

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA BATARYA PAKETİ TASARIMI VE ÜRETİMİ

YÜKSEK LİSANS

Ersan MEYDAN

HAZİRAN-2025
GÜMÜŞHANE



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA BATARYA PAKETİ TASARIMI VE ÜRETİMİ

BATTERY PACK DESIGN AND PRODUCTION IN ELECTRIC VEHICLES

YÜKSEK LİSANS

Ersan MEYDAN

**HAZİRAN-2025
GÜMÜŞHANE**



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA BATARYA PAKETİ TASARIMI VE ÜRETİMİ

BATTERY PACK DESIGN AND PRODUCTION IN ELECTRIC VEHICLES

YÜKSEK LİSANS

Ersan MEYDAN

Danışman: Doç. Dr. Mehmet BAŞOĞLU

**HAZİRAN-2025
GÜMÜŞHANE**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Yüksek Lisans Tezi Olarak Hazırlamış Olduğum “**Elektrikli Araçlarda Batarya Paketi Tasarımı Ve Üretimi**” isimli bu tezimin, tamamen kendi çalışmam olduğunu, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, alıntı yaptığım tüm çalışmaları kaynakçada belirttiğimi ve Gümüşhane Üniversitesi’nin lisanslı kullanıcısı olduğu intihal yazılım programı ile Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlediği kıstaslara uygun olarak raporladığımı taahhüt ederim. Tezimin kâğıt ve elektronik kopyalarının Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü arşivinde saklanmasına izin verdiğimi onaylarım.

Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği’nin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim.

19/06/2025

Ersan MEYDAN

TEŞEKKÜR

“Elektrikli Araçlarda Batarya Paketi Tasarımı Ve Üretimi” adlı çalışmam süresince yapmış olduğum çalışmalarımı denenetleyen, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan tez danışmanım Doç. Dr. Mehmet BAŞOĞLU’na teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca bana destek veren Dr. Ömer YILDIRIM, Dr. Öğr. Gör. Levent PEHLİVAN, Dr. Öğr. Gör. A. Tahir KALKIŞIM ve Öğr. Gör. Tuğba DURMUŞ’a ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışma boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen aileme teşekkürlerimi sunarım.

Ersan MEYDAN
GÜMÜŞHANE – 2025

ÖZET

Bu çalışmada, elektrikli araçlarda kullanılan batarya paketlenmesi ve batarya yönetim sistemi (BYS) tasarımları gerçekleştirilmiş ve üretimi yapılmıştır. Çalışmanın odak noktası, batarya sistemlerinin güvenli, verimli ve uzun ömürlü bir şekilde çalışmasını sağlamak için gerekli izleme ve kontrol mekanizmalarını geliştirmektir.

Geliştirilen sistemde, batarya gerilimi, sıcaklığı ve batarya şarj durumu (State of Charge - SoC) verileri sürekli olarak izlenmekte ve bu veriler anlık olarak kullanıcıya aktarılmaktadır. Bu sayede, bataryaların çalışma durumu hakkında gerçek zamanlı bilgi sağlanarak güvenli ve kararlı bir çalışma ortamı oluşturulmaktadır.

Üretimi yapılan batarya yönetim sistemi, bataryaların sıcaklık, gerilim ve akım değerlerini izlemeye olanak tanıyarak olası anormalliklerin önceden tespit edilmesine ve bu sayede arıza tahmini ve önleyici bakım yapılmasına imkan tanır. Ayrıca, bataryaların başarımlı optimizasyonu, ömürlerinin uzatılması ve çalışma verimliliğinin artırılması için kapsamlı bir veri yönetimi sağlamaktadır.

Anahtar Kelime: Li-ion Pil, Batarya paketleme ve batarya yönetim sistemi

SUMMARY

In this study, the design and production of battery packaging and Battery Management System (BMS) for electric vehicles were carried out. The focus of the study is to develop the necessary monitoring and control mechanisms to ensure that battery systems operate safely, efficiently, and with extended service life.

In the developed system, battery voltage, temperature, and State of Charge (SoC) data are continuously monitored and transmitted to the user in real-time. This provides real-time information about the operational status of the batteries, ensuring a safe and stable working environment.

The produced Battery Management System enables the monitoring of battery temperature, voltage, and current values, allowing for the early detection of potential anomalies and facilitating predictive maintenance. Additionally, it provides comprehensive data management to optimize battery performance, extend lifespan, and improve operational efficiency.

Key Words: Li-ion Battery, Battery packaging and battery management system

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	III
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI.....	IV
TEŞEKKÜR.....	V
ÖZET.....	VI
SUMMARY	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
TABLolar DİZİNİ	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XI
1. GİRİŞ	1
1.1. Elektrikli Araçlar.....	3
1.2. Elektrikli Araçların Sınıflandırılması.....	4
1.3. Elektrikli Araçlarda Kullanılan Alt Sistemler.....	5
1.4. Güç Üretim Sistemi.....	5
1.4.1. Bataryalar	5
1.4.2. Yakıt Pilleri	13
1.5. Enerji Yönetim Sistemleri.....	14
1.6. Enerji Yönetim Sistemlerinin Bileşenleri	15
1.7. Literatür Özeti	15
2. METARYAL VE YÖNTEM	20
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	26
4. SONUÇLAR	36
KAYNAKÇA.....	38
ÖZGEÇMİŞ	40

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Elektrikli araç bataryaları özellikleri	12
Tablo 2. Elektrikli araç bataryaları (gerilim değerleri ve malzemeler).....	13



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Elektrikli araç türleri.....	5
Şekil 2. Electrobats, Morris ve Salomon'un ürettiği elektrikli araç (Özek, 2020).....	16
Şekil 3. Molicel INR18650-M35A li-ion pil ve teknik özellikleri.....	20
Şekil 4. Sekiz adet pilin paralel olarak bağlanması	21
Şekil 5. Pil gruplarının ve diğer ekipmanların batarya paketi içerisine	21
Şekil 6. Pil hücrelerinin gerilim, akım ve sıcaklık ölçümü için oluşturulan devre şeması	22
Şekil 7. AD629ARZ kaynak gerilimi grafiği.....	22
Şekil 8. AD629ARZ devre bağlantıları.....	23
Şekil 9. LD1117S devre bağlantıları.....	23
Şekil 10. ICL7660CPAZ devre bağlantıları.....	23
Şekil 11. Akım ve gerilim ölçmek için oluşturulan devre şeması.....	24
Şekil 12. Pillerin sıcaklığını ölçmek için oluşturulan devre şeması.....	24
Şekil 13. Fan kontrolü için oluşturulan devre	25
Şekil 14. AD629 fark alıcı yükselteç devresi için -9V üretim testi	26
Şekil 15. AD629 fark alıcı yükselteç ile batarya geriliminin ölçülmesi	27
Şekil 16. 9V'tu 5V'ta düşüren regülatör devresinin testi.....	27
Şekil 17. Mux entegreleri ile batarya hücrelerinin geriliminin ölçüm testi	28
Şekil 18. Batarya Yönetim Sistemi (BYS).....	29
Şekil 19. Pil grupları için kullanılan aktif dengelem sistemi görünümü.....	30
Şekil 20. Puntalama makinesinin görseli	31
Şekil 21. Puntalama işlemi gören pil grubu ve batarya paketi görünümü	32
Şekil 22. Batarya değerlerinin kullanıcıya aktarılması ve gösterilmesi	33
Şekil 23. Pil gruplarının gerilim ve akım değerlerinin okunduğu kısım.....	34
Şekil 24. Pil gruplarının sıcaklık değerlerinin okunduğu kısım.....	34
Şekil 25. Batarya paketinin iç görünümü	35
Şekil 26. Batarya paketinin dış görünümü	35

SEMBOLLER DİZİNİ

BYS : Batarya Yönetim Sistemi

SoC : Batarya Şarj Durumu

Li-ion : Lityum İyon Pil



1. GİRİŞ

İnsanlığın ergonomik, ekonomik ve çevresel refahını artırma potansiyeli, teknolojinin modern inovasyonlardaki temel rolüdür. Ancak ilerleyen süreçte teknolojinin getirdiği faydaların yanında üretim süreçleri ve kullanılan teknolojinin tükettiği enerjinin üretim süreçleri düşünüldüğünde ergonomi ve ekonominin yanında çevre bilincinin de dikkate alınması gerektiği fark edildi. Bu aşamada ilk olarak bozulan doğal yaşam unsurları ve akabinde kirlenen hava ve su kaynakları ile büyük oranlarda sanayileşen ve hayatının her alanında teknoloji ile yaşayan insanlığın dünya üzerindeki olumsuz etkileri kendini göstermeye başladı. Ozon tabakasının incilmesi ve küresel ısınma ise bütün devletlerin harekete geçmesi için bir başlangıç noktası oldu. Son araştırmalar göstermektedir ki, günümüzde dünya nüfusunun yaklaşık %54'ü şehirlerde yaşamaktadır. Şehirlerdeki insan sayısı her geçen gün hızla artarken, mevcut altyapılar bu büyük yükü taşıyacak kapasiteye ulaşamamaktadır. Bu durum, şehirlerdeki altyapı, ulaşım, sağlık, güvenlik, çevre ve enerji gibi alanlarda sorunları ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle, şehirlerde yaşayan insanlara daha iyi hizmet sunabilmek amacıyla, mevcut kaynakları daha etkin bir şekilde kullanarak yeni modeller ve yöntemler geliştirilmektedir (Sevim, M. A., Kırcova, İ., & Çuhadar, E. 2019).

Başlangıçta, araçların elektrikli motorlarla çalışabileceği düşünülmese de, rotanın tamamen içten yanmalı motorlara dönüştürüldüğü gözlemlenmiştir. Bu durumun başlıca temel nedenleri, yarı iletken teknolojisinin ihtiyacı karşılayabilecek seviyede olmaması, düşük pil kapasitesi ve mevcut şarj istasyonlarının yetersizliğidir. Ancak, içten yanmalı motorlar daha karmaşık sistemlere sahiptirler. Ayrıca, içten yanmalı motorların kullanılması, uzun vadede insanlık ve dünyanın ekolojik denge açısından daha fazla soruna yol açmaya devam etmektedir (Özbay, H., Közkurt, C., Dalcalı, A., & Tektaş, M. 2020). Günümüzde fosil yakıtlar, özellikle üretim, ısıtma, ulaşım ve diğer birçok faaliyet alanında birincil enerji kaynağı olarak en yaygın kullanılan yakıt türüdür. İnsan ve mal taşımacılığı, tüketilen birincil enerjinin yaklaşık %20'sini, CO2 emisyonlarının yaklaşık %23'ünü ve toplam küresel sera gazı emisyonlarının yaklaşık %14'ünü oluşturmaktadır. Ancak, fosil yakıtlar 2016 yılından bu yana tüm tüketimin temel ve baskın kaynağı olmaya devam etmektedir. Petrol, küresel enerji tüketiminin üçte birini oluşturmuş ve 2017 yılında da fosil yakıtlar, sektörlere göre tüm enerji tüketiminin %85'ini oluşturmuştur (Özbay, H., Közkurt, C., Dalcalı, A., & Tektaş, M.

2020). Elektrikli hareketlilikte lider ülkeler, sıfır ve düşük emisyonlu araçlar için teşviklerle birlikte yakıt ekonomisi standartlarını kullanmakta ve ekonomik araçlarla elektrikli ve yakıtlı araçlar arasındaki maliyet farkını kapatmaya yardımcı olmaktadır. Ayrıca, şarj altyapısının yaygınlaştırılması için destek sağlanmakta ve pil teknolojisi değer zincirinin stratejik önemi politika desteğiyle ele alınmaktadır. Bu sebeple, enerji kıtlığı ve çevre koruma konularıyla karşı karşıya olan dünya, özellikle Çin'in güçlü bir şekilde elektrikli araçlar üzerinde çalıştığı bir döneme girmiştir (Hu, Y., Wang, Z., & Li, X. 2020). Devasa şehirlerin önemi arttıkça, toplumların davranışlarını düzenlemek ve bireylerin ihtiyaçlarını etkili bir şekilde karşılamak için kanunlar, yönetmelikler ve uluslararası standartlara dayanan yeni yaklaşımlar ortaya çıkmıştır. Bu yaklaşımlar, ulaşım, enerji, su, sağlık, çevre ve güvenlik gibi konulara odaklanarak ekonomik, verimli, yaratıcı ve aktif yurttaş katılımını teşvik etmeyi amaçlamaktadır. Bu amaçla, ileri teknolojinin kullanımıyla yaşam kalitesinin her alanda artırılması hedeflenmektedir. Bu çerçevede, "Akıllı Şehir" kavramı da gündeme gelmiştir (Sevim, M. A., Kırcova, İ., & Çuhadar, E. 2019). Akıllı Ulaşım ise, şehir içinde mevcut olan tüm ulaşım kapasitesini maksimum düzeyde kullanmayı hedefleyen çözümlerin üretildiği bir kavramdır. Akıllı ulaşım yatırımların amacı, trafik sıkışıklığını azaltmak, yolculuk sürelerini optimize etmek, enerji verimliliğini artırmak, çevresel etkileri azaltmak ve kullanıcı deneyimini iyileştirmektir. Örneğin, otonom araçlar sayesinde trafik akışı daha düzenli hale getirilebilir ve kazaların önlenmesine yardımcı olunabilir (Sevim, M. A., Kırcova, İ., & Çuhadar, E. 2019). Akıllı Altyapı, ekonomik, çevresel ve sosyal açılardan bir dizi fayda sunar. Bunlar arasında maliyet tasarrufu, enerji verimliliği, kaynakların daha iyi yönetimi, trafik akışının iyileştirilmesi, çevresel etkilerin azaltılması Akıllı Altyapı, şehirlerin gelecekteki büyüme ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmalarına yardımcı olurken, daha yaşanabilir, güvenli ve akıllı bir şehir deneyimi sağlama amacını taşır. Bunun yanı sıra, enerji yönetiminde veri analitiği, yapay zekâ ve akıllı ölçüm cihazları gibi teknolojiler kullanılarak, enerji talebinin tahmin edilmesi, enerji ağlarının güvenliği ve enerji akışının daha verimli bir şekilde yönetilmesi sağlanır. Akıllı enerji uygulamaları, şehirlerin daha sürdürülebilir, çevre dostu ve enerji verimli hale gelmesini hedefler (Ambrose, H., Kendall, A. İ., Lozano, M., Wachche, S., & Fulton, L. 2020). Bu sayede, karbon ayak izinin azaltılması, enerji maliyetlerinin düşürülmesi ve enerji kaynaklarının daha etkin bir şekilde kullanılması sağlanır.

Ulaşımında fosil kaynaklı enerji tüketimini azaltabilme gayesiyle farklı yakıt türleriyle yani alternatif enerjili yakıt türleriyle çalışan araçların üretimi gerekmektedir.

Ancak alternatif enerjiyi elde edebilme ve depolama yöntemlerinin aracın maliyetini karşılaması konusundaki eksiklikleri bu sürecin yavaş ilerlemesine sebep olmaktadır. Bu sebepten dolayı enerjiyi kolay bir şekilde elde edip, verimli bir biçimde aracın tahrikinde kullanmak amacıyla elektrikli araçların üretimi ön plana çıkmaktadır. Elektrikli araçlar, neredeyse otomobilin icadıyla aynı zamana dayanmaktadır. Ancak içten yanmalı motorların icadıyla birlikte, ağırlık güç oranının düşük olması ve yakıt olarak kullanılan petrolün yüksek enerji yoğunluğu gibi faktörler, elektrikli motorların özellikle geçtiğimiz yüzyılda içten yanmalı motorlara karşı geride kalmasına neden olmuştur. Bu sebepler, içten yanmalı motorların daha verimli ve pratik bir seçenek olarak öne çıkmasına yol açmıştır. Bu yüzyılda ise içten yanmalı motorların olumsuz yönleri gittikçe fark edilecek boyutlara yükselmesi elektrikli araçların yeniden gün yüzüne çıkmasına ve geliştirilmesine yol açmıştır. Bu bağlamda elektrikli araçların menzil sorununu iyileştirmek amacıyla batarya teknolojilerindeki geliştirmeler hala devam etmektedir.

Elektrikli araçlar, günümüzde çevre dostu ve enerji verimliliği sağlayan bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Bu araçların temel enerji kaynağı olan bataryalar, performansın ve sürüş menzilin belirlenmesinde kritik bir rol oynamaktadır.

Batarya yönetim sistemi (BYS), elektrikli araçlardaki enerji depolama birimlerini kontrol eden ve optimize eden bir teknoloji olarak öne çıkmaktadır. BYS, bataryaların güvenli, verimli ve uzun ömürlü bir şekilde kullanılmasını sağlayarak sürüş performansını artırırken, aynı zamanda enerji tüketimini optimize ederek aracın çevresel etkisini azaltır.

Bu nedenle, elektrikli araç teknolojisinin gelişimiyle birlikte batarya yönetim sistemleri, sektördeki önemli bir alan haline gelmiştir.

1.1. Elektrikli Araçlar

“Elektrikli Araç” terimi, elektrik enerjisini birincil veya ikincil enerji kaynağı olarak kullanarak hareket enerjisi üreten taşıtları ifade eden genel bir kavramdır. Elektrik enerjisi, bu araçların çalışma prensibinin temelini oluşturur ve bu enerji kaynağı doğrudan bataryalardan, yakıt hücrelerinden veya hibrit sistemlerde olduğu gibi diğer enerji kaynaklarıyla desteklenerek sağlanabilir. Elektrikli araçlar, enerji kaynağının türüne veya kullanım şekline bağlı olmaksızın bu sınıfa dahil edilebilir.

Elektrikli araçlar, kullanım amaçlarına, boyutlarına, taşıma kapasitelerine ve teknolojik özelliklerine göre geniş bir yelpazeye ayrılır. Bu kategori yalnızca kara taşıtlarıyla sınırlı olmayıp, elektrikli deniz taşıtları, hava araçları ve hatta uzay

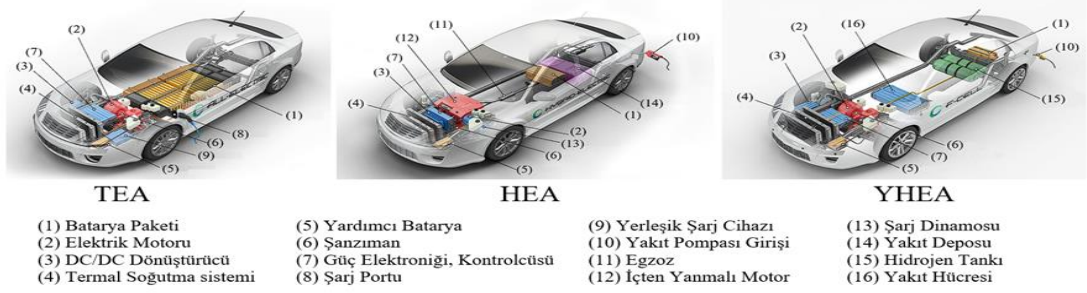
teknolojilerinde kullanılan araçları da kapsamaktadır. Örneğin, elektrikli otomobiller ve otobüsler gibi kara araçları, toplu taşımada ve bireysel ulaşımında yaygın bir şekilde tercih edilirken, elektrikli gemiler, balıkçı tekneleri ve denizaltılar gibi araçlar denizcilik sektöründe kullanılmaktadır. Havacılık alanında elektrikli uçaklar ve insansız hava araçları (drone'lar), enerji verimliliği ve çevresel sürdürülebilirlik açısından yeni çözümler sunmaktadır.

Elektrikli araçların bu kadar farklı alanlarda uygulanabilmesi, onları hem teknolojik hem de çevresel açıdan kritik bir konuma yerleştirmektedir. Enerji dönüşüm verimliliği, karbon salınımının azalması ve yenilenebilir enerji kaynaklarıyla entegrasyonu, bu araçların gelecekteki önemini artıran temel faktörler arasında yer alır. Bu nedenle, elektrikli araçlar yalnızca bir ulaşım aracı değil, aynı zamanda enerji dönüşümünde devrim niteliği taşıyan bir teknoloji olarak değerlendirilmektedir.

Bu çalışmada, elektrikli araçlar kapsamında yalnızca otomobiller ele alınacaktır.

1.2. Elektrikli Araçların Sınıflandırılması

Elektrikli araçlar (EA), tarihsel olarak 19. yüzyılda başlamış olup özellikle son yıllarda içten yanmalı motorların neden olduğu sera gazlarının ve hava kirliliğinin artmasıyla popülerlik kazanmıştır. Farklı EA türleri üzerinde yapılan çalışmalar her geçen gün hızla artmaktadır. Şu anda kullanılan EA çeşitleri genellikle üç ana grupta toplanabilir. Tümüyle elektrikle çalışan araçlar (TEA), enerjisini tamamen bir batarya grubundan alan EA'lar olarak bilinir ve genellikle ilk akla gelenler arasındadır. Yine son yıllarda, batarya teknolojisindeki gelişmelerin artmasıyla TEA'lar giderek daha fazla ilgi görmektedir. Bununla birlikte, içten yanmalı motoru ve elektrik motorunu aracın tahrik sisteminde birlikte kullanan hibrit elektrikli araçlar (HEA) günümüzde en yaygın kullanılan EA türüdür. Diğer bir EA türü ise hidrojen enerjisiyle çalışan yakıt hücresel elektrikli araçlar (YHEA) olarak adlandırılır; bu araçlar, hidrojen ve oksijenin kimyasal reaksiyonu sonucu elde edilen elektrikle motoru çalıştırarak hareketini sağlar (Ari, Y. O. 2020). Elektrikli araç türleri ve önemli bileşenleri Şekil 1'de verildi.



Şekil 1. Elektrikli araç türleri

1.3. Elektrikli Araçlarda Kullanılan Alt Sistemler

Elektrikli araçlarda, performans ve işlevselliği sağlamak için çeşitli alt sistemler kullanılmaktadır. Bu alt sistemler; güç üretim sistemleri, güç kontrol sistemleri, tahrik sistemleri ve enerji yönetim sistemleri olarak sınıflandırılabilir. Her bir sistem, aracın verimliliği, menzili ve güvenilirliği açısından kritik bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada güç üretim sistemleri ile enerji yönetim sistemleri ele alınacaktır.

1.4. Güç Üretim Sistemi

Elektrikli araçlarda güç üretim sistemi, aracın elektrik şebekesini doğrudan ya da hibrit sistemlerde olduğu gibi farklı enerji üreticileri ile birlikte besleyen temel birimdir. Sistem mimarisi hibrit ya da doğrudan tahrikli olabilir, ancak her durumda elektrik enerjisi mekanik enerjiye dönüştürülerek aracın hareketi sağlanır. Güç üretim modülü, genellikle elektrikli tahrik motorunu ve bu motoru besleyen enerji kaynağını bir araya getiren bir yapı olarak düşünülür. Bu modül, araç şebekesine hem AC hem de DC elektrik enerjisi sağlayabilme kapasitesine sahiptir.

1.4.1. Bataryalar

Bataryalar, elektrikli araçların gelişiminde en kritik bileşenlerden biridir. Bataryalar, kimyasal enerji depolayarak bunu doğrudan elektrik enerjisine dönüştürür ve sürüş sistemi için gerekli olan enerjiyi sağlar. Bu dönüşüm, bataryaların enerji ve güç yoğunluğu özelliklerini doğrudan etkiler.

Elektrikli ve hibrit elektrikli araçlarda kullanılan bataryaların yüksek özgül enerji, yüksek özgül güç ve uzun çevrim ömrüne sahip olması beklenir. Özgül enerji, birim kütlede depolanan enerji miktarını ifade ederken, özgül güç, birim kütlede sağlanan gücü ifade eder. Örneğin, lityum-iyon bataryalar yüksek enerji yoğunluğu ve uzun

kullanım ömrü ile öne çıkmaktadır. Ancak, sodyum-sülfür ve sodyum-nikel klorür gibi yüksek sıcaklık bataryaları özel soğutma ve kontrol sistemleri gerektirir.

Batarya seçiminde enerji yoğunluğu, çevrim ömrü ve çalışma sıcaklığı gibi faktörler kritik öneme sahiptir. Ayrıca, batarya hücrelerinin voltajı, toplam sistemin karmaşıklığını ve güvenilirliğini etkiler. Günümüzde kurşun-asit bataryalar düşük maliyet avantajı sunmasına rağmen, sınırlı enerji yoğunluğu nedeniyle uzun menzil sağlayamamaktadır.

Kurşun-Asit Batarya

Tüm İçten Yanmalı Motorlu araçlarda (İYM) ilk hareket enerjisini sağlamak amacıyla kullanılan düşük maliyetli batarya türleri, negatif elektrot olarak kurşun, pozitif elektrot olarak kurşun dioksit ve elektrolit olarak da sülfürik asit çözeltisinden oluşur. Genellikle bu bataryalar, seri bağlanmış 6 hücre ile yaklaşık 12 voltluk bir gerilim sağlar.

Kurşun asit bataryaları, 100 yılı aşkın süredir geliştirilmekte olmasına rağmen, enerji yoğunluğu oldukça düşüktür ve genellikle 25-35 Wh/kg seviyelerindedir. Buna karşın, 150 W/kg civarındaki güç yoğunluklarıyla oldukça iyi bir performans sunabilirler.

Ancak bu batarya tipi, düşük çevre sıcaklıklarına karşı oldukça hassastır. Özellikle sıcaklığın 10°C'nin altına düştüğü koşullarda hem enerji hem de güç performansında ciddi azalmalar meydana gelir. Bu nedenle, kurşun asit bataryalarını kullanan elektrikli araçlarda soğuk iklimlerde ek bir ısıtma sistemi ve yalıtım önlemleri gereklidir.

Kurşun asit bataryalarının ömrü, %80 derin deşarj altında yaklaşık 1000 çevrimdir; bu da ortalama olarak 3 yıllık bir kullanım süresine karşılık gelmektedir.

Nikel-Demir Batarya

1901 yılında, Thomas Edison tarafından elektrikli araçların daha uzun menzile sahip olmasını sağlamak amacıyla nikel-demir bataryaları geliştirilmiştir. Bu bataryalar, yüksek güvenilirlik ve uzun ömür sunmalarına rağmen, maliyet açısından diğer alternatiflere göre daha pahalı bir şarj edilebilir (sekonder) batarya türüdür.

Bataryanın yapısında, pozitif elektrot olarak nikel, negatif elektrot olarak demir kullanılırken, potasyum hidroksit sıvı elektrolit görevini üstlenir.

Zaman içerisinde yapılan geliştirme çalışmaları sayesinde bu bataryaların enerji yoğunluğu 50 Wh/kg seviyelerine ulaşmıştır. Bu iyileşme, aktif malzeme oranının artırılması ve batarya içindeki pasif bileşenlerin ağırlıklarının azaltılmasıyla sağlanmıştır.

Nikel-demir bataryaları, -20°C gibi düşük sıcaklıklarda dahi performanslarını büyük ölçüde koruyabilmektedir. Maksimum güç yoğunluğu yaklaşık 100 W/kg olup, bu da özellikle araçların ivmelenme ihtiyaçları açısından yeterli bir değerdir. Ancak, güç yoğunluğu büyük ölçüde deşarj derinliğine bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Bu batarya türü, yaklaşık 2000 çevrimlik derin deşarj kapasitesiyle yaklaşık 6 yıllık bir kullanım ömrüne sahiptir.

Nikel-Çinko Batarya

Şarj edilebilir nikel-çinko (Ni-Zn) bataryalar, ilk kez 1899 yılında geliştirilmiştir. Ancak, şarj işlemi sırasında çinko elektrot üzerinde dendrit oluşumu gözlemlenmiş ve bu durum bataryaların kullanım ömrünü önemli ölçüde kısaltmıştır. Bu nedenle, nikel-çinko bataryaların yaygın olarak benimsenmesi engellenmiştir.

Günümüzde, yüksek güç ve enerji yoğunlukları sayesinde bu batarya türü, elektrikli araçlar (EA) gibi uygulamalarda tekrar ilgi görmeye başlamıştır. Enerji yoğunluğu yaklaşık 70 Wh/kg, güç yoğunluğu ise 150 W/kg seviyesindedir. Ancak en büyük sınırlayıcı faktör, dendrit oluşumuna bağlı olarak bataryanın çevrim ömrünün yalnızca yaklaşık 300 döngüyle sınırlı kalmasıdır.

Nikel-çinko bataryalar, geniş bir sıcaklık aralığında çalışabilme yeteneğine sahiptir; -39°C ile $+81^{\circ}\text{C}$ arasındaki sıcaklıklarda işlevselliğini sürdürebilmektedir. Bununla birlikte, 30 günlük bir kullanım süresi sonunda batarya kapasitesinde %60 oranında bir azalma gözlemlenmektedir.

Son yıllarda, bu batarya türünün çevrim ömrünü artırmaya yönelik çeşitli araştırmalar yapılmış olsa da, nikel-çinko bataryaların gelişimine yönelik bilimsel ilginin giderek azaldığı görülmektedir

Nikel Kadmiyum Batarya

Son yıllarda, nikel-kadmiyum (NiCd) bataryalar, özgül enerji, özgül güç, çevrim ömrü ve güvenilirlik açısından sağladıkları denge sayesinde öne çıkan batarya teknolojileri arasında yer almaktadır.

NiCd bataryalar, sinterlenmiş pozitif nikel elektrot, negatif kadmiyum elektrot ve potasyum hidroksit (KOH) bazlı sulu bir elektrolitten oluşmaktadır. Bu yapıları sayesinde, kurşun-asit bataryalara kıyasla birim ağırlık başına daha yüksek enerji depolayabilme kapasitesine sahiptirler.

Nikel-kadmiyum bataryaların enerji yoğunluğu yaklaşık 50 Wh/kg, güç yoğunluğu ise 200 W/kg düzeyindedir. Yüksek şarj ve deşarj oranlarına sahip olmaları, özellikle elektrikli araçlar (EA) gibi dinamik enerji ihtiyaçları olan uygulamalarda

kullanımını mümkün kılmaktadır. Derin deşarj koşullarında yaklaşık 2000 çevrime kadar dayanabilmeleri de önemli bir avantaj olarak değerlendirilmektedir.

Bununla birlikte, kadmiyumun toksik ve çevresel olarak zararlı bir element olması, bu batarya türünün geri dönüşümünü hem zorunlu hem de karmaşık hale getirmektedir. Çevreye olan olumsuz etkilerinden dolayı, nikel-kadmiyum bataryaların birçok ülkede kullanımı sınırlandırılmış ya da tamamen durdurulmuştur.

Nikel-Metal Hidrür Batarya

Nikel-metal hidrür (NiMH) bataryalar, toksik madde içermemeleri ve yüksek performans özellikleri nedeniyle, son yıllarda nikel-kadmiyum (NiCd) bataryaların yerini alarak birçok elektrikli araç (EA) uygulamasında tercih edilmeye başlanmıştır. NiMH bataryalar, NiCd bataryalara kıyasla daha yüksek enerji depolama kapasitesine sahiptir.

Bu bataryalar; negatif elektrot olarak metal hidrür karışımı, pozitif elektrot olarak nikel hidroksit ve elektrolit olarak potasyum hidroksit (KOH) içeren bir yapıdan oluşmaktadır. Negatif elektrot, hidrojen depolama kapasitesi olan metal alaşımlardan üretilmektedir. Bu alaşımlar başlıca iki kategoriye ayrılır:

AB₅ alaşımları: Nikel bazlı bileşikler

AB₂ alaşımları: Titanyum, vanadyum ve zirkonyum içeren nikel alaşımları

NiMH bataryalar, 70 Wh/kg'ın üzerinde enerji yoğunluğuna ve 200 W/kg'ın üzerinde güç yoğunluğuna sahiptir. %80 derin deşarj koşullarında 600'ün üzerinde tam şarj/deşarj çevrimi gerçekleştirebilmekte ve hızlı şarj özelliği sayesinde yaklaşık 35 dakika içerisinde %80 kapasiteye kadar yeniden şarj edilebilmektedir.

Ancak, bu batarya türünün önemli bir dezavantajı ise maliyetidir. NiMH bataryalar, kurşun-asit bataryalara kıyasla yaklaşık beş kat daha pahalıdır.

Sodyum-Sülfür Batarya

Sodyum-sülfür (Na-S) batarya teknolojisi, ilk olarak 1960'lı yıllarda Ford Araştırma Laboratuvarı'nda, elektrikli taşıtlar için gerekli olan enerji ve güç yoğunluğunu karşılamak amacıyla geliştirilmiştir. Günümüzde bu batarya türü, Avrupa, Amerika ve Japonya'da çeşitli şirketler tarafından ticari prototiplerde kullanılmaktadır.

Na-S bataryalar, negatif elektrot olarak sodyum, pozitif elektrot olarak ise sülfür kullanılarak yapılandırılmaktadır. Her iki elektrot bileşeni de yüksek sıcaklıklarda, yaklaşık 350°C'de sıvı halde bulunur ve bu sıcaklık bataryanın optimum çalışma sıcaklığıdır.

Bu bataryalar, yaklaşık 110 Wh/kg enerji yoğunluğu ve 150 W/kg güç yoğunluğu sağlayabilmektedir. Bunun yanı sıra, yaklaşık 1000 derin deşarj çevrimi ile belirli bir kullanım ömrüne sahiptir.

Ancak, bu batarya türünün yüksek sıcaklık gereksinimi önemli bir sınırlayıcı faktördür. 200°C'nin altına düşüldüğünde, sodyum elektrolit donmaya başlar. Elektrolitin donması, elektrokimyasal reaksiyonları yavaşlatarak bataryanın performansını olumsuz etkiler ve bu durum, hücre yapısında mekanik gerilmeler oluşturarak batarya yapısına zarar verebilir.

Sodyum-Nikel Klorür Batarya

Sodyum-nikel klorür bataryalarında, pozitif elektrot olarak nikel klorür, negatif elektrot olarak ise sodyum kullanılmaktadır. Bu batarya sisteminde, elektrolit olarak sodyum tuzu yerine sodyum klorür elektrotu kullanılmaktadır. Sodyum klorürün donma noktası ise daha düşük olup yaklaşık 160°C seviyesindedir.

Sodyum sülfür (Na-S) bataryalarına kıyasla, bu batarya türü daha düşük sıcaklıklarda (yaklaşık 300°C) çalışabilmekte, böylece termal yönetim açısından bir miktar avantaj sağlamaktadır. Enerji yoğunluğu yaklaşık 100 Wh/kg, maksimum güç yoğunluğu ise 150 W/kg seviyesindedir. Bu değerler, sodyum sülfür bataryaları ile benzerlik göstermektedir.

Lityum-Demir Sülfat Batarya

Lityum demir sülfat bataryaları, özellikle yüksek sıcaklıkta çalışan bataryalar arasında elektrikli taşıtlarda potansiyel kullanım alanı bulmaktadır. Lityum, yüksek elektrot potansiyeli sayesinde üstün enerji depolama kapasitesine sahip olduğundan, batarya teknolojilerinde kullanım için oldukça uygundur.

Bu batarya türü, pozitif elektrot olarak demir sülfat ve negatif elektrot olarak alüminyum lityum bileşenlerinden oluşmaktadır. Batarya, yaklaşık 450°C sıcaklıkta çalışmaktadır.

Lityum demir sülfat bataryalarının enerji yoğunluğu yaklaşık 150 Wh/kg, güç yoğunluğu ise 300 W/kg seviyesindedir. Ayrıca, bataryalar yaklaşık 1000 derin deşarj çevrimi sağlayabilmektedir.

Lityum-Katı Polimer Batarya

Lityum-katı polimer bataryaları, diğer yüksek sıcaklık bataryalarından farklı olarak, ergimiş tuz elektroliti yerine iletken polimerler kullanılarak tasarlanmıştır. Bu tasarım, bataryanın performansını artıran önemli bir yeniliktir.

Bu batarya türü, 150 Wh/kg enerji yoğunluğu ve 300 W/kg güç yoğunluğuna sahiptir. Lityum-katı polimer bataryaları, düşük güç gereksinimlerinde dış ortam sıcaklıklarında çalışabilmekle birlikte, optimum çalışma sıcaklık aralığı 80°C ile 120°C arasında değişmektedir.

Lityum-İyon Batarya

Lityum-iyon bataryaların yapısı, lityum-katı polimer batarya hücrelerine benzemektedir. Ancak, lityum metal plaka yerine, negatif elektrot olarak grafit veya kalay oksit gibi negatif "host" materyaller kullanılmaktadır. Deşarj sırasında, lityum iyonları negatif "host"tan, organik elektrot aracılığıyla manganez, kobalt veya nikel oksit içeren pozitif "host"a geçer. Şarj esnasında ise bu süreç tersine işler ve lityum iyonları katot ve anot arasında sarkaç gibi hareket eder.

Lityum-iyon bataryalar, yaklaşık 120 Wh/kg enerji yoğunluğuna ve 1000 çevrim kapasitesine sahip derin deşarj çevrimlerine ulaşabilmektedir. Bu bataryalar, %80 şarj seviyesine 1 saatten kısa bir sürede ulaşabilmektedir.

Lityum-iyon ve lityum-katı polimer bataryalar, yüksek enerji yoğunlukları sayesinde elektrikli araç uygulamaları için en uygun batarya teknolojileri arasında yer almaktadır. Gelecek 15-20 yıl içerisinde, lityum-iyon bataryaların maliyetlerinin önemli ölçüde düşmesi ve bu bataryaların elektrikli araçlar için ekonomik seviyelere inmesi beklenmektedir.

Alüminyum-Hava ve Çinko-Hava Bataryalar

Elektrikli araçlarda (EA) kullanılan bir diğer batarya türü metal-hava bataryalarıdır. Bu bataryalarda, en yaygın olarak çinko ve alüminyum metal elektrotlar tercih edilmektedir. Tüm metal-hava bataryaları, ince gaz geçirgen katotlar ve alkali su bazlı elektrolitler (örneğin potasyum hidroksit) kullanılarak tasarlanmaktadır.

Alüminyum-hava bataryalarının maksimum enerji yoğunluğu yaklaşık 220 Wh/kg, çinko-hava bataryalarının ise 200 Wh/kg olarak belirtilmektedir. Ancak, bu bataryaların performansını sınırlayan önemli bir faktör, hava ve elektrolit arasındaki değişim hızıdır. Bu değişim hızı, güç yoğunluğunu belirleyen bir faktördür ve genellikle oldukça düşüktür.

Hibrid Elektrikli Araçlar İçin Bataryalar

Elektrikli araçlar (EA) ve hibrid elektrikli araçlar (HEA) için kullanılacak bataryaların, yüksek spesifik güç (W/kg) ve spesifik enerji (Wh/kg) değerlerine sahip olmalarının yanı sıra, uzun ömürlü ve düşük maliyetli olmaları beklenmektedir. Ancak,

tüm bu özellikleri bir arada sunabilen ideal bir batarya teknolojisi henüz geliştirilmemiştir. Hibrid elektrikli araçlarda kullanılacak bataryalar, aracın enerji yönetim sistemi ve konfigürasyonuna uygun şekilde seçilmelidir.

HEA (Hibrid Elektrikli Araç) sistemlerinde, batarya şarj seviyesinin %50'nin altına düşmemesi prensibine uygun olarak, derin deşarja dayanıklı bataryalar tercih edilmektedir. Ayrıca, sessiz sürüş modu için de derin deşarj kapasitesine sahip bataryaların kullanılması gereklidir. Bununla birlikte, kullanım sırasında şarj seviyesi sürekli değişen hibrid sistemlerde, bataryaların yüksek spesifik güce sahip olması önemli bir gerekliliktir.

Seri hibrid elektrikli araçlar (HEA) için enerji yönetim sisteminin, güç üretim sisteminin tek başına karşılayamayacağı ortalama yükleri karşılayacak şekilde tasarlanması gereklidir. Bu tür sistemlerde, bataryalar tepe yüklerdeki anlık enerji talebini karşılayabilecek kapasitede seçilmelidir. Güç desteği sağlamak için bataryaların spesifik gücünün yüksek olması tercih edilirken, yükün tamamının bataryalar tarafından karşılanacağı senaryolarda ise spesifik enerjisi yüksek bataryaların kullanılması önerilmektedir. Bu durumda, güç üretim sistemi bataryaların şarj edilmesi amacıyla görev yapar.

Paralel hibrid araçlarda, elektrik tahrik sistemi genellikle düşük güçte tasarlanır ve sessiz sürüş modu oldukça kısa süreli olur. Bu araçlar, düşük hızlarda ve rejeneratif frenleme sırasında enerji tasarrufu sağlamayı hedefler. Bu nedenle, paralel hibrid araçlarda spesifik gücü yüksek bataryalar tercih edilmektedir.

Yukarıda bahsedilen bataryaların özellikleri tablo 1'de bu bataryalarda kullanılan her bir pilin gerilim değerleri ve kullanılan malzemeler tablo 2'de verildi.

Tablo 1. Elektrikli araç bataryaları özellikleri

Batarya Tipi	Azami Enerji Yoğunluğu (Wh/kg)	Azami Güç Yoğunluğu (W/kg)	En Hızlı %80 Tekrar Şarj Zamanı (Dakika)	Çalışma Sıcaklığı (°C)	Çevrim Sayısı (%80 Deşarj Durumunda)	Maliyet (\$/kWh)
Kurşun-asit	35	150	N/A	Ortam	1000	60
Nikel-demir	50	100	N/A	Ortam	2000	150-200
Nikel-çinko	70	150	N/A	Ortam	300	150-20
Nikel-kadmiyum	50	200	15	Ortam	2000	300
Nikel-metal hidrür	70	200	35	Ortam	2000+	250
Sodyum-sülfür	110	150	N/A	350	1000	150
Sodyum-nikel klorür	100	150	N/A	300	700+	250
Lityum-demir sülfat	150	300	N/A	450	1000	200
Lityum-katı polimer	200	350	N/A	80-120	1000	150
Lityum-iyon	120-150	120-150	<60	Ortam	1000+	150
Alüminyum-hava	220	30	N/A	Ortam	N/A	N/A
Çinko-hava	200	80-140	N/A	Ortam	200	100

Tablo 2. Elektrikli araç bataryaları (gerilim değerleri ve malzemeler)

Batarya Tipi	Açık Devre Hücre Gerilimi	Anot Malzemesi	Katot Malzemesi	Elektrolit Kompozisyonu
Kurşun-asit	2.1	PbO ₂	Pb	H ₂ SO ₄
Nikel-demir	1.2	Ni	Fe	KOH
Nikel-çinko	1.7	Ni	ZnO ₂	KOH
Nikel-kadmiyum	1.2	Ni	Cd	KOH
Nikel-metal hidrür	1.23	Ni	Metal hidrür	KOH
Sodyum-sülfür	2.1	S	Na	βAl ₂ O ₃
Sodyum-nikel klorür	2.1-2.2	NiCl	Na	βAl ₂ O ₃
Sodyum-demir sülfür	1.75-2.1	FeS ₂	LiAl ya da LiSi	LiCl/KCl
Lityum-katı polimer	2.-2.5	Li	V ₆ O ₁₃ ⁺ siyah asetilen	(PEO*) ₁₂ LiClO ₄
Lityum-iyon	3,6	Karbon ilavesi	LiCoO ₂	Organik
Alüminyum-hava	1,5	Al	O ₂	KOH
Çinko-hava	1,65	Zn	O ₂	KOH

1.4.2. Yakıt Pilleri

Yakıt pilleri, yakıt ve oksidan arasındaki kimyasal reaksiyon sonucunda doğrudan DC elektrik enerjisi üreten bir diğer önemli enerji kaynağıdır. Bu sistemler, içten yanmalı motorlardan farklı olarak yanma süreci olmaksızın hidrojen ve oksijen gibi enerji kaynaklarını kullanır. Yakıt pilleri, enerji üretiminde sürekli bir besleme gerektirir ve bu özellikleri ile bataryalardan farklı bir işleyişe sahiptir.

Yakıt pilleri farklı türlerde geliştirilmiştir ve her biri farklı uygulamalara uygundur:

- Proton Değişim Membranlı Yakıt Pili (PEMYP): Yüksek enerji yoğunluğu ve hızlı başlatma özelliği ile öne çıkar.

- Fosforik Asit Yakıt Pili (FAYP): Orta sıcaklıkta çalışan ve uzun ömürlü bir seçenektir.
- Alkali Yakıt Pili (AYP): Düşük sıcaklıklarda çalışabilme özelliği ile bilinir.
- Ergimiş Karbonat Yakıt Pili (EKYP): Yüksek sıcaklıklarda çalışarak geniş uygulama alanı sağlar.
- Katı Oksit Yakıt Pili (KOYP): En yüksek sıcaklıkta çalışan ve verimli bir enerji dönüşümü sunar.

Yakıt pilleri, çevre dostu enerji üretimi ve yüksek verimlilik avantajlarıyla elektrikli araç teknolojisinde önemli bir yere sahiptir.

1.5.Enerji Yönetim Sistemleri

Enerji yönetim sistemleri (EYS), elektrikli araçlarda enerji kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılmasını sağlayan kritik bir alt sistemdir. Bu sistemler, aracın enerji depolama birimlerinden (örneğin bataryalar veya yakıt pilleri) elde edilen enerjiyi farklı bileşenlere en uygun şekilde dağıtarak, aracın performansını ve enerji verimliliğini optimize eder.

Enerji Yönetim Sistemlerinin Temel Görevleri:

Enerji Akışı Yönetimi:

EYS, batarya, elektrik motoru, rejeneratif frenleme sistemi ve diğer alt sistemler arasında enerji akışını düzenler. Bu düzenleme, aracın enerji kayıplarını en aza indirerek toplam verimliliği artırır.

Şarj ve Deşarj Yönetimi:

Bataryaların güvenli ve uzun ömürlü kullanımını sağlamak için şarj ve deşarj süreçleri sürekli olarak izlenir ve kontrol edilir. Bataryanın aşırı şarj veya derin deşarj durumu önlenerek hem güvenlik hem de performans artırılır.

Termal Yönetim:

Batarya ve güç elektronik sistemlerinin sıcaklıklarının belirli bir aralıkta tutulması, enerji yönetim sisteminin önemli bir görevidir. Aşırı ısınma, batarya performansını ve ömrünü olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle termal yönetim stratejileri, sistemin güvenilirliğini sağlamak için kritik öneme sahiptir.

Rejeneratif Enerji Yönetimi:

Elektrikli araçlarda rejeneratif frenleme sistemi tarafından üretilen enerjinin yeniden depolanması, enerji verimliliğini artıran bir yöntemdir. EYS, bu enerjiyi optimize ederek bataryaya veya diğer enerji depolama birimlerine yönlendirir.

Araç Performansı Optimizasyonu:

EYS, sürüş koşullarına, hızlanma ve frenleme ihtiyaçlarına bağlı olarak enerji talebini düzenler. Farklı sürüş modları (örneğin ekonomi modu veya performans modu) için uygun enerji dağıtımını sağlar.

1.6.Enerji Yönetim Sistemlerinin Bileşenleri

Enerji Yönetim Kontrol Ünitesi:

Sistem, aracın farklı bileşenlerinden veri alarak enerji akışını kontrol eder. Bu ünite genellikle yapay zeka veya optimizasyon algoritmaları kullanılarak karar mekanizmaları geliştirilir.

Sensörler:

Batarya sıcaklığı, voltaj, akım ve diğer parametrelerin izlenmesi için kullanılan sensörler, EYS'nin temel bileşenlerindendir.

Güç Elektroniği:

Enerji dönüşümünü sağlayan inverterler, konvertörler ve güç dağıtım birimleri enerji yönetim sisteminin önemli parçalarıdır.

Enerji Yönetim Sistemlerinin Önemi:

Verimlilik Artışı: Enerji kaynaklarının akıllıca yönetilmesi, aracın enerji verimliliğini önemli ölçüde artırır.

Batarya Ömrü: Bataryaların şarj ve deşarj süreçlerini optimize ederek ömrünü uzatır.

Güvenlik: Enerji sistemlerinin aşırı yüklenme, sıcaklık artışı gibi durumlarda güvenli çalışmasını sağlar.

Çevre Dostu Çözüm: Enerji kayıplarını en aza indirerek çevresel etkileri azaltır.

Enerji yönetim sistemleri, elektrikli araçların teknik performansını artırırken enerji maliyetlerini düşürmek ve kullanıcı deneyimini geliştirmek açısından hayati bir role sahiptir.

1.7.Literatür Özeti

İlk elektrikli araç modeli 1835 yılında Profesör Stratingh tarafından üretildiği kabul edilmektedir. Devamında 1938 yılında Robert Davidson, 6.4 km/h hıza ulaşabilen elektrikli bir aracı meydana getirmektedir (Kerem, 2014). Robert Davidson tarafından geliştirilen bu araçta kendi üretimi olan galvanik piller kullanılmaktaydı. Bu pillerin kimyasal karışımlarının yenilenmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Fransız Fizikçi Gaston Plante'n 1859 yılında şarj edilebilir pil teknolojisinin temelini atmakta ve bugün akü olarak bildiğimiz kurşun ve asit kullanılan pilleri icat etmektedir. Camille Alphonse 1881 yılında bu pillerin kapasitesi arttırmakta ve seri

üretilebilir hale getiren ilk kişi olarak bilinmektedir (Oto.net, 2018). Siemens tarafından 1882 yılında Elektromote adındaki dünyanın ilk trolleybüsü Berlin’de üretilmektedir. Üretilen bu araç iki tane 2.2 kW’lık motora sahip olmakta ve 550 V DC ile beslenmekte ve ortalama 12 km/h hıza sahip olduğu belirtilmektedir. Morris ve Salomon, 1895 yılında iki koltuklu Electrobats adını verdikleri elektrikli aracı üretmektedirler. 1896 yılında İngiltere’de ‘Londra Elektrikli Taksi Şirketi’ tarafından geliştirilen ve 48 km menzile sahip olduğu bilinen 15 adet elektrikli araç ticari taksi olarak kullanılmaktadır (Şekil 2). 1897 yılında M.A. Darracq tarafından üretilen elektrikli araçtaki rejeneratif frenlemenin kullanıldığı ilk araç olarak kabul edilmektedir (Özek, 2020).



Şekil 2. Electrobats, Morris ve Salomon’un ürettiği elektrikli araç (Özek, 2020).

1899 yılında Fransa’da Camille Jenatezy tarafından yarış için özel olarak üretilen elektrikli araç, 100 km/h’yi geçen ilk araç olmaktadır. Üretimi yapılan bu aracın aerodinamik yapısı mermiye benzemektedir. 1901 ve 1930’lu yıllar arasında Amerika, İngiltere ve Fransa’da elektrikli araç üretimi yapan bazı şirketler günlük kullanıma uygun otomobiller geliştirmişlerdir. Bu süre içerisinde elektrikli araçlarda menzile ve performans arttırmaya yönelik yeni çalıştırmalar devam etmiştir. Bu kanıya, 1900 yılında üretilen ‘Elektroautomobile’ ve 1903 yılında Krüger tarafından geliştirilen hibrit araç en iyi örnek olarak gösterilmektedir. Ferdinand Porsche, aracın tekerlek göbeklerine yerleştirilen iki adet elektrik motoru (HUB) kullanılarak elektrikli araçlara yeni bir bakış açısı katmaktadır. Bu çalışmanın devamında 1902 yılında Lohner-Porsche elektrikli aracın dört tekerleğine de birer adet 1.5 kW’lık elektrik motoru yerleştirilmekte ve 1800 kg’lık batarya kullanılarak ürettikleri yarış aracı ile belirtilen dönemin en yenilikçi çalışması olmaktadır. Elektrikli araçların popüler olduğu bu yıllarda bataryanın şarj olma süresi, batarya paketi ağırlığının büyük olması, batarya paketi enerji yoğunluğunun az olması ve maliyet sebebiyle var olan ilgi azalmaktadır. 1900’lü yılların başlarında hızla gelişen içten yanmalı motorlar, ağırlık-güç oranlarının

düşük olması ve yakıt olarak kullanılan petrolün yüksek enerji yoğunluğu nedeniyle elektrikli araçlara kıyasla daha fazla ilgi görmüştür.

1970’li yıllarda petrol krizinin meydana gelmesiyle, yakıtlara olan bağımlılığı azaltabilmek adına elektrikli araçlar yeniden gündeme gelmektedir. 1980’li yıllarda ABD, İngiltere, Almanya ve Japonya gibi dönemin otomotiv endüstrisinde söz sahibi olan ülkeler elektrikli araçlar için Ar-Ge çalışmalarını başlatmış, deneysel ve prototip amaçlı pek çok araö geliştirilmektedir. Bu dönem içerisinde ABD Enerji Bakanlığı tarafından desteklenen ve Ford/GM tarafından ETX-1 prototip olarak geliştirilmektedir. Bu araçta 200V’luk kurşun asit bataryalar kullanılmaktadır. Ford Araştırma Laboratuvarında sodyum-sülfür batarya teknolojisini geliştirmektedir. Batarya teknolojisindeki gelişime ek olarak elektrik motor ve güç elektriğindeki ilerlemeler kullanılarak 1988 yılında ETX-2 prototipi hazırlanmaktadır. Üretimi yapılan bu araç 160 km menzil, 96 km/h hıza sahip olmaktadır.

21. yüzyılın başlarında pil teknolojisindeki gelişmeler lityum-iyon pillerin elektrikli araçlarda kullanımıyla menzil mesafesi dikkat çekici bir oranla artmaktadır. 2008 yılında Tesla şirketi tarafından tanıtımı yapılan ‘Tesla Roadster’ model araçta lityum-iyon batarya kullanılmakta, tam şarjda 320 km’den fazla mesafe gidebilmekte, maksimum 201 km/h hıza ulaşabilmekte ve 0 km/h hızdan 100 km/h hıza ulaşması yalnızca 3,9 saniye sürmektedir. 2009 yılın temmuz ayı Japonya’da Mitsubishi i MİEV model elektrikli araç filo müşterileri, 2010 yılı nisan ayında ise bireysel müşteriler için satışı başlamıştır (Entertech, 2021).

Temmuz 2012 itibarıyla, diğer elektrikli otomobiller, şehir arabaları ve bazı marketlerde bulunan hafif kamyonlar satın alma için veya kiralama için sunulmaktadır: REVAi, Buddy, Citroën C1 ev’ie, Transit Connect Electric, Mercedes-Benz Vito E-Cell, Tazzari Zero, Smart ED, Wheego Whip LiFe, Mia electric, BYD e6, Bolloré Bluecar, Ford Focus Electric, BMW ActiveE, Coda, Renault Fluence Z.E., Tesla Model S, Honda Fit EV. Ayrıca bazı ön gösterim araçları deneme programlarını sürdürmektedir: Volvo C30 Electric, Toyota RAV4 EV, and Volkswagen Golf blue-e-motion (Entertech, 2021).

Türkiye’de elektrikli araç (EV) kullanımının istenen seviyeye ulaşamamasının temel nedenleri olarak menzil endişesi ve şarj altyapısının yetersizliği gösterilebilir. Ancak, yerli otomobil markası TOGG’un piyasaya girişi ve diğer üreticilerin elektrikli modellerini artırmasıyla bu durumun değişmesi bekleniyor.

Elektrikli arabalarda kullanılan batarya gruplarının verimli kullanılması ve bataryaların kullanımında oluşabilecek tehlikelerin önüne geçebilmesi adına batarya

yönetim sistemleri (BYS) geliştirilmiştir. Günümüzde Batarya Yönetim Sistemleri (BYS) alanında yapılan çalışmalar, elektrikli araçların (EV'ler) güvenliği, verimliliği ve ömrü açısından kritik bir rol oynamaktadır. BYS, elektrikli araçların kalbini oluşturan lityum-iyon bataryaların optimum performansla çalışmasını sağlarken, güvenlik risklerini de minimize etmektedir. O nedenle literatürde BYS hakkında birçok çalışma yapılmıştır.

Xu ve arkadaşları tarafından batarya akımı, batarya gerilimi, batarya sıcaklığı ve hücre gerilimi örneklemeleri kullanılarak bir araştırma yapılmıştır. Gerilim, batarya sıcaklığı ve hücre dengeleme yöntemleri özel bir devre ile gerçekleştirilmiştir (Xu,2010).

R. Hu tarafından yapılan çalışmada BYS hakkında ayrıntılı bilgiler verilerek geliştirilmiş bir batarya modeli tanıtılmış ve modelin simülasyon çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada yeni bir BYS donanımı tasarlanmış ve deneysel sonuçlar elde edilmiştir (Hu, 2011).

Brandl ve arkadaşları pil performansını tahmin etmek için en ilginç modelleme yaklaşımlarının gözden geçirildiği ve pil yönetimi sistemleri için geçerli olan zorlu gereksinimlerin ve standartların tartışıldığı bir çalışma yapmıştır. Ardından, pil yönetimi uygulaması için genel ve esnek bir mimari üzerinde şarj durumu tahmini ve şarj dengeleme için ana teknikler rapor edilmiştir. Son olarak, neredeyse tamamen entegre bir aktif yük dengeleyici içeren yenilikçi bir BYS tasarımı ve uygulaması açıklanmıştır (Brandl ve ark., 2012).

Aldoğan yapmış olduğu yüksek lisans çalışmasında batarya yönetim sistemi ile ilgili mevcut çalışmalardan bahsederek batarya yönetim sisteminin genel özelliklerini anlatmıştır. Devamında ise BYS tasarımı gerçekleştirilmiş ve tasarım üretilerek donanım testlerinden bahsedilmiştir (Aldoğan, 2012).

Altun tarafından BYS yazılım algoritmaları hakkında literatür taraması yapılmış, BYS genel özellikleri belirlenerek ihtiyaçlar araştırılmıştır. Daha sonra BYS için yazılım algoritmaları tasarlanmış bataryaların daha verimli kullanılması için algoritmalar geliştirilmiştir.

Bu çalışmada TEKNOFEST yarışları için üretilen elektrikli aracın batarya paketlemesi ve batarya yönetim sistemi (BYS) tasarlanarak üretilmektedir. Bu çalışma kapsamında batarya gerilimi, batarya sıcaklığı ve batarya şarj durumu (SoC) verileri sürekli olarak denetlenmekte ve takip edilmektedir. Devamında bataryalar ile ilgili veriler kullanıcıya anlık olarak aktarılmakta ve bataryaların güvenli bir şekilde çalışması sağlanmaktadır. Batarya yönetim sistemini sıcaklık, gerilim ve akımların izlenmesini,

bakımların planlamasını, bataryaların bakım optimizasyonunu, arıza tahminini, arıza önlemeyi ve bataryadan veri toplanmasını içermektedir.



2. METARYAL VE YÖNTEM

Üretmiş olduğumuz elektrikli arabada 2kW gücünde elektrik motoru (HUB) kullanılmıştır. Bu çalışmada, kullanılan elektrik motorunu besleyebilmek için batarya paketi ve batarya yönetim sisteminin tasarımı ve kontrol algoritması gerçekleştirilmiştir.

Kullanılan elektrik motoru M2096-II model 2kW gücünde ve 96 voltluk nominal voltaja sahip olmaktadır. Özellikleri belirtilen motoru, 70 V-150 V aralığında besleme gerilimi olan bir motor sürücü kontrol etmektedir. Bahsedilen sistemi besleyebilmek için minimum 75 V olan bir batarya paketine ihtiyaç duyulmaktadır. Elektrikli arabalarda uzun ömürlü ve ağırlık başına kapasite oranı yüksek Lityum-İyon (Li-ion) piller bahsedilen besleme gerilimini oluşturmak için çokça kullanılmaktadır. Bu çalışmada Molicel INR18650-M35A marka ve model Li-ion pil kullanılmıştır ve pile ait bilgiler Şekil 3'te gösterilmiştir.



kapasite	3500 mAh 12,5 Wh
Asgari kapasite	3350mAh 11,9 Wh
nominal voltaj	3.6V - 3.7V
Şarj sonu voltajı	4.2V ± 0.05
Deşarj sonu voltajı	2.5V
max.deşarj akımı (sabit)	10A (10000mA)
maksimum	1.7A (1700mA)
Koruma elektronığı PCB / BMS	Hayır
Pozitif kutup	düz üst
çap	18,45 mm ± 0,15 mm
yükseklik	65,0 mm ± 0,2 mm
Ağırlık	47g ± 1g
Şarj yöntemi	CC-CV

Şekil 3.Molicel INR18650-M35A li-ion pil ve teknik özellikleri

Bu piller elektrikli arabanın kullanım şartları da göz önünde bulundurularak 30 seri ve 8 paralel olacak şekilde batarya grubu oluşturuldu.

Oluşturulan Batarya Pil paketine ait akım, gerilim ve güç değerleri 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8 numaralı denklem bağlantıları ile hesaplanmıştır.

$$V_{maksimum} = \text{Seri pil sayısı} * V_{pil \text{ maksimum}} = 30 * 4.2 = 126 V \quad (\text{Denklem 1})$$

$$V_{nominal} = \text{Seri pil sayısı} * V_{pil \text{ nominal}} = 30 * 3.6 = 108 V \quad (\text{Denklem 2})$$

$$V_{minimum} = \text{Seri pil sayısı} * V_{pil \text{ minimum}} = 30 * 2.5 = 75 V \quad (\text{Denklem 3})$$

$$I_{şarj} = \text{Paralel pil sayısı} * I_{maksimum \text{ şarj akımı}} = 8 * 1.7 = 13.6 A \quad (\text{Denklem 4})$$

$$I_{deşarj} = \text{Paralel pil sayısı} * I_{maksimumdeşarjakımı} = 8 * 10 = 80 \text{ A} \quad (\text{Denklem 5})$$

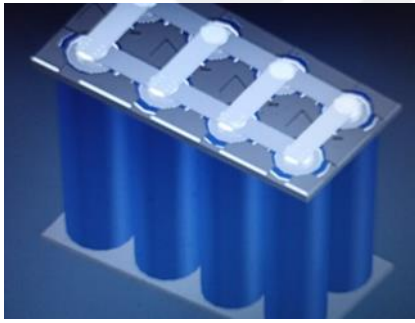
$$C_{kapasite} = \text{Paralel pil sayısı} * \text{Bir pilin kapasitesi}$$

$$C_{kapasite} = 8 * 3500 = 28000 \text{ mAh} = 28 \text{ Ah} \quad (\text{Denklem 6})$$

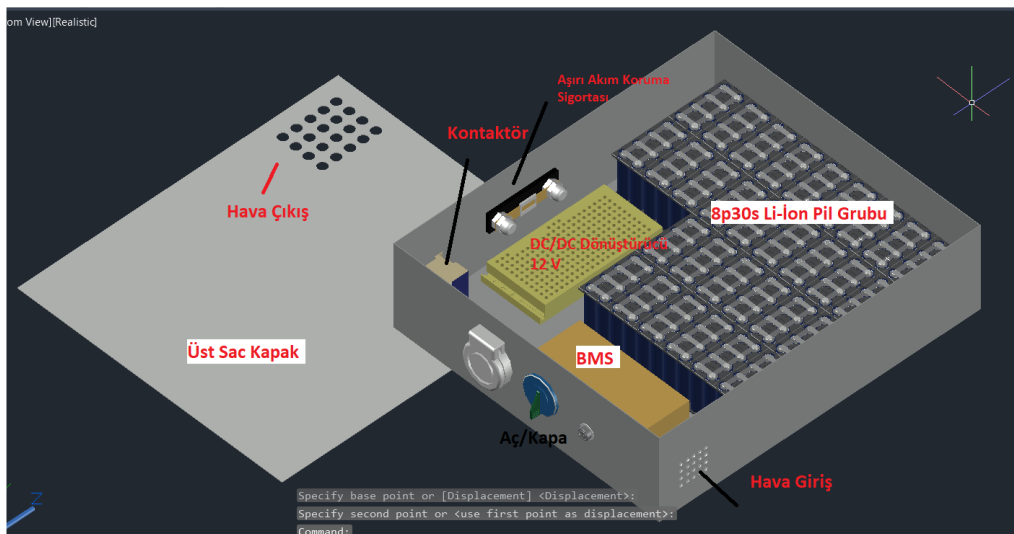
$$E_{batarya} = V_{maksimum} * C_{kapasite} = 126 * 28 = 3528 \text{ Wh} \quad (\text{Denklem 7})$$

$$\text{Toplam nominal güç} = \frac{(2800 * 108)}{1000} = 3024 \text{ Wh} \quad (\text{Denklem 8})$$

Üretilen arabanın kullanım şartları göz önünde alındığında, önce 8 adet pilin paralel bağlanmasına devamında ise bu pillerin birbirine seri olarak bağlanması şeklinde tasarım yapılmıştır. Pillerin paralel olarak bağlanması Şekil 4’de gösterilmektedir. Birbirine puntalanan piller yanmaz kutu içerisine yerleştirilerek batarya paketinin oluşturuldu. Oluşturulan batarya paketi içerisinde ise 12 V DC/DC dönüştürücü, aşırı akım koruma sigortası, batarya yönetim sistemi(BMS veya BYS) ve kontaktörün ekleneceği belirtilmiştir. Tasarımı yapılan batarya paketinin görünümü Şekil 5’te yer almaktadır.

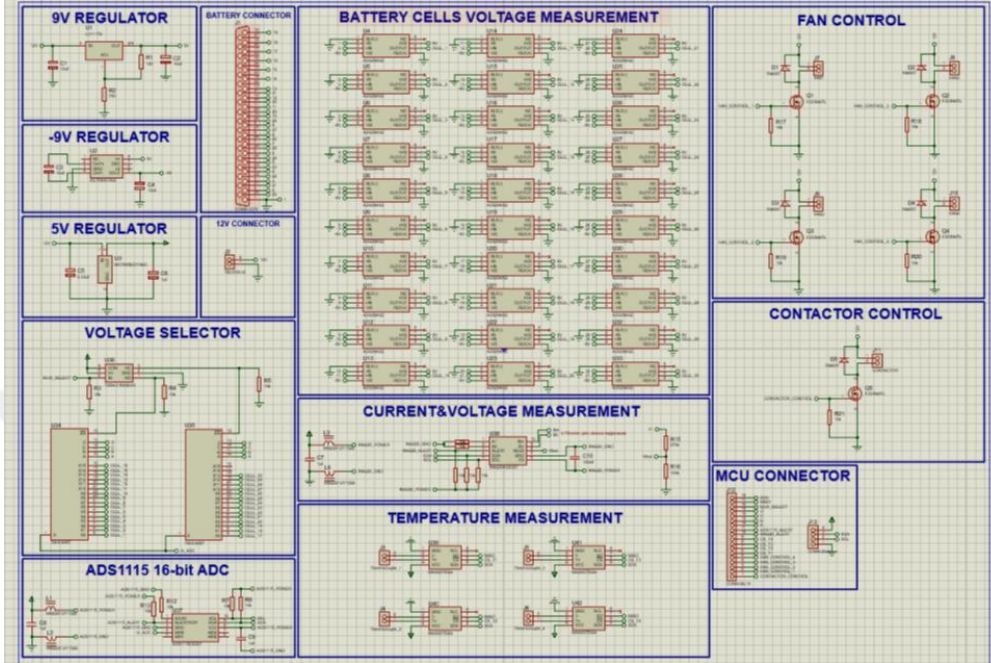


Şekil 4. Sekiz adet pilin paralel olarak bağlanması



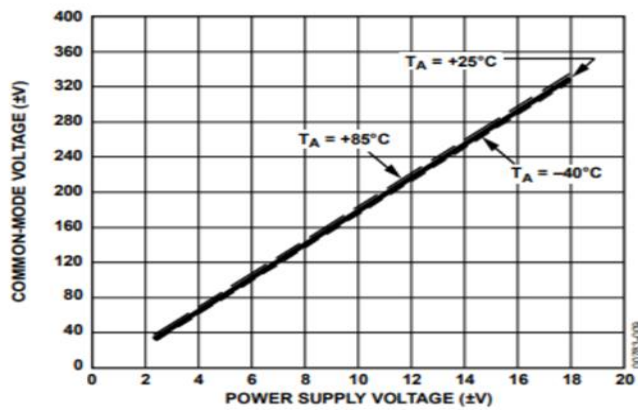
Şekil 5. Pil gruplarının ve diğer ekipmanların batarya paketi içerisine

30 seri ve 8 paralel pil grubunun gerilim, akım ve sıcaklık ölçümünü gerçekleştirmek amacıyla Şekil 6'da gösterilen devre tasarlanmıştır. Bu tasarımda, 8 paralel ve 30 seri pil devresinin gerilim ölçümleri için AD629ARZ model fark yükseltici devre kullanılmıştır.



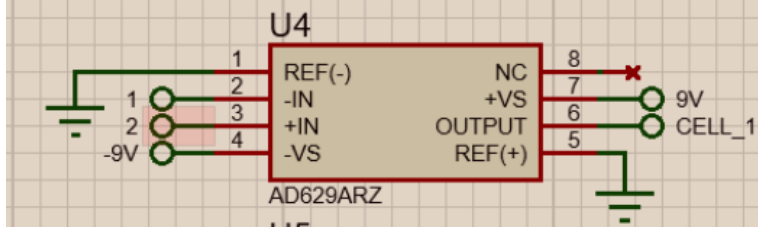
Şekil 6. Pil hücrelerinin gerilim, akım ve sıcaklık ölçümü için oluşturulan devre şeması

Fark yükseltici devreler kullanılarak, pil hücresinin çıkış gerilimi ile referans gerilim arasındaki fark alınmış ve hücre gerilimi hassas şekilde ölçülmüştür. Devreye sinyal uygulanmadan önce, kullanılan operasyonel yükseltcin teknik dokümanı detaylıca incelenmiştir. Şekil 7'te görüldüğü üzere, 126V'luk batarya paketi için teorik hesaplamalar 7V çıkış gerilimi öngörmüş, ancak tasarım aşamasında 9V değeri uygun görülmüştür.

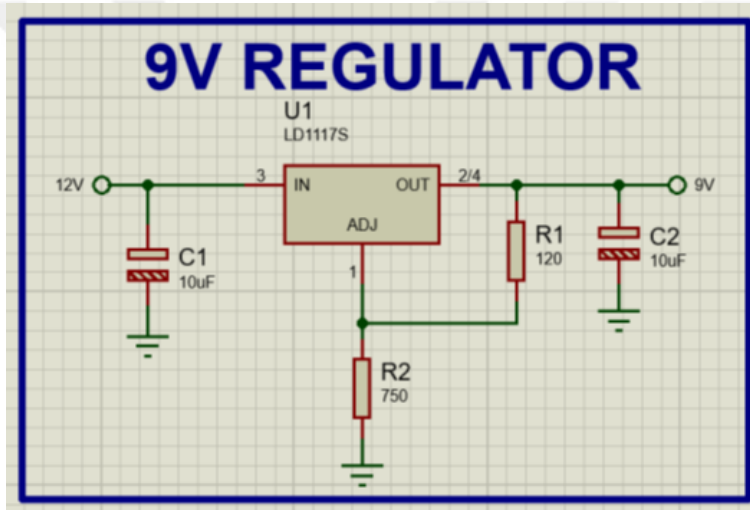


Şekil 7. AD629ARZ kaynak gerilimi grafiği

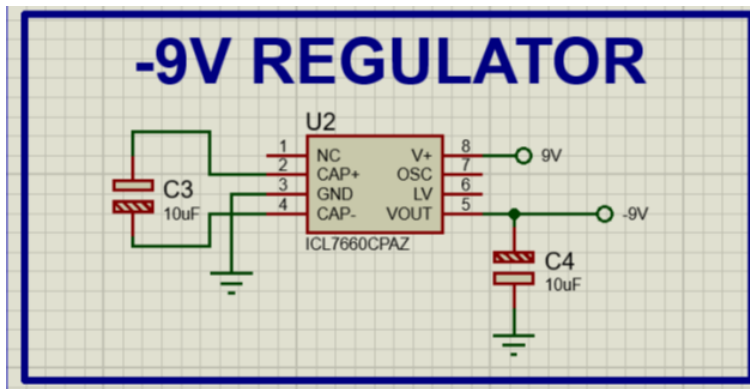
Fark yükseltecin girişine +9V ve -9V gerilim uygulamamız gerekmektedir (Şekil 8). İlk adımda, 12V'luk bir gerilim dönüştürücünün +9V ve -9V'a dönüştürülmesi planlanmıştır. 12V'u 9V'a dönüştürmek için "LD1117S" kodlu dönüştürücü kullanılmıştır (Şekil 9). 9V'u -9V'a çevirmek için ise "ICL7660CPAZ" kodlu evirici tercih edilmiştir (Şekil 10).



Şekil 8. AD629ARZ devre bağlantıları



Şekil 9. LD1117S devre bağlantıları



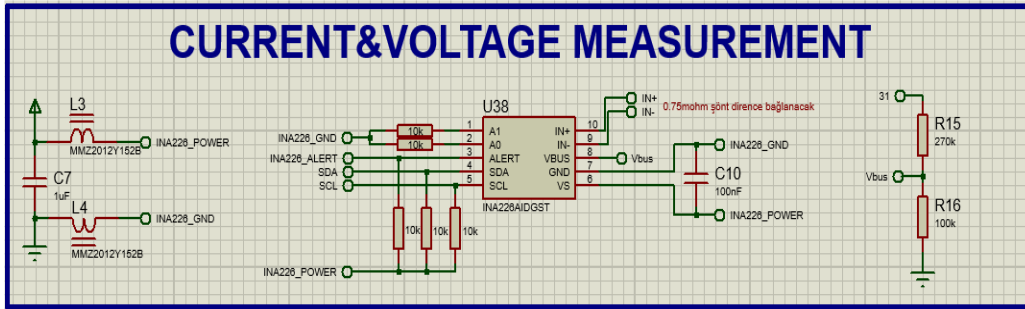
Şekil 10. ICL7660CPAZ devre bağlantıları

Batarya hücrelerinin gerilim değerleri, diferansiyel yükselteç devresinin çıkışından alınarak ölçüm sistemine aktarılmaktadır. Bu analog sinyallerin yönlendirilmesi için 16 girişli bir çoklayıcı entegre devre (74HC4067) kullanılmıştır.

Çoklayıcı çıkışına bağlanan 16-bit çözünürlüklü analog-sayısal dönüştürücü (ADS1115IDGST) ise ölçülen gerilim değerlerini dijital veri formatına çevirmektedir.

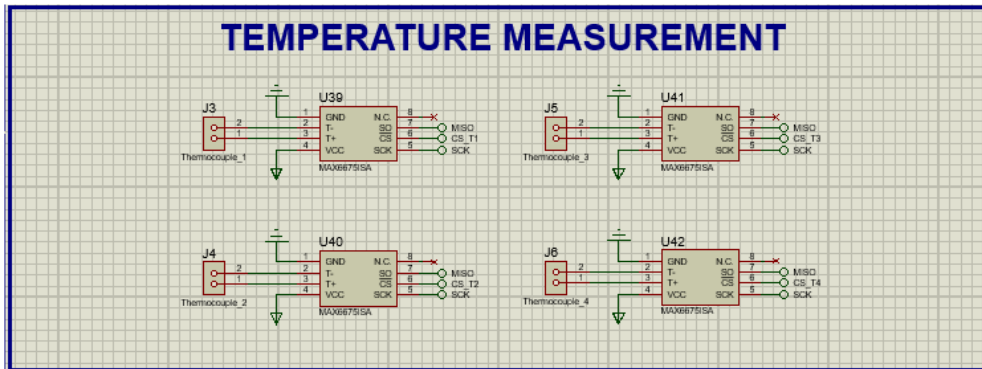
Batarya pil grubunun çıkışındaki gerilim ve akımı ölçmek için Şekil 10'da gösterilen devre tasarlanmıştır. Bu devrede, akım ve gerilim ölçümleri “INA226AIDGST” modülü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. “INA226AIDGST” modülünün giriş geriliminde, kondansatör ve endüktans ile filtreleme işlemi uygulanmıştır. Devreye $0.75 \text{ m}\Omega$ 'luk bir direnç bağlandığında, bu direnç üzerinden geçen gerilim okunabilmektedir. Modülün V_bus çıkışı sayesinde 0-36 V aralığındaki gerilim değerleri ölçülebilmektedir. Bu nedenle, çıkış geriliminin ölçümü için bir gerilim bölücü devre kullanılmıştır.

Tasarımı yapılan devre, aracın şarj ve deşarj anlarında gerilim ve akım ölçümlerini hassas bir şekilde gerçekleştirebilmektedir. Ölçüm devresinde kullanılan direnç, %0,1 toleransa sahiptir ve bu sayede çok düşük hata oranıyla gerilim ve akım değerleri ölçülebilmektedir. Akım ve gerilim değerleri kullanılarak sistemin güç hesaplamaları yapılabilmektedir (Şekil 11).



Şekil 11. Akım ve gerilim ölçmek için oluşturulan devre şeması

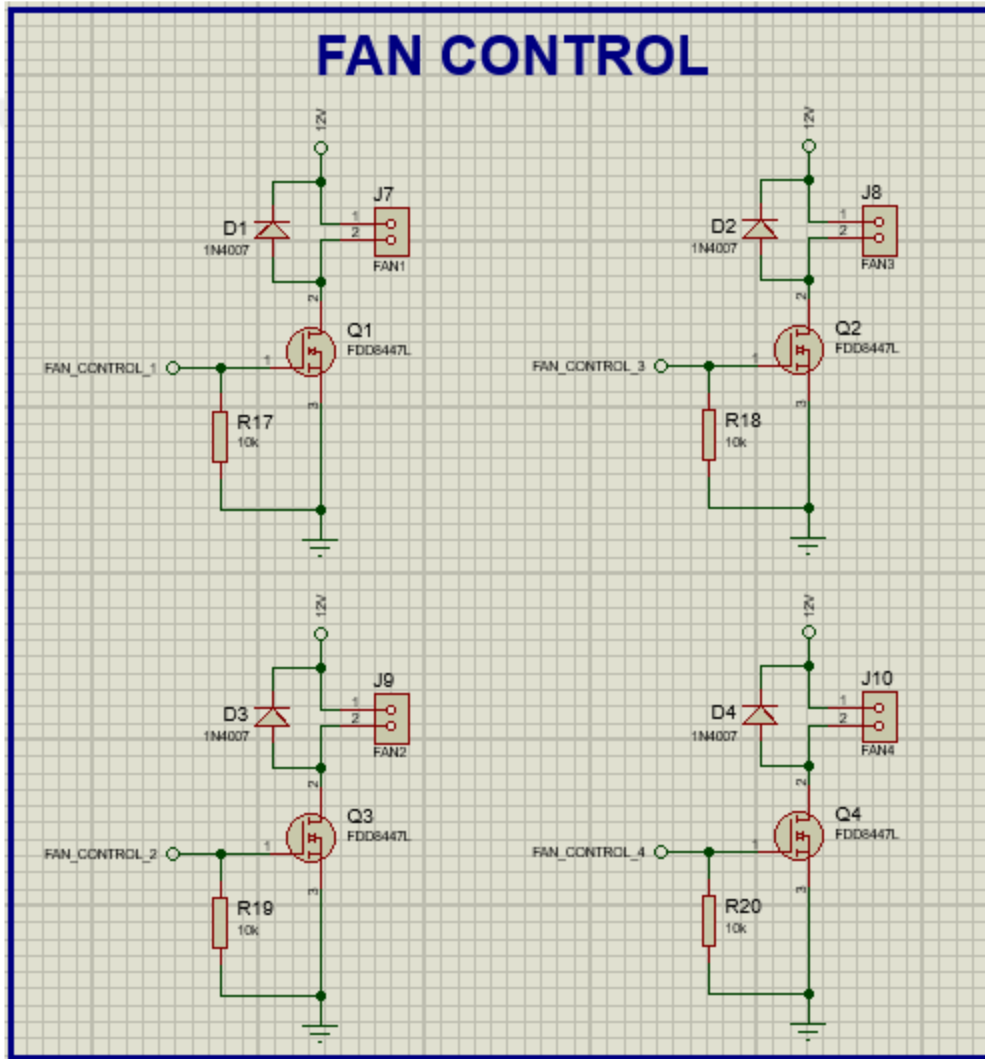
Batarya pil paketinin sıcaklık ölçümü için “MAX6675ISA” entegresi (termokupl) kullanılmıştır ve bu entegre, BYS için tasarlanan karta monte edilmiştir (Şekil 12).



Şekil 12. Pillerin sıcaklığını ölçmek için oluşturulan devre şeması

Batarya yönetim sistemi, batarya paketlerinin sıcaklığı 55°C'yi aştığında röle ve flaşör ile sesli bir uyarı vermektedir. Sıcaklık 70°C'ye ulaştığında ise şarj ve deşarj işlemleri, kondüktörler aracılığıyla otomatik olarak kesilmektedir. Benzer şekilde, batarya paketinin voltaj değeri maksimum sınır olan 4.2V'u aştığında şarj işlemi, minimum sınırın altına düştüğünde ise deşarj işlemi durdurulmaktadır.

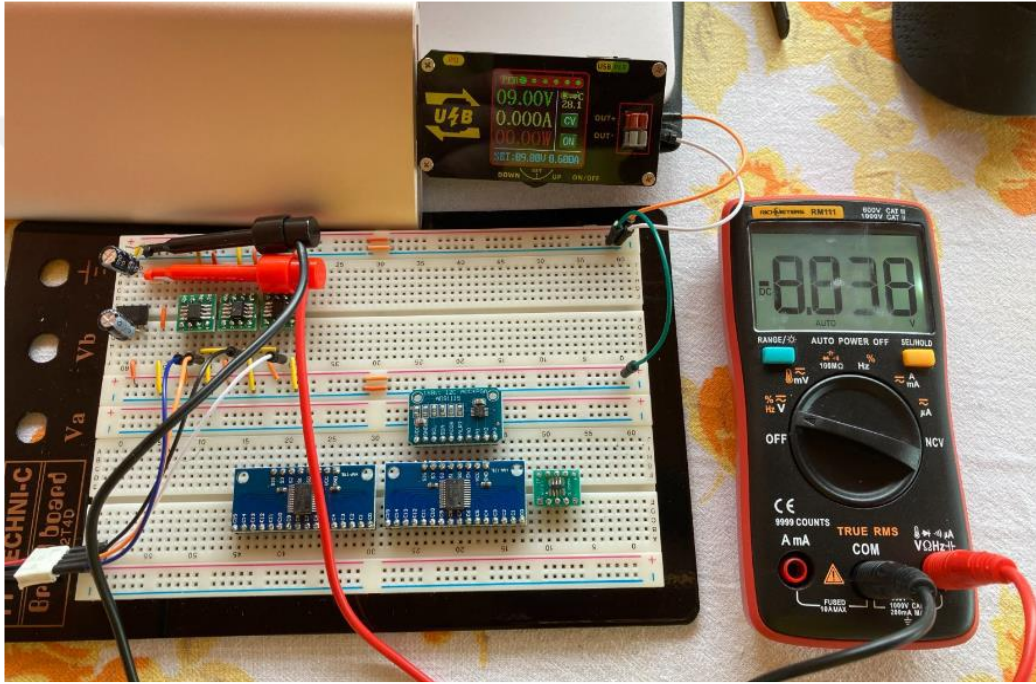
Batarya yönetim sisteminde 3 adet fan kullanılmış olup, fan kontrolüne ilişkin devre şeması Şekil 13'te gösterilmiştir. Kullanılan fanlar 12V giriş gerilimiyle çalışmakta ve 5V'luk bir anahtarlama elemanı ile kontrol edilmektedir. Devreyi ve anahtarlama elemanını korumak amacıyla bir diyot eklenmiştir.



Şekil 13. Fan kontrolü için oluşturulan devre

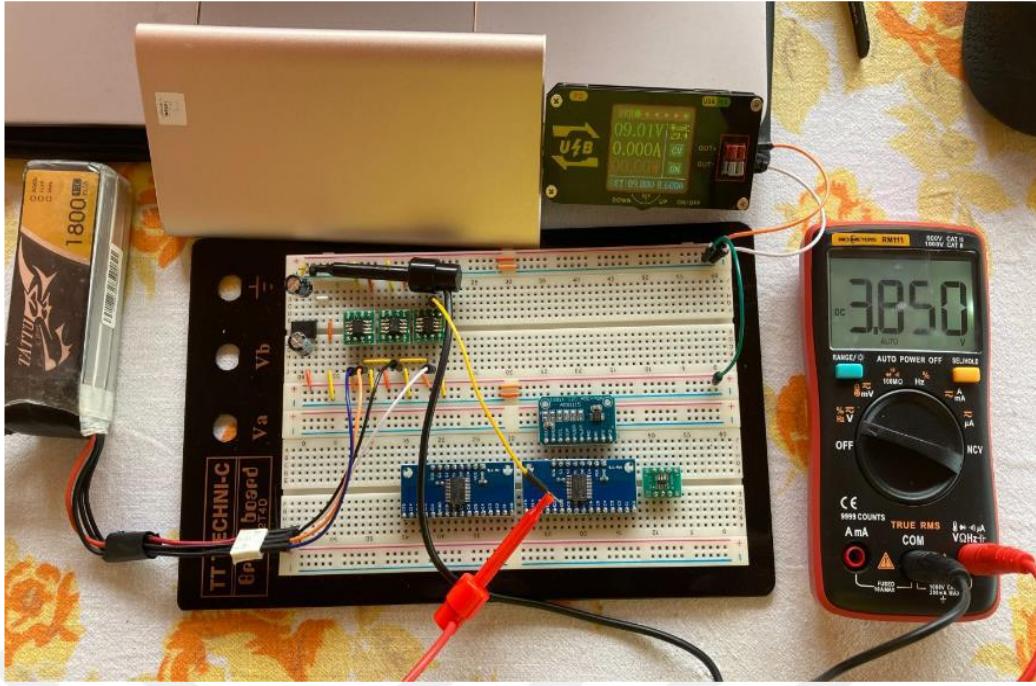
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Sistemin devre şeması oluşturulduktan sonra gerekli malzemeler temin edilerek devre bileşenleri önce board üzerinde test edilmiştir. Baskı devre çalışmaları öncesinde, sistem 3 seri pil hücresi ile kurulmuş ve başarıyla çalıştığı gözlemlenmiştir. Baskı devre aşamasına geçmeden önce, AD629 fark alıcı yükselteç devresi board üzerinde kurulmuş ve -9V'luk gerilimin üretilmesi test edilmiştir. Test sonuçları, hem ekranda hem de voltmetre üzerinden başarıyla doğrulanmıştır. Test aşamasına ilişkin detaylar Şekil 14'te gösterilmektedir.



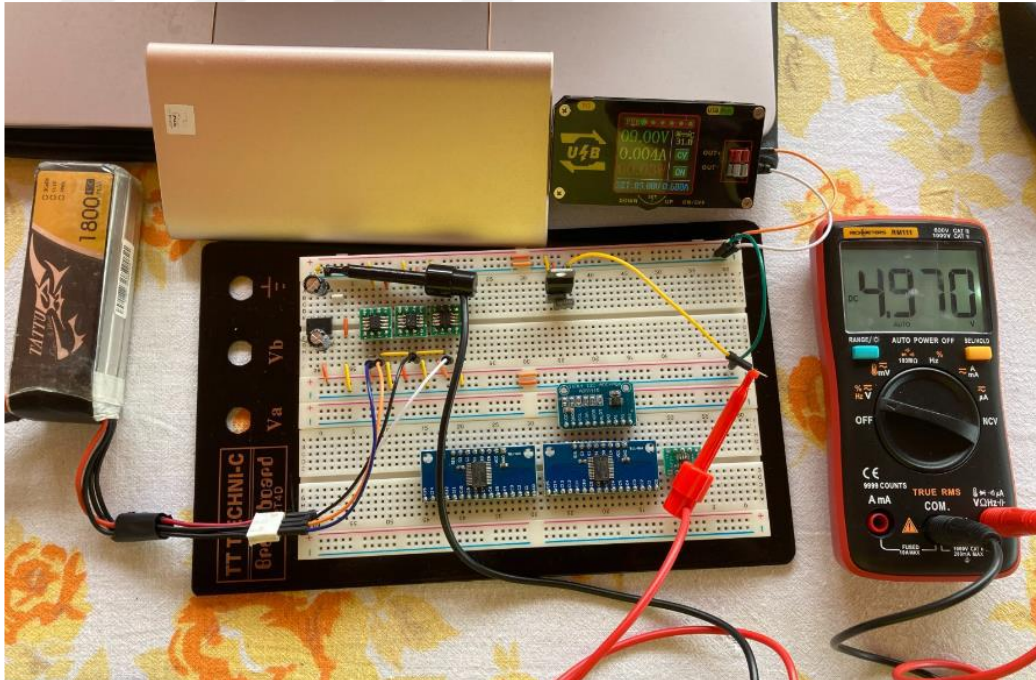
Şekil 14. AD629 fark alıcı yükselteç devresi için -9V üretim testi

Devamında, 3S LiPo batarya için AD629 fark alıcı yükselteçleri ile kurulmuş olan ve batarya hücrelerinin gerilimlerini ölçen devrenin çalışması kontrol edilmiştir. Şekil 15'te, batarya geriliminin başarıyla okunduğu gösterilmektedir.



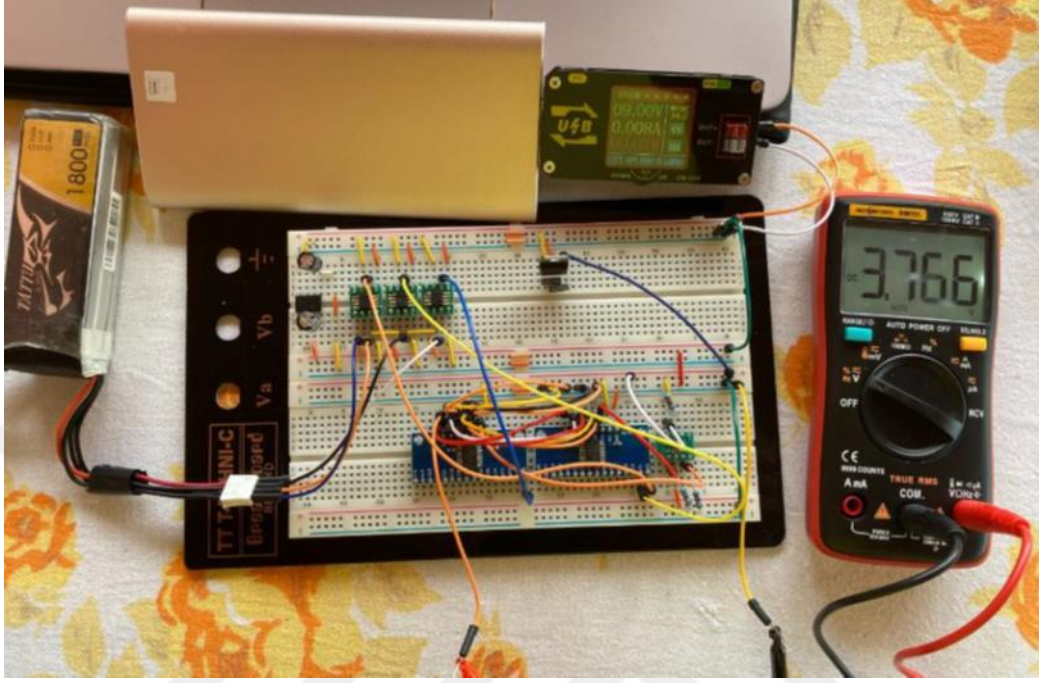
Şekil 15. AD629 fark alıcı yükselteç ile batarya geriliminin ölçülmesi

Sistemde kullanılan bazı entegreler 5V ile çalışabildiğinden, 5V regülatör devresinin çalışması test edilmiştir. Şekil 16'da, 9V olan gerilim başarıyla 5V'a düşürülmüştür.



Şekil 16. 9V'tu 5V'ta düşüren regülatör devresinin testi

Testin devamında, mux entegreleri kullanılarak batarya hücrelerinin gerilimleri başarıyla okunabilmektedir. Şekil 17'te, batarya hücrelerinin gerilim ölçümünün başarılı bir şekilde gerçekleştirildiği gösterilmektedir.



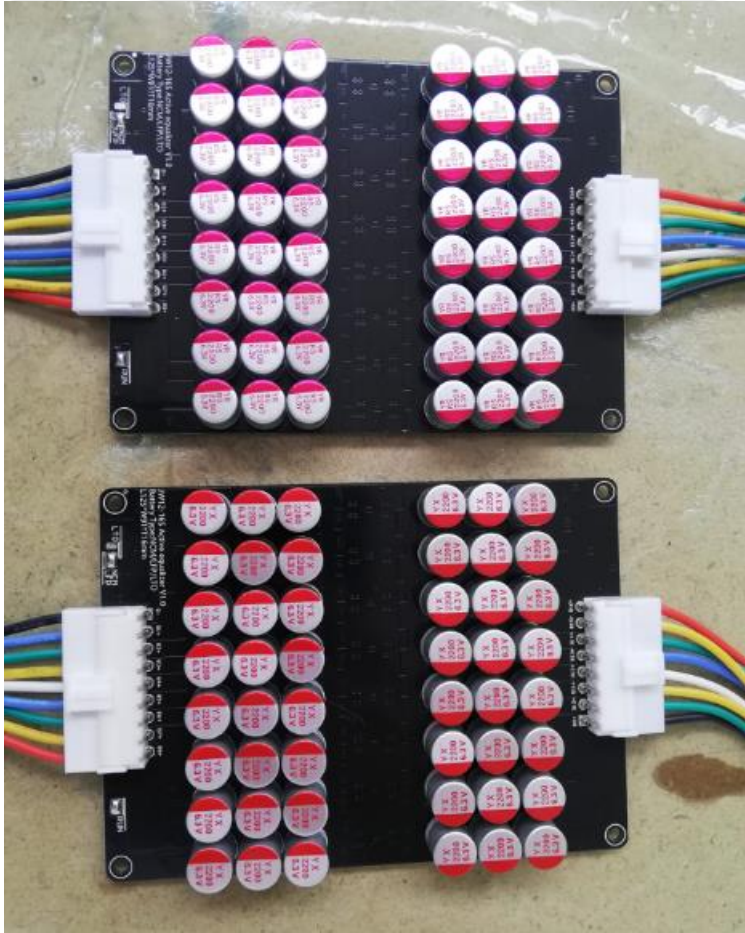
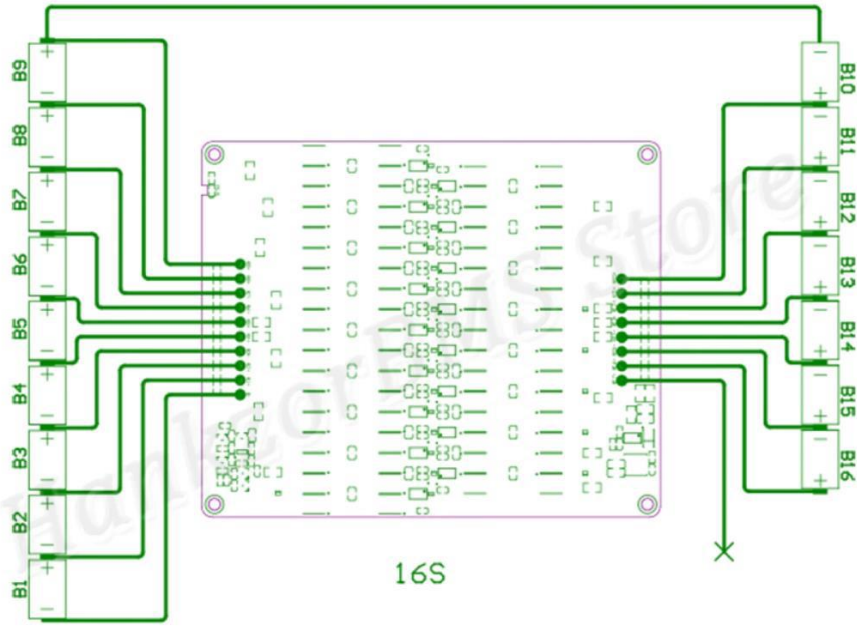
Şekil 17. Mux entegreleri ile batarya hücrelerinin geriliminin ölçüm testi

BYS sistemi için sistem testleri tamamlandıktan sonra üretilen devre kartı Şekil 18'de gösterilmektedir.



Şekil 18. Batarya Yönetim Sistemi (BYS)

Batarya yönetim sistemlerinin temel görevlerinden biri, batarya grubu içindeki pillerin dengede olmasını sağlamaktır. Bu amacın gerçekleştirilmesi için projede aktif dengeleme sistemi tercih edilmiştir. Seri bağlı hücrelerin gerilim değerlerinin şarj ve deşarj sırasında birbirine eşit olabilmesi için, Şekil 19’da gösterilen 2 adet kart kullanılarak bu işlem gerçekleştirilmiştir. Şekil 19’daki kartlar, aktif dengeleme işlemini uygulamaktadır. Kartların kullanımı için, seri bağlı pillerin uçlarından bağlantı yapılarak sistem çalıştırılmıştır. Kart bağlantıları ve batarya yönetim sistemindeki sensörlerin bağlantılarının, pil gruplarının puntalama işlemi tamamlandıktan sonra yapılmasına karar verilmiştir.



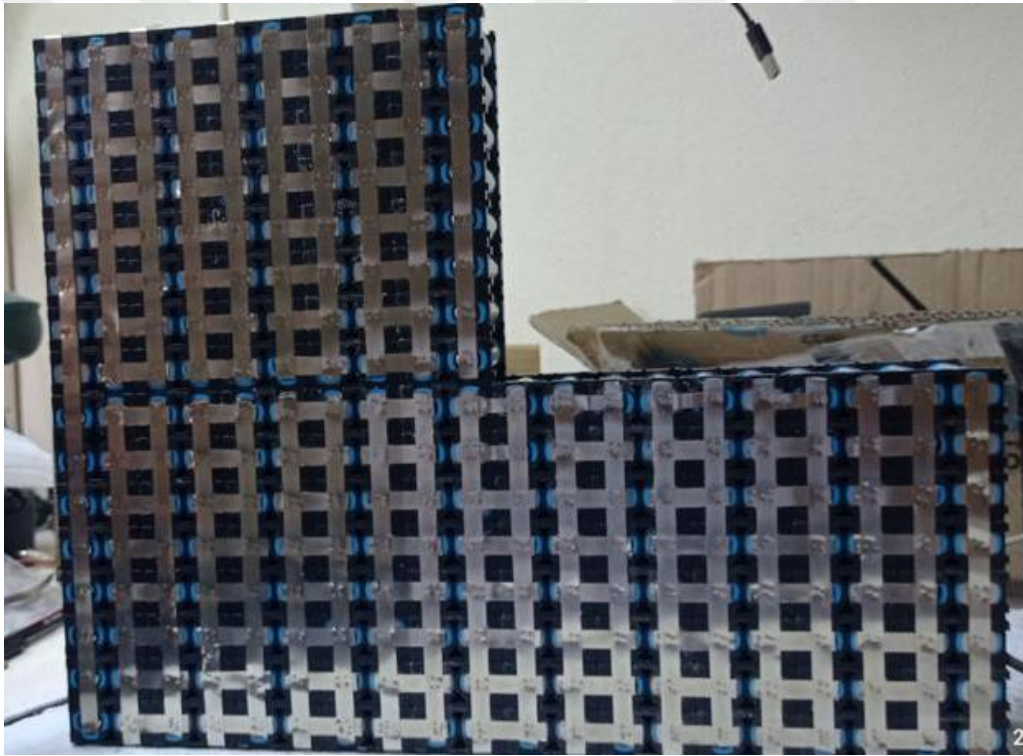
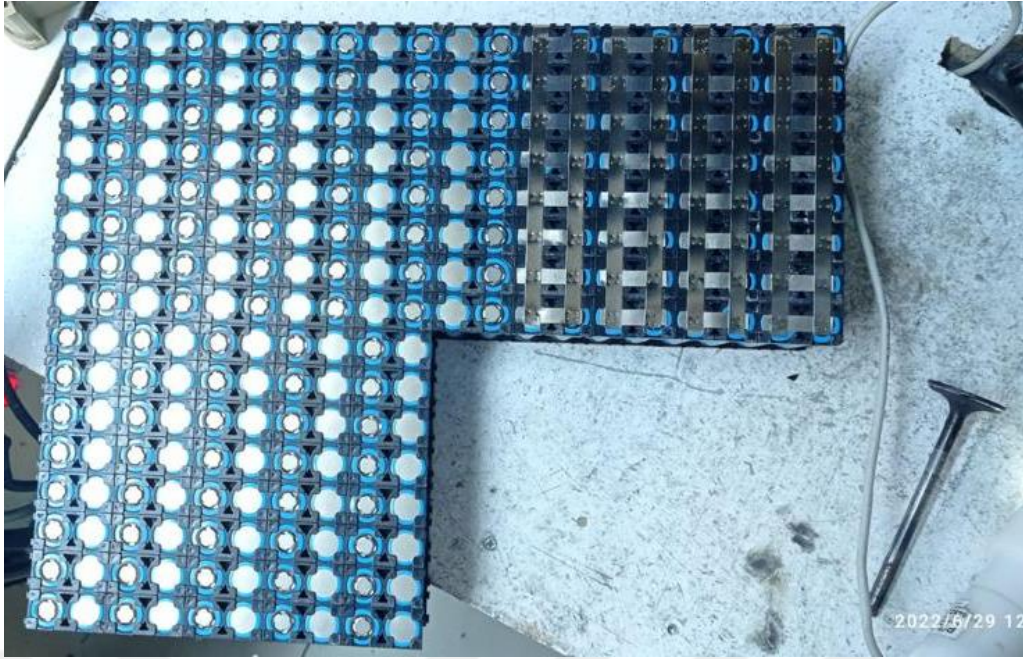
Şekil 19. Pil grupları için kullanılan aktif dengelem sistemi görünümü

Pillerin seri ve paralel olarak bağlantısının gerçekleştirilebilmesi için puntalama makinesi temin edilmiştir. Puntalama makinesinin görünümü Şekil 20’de yer almaktadır.



Şekil 20. Puntalama makinesinin görseli

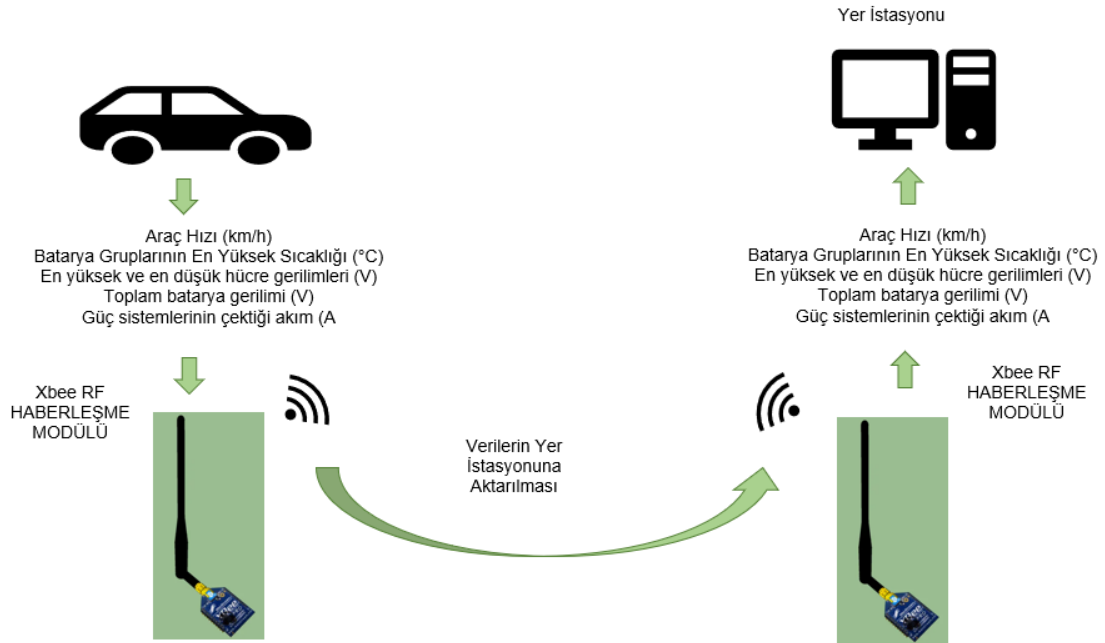
Batarya pil paketi, planlanan tasarıma uygun formda 8 adet pil birbirine paralel, devamında ise 8 paralel pil grubu 30 seri olacak şekilde puntalama makinesi kullanılarak bağlantılar gerçekleştirilmiştir. Pil gruplarının puntalama işlemi bittikten sonra araç içinde güvenli olabilmesi için yanmaz kutu içine yerleştirilmiş ve batarya paketi oluşturulmuştur. Batarya paketinin içerisine 12 V DC-DC dönüştürücü, aşırı akım koruma sigortası, batarya yönetim sistemi (BMS veya BYS) ve kontaktör de yerleştirilmiştir. Yanmaz kutu içerisine yerleştirilen batarya paketi ve diğer ekipmanlar Şekil 21’de gösterilmektedir.



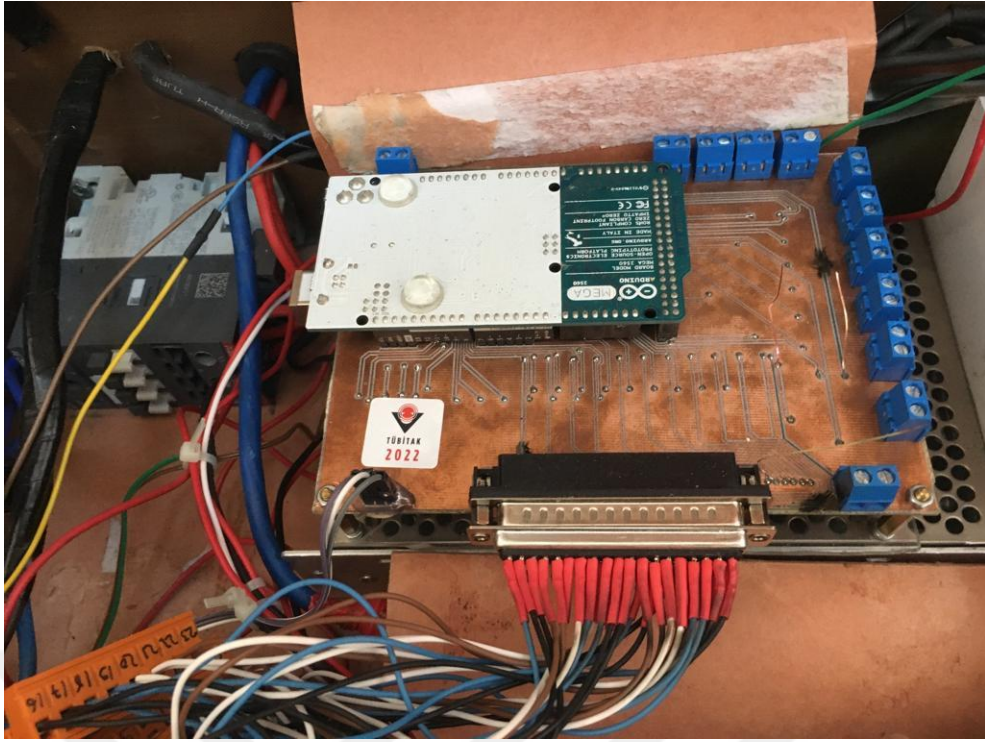
Şekil 21. Puntalama işlemi gören pil grubu ve batarya paketi görünümü

Batarya pil paketi içerisinde 240 adet pil ve bahsedilen diğer ekipler yer almaktadır. Batarya pil paketinin yerleştirildiği kutunun en boy yüksekliği 500 mm *435 mm *132 mm olarak ölçülmüştür. Pil gruplarının üzerine güvenlik amacı için sıcaklığa dayanıklı CTP levha kullanılıp, kutunun kapağı kapatılmaktadır. Kapağın sabitlenmesi için 8 metrik vida tercih edilmiştir. Batarya paketinden alınan değerleri hem sürücüye hem yer istasyonuna gönderilmesi ve gösterilmesi için 7 inç ekran kullanıldı. Ekrandaki veriler eş zamanlı olarak kablosuz veri aktarımı ile yer

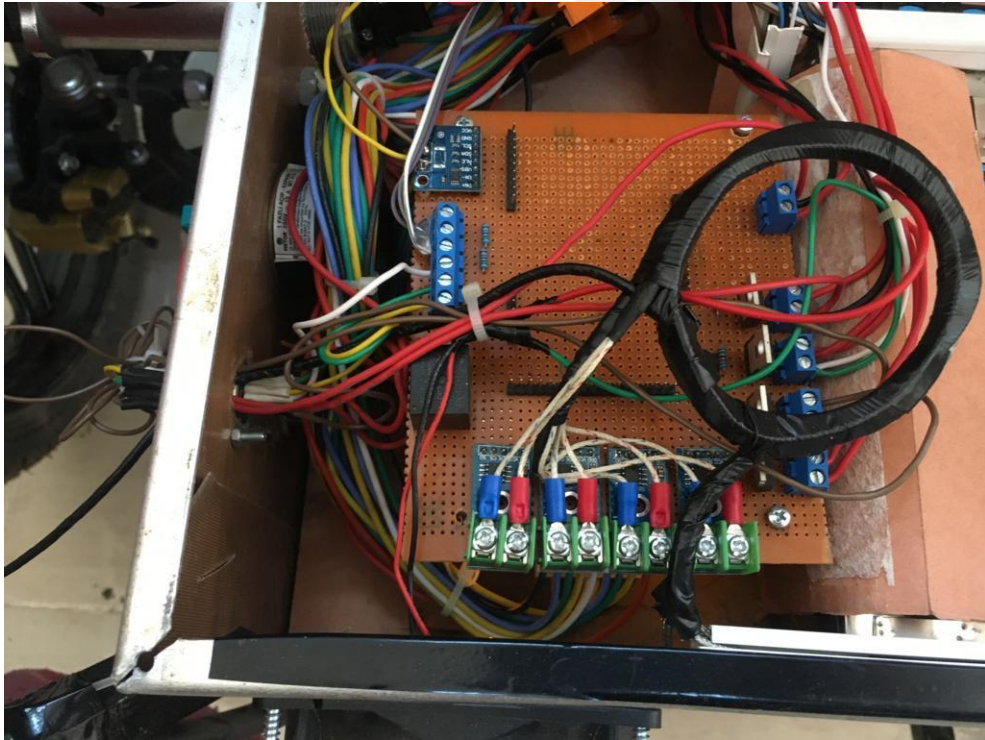
istasyonuna gönderilmektedir (Şekil 22). Ayrıca Şekil 23, Şekil 24, Şekil 25 ve Şekil 26’da batarya paketinin son hali görülmektedir.



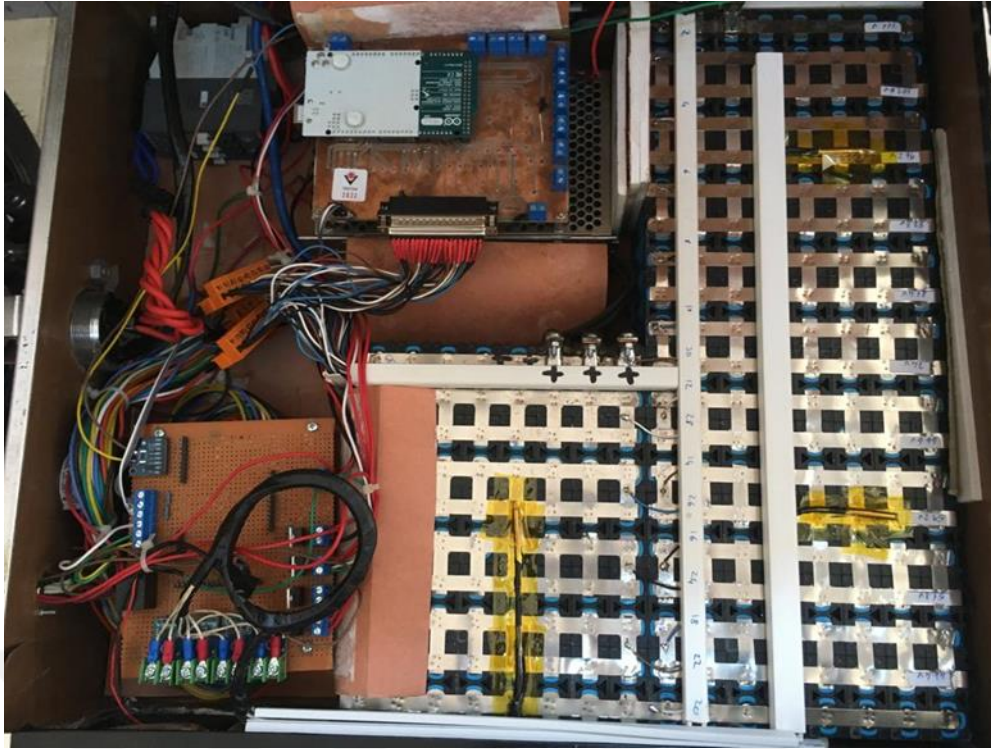
Şekil 22. Batarya değerlerinin kullanıcıya aktarılması ve gösterilmesi



Şekil 23. Pil gruplarının gerilim ve akım değerlerinin okunduğu kısım



Şekil 24. Pil gruplarının sıcaklık değerlerinin okunduğu kısım



Şekil 25. Batarya paketinin iç görünümü



Şekil 26. Batarya paketinin dış görünümü

4. SONUÇLAR

Bu tez kapsamında, elektrikli araç teknolojisinin temel yapı taşlarından biri olan batarya paketlerinin tasarımı ve üretimine yönelik kapsamlı bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Elektrikli araçların verimli, güvenli ve uzun ömürlü bir biçimde çalışabilmesi için batarya sistemlerinin hem donanımsal hem de yazılımsal olarak yüksek standartlara sahip olması gerekmektedir. Bu bağlamda, yapılan çalışmada sadece bir batarya paketi değil, aynı zamanda bataryaların performansını izleyen, güvenliğini sağlayan ve arıza öncesi müdahaleye olanak tanıyan bir Batarya Yönetim Sistemi (BYS) de geliştirilmiştir.

Gerçekleştirilen batarya paketi tasarımında, Li-ion (Lityum-İyon) pil teknolojisi tercih edilmiştir. Bu seçim, Li-ion bataryaların yüksek enerji ve güç yoğunluğu, uzun çevrim ömrü, düşük ağırlık ve yeniden şarj edilebilirlik gibi avantajlarına dayanmaktadır. Bu piller 30 seri ve 8 paralel hücre olarak yapılandırılmış, hem teorik hem de pratik düzeyde hesaplamalar ve bağlantılar gerçekleştirilerek motor sürücüsünün ihtiyaç duyduğu 75V üzeri gerilim sağlanmıştır.

Tasarımı yapılan batarya sistemi, sadece enerji sağlamaya yönelik değil; aynı zamanda sıcaklık, gerilim ve akım gibi kritik parametreleri anlık olarak izleyerek kullanıcıya geri bildirim sunacak şekilde yapılandırılmıştır. Gömülü sensörler ve mikrodenetleyici destekli devre yapıları ile anlık veri toplanmakta ve bataryaların güvenli sınırlar içinde çalışması sağlanmaktadır. Böylece batarya hücrelerinde aşırı ısınma, aşırı şarj veya derin deşarj gibi olumsuz durumların önüne geçilmiş; sistemin sürdürülebilirliği ve güvenliği artırılmıştır.

Bu çalışmanın bir diğer önemli çıktısı, batarya yönetim sisteminin veri odaklı bir yapıya kavuşturulmasıdır. Toplanan sıcaklık, gerilim ve SoC (State of Charge) verileri doğrultusunda, bataryaların kullanım senaryoları analiz edilerek, arıza tahmini ve öngörüye dayalı bakım süreçlerinin temeli atılmıştır. Bu tür akıllı sistemler, elektrikli araçların sadece enerji verimliliğini artırmakla kalmayıp aynı zamanda kullanıcı güvenliğini de doğrudan etkileyen bileşenler olarak büyük önem taşımaktadır.

Uygulanan testler ve devre tasarımları, sistemin teorik olarak modellenen yapılarla yüksek uyum sağladığını ve saha koşullarında çalışmaya elverişli olduğunu ortaya koymuştur. Özellikle fan kontrol devresi, sıcaklık ölçüm devresi, gerilim ve akım ölçüm yapıları gibi birimlerin senkronize çalışması, BYS'nin bütüncül bir yapıda işlediğini ve elektrikli araç altyapılarına entegre edilmesinde herhangi bir teknik engel olmadığını göstermiştir.

Tüm bu çalışmaların nihai amacı, TEKNOFEST gibi teknoloji yarışmalarında kullanılabilecek bir elektrikli aracın batarya altyapısını oluşturmak ve bu altyapının performans, güvenlik ve sürdürülebilirlik açısından etkinliğini test etmektir. Yapılan tasarım ve üretim süreçleri sonucunda ulaşılan başarılar, elektrikli araç teknolojilerinde yerli üretimin mümkün ve etkili olduğunu da göstermiştir.

Sonuç olarak, bu tez çalışması, elektrikli araçlar için batarya paketleri ve batarya yönetim sistemleri alanında uygulamalı ve yenilikçi bir katkı sunmuştur. Geliştirilen sistem, gelecekte daha büyük ölçekli projelere temel oluşturabilecek bir prototip niteliği taşımakta olup; sürdürülebilir ulaşım sistemleri, yerli üretim stratejileri ve akıllı şehir altyapılarıyla doğrudan ilişkili teknolojik gelişmelere destek sağlayacak potansiyele sahiptir. Özellikle Türkiye'nin elektrikli araç sektöründe kendi özgün çözümlerini geliştirmesi açısından bu tür çalışmaların yaygınlaştırılması ve ileri düzeye taşınması büyük önem arz etmektedir.

KAYNAKÇA

- Aldoğan, E. (2012). Elektrikli araçlar için batarya yönetim sistemi donanımı tasarımı (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli.
- Altun, Ş. (2012). Elektrikli araçlar için batarya yönetim sistemi algoritması tasarımı ve uygulaması (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli.
- Ambrose, H., Kendall, A. İ., Lozano, M., Wachche, S., ve Fulton, L. (2020). Trends in life cycle greenhouse gas emissions of future light duty electric vehicles. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 81, 1361-9209. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102287>
- Ari, Y. O. (2020). Küresel elektrikli otomobil piyasasına genel bakış. *Kırklareli Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 4(2), 193-203. <https://doi.org/10.47140/kusbder.714905>
- Brandl, M., Gall, H., Wenger, M., Lorentz, V., Giegerich, M., ve Prochazka, W. (2012). Design, automation ve test in Europe conference ve exhibition (DATE). *Dresden, Germany*, 2012, 971-976. <https://doi.org/10.1109/DATE.2012.6176637>
- Entertech. (2021, Kasım 10). Otomotiv sektörünün geleceği elektrikli araçlarda. Erişim adresi: <https://www.entertech.com.tr/tr/otomotiv-sektorunun-gelecegi-elektrikli-araclarda> (Erişim tarihi: 26 Şubat 2023)
- Hu, R. (2011). Battery management system for electric vehicle applications (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). University of Windsor, Kanada.
- Hu, Y., Wang, Z., ve Li, X. (2020). Impact of policies on electric vehicle diffusion: An evolutionary game of small world network analysis. *Journal of Cleaner Production*, 265, 121703. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121703>
- Kerem, A. (2014). Elektrikli araç teknolojisinin gelişimi ve gelecek beklentileri. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(1), 1-13.

- Oto.net. (2018, Nisan 25). Elektrikli otomobillerin ilk yılları 1837-1925. Erişim adresi: <https://oto.net/otomag/elektrikli-otomobillerin-ilk-yillari-1837-1925-7492> (Erişim tarihi: 25 Şubat 2023)
- Özbay, H., Közkurt, C., Dalcı, A., ve Tektaş, M. (2020). Geleceğin ulaşım tercihi: Elektrikli araçlar. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 3(1), 34-50.
- Özek, A. (2020). Elektrikli bir aracın genel performans simülasyonu ve gerçekleştirilmesi (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar.
- Sevim, M. A., Kırcova, İ., ve Çuhadar, E. (2019). Yerel yönetimlerde akıllı şehir vizyonu: Şehir yönetim araçları ve trendleri. *Strategic Public Management Journal*, 9(5), 109-126. <https://doi.org/10.25069/spmj.499391>
- Xu, D., Wang, L., ve Yang, J. (2010). Research on li-ion battery management system. In *2010 International Conference on Electrical and Control Engineering*, Wuhan, China (pp. 4106-4109). <https://doi.org/10.1109/iCECE.2010.998>

ÖZGEÇMİŞ

Ersan MEYDAN, lise eğitimini Gümüşhane Mareşal Çakmak Anadolu Öğretmen Lisesinin’de tamamladı. 2001 yılında kazandığı Atatürk Üniversitesi, Kazım Karabekir Eğitim Fakültesi Fen Bilgisi Öğretmenliği Bölümün’den 2005 yılında mezun oldu. 2015 yılında kazandığı Gümüşhane Üniversitesi, Sağlık Meslek Yüksek Okulu, İş Sağlığı Ve Güvenliği Bölümün’den 2019 yılında mezun oldu. 2023 yılında Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Eğitimine başladı.

