuz olması, düşük öz boşalım, yüksek deşarj akımı ve bellek etkisinin bulunmaması gibi belli avantajları bulunmaktadır. Fakat aynı zamanda bu pillerin beklediği zaman kapasitesinin düşmesi ve gerilim seviyelerinin düşük olması gibi dezavantajlarının bulunduğu da bilinmektedir [9]. Devamlı olarak gelişmekte olan kurşun asit pillerin geçtiğimiz yıllarda da gelişimi için gerçekleştirilen araştırmalarda daha çok pillerin kapasitesinin artırılması ve ağırlıklarının azaltılması gibi konular ele alınmaktadır [23].

Ucuz olduğunu bildiğimiz bu batarya türünde aynı zamanda enerji içeriği düşüktür. Bu sebepten ötürü kurşun asit piller genel olarak valf ayarlaması ile birlikte kullanılarak daha fazla çalışabilmekte ve daha az bakıma ihtiyaç duymaktadırlar. Ancak çevrim ömrünün ve enerji içeriğinin düşük olması büyük bir negatiflik katmakta ve dolayısıyla araçlarda ve endüstride uygulamaları çok yaygın değildir. Otomobillerin ateşlemesi, aydınlatması ve çalıştırılması gösterilebilecek uygulama örnekleri arasındadır [22].

### 2.2.2. Nikel Kadmiyum (Ni-Cd) Bataryalar

Bilinmekte olan en eski şarj edilebilir piller arasında nikel kadmiyum bataryalar da bulunmaktadır. 1989 yılında buluşu gerçekleşen nikel kadmiyum bataryaların ucuz ve güvenli olduğu bilinmektedir. Yapı bakımından ise nikel kadmiyum bataryaların içeriğine bakıldığında negatif elektrotun üstünde kadmiyum hidroksit/kadmiyum, pozitif elektrotun üstünde nikel oksihidroksit/nikel hidroksit ve elektrotunda da potasyum hidroksit bulunmaktadır. Verim bakımından fazlasıyla avantajlı olan nikel kadmiyum bataryaların kurşun asit çeşidi ile karşılaştırıldığında daha fazla akım boşaltım yoğunluğu bulunmaktadır. Raf ömürlerine bakıldığında 20 yıldan uzun olduğu bilinen nikel kadmiyum bataryalar hiçbir bakım istemezler. Bu çeşit bataryalar askeri alanlarda, motorların ilk çalıştırılması, saatler ve trenlerin ışıklandırılması gibi yerlerde kullanılmaktadır. Ancak çevresel faktörlerden etkilenmesi, ömrünün kısa olması ve enerji yoğunluğu bakımından kötü olması benzeri sebeplerden ötürü lityum iyon bataryalar gibi yeni geliştirilen batarya çeşitleri daha yaygın kullanılmaktadır [22].

### 2.2.3. Nikel Metal Hidrit (Ni-MH) Bataryalar

Bu çeşit bataryaların 1960’lı yıllardan beridir kullanıldığı bilinmektedir. Nikel metal hidrit bataryalar kimyaları bakımından nikel kadmiyum bataryalara benzemektedirler. Aralarındaki farka bakıldığında nikel kadmiyum bataryalardaki kadmiyum maddesi yerine hidrojen alaşımı kullanıldığı görülmektedir. Bu çeşitteki bataryaların enerji yoğunlukları gerçekleştirilen geliştirmeler sayesinde nikel kadmiyum bataryalara göre daha iyi bir duruma getirilmiştir. Benzer şekilde nikel kadmiyum

bataryalara göre bellek etkisinin daha fazla düşürüldüğü de bilinmektedir. Bir yandan da bataryaların iç dirençleri daha fazla küçültülerek daha az ısı ortaya çıkması sağlanmış ve bu sayede bataryaların veriminin artması sağlanmıştır.

Bu bataryalar, nikel kadmiyum çeşidin daha gelişmiş bir sürümüdür ve daha yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir. Ancak, nikel metal hidrit bataryaların bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlar, nikel kadmiyum bataryalara göre daha uzun süre şarj edilmelerinin gerekmekte olması ve depolama sırasında kendiliğinden deşarj olabilmesidir. Bununla birlikte, nikel metal hidrit bataryaların avantajları, nikel kadmiyum bataryaların avantajlarından daha ağır basmaktadır ve bu nedenle nikel kadmiyum bataryaların yerini almışlardır [23].

#### 2.2.4. Lityum İyon (Li-ion) Bataryalar

Bu çeşit bataryaların güç ve enerji yoğunluğu yüksek, aynı zamanda da eşi olmayan bir bileşimden oluşmaktadır. Bu sayede de elektrikli arabalar, el aletleri ve taşınabilir elektronikler üzerinde sık olarak kullanılmaktadır. Bu bataryalar, sera gazlarının emisyonlarında da ciddi derecede bir azalma olmasını sağlarlar. Jeotermal, güneş, rüzgâr ve benzeri yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin kalitesi lityum iyon bataryalarda enerjinin veriminin fazla olmasından ötürü artar, bu sayede enerjinin daha sürdürülebilir bir ekonomiye sahip olması ve kullanımının yaygınlaşması sağlanmaktadır. Bu gibi sebeplerden hem devletin ekonomiye yönelik kurumlarından hem de sanayiye yönelik firmalar tarafından lityum iyon bataryaların dikkate alındığı ve bu konudaki araştırmaların arttığı görülmektedir [14]. Bu çeşit ile nikel tabanlı bataryalar kıyaslandığında anma gerilimi ve enerji yoğunluğu açısından daha iyi durumdadır [23].

#### 2.2.5. Lityum İyon Polimer (LiPo) Bataryalar

Polimer kelimesi lityum tabanlı belli bir bataryanın tanımlanması için kullanılmaktadır. Pilin polimer bazlı olması bu kelimenin kullanımı esnasında çok önemli değildir. Bu batarya çeşidinde genelde gözenekli ve prizma yapılar bulunmaktadır. Plastik ile birebir olan polimer tabanlı mimari, yapay plastikler ve hatta biyolojik mimarilerin tabanını meydana getiren proteinlerde dahi kullanılabilir. Farklı batarya çeşitlerinden elektrolit bakımından değişiktirler. 70'lerdeki esas polimer tabanlı bataryalarda polimer elektrolit katı halde yer almaktadır. Elektrolite değiştirilen ve gözenekleri bulunan ayırıcının yerine ince bir kesitten meydana gelen katı polimer kullanılarak iyonların akması sağlanmaktadır. Oda ısısında ise polimerlerin katı hallerinin iletkenliği fazlasıyla az olmaktadır. Bu bataryaların normal veya iyi bir iletkenlik sunması için altmış derece ve bunun üstü derecelerde bulunması lazımdır. Bu aynı zamanda polimerin katı halinin sabit kullanım alanlarında yer alamıyor olmasının en büyük sebebidir. 2000 yılına yaklaştığında ise "plastik batarya" sözcüğü ile birlikte bu bataryaların yükselmesi gereken bir dönem yerine düşüşte olduğu zamanlar yaşanmış ve kullanım açısından bu bataryalar çok düşük kalmıştır.

#### 2.2.6. Lityum Demir Fosfat (LiFePO<sub>4</sub>) Bataryalar

Bu tür bataryaların ömrü çok kısa, özgül enerjisi düşük olmasına rağmen malzemelerinin uygun fiyatlı olması nedeniyle tercih edilmektedir [22]. Bu çeşit bataryalar yüksek güvenlik, yüksek çevrim oranı ve fazla güç yoğunluğuna sahiptirler. Fakat lityum iyon bataryalar ile lityum demir fosfat batarya çeşidi karşılaştırıldığında enerji yoğunlukları daha az olduğundan dolayı dezavantajlı durumdadırlar [23].

Lityum demir fosfat bataryalar özgül kapasitesinin yüksek olması, karakteristik niteliklerinin güvenli olması, elektrokimyasal açıdan yüksek performansının olması, uzun bir çevrim ömrüne sahip olması, kimyasalında zehirli bir içeriğe sahip olmaması ve maksimum ya da minimum sıcaklıklarda kararlı biçimde çalışabiliyor olmasından dolayı elektrikli araçlarda sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çeşit bataryaların patlama ihtimali maksimum ve minimum sıcaklıklarda bile çok düşüktür. Kurşun asit bataryaların yaklaşık on katı çevrim ömrüne sahiptirler. Şarj bakımından geniş aralıklarda bulunsun bile elektronik kart kullanılması gerekmektedir [25].

#### 2.2.7. Lityum Sülfür (Li-S) Bataryalar

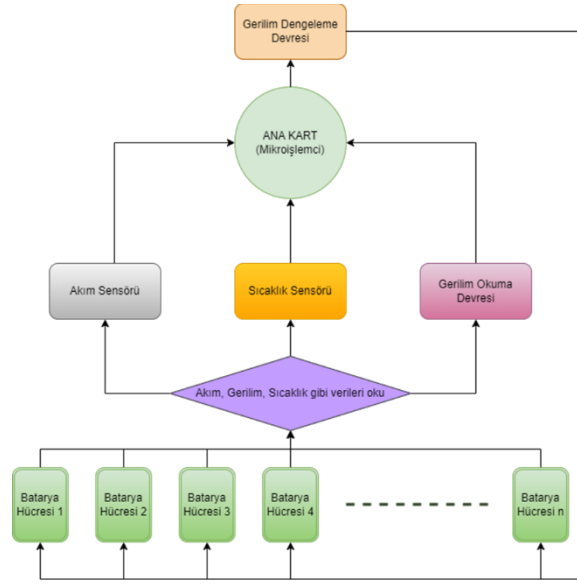
Lityum sülfür bataryalar geliştirilmekte olan elektrikli araçların batarya teknolojisi açısından tercih edilebilir yeni bir seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çeşit bataryalar özgül enerjisinin yoğunluğu ve aynı zamanda maliyeti bakımından elektrikli araçlar için diğer çeşitler arasından ön plana çıkmaktadır. Elemental kükürt bulunabilen diğer çeşitlerine göre daha bol ve ucuz olmasından dolayı son zamanlarda en çok çalışma yapılan katot ürünleri arasındadır. Bu bataryaların çevrim ömürleri normal seviyede, şarj verimleri yüksek, enerji yoğunlukları yüksek ve hücre gerilimleri düşüktür [23].

Lityum sülfür batarya çeşidinde benzer alanlarda çokça kullanıldığı bilinen lityum polimer ve lityum iyon batarya çeşitlerine kıyasla enerjinin depolanması esnasında herhangi bir güvenlik sorunu oluşturmazlar. Bu batarya çeşidi aynı zamanda az bakım gerektiren, güvenli ve hafif hücrelere sahiptir. Lityum sülfür bataryaların deşarjının tamamen gerçekleşiyor olması da en büyük ayrıcalıklarındandır [25].

### 3. Materyal ve Yöntem

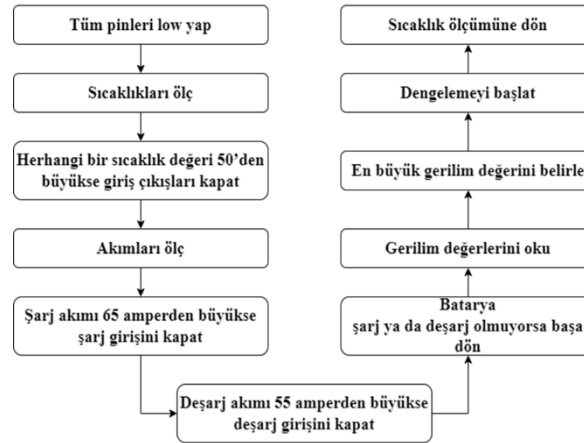
Bu çalışma kapsamında, bir batarya yönetim sistemi devresi tasarlanacak ve bu tasarım ile farklı tipte bataryaların tek bir batarya yönetim sistemi aracılığıyla dengelemesi sağlanacaktır. Yüksek gerilime sahip bataryaların gerilim seviyeleri pasif dengeleme yöntemiyle dirençler aracılığıyla düzeltililecektir. Bu yöntem sayesinde yüksek kapasiteli bataryalardan kaynaklanan düşük kapasiteli bataryalarda boş alan bırakılmaksızın tam şarj elde edilmesi sağlanacaktır. Aynı zamanda kullanılan sensörler aracılığıyla yüksek akım, yüksek sıcaklık ve düşük sıcaklık gibi olası durumlara karşı devrenin korunması sağlanacaktır.

Batarya hücreleri girişinde bulunan akım sensörü yardımıyla, akım değeri okunarak ana karta iletilmektedir. Benzer biçimde batarya üzerindeki sıcaklık sensörü yardımıyla bataryaların sıcaklığı okunmakta ve ana karta gönderilmektedir. Gerilim okuma devresi üzerinden her bir bataryanın gerilim değeri hesaplanarak ana karta iletilmektedir. Okunan değerler ana kart içerisinde bulunan yazılım ile değerlendirilmektedir. Yüksek akım geldiğinde devrenin akımı kesilerek güvene alınmaktadır. Sıcaklık belirlenen düzeylerin altında veya üstünde iken benzer biçimde akım kesilmektedir. Her bir bataryanın gerilimi karşılaştırılarak gerilim seviyesi en yüksek olan bataryanın fazla gerilimi direnç yardımıyla düşürülmektedir. Gerilim okuma işlemi sürekli olarak yapılmaktadır. Devrenin blok diyagramı Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8. Devrenin blok diyagramı.

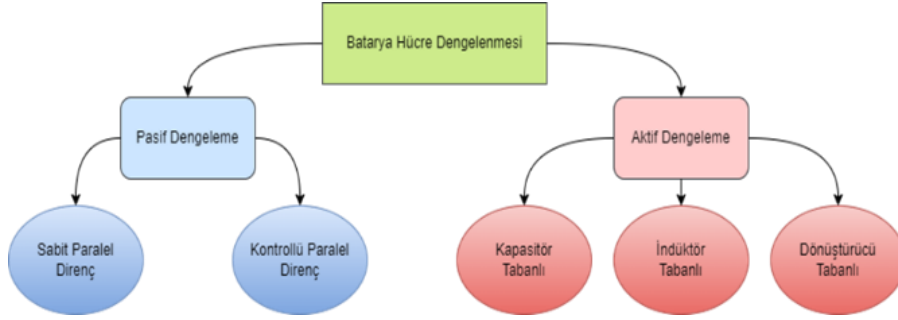
Devre başlatıldığında tüm pinler 0’a çekilmektedir. Sıcaklık ölçümü yapılır. Sıcaklık değeri 50’den büyük olduğunda giriş çıkışlar kapatılarak akım kesilmektedir. Önceki durumlar normal ise akımlar ölçülür. Şarj akımı 65 amperden büyük veya deşarj akımı 55 amperden küçük ise bu girişler kapatılmaktadır. Batarya şarj ya da deşarj olmuyorsa başa dönülmektedir. Gerilim değerleri okunur. En büyük gerilim değeri belirlenir. Belirlenen gerilim değeri üzerinde işlem yapılması için dengeleme başlatılır. Son olarak sıcaklık ölçümüne dönülerek işlemlerin tekrarlanması sağlanır. Devrenin akış şeması Şekil 9’da gösterilmektedir.



Şekil 9. Devrenin akış şeması.

### 3.1. Gerilim Dengeleme Yöntemleri

Batarya paketi içindeki hücrelerin gerilim olarak tümüyle şarj ya da deşarj olduğu esnada birbirleri ile aynı olmalarına yardımcı olan yapıya batarya dengeleme sistemi denmektedir [27]. Bataryanın meydana gelmesini sağlayan hücreler birbiri ile aynı değildir, bu sebepten ötürü batarya yönetim sistemlerinin hücrelerde gerilim dengelemesi yapması en değer verilen özelliklerindedir. Dengelemeyi yapan sistemin olmaması durumunda her hücrenin gerilimi farklı farklı değerlerde kalmaktadır [28]. Seri biçimde bağlı olan batarya hücrelerinin kapasite değerleri farklılık gösterdiğinde, şarjı bitirmek için gereken gerilim değerine kapasite değeri en yüksek seviyede bulunan hücre sahip olduğundan kapasite değeri düşük hücrelerin dolumu gerçekleşmeden şarj sonlanmaktadır. Benzer biçimde deşarj işlemi esnasında, deşarj işleminin bitmesi için gerekli olan gerilime sahip olan ve aynı zamanda gerilim seviyesi o kadar düşük olmayan hücrelerin deşarjı sonlandırılmaktadır [21]. Bunu engellemek amacıyla; batarya yönetim sistemi içerisinde bulunan hücre gerilim dengeleme sistemleri kullanılmaktadır. Hücre gerilimlerinin dengelemesini sağlamak amacıyla bazı yöntemler bulunmaktadır. Kullanılmakta olan yöntemler Şekil 10'da gösterilmektedir.

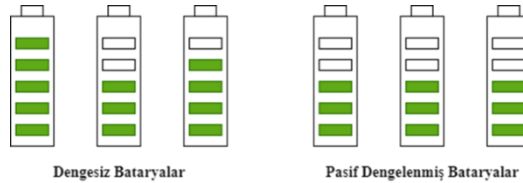


Şekil 10. Batarya dengeleme yöntemleri.

#### 3.1.1. Pasif Dengeleme

Yaşlanmaya veya farklı sebeplere bağlı olarak bataryanın birbirine seri bağlanmış hücrelerinin kapasitesi düşük ise batarya şarj edildiği esnada kapasitesi normal olan hücelere de kapasitesi düşük olan hücre kadar dolum yapılabilir. Kapasitesi düşük olan hücrenin kapasitesi dolduğu esnada kapasitesi normal olan hücreler üzerinde daha şarj edilebilecek alan bulunmaktadır. Ancak bu aşamada önceden kapasitesi düşük olan hücrenin gerilimine çok fazla yüklenme yapılacağından ve bundan dolayı hücre hasar görebileceğinden şarja devam edilmemektedir. Kapasitesinde boşluk bulunan hücelere yükleme yapılabilmesi için kapasitesi dolmuş olan hücrenin boşaltılması gerekmektedir. Hücredeki enerji harcanarak bu sağlanabilmektedir. Bu şekilde yapılan dengelemeye pasif dengeleme adı verilmiştir.

Genel olarak bu işlemin yapılması için direnç kullanılır. Aynı ayrı, hücrelerin her biri için birer direnç kullanılabileceği gibi tüm hücreler birbirine bağlanarak büyük bir direnç de kullanılabilir. Direnç yardımıyla yapılan dengeleme sırasında bu enerji ısıya dönüştürülerek harcanmaktadır. Enerjinin harcanabilmesi için direnç değil de anten, LED, lamba gibi elemanlara da yer verilebilir [29]. Pasif dengelenmiş bataryalar Şekil 11'de gösterilmektedir.

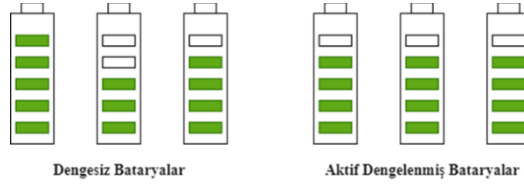


Şekil 11. Pasif dengeleme.

#### 3.1.2. Aktif Dengeleme

Dengeleme yapılması amacıyla kullanılmakta olan diğer bir metot ise aktif dengeleme yöntemidir. Bu yöntemde batarya hücrelerinin gerilimleri hesaplanmakta ve yüksek kapasiteye sahip hücreden düşük olana aktarım yapılmaktadır. Böylece bir enerji kaybı oluşmaz. Pasif dengeleme yönteminde ısıya dönüştürülerek kaybedilen enerji, bu yöntemde diğer hücelere aktarılır ve bu sayede verimsizlik durumunun ortadan kalkması sağlanır [30]. Aktif dengelenmiş bataryalar Şekil 12'de gösterilmektedir.





Şekil 12. Aktif dengeleme.

Bu yöntemde enerjinin depolanabilmesini sağlayan ürünler (sığaç, endüktans) veya dönüştürücüler bulunmaktadır. Kapasitör içeren yöntem kullanıldığında kapasitesi yüksek hücre ile kondansatör doldurulmakta ve bu enerji kapasitesi düşük olan hücreye aktarılarak dengeleme gerçekleştirilmektedir [31]. İndüktör ve transformatör içeren yöntem kullanıldığında enerji diğer bir hücre ya da hücelere transformatör veya indüktör kullanılarak aktarılmaktadır. Kapasitör ile yapılan dengeleme yöntemine göre dengeleme işlemi daha hızlı gerçekleşmektedir. Fakat maliyet bakımından kapasitör içeren yöntemde göre oldukça pahalıdır. Aynı zamanda transformatör kullanıldığında kayıplar ortaya çıkmakta ve anahtarlama frekansının yüksek olduğu görülmektedir [31].

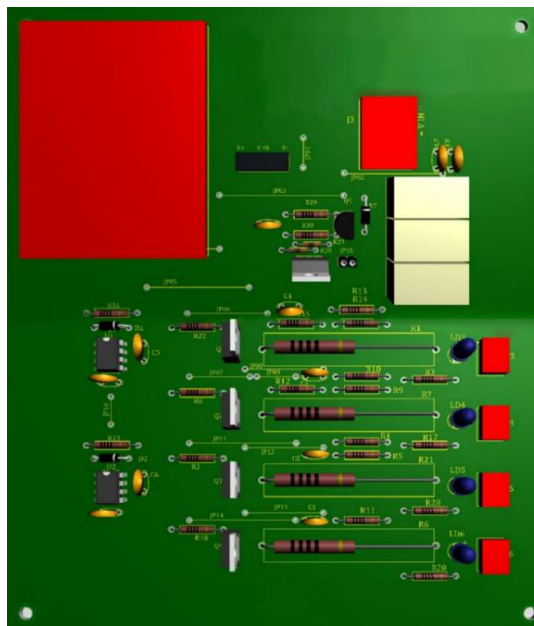
Pasif dengeleme ve aktif dengeleme yöntemlerinin karşılaştırılması Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Aktif ve pasif dengeleme yöntemlerinin karşılaştırılması [29].

Aktif Dengeleme	Pasif Dengeleme
Enerji aktarımında %70 verimlilik sağlar.	Enerji israfı açısından verimsizdir.
Boşa harcanan enerji yoktur.	Yüksek dengeleme akımlarında, boşa harcanan enerji ısıya dönüşür.
Pasif dengelemeye göre daha fazla bileşen içerir.	Az sayıda bileşenden oluşabilir.
Bekleme konumunda boşa harcanan güç, eşdeğer pasif dengelemeye göre daha büyük kayıplara neden olabilir.	Bekleme konumunda boşa harcanan güç, eşdeğer aktif dengelemeye göre daha küçük kayıplara neden olabilir.
Her bir hücre için ortalama maliyet 10 \$’dır.	Her bir hücre için ortalama maliyet 1 \$’dır.
Bekleme konumundaki gücü 50 mW’tır.	Bekleme konumundaki gücü 0 mW’tır.
Ortalama maliyeti bir elektrikli araç için yaklaşık 1000 \$’dır.	Ortalama maliyeti bir elektrikli araç için yaklaşık 100 \$’dır.

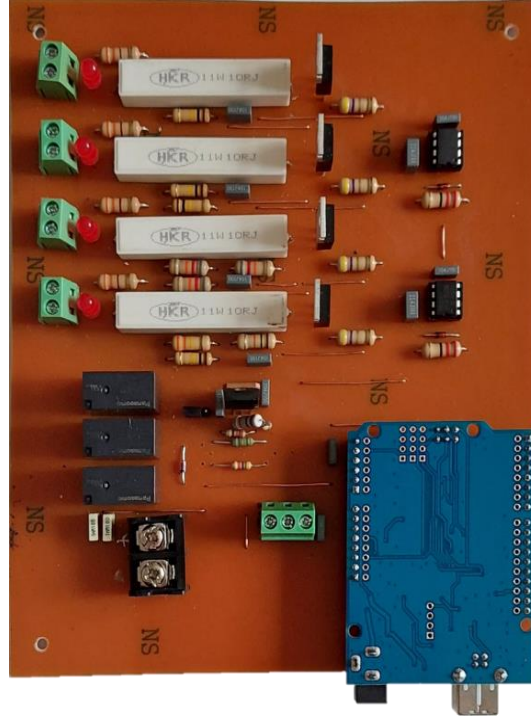
#### 4. Bulgular ve Tartışma

Yapılan çalışmada birçok farklı alanda enerjinin sağlanması amacıyla kullanılmakta olan bataryaların yönetilmesi ve kontrol edilebilmesine yarayan batarya yönetim sistemi tasarlanarak uygulaması yapılmıştır. Tasarlanmış olan devre Şekil 13’te gösterilmektedir.



Şekil 13. Tasarlanan devrenin tasarımı.

Devre tasarımını uygulama aşamasına geçirmek için baskı devre çizilmiştir. Çizim esnasında bakır yolların kalınlıkları ve düzgünlüklerine dikkat edilmiştir. Çizimi gerçekleştirilmiş olan baskı devre bakır plaket üzerine uygulanarak devre elemanlarının yerleşimi için hazır hale getirilmiştir. Tasarlanan sistemin Li-Ion, LiFePO4 ve LiPo olmak üzere 3 farklı çeşitte ve her çeşit için 4 adet batarya ile testi gerçekleştirilmiştir. Dengeleme başlatıldığında hücrelerin gerilimleri ölçülerek bilgisayar çıktıları ile karşılaştırma yapılmıştır. Bu sayede devrenin doğruluğu test edilmiştir. Testi yapılan batarya yönetim sistemi Şekil 14'te verilmektedir.



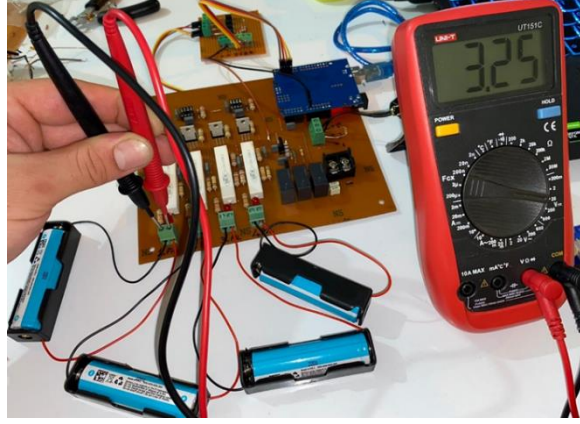
Şekil 14. Tasarlanan batarya yönetim sistemi.

Öncelikle gerçek devre üzerinde gerilim okuma testinin yapılabilmesi için bataryaların gerilimleri ölçü aleti yardımıyla ölçülmüştür. Ölçülen değerler kaydedilmiştir. Ölçü aleti üzerinden kaydedilmiş olan değerler ile çalışmakta olan batarya yönetim sistemi devresinin ölçtüğü gerilim değerleri bilgisayar ekranından okunarak karşılaştırma yapılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda bilgisayar ekranından okunan değerler ile ölçüm aletinden okunan değerler arasında çok büyük farklar olmadığı ve devrenin doğru şekilde çalışmakta olduğu görülmüştür. Oluşan gerilim farklılıklarının, gerilim bölücü devresinde kullanılan dirençlerin gerçek değerlerinin farklı olmasından kaynaklandığı belirlenmiş ve bilgisayar üzerinden okunan gerilim değerleri yazılım yardımıyla gerçek gerilim değerlerine yaklaştırılmıştır. Devre şarj veya deşarj yapılmadan normal durumda çalışırken test edilmiştir. Bu testten elde edilen bilgisayar ekranından alınan çıktılar Şekil 15'te verilmiştir.

```
COM7
Sıcaklık: 22.48 C
1. Pil Gerilimi: 3.25 V
2. Pil Gerilimi: 3.23 V
3. Pil Gerilimi: 2.87 V
4. Pil Gerilimi: 3.19 V
En dolu pil oranı: 95.79 %
1. Pil Doluluk Oranı: 95.79%
2. Pil Doluluk Oranı: 94.29%
3. Pil Doluluk Oranı: 66.84%
4. Pil Doluluk Oranı: 91.16%
Ortalama Pil Doluluk Oranı: 87.02%
Akım: -0.07 A
Sıcaklık: 22.48 C
1. Pil Gerilimi: 3.25 V
2. Pil Gerilimi: 3.24 V
3. Pil Gerilimi: 2.86 V
4. Pil Gerilimi: 3.19 V
En dolu pil oranı: 95.79 %
 Otomatik Kaydırma  Zaman damgasını göster
```

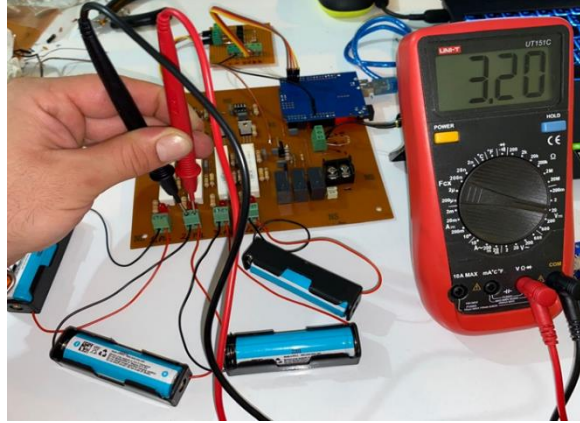
Şekil 15. Normal durumdaki devrenin test sonuçları.

İlk pilin ölçü aleti ile ölçülen gerilim değeri Şekil 16'da gösterilmektedir.



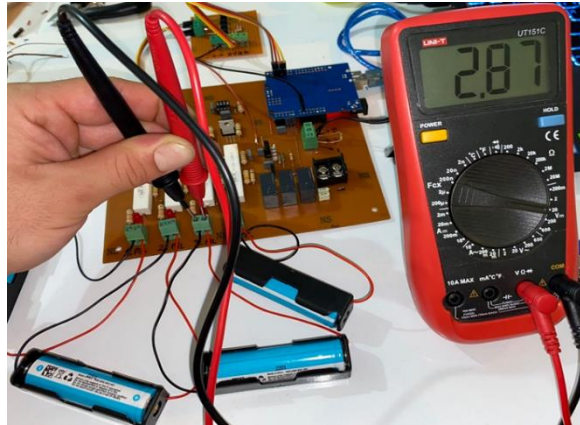
Şekil 16. Normal durumdaki devrede 1. pil gerilimi.

İkinci pilin ölçü aleti ile ölçülen gerilim değeri Şekil 17'de gösterilmektedir.



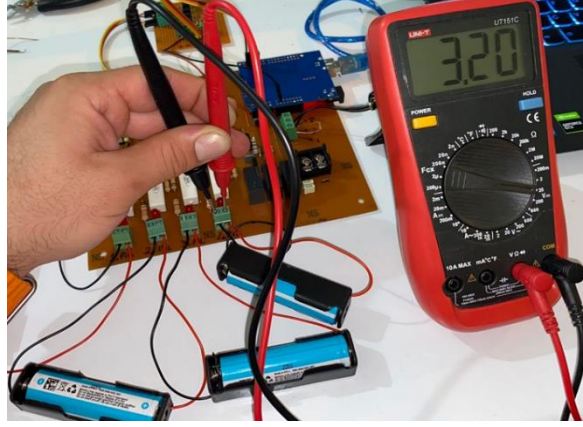
Şekil 17. Normal durumdaki devrede 2. pil gerilimi.

Üçüncü pilin ölçü aleti ile ölçülen gerilim değeri Şekil 18'de gösterilmektedir.



Şekil 18. Normal durumdaki devrede 3. pil gerilimi.

Dördüncü pilin ölçü aleti ile ölçülen gerilim değeri Şekil 19'da gösterilmektedir.



Şekil 19. Normal durumdaki devrede 4. pil gerilimi.

Yapılan testler sonucu ölçülen gerilimler ile devre üzerinden okunarak bilgisayarda görülen verilerin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Hata oranları hesaplandığında çok düşük hata payı olduğu gözlemlenmiştir. Bu verilerin karşılaştırılması Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Normal gerilim testi ölçüm sonuçları.

Ölçülen Gerilim	Test Gerilimi	Hata Oranı
3,25	3,25	%0
3,20	3,23	%0,93
2,87	2,87	%0
3,20	3,19	%0,31

Devrenin dengeleme testleri de yapılmıştır. En yüksek gerilime sahip pil bağlantısı yanındaki LED, dengeleme yapılmaya başlandığı esnada yanmaktadır, dengeleme durduğu esnada ise sönmektedir. Şekil 20'de bilgisayar çıktıları üzerinden en büyük gerilime sahip pilin gerilimi ve diğer bilgiler gösterilmektedir.

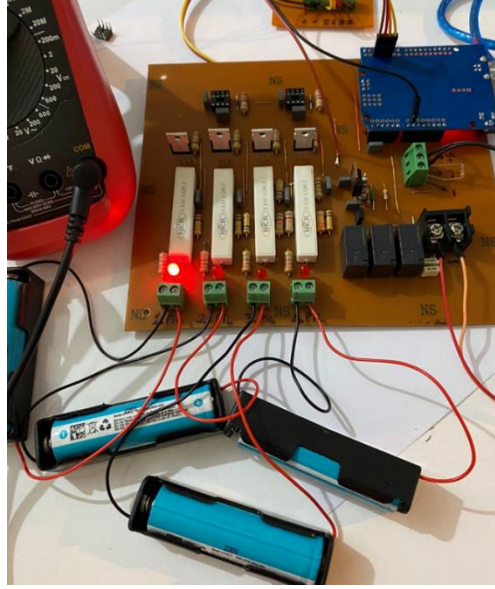
```

COM7
Ortalama Pil Doluluk Oranı: 102.81%
Akım: -0.29 A
Sıcaklık: 22.97 C
1. Pil Gerilimi: 3.37 V
2. Pil Gerilimi: 3.36 V
3. Pil Gerilimi: 3.29 V
4. Pil Gerilimi: 3.32 V
En dolu pil oranı: 105.57 %
1. Pil Doluluk Oranı: 105.57%
2. Pil Doluluk Oranı: 104.82%
3. Pil Doluluk Oranı: 99.55%
4. Pil Doluluk Oranı: 101.32%
Ortalama Pil Doluluk Oranı: 102.81%
Akım: -0.29 A
Sıcaklık: 22.97 C
1. Pil Gerilimi: 3.37 V
2. Pil Gerilimi: 3.36 V
3. Pil Gerilimi: 3.29 V
 Otomatik Kaydırma  Zaman damgasını göster

```

Şekil 20. Dengeleme testi bilgisayar çıktıları.

Çıktılara bakıldığında 1. pilin en yüksek gerilime sahip olduğu görülmektedir. Yapılan testte dengelemenin yapıldığı pile yakın LED'in yanmasına bakılarak anlaşılabilir. Şekil 21'de dengeleme testi gösterilmektedir.



Şekil 21. Dengeleme testi.

Farklı sıcaklık seviyelerinde devrenin termal tepkimelerini incelemek amacıyla çeşitli deneyler de gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler kapsamında, sıcaklık sensörü olarak Negatif Sıcaklık Katsayılı (NTC) termistör kullanılmış ve bu termistöre farklı ısılar verilerek, önceden ayarlanmış sıcaklık eşikleri üzerindeki koruma mekanizmalarının nasıl tepki verdiği gözlemlenmiştir. Arduino üzerine yüklenen kodlar sayesinde, sıcaklık değeri  $50^{\circ}\text{C}$ 'nin üstüne çıktığında tetiklenen koruma sinyali ile akım akışının kesilerek batarya dengeleme işleminin durdurulması sağlanmaktadır. Örneğin ısıtılmakta olan NTC yaklaşık olarak  $39^{\circ}\text{C}$  ısı çıkışı vermekte olduğunda röleye koruma sinyali gitmemektedir. NTC sıcaklık sensörünün ısı çıkışı yaklaşık  $50^{\circ}\text{C}$  olduğunda ise koruma sinyali gönderilerek akım kesilmekte ve batarya dengelemesi durdurulmaktadır. Bu deneysel çalışmalar sonucunda, devrenin sıcaklık koruma mekanizmasının etkili bir biçimde işlediği gözlenmiştir. Daha önce kullanılan LM35 sıcaklık sensöründe yaşanan sorunlar nedeniyle, yerine NTC termistör kullanılmasına karar verilmiştir. Yapılan sıcaklık testleri sonucunda, NTC termistörünün istikrarlı bir şekilde çalıştığı gözlenmiştir. Bu termistörün sıcaklık çıkışı,  $40^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerine çıkarılarak şarj veya deşarj anlarında rölenin devreye sokulmasıyla enerji akışının kesilmesi sağlanmış ve böylece pillerin korunması sağlanmıştır. Sıcaklık değeri normale döndüğünde, röle eski konumuna dönerek enerji akışına izin vermiştir.

## 5. Sonuç

Bu çalışma kapsamında, bir batarya yönetim sistemi devresi tasarımı gerçekleştirilmiş olup, bu tasarım ile farklı tipte bataryaların tek bir batarya yönetim sistemi aracılığıyla dengelemesi hedeflenmiştir. Yüksek gerilime sahip bataryaların gerilim seviyeleri pasif dengeleme yöntemiyle dirençler aracılığıyla düzeltilmiştir. Bu yöntem sayesinde yüksek kapasiteli bataryalardan kaynaklanan düşük kapasiteli bataryalarda boş alan bırakılmaksızın tam şarj elde edilmesi sağlanmıştır. Pasif dengeleme yöntemi, ekonomik maliyetlerle uygulanarak düşük maliyet seviyesinde tutulmuştur. Aynı zamanda kullanılan sensörler aracılığıyla yüksek akım, yüksek sıcaklık ve düşük sıcaklık gibi olası durumlara karşı devrenin korunması sağlanmıştır.

Tasarlanan devre üzerinde gerekli testler gerçekleştirilmiştir. Yapılan testler sonucunda batarya yönetim sistemi tasarımının etkili bir şekilde işlediği tespit edilmiştir. Testlerde kullanılan pillerin maksimum şarj gerilimi, minimum deşarj gerilimi, akım gibi karakteristik değerleri mikrodenetleyiciye aktarılmıştır. Her bir pil için belirlenen sınırlar içerisinde dengeleme işlemi başarıyla gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, batarya dengelemesinin deşarj anında mümkün olmadığını göstermiştir. Deşarj anında dengeleme işlemine alınan bir pilin, diğer pillerin enerjisinin daha hızlı tükenmesine yol açtığı gözlemlenmiştir. Deşarj sırasında dengeleme yapabilme amacıyla enerjinin kesilmesi gerekmektedir. Ancak, pasif dengeleme yönteminde enerji kesimi istenmeyen bir durumdur. Şarj sırasında ise pillerdeki dengesizlik tespit edildiğinde, şarj işlemi durdurularak dengeleme sorunsuz bir şekilde gerçekleştirilmektedir.

Devrede kullanılmak istenen MOSFET sürücülerin LO pini üzerinden çıkış alınamaması sorunuyla karşılaşılmıştır. Bu zorluğun üstesinden gelmek adına, MOSFET sürücü yerine PC817 optokuplör kullanılması kararı alınmış ve bu bileşen vasıtasıyla MOSFET sürme işlemi gerçekleştirilmiştir. Devre yapısında herhangi bir değişiklik yapılmadığı için, pertinaks üzerine ek bir devre tasarımı yapılmıştır. Bu sayede MOSFET sürme işlemi sorunsuz bir şekilde gerçekleştirilerek dengeleme işlemi başarıyla tamamlanmıştır. Elde edilen sonuçlar, gerilim dengeleme testlerinde %1'in altında hata oranları elde edildiğini göstermektedir.

## Teşekkür

Bu çalışma 2022-1919B012207511 numaralı TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında desteklenmiştir.

## Referanslar

- [1] D. Zeng, Y. Dong, H. Cao, Y. Li, J. Wang, Z. Li, and M. Z. Hauschild, "Are the electric vehicles more sustainable than the conventional ones? Influences of the assumptions and modeling approaches in the case of typical cars in China," *Resources, Conservation and Recycling*, pp. 167, 105210, 2021.
- [2] A. Turksoy, A. Teke, and A. Alkaya, "A comprehensive overview of the DC-DC converter-based battery charge balancing methods in electric vehicles," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 133, 110274, 2020.
- [3] W. Sung, and C. B. Shin, "Electrochemical model of a lithium-ion battery implemented into an automotive battery management system," *Computers & Chemical Engineering*, vol. 76, pp. 87-97, 2015.
- [4] H. A. Gabbar, A. M. Othman, and M. R. Abdussami, "Review of battery management systems (BMS) development and industrial standards," *Technologies*, vol. 9, no. 2, pp. 28, 2021.
- [5] M. K. Tran, S. Panchal, T. D. Khang, K. Panchal, R. Fraser, and M. Fowler, "Concept review of a cloud-based smart battery management system for lithium-ion batteries: Feasibility, logistics, and functionality," *Batteries*, vol. 8, no. 2, pp. 19, 2022.
- [6] K. Kaysal, F. Hocaoglu, and A. Kaysal, "Design and experimental implementation of passive battery management systems using arm-based microprocessors," *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, vol. 9, no. 1, pp. 26-39, 2021.
- [7] A. Kilic, S. Koroglu, A. Demircali, S. Kesler, Y. Yoner, E. Karakas, and P. Sergeant, "Design of master and slave modules on battery management system for electric vehicles," In *6th International Conference on Advanced Technology & Sciences (ICAT'Riga)* vol. 1, no. 1, pp. 161-166, 2017.
- [8] S. Kıvrak, T. Özer, Y. Oğuz, and E. B. Erken, "Battery management system implementation with the passive control method using MOSFET as a load," *Measurement and Control*, vol. 53, no. 1-2, pp. 205-213, 2020.
- [9] Y. Muratoğlu, "Elektrikli araçlarda kullanılan lityum iyon pillerin şarj durumlarının kokusuz kalman filtresi ile kestirilmesi," *Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Türkiye*, 2017.
- [10] U. K. Das, P. Shrivastava, K. S. Tey, M. Y. I. B. Idris, S. Mekhilef, E. Jamei, and A. Stojcevski, "Advancement of lithium-ion battery cells voltage equalization techniques: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 134, 110227, 2020.
- [11] T. A. Stuart, and W. Zhu, "Fast equalization for large lithium ion batteries," *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, vol. 24, no.7, pp. 27-31, 2009.
- [12] F. Forte, M. Pietrantonio, S. Pucciarmati, M. Puzone, and D. Fontana, "Lithium iron phosphate batteries recycling: An assessment of current status," *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, vol. 51, no. 19, pp. 2232-2259, 2021.
- [13] S. F. Tie, and C. W. Tan, "A review of energy sources and energy management system in electric vehicles," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 20, pp. 82-102, 2013.
- [14] X. Li, and S. S. Williamson. "Assessment of efficiency improvement techniques for future power electronics intensive hybrid electric vehicle drive trains," In *2007 IEEE Canada Electrical Power Conference*. pp. 268-273, IEEE, October, 2007.
- [15] V. Agarwal, and M. Dev, "Introduction to hybrid electric vehicles: State of art," In *2013 Students Conference on Engineering and Systems (SCES)*. pp. 1-6, IEEE, April, 2013.
- [16] A. Sciarretta, M. Back, and L. Guzzella, "Optimal control of parallel hybrid electric vehicles," *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol. 12, no. 3, pp. 352-363, 2004.

- [17] S. Grammatico, A. Balluchi, and E. Cosoli, "A series-parallel hybrid electric powertrain for industrial vehicles," In 2010 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference. pp. 1-6, IEEE, September, 2010.
- [18] S. Leitman, and B. Brant, "Build Your Own Electric Vehicle," McGraw Hill Professional, 2013.
- [19] C. C. Chan, "The state of the art of electric, hybrid, and fuel cell vehicles," Proceedings of the IEEE, vol. 95, no. 4, pp. 704-718, 2007.
- [20] M. M. Tezcan, and S. Taşer, "Investigation of the conversion procedures for fossil fuel vehicles to electric vehicles in Turkey," International Scientific and Vocational Studies Journal, vol. 6, no. 2, pp. 138-143, 2022.
- [21] H. S. Gül, "Elektrikli araçlar için batarya yönetim sistemi tasarımı," Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye, 2018.
- [22] G. Eğin, "Elektrikli araçların batarya sistemlerinde ısı yönetimi," Doktora Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Türkiye, 2019.
- [23] J. Y. Yong, V. K. Ramachandaramurthy, K. M. Tan, and N. Mithulananthan, "A review on the state-of-the-art technologies of electric vehicle, its impacts and prospects," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 49, pp. 365-385, 2015.
- [24] N. Nitta, F. Wu, J. T. Lee, and G. Yushin, "Li-ion battery materials: present and future," Materials Today, vol. 18, no. 5, pp. 252-264, 2015.
- [25] A. K. Padhi, K. S. Nanjundaswamy, and J. B. Goodenough, "Phospho-olivines as positive-electrode materials for rechargeable lithium batteries," Journal of the Electrochemical Society, vol. 144, no. 4, pp. 1188, 1997.
- [26] L. F. Nazar, M. Cuisinier, and Q. Pang, "Lithium-sulfur batteries," MRS Bulletin, vol. 39, no. 5, pp. 436-442, 2014.
- [27] Y.E. Ekici, "Batarya yönetim sistemleri," Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Türkiye, 2019.
- [28] M. A. A. H. Daowd, N. Omar, P. Van Den Bossche, and J. Van Mierlo, "A review of passive and active battery balancing based on MATLAB/Simulink," International Review of Electrical Engineering, vol. 6, no. 7, pp. 2974-2989, 2011.
- [29] D. Andrea, "Battery management systems for large lithium-ion battery packs," Artech House, 2010.
- [30] H. Rahimi-Eichi, U. Ojha, F. Baronti, and M. Y. Chow, "Battery management system: An overview of its application in the smart grid and electric vehicles," IEEE Industrial Electronics Magazine, vol. 7, no. 2, pp. 4-16, 2013.
- [31] M. Rigan, "Elektrikli araçlarda batarya yönetim sistemi tasarımı," Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Türkiye, 2020.