



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

**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**LİTYUM-İYON BATARYALARIN ISIL YÖNETİMİ İÇİN
ŞEKİLCE KARARLI KOMPOZİT FAZ DEĞİŞTİREN
MALZEMELERİN TASARIMI VE PERFORMANSININ
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AŞKIN YILDIZ

DANIŞMAN: DOÇ. DR. MEHMET SELÇUK MERT

**YALOVA
HAZİRAN 2022**



T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

LİTYUM-İYON BATARYALARIN ISIL YÖNETİMİ İÇİN ŞEKİLCE KARARLI
KOMPOZİT FAZ DEĞİŞTİREN MALZEMELERİN TASARIMI VE
PERFORMANSININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AŞKIN YILDIZ
195103004

DANIŞMAN: DOÇ. DR. MEHMET SELÇUK MERT

YALOVA
HAZİRAN 2022

ETİK BEYAN

Yalova Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kuralları'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksinin tespiti halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi taahhüt ve beyan ederim.

İmza

Aşkın YILDIZ





ÖNSÖZ

Bu bitirme tezinin ortaya çıkarılmasında sabır ve ilgisiyle bana yol gösteren, bilgi ve tecrübesiyle katkılarını esirgemeyen tez danışmanım sayın Doç. Dr. Mehmet Selçuk MERT'e teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasını destekleyen, Yalova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine (BAP Proje No: 2021/YL/0010) teşekkür ederim.

Haziran – 2022

Aşkın YILDIZ





İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN	i
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	v
TABLolar LİSTESİ	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiii
ÖZET.....	xvii
1. GİRİŞ	1
2. ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİ	3
2.1. Mekanik Enerji Depolama.....	4
2.1.1. Su pompaj depolama.....	4
2.1.2. Sıkıştırılmış hava depolama.....	4
2.1.3. Volan.....	5
2.2. Kimyasal Enerji Depolama	6
2.3. Elektriksel Enerji Depolama	6
2.4. Elektro-Kimyasal Enerji Depolama	7
2.4.1. Lityum iyon bataryalar	9
2.5. Isıl Enerji Depolama.....	11
2.5.1. Faz Değiştiren Malzemeler (FDM'ler).....	11
3. ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA LİTYUM İYON BATARYA KULLANIMI	19
3.1. Batarya Isıl Yönetim Sistemleri (BIYS)	21
4. FAZ DEĞİŞTİREN MALZEME İLE BATARYA ISIL YÖNETİMİ	27
4.1. Faz Değiştiren Malzemelerin Etkilendiği Faktörler	30
4.2. Faz Değiştiren Malzemenin Farklı Malzemelerle Birlikte Kullanımı.....	30
5. KOMPOZİT FDM SENTEZLENMESİNE İLİŞKİN DENEYSEL ÇALIŞMA.....	33
5.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Maddeler	33
5.2. Sentezde Kullanılan Cihazlar	33
5.3. Faz Değiştiren Maddelerin Karakterizasyonu	33
5.3.1. Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) analizi.....	33
5.3.2. Termogravimetri (TG) analizi	33
5.3.3. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopi (FT-IR) analizi	34
5.3.4. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi	34
5.4. Kompozit Faz Değiştiren Maddelerin Sentezlenmesi	34



6. KOMPOZİT FDM SENTEZİNE AİT BULGULAR VE TARTIŞMA.....	37
6.1 Kompozit FDM’lerin Karakterizasyonu	38
7. KOMPOZİT FDM İLE BATARYA ISIL YÖNETİM UYGULAMASI	43
7.1 Kompozit FDM ile Batarya Isıl Yönetim Testleri.....	46
7.2 Batarya Isıl Yönetimine Ait Bulgular ve Tartışma	48
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	53
KAYNAKLAR	55
ÖZGEÇMİŞ	63





KISALTMALAR LİSTESİ

ALN	: Alüminyum Nitrat
BIYS	: Batarya Isıl Yönetim Sistemleri
CA	: Kaprik Asit
DSC	: Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
EG	: Genişletilmiş Grafit
FDM	: Faz Değiştiren Malzeme
FTIR	: Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometre
LA	: Laurik Asit
MA	: Miristik Asit
OBC	: Olefin Blok Kopolimeri
PA	: Parafin
SBS	: Stiren-Butadien-Stiren
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
TGA	: Termografik Analiz Cihazı
XRD	: X Işını Kırınımı

TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 3.1 Batarya ısı yönetim sistemlerinin karşılaştırması [67]	25
Tablo 4.1. Bazı FDM özellikleri [67].....	27
Tablo 4.2. Bazı organik FDM özellikleri [68]	28
Tablo 5.1. Kompozit FDMlerin hazırlanma reçetesi	34
Tablo 6.1. Kaprik asitin DSC analizi ile belirlenen özellikleri	37
Tablo 6.3. Kaprik asit, Kaolinit ve CK40 kompozit FDM'si için TGA ile elde edilen ısı bozunmaya ait sonuçlar	40
Tablo 7.1. Deneylerde kullanılan Lityum iyon bataryanın özellikleri	45
Tablo 7.2. Batarya ısı yönetimi deneylerinde uygulanan deşarj ve şarj değerleri	46
Tablo 7.3. Deneyde kullanılan ekipman ve cihazlar	47



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Enerji depolama teknolojileri [1]	3
Şekil 2.2. Su pompaj enerji depolama [5]	4
Şekil 2.3. Sıkıştırılmış hava enerji depolama [6]	5
Şekil 2.4. Bir volana ait şematik görünüm [7]	5
Şekil 2.5. Hidrojen enerji depolama [5]	6
Şekil 2.6. Superkapasitör ile enerji depolama [6]	7
Şekil 2.7. Batarya çalışma diyagramı [7]	8
Şekil 2.8. Batarya özgül güç ve özgül enerji karşılaştırması [9].....	8
Şekil 2.9. Akış bataryası çalışma şeması [10].....	9
Şekil 2.10. Lityum iyon batarya çeşitleri [12].....	10
Şekil 2.11. Lityum iyon batarya çalışma şeması [13]	10
Şekil 2.12. Isıl enerji depolama metotları [15].....	11
Şekil 2.13. FDM sınıflandırması [16]	12
Şekil 3.1. Batarya boyutlandırması [46]	19
Şekil 3.2. Elektrikli araç batarya yerleşimi [47]	19
Şekil 3.3. Batarya yönetim sistemi genel şeması [55]	22
Şekil 3.4. Batarya ısıl yönetim sistemleri kategorileri [45]	23
Şekil 3.5. Hava soğutmalı BIYS [60].....	23
Şekil 3.6. Sıvı soğutmalı BIYS [62].....	24
Şekil 3.7. Isı borulu BIYS [64]	24
Şekil 3.8. Faz değıştiren malzeme ile BIYS [66].....	25
Şekil 4.1. FDM ile soğutmanın avantaj ve dezavantajları [69].....	29
Şekil 6.1. Kaprik asitin DSC analizi ile elde edilen ısınma-soğuma eğrileri.....	37
Şekil 6.2. Farklı kaprik asit oranlarında hazırlanmış kaprik asit/kaolinit kompozit FDM'lerinin (CK10, CK20, CK30 ve CK40) DSC analizi ile elde edilen ısınma-soğuma eğrileri.....	39
Şekil 6.3. Kompozit FDM (CK40), kaprik asit ve kaolinit malzemelerinin termogravimetrik analiz (TGA) ile elde edilen ısıl bozunma eğrileri.....	40
Şekil 6.4. (a) Saf kaolinit ve (b) CK40 kompozit FDMsinin Sem Görüntüleri	41
Şekil 6.5. Saf kaolinit FT-IR spektrumu	41
Şekil 6.6. (a) CA ve (b) CK40 FT-IR spektrumları	42
Şekil 7.1. Lityum iyon bataryanın şarj-deşarj uygulamaları deney seti.....	43
Şekil 7.2. Kompozit FDM CK40 (a) kurutma esnasında (b) kurutma ve öğütme sonrası.....	43



Şekil 7.3. Lityum iyon batarya (Samsung ICR18650-22FU)	44
Şekil 7.4. 3D yazıcı ve üretilen batarya kabı	44
Şekil 7.5. Kullanılan bataryanın imalatçı tarafından sağlanan deşarj karakteristik grafiği	45
Şekil 7.6. FDM'nin batarya kutusuna dökülmesi.....	47
Şekil 7.7. Etüv içindeki deney düzeneği	48
Şekil 7.8. Lityum iyon bataryanın 0,5C, 1C, 1,5C, 2C, 2,5C ve 3C'de deşarj işlemleri sırasında meydana gelen batarya voltaj profilleri	48
Şekil 7.9. Kompozit FDM bulunmaksızın Lityum iyon bataryanın 0,5C, 1C, 1,5C ve 2C'de deşarj işlemleri sırasında batarya ve pil kutusunda meydana gelen sıcaklık değişimleri	49
Şekil 7.10. Kompozit FDM ile Lityum iyon bataryanın 0,5C, 1C, 1,5C ve 2C'de deşarj işlemleri sırasında batarya ve pil kutusunda meydana gelen sıcaklık değişimleri.....	50
Şekil 7.11. Lityum iyon bataryanın 2C'de deşarj ve şarj işlemleri sırasında batarya ve kompozit FDM'de meydana gelen sıcaklık değişimleri	50



LİTYUM-İYON BATARYALARIN ISIL YÖNETİMİ İÇİN ŞEKİLCE KARARLI KOMPOZİT FAZ DEĞİŞTİREN MALZEMELERİN TASARIMI VE PERFORMANSININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

ÖZET

Teknolojin gelişimi ile birlikte enerjiye olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Fosil yakıtların sınırlı bir ömre sahip olması, kullanımı sonucunda meydana gelen çevresel etkiler ve fosil kaynaklarının dünya üzerinde düzgün bir dağılıma sahip olmaması, insanoğlunu yeni arayışlara yöneltmiştir. Bu durum, yenilenebilir enerji kaynaklarına bağlı enerji sistemlerinin yaygınlaşmasına katkı sağlarken, özellikle güneş ve rüzgâr enerjisine dayalı sistemlerde ortaya çıkan süreklilik problemiyle sınırlanmaktadır. Bu soruna çözüm getirmek için, son yıllarda enerji depolama teknolojilerinin kullanımı önemli bir alternatif olarak dikkat çekmektedir. Enerjinin depolanarak kullanılması ihtiyacın ortaya çıkmasına bağlı olarak kullanıma izin vermektedir. Bu bağlamda, gizli ısı enerji depolama umut vadeden enerji depolama yöntemlerinden bir tanesidir. Faz değiştiren malzemeler olarak adlandırılan yeni nesil akıllı enerji malzemeleri ile enerji gizli ısı formunda depolanabilir.

Enerji depolama teknolojileri arasında yer alan önemli seçeneklerden bir diğeri de elektrokimyasal depolamaya olanak sağlayan güç bataryalardır. Hayatın içinde önemli bir yer tutan bataryaların çalışmasını etkileyen faktörlerden biri de sıcaklık ve dolayısıyla batarya ısı yönetimidir. Bu tez çalışmada, elektrikli ve hibrit araçlar başta olmak üzere pek çok alanda kullanılan Lityum iyon bataryaların ısı yönetiminde kullanılmak üzere kompozit faz değiştiren malzemelerin tasarlanması amaçlanmıştır. Böylece, bilinen iki enerji depolama teknolojisinin hibrit olarak çalıştırılması hedeflenmiştir. Çalışma kapsamında bataryaların işletim koşulları ile uyum gösteren kaprik asit faz değiştiren madde olarak kullanılarak çalışma koşullarına uyumlu kompozit enerji malzemelerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte, tasarlanan kompozit enerji malzemeleri deneysel bir sistem hazırlanarak test edilmiş ve Lityum iyon bataryanın ısı performansı incelenmiştir.

Farklı reçeteler ile tek adımda impregnasyon yöntemiyle elde edilen kaprik asit/kaolinit kompozit FDM'leri içinde CK40 olarak adlandırılan % 40 kaprik asit ve % 60 kaolinit kullanılarak hazırlanan kompozit FDM ile en yüksek ısı enerji depolama kapasitesine ulaşılmış ve elde edilen kompozit FDM'de sızıntı oluşmamıştır. Analiz sonuçlarına göre, üretilen CK40 kompozit FDM'nin pik erime sıcaklığı $T_{\text{pik-erime}} = 33,47^{\circ}\text{C}$, ısı enerji depolama kapasitesi $\Delta H_{\text{erime}} = 73,07 \text{ J/g}$ olarak bulunmuştur. Sonuç olarak, kaprik asit/kaolinit (CK40) kompozit FDM'sinin elektrikli araçlarda kullanılan Lityum iyon bataryaların ısı yönetimi için uygun bir aday olabileceği ve önemli bir performans sağlayabildiği deneysel olarak gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Lityum-İyon Batarya, Batarya Isı Yönetimi, Faz Değiştiren Malzeme, Gizli Isı Enerji Depolama



EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE DESIGN AND PERFORMANCE OF SHAPED-STABLE COMPOSITE PHASE-CHANGE MATERIALS FOR THE THERMAL MANAGEMENT OF LITHIUM-ION BATTERIES

ABSTRACT

With the development of technology, the need for energy is increasing day by day. The limited lifespan of fossil fuels, the environmental effects resulting from their use, and the lack of a uniform distribution of fossil resources around the world have led human beings to search for new ones. While this situation contributes to the spread of energy systems based on renewable energy sources, it is limited by the continuity problem that arises especially in systems based on solar and wind energy. In order to solve this problem, the use of energy storage technologies has attracted attention as an important alternative in recent years. The use of energy by storing allows use depending on the emergence of the need. In this context, latent thermal energy storage is one of the promising energy storage methods. With the new generation of smart energy materials called phase change materials, energy can be stored in the form of latent heat.

Another important option among energy storage technologies is power batteries that allow electrochemical storage. One of the factors affecting the operation of batteries, which have an important place in life, is temperature and therefore battery thermal management. In this thesis, it is aimed to design composite phase change materials to be used in the thermal management of Lithium batteries used in many fields including electric and hybrid vehicles. Thus, it is aimed to operate two known energy storage technologies as hybrids. Within the scope of the study, phase change materials compatible with the operating conditions of the batteries will be prepared and the production of composite energy materials compatible with the operating conditions will be realized. In addition, the designed composite energy materials were tested by preparing an experimental system and the thermal performance of an Lithium-ion battery was investigated.

Among the capric acid/kaolinite composite PCMs obtained by one-step impregnation with different recipes, the highest thermal energy storage capacity was achieved with the composite PCM prepared by using 40% capric acid and 60% kaolinite, called CK40, and no leakage occurred in the obtained composite PCM. According to the analysis results, the peak melting temperature of the produced CK40 composite PCM was found to be $T_{\text{peak-melting}} = 33.47\text{ }^{\circ}\text{C}$, and the thermal energy storage capacity was $\Delta H_{\text{melting}} = 73.07\text{ J/g}$. Consequently, it has been experimentally shown that capric acid/kaolinite (CK40) composite PCM can be a suitable candidate for the thermal management of Lithium-ion batteries used in electric vehicles and can provide significant performance.

Keywords: Lithium-ion Battery, Battery Thermal Management, Phase Change Material, Latent Heat Energy Storage



1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişimi ile birlikte enerjiye olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Fosil yakıtların sınırlı bir ömre sahip olması, kullanımı sonucunda meydana gelen çevresel sorunlar ve fosil kaynaklarının dünya üzerinde düzgün bir dağılıma sahip olmaması, insanoğlunu yeni enerji kaynakları arayışına yöneltmiştir. Bu durum, yenilenebilir enerji kaynaklarına bağlı enerji sistemlerinin yaygınlaşmasına katkı sağlarken, özellikle güneş ve rüzgâr enerjisine dayalı sistemlerde sürdürülebilirlik noktasında ve elektrik şebekesinde dengesizlik gibi ortaya çıkan problemler nedeniyle bu sistemlerde kullanım sınırlanmaktadır. Bu noktada, son yıllarda enerji depolama teknolojilerinin kullanımı önemli bir alternatif olarak dikkat çekmektedir. Enerji depolama sistemleri yenilenebilir enerji kaynaklarının sisteme kararlı şekilde entegre edilmesi ve güvenli çalışması için katkı sağlamaktadırlar. Enerjinin depolanabilmesi, ihtiyacın ortaya çıkmasına bağlı olarak sonradan kullanımına izin vermektedir. Bu bağlamda, enerji depolama teknolojileri içinde yer alan Lityum İyon batarya gibi elektrokimyasal enerji depolayabilen teknolojiler ve Faz Değiştiren Malzemeler (FDM'ler) gibi gizli ısı enerji depolamasına olanak sağlayan malzemeler gelecek vadeden enerji depolama seçenekleri arasında sayılmaktadır. Günümüzde, Lityum iyon bataryalar ve FDM'ler pek çok alanda kullanılabilirlikle birlikte, elektrikli araçlarda bataryalar güç birimi ve FDM'ler bataryaların ısı yönetimi amacıyla birlikte kullanılabilir.

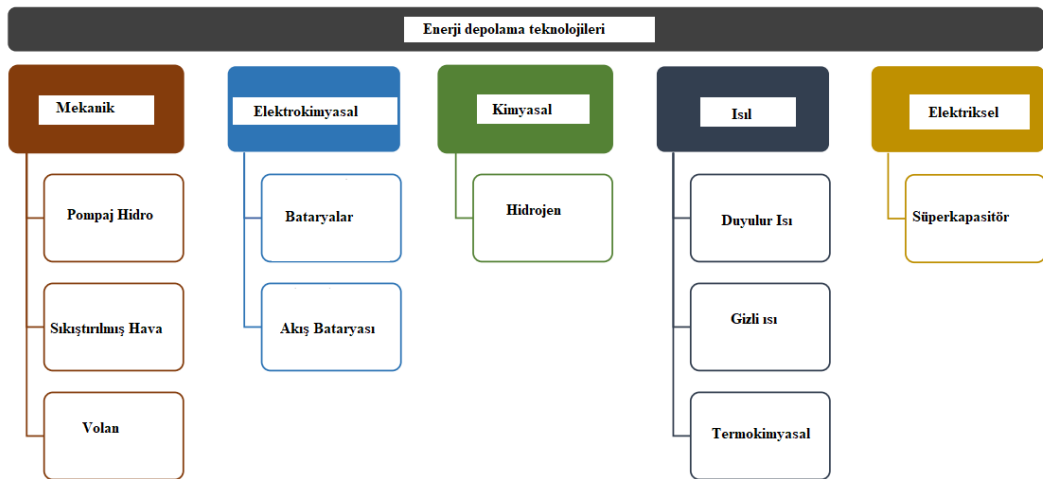
Enerji kıtlığı ve çevresel sorunların baskısı altında olan ülkeler ve otomobil üreticileri üretimlerini yeşil ve temiz araçlara kaydırmak zorunda kalmaktadırlar. Elektrikli araçlar geleneksel araçlara göre daha verimli ve temizdirler. Elektrikli araç pazarı her geçen yıl gelişmektedir ve bu hız gittikçe artmaktadır. Elektrikli araçların maliyet, mesafe gibi etkenlerden dolayı yüksek özgül güç ve yüksek enerji yoğunluklu Lityum iyon bataryalara gereksinimi bulunmaktadır. Elektrikli araçların performansını önemli ölçüde bu bataryalar belirlemektedir. Bataryaların sıcaklığı, şarj ve deşarj süreçleri, güvenliği en önemli performans özellikleridir. Özellikle, çevre sıcaklığı ve batarya çalışma sıcaklığı en önemli değişkenler olduğundan ısı olarak yönetimi gereklidir. Batarya ısı yönetim sistemleri (BIYS) değişik şekillerde yapılabilmektedir. FDM'lerin basit, düşük maliyetli olmaları nedeniyle bu alanda

kullanımları bataryaların performansı açısından ümit vermektedir ve birçok araştırmacı tarafından bu konu üzerinde çalışılmaktadır.

Bu çalışmada, Lityum iyon bataryaların ısıı yönetimi için yeni bir FDM tasarlanması, üretilmesi, analiz edilmesi ve batarya şarj-deşarj deneyleriyle performansının incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, kaprik asit / kaolinit kompozit FDM'leri tasarlanmış ve üretilmiştir. Bataryaların ısıı yönetimine yönelik olarak şekilce kararlı kompozit FDM'lerin hazırlanması için tek adımda impregnasyon yöntemi kullanılmıştır. Sentezlenen FDM'lerin ısıı özellikleri diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) ve termogravimetrik analiz (TGA) ile belirlenmiş, morfolojik özellikleri ve yapısı ise, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve Fourier dönüşüm kızılötesi spektroskopisi (FT-IR) ile analiz edilmiştir. Üretilen kompozit FDM'nin enerji depolama yeteneği ve batarya ısıı yönetimi için kullanılabilirliği laboratuvar ölçeğinde kurulan bir test sistemi ile incelenmiştir.

2. ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİ

Enerji depolama, enerjiyi belirli bir zamanda üretip ihtiyaç duyulan başka bir zamanda kullanmak için gerçekleştirilir. Düşük CO₂ ve sera gazı salınımı, güç planlama, işletme düzenleme, enerji kalitesi ve kararlılığı, arz-talep uyumu sağlama, atık enerjiyi azaltma enerji depolamanın avantajları olarak sayılabilir. Enerji depolama teknolojileri mekanik, elektriksel, ısı ve elektrokimyasal enerji depolama olarak sınıflandırılabilir (Şekil 2.1) [1]. Mekanik enerji depolamaya, basınçlı hava sıkıştırma, pompaj depolama ve volan ile depolama örnek olarak verilebilir. Elektriksel enerji depolama çeşitlerinde süperkapasitörler ve manyetik süper iletkenler bulunmaktadır. Isıl enerji ise olarak duyulur, gizli ve termokimyasal olarak depolanabilir. Kimyasal enerji depolama sistemleri bataryalardan oluşmaktadır. Enerji depolama teknolojilerinin en yaygın uygulama alanları enerji tesisleri, yenilenebilir enerji uygulamaları, binalar ve ulaştırma olarak ön plana çıkmaktadır [2]. Enerji depolama sistemlerinin yüksek enerji-güç yoğunluğu, hızlı cevap süresi, düşük maliyet, uzun kullanım ömrüne, yüksek depolama kapasitesi, verime ve zorlu çalışma şartlarına dayanım gibi özelliklere sahip olması gereklidir [3]. Yenilenebilir enerji sistemlerinin aralıklı çalışması ve sürekliliğinin sağlanamaması nedeniyle enerji depolama sistemlerinin kullanımı arz ve talep dengesi için gereklidir. Depolanan enerji gerektiğinde kullanılabilir veya enerjinin pahalı olduğu zamanlarda şebekeye verilip ticari kazanç sağlanabilir [4].

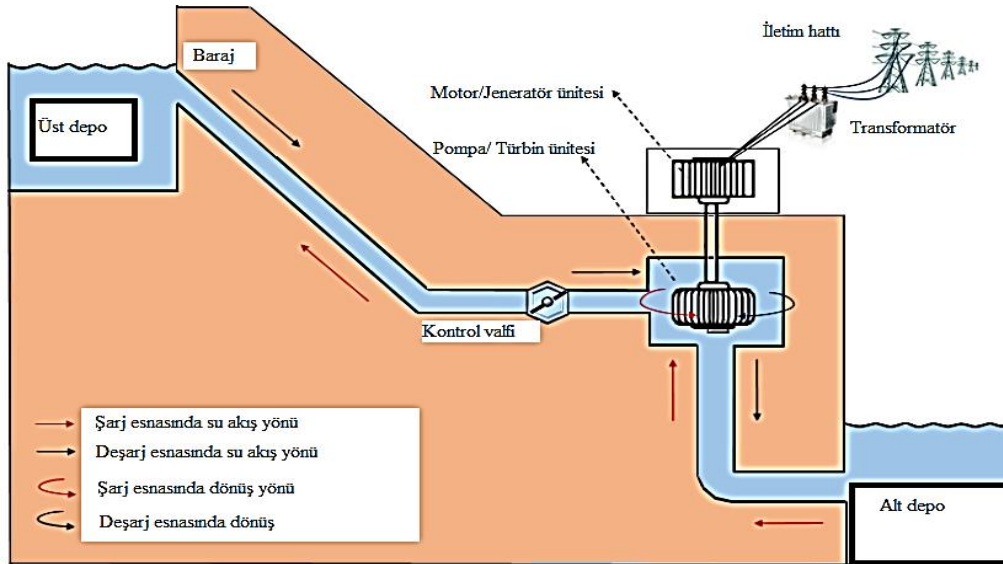


Şekil 2.1. Enerji depolama teknolojileri [1]

2.1. Mekanik Enerji Depolama

2.1.1. Su pompaj depolama

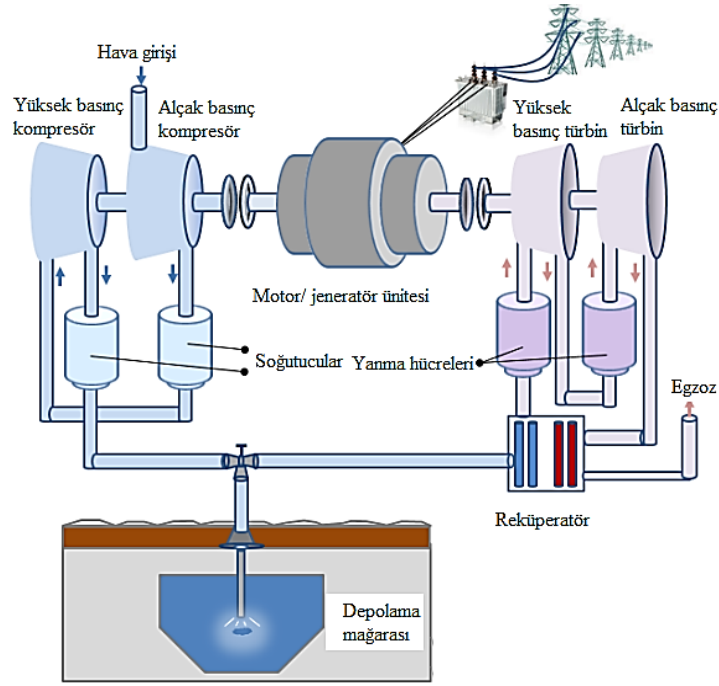
Pompaj depolamanın temel prensibi ihtiyaç doğması halinde kullanmak üzere suyun görece yüksek bir depodan potansiyel enerjisinden yararlanmak için depolanmasına dayanmaktadır. Şekil 2.2 'de su pompajlı enerji depolama sisteminin çalışma şeması gösterilmiştir [5]. Alt depoda bulunan su talep yoğun olmadığı zaman üst depoya pompa ile taşınmaktadır. Gerektiğinde ise potansiyel enerjiden yararlanılarak üst depodan alt depoya transfer edilmekte ve türbin-jeneratör grubu vasıtasıyla elektrik enerjisi elde edilmektedir.



Şekil 2.2. Su pompaj enerji depolama [5]

2.1.2. Sıkıştırılmış hava depolama

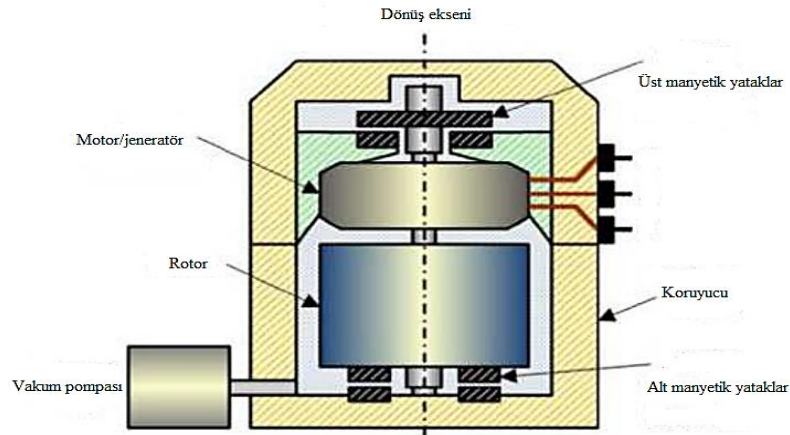
Sıkıştırılmış ile hava enerji depolama sistemine bir örnek Şekil 2.3'te gösterilmiştir [6]. Elektrik enerjisi gerektiğinde yeraltında depolanan sıkıştırılmış hava ısıtılır ve kompresörde basınçlandırılır, doğal gaz ile yakılarak türbin döndürülür. Sonuçta elektrik üretilerek şebekeye verilir.



Şekil 2.3. Sıkıştırılmış hava enerji depolama [6]

2.1.3. Volan

Volanlar bir rotor içinde dönen kütlenin atalet momenti yardımıyla kinetik enerjinin depolanması esasına göre çalışmaktadır [7]. Enerjinin depolanması esnasında volanlar yüksek hıza ivmelenir, enerji kullanılacağı zaman sahip olunan kinetik enerji sisteme aktarılır. Sistemde bulunan vakum pompası ise sürtünme nedeniyle işe dönüşmeyen enerjiyi azaltmak için kullanılmaktadır. Şekil 2.4'te volan şeması bulunmaktadır.

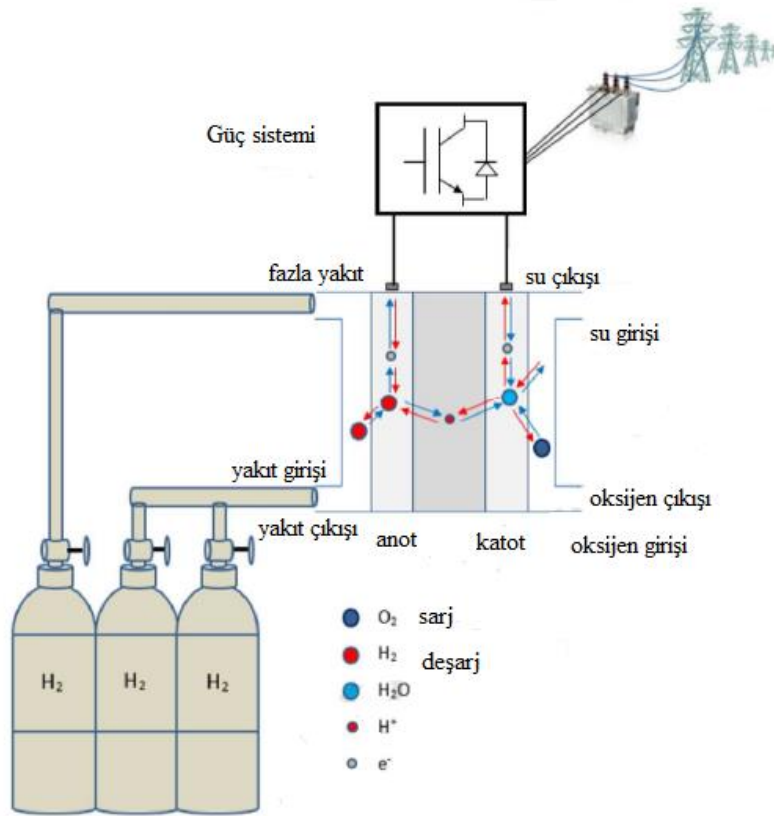


Şekil 2.4. Bir volana ait şematik görünüm [7]

2.2. Kimyasal Enerji Depolama

Hidrojen depolama sistemi kimyasal enerji depolama çeşididir. Hidrojen yakıt hücrelerinde hidrojen ile oksijen sisteme çalışma basınç ve sıcaklıklarında verilir. Yakıt hücresindeki çalışma süreci sonucunda elektrik ve sıcak su elde edilmiş olur. Bu üretilen elektrik ve sıcak su evlerde, sanayide kullanılabilir. Hidrojen sıkıştırılarak tankta depolanır ve ihtiyaç halinde kullanılır.

Elektrolizer yardımıyla hidrojen yakıt hücresinde elektrik enerjisinden tekrar hidrojen elde edilerek tankta depolanan hidrojene dönüşüm yapılarak çift taraflı enerji çalışma yapılabilmektedir [5]. Sistemin çalışması Şekil 2.5'te gösterilmiştir.

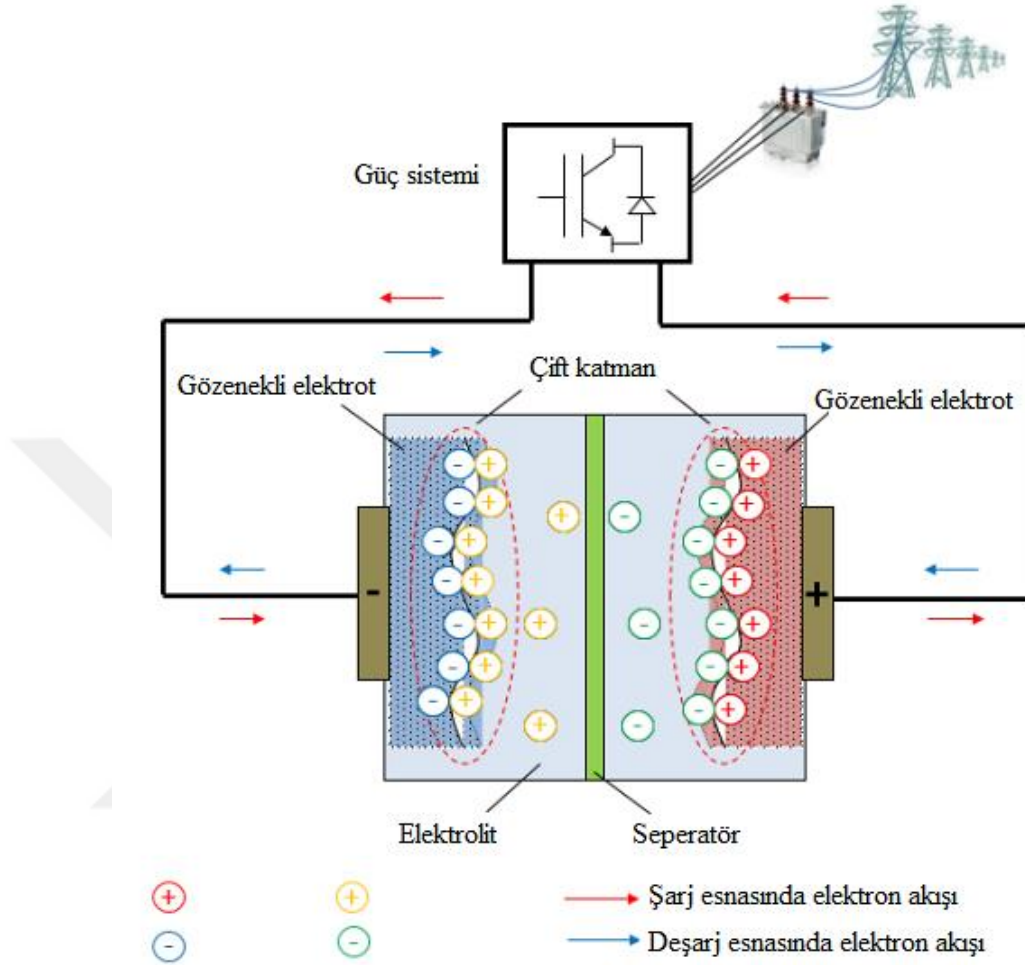


Şekil 2.5. Hidrojen enerji depolama [5]

2.3. Elektriksel Enerji Depolama

Kapasitörlerde iki metal ve dielektrik (iletken olmayan) olarak adlandırılan plakalar ile enerji depolama gerçekleştirilir. Gerilim uygulandığında iletken plakalar pozitif ve negatif elektrik yükü ile yüklenirler. Böylece, plakalar arasında bir elektrik alan oluşur. Bu iki plaka arasında yalıtkan maddeden dolayı herhangi bir elektrik akımı olmaz. Yük değişimi yalnızca kapasörün iki ucu aracılığıyla bağlı olduğu

devre üzerinden gerçekleştirilebilir. Elektrik yüzeyde depolanır, enerji yoğunluğu düşük olduğundan kısa sürelerde yüksek akımlar ile enerji sağlanır (Şekil 2.6) [6].

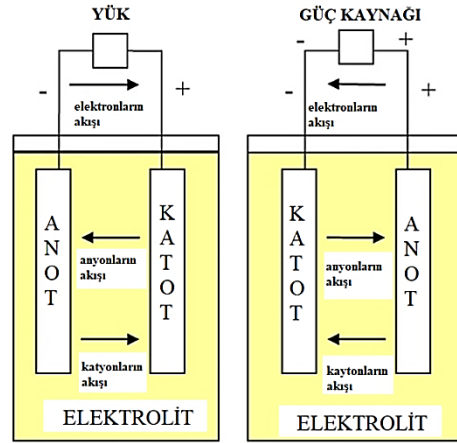


Şekil 2.6. Superkapasitör ile enerji depolama [6]

2.4. Elektro-Kimyasal Enerji Depolama

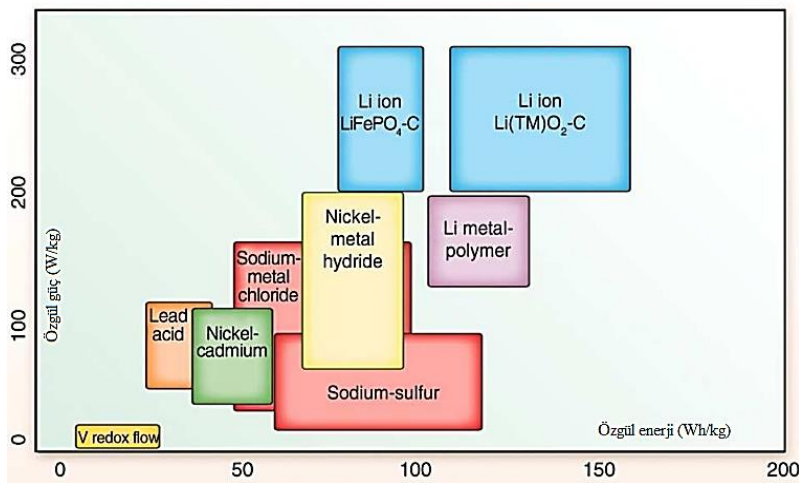
Elektro-kimyasal enerji depolama sistemleri bataryalar ve akış bataryalarından oluşmaktadır. Bataryalar şarj edilebilen veya edilemeyen bataryalar olarak iki gruba ayrılır. Bataryalar depolanmış kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine çevirir ve uçlarında gerilim oluşur. Oluşan doğru akım (DC) sanayide, evsel kullanımda olduğu gibi elektrik şebekelerinde ve elektrikli araçlarda kullanılmaktadır. Kurşun asit, Nikel kadmiyum, Nikel demir, Sodyum-Sülfür, Lityum batarya gibi çeşitli batarya tipleri bulunmaktadır [8]. Bataryalar tekli, çoklu hücreler halinde istenen voltaj ve kapasiteye göre paralel veya seri bağlanırlar. Anot veya negatif elektrot elektron sağlar, katot veya pozitif elektrot elektronları alır. Elektrolit anot ve katot arasında

elektronların transferi için ortam sağlar. Bir ayırıcının kullanılması pozitif ve negatif elektrotlar arasında yalıtım görevi görür. Şarj edilebilir tipik bir batarya diyagramı Şekil 2.7’de görülmektedir [7].



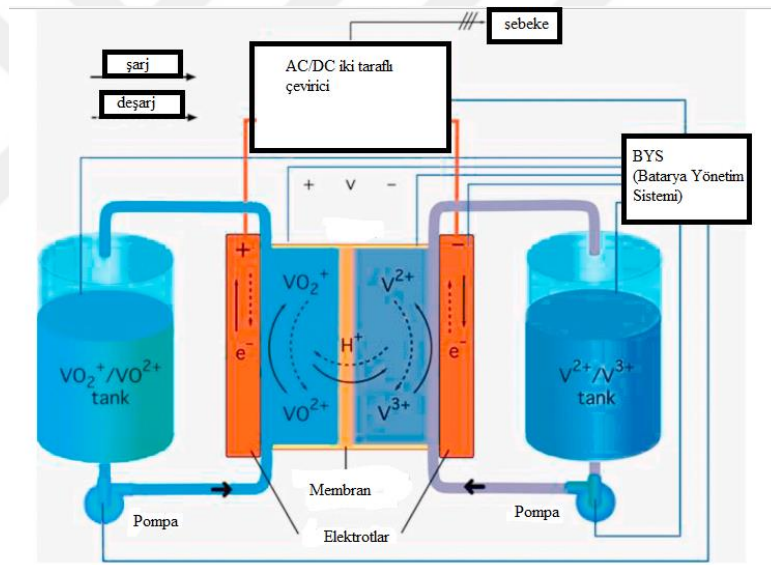
Şekil 2.7. Batarya çalışma diyagramı [7]

Bataryalar ilk elektrokimyasal cihazlardır ve Volta pilinden beri yaklaşık iki yüzyıldır kullanılmaktadır. Bataryalar elektrik enerjisini depolayabilirler. Böylece taşınabilir, sabit ve yedek güç sağlarlar. Etkin maliyet, yekpare depolama, hareketli parçalarının olmaması ve yeterli çevrim ömrü gibi özelliklere sahiptir. Bununla birlikte ralıklı çalışan yenilenebilir enerji kaynakları için yedekleme ve frekans düzenleme desteği verebilirler. Batarya çeşitlerinin özgül güç ve özgül enerji karşılaştırılması Şekil 2.8’de verilmiştir [9].



Şekil 2.8. Batarya özgül güç ve özgül enerji karşılaştırması [9]

Akış bataryaları ise redoks akış ve hibrit akış olarak iki gruba ayrılır. Akış bataryalarının ölçekleme kolaylığı, hızlı cevap süresi, yüksek güç yoğunluğu, ani yük değişimlerine uyum sağlama ve uzun hizmet süresi gibi özellikleri vardır. Akış bataryalarının diğer bataryalardan farkı anma gücünün enerji depolama kapasitesinden ayrılmasıdır. Güç çıkışı hücre yığın büyüklüğü ile kontrol edilirken depolama tankının büyüklüğü enerji kapasitesini belirler. Bu olanak belirli uygulamalarda önemli tasarım esnekliği getirmektedir. Şekil 2.9'da görüldüğü üzere akış bataryası sistemi enerji depolama tankları, elektrokimyasal hücre yığını ve akış sisteminden oluşur. Çalışma esnasında elektrolit yığın içine pompalanmaktadır ve burada elektrokimyasal dönüşüm olmaktadır ve tank sonrasında ise tankta depolanmaktadır [10].

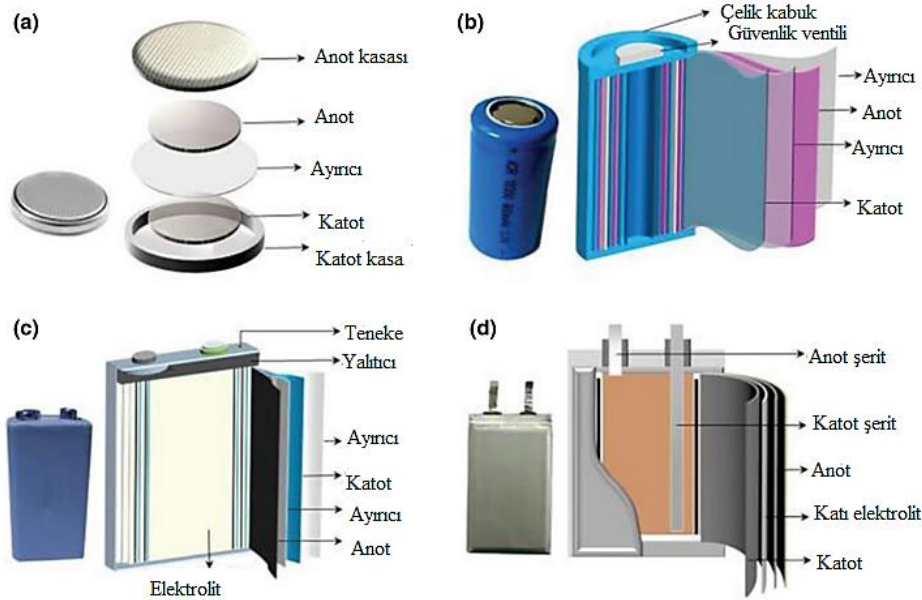


Şekil 2.9. Akış bataryası çalışma şeması [10]

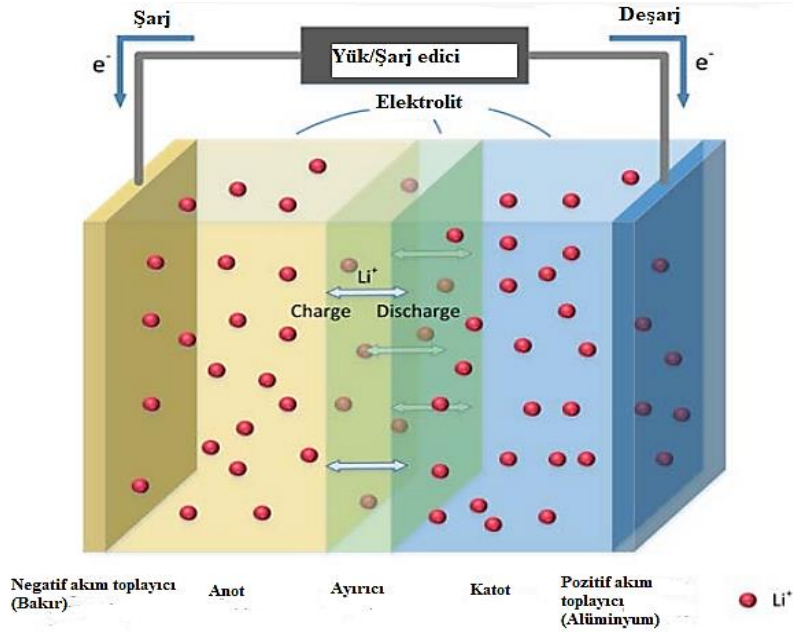
2.4.1. Lityum iyon bataryalar

Lityum bataryaların metal polimer, iyon, demir fosfat, iyon polimer ve titanyum dioksit gibi çeşitleri bulunmaktadır. Lityum-iyon bataryalar geometrik şekilleri göre (Şekil 2.10), a) yassı b) silindirik c) prizmatik d) kese tipi olmak üzere sınıflandırılabilir (Şekil 2.2) [12]. Prizmatik ve kese şeklinde olanlar yüksek kapasite gerektiren elektrikli araçlar ve uygulamalarda kullanılmaktadır. Lityum iyon bataryalarda pozitif akım toplayıcı, negatif akım toplayıcı, anot, katot, elektrolit ve ayırıcı kısımları bulunmaktadır. Katot genellikle Lityum oksit, anot ise genellikle

karbon-silikon birleşimidir. Elektrolit ise genellikle organik çözücülerde çözünen lityum tuzudur [11]. Şekil 2.11’de lityum iyon batarya çalışmasını gösteren resim bulunmaktadır [13].



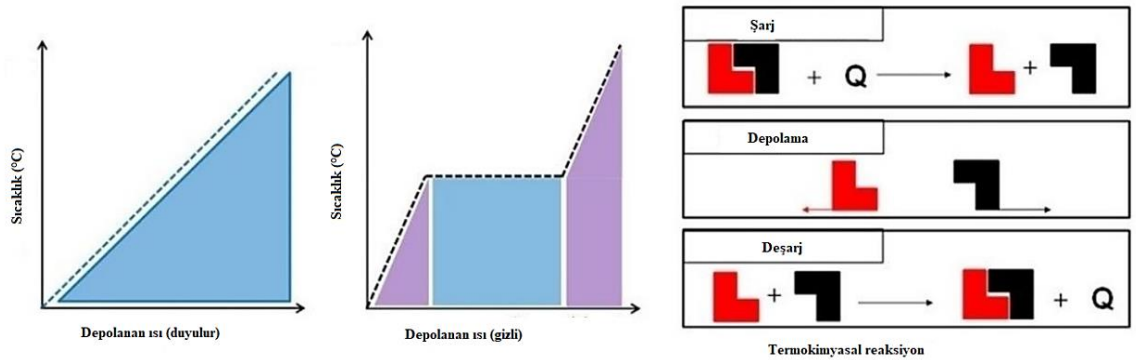
Şekil 2.10. Lityum iyon batarya çeşitleri [12]



Şekil 2.11. Lityum iyon batarya çalışma şeması [13]

2.5. Isıl Enerji Depolama

Isıl enerji depolama sistemleri fiziksel ve kimyasal olarak değerlendirilebilir. Fiziksel depolama duyulur ve gizli ısı depolama şeklindedir. Kimyasal depolama ise termokimyasal bir döngünün yer aldığı uygun seçilmiş ileri ve geri yönlü reaksiyon çiftlerine dayanmaktadır. Uygun reaksiyonun seçiminde yüksek enerji yoğunluğu ve kimyasal kararlılık gibi önemli bazı özelliklerin olması beklenir [14]. Duyulur ısı depolamada faz değişimi olmaksızın depolama gerçekleştirilir ve depolama yapılan ortamın sıcaklığının absorblanan enerji miktarına göre değiştiği depolama şeklidir. Bu yöntem düşük enerji yoğunluğu ve ısııl enerji kayıpları gibi dezavantajları bulunmaktadır [15]. Duyulur ısı depolama su, kum, erimiş tuz, kaya gibi sıvı veya katı ortamlarda ısııl enerjiyi depolayıp ısıtma veya soğutma metoduna dayanır [16]. Gizli ısı depolama malzemenin dar bir sıcaklık aralığındaki faz değişimiyle birlikte gerçekleşen ısı transferi ile yapılır. Bu süreçte malzemenin özelliğine bağlı olarak büyük miktarda ısı depolanabilir. Sıcaklık arttığında katıdan sıvıya faz değişimi hacimde küçük bir miktar değişimle olur ve basınç anlamlı olarak değişmez. Erime ve katılaşma süreçleri faz değişim sıcaklığı olarak adlandırılan sabit bir sıcaklık aralığında meydana gelir [17]. Şekil 2.12’de ısııl enerji depolama metodları verilmiştir [15].



Şekil 2.12. Isıl enerji depolama metodları [15]

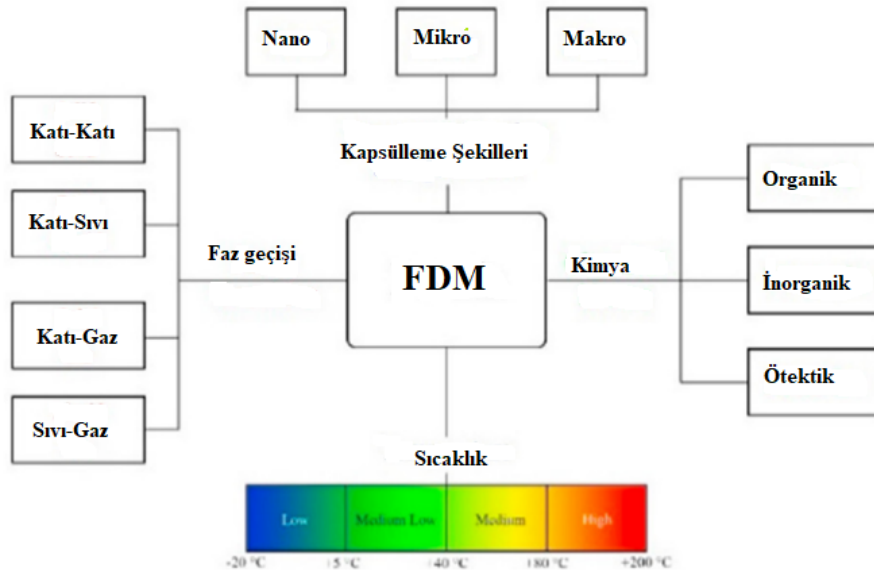
2.5.1. Faz Değiştiren Malzemeler (FDM’ler)

FDM yoluyla gizli enerji depolama faz geçişi esnasında kullanılan malzemenin bileşiminde değişiklik olmaksızın entalpi değişimiyle gerçekleştirilmektedir. Bu

yöntemde enerji depolama ya erime esnasındaki füzyon entalpisi ile ya da donma noktasında kristallenme entalpi değişimleriyle oluşur.

Faz değiştiren malzemelerin sınıflandırılması Şekil 2.13 'te gösterilmiştir.

FDM'ler maddenin çevre ile temasını kesmek, kaçak oluşmasını engellemek ve mekanik dayanımını artırmak için kapsullenerek kullanılırlar. Bu işlem mikro, nano ve makro ölçekte gerçekleştirilebilir (Şekil 2.13) [16].



Şekil 2.13. FDM sınıflandırması [16]

Faz değiştiren malzemelerin çeşitli alanlarda farklı uygulamaları bulunmaktadır. Aşağıdakilerle sınırlı olmamakla birlikte bu uygulamalardan bazıları şöyle sıralanabilir.

- Binalarda uygulamaları
- Isıtma ve soğutma uygulamaları
- Güneş enerjisi sistemleri
- Tekstil uygulamaları
- Biomedikal alanı uygulamaları
- Elektronik uygulamaları
- Otomotiv endüstrisi uygulamaları

- Gıda endüstrisi uygulamaları
- Uzay uygulamaları

Son yıllarda FDM'ler ile ilgili pek çok çalışma literatüre girmiştir. Bu çalışmalara farklı alanlardan vermek mümkündür. Lin ve diğ. [17] deney sistemi olarak hazırladıkları bir evde yaptıkları çalışmada faz değiştiren malzemeyi (%75 Parafin, %25 Polietilen) yeraltı elektrik ısıtma sistemiyle birlikte uygulamışlardır. Yapılan çalışma sonucunda elde edilen bulgulara göre uygulama neticesinde sistem sıcaklık farkı artışı olmaksızın oda içi sıcaklığının yükseldiği görülmüştür. Bununla birlikte ısıtıcılar çalıştırılmasa dahi FDM faz geçiş sıcaklığını sürdürebilmiştir. Böylece, gereksinim duyulan elektriğe dayalı ısı enerjisinin %50'si pik saatlerden pik dışı saatlere kaydırılabilmektedir.

Cabeza ve diğ. [18] yaptıkları çalışmada toz halindeki FDM-grafit kompozit malzeme silindirik geometriye sahip kaplara konularak bir sıcak su tankının içine yerleştirilmiştir. Böylece kompozit FDM harici bir enerji kaynağı olmaksızın suyun sıcaklığının belirli bir süre muhafaza edilmesi sağlanmıştır.

Iqbal ve diğ. [19] mikro kapsüllenmiş FDM ile ısı düzenleme (thermal regulation) özelliği olan bir dokuma ile tekstil uygulaması yapmışlardır. Elde edilen FDM'li polipropilen dokunun gizli ısı 9,2 kJ/kg olarak bulunmuştur. Üretilen malzemenin akıllı tekstil uygulamalarında kullanılabileceği rapor edilmiştir.

Hasan ve diğ. [20] fotovoltaiik modüllerde FDM kullanımını araştırmışlardır. FDM kullanımı ile elektrik üretiminde %1,3 artış ve ısının korunmasında yaklaşık %40 artış tespit etmişlerdir. Bu kurtarılan ısı ısıtmada kullanılabilmektedir.

Kibria ve diğ. [21] fotovoltaiik modülün 3 farklı FDM ile birlikte kullanılması neticesindeki ısı performansını araştırmışlardır. Yapılan çalışmanın sonuçlarına göre modülün ısı performansının ortalama %5 arttığı bildirilmiştir.

Kant ve diğ. [22] hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizi yardımıyla fotovoltaiik (PV) modül ile FDM kullanımını araştırmışlardır. Açık hava hızı ve ısı transferi değerlerini hesaplayarak %5 sıcaklık düşüşü ve % 6 PV ısı performans artışı olduğunu tespit etmişlerdir.

Krishnia ve diğ. [23] nano teknoloji ile güçlendirilmiş FDM'nin elektronik malzemelerle kullanımında ısı performansını araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara

göre ısınan elektronik malzemenin ısısının yaklaşık % 30'u FDM'de depolanabilmiştir.

Gracia ve diğ. [24] binalarda FDM kullanımı ile ilgili derleme çalışması yaparak avantajlarını araştırmışlardır. Isıl iletkenlik, ısı depolama ve düzgün enerji dağılımı sağlanabildiği ifade edilmiştir. FDM beton veya harç ile kullanılırsa mekanik dayanım ve özgül ısı kapasitesinin artırılabilirdiği rapor edilmiştir. Ayrıca FDM eklenince betonun yoğunluğu dolayısıyla yapının kütlelerinin de düştüğü ayrıca FDM'nin yalıtım malzemesi ile karıştırılması durumunda bina enerji verimliliğine katkısı olduğu belirtilmiştir.

Lv ve diğ. [25] mikrokapsüllenmiş faz değıştiren malzeme kullanılarak soğuk ameliyatlar esnasında yüksek gizli ısı ve düşük ısı iletkenlik özellikleriyle sağlıklı dokunun kanserli hücreden korunabileceğine dair bir öneri sunmuşlardır.

Lu ve diğ. [26] gerçekleştirdikleri çalışmada FDM içeren bir dolap rafı tasarlamışlardır ve buz çözölme esnasında gıda sıcaklık artışını 1,5 °C mertebesinde düşürebildiği ve düzgün sıcaklık dağılımının sağlanabildiği bildirilmiştir.

Gümüş [27] otomobil uygulamasına yönelik olarak içten yanmalı motorda soğuk ilk çalıştırmada FDM kullanımının etkilerinin belirlenmesi amacıyla deneyler yapmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre, FDM kullanılarak gerçekleştirilen soğuk ilk çalıştırma esnasında sağlanan ısı miktarına bağlı olarak CO₂ salımında % 64 düşüş yaşandığı gözlenmiştir.

Tomizawa ve diğ. [28] FDM kullanımının mobil akıllı telefonda ısı yönetim açısından incelemiştir. FDM'nin sıcaklık artışını azaltmasını gecikme etkisi olarak ifade etmişlerdir. Çalışmada mikrokapsüllenmiş polietilen kompozit malzeme kullanılmıştır. FDM ince tabaka halinde akıllı cihaza yapıştırılmış bakır tabaka üstüne uygulanmıştır. Deneysel çalışma ve sonlu elemanlar analizi ile gecikme etkisini doğrulamışlardır.

Verma ve diğ. [29] elektrikli araçlarda kullanılan batarya çevresine hazırladıkları kaprik asit ve parafinden oluşan malzemeyi dökerek 3mm, 7mm, 9mm, 12mm kalınlıklarda FDM kullanımının deneysel olarak etkisini çalışmışlardır. Deneysel sonuçlara göre en iyi performans kalınlığı 3mm olarak tespit edilmiştir. Bataryanın deşarjı esnasında, çevre 294 K iken batarya sıcaklığı 312 K'e kadar yükselmiştir.

FDM kullanımı neticesinde 3mm kalınlıkla bu artış sınırlandırılabilmiş ve sıcaklık 305 K olmuştur.

Bakhshipour ve diğ. [30] FDM'yi evsel soğutma sisteminde kullanmışlardır. Kondenserden sonra genleşme valfinden önceki ısı değiştiriciye n-oktedekan malzeme uygulamışlardır. Sonuçta FDM kondenserin çıkış sıcaklığını düşürmüş ve COP'yi % 9,58 artırmıştır.

Chaichan ve Abbas [31] parafin tipi FDM'yi Bağdat'ta kış aylarında yararlanmak için trombe duvarına uygulamışlardır. Gerçekleştirilen çalışmada kışın ortama ne kadar ısı verebileceğine odaklanmışlardır. Bu amaçla duvar içindeki alüminyum borulara FDM konulmuştur. Yapılan deneysel çalışmada FDM kullanımının olumlu etkisi parafinin şarj ve deşarj eğrilerinin elde edilmesiyle aylara göre gösterilmiştir.

Modjinou ve diğ. [32] FDM'yi fotovoltaik güneş enerjisi sistemine uygulamışlardır. Güneş panelinin güneş olmadığında donmasını engellemesi ve gündüz yüksek sıcaklıkta performansının artmasına olumlu etkisi olduğunu deneysel çalışmada göstermişlerdir. Isıl ve elektriksel verim FDM ile yaklaşık % 36 artmıştır.

Cheng ve diğ. [33] faz değişim sıcaklığı 30,5 °C olan şekilce kararlı FDM'yi soğutma sisteminin kondenser tüplerinin çevresine monte etmişlerdir. Kondenser orta nokta sıcaklığı 2,3 °C, çıkış sıcaklığı 6,5 °C düşmüştür. Çalışmanın sonuçlarına göre standart bir soğutucuya göre %12 enerji tasarrufu sağlanmıştır. Ayrıca, aynı malzemenin soğuk depoya ait bir evaporatördeki performansını da incelemişlerdir. Ortam sıcaklığındaki artış ve donma noktasındaki azalış COP'yi %19 artırmıştır.

Ahmed ve diğ. [34] soğutma sistemi bulunan bir kamyonunun yalıtım duvarlarına parafin temelli FDM ilave ederek ısı transferinin azaltılmasına yönelik bir çalışma sunmuşlardır. Kamyonun bütün duvarlarının yalıtım köpüğüne FDM eklenmesiyle ısı transferindeki azalma %29,1 olmuştur. Böylece soğutucu kompartmanına günlük ısı akışı ortalama olarak %16,3 azalmıştır.

Mondieig ve diğ. [35] FDM (4,8 °C erime noktası)'nin biomedikal ürünlerin taşınması ve depolanması esnasında ısı koruma etkisini araştırmışlardır. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre dış ortam sıcaklığı 22 °C iken FDM'li kutu, kan torbasını 6 saatten fazla 10 °C sıcaklık altında tutabilmiştir. Bu durumun standart kutuya göre 8 kat daha uzun süre olduğu gösterilmiştir.

Wang ve diğ. [36] mikrokapsüllenmiş FDM kullanarak alüminyum petek duvarın ısı davranışını araştırmak için deneysel çalışma yapmışlardır. Mikrokapsüllenmiş FDM içeren duvarın doğal ve zorlanmış taşınımında etkili olduğu görülmüştür. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre etkin ısı koruma süreleri zorlanmış ve doğal taşınım için sırasıyla 4 saat ve 4,7 saat olarak bulunmuştur. Ayrıca ısı verme periyodu sırasıyla 2,8 saat ve 3,8 saat olarak gerçekleşmiştir.

Yao ve diğ. [37] şekilce kararlı FDM 'yi (erime noktası 25°C-29°C olan perlit ve parafin karışımı) yaklaşık 4000 m² alanı olan ofis binasının duvar panosuna uygulayarak ısı performansına etkisini araştırmışlardır. Uygulama neticesinde sıcaklık azalması saat 07:00-18:00 arasında 9,22 °C olarak bulunmuştur. Bununla birlikte, maliyetin geri dönüş süresi 5,84 yıl olarak hesaplanmıştır.

Fok ve diğ. [38] taşınabilir elektronik cihazların soğutulmasında FDM kullanımını araştırmışlardır. Bu amaçla kanatlı tip ısı deposu içine konulan n-eicosane kullanımıyla 3-5 W güç ve 24-34 °C sıcaklık aralıklarında çalışan mobil cihazların sık ve ağır çalışmalar koşulları altında soğutma performanslarının verimli olduğu bulunmuştur.

Subramanian ve diğ. [39] içten yanmalı motorda ısı geri kazanımlı ısı değiştiricisini erime sıcaklığı arası 50 – 60 °C FDM ile birlikte kullanmıştır. Bu uygulama neticesinde yakıtın ısı gücünün %15'i depolanabilmiştir.

Wu ve diğ. [40] deneysel çalışmalarında PA/OBC/EG içeren FDM kompozit hazırlamışlardır. FTIR, XRD, SEM sonuçları kompozitin komponentleri arasında iyi fiziksel ve kimyasal uyum olduğunu göstermiştir. DSC sonuçlarında erime sürecinde iyi erime noktaları gözlenmiştir. TGA testinde hazırlanan FDM'nin çalışma sıcaklığı esnasında iyi ısı kararlılığına sahip olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Gözle görülür FDM kaçağı oluşmamıştır. Şekilce kararlılıkta olumlu etkisinden başka EG ısı iletkenliği artırmıştır. Sonuç olarak hazırladıkları FDM'nin karakterizasyonunda yüksek ısı depolama kapasitesi, ısı iletkenlik, ısı kararlılık ve şekilce kararlılık özelliklerine sahip olduğunu ortaya koymuşlardır.

Liu ve diğ. [41] kaprik asit içeren kompozit FDM hazırlamıştır. Kimyasal yapı, morfoloji, ısı özellikler, kaçak ve enerji depolama performansı araştırılmıştır. Mikro yapı SEM ile, kimyasal yapı FTIR ile, faz değişim sıcaklığı ve gizli ısı DSC ile, ısı kararlılık TDA ile, ısı iletkenlik, ısı iletkenlik test cihazı ile karakterize edilmiştir.

Sonuçlara göre hazırlanan FDM'nin iyi ısı kararlılık ve sızdırmazlık performansında olduğunu göstermiştir. Deneylere göre bina uygulamasında sıcaklık dalgalanmasının azaltılması ve binanın ısı konforuna katkı özellikleri sağlamıştır.

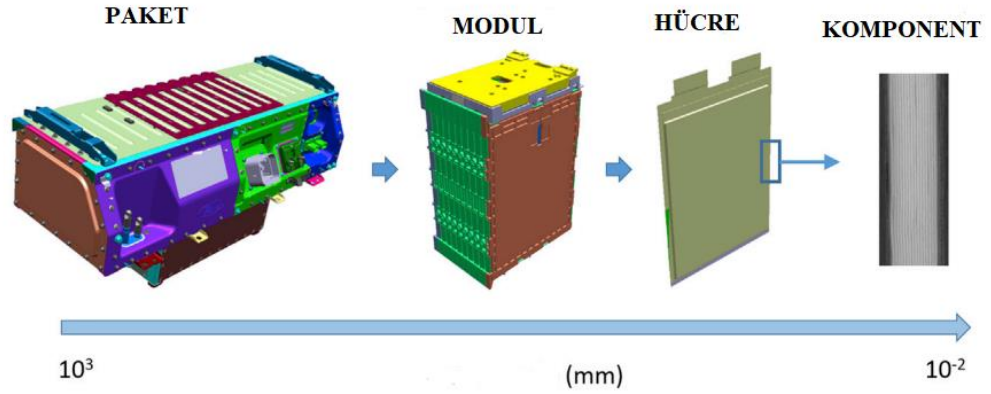
Song ve diğ. [42] bina ve sanayide kullanılan 3 farklı tip organik ikili FDM'nin ısı kararlılığını araştırmak için deneyler yapmıştır. CA ve LA, CA ve MA, CA ve PA sırasıyla 1:9, 4:6, 11:9 kütle oranlarıyla 3 farklı tip organik yağ asit seçilmiştir. CA-MA en iyi ısı kararlılığı ve güvenilirlik performansını göstermiştir, faz değişim sıcaklığı değişmemiştir.



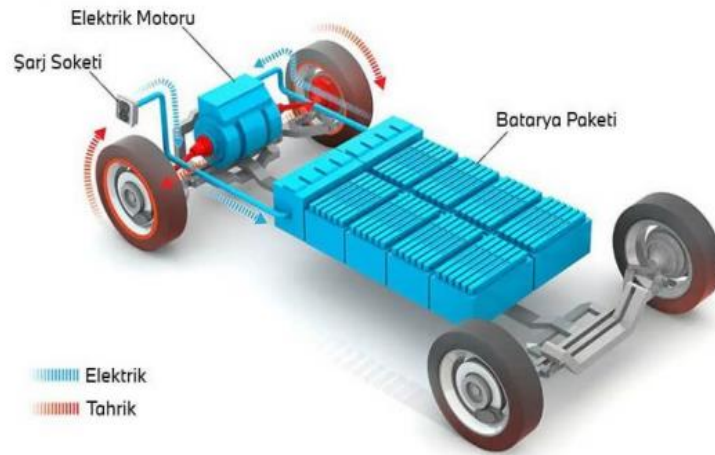


3. ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA LİTYUM İYON BATARYA KULLANIMI

Lityum periyodik tabloda en elektropozitif elementtir ve en hafif metal olduğundan yüksek enerji yoğunluğu sunar. Lityum iyon bataryaların teorik enerji yoğunluğu 340 kWh/kg, güç yoğunluğu 500-2000 W/kg ve verimliliği % 90'dır [43]. Bu özellikleri ile Lityum iyon bataryalar elektrikli araçlarda kullanılmakta ve gelecek yıllarda da kullanımının hızlı bir şekilde yaygınlaşacağı beklenmektedir [44]. Bataryalarda şarj ve deşarj oranı C olarak adlandırılmaktadır. 1C demek, 1 Ah bataryanın 1 saat 1A akımda şarj ve deşarj olabilmesi demektir. 2 C demek, 1Ah bataryanın 0,5 saat ve 2 A de şarj-deşarj olabilmesi demektir [45]. Bataryalar hücre, modül, paket gibi sınıflandırmalarla elektrikli araçlara monte edilirler (Şekil 3.1 ve Şekil 3.2) [46-47].



Şekil 3.1. Batarya boyutlandırması [46]



Şekil 3.2. Elektrikli araç batarya yerleşimi [47]

Enerji yoğunluğu birim hacimde ve ağırlıkta depolanmış enerji miktarı olarak ifade edilebilir. Elektrikli araçlarda alan sınırlaması nedeniyle yüksek enerji yoğunluğu gereklidir ve bu aynı zamanda sürüş menzilini artırmaya katkı sağlar. Ancak enerji yoğunluğu arttıkça Lityum iyon bataryalarda doyma limiti engeline ulaşılmaktadır ve yeni teknolojiler gereklidir. Elektrikli araçların yaygın kullanımının sağlanabilmesi için hızlı şarj olmaları önemlidir. Hızlı şarj durumunda hücre sıcaklığı artmakta, batarya kapasitesi, ömrü ve güvenliği etkilenmektedir. Batarya elektrokimyasal bir sistem olduğundan iyonların ve elektronların taşınımı ve reaksiyonuna sahiptir. Dolayısıyla, şarj-deşarj ve bozulma değerleri çevreye, özellikle sıcaklığa bağlıdır. Yüksek sıcaklık yüksek şarj oranı sağlamaktadır ancak bu durum batarya ömrünü kısaltmaktadır. Bataryaların bulunduğu ortamın sıcaklığının düşük olması ise reaksiyonları yavaşlatmaktadır. Değişik sıcaklıklarda aynı batarya performansını sağlamak güçtür. Batarya ısı yönetim olan sistemlerdir. Elektrikli aracın büyüklüğüne göre batarya enerji yoğunluğu ve batarya ısı yönetim sisteminin maliyetleri değişiklik göstermektedir [48].

Bataryalarda şarj transferi ve elektro-kimyasal reaksiyonların neden olduğu iki temel ısı kaynağı bulunmaktadır. Isı üretiminde şarj-deşarj akımı, şarj durumu, batarya sıcaklığı ve akü kimyası etkili parametrelerdir. Isıl davranış elektrik direnci, lityum iyon yayılım direnci ve solüsyon malzeme direnci olmak üzere 3 dirence bağlıdır. İlki ohmik direnç, diğer ikisi ise elektrokimyasal dirençtir. Diğer yandan bu sistemlerde ortaya çıkan ısı sorunlar güç ve kapasite azalması, ısı sürüklenme (thermal runaway), batarya hücreleri arası elektriksel dengesizlikler ve düşük sıcaklık performansı olarak sayılabilir [49]. Örneğin 60 °C'deki batarya direnci 25 °C'dekinden yaklaşık 6 kat büyüktür ve bataryalarda sıcaklık artışının temel nedeni bu direnç artışıdır. Sıcaklıktaki bu artış elektrolitteki iyon hareketindeki artıştan ileri gelmektedir [50]. Lityum iyon bataryaların ısı etkilenmeleri sonucunda kapasite ve güç zayıflaması, kendi kendinedeşarj, ısı sürüklenme, düşük sıcaklık performansı ve elektriksel dengesizlik oluşabilmektedir. Bataryalar arası sıcaklık farkı oluştuğunda daha sıcak olan bataryalar daha hızlı şarj vedeşarj olmaktadır. Elektriksel ve ısı dengesi birbirine bağlıdır. Bataryaları uniform soğutan ısı yönetim, elektriksel dengeyi olumlu etkilemektedir. Lityum iyon bataryalar aşırı şarja duyarlıdır. Özellikle 100 °C'ye yakın sıcaklıklarda ısı üretimi yan etki oluşturur ve batarya sıcaklığı hızlıca artar. Bir batarya hücresinde kısa devre oluşur, yakındaki diğer

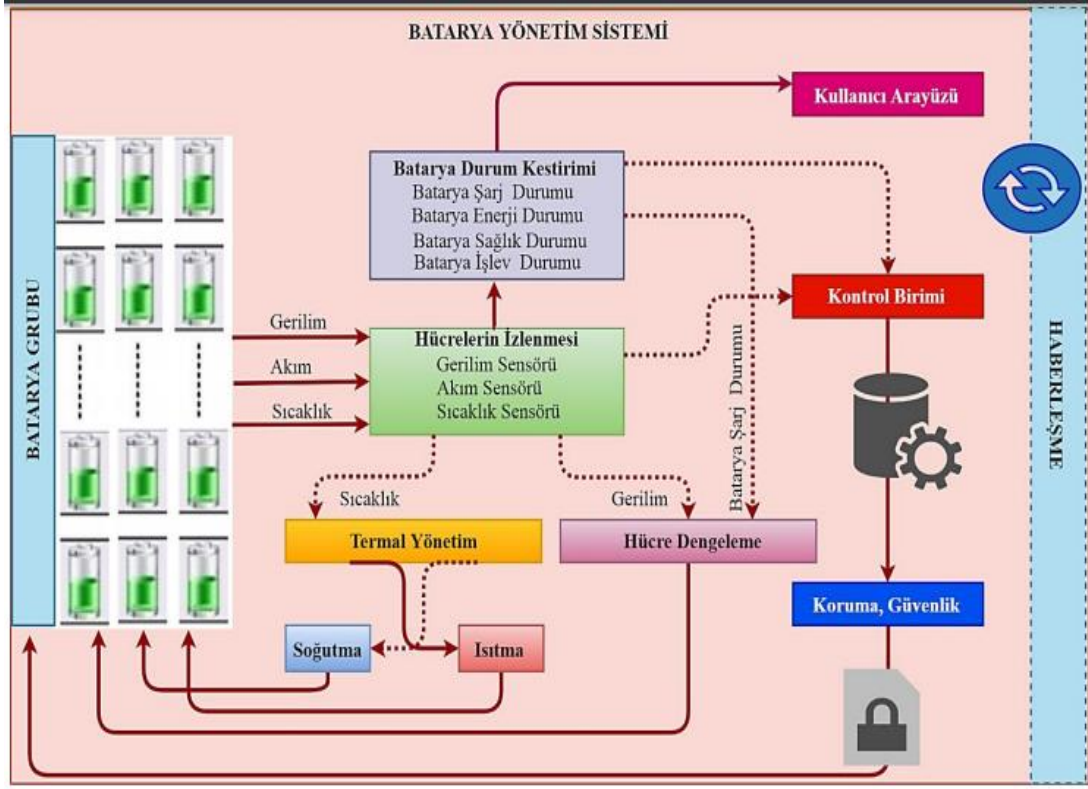
hücrelere yayılır ve bu reaksiyonlar tehlike arz eder. Batarya içindeki ısı üretimi, tersinmezlikler ve elektrokimyasal reaksiyonlar sonucu oluşur. Elektrokimyasal ısı üretimi ise akımın ve şarj durumu fonksiyonudur. Yüzey ısı iletimi ile batarya içindeki sıcaklık farkı artar, daha fazla akım üretilir bu da sıcak kısımlarda daha fazla sıcaklık artışına neden olur, bu artış ise yakın daha soğuk hücreler tarafından karşılanır [50]. Bataryalar şarj ve deşarj olduklarında kapasiteleri azalabilmektedir. Kapasiteleri farklı olduğunda batarya sıcaklıkları farklı olmakta ve bataryalar arası en yüksek izin verilen sıcaklık farkı problem olabilmektedir. Bunun için batarya dengeleme sistemleriyle kapasite farkları azaltılır ve bu da ısıl yönetime katkı sağlar [51].

Isıl sürüklenme (thermal runaway) mekanik, elektrik ve ısıl olarak kötü kullanımdan dolayı oluşabilir. Bataryada iç kısa devre meydana gelebilir ve zincirleme reaksiyonlar ile sıcaklık kısa sürede artarak diğer batarya hücrelerine atlayabilir. Bunun sonucunda duman, ateş ve patlama oluşabilir [52].

Lityum iyon bataryalar, yüksek sıcaklık gibi aynı zamanda düşük sıcaklıktan da etkilenirler. Lityum iyon bataryalarda sıcaklık düştükçe kimyasal reaksiyonlar yavaşlar, şarj kinetiği etkilenir bu durumda düşük elektrolit iletkenliğine neden olur, bu da bataryanın enerji ve gücünü düşürür [53]. Lityum iyon bataryaların kapasitesi, düşük sıcaklıklarda azalmaktadır. Normal şartlarda 25 kW alınabilen güç -30 °C'de 5 kW'a inebilmektedir. Elektrikli araçta sürüş menzili -6 °C'den düşük sıcaklıkta % 60, 35 °C'den büyük sıcaklıkta % 33 düşebilmektedir [54].

3.1. Batarya Isıl Yönetim Sistemleri (BIYS)

Batarya yönetim sistemi (BYS) ile bataryaların akım, gerilim, sıcaklık, şarj-deşarj durumu izlenerek ısıtma, soğutma, batarya dengeleme ve koruma fonksiyonları sağlanmaktadır. Batarya ısıl yönetim sistemi ise batarya yönetim sisteminin bir kısmıdır ve entegre olarak çalışır. Şekil 3.3'te batarya yönetim sisteminin genel bir şeması verilmiştir [55]. Batarya ısıl yönetim sisteminin sıcak şartlarda soğutma, soğuk şartlarda ısıtma, hücre, modül, paket içinde sıcaklık farkını düşük tutma, etkin ısı transferi, düşük maliyet, ısıl güvenlik koruyucu özellikler ve tehlikeli gazı uzaklaştırma gibi bir takım özelliklere sahip olması gereklidir [56].

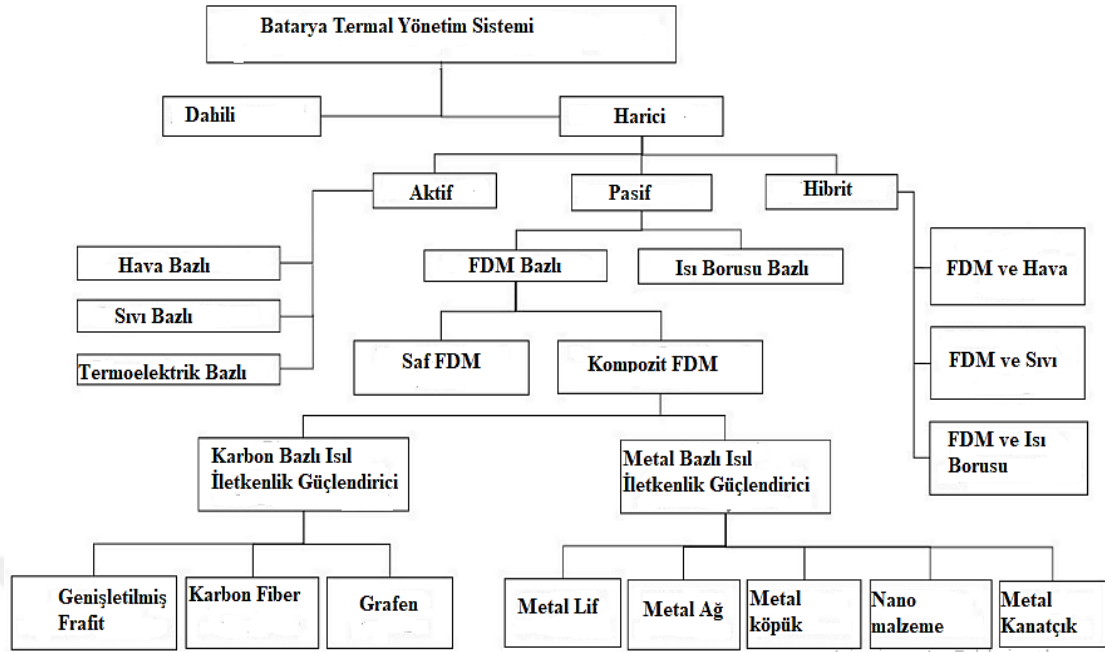


Şekil 3.3. Batarya yönetim sistemi genel şeması [55]

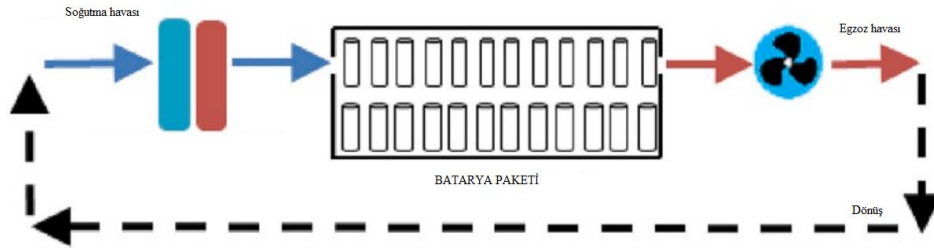
Lityum iyon bataryaların ısıl yönetimi için iki yol vardır. Birincisi, içeriden elektrot boyutunu kontrol ederek direnci düşürmek, diğeri ise dışarıdan hava, sıvı ve/veya enerji depolama/salma özelliği olan malzemeler ile çalışmaktır [57].

Batarya ısıl yönetimi sistemleri genel olarak güç tüketimi, ısı transferi aktarımı ve soğutucu ile batarya yüzeyi arasındaki teması bağı olarak sınıflandırılabilir [58]. Batarya ısıl yönetim sistemi çeşitleri Şekil 3.4'te sunulmuştur. Tablo 3.1'de de bu sistemlerin karşılaştırılması verilmiştir.

- Hava soğutmalı BIYS: Hava ile bataryaların soğutulmasına uygun doğal bir yöntemdir. Bu yöntemde doğal ve zorlanmış taşınım olmak üzere ikiye ayrılır. Sistemin basit, düşük maliyetli, hafif, bakımı kolay, kaçak sorunu olmaması gibi avantajları bulunmaktadır. Ancak yüksek çalışma sıcaklığı koşulları ve geniş batarya gruplarının soğutulmasında performansı düşüktür. İlave fan, blower ve hava kanalları gerektirebilir [59]. Sistemin resmi Şekil 3.5'te aşağıda verilmiştir [60].

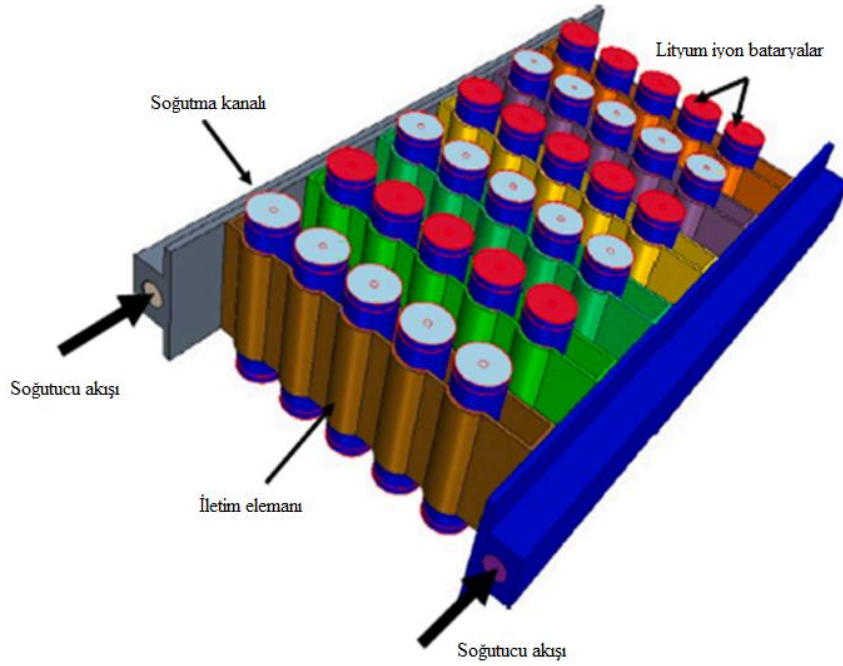


Şekil 3.4. Batarya ısı yönetim sistemleri kategorileri [45]



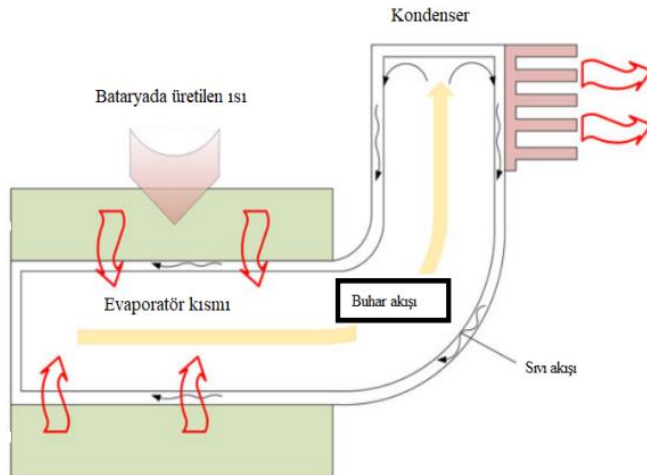
Şekil 3.5. Hava soğutmalı BIYS [60]

- Sıvı soğutmalı BIYS: Sıvı soğutma ile daha iyi soğutma ve ısı performans elde edilmektedir. Batarya soğutmada ticari olarak en çok kullanılan yöntemdir. Örneğin TESLA S modeli serpantin kanallı sıvı soğutmalı bir sisteme sahiptir. Soğutucu sıvı ve batarya yüzeyi arasında doğrudan ya da dolaylı temasa göre olmak üzere kullanımı ikiye ayrılmaktadır. Su, deiyonize su, etilen glikol ve su karışımı, sıvı metal veya nano akışkan gibi değişik ısı transfer sıvıları kullanılmaktadır [61]. Şekil 3.6'da sıvı soğutmalı BIYS gösterilmiştir [62].



Şekil 3.6. Sıvı soğutmalı BIYS [62]

- Isı borulu BSYS: Isı borusunun batarya paketlerinin sıcaklık kontrolünde kullanımı son yıllarda artmaktadır. Buharlaştırma ve yoğunlaşma kısımlarından oluşur. Batarya ile yayılan ısı buharlaştırılıp atmosfere atılır ve sıvı yoğunlaştırıcıya gönderilir ve soğuma gerçekleşir. Yüksek ısıl iletkenlik, esneklik, güvenilirlik, düşük maliyeli olma gibi avantajlı özellikleri bulunmaktadır [63]. Isı borulu BIYS prensip resmi Şekil 3.7’de verilmiştir [64]



Şekil 3.7. Isı borulu BIYS [64]

- Faz değıştiren malzemeler (FDM'ler) ile BIYS: FDM'in sahip olduğu görece yüksek erime/kristalleşme gizli ısılarına bağlı kalarak Liyum-iyon bataryaların çalışması esnasında meydana gelen ısıнын kontrol altında tutulmasını sağlayarak hücreler arası izin verilen en yüksek sıcaklık ve bataryalar arası en yüksek sıcaklık farkının pasif olarak korunmasını sağlamaktadır. [65]. şekil 3.8'de saf parafin ve bakır köpüklü parafin şekli batarya yerleşimi için gösterilmiştir [66]



şekil 3.8. Faz değıştiren malzeme ile BIYS [66]

Batarya ısıl yönetim çeşitlerinin karşılaştırılması Tablo 3.1'de gösterilmiştir [67].

Tablo 3.1 Batarya ısıl yönetim sistemlerinin karşılaştırması [67]

	Hava	Sıvı	Isı borusu	FDM
Kullanım kolaylığı	kolay	zor	orta	kolay
Entegrasyon	kolay	zor	orta	kolay
Verim	düşük	yüksek	yüksek	yüksek
Sıcaklık düşümü	küçük	geniş	geniş	geniş
Sıcaklık dağılımı	düzgün değil	düzgün	orta	düzgün
Bakım	kolay	zor	orta	kolay
Ömür	>20 yıl	3–5 yıl	>20 yıl	>20 yıl
Başlangıç maliyeti	düşük	yüksek	yüksek	orta
Yıllık maliyet	düşük	yüksek	orta	düşük



4. FAZ DEĞİŞTİREN MALZEME İLE BATARYA ISIL YÖNETİMİ

Batarya ısııl yönetimi için kullanılacak FDM'ler şu özelliklere sahip olmalıdır:

- Faz geçiş sıcaklıkları istenen çalışma aralığı içinde olmalı
- Yüksek gizli ısı, yüksek özgül ısıya yüksek ısıl iletkenliğe sahip olmalıdır
- Faz değişiminde küçük hacim değişiklikleri göstermelidir
- Aşırı soğuma davranışı göstermemelidir
- Alev alıcı, patlayıcı ve zehirli olmamalıdır
- Bol bulunabilmeli ve düşük maliyete sahip olmalıdır [66].

Tablo 4.1 'de bazı FDM'lerin özellikleri görülebilmektedir [67].

Tablo 4.1. Bazı FDM özellikleri [67]

FDM	Erime sıcaklığı (°C)	Gizli ısı (kJ/kg)	Isıl iletkenlik (W/mk)
Parafin	32	251	0,514-0,224
Kaprik asit	32	152,7	0,153
PEG900	34	150,5	0,188
Lauric asit	43,5-48,2	187,21	0,14-0,16
Lauric palmitik	35,2	166,3	
Eicosane	36,65	147	0,31
Stearic asit	41,43	211,6	1,6
Docosane	42	249	0,26
Polietilen glikol	48,6	168,5	0,253
Eritrol	116,2-119,5	385,3	0,77

Tablo 4.2. Bazı organik FDM özellikleri [68]

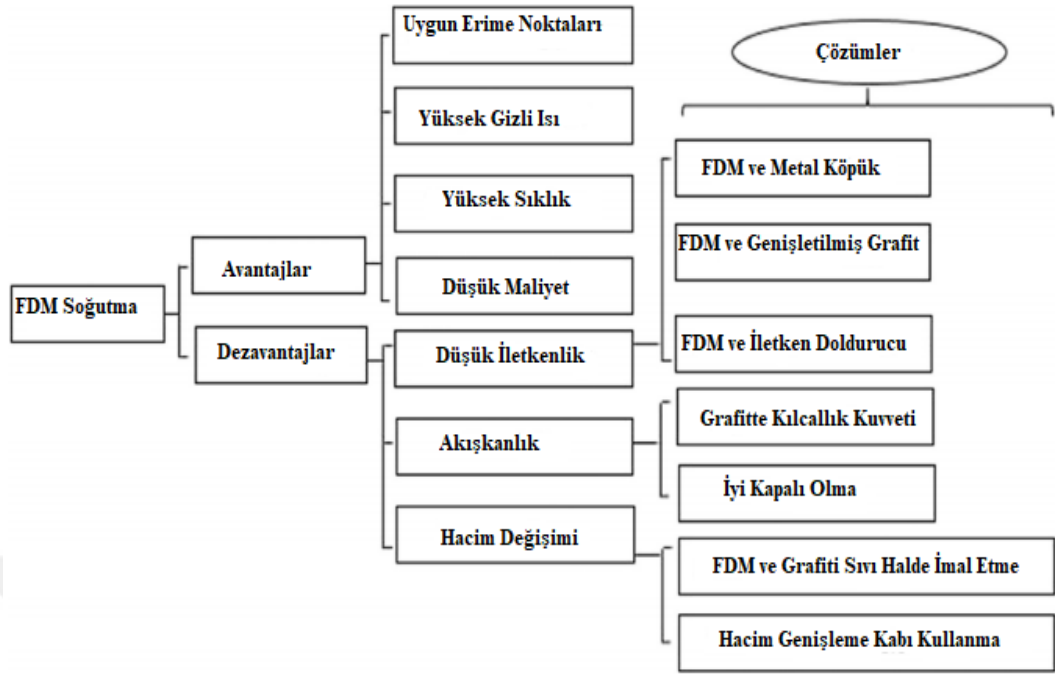
Malzeme	Erime noktası (°C)	Gizli ısı (kJ/kg)
Asetik asit	16,7	184
Polietilen glikol 600	20-25	146
Kaprik asit	36	152
Laurik asit	47	218
Stearin	56	191
Miristik asit	58	199
Palmatik asit	55	163
Stearik asit	69,4	199
Asetamid	81	241
Metil fumarat	102	242

Tablo 4.2 ‘de bazı organik FDM malzemelerin özellikleri verilmiştir [68]. FDM ile soğutmanın avantaj, dezavantaj ve olası zayıf yönlerine yönelik çözüm önerileri (Şekil 4.1)’de sunulmuştur [69]. Li-iyon bataryalarda FDM kullanmanın bazı dezavantajları olabilmektedir [70]. Düşük ısıl iletkenlik, ısınma esnasında akışkanlık ve hacim değişimi gibi sorunlar aşağıda belirtilen ilave malzemelerle çözülebilmektedir.

- Düşük ısıl iletkenlik: FDM+Metal köpük, FDM+EG (genişletilmiş grafit) matris, FDM+iletken matris ile
- Akışkanlık: EG’deki kılcallık kuvveti ile
- Hacim değişimi: FDM/EG’yi sıvı halde üretme ve hacim genişleme haznesi kullanma ile

FDM’lerde düşük ısıl iletkenliği arttırmanın yolları ise aşağıdaki gibidir [70]:

- Karbon lifler, grafen, nanoparçacıklar ve karbon nanotüpler gibi ısıl olarak iletken maddelerin dolgu olarak kullanılması.
- FDM’yi gözenekli ortama (poliüretan köpük, metal köpük, genişletilmiş grafit matris (EG) içerisine gömme
- Metal ağ ekleme, grafit levha ve kanat kullanımı



Şekil 4.1. FDM ile soğutmanın avantaj ve dezavantajları [69]

Batarya ısııl yönetiminde kullanılacak FDM'nin karakterizasyon testlerinin yapılması gereklidir ve bunun için aşağıdaki yöntemler kullanılmaktadır [71].

- Kimyasal Karakterizasyon: Kimyasal yapının tayin edilmesi için FTIR (Fourier dönüşümlü kızılötesi spektrometre) analizi
- Mikroyapı ve şekil karakterizasyonu için SEM (Taramalı electron mikroskobu) analizi
- Isıl özelliklerinin belirlenmesi için DSC (Diferansiyel taramalı kalorimetre) analiz
- Isıl kararlılığın tayin edilmesi için TGA (Termografik analiz cihazı) analizi
- Isıl iletkenlik ölçümü
- Mekanik özelliklerin belirlenmesi
- Kristal yapı karakterizasyonu için XRD analizi
- Sızdırma ve kaçak testi

4.1. Faz Değiştiren Malzemelerin Etkilendiği Faktörler

- Kalınlık etkisi: Araştırmacılar Lityum iyon bataryaların ısıl yönetiminde bazı faz değiştiren malzemeler için uygulama kalınlığının etkisini değişik şarj-deşarj oranlarında test etmişlerdir. Uygulanan FDM'nin çok ince veya çok kalın olmasının önemli bir etki oluşturmadığı, 3-10 mm arasındaki kalınlığın yeterli olduğu sonucunu ortaya çıkarmışlardır [72, 73, 74, 75].
- Kanatçık etkisi: FDM içinde farklı şekilde kanatçık kullanımıyla yüzey alanı artırılarak batarya sıcaklığının düşmesinde olumlu etki meydana geldiği araştırmacılar tarafından ortaya konulmuştur. Silindirik, dikdörtgen, yassı, dal yapı gibi farklı şekillerin % 20'ye kadar sıcaklık düşüşü sağladığı görölmüştür [76, 77, 78].

4.2. Faz Değiştiren Malzemenin Farklı Malzemelerle Birlikte Kullanımı

Kompozit Malzeme: Faz değiştiren malzemeler değişik oranlarda farklı malzemeler ile katkılanarak kompozit malzemeler oluşturulabilmekte ve batarya ısıl yönetim için olumlu sonuçlar alınabilmektedir. Ağırlıklı parafin (PA) yüksek gizli ısı, genişletilmiş grafit (EG) ısıl iletkenliği artırma özellikleri olmak üzere kullanılmaktadır. Bunlara ek olarak olefin blok kopolimer (OBC) destekleyici yapı, nanosilika (NS) kaçak engelleme özeliği gibi malzemeler katkılanmaktadır. Bataryaların en yüksek sıcaklık değeri %50, bataryalar arası sıcaklık farkında %75'e yakın düşüşler elde edilebilmektedir [79, 80].

Grafit ve Grafen kullanımı: FDM'ye karbon içeren grafit matris, grafen kaplı malzeme, nanotüp-grafen, grafit film gibi malzemelerin ilave edilmesi lityum iyon batarya batarya ısıl yönetiminde % 15-25 °C sıcaklık düşüşü sağladığı çalışmalarında gösterilmiştir [81, 82, 83].

Metal Köpük ve Ağ kullanımı: FDM'ye nikel köpük, alüminyum köpük, bakır köpük, bakır ve alüminyum ağ eklenmesiyle malzemenin ısıl iletkenliği, dayanımı artmaktadır. Yaklaşık değişik lityum iyon batarya şarj-deşarj oranlarında ve ortam sıcaklıklarında % 50'ye kadar farklı sıcaklık düşüşleri elde edilebilmiştir [84, 85]. Huang ve diğ. [86] SBS, PA, AIN (aluminium nitrat) kompozit malzeme hazırlamıştır. Farklı kütlelerde, faz değişim entalpilerinde, ısıl iletkenliklerde AIN'ler test edilmiştir. Sonuçlara göre batarya soğutması için % 15 AIN kütleli kompozitin

iyi ısı performans sağladığını göstermiştir. XRD, SEM ve gerilme ölçüm makinasıyla yapı ve morfolojik özellikler karakterize edilmiştir. Kompozitin fiziksel ve kimyasal uyumlulukta olduğu ortaya çıkmıştır. Kompozit batarya ısı temas direncini ve ısı kontrol performansını artırmıştır. 1C deşarj oranında dokuz çevrimden sonra bile en yüksek sıcaklık 40,5 °C ve bataryalar arası sıcaklık 7,6 °C olmuştur.





5. KOMPOZİT FDM SENTEZLENMESİNE İLİŞKİN DENEYSEL ÇALIŞMA

5.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Maddeler

Kompozit FDM'lerin üretilmesinde kaprik asit (CA) (yağ asidi, %98 Sigma), $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ içeren kil-kaolinit (Sigma Aldrich) (KAO) ve etanol kullanılmıştır. Kullanılan maddeler sentez sürecinde herhangi bir ön saflaştırma veya hazırlık süreci olmadan satın alındığı şekliyle doğrudan kullanılmıştır.

5.2. Sentezde Kullanılan Cihazlar

FDM'lerin sentezlenmesi sırasında mekanik karıştırıcı (HS-100D WiseStir, Daihan Scientific), ısıtıcılı manyetik karıştırıcı (MSH-20D, Daihan Scientific) ve ısıtmalı sirülatörlü su banyosu (Daihan Scientific) kullanılmıştır. Elde edilen kompozit FDM'lerin kurutma işlemlerinde ise Thermomac marka vakumlu etüv kullanılmıştır.

5.3. Faz Değiştiren Maddelerin Karakterizasyonu

Sentezlenen kompozit FDM'nin ısı, kimyasal ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesine ilişkin gerçekleştirilen karakterizasyon çalışmalarında uygulanan analizler aşağıda açıklanmıştır.

5.3.1. Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) analizi

Kompozit FDM'lerin erime-kristallenme gizli ısıları ve sıcaklıkları gibi ısı-fiziksel özellikleri Yalova Üniversitesi Merkez Araştırma Laboratuvarında bulunan (Seiko, DSC 7020 diferansiyel taramalı kalorimetre cihazı ile tespit edilmiştir. Analizler $10^\circ\text{C}/\text{dk}$ ısıtma hızında -10°C ile 80°C sıcaklık aralığında ve azot atmosferi altında gerçekleştirilmiştir.

5.3.2. Termogravimetri (TG) analizi

Kompozit FDM'lerin termogravimetri analizi Yalova Üniversitesi Merkez Araştırma Laboratuvarında bulunan TGA cihazı (Seiko TG/DTA 6300 EXSTAR) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kompozit FDM'lerin azot atmosferi altında $10^\circ\text{C}/\text{dak}$ ısıtma hızında sıcaklığa bağlı kütledeki değişim incelenmiştir. Bunun için, numune belirli bir sıcaklık aralığında ısıtılarak kütledeki değişim sıcaklığın fonksiyonu olarak elde edilmiştir.

5.3.3. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopi (FT-IR) analizi

Hazırlanan kompozit FDM'lere ait kimyasal yapı 400-4000 cm^{-1} dalga boyu aralığında oda sıcaklığında Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopi (Bruker ALPHA FT-IR) cihazı kullanılarak aydınlatılmıştır.

5.3.4. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi

Hazırlanan kompozit FDM'lere ait morfolojik özellikler Kastamonu Üniversitesi Merkez Araştırma Laboratuvarında bulunan taramalı elektron mikroskobu (FEI Quanta FEG 250) cihazı kullanılarak elde edilmiştir.

5.4. Kompozit Faz Değiştiren Maddelerin Sentezlenmesi

Şekilce kararlı kompozit FDM'lerin hazırlanması için tek adımda impregnasyon yöntemi kullanılmıştır. Tablo 5.1'de sentezlenen kompozit FDM'lere ait bilgiler sunulmuştur.

Tablo 5.1. Kompozit FDMlerin hazırlanma reçetesi

Numune Adı	CA	KAO
CK10	%10	%90
CK20	%20	%80
CK30	%30	%70
CK40	%40	%60
CK45	%45	%55
CK50	%50	%50

Bu yöntemde destek yapısı olarak kullanılan kaolinit ve faz değiştiren malzeme olarak kullanılan kaprik asit fiziksel etkileşimler neticesinde gözenekli yapıdaki kaolinit içerisine hapsedilmiştir. Bu amaçla, belirli miktardaki kaprik asit bir beher içerisine alınmış ve belirli miktarda etil alkol ile 40 °C sıcaklığa ayarlanmış ısıtıcı manyetik karıştırıcı vasıtasıyla 400 rpm'de 30 dakika süreyle karıştırılmıştır. Bu sırada hassas terazi yardımıyla belirli miktardaki saf kaolinit tartılarak bir erlenmayer içerisine konulmuştur. Daha sonra beher içinde bulunan karışım erlenmayerde

bulunan kaolinit üzerine dökülmüş ve belirli süre karıştırılmıştır. Sonrasında ultrasonik banyoya konulan karışım burada 30 dakika boyunca ultra ses dalgalarıyla ikinci bir karıştırmaya tabi tutulmuştur. Bu işlemin akabinde, 40 °C’de sabit sıcaklıkta hazır tutulan su banyosu içerisine batırılan erlenmayer içindeki karışım bir mekanik karıştırıcı kullanılarak 350 rpm’de 24 saat süreyle karıştırılmıştır. Karıştırma süreci sonunda vakum etüvüne alınan karışım tam bir kuruluk sağlanıncaya burada vakum atmosferi altında kurutulmuştur. Nihayetinde elde edilen karışım tartılmış ve muhteviyatına göre isimlendirilerek elde edilen katı haldeki kompozit FDM’ler şişelenmiş ve sentez süreci tamamlanmıştır.





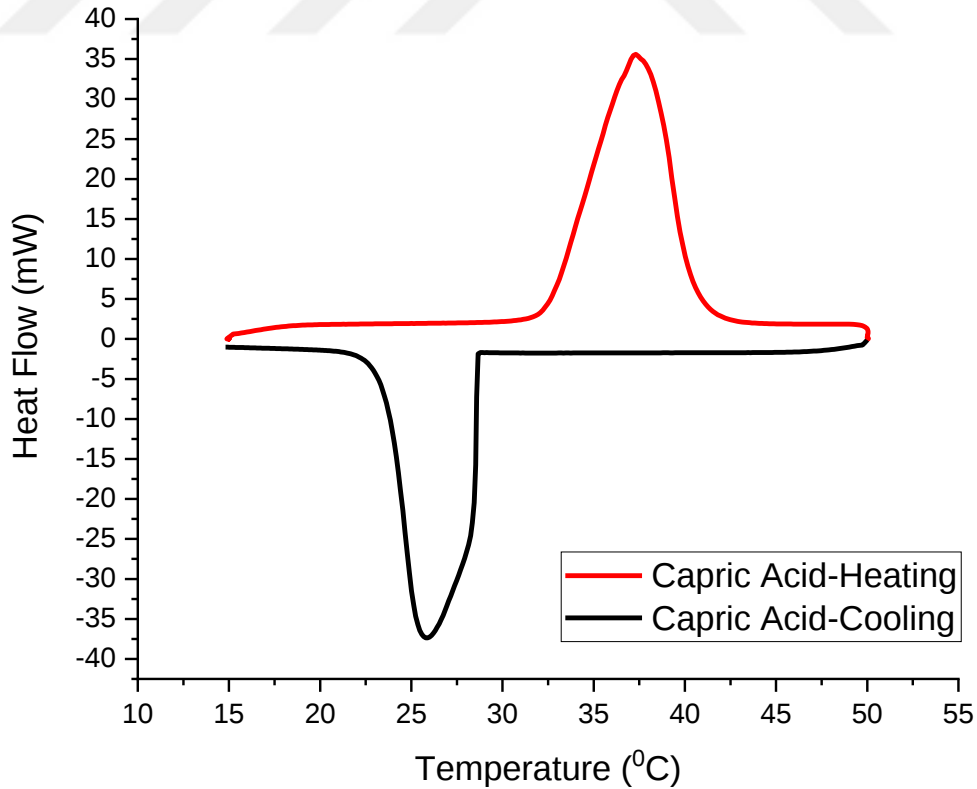
6. KOMPOZİT FDM SENTEZİNE AİT BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, Lityum iyon bataryaların ısıl yönetimine yönelik olarak kaprik asit / kaolinit kompozit FDM'lerin tasarlanmış ve üretilmiştir. Bu amaca yönelik olarak uygulanan çalışmanın sonucunda elde edilen bulgular aşağıda adım adım açıklanmıştır. Öncelikle, çalışmada kullanılan kaprik asitin DSC analizi ile belirlenen özellikleri Tablo 6.1'de ve elde edilen ısınma soğuma eğrileri Şekil 6.1'de gösterilmiştir.

Tablo 6.1. Kaprik asitin DSC analizi ile belirlenen özellikleri

T_{ie} (°C)	T_{pe} (°C)	T_{se} (°C)	ΔH_e (kJ/kg)	T_{ik} (°C)	T_{pk} (°C)	T_{sk} (°C)	ΔH_k (kJ/kg)
32,5	37,3	46,0	133,232	28,7	25,9	19,0	-135,9

Tablo 6.1 ve Şekil 6.1'e göre kaprik asitin sahip olduğu gizli ısı depolama kapasitesi ve 19 °C – 46 °C erime faz geçiş sıcaklık aralığı ile Lityum iyon bataryaların ısıl yönetimi için uygun bir FDM olduğu DSC analizi ile belirlenmiştir.



Şekil 6.1. Kaprik asitin DSC analizi ile elde edilen ısınma-soğuma eğrileri

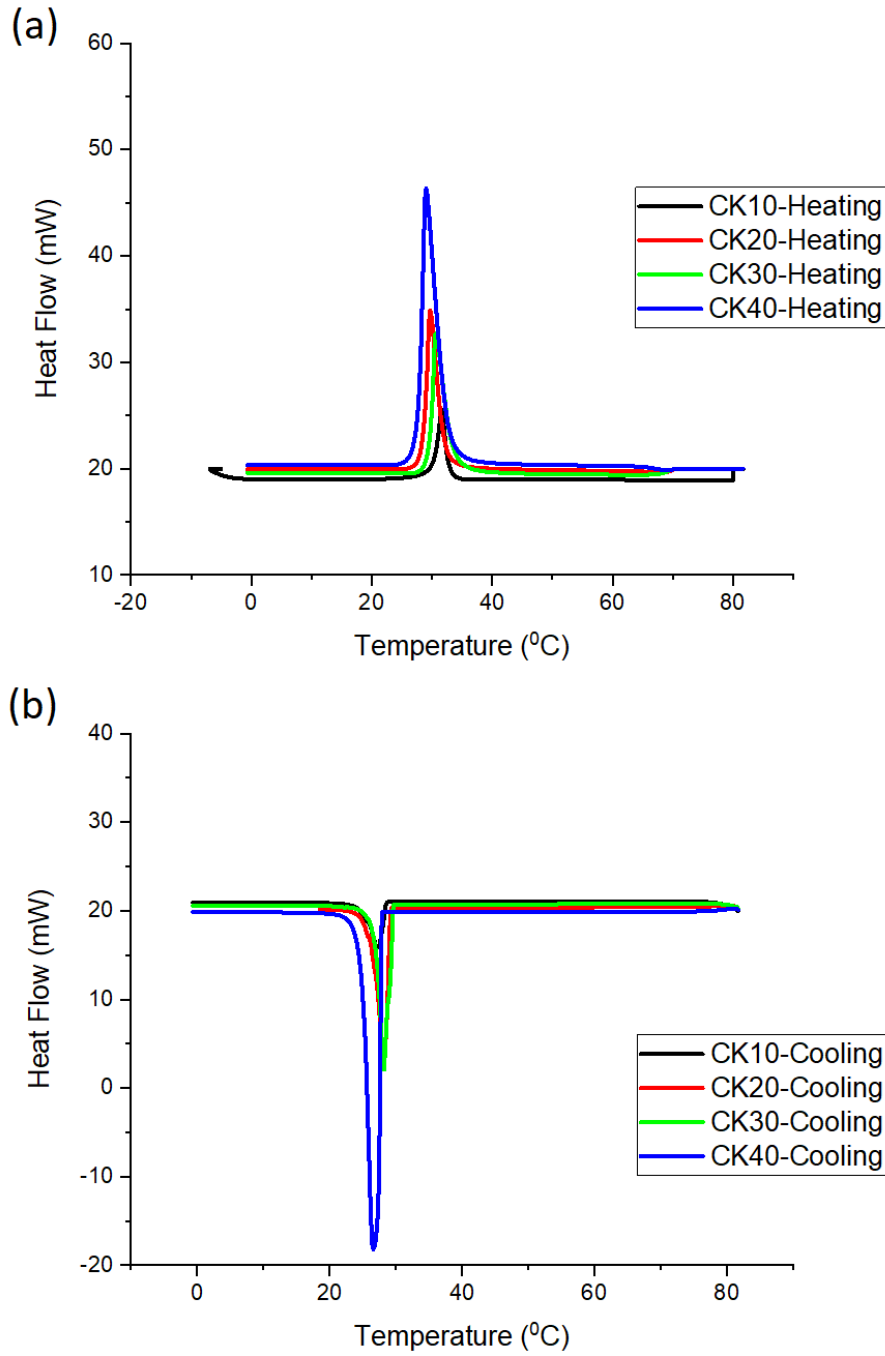
6.1 Kompozit FDM'lerin Karakterizasyonu

Farklı kaprik asit oranlarında hazırlanmış kaprik asit/kaolinit kompozit FDM'lere ait DSC analizi ile elde edilen ısı özellikler ve ısınma-soğuma eğrileri sırasıyla, Tablo 6.2 ve Şekil 6.2'de gösterilmiştir. Tablo 6.2'deki sunulan özellikler incelendiğinde erime gizli ısılarının azalan sırada $CK40 > CK30 > CK20 > CK10$ şeklinde olduğu belirlenmiştir.

Tablo 6.2. Elde edilen kompozit FDMlerin DSC analizi ile belirlenen özellikleri

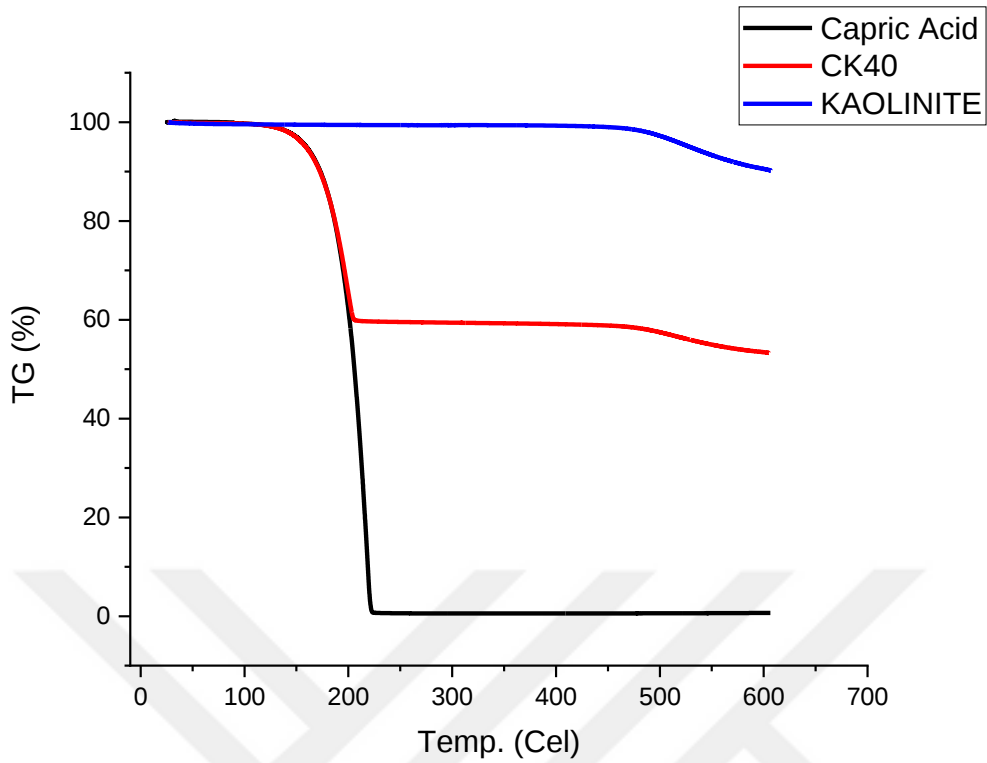
Malzeme Adı	T_{ie} (°C)	T_{pe} (°C)	T_{se} (°C)	ΔH_e (kJ/kg)	T_{ik} (°C)	T_{pk} (°C)	T_{sk} (°C)	ΔH_k (kJ/kg)
CK10	30,22	31,60	33,01	12,8625	28,48	27,32	25,34	-13,1724
CK20	30,97	33,06	34,42	37,3178	29,23	28,40	26,26	-37,4732
CK30	29,63	32,11	33,46	42,4435	29,60	28,45	26,69	-43,8783
CK40	30,44	33,47	35,43	73,0678	27,82	27,39	25,03	-73,9394
CK45	İmpregnasyon işlemi sonrasında sızıntı meydana gelmiştir.							
CK50								

Ayrıca, sentez sonrasında gerçekleştirilen gözlemlere dayanarak sızıntı olmaksızın yine en yüksek impregasyon miktarına CK40 kompozit FDM'sinde ulaşıldığı, daha yüksek kaprik asit miktarları içeren CK45 ve CK50 kompozitlerinde ise sızıntı meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu sebeplerle, Lityum iyon bataryaların ısıl yönetimine yönelik olarak CK40 kompozit FDM'sinin yüksek ısıl enerji depolama kapasitesi nedeniyle batarya uygulama testleri için daha uygun olduğu belirlenmiş ve ileri karakterizasyonlar bu örnek için gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.2. Farklı kaprik asit oranlarında hazırlanmış kaprik asit/kaolinit kompozit FDM'lerinin (CK10, CK20, CK30 ve CK40) DSC analizi ile elde edilen ısınma-soğuma eğrileri

Batarya uygulama testlerinde kullanılacak CK40 kompozit FDM'nin, kaolinitin ve kaprik asitin kararlılığı termogravimetrik analiz (TGA) ile araştırılmış ve malzemelere ait ısıl bozunma eğrileri Şekil 6.3'te gösterilmiştir. Bununla birlikte, TGA ile elde edilen ısıl bozunmaya ait sonuçlar Tablo 6.3'te verilmiştir.

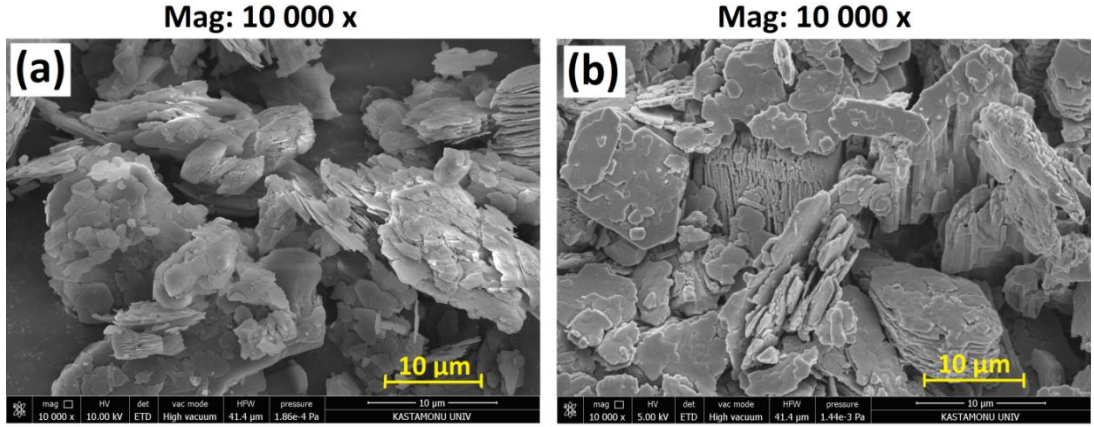


Şekil 6.3. Kompozit FDM (CK40), kaprik asit ve kaolinit malzemelerinin termogravimetrik analiz (TGA) ile elde edilen ısıl bozunma eğrileri

Tablo 6.3. Kaprik asit, Kaolinit ve CK40 kompozit FDM'si için TGA ile elde edilen ısıl bozunmaya ait sonuçlar

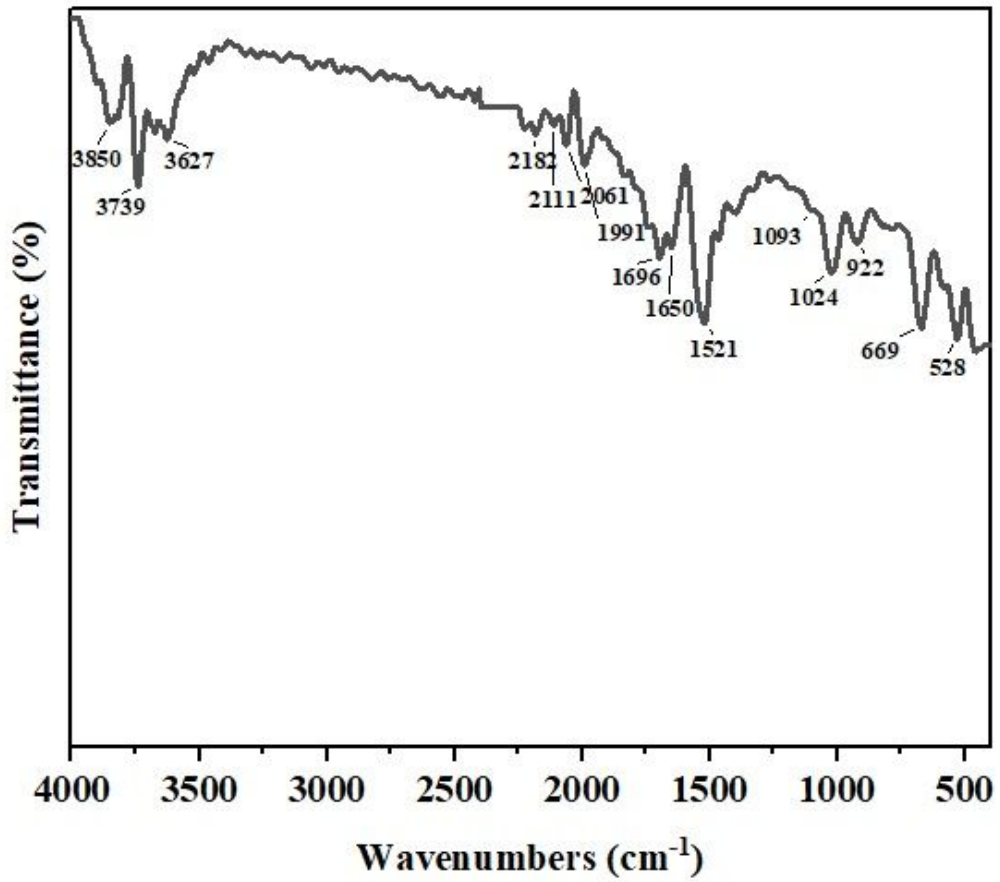
Numune Adı	T _{d5} (°C)	T _{d10} (°C)	T _{d50} (°C)	Kül (%) (600°C)	Maks. Pik 1		Maks. Pik 2	
					Sıcaklık (°C)	Hız (%/dk)	Sıcaklık (°C)	Hız (%/dk)
Kaprik Asit	159,6	173,2	205,8	0,7	219,1	36,15	-	-
Kaolinit	528,5	606,4	-	90,54	525,7	0,84	-	-
CK40	158,9	172,6	-	53,4	200,2	13,30	516,0	0,55

CK40 kompozit FDM'nin ve saf kaolinitin morfolojik özellikleri gerçekleştirilen Taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi ile aydınlatılmıştır. Şekil 6.4 (a)'da saf kaolinitin ve Şekil 6.4 (b)'de CK40 kompozit FDM'sinin yüksek magnifikasyondaki SEM görüntüleri yer almaktadır. Şekil 6.4'ten görüldüğü üzere saf kaolinitin tabakalar şeklindeki yapısı impregnasyon işlemi neticesinde değişime uğramış ve gözeneklere ve tabakalar arasına kaprik asitin yerleşmesiyle birlikte farklılaşmıştır.

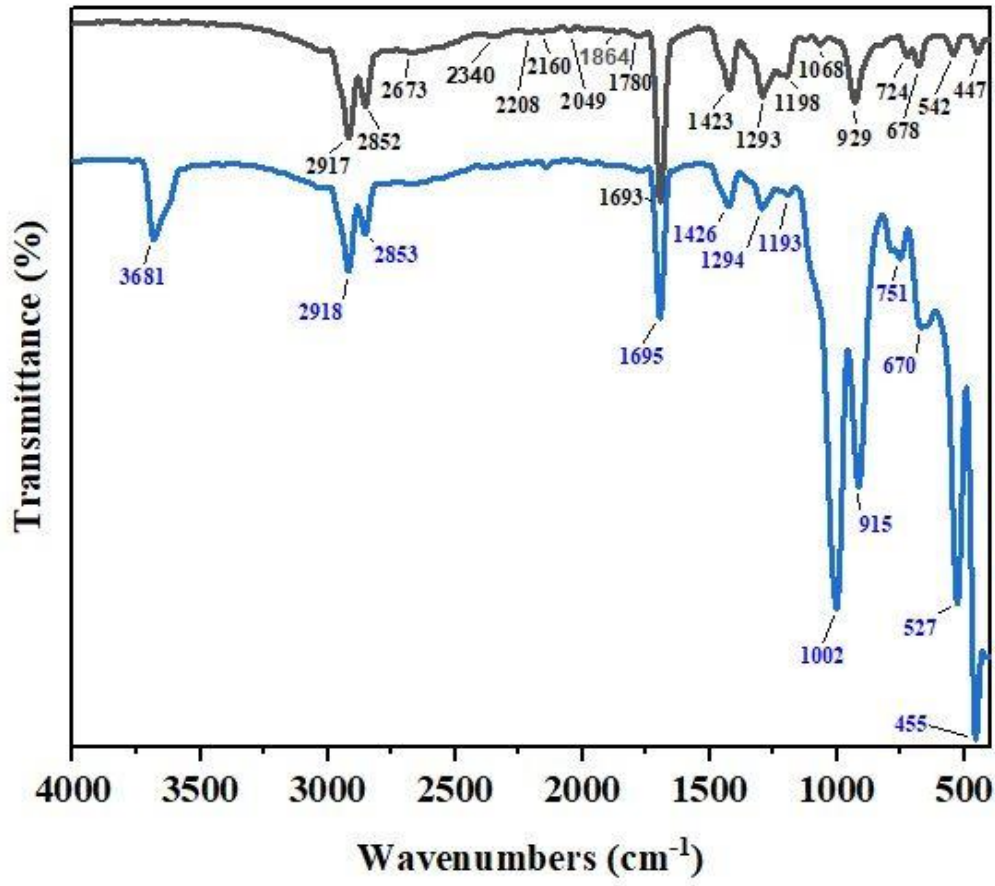


Şekil 6.4. (a) Saf kaolinit ve (b) CK40 kompozit FDMsinin Sem Görüntüleri

Malzemelerin kimyasal özelliklerinin karakterizasyonu için FT-IR analizi gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.5’de Saf kaolinite ait FT-IR spektrumu gösterilmektedir. Şekil 6.6’de saf FDM olarak kaprik asit ve CK40 kompozit FDM’sine ait FT-IR spektrumları bulunmaktadır.



Şekil 6.5. Saf kaolinit FT-IR spektrumu



Şekil 6.6. (a) CA ve (b) CK40 FT-IR spektrumları

Gerçekleştirilen FT-IR analizleri incelendiğinde, kaolinite ait spektrumda 3850, 3739 ve 3627 cm^{-1} 'de yüzeydeki O-H gruplarına ait karakteristik gerilme titreşimleri görülmektedir. 1093, 1024 ve 922 cm^{-1} 'de bulunan gerilme ve bükülme titreşimleri ise kaolinit kilinin yapısında bulunan Si-O ve Al-OH gruplarına ait karakteristik titreşimlerdir.

Kaprik asit ve kaprik asidin kaolinit içerisine impregnasyonu neticesinde elde edilen CK40 kompozit FDM'nin spektrumları incelendiğinde, yağ asidinin C=O (karbonil) gruplarına ait karakteristik titreşimler kaprik asite ait spektrumda 1693 cm^{-1} 'de, CK40 kompozitine ait spektrumda ise 1695 cm^{-1} 'de bulunmaktadır. Ayrıca, 1002 ve 915 cm^{-1} 'de kaolinitin yapısında olan Si-O ve Al-OH gruplarına ait karakteristik pikler vardır. Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'da sunulan FT-IR analizi sonuçları birlikte değerlendirildiğinde kaprik asitin destek yapısı olan kaolinit içerisine yüklendiği ve CK40 kompozit FDM'nin başarıyla elde edildiği kanıtlanmıştır.

7. KOMPOZİT FDM İLE BATARYA ISIL YÖNETİM UYGULAMASI

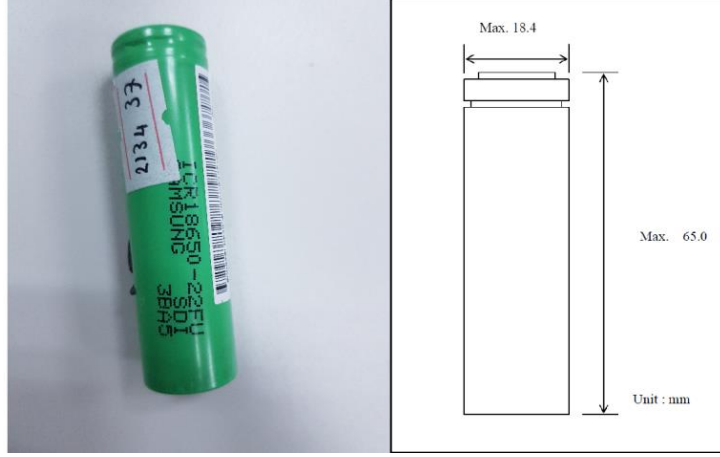
Lityum iyon bataryanın ısıl yönetiminin test edilmesi için kullanılan deney seti Şekil 7.1’de gösterilmiştir. Lityum iyon batarya uygulama testlerinde amaç üretilmiş FDM’nin değişik deşarj oranlarında yani akımlarda batarya ısıl yönetimine etkisini araştırmaktır. Bu amaçla, sentezlenen kompozit FDM’lerden CK40 olarak adlandırılan kompozit FDM, yüksek gizli ısı depolama kapasitesi, uygun faz geçiş sıcaklığı ve ısıl çevrim sırasında sızıntı olmaması nedeniyle tercih edilmiş ve batarya ısıl yönetimi testleri bu kompozit FDM ile gerçekleştirilmiştir. Üretilen kompozit FDM (CK40) ve deneyde kullanılan Lityum iyon batarya (Samsung ICR18650-22FU) sırasıyla Şekil 7.2 ve Şekil 7.3’de gösterilmiştir.



Şekil 7.1. Lityum iyon bataryanın şarj-deşarj uygulamaları deney seti

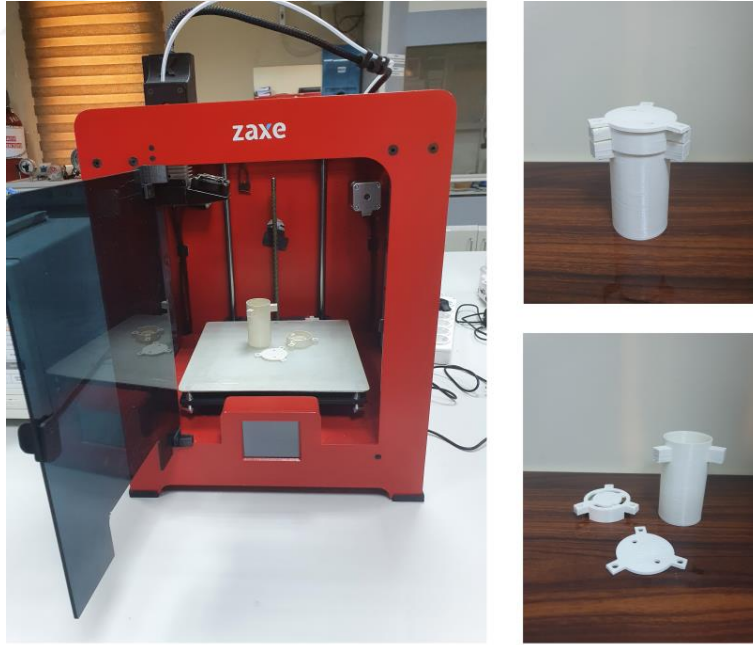


Şekil 7.2. Kompozit FDM CK40 (a) kurutma esnasında (b) kurutma ve öğütme sonrası



Şekil 7.3. Lityum iyon batarya (Samsung ICR18650-22FU)

Batarya ısıl yönetiminin gerçekleştirilebilmesi için bataryanın ve elde edilen kompozit FDM'nin içine yerleştirilmesi amacıyla silindirik geometriye sahip bir batarya kabı tasarlanmıştır. Bunun için uygun şekil ve ölçülerde modellenen batarya kabı Yalova Üniversitesi Enerji Verimliliği ve Enerji Depolama Teknolojileri Ar-Ge Laboratuvarı'nda bulunan Zaxe marka 3 boyutlu yazıcı vasıtasıyla üretilmiştir (Şekil 7.4).

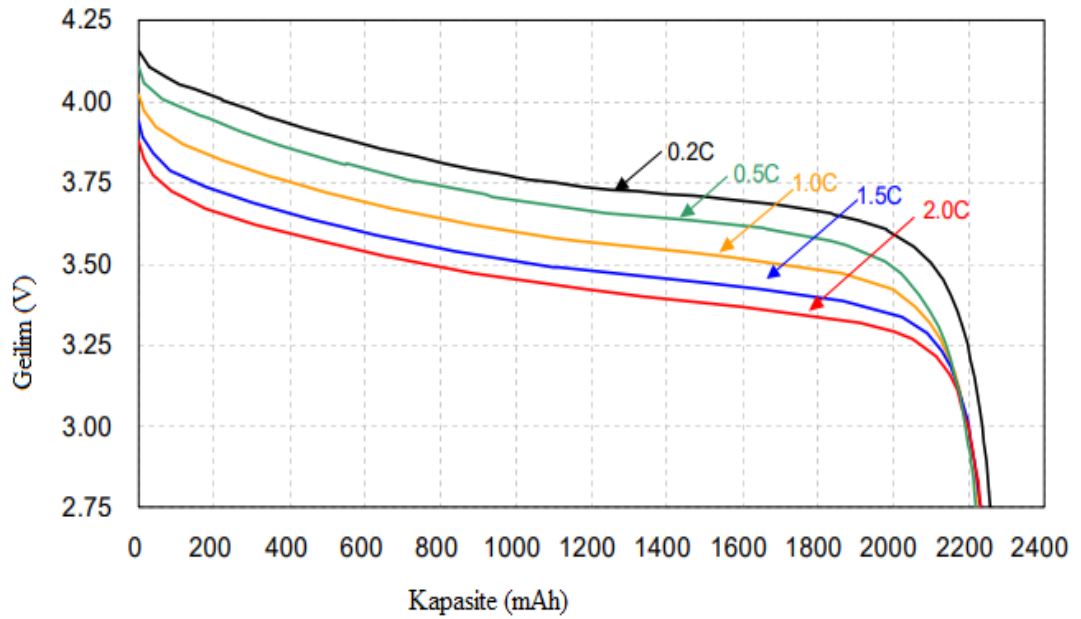


Şekil 7.4. 3D yazıcı ve üretilen batarya kabı

Batarya ısıl yönetimi deneylerinde kullanılan Samsung ICR18650-22FU (yeşil) bataryanın özellikleri Tablo 7.1'de ve imalatçı tarafından sağlanan deşarj karakteristik eğrileri Şekil 7.5'te gösterilmiştir.

Tablo 7.1. Deneylerde kullanılan Lityum iyon bataryanın özellikleri

Özellik	Açıklama
Marka	Samsung
Tip	ICR18650-22FU
Anma kapasitesi	2200 mAh
Şarj gerilimi	4,2 V
Anma gerilimi	3,6 V
Max şarj akımı	2,2 A
Maxdeşarj akımı	4,4 A
Deşarj kesme gerilimi	2,75 V
Çap	18 mm
Yükseklik	65 mm
Ağırlık	44,5 g



Şekil 7.5. Kullanılan bataryanın imalatçı tarafından sağlanandeşarj karakteristik grafiğı

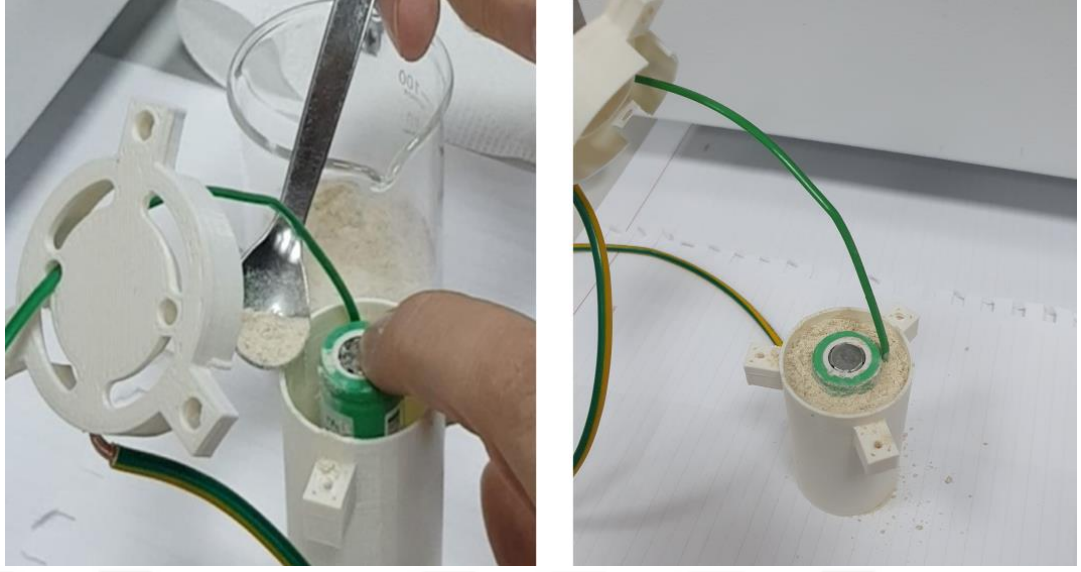
Bataryadeşarj testleri Rigol DC yük cihazıyla gerçekleştirilmiştir. Şarj testleri Liproşarj cihazı ve güç kaynağı ile gerçekleştirilmiştir. Şarj testleri 1C,deşarj testleri 0,5C/1C/1,5C/2C/2,5C/3C değerlerinde yapılmıştır. Şarj vedeşarj testlerine ait kullanılan akımların listesi Tablo 7.2’de sunulmuştur.

Tablo 7.2. Batarya ısııl yönetimi deneylerinde uygulanan deşarj ve şarj değerleri

Deşarj değeri	Akım
0,5 C	1,1 A
1 C	2,2 A
1,5 C	3,3 A
2 C	4,4 A
2,5 C	5,5 A
3 C	6,6 A

7.1 Kompozit FDM ile Batarya Isıl Yönetim Testleri

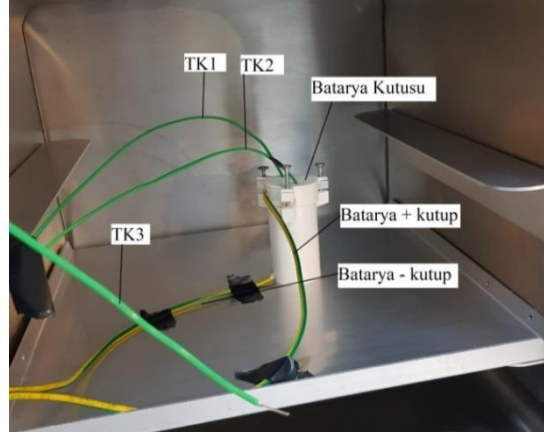
Lityum iyon batarya 3D yazıcı vasıtasıyla üretilen batarya kabı içerisine yerleştirilmiş ve sonrasında sentezlenen CK40 kompozit FDM'si Şekil 7.6'da gösterildiği gibi batarya kabına doldurulmuştur. Batarya kabına konulan kompozit FDM miktarı hassas terazi kullanılarak 34,3605 g olarak ölçülmüştür. Deneylerde bataryanın bulunduğu ortamın sıcaklığının sabit kalmasını sağlamak amacıyla 25°C'ye ayarlanmış bir etüv kullanılmıştır. Bataryanın Şekil 7.7'de etüv içindeki deney ortamı görülmektedir. Ortam sıcaklığı termokupl (TK3) vasıtasıyla ölçülerek izlenmiştir. Batarya yüzey sıcaklığı ve batarya çevresindeki FDM sıcaklığı 2 adet termokupl (TK1 ve TK2) vasıtasıyla ölçülerek veri kayıt cihazıyla kaydedilmiştir. Bataryaya ait pozitif (+) ve negatif (-) uç kablo bağlantıları da aynı şekilde Şekil 7.7'de gösterilmiştir. Bu bağlantılar testler esnasında şarj ve deşarj durumuna göre cihaz taraflarındaki uçlar değiştirilerek kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan cihaz ve ekipmanlar Yalova Üniversitesi Enerji Verimliliği ve Enerji Depolama Teknolojileri Ar-Ge Laboratuvarına aittir ve ekipman listesi Tablo 7.3'de verilmiştir. Batarya testinde, ilk olarak FDM bulunmayan durumda testler yapılmıştır. Bunun için, batarya 3D yazıcı ile imal edilen silindirik batarya kabı içine konularak şarj / deşarj testleri gerçekleştirilmiş ve veriler kayıt altına alınmıştır. Sonrasında ise, silindirik batarya kabı içine, kompozit FDM konularak testler benzer koşullar altında tekrar edilmiş ve batarya ısııl yönetiminde kompozit FDM kullanımının etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, şarj testleri CC+CV yani ilk önce sabit akım (CC) sonra sabit gerilim (CV) uygulamasıyla yapılmıştır. Batarya deşarj testleri CC yani sabit akımda, kesme (cut-off) gerilimi 2,85 V seçilerek batarya test uygulaması gerçekleştirilmiştir. Şarj ve deşarj testlerinde anma gerilimi 4,2 V'dur. Yapılan deneysel çalışma sonucu elde edilen cihaz kayıtlarına ait akım, zaman, gerilim, sıcaklık grafikleri oluşturulmuştur.



Şekil 7.6. FDM'nin batarya kutusuna dökülmesi

Tablo 7.3. Deneyde kullanılan ekipman ve cihazlar

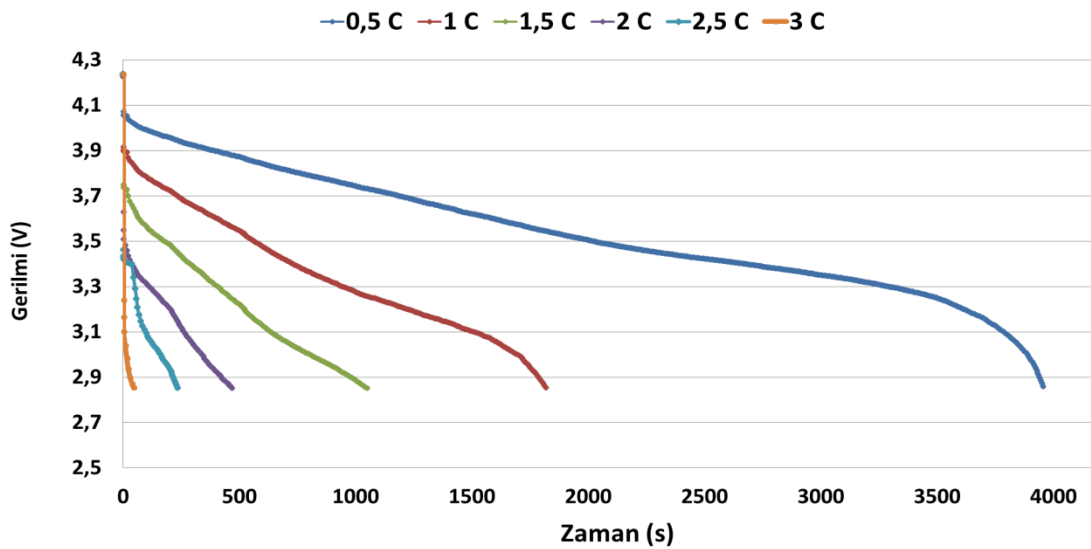
Tanım	Marka
Batarya şarj cihazı	Lipro Balance Charger
Batarya deşarj cihazı	RIGOL DL3021 DC load
Etüv	Thermomac
Data Recorder	GRAPHTEC GL840
Desktop	HP
Termokupl	Graphtecnic
Datalogger thermometer	VERTH
Voltage dedektor	EXTECH
3d yazıcı	Zaxe
DC güç kaynağı	AA TECH ADC 33-3303D
Batarya	ICR18650-22 FU



Şekil 7.7. Etüv içindeki deney düzeneği

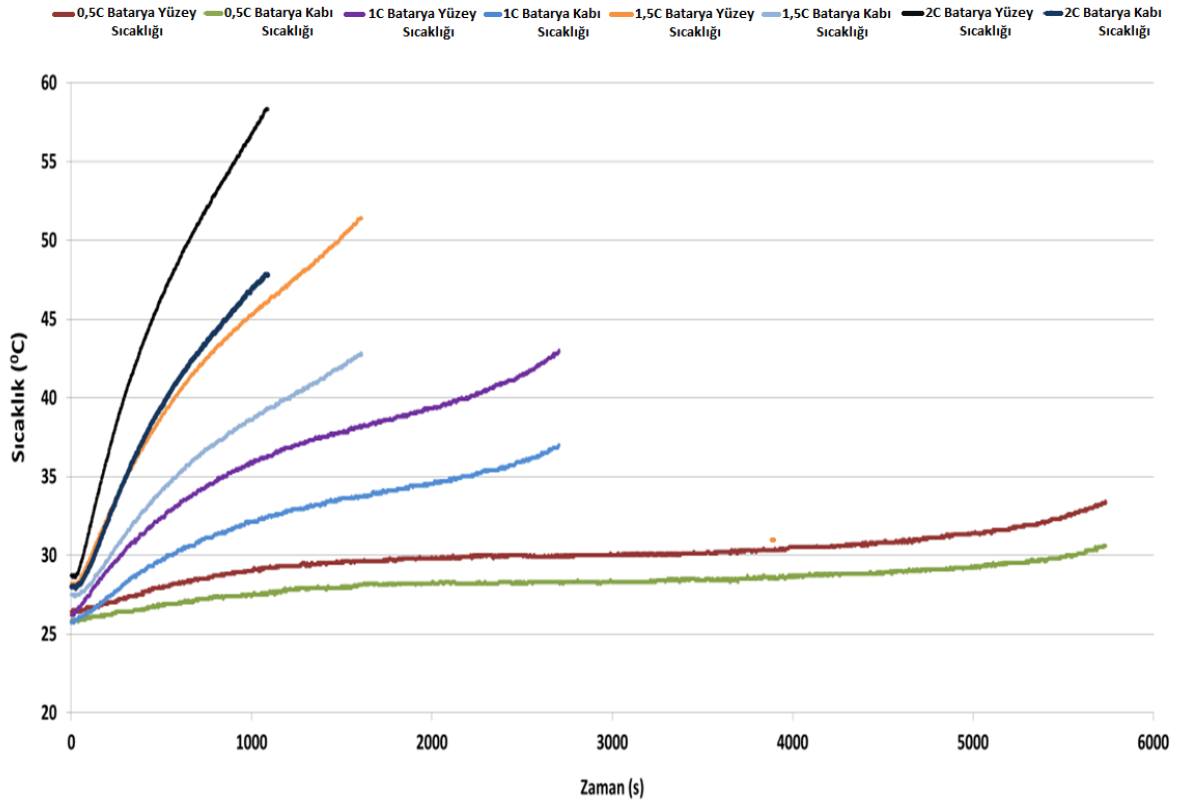
7.2 Batarya Isıl Yönetimine Ait Bulgular ve Tartışma

Bu kısımda, Lityum iyon bataryada değişik yüklerde şarj ve deşarj süreçlerinde oluşan ısıнын üretilen FDM tarafından kontrol altında tutulabilmesi bir başka ifadeyle bataryanın ısıl yönetimi bakımından araştırılmıştır. Bu amaca yönelik yapılan deneysel çalışma sonucu elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir. Deneylerde kullanılan Lityum iyon bataryanın performansının belirlenmesi amacıyla öncelikle deşarj testleri yapılmış ve sonuçlara ilişkin grafik Şekil 7.8’de oluşturulmuştur. Buna göre, beklenildiği gibi deşarj süreleri $0,5C > 1C > 1,5C > 2C > 2,5C > 3C$ olarak bulunmuştur. Burada, çalışma akımı yükseldikçe gerilim düşümü dolayısıyla deşarj süresinin düşmekte olduğu kayda geçirilmiştir.



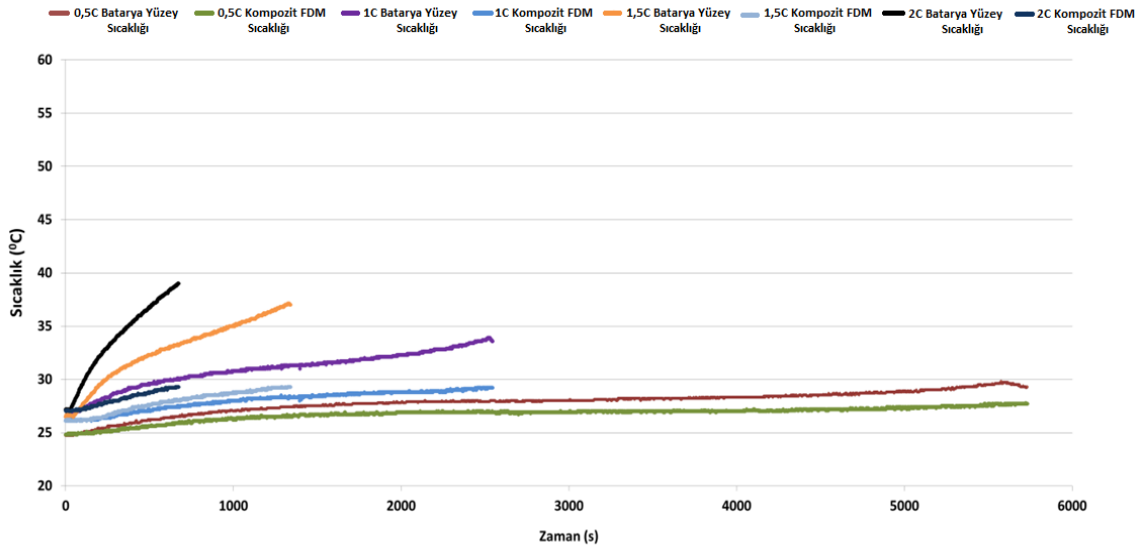
Şekil 7.8. Lityum iyon bataryanın 0,5C, 1C, 1,5C, 2C, 2,5C ve 3C'de deşarj işlemleri sırasında meydana gelen batarya voltaj profilleri

Şekil 7.9’da batarya kutusunda sadece bataryanın olduğu FDM’nin olmadığı koşulda sıcaklık-zaman grafiği oluşturulmuştur. Batarya ve pil kutusunda oluşan en yüksek sıcaklık değerleri sırasıyla $2C > 1,5C > 1C > 0,5C$ olarak kayda alınmıştır. Her çalışma akımında batarya yüzey sıcaklığının batarya kutusu içindeki çevre sıcaklığından yüksek olduğu gözlenmiştir.



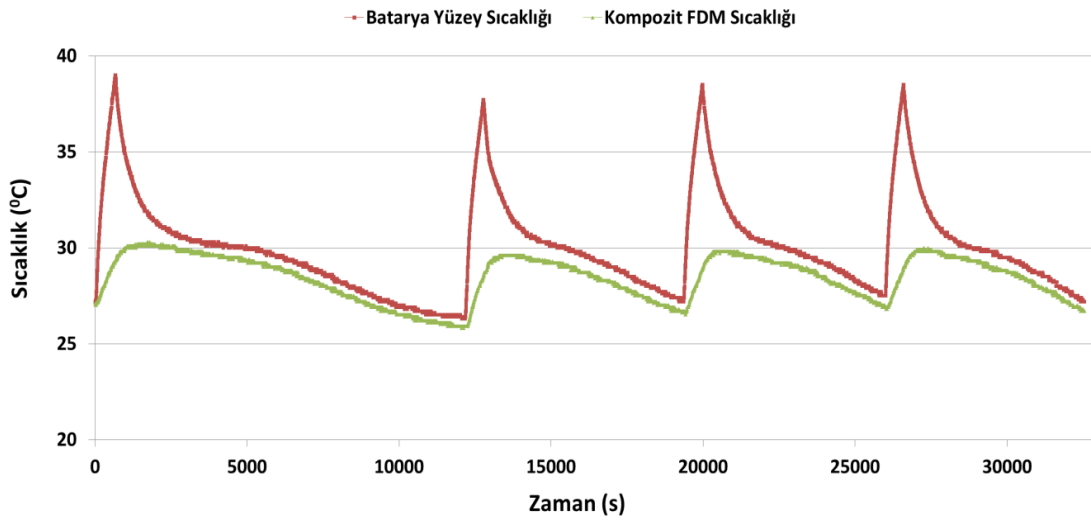
Şekil 7.9. Kompozit FDM bulunmaksızın Lityum iyon bataryanın 0,5C, 1C, 1,5C ve 2C’de deşarj işlemleri sırasında batarya ve pil kutusunda meydana gelen sıcaklık değişimleri

Şekil 7.10’da Kompozit FDM ile Lityum iyon bataryanın 0,5C, 1C, 1,5C ve 2C’de deşarj işlemleri sırasında batarya ve pil kutusunda meydana gelen sıcaklık değişimleri gösterilmiştir. Şekil 7.10’a göre, batarya kutusunda bataryanın ve çevresinde FDM’nin olduğu durumda yapılan deşarj uygulamalarında ulaşılan en yüksek sıcaklık sıralaması yine sırasıyla $2C > 1,5C > 1C > 0,5C$ olarak ölçülmesine rağmen sıcaklık değerlerinin düştüğü gözlenmiştir. Burada, çalışma akımı arttıkça yani C değeri yükseltildikçe FDM’nin batarya yüzeyinde meydana gelen sıcaklığı düşürücü etkisi açık bir şekilde tespit edilmiştir.



Şekil 7.10. Kompozit FDM ile Lityum iyon bataryanın 0,5C, 1C, 1,5C ve 2C'de deşarj işlemleri sırasında batarya ve pil kutusunda meydana gelen sıcaklık değişimleri

Şekil 7.11'de Lityum iyon bataryanın 2C'de deşarj ve şarj işlemleri sırasında batarya ve kompozit FDM'de meydana gelen sıcaklık değişimleri gösterilmektedir. Şekil 7.11 incelendiğinde, 2C değerinde 4 çevrim sırasıyla yapılan şarj-deşarj deneyinde sıcaklık-zaman grafiği oluşturulmuştur. FDM'nin deşarj sürecinde batarya yüzey sıcaklığını önemli oranda düşürdüğü şekilden görülmüştür. Şarj sürecinde sıcaklık artışı pik yapmadığından FDM yine batarya sıcaklığını düşürmüştür ancak düşüş sınırlı olup her iki sıcaklık değerlerinin paralel ilerlediği kayıt altına alınmıştır.



Şekil 7.11. Lityum iyon bataryanın 2C'de deşarj ve şarj işlemleri sırasında batarya ve kompozit FDM'de meydana gelen sıcaklık değişimleri

Lityum iyon bataryanın ısıl yönetimine yönelik olarak elde edilen tüm bulgular birlikte değerlendirildiğinde, kompozit FDM'nin yer almadığı şarj ve deşarj testlerinde bataryanın işletimi nedeniyle meydana gelen ısı enerjisine bağlı olarak batarya yüzeyinden ve batarya kabı içinden alınan ölçümlere göre ciddi miktarda sıcaklık artışları gözlenmiştir. Bu ölçümler göre, bataryanın deşarj işleminde şarj işlemlerine göre daha çok ısı açığa çıkmaktadır. Şarj işlemlerinde bu sıcaklık yükselişleri sınırlı bir aralıkta seyretmekte, deşarj işlemlerinde ise batarya işletim süresine bağlı olarak hızlı bir artış görülmektedir. Bu nedenle, batarya deşarj testlerinde bataryanın güç performansını korumak amacıyla şarj testleri 1C ile gerçekleştirilmiştir. Kompozit FDM'nin olmadığı durumda 2C'de gerçekleştirilen testlerde en yüksek batarya yüzey sıcaklığı 60°C'ye, en yüksek batarya kabı iç ortam sıcaklığı 50 °C'ye yaklaştığı görülmüştür. 2,5C ve 3C'de yapılan testlerde ise bataryanın hızla deşarj olmasına bağlı olarak test deneyleri daha kısa zaman içinde tamamlanmıştır. Bu deneylerde de kompozit FDM ısı kontrolü sağlamış ancak sürenin kısa olması sebebiyle kompozit FDM'nin davranışı yeterince gözlemlenememiştir. Kompozit FDM'nin olmadığı durumda 2C'de yapılan deşarj işlemleri sırasında bataryada ölçülen ve 60°C'ye yaklaşan batarya yüzey sıcaklığı kompozit FDM kullanımıyla birlikte 40 °C'ye düşmüştür. Bu testte kompozit FDM'den ölçülen en yüksek sıcaklık 37 °C olarak kaydedilmiştir. Bütün şarj-deşarj deneylerinde kullanılan CK40 kompozit FDM'nin yüksek enerji depolama kapasitesi ve uygun faz geçiş sıcaklık aralığına sahip olması sebebiyle ısı kontrol etkisi açık bir şekilde gözlemlenmiştir.



8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, enerji depolama özelliği olan ve Lityum iyon bataryaların ısı yönetiminde kullanılmak üzere kaprik asit / kaolinit kompozit FDM'ler tasarlanmış ve üretilmiştir. Üretim yöntemi olarak tek adımda impregnasyon yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen kompozit FDM'lerin ısı özellikleri diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) ve termogravimetrik analiz (TGA) ile belirlenmiş, morfolojik özellikleri ve yapısı ise, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve Fourier dönüşüm kızılötesi spektroskopisi (FT-IR) ile analiz edilmiştir. Yapılan analizler neticesinde elde edilen bulgulara göre belirlenen bir kompozit FDM'nin (CK40) Lityum iyon bataryaların ısı yönetimi için kullanılabilirliği laboratuvar ölçeğinde kurulan bir test sistemi ile incelenmiştir. Bu amaçla, Lityum iyon bataryanın kompozit FDM ile etkileşiminin sağlanabilmesi için bir batarya kabı tasarlanmış ve 3D yazıcı kullanılarak üretilmiştir. Tasarlanan batarya kabı içine yerleştirilen Lityum iyon bataryanın ve kompozit FDM'nin çeşitli çalışma koşulları altındaki ısı davranışı araştırılmış, ve bu tez kapsamında gerçekleştirilen tüm çalışmaların sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

- Kaprik asitin sahip olduğu 133,232 kJ/kg erime gizli ısı ve 32,5 °C – 46 °C erime faz geçiş sıcaklık aralığı ile Lityum iyon bataryaların ısı yönetimi için uygun bir FDM olduğu DSC analizi ile belirlenmiştir.
- Farklı reçeteler ile tek adımda impregnasyon yöntemiyle elde edilen kaprik asit/kaolinit kompozit FDM'leri içinde CK40 olarak adlandırılan % 40 kaprik asit ve % 60 kaolinit kullanılarak hazırlanan kompozit FDM ile en yüksek ısı enerji depolama kapasitesine ulaşılmış ve elde edilen kompozit FDM'de herhangi bir sızıntı meydana gelmemiştir.
- Gerçekleştirilen SEM analizi ile saf kaolinit ve CK40 kompozit FDM'sinin görüntüleri elde edilmiştir. Saf kaolinitin tabakaları ve gözenekleri arasına kaprik asidin yerleşmesi ve morfolojideki farklılaşma açık bir şekilde gözlenmiştir. Bununla beraber, kaprik asit, kaolinit ve CK40 kompozitinin FT-IR analizi sonuçlarına göre kaprik asitin kaolinit içerisine yüklendiği ve kompozit FDM'nin başarıyla elde edildiği kanıtlanmıştır.

- DSC analizine göre, elde edilen CK40 kompozit FDM'sinin erime gizli ısısı 73,07 kJ/kg olarak bulunmuştur.
- CK40 kompozit FDM'sinin ilk erime sıcaklığı 30,44 °C, pik erime sıcaklığı 33,47 °C ve son erime sıcaklığı 35,43 °C, olarak, ilk kristallenme sıcaklığı 27,82 °C, pik kristallenme sıcaklığı 27,39 °C ve son kristallenme sıcaklığı 25,03 °C olarak DSC analizi ile belirlenmiştir.
- TGA analizine göre elde edilen CK40 kompozit FDM'sinin 200,2 °C'ye kadar ısıl olarak kararlı olduğu görülmüştür.
- Karakterizasyon çalışmaları neticesinde, CK 40 kompozitinin görece yüksek enerji depolama kapasitesi, faz geçiş sıcaklıkları ve ısıl olarak kararlı olması sebebiyle Lityum iyon bataryalar için uygun bir aday olduğunu gösterilmiştir.
- Gerçekleştirilen batarya performans testlerine göre, bataryanın deşarj işlemi sırasında daha çok ısındığı gözlemlenmiştir. Kompozit FDM olmaksızın gerçekleştirilen deşarj testlerinde 2C'deki performans testlerinde yüksek miktarda ısı açığa çıkmıştır. Burada, batarya yüzeyinden ölçülen sıcaklık ~58 °C olarak kayıt altına alınmıştır. Benzer koşullarda CK40 kompozit FDM'si ile 2C'de gerçekleştirilen deşarj testlerinde ise bataryanın ulaştığı en yüksek sıcaklık ~38 °C olarak gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak tasarlanan, üretilen ve karakterizasyonu yapılan CK40 kompozit FDM'siyle Lityum iyon bataryanın ısıl yönetiminde, deşarj işlemi sırasında açığa çıkan ısı enerjisine bağlı olarak batarya yüzeyinden ölçülen en yüksek sıcaklık değeri elde edilen kompozit FDM'nin gizli ısı depolama özelliği sayesinde düşürülmüş ve bataryanın ısınması kontrol altına alınabilmektedir. Bununla birlikte, bu işlem sırasında kompozit FDM'de herhangi bir sızdırma oluşmamıştır. Gerçekleştirilen karakterizasyon çalışmaları ile doğrulanan ısıl özellikler ve yapılan performans testleri ile kaprik asit/kaolinit (CK40) kompozit FDM'sinin elektrikli araçlarda kullanılan Lityum iyon bataryaların ısıl yönetimi için uygun bir aday olabileceği ve önemli bir performans sağlayabildiği deneysel olarak gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] M. Rahman, A. O. Oni, E. Gemechu, and A. Kumar, "Assessment of energy storage technologies: A review," *Energy Conversion and Management*, 223-113295, 2020.
- [2] S. K. Fayegh, M. A. Rosen, "A review of energy storage types, applications and recent developments," *Journal of Energy Storage*, 27-101047, 2020.
- [3] T. Kousksou, P. Bruel, A. Jamil, T. E. Rhafiki, and Y. Zeraouli, "Energy storage: Applications and challenges," *Solar Energy Materials & Solar Cells*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.solmat.2013.08.015>, 2013.
- [4] S. Landini, J. Leworthy, and T.S. O'Donovan, "A Review of Phase Change Materials for the Thermal Management and Isothermalisation of Lithium-Ion Cells," *Journal of Energy Storage*, 25-100887, 2019.
- [5] P. Nikolaidis, A. Poullikkas, "A comparative review of electrical energy storage systems for better sustainability," *Journal of Power Technologies*, 97 (3) 220–245, 2017.
- [6] A.Olabi, C. Onumaegbu, T. Wilberforce, M. Ramadan, and M. Abdelkareem, Al Alami AH, "Critical Review of Energy Storage Systems," *Energy*, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118987>, 2020.
- [7] I.Hadjipaschalis, A. Poullikkas, and V. Efthimiou, "Overview of current and future energy storage technologies for electric power applications," 13:1513–22. doi:10.1016/j.rser.2008.09.028, 2008.
- [8] T.M.I. Mahlia, T.J. Saktisahdan, A. Jannifar, M.H. Hasan, and H.S.C. Matseelar, "A review of available methods and development on energy storage; technology update," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 33 532-545, 2014.
- [9] T. M. Gür, "Review of Electrical Energy Storage Technologies, Materials and Systems: Challenges and Prospects for Large-Scale Grid Storage," *Energy Environment*, DOI: 10.1039/C8EE01419A, 2018.
- [10] E. S. Díez, E. Ventosa, M. Guarnieri, A. Trovo, C. Flox, R. Marcilla, F. Soavi, P. Mazur, E. Aranzabe, and R. Ferret, "Redox flow batteries: Status and perspective towards sustainable stationary energy storage," *Journal of Power Sources*, 481-228804, 2021.
- [11] S. Panchal, I. Dincer, M. Agelin-Chaaa, R. Fraser, and M. Fowler, "Experimental and simulated temperature variations in a LiFePO₄-20 Ah battery during discharge process," *Applied Energy*, 180-504-515, 2016.
- [12] T. Chen, Y. Jin, H. Lv, A. Yang, M. Liu, B. Chen, Y. Xie, and Q. Chen, "Applications of Lithium-Ion Batteries in Grid-Scale Energy Storage

Systems,” *Transactions of Tianjin University* <https://doi.org/10.1007/s12209-020-00236-w>, 2020.

- [13] J. Zhang, L. Zhang, and Z. Wang, “An Overview on Thermal Safety Issues of Lithium-ion Batteries for Electric Vehicle Application,” *Digital Object Identifier* 10.1109/ACCESS.2017.Doi Number, 2017.
- [14] H. Jouharaa, A. Z. Gora , N. Khordehgaha , D. Ahmada, and T. Lipinski, “Latent thermal energy storage technologies and applications: A review,” *International Journal of Thermofluids*, 5-6 100039, 2020.
- [15] C.N. Elias, V.N. Stathopoulos, “A comprehensive review of recent advances in materials aspects of phase change materials in thermal energy storage,” *Energy Procedia* 161 385–394, 2019.
- [16] I. Sarbu, C. Sebarchievici, “A Comprehensive Review of Thermal Energy Storage,” *Sustainability* , 10, 191; doi:10.3390/su10010191, 2018.
- [17] Lin K, Zhang Y, X. Xu, H.Di, R.Yang, and P.Qin, “Experimental study of under-floor electric heating system with shape-stabilized PCM plates,” *Energy Build*, 37:215–20, 2005.
- [18] L. Cabeza, M.Ibáñez, C.Solé, J.Roca, and M.Nogués, “Experimentation with a water tank including a PCM module,” *Sol Energy Mater Sol Cells*, 90:1273–82, 2006.
- [19] K. Iqbal, D. Sun, “Development of thermo-regulating polypropylene fibre containing microencapsulated phase change materials,” *Renew Energy*, 71 473–479, 2014.
- [20] A. Hasan, H. Alnoman, and A. Shah, “Energy efficiency enhancement of photovoltaics by phase change materials through thermal energy recovery,” *Energies*, 9 782, 2016.
- [21] M.A. Kibria, R. Saidur, F.A. Al-Sulaiman, and M.M.A. Aziz, “Development of a thermal model for a hybrid photovoltaic module and phase change materials storage integrated in buildings,” *Solar Energy*, 124-114–123, 2016.
- [22] K. Kant, A. Shukla, A. Sharma, and P.H. Biwale, “Heat transfer studies of photovoltaic panel coupled with phase change material,” *Solar Energy*, 140 151–161, 2016.
- [23] J. Krishna, P.S. Kishore, and A.B. Solomon, “Heat pipe with nano enhanced-PCM for electronic cooling application,” *Exp. Therm. Fluid Sci*, 81 84–92, 2017.
- [24] A. de Gracia, L.F. Cabeza, “Phase change materials and thermal energy storage for buildings,” *Energy and Buildings*, 103 414-419, 2015.

- [25] Lv Y, Zou Y, Yang L. "Feasibility study for thermal protection by microencapsulated phase change micro/nanoparticles during cryosurgery," *Chem Eng Sci*, 66:3941–53, 2011.
- [26] Y.Lu, W.H.Zhang, P.Yuan M.D, Xue, Z.G.Qua, and W.Q Tao, "Experimental study of heat transfer intensification by using a novel combined shelf in food refrigerated display cabinets (experimental study of a novel cabinets)," *Appl Therm Eng* 30:85–91, 2010.
- [27] M. Gumus, "Reducing cold-start emission from internal combustion engines by means of thermal energy storage system," *Appl Therm Eng*, 229:652–60, 2009.
- [28] Y.Tomizawa, K.Sasaki, A.Kuroda, R.Takeda, Y.Kaito, "Experimental and numerical study on phase change material (PCM) for thermal management of mobile devices," *Applied Thermal Engineering*. 2016;98:320-329.
- [29] A.Verma, S.Shashidhara, D.Rakshit, "A comparative study on battery thermal management using phase change material (PCM)," *Thermal Science and Engineering* 2019; 11:74-83.
- [30] S.Bakhshipour, M.S. Valipour, Y. Pahamli, "Parametric analysis of domestic refrigerators using PCM heat exchanger," *International Journal of Refrigeration* 83 (2017) 1–13.
- [31] M.T Chaichan, K.I Abbas, "Performance amelioration of a Trombe wall by using Phase Change Material (PCM)," *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology* Vol. 2, Issue 4, April 2015.
- [32] M.Modjinou, J.Ji,W. Yuan, F.Zhou, S.Holliday, A.Wagas, X.Zhou, "Performance comparison of encapsulated PCM PV/T, microchannel heat pipe PV/T and conventional PV/T systems," *Energy*. 2019;166:1249-1266.
- [33] W.L Cheng, X.D Yuan, "Numerical analysis of a novel household refrigerator with shape-stabilized PCM (phase change material) heat storage condensers," *Energy* 2013; 59:265–76.
- [34] M. Ahmed, O. Meade, M.A Medina, "Reducing heat transfer across the insulated walls of refrigerated truck trailers by the application of phase change materials," *Energy Conversion and Management* 2010;51(3):383–92.
- [35] D.Mondieig, F. Rajabalee, A. Laprie, H.A.J Oonk, T.Calvet, M.A Cuevas-Diarte, "Protection of temperature sensitive biomedical products using molecular alloys as phase change material, " *Transfusion and Apheresis Science* 2003;28:143–8.
- [36] S.M Wang, P. Matiasovsky ,P. Mihalka, C.M Lai, " Experimental investigation of the daily thermal performance of a mPCM honeycomb wallboard," *Energy Build* 2018;159:419–25.

- [37] C.Yao, X Kong, Y. Li, Y.Du, C.Qi, “Numerical and experimental research of cold storage for a novel expanded perlite-based shape-stabilized phase change material wallboard used in building, ” *Energy Conversion and Management* 2018;155:20–31.
- [38] S.C Fok, W. Shen, F.L Tan, “Cooling of portable hand-held electronic devices using phase change materials in finned heat sinks,”*International Journal of Thermal Sciences* 2010;49(1):109–17.
- [39] S.P Subramanian, W.Pandiyarajan, R.Velraj, “Experimental analysis of a PCM based I.C. Engine exhaust waste heat recovery system,” *International Energy Journal* 2004;5(2):81–92.
- [40] W.Wu, S.Wang, “Form-stable and thermally induced flexible composite phase change material for thermal energy storage and thermal management applications,” *Applied Energy*, 236 10-21, 2019.
- [41] C.Liu, C.Luo, T.Xu, P.Lv, and Z.Rao, “Experimental study on the thermal performance of capric acid-myristyl alcohol/expanded perlite composite phase change materials for thermal energy storage,” *Solar Energy*, 191 585-595, 2019.
- [42] M.Song, M.PWan, S.Dubey, D.Pan, and N.Mao, “Thermal stability of organic binary PCMs for energy storage,” *9th International Conference on Applied Energy*, UK, 2017.
- [43] V.G. Choudharia, A.S. Dhoblea, and T.M. Satheb, “A review on effect of heat generation and various thermal management systems for lithium ion battery used for electric vehicle,” *Journal of Energy Storage*, 32 101729, 2020.
- [44] S.Kocabey, “Elektrikli Otomobillerin Dünyü Bugünü ve Geleceği,” *Dergipark Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, Volume 1, Issue 1, 16 - 23, 2018.
- [45] J.R.Patel, M.K. Rathod, “Recent developments in the passive and hybrid thermal management techniques of lithium-ion batteries,” *Journal of Power Sources*, 480 228820, 2020.
- [46] Deng, “Electric Vehicles Batteries: Requirements and Challenges,” *Joule* <https://doi.org/10.1016/j.joule.2020.01.013>, 2020.
- [47] M.S. Çetin, B. Karakaya, and M.T.Gençoğlu, “Elektrikli Araçlar İçin Lityum İyon Bataryaların Modellenmesi,” *Fırat Üniversitesi Müh. Bil.Dergisi*, 33(2), 755-763, 2021.
- [48] L.Ianniciello, P.H. Biwoléa, and P.Achard, “Electric vehicles batteries thermal management systems employing phase change materials,” *Journal of Power Sources*, 378 383–403, 2018.
- [49] M.A. Hannan, M.S.H.Lipu, A. Hussainb, and A. Mohamed, “A review of lithium-ion battery state of charge estimation and management system in

electric vehicle applications: Challenges and recommendations,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78 834–854, 2017.

- [50] T.M. Bandhauer, S.Garimella, and T.F. Fuller, “A Critical Review of Thermal Issues in Lithium-Ion Batteries,” *J. Electrochem, Soc.* 158 R1, 2011.
- [51] A.Akgündoğdu, “Elektrikli Araçlar için Batarya Paketi ve Batarya Yönetim Sisteminin Gerçeklenmesi,” *İstanbul Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Fakültesi*, 2017.
- [52] X.Feng, M.Ouyanga, X.Liu, L.Lu, Y.Xi and X.He, “Thermal runaway mechanism of lithium ion battery for electric vehicles: A review,” *Energy Storage Materials*, 10 246-267, 2018.
- [53] J. Jaguemon, L. Boulon, and Y. Dubé, “A comprehensive review of lithium-ion batteries used in hybrid and electric vehicles at cold temperatures,” *Applied Energy*, 164 99-114, 2016.
- [54] T.Zhang, C. Gao, Q.Gao, G.Wang, M.Liu, Y.Guo, C.Xiao, and Y.Y. Yan, “Status and development of electric vehicle integrated thermal management from BTM to HVAC,” *Applied Thermal Engineering*, doi: 10. 1016 /j.applthermaleng.2015.02.001, 2015.
- [55] R.Menak, T.Karadağ, M.Altuğ, and N.Tan, “Elektrikli Araçlarda Batarya Yönetim Sistemleri Üzerine Bir Derleme Çalışması,” *GU J Sci, Part A*, 8(2): 234-275, 2021.
- [56] A.Verma, S. Shashidhara, and D.Rakshit, “A comparative study on battery thermal management using phase change material (PCM),” *Thermal Science and Engineering Progress*, 11 74–83, 2019.
- [57] J.Weng, D. Ouyang, X.Yang, M.Chen, G.Zhang, and J.Wang, “Optimization of the internal fin in a phase-change-material module for battery thermal management,” *Applied Thermal Engineering*, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.114698>, 2019.
- [58] W. Wu, S. Wang, W. Wu, K. Chen, S. Hong, and Y. Lai, “A critical review of battery thermal performance and liquid based battery thermal management,” *Energy Convers. Manag.*, 262–281, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.12.051>, 2019.
- [59] A. H.Akinlabi, D.Solyali, “Configuration, design, and optimization of air-cooled battery thermal management system for electric vehicles: A review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 125 109815, 2020.
- [60] S. Basu, K.S. Hariharan, S.M. Kolake, T. Song, D.K. Sohn, and T. Yeo, “Coupled electrochemical thermal modelling of a novel Li-ion battery pack thermal management system,” *Appl. Energy*, 181 1–13, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.08.049>, 2016.

- [61] J. Wang, Y. Gan, J. Liang, M. Tan, and Y. Li, "Sensitivity analysis of factors influencing a heat pipe-based thermal management system for a battery module with cylindrical cells," *Appl. Therm. Eng.*, 151 475–485, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.02.036>, 2019.
- [62] M.Al-Zareer, İ.Dincer, and M.A. Rosen, "A review of novel thermal management systems for batteries," *Energy Research*, DOI: 10.1002/er.4095, 2018.
- [63] S. Hallaj, J.R. Selman, "A novel thermal management system for electric vehicle batteries using phase-change material," *J. Electrochem. Soc.*, 147 3231, <https://doi.org/10.1149/1.1393888>, 2020.
- [64] M. Pan, Y. Zhong, "Experimental and numerical investigation of a thermal management system for a Li-ion battery pack using cutting copper fiber sintered skeleton/paraffin composite phase change materials," *Int. J. Heat Mass Transf.*, 126 531–543, <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.06.014>, 2018.
- [65] J. Jaguemont, L. Boulon, and Y. Dubé, "A comprehensive review of lithium-ion batteries used in hybrid and electric vehicles at cold temperatures," *Applied Energy* 164 99-114, 2016.
- [66] Z.Rao, S.Wang, "A review of power battery thermal energy management," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 4554-4571, 2011.
- [67] V.G. Choudharia, A.S. Dhoblea, and T.M. Sathe, "A review on effect of heat generation and various thermal management systems for lithium ion battery used for electric vehicle," <https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101729>, 2020.
- [68] A.Sharma, V.V. Tyagi, C.R. Chen, and D. Buddhi, "Review on thermal energy storage with phase change materials and applications," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13 318–345, 2009.
- [69] R.Zhao, S.Zhang, J. Liu, and J.Gu, "A review of thermal performance improving methods of lithium ion battery: Electrode modification and thermal management system," *Journal of Power Sources*, 299 557-577, 2015.
- [70] H.Liu, Z.Wei, W.He, and J.Zhao, "Thermal issues about Li-ion batteries and recent progress in battery thermal management systems: A review," *Energy Conversion and Management*, 150 304-330, 2017.
- [71] J. Zhang, X. Lia, G. Zhang, Y. Wang, J. Guo, Y. Wang, Q. Huang, C. Xiao, and Z. Zhong, "Characterization and experimental investigation of aluminum nitride-based composite phase change materials for battery thermal management," *Energy Conversion and Management*, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.112319>, 2019.
- [72] J.Weng, X.Yan, G.Zhang, D.Ouyang, M.Chen, and J.Wang, "Optimization of the detailed factors in a phase-change-material module for battery thermal

- management,” *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 138 126-134, 2019.
- [73] N. Javani, I. Dincer, G.F. Naterer, and B.S. Yilbas, “Heat transfer and thermal management with PCMs in a Li-ion battery cell for electric vehicles,” *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 72 690-703, 2014.
- [74] M. Malik, I. Dincer, M. Rosen, and M. Fowler, “Experimental Investigation of a New Passive Thermal Management System for a Li-Ion Battery Pack Using Phase Change Composite Materials,” *Electrochimica Acta* <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2017.10.051>, 2017.
- [75] R.D. Jilte, R.Kumar, M.H. Ahmadi, and L.Chen, “Battery thermal management system employing phase change material with cell-to-cell air cooling,” *Applied Thermal Engineering*, 161 114199, 2019.
- [76] J.Weng, D. Ouyang, X.Yang, M.Chen, G.Zhang, and J.Wang, “Optimization of the internal fin in a phase-change-material module for battery thermal management,” *Applied Thermal Engineering*, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.114698>, 2019.
- [77] J.Weng, Y.He, D. Ouyang, X.Yang, G.Zhang, and J.Wang, “Thermal performance of PCM and branch-structured fins for cylindrical power battery in a high-temperature environment,” *Energy Conversion and Management*, 200 112106, 2019.
- [78] Z.Sun, R.Fan, F.Yan, T.Zhou, and N.Zheng, “Thermal management of the lithium-ion battery by the composite PCM-Fin structures,” *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 145118739, 2019.
- [79] H.Fathabadi, “High thermal performance lithium-ion battery pack including hybrid active-passive thermal management system for using in hybrid/ electric vehicles,” *Energy*, 2014.
- [80] N. Javani I. Dincer, G.F. Naterer, and G.L. Rohrauer, “Modeling of passive thermal management for electric vehicle battery packs with PCM between cells,” *Applied Thermal Engineering*, 73 305-314, 2014.
- [81] X.Luo, Q.Guo, X.Li, Z.Tao, S.Lei, J.Liu, L.Kang, D.Zheng, and Z.Liu, “Experimental investigation on a novel phase change material composites coupled with graphite film used for thermal management of lithium-ion batteries,” *Renewable Energy*, 145 2046-2055, 2020.
- [82] P.Goli, S.Legedza, A.Dhar, R.Salgado, J.Renteria, and A.A. Balandin, “Graphene-enhanced hybrid phase change materials for thermal management of Li-ion batteries”, *Journal of Power Sources*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpowsour.2013.08.135>, 2013.
- [83] Z.Rao, Y.Huo, X.Li, and G.Zhang, “Experimental investigation of battery thermal management system for electric vehicle based on paraffin/copper foam,” *Journal of Energy Institute*, 1-6, 2014.

- [84] W.Q. Li, Z.G. Qu, Y.L. He, and Y.B. Tao, “Experimental study of a passive thermal management system for high-powered lithium ion batteries using porous metal foam saturated with phase change materials,” *Journal of Power Sources*, 255 9-15, 2014.
- [85] W.Wu, X.Yang, G.Zhang, X.Ke, Z.Wang, W.Situ, X. Li, and J.Zhang, “An experimental study of thermal management system using copper mesh-enhanced composite phase change materials for power battery pack,” *Energy*, 113 909-916, 2016.
- [86] Q.Huang, J.Deng, X.Lia, G.Zhang, and F.Xu, “Experimental investigation on thermally induced aluminum nitride based flexible composite phase change material for battery thermal management,” *Journal of Energy Storage*, 32 101755, 2020.



ÖZGEÇMİŞ

Lise eğitimini Yalova'da tamamladı. 1991 yılında girdiği İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümünden 1996 yılında mezun oldu. Elektrik mühendisi olarak yurtiçi ve yurtdışı projelerde çalıştı. 2019 yılından beri Yalova Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği bölümünde Yüksek Lisans öğrencisi olarak devam etmektedir.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYIN VE ESERLER

A. Yıldız, M. S. Mert, M. Biberoğlu, H. H. Mert, " Elektrikli Araçlarda Kullanılan Bataryaların Isıl Yönetimi için Faz Değiştiren Malzeme Kullanımı," 4th International Eurasian Conference on Biological and Chemical Sciences, Ankara, Türkiye, 24-26 Kasım, 2021.(pp. 319)