



T.C  
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
KİMYA ANABİLİM DALI

BOR MİNERALİ ESASLI FAZ DEĞİŞTİREN MADDE  
KOMPOZİTLERİNİN HAZIRLANMASI VE  
İSİL ENERJİ DEPOLAMA ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

ABDUL MALIK TURAN

Haziran 2019



T.C.  
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
KİMYA ANABİLİM DALI

BOR MİNERALİ ESASLI FAZ DEĞİŞTİREN MADDE  
KOMPOZİTLERİNİN HAZIRLANMASI VE  
ISIL ENERJİ DEPOLAMA ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

ABDUL MALIK TURAN

Yüksek Lisans Tezi

Danışman  
Doç. Dr. Yeliz KONUKLU

Haziran 2019

Abdul Malik TURAN tarafından Doç. Dr. Yeliz KONUKLU danışmanlığında hazırlanan “Bor Minerali Esaslı Faz Değiştiren Madde Kompozitlerinin Hazırlanması ve Isıl Enerji Depolama Özelliklerinin Belirlenmesi ” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : [Doç.Dr. Yeliz KONUKLU  
Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi ]

Üye : [Prof.Dr. Orhan GEZİCİ  
Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi ]

Üye : [Doç.Dr. Orkun ERSOY  
Hacettepe Üniversitesi ]

**ONAY:**

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından ....../...../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu'nun ....../...../20.... tarih ve ..... sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../...../20...

Doç. Dr. Murat BARUT  
MÜDÜR

## TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Abdul Malık TURAN



## ÖZET

### BOR MİNERALİ ESASLI FAZ DEĞİŞTİREN MADDE KOMPOZİTLERİNİN HAZIRLANMASI VE ISIL ENERJİ DEPOLAMA ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

TURAN, Abdul Malık  
Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Kimya Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Yeliz KONUKLU

Haziran 2019, 56 sayfa

Faz Değişiren Maddelerde (FDM) termal enerji depolama, yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin mevcut olduğu zamanlarda depolanıp, ihtiyaç duyulduğu zamanlarda kullanılmasına olanak vermektedir. Bu çalışmada termal enerji depolama uygulamalarında ısı yönetimi sağlayabilecek bor minerali (kolemanit) esaslı FDM kompozitleri, mikrokapsülleri ve mikrokompozitleri incelenmiştir. Mikrokapsülleme sırasında laurik asit ve dekanolik asit çekirdek materyali ve kolemanit katkılı melamin-formaldehit reçinesi kapsül polimeri olarak kullanılmıştır. Üretilen mikrokapsüllerin ve kompozitlerin erime donma davranışlarının incelenmesi ve termal enerji depolama kapasitelerini belirlemek amacıyla diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizi, kimyasal bir değişimin olup oluşmadığını belirlemek amacıyla Fourier dönüşümlü infrared spektrometresi (FTIR) analizi ve morfolojik özelliklerinin belirlenmesi için taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizleri yapılmıştır. Üretilen mikrokapsül 89,93 J/g ve kompozitlerin 34,65 J/g enerji depolama kapasitesine sahip olduğu belirlenmiştir.

*Anahtar Sözcükler:* Faz değıştiren madde, termal enerji depolama, bor, kolemanit, mikrokapsül, kompozit

## SUMMARY

### PREPARATION OF BORON MINERAL BASED PHASE CHANGE MATERIALS COMPOSITES AND DETERMINATION OF THERMAL ENERGY STORAGE PROPERTIES

TURAN, Abdul Malik  
Niğde Ömer Halisdemir University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Chemistry

Supervisor : Associate Professor Dr. Yeliz KONUKLU

June 2019, 56 pages

Thermal energy storage (TES) in PCMs, allows to use of energy which is stored in the time available from renewable energy sources when it is needed. In this study, boron mineral (colemanite) based phase change (FDM) composites, microcapsules and microcomposites which can provide thermal management in thermal energy storage applications were examined. In the composite fabrication process, lauric acid and decanoic acid was used as supporting material and colemanite was used composite matrix. In the microencapsulation process lauric acid and decanoic acid was used core material and colemanite doped melamine-formaldehyde resin were used as capsule polymer. In order to determine the melting and freezing behavior and the thermal energy storage capacity of the microcapsules and composites Differential scanning calorimetry (DSC) analysis, in order to determine whether or not a chemical change occurs in the composite PCMs Fourier transform infrared (FTIR) spectra analysis, in order to determine morphology of the composite PCMs Scanning electron microscopy (SEM) analysis were performed. It was determined that the produced microcapsules had an energy storage capacity of 89.93 J / g and composites of 34.65 J / g.

*Keywords:* Phase change material, thermal energy storage, borone, colemanite, microcapsule, composite

## ÖN SÖZ

Bor ülkemizde önemli yatakları bulunan doğal bir hammaddedir. Türkiye Dünya Bor rezervlerinin yaklaşık %72'sine sahiptir. Ülkece Bor minerali açısından çok önemli rezervlere sahip olmamıza rağmen bu doğal kaynakları değerlendirememekteyiz. Bor mineralinin doğru yerlerde kullanımı ve değerlendirilmesi ile değerleri artırılarak ülke ekonomisine büyük katkılar sağlanabilir. FDM'lerde termal enerji depolama (TED), yenilenebilir enerji kaynaklarının mevcut olduğu zamanlarda depolanarak, enerjinin ihtiyaç duyulduğu zamanlarda kullanılmasına olanak vermektedir. Bu çalışmada; bir bor minerali olan kolemanit ile FDM kompozitleri ve mikrokapsülleri geliştirilmiştir.

Yüksek lisans öğrenimim boyunca her zaman yanımda olan kendisinden çok şey öğrendiğim ve akademik kariyerime başladığım günden beri fikirleriyle yol gösteren, elindeki bütün imkânları ile maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen değerli hocam ve tez danışmanım Doç. Dr. Yeliz KONUKLU'ya gönülden teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmamın her aşamasında daima tecrübelerinden yararlandığım ve sorduğum sorularımı cevap vererek yardımlarını esirgemeyen kıymetli arkadaşlarım Fatma ERZİN, Hasan Burak AKAR ve çalışmalarımı yürüttüğüm Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Nanoteknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'ne ve Kimya bölümündeki hocalarıma her türlü katkılarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışmada kullanılan bor mineralini temin etmemizde yardımcı olan sayın hocam Prof.Dr. Yusuf Öner TOROMAN'a teşekkür ederim.

Hayata gözlerimi açtığım andan itibaren her koşulda maddi, manevi desteğiyle ve sevgisiyle yanımda olan, özlemimi sürekli ifade eden ve mezun olup ülkeme döneceğim günü sabırsızlıkla bekleyen sevgili canım annem ve canım babama bu tezimi hediye ederek sonsuz teşekkürlerimi sunarım.



## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iv
SUMMARY.....	v
ÖN SÖZ.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	DİZİNİ
.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
SİMGE VE KISALTMALAR.....	xii
BÖLÜM I GİRİŞ.....	1
BÖLÜM II GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÖZETİ.....	2
2.1 Faz Değiştiren Maddeler.....	2
2.2 FDM'lerin Sınıflandırılması.....	4
2.3 Faz Değiştiren Maddelerin Kullanım Alanları.....	5
2.4 Kompozit.....	5
2.5.....	Mikrokapsülleme
.....	6
2.6 Bor Minerali ve Kullanım Alanı.....	7
2.7 Literatür Özeti.....	8
BÖLÜM III MATERYEL VE METOT.....	12
3.1. Materyal.....	12
3.1.1 Melamin.....	12
3.1.2 Amonyum sülfat.....	13
3.1.3 Tween 80.....	13
3.1.4 Formaldehit.....	14
3.1.5 Kolemanit.....	16
3.1.6 Faz değiştiren maddeler (FDM).....	16
3.1.7 Laurik asit.....	17
3.1.8 Dekanoik asit.....	17
3.2. Metod.....	17
3.2.1. Kompozit.....	17

3.2.2 Mikroapsüleme .....	19
3.2.3 Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) .....	21



3.2.4	FTIR	kullanarak	kimyasal	analiz	metodu	.....21	
3.2.5.	SEM	kullanarak	yapısal	özelliklerin	belirlenmesi	metodu	.....21
3.2.6	Yüksek	sıcaklıklara	(95-100°C)	dayanım	testi	.....21	
3.2.7		Termal			çevrim	testi.....21	
3.2.8		Tane	boyut		analizi	.....22	
3.2.9	Termal	gravimetrik	analiz			.....22	
BÖLÜM IV DENEYSEL ÇALIŞMALAR						..... 23	
4.1	Bor	Minerali	Esaslı	FDM	Kompozitleri	..... 23	
4.2		Kolemanit/FDM			Kompozitleri	.....26	
4.3		DA/b-MF			Mikrokapsülleri	.....33	
4.4	LA/b-MF	Mikrokapsülleri				.....43	
BÖLÜM V SONUÇ						.....48	
KAYNAKLAR						.....50	
ÖZ GEÇMİŞ						.....56	



## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Ticari Öneme Sahip Başlıca Bor Mineralleri .....	7
Çizelge 3.1. Kullanılan melaminin özellikleri .....	12
Çizelge 3.2. Kullanılan Amonyum Sülfat özellikleri .....	13
Çizelge 3.3. Kullanılan Tween 80 özellikleri .....	14
Çizelge 3.4. Kullanılan Formaldehit özellikleri .....	14
Çizelge 3.5. Kullanılan Kolemanit özellikleri .....	15
Çizelge 3.6. Kompozit malzemelerinde kullanılan malzemelerin özelliği .....	18
Çizelge 3.7. DA/b-MF mikrokapsülleri .....	20
Çizelge 3.8. LA/b-MF mikrokapsülleri .....	20
Çizelge 4.1. Kompozitlerin DSC sonuçları.....	30
Çizelge 4.2. Hazırlanan DA/b-MF mikrokapsüllerinin DSC sonuçları.....	36
Çizelge 4.3. MD4, MD14 ve MD40'ın termal çevrim sonrası DSC analiz sonucu.....	37
Çizelge 4.4. LA/b-MF mikrokapsüllerinin termal özellikleri.....	44



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. FDM çalışma prensibi .....	3
Şekil 2.2. FDM'lerin sınıflandırılması.....	4
Şekil 2.3. Doğrudan emdirme yöntemi ile FDM kompoziti hazırlama ( Konuklu vd., 2015) .....	6
Şekil 3.1. Melaminin kimyasal yapısı.....	13
Şekil 3.2. Amonyum Sülfat kimyasal yapısı.....	13
Şekil 3.3. Tween 80 kimyasal yapısı .....	14
Şekil 3.4. Formaldehit kimyasal yapısı.....	15
Şekil 3.5. Kolemanit mineralinin oda koşullarında görüntüsü.....	16
Şekil 3.6. Kolemanit minerallerin SEM görüntüsü .....	16
Şekil 3.7. Laurik Asit kimyasal yapısı.....	17
Şekil 3.8 Dekanoik Asit kimyasal yapısı .....	17
Şekil 3.9. Kompozitinin hazırlama yöntemi .....	18
Şekil 3.10. Bir Saat Boyunca Fırında Isıtılmış Kolemanit Görüntüsü .....	18
Şekil 3.11. Mikroapsül hazırlama metodu.....	19
Şekil 4.1. İşlem görmemiş kolemanitin TGA Analizi .....	24
Şekil 4.2. 600 °C'de ön işlem görmüş kolemanitin TGA Analizi .....	24
Şekil 4.3. İşlem görmemiş kolemanitin tane boyut analizi .....	25
Şekil 4.4. 600°C'de ön işlem görmüş kolemanitin tane boyut analizi .....	26
Şekil 4.5. Soldan sağa LA, kolemanit ve MK1 .....	27
Şekil 4.6. Soldan sağa; LA, kolemanit (600°C) ve MK4.....	27
Şekil 4.7. Soldan sağa; LA, kolemanit (600°C) ve MK8 .....	27
Şekil 4.8. Soldan sağa DA, kolemanit ve MK9.....	28
Şekil 4.9. LA içerikli MK1 ve MK4, kompozitinin sızdırmazlık testi.....	28
Şekil 4.10. MK8 ve MK9 kompozitinin sızdırmazlık testi .....	29
Şekil 4.11. MK4	

DSC analizi.....	29	Şekil 4.12. (a-b)
600°C’de ısıtılmış kolemanit, (c-d) MK4 SEM analizi.....	31	Şekil 4.13.
kolemanit, LA, MK1 FTIR analizi .....	32	Şekil
4.14. LA, kolemanit (600 °C), MK4 FTIR analizi.....	32	





Şekil 4.15. DA, kolemanit (600°C), MK8 FTIR analizi .....	32
Şekil 4.16. DA, kolemanit, MK9 FTIR analizi .....	33
Şekil 4.17. DA/b-MF mikrokapsüllerinin yüksek sıcaklık testi sonrası görüntüleri.....	34
Şekil 4.18. MD4 DSC Analizi .....	34
Şekil 4.19. MD14 DSC Analizi.....	35
Şekil 4.20. MD40 (Kolemanit - Dekanoik asit) DSC Analizi .....	35
Şekil 4.21. MD4 DSC analizi (1, 100 ve 200 termal çevrim sonrası) .....	36
Şekil 4.22. MD14 DSC analizi (1, 100 ve 200 termal çevrim sonrası) .....	37
Şekil 4.23. MD40 DSC analizi (1, 100 ve 200 termal çevrim sonrası) .....	37
Şekil 4.24. MD4 mikrokapsülünün SEM görüntüleri .....	39
Şekil 4.25. MD14 mikrokapsülünün SEM görüntüleri.....	40
Şekil 4.26. MD40 mikrokapsülünün SEM görüntüleri .....	41
Şekil 4.27. DA, Kolemanit, MD4 FTIR analizi .....	42
Şekil 4.28. DA, Kolemanit, MD14 FTIR analizi .....	42
Şekil 4.29. DA, Kolemanit, MD40 FTIR analizi.....	42
Şekil 4.30. LA/b-MF mikrokapsülleri .....	43
Şekil 4.31. MD10 DSC sonucu .....	44
Şekil 4.32. MD9 mikrokapsülü SEM analizi .....	45
Şekil 4.33. MD10 mikrokapsülü SEM analizi.....	46
Şekil 4.34. LA, Kolemanit, MD10 FTIR analizi .....	47

## SİMGE VE KISALTMALAR

### Simgeler

$\mu$	Mikron
$^{\circ}\text{C}$	Selsius
J/g	Jul ve Gram
g/mol	Gram ve mol
g/cm <sup>3</sup>	Gram ve santimetre küp

### Kısaltmalar

	<b>Açıklama</b>
FDM	Faz Değiştiren Madde
TED	Termal Enerji Depolama
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
DSC	Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
FTIR	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
RPM	Bir Dakika İçerisinde Gerçekleştirilen Dönüş Sayısı (Revolutions Per Minute)
LA	Laurik Asit
DA	Dekanoik Asit
MF	Melamin-formaldehit

# BÖLÜM I

## GİRİŞ

Faz Değiştiren Maddeler (FDM), termal enerjiyi gizli ısı olarak depolayan maddelerdir. FDM'lerin faz değişimi sırasında maddelerin sıvı faza geçmesi uygulama alanını kısıtlamakta ve bu amaçla uygulama öncesi mikrokapsülleme veya kompozit hazırlanması tercih edilmektedir. Mikrokapsülleme ve kompozit hazırlama aktif maddenin çevreden korunması ve kolay saklanması amacıyla yapılmaktadır.

Doğal bir hammadde olan Borun ülkemizde önemli yatakları bulunur. Türkiye Dünya Bor rezervlerinin yaklaşık %72'sine sahiptir (URL-1, 2018). Ülkemizin sahip olduğu bor rezervleri dikkate alındığında bor minerali açısından doğal avantajlarımız olmasına rağmen bu doğal kaynakları değerlendirememekteyiz. Bor mineralinin doğru yerlerde kullanımı ve değerlendirilmesi ile değerleri artırılarak ülke ekonomisine büyük katkılar sağlanabilir. Bor mineralleri yapılarında değişik oranlarda bor oksit ( $B_2O_3$ ) içeren doğal bileşiklerdir. Doğada 230'dan fazla bor minerali bulunmakta olup tinkal, kolemanit, üleksit ve kernit ticari açıdan en yaygın olanlarıdır. Türkiye'de ise yaygın olarak bulunan bor mineralleri tinkal kolemanit ve üleksittir. Bor ürünleri cam sanayi, tarım, kimya seramik sektörü, uzay ve hava araçları, polimerik malzemeler, inşaat malzemeleri gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Tüketilen bor ürünlerinin yalıtımda cam elyafı, tekstil tipi cam elyafı ve borosilikat camda kullanımı yoğunlaşmıştır (URL-2, 2018).

Tez çalışması kapsamında bor minerallerinden kolemanit ile hazırlanan kolemanit içerikli FDM kompozitlerinin ve mikrokapsüllerinin termal enerji depolama uygulamalarında kullanılabilir özellikte olmaları amaçlanmıştır. Üretilen kolemanit katkılı FDM kompozitlerinin ve mikrokapsüllerinin uygulamalarda kullanımıyla sıcaklık artışıyla oluşan ısı fazlalığı depolanacaktır. Sıcaklık konfor sıcaklığının altına düştüğünde ise depolanan ısı ortama geri verilerek ortamının sabit bir sıcaklık aralığında kalması sağlanarak enerji tasarrufunda büyük katkılar öngörülmektedir (URL-3, 2018).

## BÖLÜM II

### GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÖZETİ

#### 2.1 Faz Değiştiren Maddeler

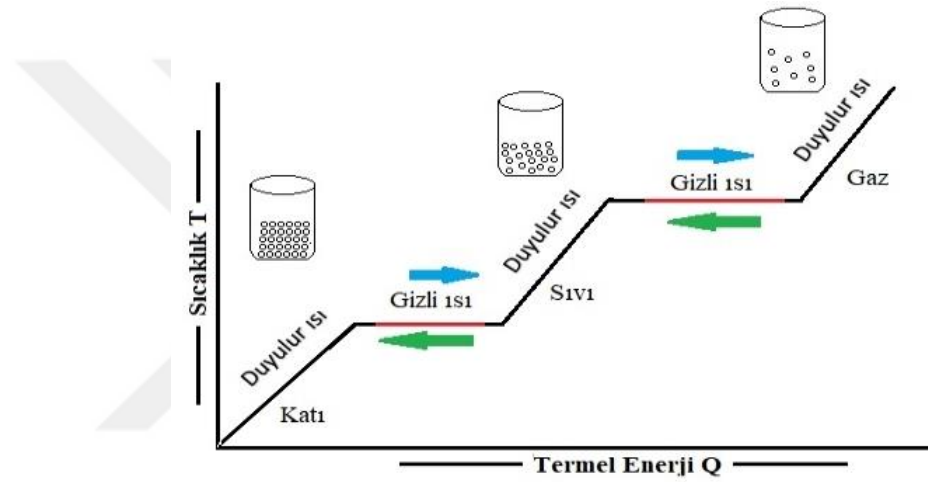
Son yıllarda dünya nüfusunun artışı ile doğru orantılı olarak enerji talebi de artmaktadır. Artan bu talebin karşılanmasında kullanılan enerji, genel olarak fosil yakıtlarla karşılanmaktadır. Fosil yakıtların yanması sonucu oluşan gazlar küresel ısınmaya neden olarak gösterilmektedir. Fosil yakıtların gelecekte tükenecek olması ve sera gazı emisyonlarında yaşanan artış araştırmacıları daha temiz ve sürdürülebilir olan yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının araştırılmasına yöneltmiştir. FDM'ler yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak fazla ısının depolanıp ihtiyaç duyulduğu zamanlarda kullanımına olanak tanımaktadır. Faz değiştiren maddeler (FDM) belirli bir sıcaklık aralığında faz geçişi yaparken (katıdan sıvıya veya sıvıdan katıya) ısı soğurabilen ve soğurduğu bu ısıyı depo edip tam tersi faz geçişi durumunda ortama yayabilen maddelerdir.

Isıtma ve soğutma yükünü azaltmak istediğimiz tüm alanlarda FDM'lerden yararlanabiliriz. FDM'lerin binalarda kullanımı en yaygın uygulamalardan biridir. FDM'ler binalarda örneğin yapı malzemelerinde kullanıldığında havanın yüksek sıcaklık değişiklikleri sırasında (gece ve gündüz) çevre ile büyük miktarda ısı alışverişini yapar ve böylece iç ortamın konfor sıcaklığına yakın bir sıcaklıkta kalmasını sağlayarak binaların ısıtma ve soğutma yükünü azaltarak gerekli enerji tüketiminin azalmasını sağlar.

Isıtma ve soğutma uygulamalarının verimliliğinin artırılmasında FDM'lerde termal enerji depolamadan (TED) yararlanılmaktadır. TED sistemleriyle ozon tabakasına zarar veren kloroflorokarbonlara (CFC) gereksinim duymadan doğrudan soğutma-ısıtma yaparak çevreyi daha az kirleten çözümler sunmakta ayrıca enerji güvenirliliği ve sürekliliği sağlamaktadır. TED yöntemleri ısı yöntem (duyulur ısı, gizli ısı) ve kimyasal yöntem (kimyasal yöntem tepkime ısı, kimyasal ısı pompası ve termokimyasal ısı pompası) olmak üzere ikiye ayrılır (Konuklu 2008). FDM'ler termal enerjiyi gizli ısı şeklinde depolayan maddelerdir.

Duyulur ısı depolama yönteminde, ısı depolama materyalin sıcaklığındaki değişim sonucunda ortaya çıkan ısıdır.

Gizli ısı, maddenin faz değişimi sırasında depolanan veya madde tarafından serbest bırakılan ısı miktarıdır. Gizli ısı depolaması katı-sıvı faz değişimi, sıvı-buhar faz değişimi ve katı-katı faz değişimi olarak ortaya çıkabilir. FDM'ler karşılaştıkları sıcaklık değişimlerinde gizli ısı depolama özelliğini kullanarak uygulama ortamının faz değiştirme sıcaklığına yakın bir aralıkta kalmasını sağlamaktadır. Şekil 2.1 FDM'lerin çalışma prensibini göstermektedir (Muruganatham, 2010).

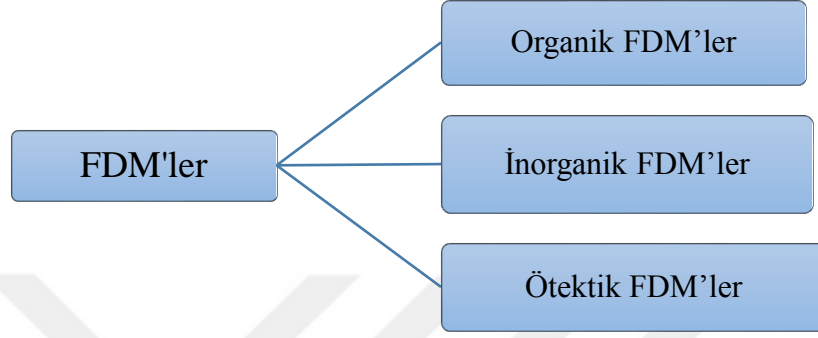


Şekil 2.1. FDM çalışma prensibi

Termokimyasal yöntemle ısı depolayan sistemler, ısı enerjisini kimyasal enerjiye dönüştürerek depolamaktadır. Gizli ısı depolama sistemleri ile karşılaştırıldığında sistemin kontrolünün zor olmasından dolayı daha karmaşıktır. Termokimyasal yöntemle ısı depolama 1) tersinir kimyasal tepkimeler, 2) kimyasal ısı pompası (absorpsiyonlu ısı pompası) ve 3) termokimyasal ısı borularında yapılabilir (Özonur, 2004).

## 2.2 FDM'lerin Sınıflandırılması

FDM'ler Şekil 2.2'de gösterildiği gibi organik, inorganik ve ötektik olmak üzere üç gruba ayrılabilir. Her kategorinin altında çok sayıda FDM bulunmaktadır.



Şekil 2.2. FDM'lerin sınıflandırılması

Organik malzemeler karbon ve hidrojen (C ve H) yapılı malzemeler olarak tanımlanmaktadır. Parafin ve yağ asit FDM'leri yüksek gizli ısı, düşük buhar basıncı, güvenilir olmaları, iyi kimyasal stabilite, düşük maliyet ve kolay temin edilebilmeleri nedeniyle en umut verici FDM'ler olarak kabul edilmektedir. Parafinlere örnek olarak; tetradekan (e.n: 4,5-5,6 °C; H=231 J/g) pentadekan (e.n: 10 °C; H=207 J/g), hegzadekan (e.n: 18,2 °C; H=238 J/g), oktadekan (e.n: 28,2 °C; H=245 J/g), nonadekan (e.n: 31,9 °C; H=222 J/g), yağ asitlerine; kaprik asit (e.n: 31,6 °C; H=163 J/g), laurik asit (e.n: 44,2 °C; H=183 J/g), sterarik asit (e.n: 69,6 °C; H=222 J/g), ve palmitik asit (e.n: 62,9 °C; H=212 J/g), verilebilir (Karakuzu ve Coşkun, 2015). Yanıcı olmaları ve düşük termal iletkenlik göstermeleri organik FDM'ler için dezavantaj oluşturmaktadır.

İnorganik FDM'lere tuz hidratları örnek olarak verilebilir. Tuz hidratları  $AB_nH_2O$  genel formülüne sahiptir. TED uygulamalarında uygun FDM adayı olarak kullanılacak çok sayıda tuz hidratı vardır. Uygun erime davranışı, düşük aşırı soğuma gösterme gibi avantajlara ve faz değişimi sırasında faz ayrımı göstermeleri ve korozif olma dezavantajlarına sahiptir (Mangold ve Selberg, 2015).

Ötektikler, iki veya daha fazla FDM'nin birleşerek daha düşük erime noktasına sahip bir karışım oluşturma esasına dayanır. Ötektiklerin erime noktaları, ilave edilen malzemelerin fraksiyonlarına bağlıdır. Hazırlanan karışımların ötektik karışım

oluşturabilmek amacıyla uygun oranları belirlenmez ise karışım iki tane erime noktasına sahip olan bir karışım olur (Mangold ve Selberg, 2015).

### **2.3 Faz Değiştiren Maddelerin Kullanım Alanları**

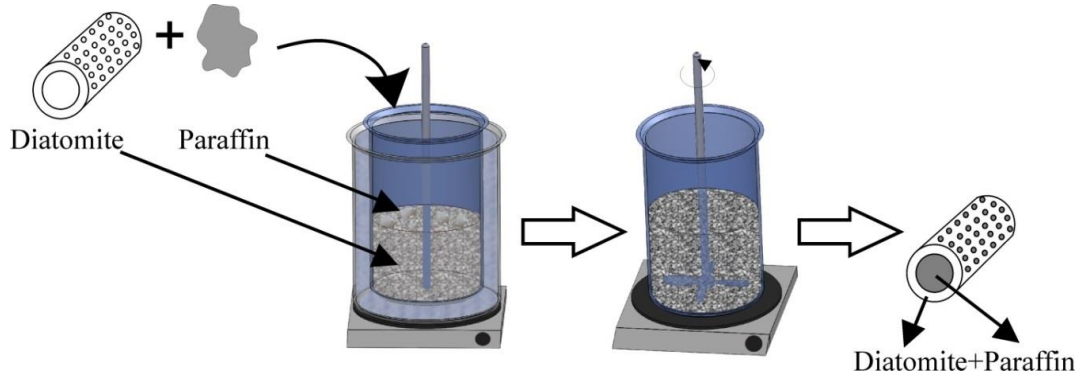
Günümüzde FDM'ler termal enerji depolamak için büyük bir öneme sahiptir. FDM'ler ısıtma ve soğutma yükünün azaltılarak enerjinin daha verimli kullanımına ve enerji tasarrufuna imkân sağlamaktadır. FDM'de termal enerji depolama uygulamaları çok çeşitli olmakla beraber ısıtma ve/veya soğutma yükünün azaltılması amacı ile özellikle; binalarda, tekstil, ev ısıtma, gıda taşımacılığı, medikal, elektronik sektöründe kullanılmaktadır (Konuklu, 2008).

### **2.4. Kompozit**

İki veya daha fazla sayıdaki aynı veya farklı gruptaki malzemelerin, en iyi özelliklerini bir araya toplamak ya da ortaya yeni bir özellik çıkarmak amacıyla, bu malzemelerin makro seviyede birleştirilmesiyle oluşan malzemelere “Kompozit Malzeme” denir (Şahin, 2000). Kompozitler genel olarak «matris» ismi verilen bir ana malzeme ve «takviye elemanı» ismi verilen bir malzemeden oluşturulur.

Kompozit hazırlama aktif maddenin çevreden korunumu ve daha kolay saklanması amacıyla yapılmaktadır. FDM kompozit hazırlama sırasında organik veya inorganik bir materyal matris FDM ise takviye elemanı olarak kullanılmaktadır. FDM kompozit hazırlamadaki temel amaç faz değişimi sırasında oluşabilecek sızıntıların önlenmesidir. FDM kompozit hazırlama sırasında kullanılan matrislere; poliüretan, polietilen, kitosan, selüloz, SiO<sub>2</sub>, diyatomit, selüloz, perlit örnek olarak verilebilir (Konuklu vd., 2018).

FDM kompozit hazırlamada genellikle doğrudan emdirme yöntemi kullanılır. Matris içerisindeki FDM oranını arttırmak için ultrasonik destekli veya vakumlu emdirme yöntemi kullanılabilir (şekil 2.3). Ayrıca matris ön işlemlerden geçirilerek te FDM absorpsiyon oranı arttırılabilir (Konuklu vd., 2019)



**Şekil 2.3.** Doğrudan emdirme yöntemi ile FDM kompoziti hazırlama (Konuklu vd., 2015)

## 2.5 Mikrokapsülleme

Mikrokapsülleme aktif bir maddenin (katı, sıvı ve gazın) polimerik bir madde ile çevresinin bir duvar halinde kaplanması işlemidir. Mikrokapsüllerin boyutu hazırlanma metoduna göre  $1\mu\text{m}$ 'den  $1\text{mm}$ 'ye kadar değişiklik gösterir. Mikrokapsülleme teknolojisi FDM, gıda, tekstil, tıp, boya, farmakoloji, kozmetik, ve fotoğraf gibi birçok uygulamada kullanılır. Mikrokapsülasyon işleminde genellikle dış duvar polimeri olarak nişasta, jelatin, selüloz, albumin, proteinler, vitaminler, stiren, melamin formaldehit, amonyum sülfat, arap zıncı, üre formaldehit, polietilen glkol ve polistiren tercih edilmektedir (Mert vd., 2018; Ötleş, 2018).

Son yıllarda FDM'lerin mikrokapsülmesi üzerine yapılan çalışmalar dikkat çekmektedir. FDM'lerin faz değişimi sırasında maddelerin sıvı faza geçmesi uygulama alanını kısıtlamakta ve bu amaçla uygulama öncesi mikrokapsülleme veya kompozit hazırlanması tercih edilmektedir. Mikrokapsülleme ve kompozit hazırlama aktif maddenin çevreden korunumu ve daha kolay saklanması amacıyla yapılmaktadır. Mikrokapsüllemiş veya kompozit FDM'ler günümüzde birçok uygulamada termal tampon bölgesi oluşturma amacı ile kullanılmaktadır (Asker ve Günerhan, 2016; Konuklu, 2008; Mhadhbi, 2018; Çimen, 2007).

FDM'lerin mikrokapsülleri farklı metotlar ile hazırlanabilmektedir. Bu yöntemler; ara yüzey polimerizasyonu, in-situ polimerizasyonu, kompleks koaservasyon, basit koaservasyon, süper kritik akışkan yöntemi, soğutarak kurutma, sıcak eriyik yöntemi,



püskürterek kurutma yöntemi, santrifüj yöntemi, rotasyonel süspansiyon ayırma, akışkan yatak yöntemi, elektrostatik yöntem olarak özetlenebilir (Pektaş, 2017).

## 2.6 Bor Minerali ve Kullanım Alanları

Türkiye Dünya Bor rezervlerinin yaklaşık %72'sine sahiptir (Boren, 2014). Ülkemizin sahip olduğu bor rezervleri dikkate alındığında bor minerali açısından doğal avantajlarımız olmasına rağmen bu doğal kaynakları değerlendirememekteyiz. Bor mineralinin doğru yerlerde kullanımı ve değerlendirilmesi ile değerleri artırılarak ülke ekonomisine büyük katkılar sağlanabilir. Bor mineralleri yapılarında değişik oranlarda bor oksit ( $B_2O_3$ ) içeren doğal bileşiklerdir. Doğada 230'dan fazla bor minerali bulunmakta olup tinkal, kolemanit üleksit ve kernit ticari açıdan en yaygın olanlarıdır. Türkiye'de ise yaygın olarak bulunan bor mineralleri tinkal, kolemanit ve üleksittir. Bor ürünleri cam sanayi, tarım, kimya seramik sektörü, uzay ve hava araçları, polimerik malzemeler inşaat malzemeleri gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Tüketilen bor ürünlerinin yalıtımda cam elyafı, tekstil tipi cam elyafı ve borosilikat camda kullanımı yoğunlaşmıştır (Enerji, 2018). Ticari öneme sahip başlıca bor mineralleri Çizelge 2.1'de sunulmuştur.

**Çizelge 2.1.** Ticari öneme sahip başlıca bor mineralleri

Mineral	Formülü
Kernit	$Na_2B_4O_7 \cdot 4H_2O$
Tinkalkonit	$Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$
Tinkal	$Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$
Probertit	$NaCaB_5O_9 \cdot 5H_2O$
Üleksit	$NaCaB_5O_9 \cdot 8H_2O$
Kolemanit	$Ca_2B_6O_{11} \cdot 5H_2O$
Meyerhofferit	$Ca_2B_6O_{11} \cdot 7H_2O$
İnyoit	$Ca_2B_6O_{11} \cdot 13H_2O$
Pandermit	$Ca_4B_{10}O_{19} \cdot 7H_2O$
İnderit	$Mg_2B_6O_{11} \cdot 15H_2O$
Hidroborasit	$CaMgB_6O_{11} \cdot 6H_2O$
Borasit	$Mg_3B_7O_{13}Cl$
Aşarit	$Mg_2B_2O_5 \cdot H_2O$
Datolit	$Ca_2B_2Si_2O_9 \cdot H_2O$
Sassolit(doğal borik asit)	$H_3BO_3$

Bor mineralleri mükemmel performansları nedeniyle araştırmacılar için önemli bir konudur (Kalafatoğlu ve Örs, 2003). Günümüzde bor mineralleri üzerine araştırma

yapılarak kullanım alanlarının artırılması doğal minerallerimizin değerlendirilmesi ve ülke ekonomisi açısından büyük önem taşımaktadır.

## 2.7 Literatür Özeti

FDM belirli bir sıcaklık aralığında faz geçişi yaparken (katıdan sıvıya veya sıvıdan katıya) ısı soğurabilen ve soğurduğu bu ısıyı depolayıp tam tersi faz geçişi durumunda ortama yayabilen maddelerdir. FDM'lerin faz değişim sırasında akma göstermesi ve tuz hidratlarının nemli bölgelerde akabilmeleri gibi dezavantajları mevcuttur. Ayrıca bina uygulamalarında duvarlardan veya kullanılan malzemeden akabilirler (Koşan ve Aktaş, 2018; Konuklu ve Paksoy, 2011). FDM'lerin akmasını önleyebilme ve daha kolay kullanımını sağlayabilme, ayrıca uygulamalara homojen bir şekilde yerleştirebilme amacı ile mikrokapsülleme ve kompozit hazırlama çalışmaları dikkat çekmektedir.

Dünyada FDM'lerin mikro/nanokapsülleme ve ısıtma soğutma uygulamalarında kullanılması son yıllarda en çok dikkat çeken çalışmalardandır (Konuklu, 2014). Örneğin kapsül çekirdek/dış duvar materyali olarak Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mikrokapsülleri yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılmak amacı ile geliştirilmiştir. Erime noktası 660°C olan Al FDM olarak kullanılmıştır. Mikrokapsüller iki aşamada hazırlanmıştır. Elde edilen kapsüllerin erime ve donma gizli ısıları 273-301 J/g olarak belirlenmiştir (Nomura vd., 2019). 2006 yılında termal enerji depolama için kompleks koaservasyon yöntemleri ile koko yağ asidi mikrokapsülleri hazırlanmıştır. (Özonur vd., 2006). Parafin ve palmitik asit poly(stiren-ko-etil akrilatakrilat) ile mikrokapsülleme çalışmaları (Giro-Paloma vd., 2015). Kullanılan FDM'lerin ve dış duvar materyallerinin organik olması mikrokapsülleme FDM'lerin uygulama alanını arttırmaktadır. Bu amaçla hazırlanan kaprilik ve dekanolik asidin kitosan-jelatin kapsüllerinin erime noktası ve gizli ısıları sırasıyla 11,5 ve 24,2 °C ile 79 ve 73 J/g olarak belirlenmiştir (Konuklu ve Paksoy, 2015). Mikrokapsülleme çalışmaları incelendiğinde mikrokapsülleme verimini birçok parametrenin etkilediği anlaşılmaktadır. Bu kapsamda kaprilik asidin mikrokapsülleme sırasında emülsiyon sıcaklığı, karıştırma süresi ve emülgatör türünün etkili olduğu anlaşılmıştır. Bu çalışmada parametrelerin optimizasyonu ile elde edilen kapsüller analiz edilmiş ve erime donma sıcaklığının 93,9 ve 106,1 J/g olduğu ayrıca kapsül boyutunun 200 nm-1,5 µm olduğu belirlenmiştir (Konuklu vd., 2014).

Kompozitler en az iki farklı malzemenin makro boyutlarda birleşerek oluşturduğu yeni malzemelerdir. Dünyada kompozit teknolojisi aynı zamanda mikrokapsulasyon teknolojisi gibi gelişmektedir. Kompozit üretimindeki amaç tek başına istenilen özelliğe sahip olmayan malzemelere kullanım alanlarına göre uygun özellikler kazandırmak ve kullanılabilir hale getirmektir. FDM kompozitleri ve mikrokapsüllenmiş FDM'lerin güneş enerjisi depolama sistemlerinde, binalarda gıda ürünlerinin taşımacılığında ısı konforu sağlamak amacıyla kullanılabilmesi belirlenmiştir.

FDM'lere uygulamalarda kullanım kolaylığı sağlayabilecek bir diğer yöntem ise tutucu bir matris yardımı ile kompozit materyaller hazırlanmasıdır. Son yıllarda FDM kompozitlerin ile ilgili yapılan çalışmaların sayısı dikkat çekici düzeydedir (Harikrishnan vd., 2019; Gök vd., 2019; Li vd., 2019; Yang vd., 2019; Wu vd., 2019; Konuklu vd., 2019). Kompozit FDM'lerde FDM genellikle takviye elemanı olarak kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalar incelendiğinde diatomit (Konuklu vd., 2015), sepiyolit (Konuklu vd., 2016), grafit (Yuan vd., 2019), perlit (Cheng vd., 2019), SiO<sub>2</sub> (Harikshnan vd., 2019), polietilen (Lu vd., 2019), epoksi (Ma vd., 2019) selüloz (Konuklu vd., 2019) gibi birçok matris kullanılmıştır.

Literatürdeki bor mineralli FDM çalışmaları incelendiğinde kolemanit/üleksit-Mg(OH)<sub>2</sub> kompoziti doğrudan emdirme yöntemi ile hazırlanmış ve bina uygulamalarında kullanılabilmesi belirtilmiştir (Horpan vd., 2019).

Son yıllarda FDM'lerin sıcaklık değişimleri karşısında daha çabuk depolama ve salıverme işlemlerinin yapılabilmesi amacı ile termal iletkenliğinin artırılması çalışmaları dikkat çekmektedir. Termal iletkenliğin artırılması amacı ile kullanılan materyallerden bir tanesi de hegzagonal bor nitrür (h-BN)'dür.

Jeong ve arkadaşları 2014 yılında FDM kompozitleri hazırlamak için biyo-bazlı bir FDM kullanarak vakumlu emdirme yöntemi ile kompozit hazırlamışlardır. Deneyde gizli ısı kapasitesi 149,2 J/g ve erime noktası 29,38 °C olan biyo-bazlı FDM kullanmışlardır. SEM, FTIR, DSC ve TGA ile biyo-bazlı FDM'nin bor nitrürlü kompozitin kimyasal bağları, ısı kapasiteleri, ısı direnci ve ısı iletkenliği analiz edilmiştir. Sonuçlara göre bor nitrürlü biyo-bazlı FDM'nin yüksek termal iletkenlik özelliklerine sahip olduğu belirlenmiştir (Jeong vd., 2014).

Fang ve arkadaşları 2014'de parafin esaslı h-BN nano yaprakları ile kompozit hazırlamışlardır. Bu çalışmada FDM olarak 58 °C erime noktasına sahip parafin ve % 99,5 saflığında olan h-BN kullanılmıştır. Kompozitler parafin içerisine farklı oranlarda (% 0, % 1, % 2, % 5 ve % 10) h-BN eklenmesi ile hazırlanmış ve karakterizasyon testleri yapılmıştır. Kompozit içerisine eklenen h-BN ile parafinin termal iletkenliğinin % 10-% 60 arasında arttığı belirlenmiştir (Fang vd ,2014).

Su ve arkadaşları 2016'de FDM olarak n-oktadekan (ODE) ve stearik asit (SA)'ten oluşan ötektik karışımın termal iletkenliğini arttırmak amacı ile h-BN kullanmışlardır. Elde edilen kompozitlerin SEM görüntüleri sunulmuştur. Ayrıca DSC analizi sonucunda kompozit FDM'lerin erime ve donma noktaları ile gizli ısı depolama kapasitelerinin sırasıyla; 27,89 °C, 26,53 °C ve 207,6 kJ/kg, 202,05 kJ/kg olduğu ve termal iletkenliğinin arttığı belirlenmiştir (Su vd., 2016).

Lin ve Rao 2016 yılında n-eicosan (parafin)'ın ısıl iletkenliği arttırmak için bor nitrür nanotüpleri (BNNT'ler) kullanarak FDM nanokompozitleri üretmişlerdir. Elde edilen kompozit FDM'lerin erime noktası, ısı kapasitesi ve diğer termal özelliklerini incelenmişlerdir. BNNS ve BNNT'nin parafine eklenmesiyle, FDM'inin termal iletkenliği büyük ölçüde arttırılmıştır (Lin ve Rao, 2017).

Düşük ısı iletkenlik ve erime sırasında sızıntı FDM'lerin uygulanmasını sınırlayan bir konudur. Qian ve arkadaşları 2017 yılında parafin FDM'lerinin termal iletkenliğini arttırmak ve uygulama zamanında gerçekleşen sızıntıyı engellemek için h-BN gözenekli yapılar ile birlikte kompozit imal etmişlerdir ve (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>)'de sızıntıyı önleyici madde olarak kullanılmıştır. H-BN katkıları ağırlıkça % 18, % 22 ve % 26 olacak şekilde hazırlanmıştır. Ağırlıkça % 18 h-BN içeren FDM'lerin gizli ısı kapasitesi 165,4 J/g, -176,1 j/g ve ısı iletkenliği 0,85 W/mK olarak belirlenmiştir (Qian vd., 2018).

Borik asitin FDM olarak değerlendirilmesi oldukça yeni bir konudur. Borik asit ötektik karışımların hazırlanmasında kullanılabilir. Bu kapsamda; Xie ve arkadaşları oksalik asit dihidrat (OCD) ve borik asit (BA)'ten oluşan ikili bir ötektik hazırlamıştır. Ötektik karışımın bileşeni ağırlıkça % 88 OCD ve % 12 BA içermektedir. OCD/BA ötektik karışımının erime noktası 87,3 °C ve erime ve donma gizli ısı 344,-262 J/g

olarak belirlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre hazırlanan OCD/BA ötektik karışımlarının güneş enerjisi sistemleri, atık ısı geri kazanımı, sıcaklık düzenleyici tekstiller ve termal depolama tanklarında ısı enerjisi depolama materyalleri olarak kullanılabilirler bildirilmiştir (Xie vd., 2017).

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde kolemanitin doğrudan emdirme yöntemi ile organik FDM'lerle herhangi bir kompozit çalışmasının olmadığı anlaşılmaktadır. Ayrıca bor mineralinin mikrokapsülleme proseslerinde dış duvar polimerine katkı maddesi olarak ekleneceği ilk çalışma olması bakımından önem kazanmaktadır. Bu tez çalışmasında termal enerji depolama uygulamalarında kullanılabilir ısı yönetimi sağlayabilecek bor minerali esaslı FDM kompozitlerinin ve mikrokapsüllerinin geliştirilmesi ve incelenmesi hedeflenmiştir. Üretilen kompozitlerin güvenli bir şekilde termal konfor sağlayıcı ve termal tampon oluşturucu madde olarak kullanılabilirler ve enerji tasarrufunda büyük katkılar sağlayacakları öngörülmektedir.

## BÖLÜM III

### MATERYAL VE METOT

#### 3.1 Materyal

Bu çalışmada FDM'lerin mikrokapsülenmesi için kullanılan materyaller;

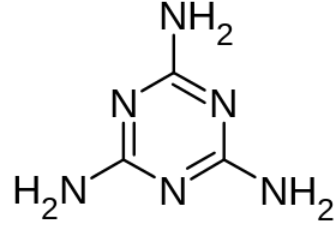
- Melamin
- Amonyum sülfat
- Tween 80
- Formaldehit
- Kolemanit
- Faz Değiştiren Madde (Laurik asit ve dekanoik asit)'dir.

##### 3.1.1 Melamin

Melamin,  $C_3H_6N_6$  formülüne sahip organik bileşiktir. Bu bileşik, 1, 3, 5-triazin iskeletine sahip bir siyanid trimeridir. Bu çalışmada kapsül dış duvarında bor minerali katkılı melamin-formaldehit kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan melamin Sigma ürünü bir melamindir. Özellikleri Çizelge 3.1'de kimyasal yapısı Şekil 3.1'de verilmiştir (Özonur, 2004).

**Çizelge 3.1.** Kullanılan melaminin özellikleri

Molekül Formülü	$C_3H_6N_6$
Çözünürlük	%99
Molekül kütlesi	126,12 g/mol
Görünüm	Beyaz
Çözücü	Su; 25 mg/mL çözünür



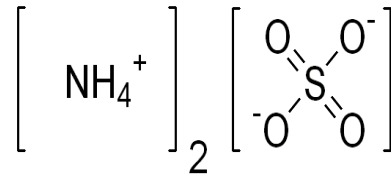
**Şekil 3.1.** Melaminin kimyasal yapısı

### 3.1.2 Amonyum sülfat

Amonyum sülfat, inorganik bir bileşiktir, suda yüksek oranda endotermik olarak çözünür. Bu çalışmada kullanılan amonyum sülfat Merck ürünüdür. Kullanılan Amonyum sülfatın özellikleri Çizelge 3.2’de, kimyasal yapısı Şekil 3.2’de verilmiştir.

**Çizelge 3.2.** Kullanılan Amonyum Sülfat özellikleri

Kimyasal Formül	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Molar Kütle	132,14 g/mol
pH	5 (100 g/L H <sub>2</sub> O)
Suda Çözünürlük	754-764 g/L
Yoğunluk	1,77 g/cm <sup>3</sup> (20°C)



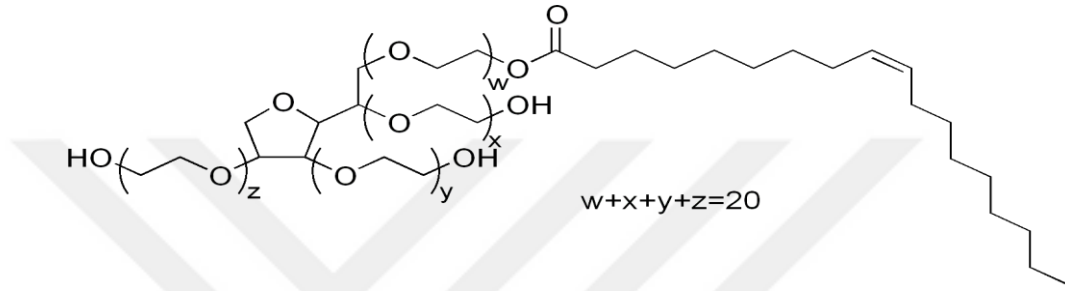
**Şekil 3.2.** Amonyum sülfatın kimyasal yapısı

### 3.1.3 Tween 80

Tween 80 (Polisorbat 80) bir emülgatördür. Bu çalışmada kullanılan Tween 80 Merck ürünüdür. Kullanılan Tween 80’in özellikleri Çizelge 3.3’de kimyasal yapısı Şekil 3.3’de verilmiştir (Feng vd., 2006).

**Çizelge 3.3.** Kullanılan Tween 80 özellikleri

Kimyasal Formül	$C_{64}H_{124}O_{26}$
Molar Kütle	1310 g/mol
Kaynama noktası	100 ° C
Suda Çözünürlük	Çok çözünür
Yoğunluk	1,06-1,09 g / mL



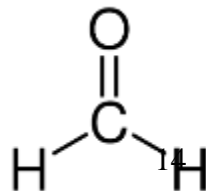
**Şekil 3.3.** Tween 80 kimyasal yapısı

### 3.1.4 Formaldehit

Formaldehit aldehit grubunun en basit üyesidir. Kimyasal formülü HCHO'dur. Formaldehit oda sıcaklığında gaz halde bulunur ve suda iyi çözünür. Formaldehit genellikle formalin adı verilen % 37'lik sulu bir çözelti halinde verilir. Bu çalışmada kullanılan Formaldehit Merck ürünüdür. Özellikleri Çizelge 3.4'de kimyasal yapısı şekil 3.4'de verilmiştir (Dressler, 1977).

**Çizelge 3.4.** Kullanılan Formaldehit özellikleri

Kimyasal Formül	$CH_2O$
Molar Kütle	30,031 g/mol
Çözünürlük	Su, aseton
Yoğunluk	1,09 g / mL





### Şekil 3.4. Formaldehit kimyasal yapısı

#### 3.1.5 Kolemanit

Kolemanit kimyasal formülü  $\text{CaB}_3\text{O}_4(\text{OH})_3\text{H}_2\text{O}$  olup, Türkiye, Sırbistan, Meksika, Kazakistan, Yunanistan, Kanada, İran ve Arjantin ve ABD’de bulunmaktadır. Dünyanın bor rezervlerinin % 70’inin bulunduğu Türkiye’de bulunan kolemanit, dünya bor lideri Eti Maden’in uzmanları tarafından çıkarılmakta ve yüksek teknoloji yoğunlaştırıcı tesislerinde zenginleştirme işlemlerinden geçirilmektedir. Kolemanit birçok sektörde kullanılmaktadır. Cam ve seramik sektörü kullanımı en yaygın olanıdır. Dâhil olduğu ürünlerin ömrünü uzatır ve dayanıklılıklarını en üst seviyeye çıkarır. Metalurji, gübre, cam elyafı, deterjan ve kozmetik sanayinde de sıkça tercih edilmektedir (Kula vd., 2001).

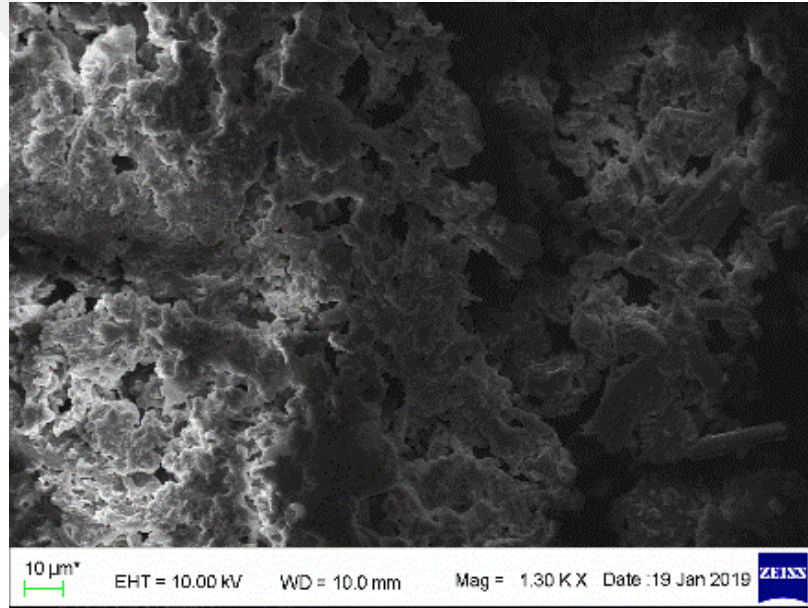
Bu çalışmada kullanılan kolemanit Eti Maden’den temin edilmiştir. Kullanılan kolemanitin Çizelge 3.5’de kimyasal özellikleri, Şekil 3.5’de kolemanit mineralinin oda koşullarında görüntüsü ve Şekil 3.6’de kolemanit minerallerin SEM görüntüsü verilmiştir

**Çizelge 3.5.** Kullanılan Kolemanit özellikleri

Kimyasal Formül	$(\text{CaB}_3\text{O}_4 (\text{OH})_3 \cdot \text{H}_2\text{O})$
Sertliği	4-4,5
özgül ağırlığı	2,42 gr / cm
Çözünürlük	İyi



**Şekil 3.5.** Kolemanit mineralinin oda koşullarında görüntüsü



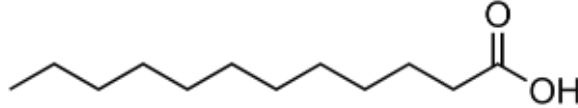
**Şekil 3.6.** Kolemanit minerallerin SEM görüntüsü

### **3.1.6 Faz değiştiren maddeler (FDM)**

Bu çalışmada faz değiştiren madde olarak; dekanolik asit ve laurik asit kullanılmıştır.

### 3.1.7 Laurik asit

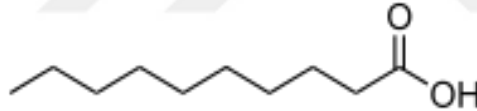
Laurik asit (LA) 12-karbon atomlu bir zincire sahip kimyasal formülü  $C_{12}H_{24}O_2$  olan ve hindistan cevizinden ekstrakte edilen doymuş bir yağ asididir. Erime sıcaklığı  $43,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  ve Molar Kütlesi  $200,32\text{g/mol}$ 'dür. Şekil 3.7. Laurik asit kimyasal yapısını göstermektedir.



Şekil 3.7. Laurik asit kimyasal yapısı

### 3.1.8 Dekanoik asit

Dekanoik asit (DA), 10 karbon atomlu bir zincire sahip kimyasal formülü  $CH_3(CH_2)_8COOH$  (e.n:  $31,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  ve Ma:  $172,26\text{g/mol}$ ) olan düz zincirli doymuş yağ asididir (Şekil 3.8.). Dekanoik asit, sert kokulu beyaz kristalimsi bir katıdır.



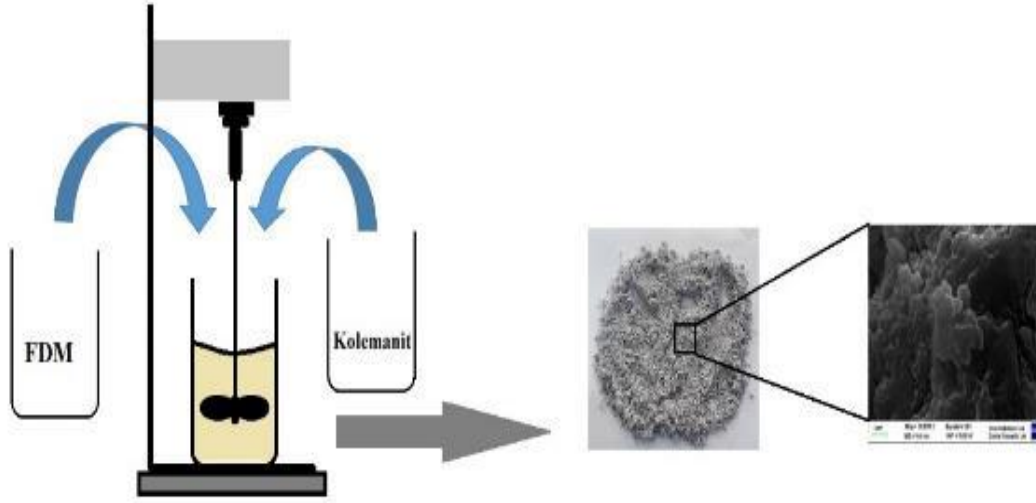
Şekil 3.8. Dekanoik asit kimyasal yapısı

## 3.2. Metod

### 3.2.1 Kompozit

Bu çalışmada kompozitlerin hazırlanmasında Şekil 3.9.'da şematize edilen doğrudan emdirme yöntemi kullanılmıştır. İlk aşamada LA tamamen eriyene kadar ısıtılmıştır. İkinci aşamada çok yavaş bir şekilde kolemanit minerali eklenmiştir. LA ve kolemanit minerali 15 dakika boyunca mekanik karıştırıcı ile karıştırılmış ve son aşamada oda koşullarında 72 saat boyunca kurutulmuştur. Çizelge 3.6.'de hazırlanan kompozitlerin bileşenleri verilmiştir.

FDM/kolemanit kompozitlerinin verimini artırma amacı ile kolemanit yüksek sıcaklıktaki fırında (Şekil 3.10.) bir saat boyunca ısıtılarak (600°C) kompozit üretimi tekrarlanmıştır.



Şekil 3.9. Kompozit hazırlama yöntemi

Çizelge 3.6. Kompozit malzemelerinde kullanılan malzemelerin özelliği

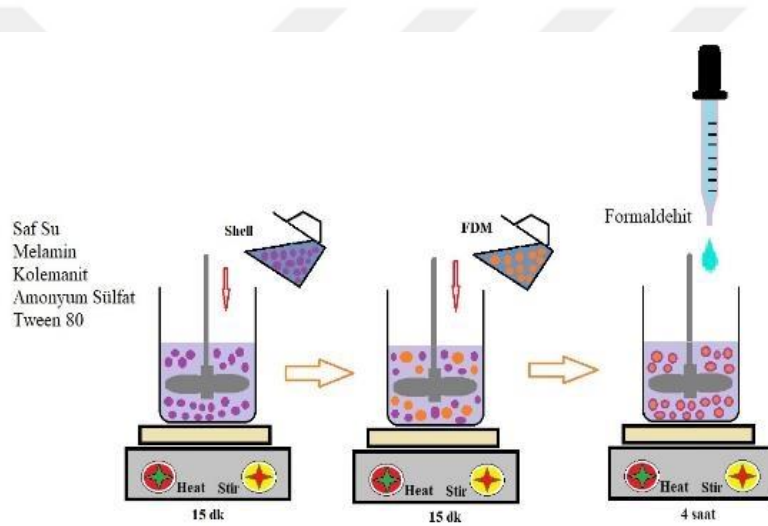
Örnek	FDM	KOLEMANİT
MK1	LA 1g	9 gr
MK4	LA 2g	(600 °C'de ısıtılmış) 8 gr
MK8	DA 2g	(600 °C'de ısıtılmış) 8 gr
MK9	DA 1g	9 gr



Şekil 3.10. Bir saat boyunca fırında ısıtılmış kolemanit görüntüsü

### 3.2.2 Mikrokapsülleme

Mikrokapsülleme sırasında LA ve DA çekirdek materyali ve kolemanit katkılı melamin-formaldehit reçinesi kapsül polimeri olarak kullanılmıştır. Mikrokapsüllerin hazırlanmasında; ilk aşamada beher içerisine 100-200 ml su, 1,40-2,80 g kolemanit, 0,28-0,56 g amonyum sülfat ve 1,30-2,60 g Tween 80 eklenmiş ve manyetik karıştırıcıda 70-90°C’de 15 dk boyunca karıştırılmıştır. İkinci aşamada; 10-12 g FDM beher içerisine eklenerek karıştırma işlemine 15 dk devam edilmiştir. Üçüncü aşamada; 2-14 ml formaldehit eklenmiş ve 4 saat boyunca manyetik karıştırıcıda karıştırma işlemine devam edilmiştir. Son aşamada üretilen mikrokapsüller filtre kâğıdı yardımı ile süzölmüş ve oda sıcaklığında kurutulmuştur (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Mikrokapsül hazırlama metodu

Bor minerali katkılı FDM mikrokapsülleri hazırlanırken öncelikle kullanılacak kolemanit miktarı optimize edilmiştir. Bu aşamada birçok deney yapılmış olup burada bir bölümü sunulmuştur. Bu çalışmada karıştırma hızı, proses sıcaklığı geri soğutucu kullanımı ve bileşenlerin miktarı parametre olarak değerlendirilmiştir. DA’in bor minerali (kolemanit) katkılı MF reçinesi (DA/b-MF) ile hazırlanan mikrokapsülleri deney koşulları Çizelge 3.7.’da özetlenmiştir.

**Çizelge 3.7. DA/b-MF mikrokapsülleri**

Örnek	Melamin (g)	Kolemanit(g)	G.soğutucu	Hız (rpm)	Sıcaklık (°C)
MD4	1,80	2,80		850	60-70
MD14	1,40	3,20		1100	70-80
MD25	1,80	2,80		1500	70-80
MD26	1,80	2,80		1500	80-90
MD27*	1,80	2,80		1500	80-90
MD39	1,80	2,80	+	1500	80-90
MD40	1,80	2,80	+	1500	80-90

- MD 40'da 12 gr DA kullanılmışken diğer deneylerde 10 gr kullanılmıştır.

\* Su oranı arttırılmıştır.

LA'in kolemanit katkılı MF reçinesi (LA/b-MF) ile hazırlanan mikrokapsülleri hazırlanırken karıştırma hızı, proses sıcaklığı ve geri soğutucu kullanımı belirlendikten sonra proses içerisinde kullanılan formaldehit miktarı minimum hale getirilmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda bileşenlerin miktarının yanısıra formaldehit miktarı da parametre olarak değerlendirilmiştir. LA/b-MF mikrokapsülleri deney koşulları Çizelge 3.8.'da özetlenmiştir.

**Çizelge 3.8. LA/b-MF mikrokapsülleri**

Örnek	Melamin(g)	Kolemanit(g)	Formaldehit(ml)	Hız(rpm)	Sıcaklık(°C)
MD9	1,80 gr	2,80 gr	14 ml	1500	80-90
MD10	1,40 gr	3,20 gr	14 ml	1500	80-90
MD17	1,80 gr	2,80 gr	2 ml	1500	80-90
MD18	1,80 gr	2,80 gr	4 ml	1500	80-90
MD19	1,80 gr	2,80 gr	6 ml	1500	80-90
MD20	1,80 gr	2,80 gr	8 ml	1500	80-90
MD21	1,80 gr	2,80 gr	10 ml	1500	80-90
MD22	1,80 gr	2,80 gr	12 ml	1500	80-90

Bu çalışma kapsamında üretilen bor minerali katkılı FDM kompozitleri ve kapsülleri termal, kimyasal, yapısal ve dayanım açısından sırasıyla DSC, FTIR, SEM ve yüksek sıcaklık testi ile analiz edilmiştir. Ayrıca kolemanitin yüksek sıcaklıkta ısıtılması sonucu değişimini incelemek amacı ile partikül boyut analizi ve TGA analizi yapılmıştır.

### **3.2.3 Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC)**

Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC), örnek materyal ısıtılırken, soğutulurken veya sabit bir sıcaklıkta tutulurken soğurulan ya da salıverilen enerji miktarını ölçer. Çalışmalarımız sırasında FDM'lerin ve mikrokapsüllenmiş FDM'lerin termal özellikleri; DSC (Perkin Elmer Diamond, 4000) ile belirlenmiştir. Analizler 5°C/dk ısıtma/soğutma hızı ile gerçekleştirilmiş ve 5 mg örnek kullanılmıştır.

### **3.2.4 FTIR Kullanarak kimyasal analiz metodu**

FDM'lerin mikrokapsülleme ve kompozit hazırlama işlemi sırasında kimyasal kararlılığını belirleme amacıyla proses öncesi ve sonrası FTIR analizleri yapılmıştır. Elde edilen iki spektrum karşılaştırılarak FDM'lerin proses sonucunda kimyasal yapılarında bir değişim olup olmadığı belirlenebilmektedir. Spektrumlar (Perkin Elmer) 400–4000 cm<sup>-1</sup> dalga boyu aralığında ve oda koşullarında yapılmıştır.

### **3.2.5 SEM kullanarak yapısal özelliklerin belirlenmesi metodu**

Mikrokapsüllenmiş ve kompozit FDM'lerin yapısal özelliklerini belirlemek amacıyla SEM analizleri yapılmıştır. Analizler sırasında iletkenliğinin artırılması ve daha düzgün görüntülerin alınabilmesi amacıyla örnekler altın ile kaplanmıştır.

### **3.2.6 Yüksek sıcaklıklara (95-100°C) dayanım testi**

Üretilen kompozitlerin ve mikrokapsüllerin termal dayanımlarını belirleme amacı ile su banyosunda 95°C'de 60 dk boyunca bekletilmiştir. 60 dakikanın sonunda numunelerin FDM sızdıran sızdırmadıkları kontrol edilmiştir.

### **3.2.7 Termal çevrim testi**

Üretilen kompozitlerin ve mikrokapsüllerin termal çevrim sonrasındaki termal kararlılığını belirleme amacı ile termal çevrim analizleri; BIOER TC-25/H thermal

evrim cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Termal evrim sonrasındaki DSC analizleri çevrim öncesi durum ile karşılaştırılarak ürünlerin termal kararlılıkları belirlenmiştir.

### **3.2.8 Tane boyut analizi**

Kolemanit mineralinin ortalama tane boyutları ve tane boyut dağılım diyagramları, tane boyutu analiz cihazı (Malvern) ile belirlenmiştir.

### **3.2.9 Termal gravimetrik analiz**

Bu alışmada TGA, kolemanitin ısıtılması sonucu termal kararlılığını ölçmede kullanılmıştır. Bu amaçla işlem görmemiş ve 600°C'de ısıtılmış kolemanit oda sıcaklığından 80°C ye kadar 10°C/dk hızla azot atmosferinde ısıtılmıştır.



## BÖLÜM IV

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada termal enerji depolama uygulamalarında ısı yönetimi sağlayabilecek bor minerali esaslı FDM kompozitleri ve mikrokapsülleri/mikrokompozitleri incelenmiştir. Üretilen kompozitlerin ve mikrokapsüllerin/mikrokompozitlerin erime donma davranışlarının incelenmesi ve termal enerji depolama kapasitelerini belirlemek amacıyla DSC analizleri, kimyasal bir değişimin oluşup oluşmadığını belirlemek amacıyla FTIR analizleri, morfolojik özelliklerinin belirlenmesi için SEM analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları bu bölümde sunulmuştur.

#### 4.1 Bor Minerali Esaslı FDM Kompozitleri

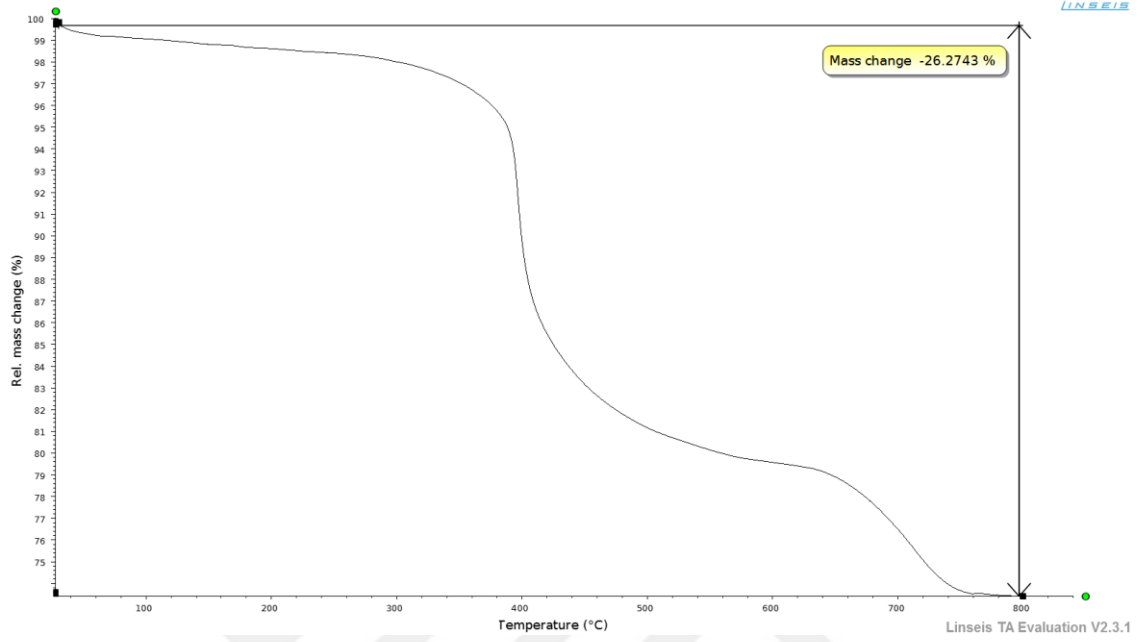
Bu çalışma kapsamında; bor minerali esaslı FDM kompozitleri doğrudan emdirmeye yöntemi ile hazırlanmıştır. Kompozit üretimi sırasında kompozitler işlem görmemiş kolemanit, 600°C'de bir saat boyunca ısıtılarak ön işlemden geçirilmiş kolemanit ve FDM kullanılmıştır. 600°C'de yapılan ısıtma işleminin etkisini inceleme amacı ile TGA tane boyut analizi ve FTIR analizi yapılmıştır.

#### TGA Analizi

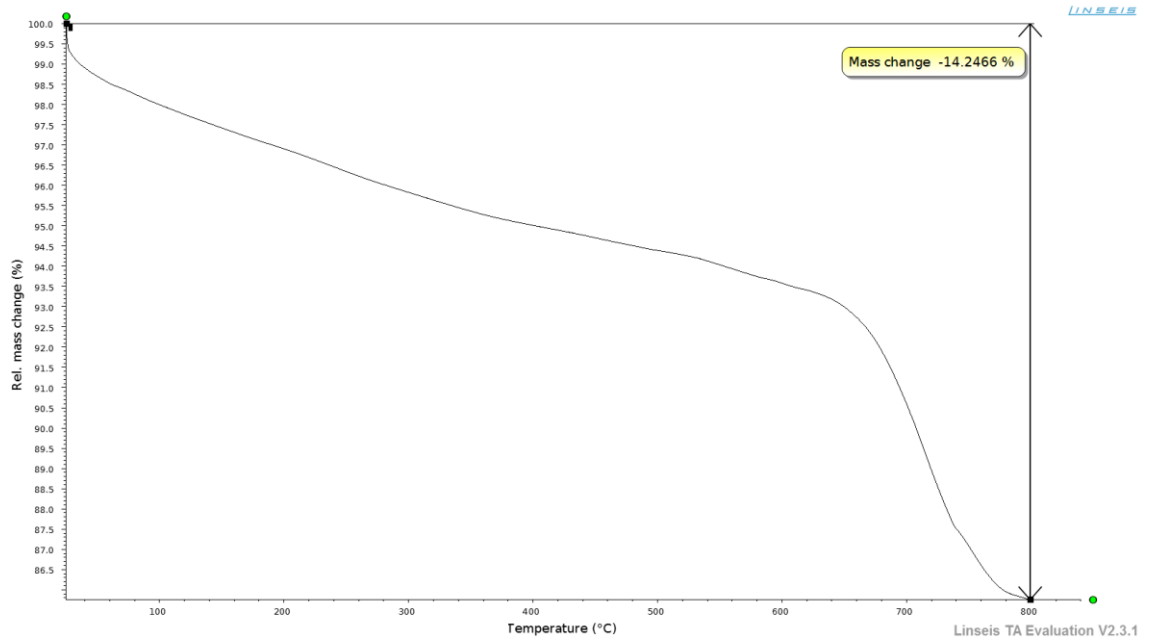
Kolemanit ve 600°C'de ısıtılarak ön işlemden geçirilmiş kolemanitin özelliklerini belirlemek amacıyla TGA analizi yapılmıştır. Analiz sırasında 8-10 mg örnek kullanılmış olup 10°C/dk ısıtma hızıyla azot atmosferinde oda sıcaklığından 800°C'ye kadar ısıtılmıştır. Örneklere ait kütle kaybı bilgisayar programı aracılığı ile belirlenmiş ve sonuçlar Şekil 4.1. ve 4.2.'de sunulmuştur.

TGA analizinden açıkça görüldüğü gibi işlem görmemiş kolemanitin iki basamaklı bozunma eğrisi varken 600°C'de ön işlem görmüş kolemanitin tek basamaklı bir bozunma eğrisi mevcuttur. Bozunma eğrilerinden birinin kolemanit ( $\text{CaB}_3\text{O}_4(\text{OH})_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) yapısında bulunan hidratin yapıdan ayrılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca işlem görmemiş kolemanitin 800°C'ye kadar ısıtma sonucunda

% 26'lık bir kütle kaybı mevcut iken 600°C'de ön işlem görmüş kolemanitin 800°C'ye kadar ısıtma sonucunda % 14'lük bir kütle kaybı gözlemlenmiştir.



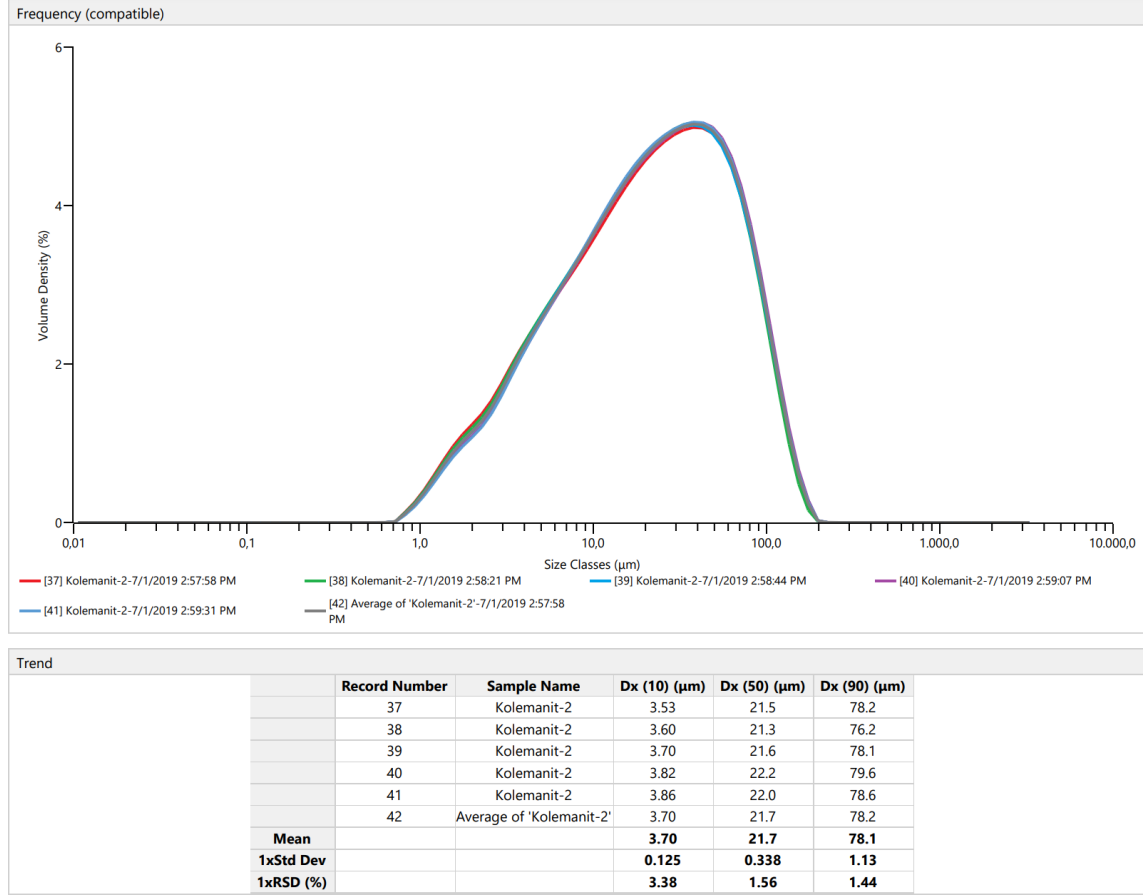
Şekil 4.1. İşlem görmemiş kolemanitin TGA Analizi



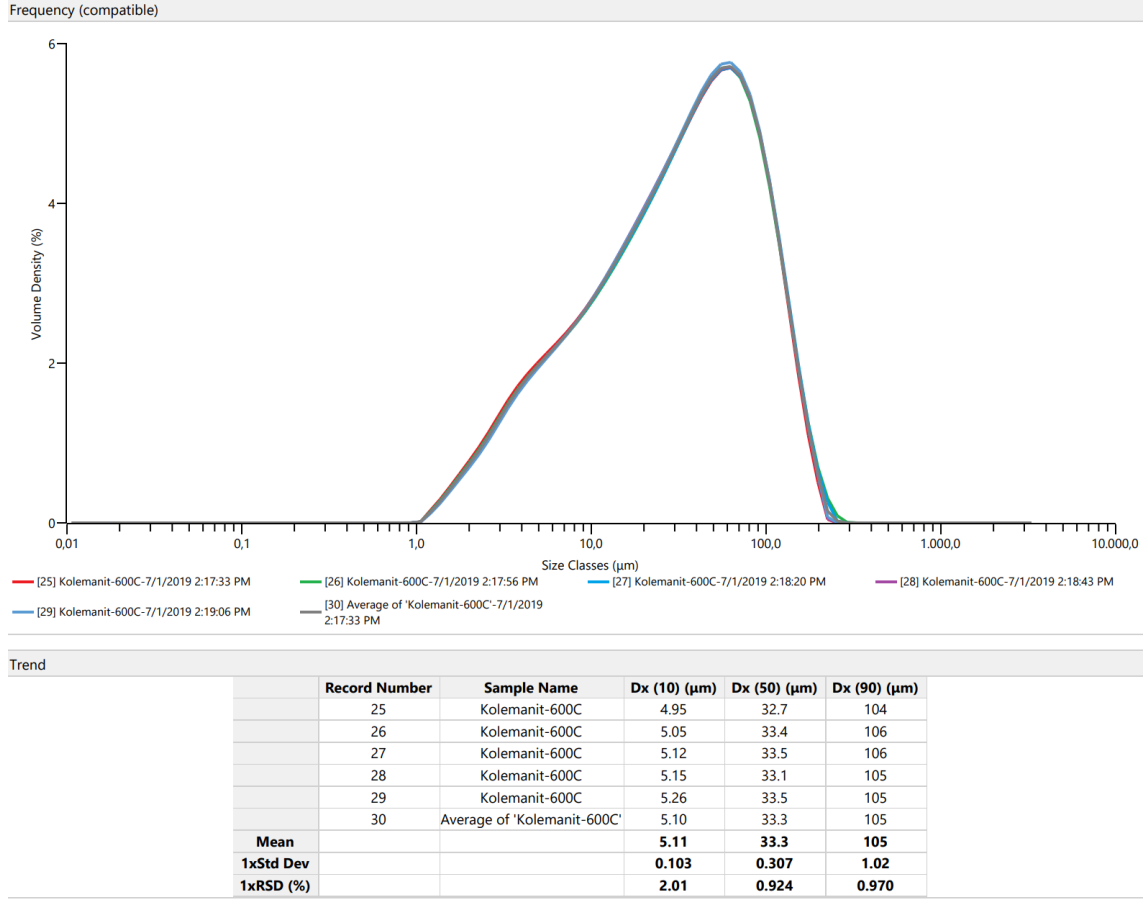
Şekil 4.2. 600 °C'de ön işlem görmüş kolemanitin TGA Analizi

## Tane Boyut Analizi

Kolemanit ve 600°C’de ön işlemden geçirilmiş kolemanitin tane boyut analizi yapılmış ve sonuçlar Şekil 4.3. ve Şekil 4.4.’de sunulmuştur.



Şekil 4.3. İşlem görmemiş kolemanitin tane boyut analizi



**Şekil 4.4.** 600°C’de ön işlem görmüş kolemanitin tane boyut analizi

Yapılan analiz sonuçlarına göre işlem görmemiş kolemanitin ortalama tanecik boyu 21,7 µm iken 600°C’de ön işlem görmüş kolemanitin ortalama tanecik boyu 33,3 µm’dir. Tanecik boyutundaki artış sıcaklık artışıyla birlikte taneciklerin birbirine yapışması sonucu oluştuğu tahmin edilmektedir.

#### 4.2 Kolemanit/FDM kompozitleri

Bu çalışmada ısıl enerji depolama özelliği olan kolemanit/FDM kompozitlerinde öncelikle hazırlanan kompozitlerin oda koşullarında kompozit içerisinde kullanılan kolemanite benzer özellikte toz formda olması hedeflenmiştir. Bu kapsamda hazırlanan kolemanit/FDM kompozitlerinde maksimum FDM absorpsiyonu % 20 olmuştur. % 20’nin üzerine çıktığında kompozit oluşmamış faz ayrımı gerçekleşmiştir. Çizelge 3.6.’de kolemanit/FDM kompozit bileşenlerinin miktarları verilmiştir. İşlem görmemiş kolemanit ile (MK1(LA) ve MK9(DA)) maksimum % 10 FDM absorpsiyonu gerçekleşirken ısıtılmış kolemanitte bu oran (MK4(LA) ve MK8(DA))’de % 20’ye

yükselmiştir. Bu kapsamda üretilen MK1, MK4, MK9 ve MK8 kompozitleri ve bileşenlerinin oda koşullarındaki görüntüsü Şekil 4.5, 4.6, 4.7 ve 4.8’da verilmiştir.



Şekil 4.5. Soldan sağa LA, kolemanit ve MK1



Şekil 4.6. Soldan sağa; LA, kolemanit (600°C) ve MK4

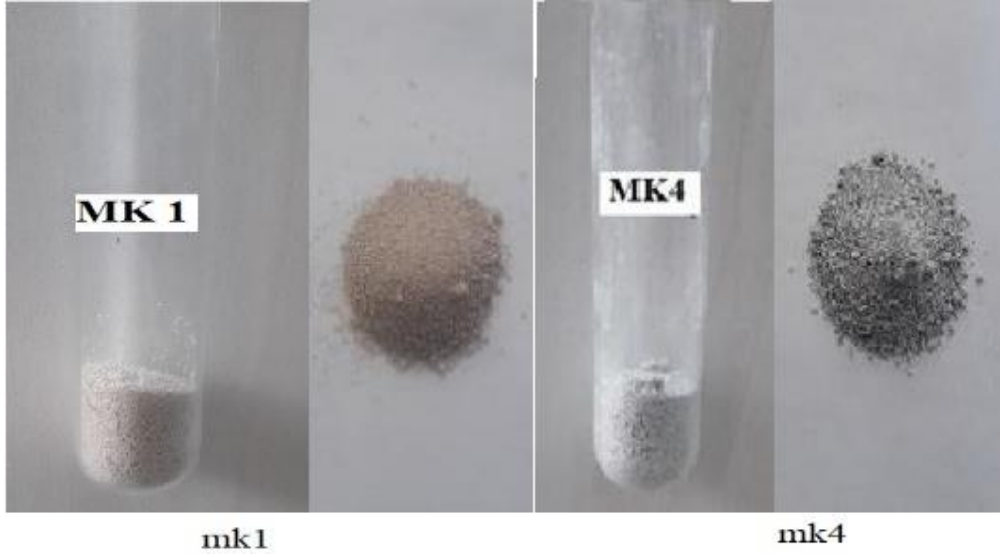


Şekil 4.7. Soldan sağa; LA, kolemanit (600°C) ve MK8

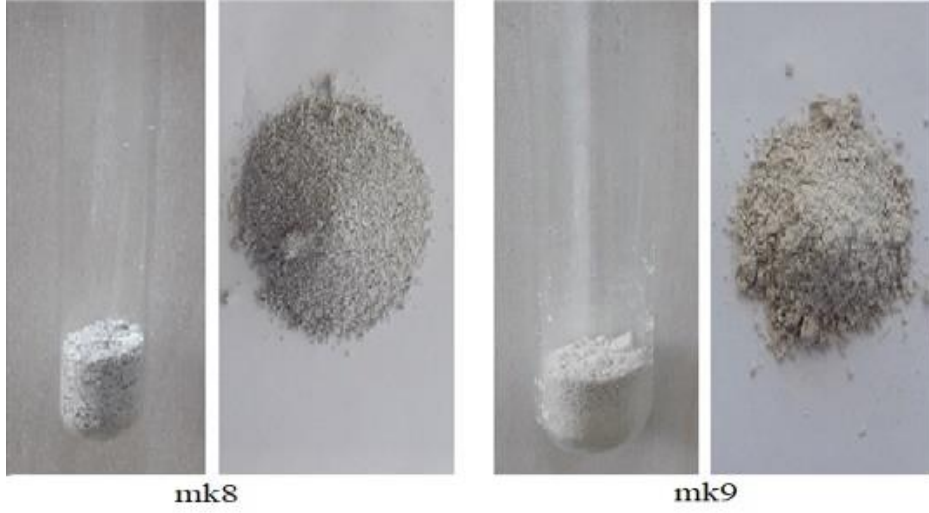


**Şekil 4.8.** Soldan sağa DA, kolemanit ve MK9

Üretilen kolemanit/FDM ler toz yapıda olup kompozit bileşiminde kullanılan kolemanit yapısındadır. Hazırlanan kolemanit/FDM kompozitlerinin yüksek sıcaklıklardaki davranışını test etmek için su banyosunda 95°C’de 60 dakika boyunca bekletilmişlerdir. Şekil 4.9.-10’de görüldüğü gibi herhangi bir sızıntı oluşmamıştır.

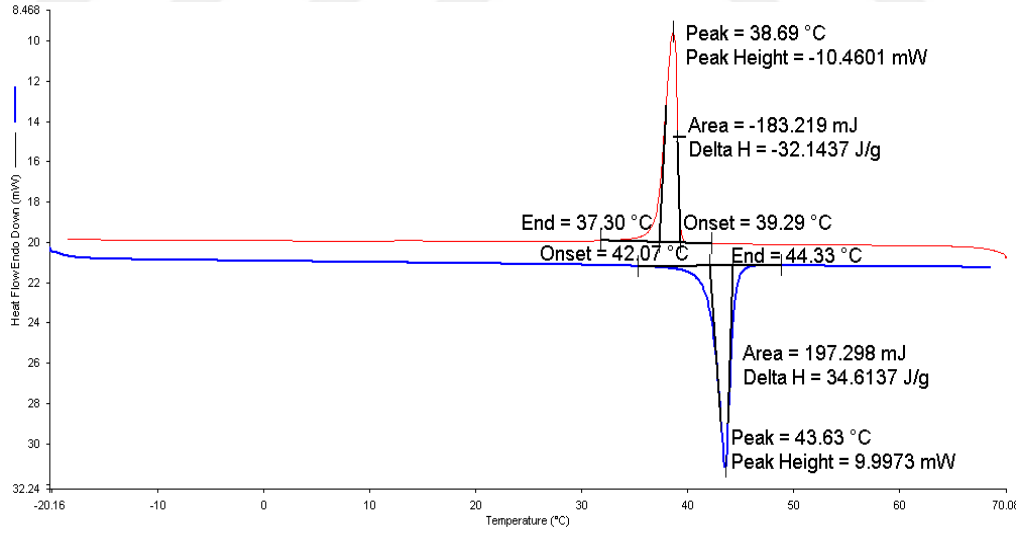


**Şekil 4.9.** LA içerikli MK1 ve MK4, kompozitinin sızdırmazlık testi



**Şekil 4.10.** MK8 ve MK9 kompozitinin sızdırmazlık testi

Üretilen kolemanit/FDM kompozitlerinin termal özellikleri DSC ile analiz edilmiştir. Şekil 4.11.'de MK4 kompozitinin DSC analizi sunulmuş ve tüm analizler Çizelge 4.1.'de özetlenmiştir.



**Şekil 4.11.** MK4 DSC analizi

**Çizelge 4.1.** Kompozitlerin DSC sonuçları

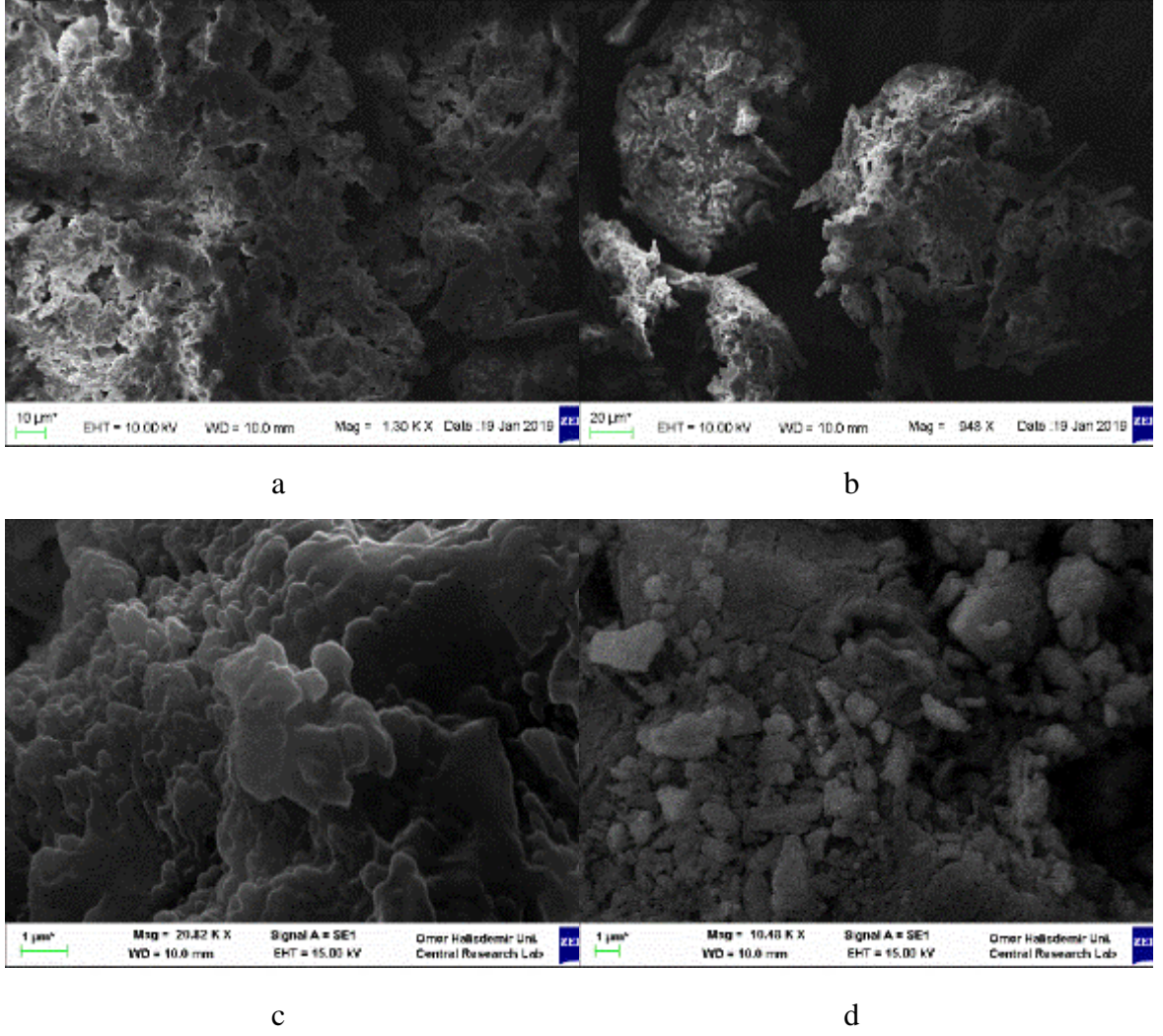
<b>Örnek</b>	<b>Tom (°C)</b>	<b>Tpm (°C)</b>	<b>Tem (°C)</b>	<b>Hm (J/g)</b>	<b>Toc (°C)</b>	<b>Tpc (°C)</b>	<b>Tec (°C)</b>	<b>Hc (J/g)</b>
LA	43,66	48,54	52,60	196,61	40,98	37,02	33,11	143,66
MK1 (LA)	60,27	61,58	62,15	14,19	57,09	56,51	55,39	-14,32
MK4 (LA)	42,07	43,63	44,33	34,61	39,29	38,69	37,30	-32,14
DA	30,15	33,96	36,98	164,64	26,77	25,91	22,03	-172,14
MK8(DA)	29,53	30,84	31,51	21,80	25,34	24,71	23,13	-24,38
MK9(DA)	27,83	29,64	30,46	6,37	22,26	20,52	16,40	8,24

DSC analizi sonuçlarına göre kompozit üretimi sırasında laurik asidin kolemanit yapısına absorpsiyonu dekanolik aside göre daha yüksektir. Ayrıca kolemanitin (600°C) bir saat fırında ısıtma işlemi yapıldıktan sonra LA ile hazırlanan MK4 ve DA ile hazırlanan MK9'un kompozit içerisindeki miktarı artmış ve gizli ısı depolama kapasitesinde artış olduğu belirlenmiştir. Kolemanit/FDM kompozitlerinde maksimum verim MK4 ile elde edilmiştir. MK4'ün erime ve donma noktası sırasıyla; 42,07-39,29°C ve gizli ısı kapasiteleri sırasıyla 34,6 ve -32,14 J/g'dır.

#### SEM Analizleri

MK4'ün yapısal özelliklerinin belirlenmesi amacı ile SEM analizi yapılmış ve ısıtılmış kolemanit ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar 4.12.'te sunulmuştur.

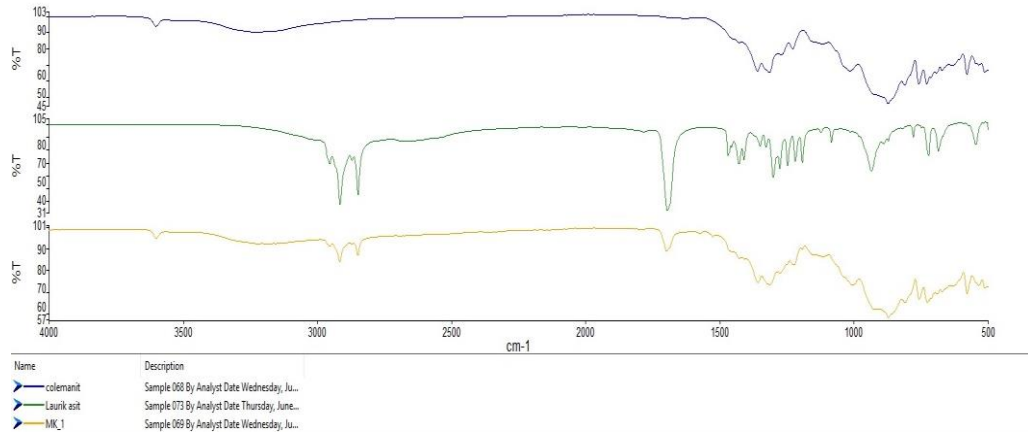




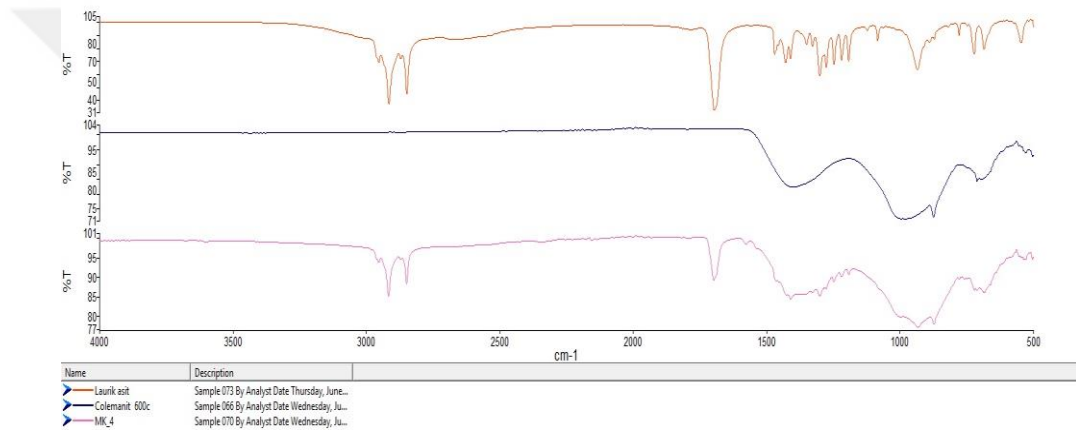
**Şekil 4.12.** (a-b) 600°C’de ısıtılmış kolemanit, (c-d) MK4 SEM analizi

Şekilde açıkça görüldüğü gibi kompozit sentezi sonrasında kolemanit yüzeyinde yapısal değişiklikler gözlemlenmiştir.

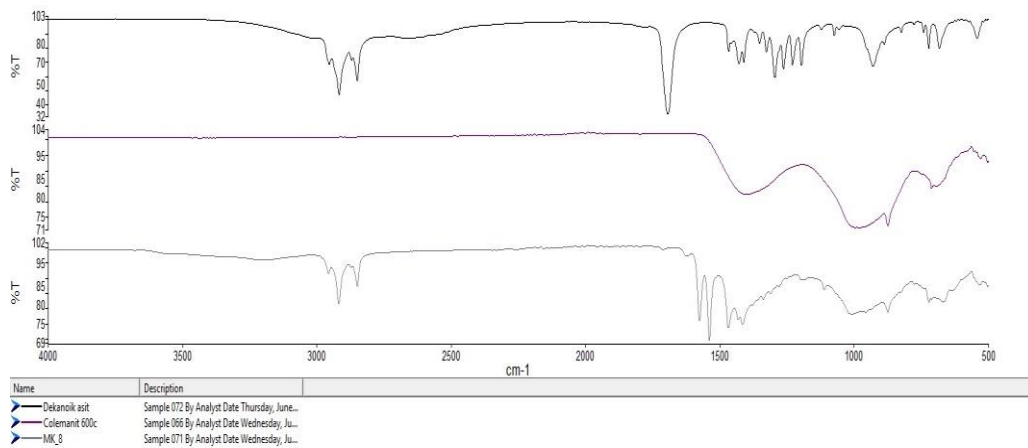
Kompozit içerisinde bulunan FDM’in kimyasal yapısının değişmemesi mikrokapsülleme ve kompozit üretimi proseslerinde önem kazanmaktadır. MK4’ün kimyasal kararlılığını belirlemek amacı ile FTIR analizleri yapılmış ve Şekil 4.13.-16’de sunulmuştur.



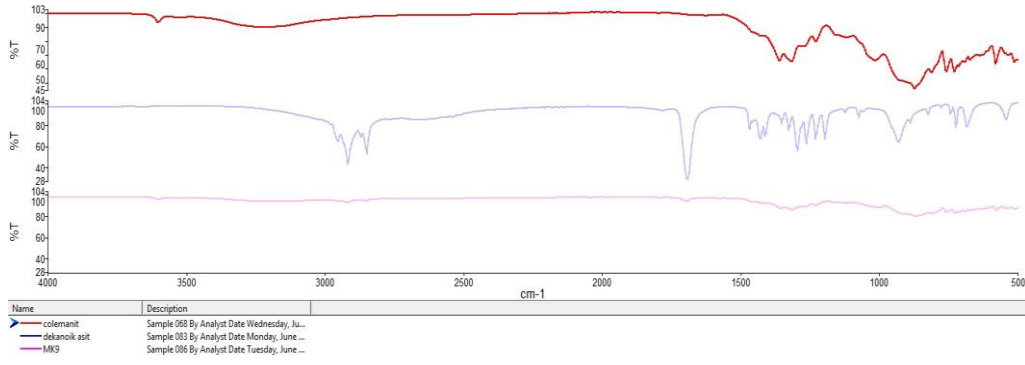
Şekil 4.13. kolemanit, LA, MK1 FTIR analizi



Şekil 4.14. LA, kolemanit (600 °C), MK4 FTIR analizi



Şekil 4.15. DA, kolemanit (600°C), MK8 FTIR analizi



**Şekil 4.16.** DA, kolemanit, MK9 FTIR analizi

FT-IR analiz sonucuna göre tüm kompozitler bileşenlerinde bulunan FDM ve kullanılan kolemanitin özelliklerini taşımaktadır. Ayrıca spektrumlar karşılaştırıldığında ısıtma işleminin TGA analizini desteklediği, bor mineralinin yapısını değiştirdiği ve bu nedenle absorpsiyon kapasitesinde artış olduğu belirlenmiştir.

### 4.3 DA/b-MF Mikrokapsülleri

Bu çalışma kapsamında DA/b-MF mikrokapsüllerinde DA kapsül çekirdek materyalini ve kolemanit katkılı MF reçinesi kapsül dış duvar polimerini oluşturmuştur. İçerikleri materyal metod bölümünde açıklanan deney parametreleri değiştirilerek elde edilen 7 adet DA/b-MF mikrokapsülleri üretilmiş ve analiz edilmiştir. Analizler bu bölümde sunulmuştur.

#### Yüksek Sıcaklık Testi

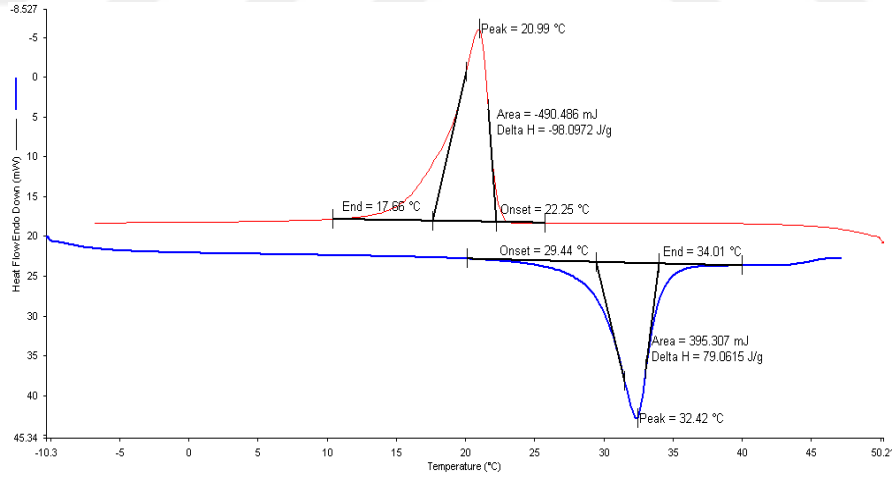
Bu çalışma kapsamında üretilen DA/b-MF mikrokapsüllerinin içerisinde bulunan FDM'lerin erime noktasının üzerinde bulunan bir sıcaklık ile karşılaştıklarında sızıntı yapıp yapmayacaklarını test etmek amacı ile kompozitler, yüksek sıcaklık testine maruz bırakılmışlardır. Bu amaç için kompozitler 95°C'de 60 dakika boyunca bekletilmiştir. Bekleme sonucunda fiziksel olarak herhangi bir sızıntı gerçekleşmemiştir. Daha sonra sızdırma yapmadığı gözlemlenen mikrokapsüller bir kâğıt parçası üzerine dökülerek 24 saat boyunca bekletilerek gözlemlenmiştir. Bu işlem sonucunda DA/b-MF kapsüllerinde herhangi bir sızma gözlemlenmemiştir (Şekil 4.17).



**Şekil 4.17.** DA/b-MF mikrokapsüllerinin yüksek sıcaklık testi sonrası görüntüleri

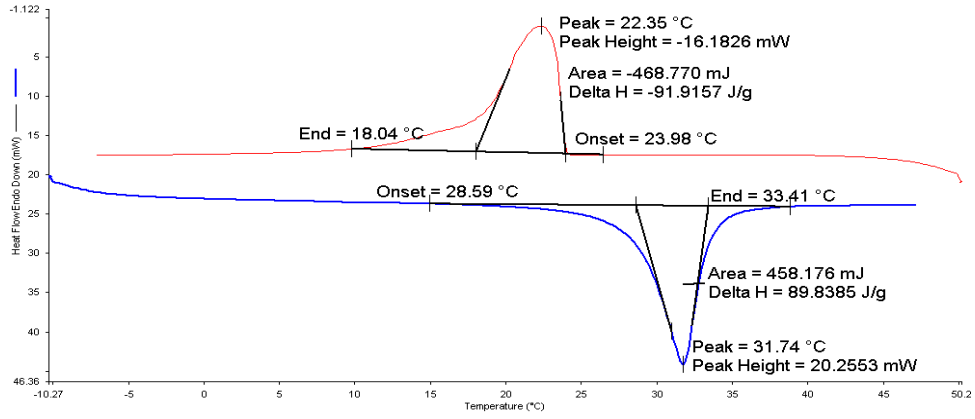
### DSC Analizleri

DA/b-MF mikrokapsüllerinin termal özellikleri DSC ile belirlenmiş olup MK4, MK14 ve MK40'ın DSC analizi Şekil 4.18.-20'de sunulmuş, sonuçlar Çizelge 4.2.'de özetlenmiştir.



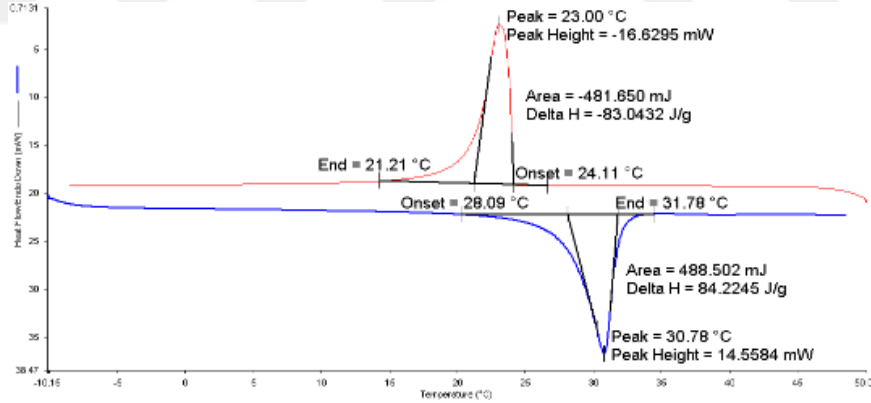
**Şekil 4.18.** MD4 DSC Analizi

MD4'in DSC analiz sonuçları incelendiğinde; erime ve donma noktasının 29.44°C ve 22.25°C olduğu ayrıca erime ve donma gizli ısı depolama kapasitelerinin 79.06 J/g ve -98.09 J/g olduğu belirlenmiştir. Kapsüllenmemiş DA'nın ısı enerji depolama kapasiteleri karşılaştırıldığında (185.01 j/g ve -184.17 j/g) kapsüllemenin % 42 oranında olduğu belirlenmiştir.



**Şekil 4.19.** MD14 DSC Analizi

MD14'in DSC analiz sonuçları incelendiğinde; erime ve donma noktasının 28,59°C ve 23,98°C olduğu ayrıca erime ve donma gizli ısı depolama kapasitelerinin 89,83 J/g ve 91,91 J/g olduğu belirlenmiştir. Kapsüllememiş DA'nın ısı enerji depolama kapasiteleri karşılaştırıldığında (185,01 j/g ve -184,17 j/g) kapsüllemenin % 49 oranında olduğu belirlenmiştir.



**Şekil 4.20.** MD40 (Kolemanit - Dekanoik asit) DSC Analizi

DA içeriği artırılıp ayrıca sisteme bir geri soğutucu eklenmesi ile hazırlanan MD40 mikrokapsüllerinin DSC analizi incelendiğinde; MD40'in DSC analizi ile erime ve donma noktasının 28,09 °C ve 24,11°C olduğu ve gizli ısı kapasitesinin 84,22 J/g ve 83,04 J/g olduğu belirlenmiştir. İşlenmemiş DA'nın gizli ısı kapasitesi 185,01 J/g ve -184,17 J/g'dır. Mikrokapsül içerisindeki DA'nın % 45 olduğu belirlenmiştir.

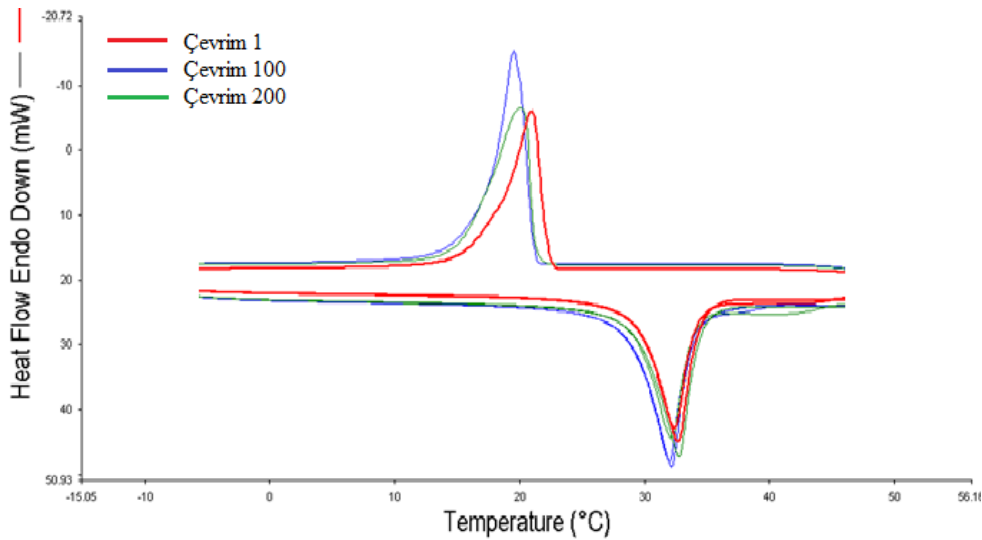
**Çizelge 4.2.** Hazırlanan DA/b-MF mikrokapsüllerinin DSC sonuçları

Örnek	Tom (°C)	Tpm (°C)	Tem (°C)	Hm (j/g)	Toc (°C)	Tpc (°C)	Tec (°C)	Hc (j/g)
DA	30,15	33,96	36,98	164,64	26,77	25,91	22,03	-172,14
MD4	29,44	32,42	34,01	79,06	22,25	20,99	17,66	-98,09
MD14	28,59	31,74	33,41	89,83	24,98	22,35	18,04	-91,91
MD25	28,34	31,59	33,05	82,81	23,40	22,38	18,16	-75,74
MD26	28,49	31,77	33,19	71,83	23,27	22,20	18,17	-73,44
MD27	27,29	30,87	32,27	60,08	22,09	20,32	17,51	-55,41
MD39	27,79	30,49	31,53	77,15	24,21	23,62	20,96	-81,45
MD40	28,09	30,78	31,78	84,22	24,11	23,00	21,21	-83,04

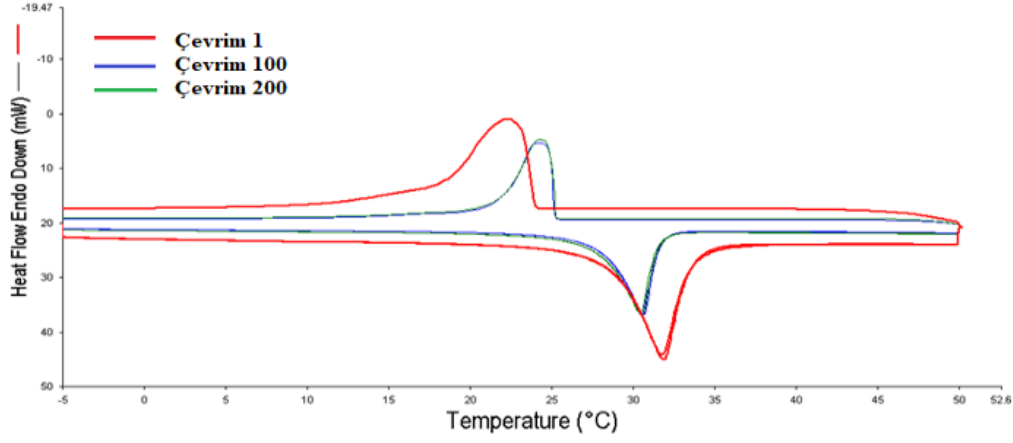
Çizelge 4.3.'den açıkça görüldüğü gibi minimum aşırı soğuma ve maksimum enerji depolama kapasitesi MD4, MD14 ve MD40 ile elde edilmiştir.

#### Termal Çevrim Testi

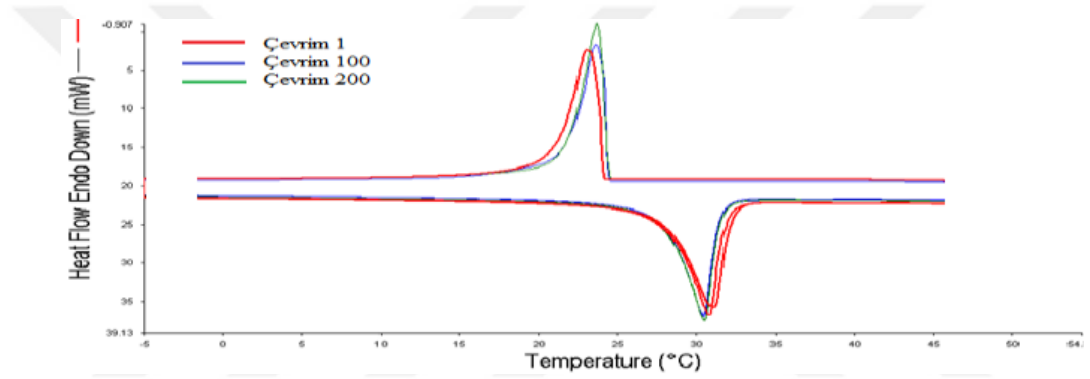
DA/b-MF mikrokapsüllerinden MD4, MD14 ve MD40 için 100 ve 200 termal çevrim sonrasında termal kararlılığını belirleme amacı ile termal çevrim analizleri; BIOER TC-25/H termal çevrim cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.21.-23'te termal çevrim sonrası DSC analizleri karşılaştırılmış ve sonuçlar Çizelge 4.3.'te özetlenmiştir.



**Şekil 4.21.** MD4 DSC analizi (1, 100 ve 200 termal çevrim sonrası)



Şekil 4.22. MD14 DSC analizi (1, 100 ve 200 termal çevrim sonrası)



Şekil 4.23. MD40 DSC analizi (1, 100 ve 200 termal çevrim sonrası)

Çizelge 4.3. MD4, MD14 ve MD40'in termal çevrim sonrası DSC analiz sonucu

Örnek	çevrim	Tom (°C)	Tpm (°C)	Tem (°C)	Hm (j/g)	Toc (°C)	Tpc (°C)	Tec (°C)	Hc (j/g)
MD4	-	29.44	32.42	34.01	79.06	22.25	20.99	17.66	-98.09
MD4	100	28.87	32.04	33.82	82.30	21.72	20.77	18.05	-100.18
MD4	200	29.06	32.20	33.69	80.85	21.91	21.05	17.16	-99.18
MD14	-	28.59	31.74	33.41	89.83	24.98	22.35	18.04	-91.91
MD14	100	27.96	30.53	31.43	89.43	25.17	24.11	21.87	-89.92
MD14	200	27.76	30.44	31.35	89.27	25.24	24.29	21.83	-89.18
MD40	-	28.09	30.78	31.78	84.22	24.11	23.00	21.21	-83.04
MD40	100	27.90	30.44	31.33	83.17	24.40	23.59	21.91	-83.45
MD40	200	27.88	30.56	31.47	75.17	24.05	22.60	20.74	-80.59

MD4'ün çevrim öncesi erime noktası 29,44°C ve ısı depolama kapasitesi 79,06 J/g'dır. 100 çevrim ve 200 çevrim örneklerin DSC sonuçlarına göre: 100 çevrim sonrasında MD4'ün erime noktası 28,87°C ve ısı depolama kapasitesi 82,30 J/g, 200 çevrim sonrasında erime noktası 29,06°C, ısı depolama kapasitesi 80,85 J/g olarak belirlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre MD4'ün, 200 termal çevrim sonrasında bile iyi bir termal kararlılığa sahip olduğu belirlenmiştir.

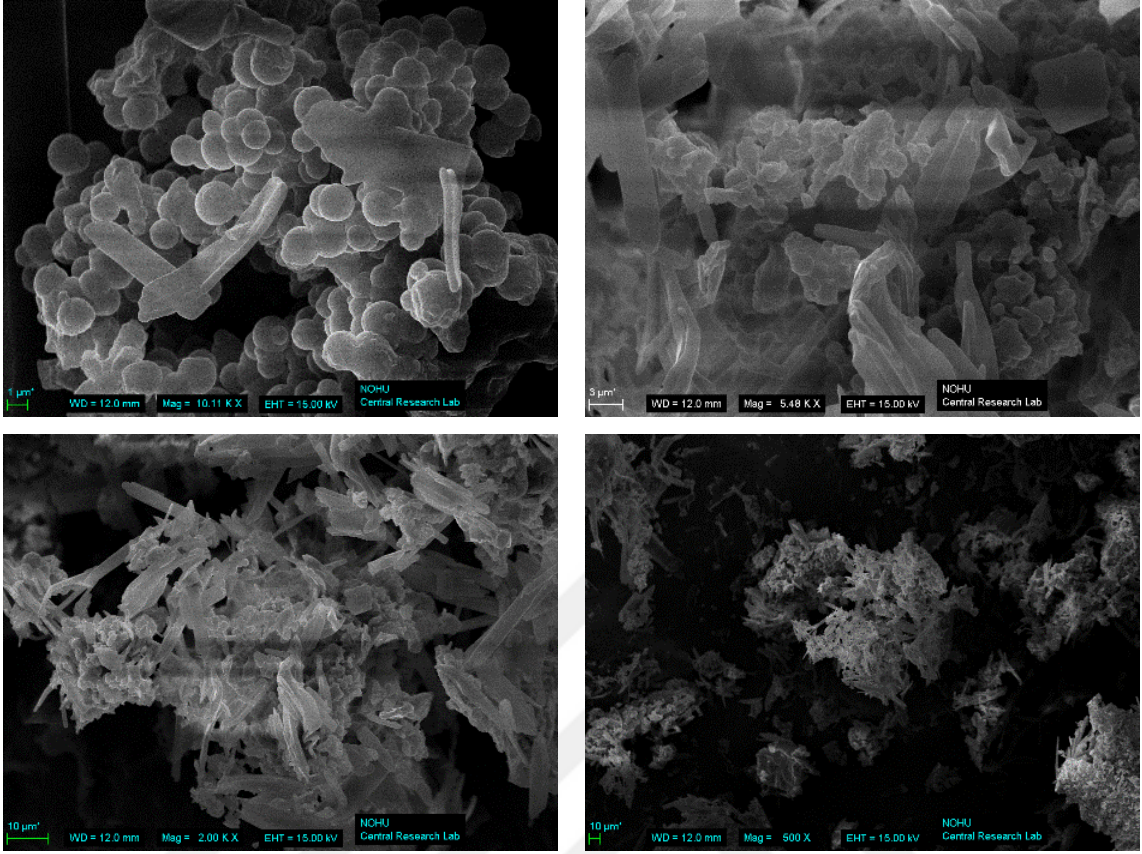
MD14'ün çevrim öncesi erime noktası 28,59°C ve ısı depolama kapasitesi 89,83J/g'dır. 100 çevrim ve 200 çevrim örneklerin DSC sonuçlarına göre: 100 çevrim sonrasında MD14'ün erime noktası 27,16°C ve ısı depolama kapasitesi 89,43 J/g, 200 çevrim sonrasında erime noktası 27,76°C, ısı depolama kapasitesi 89,27 J/g olarak belirlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre MD14'ün, 200 termal çevrim sonrasında bile termal özelliklerini koruduğu ve iyi bir termal kararlılığa sahip olduğu belirlenmiştir.

MD40'in 100 çevrim ve 200 çevrim sonucu yapılan DSC analiz sonuçlarına göre: 100 çevrim sonrası mikrokapsülün erime noktası 27,90 °C ve ısı depolama kapasitesi 83.17j/g, 200 çevrim sonrası erime noktası 27,88°C, ısı depolama kapasitesi 75,17 j/g olarak ölçülmüştür. MD40'ın, 100 çevrim ve 200 çevrimi karşılaştırıldığında 200 çevrim sonucunda termal enerji depolamanın 100 çevrime göre azaldığı fakat kabul edilebilir bir düzeyde olduğu belirlenmiştir.

#### SEM kullanarak Yapısal Özelliklerin Belirlenmesi Metodu

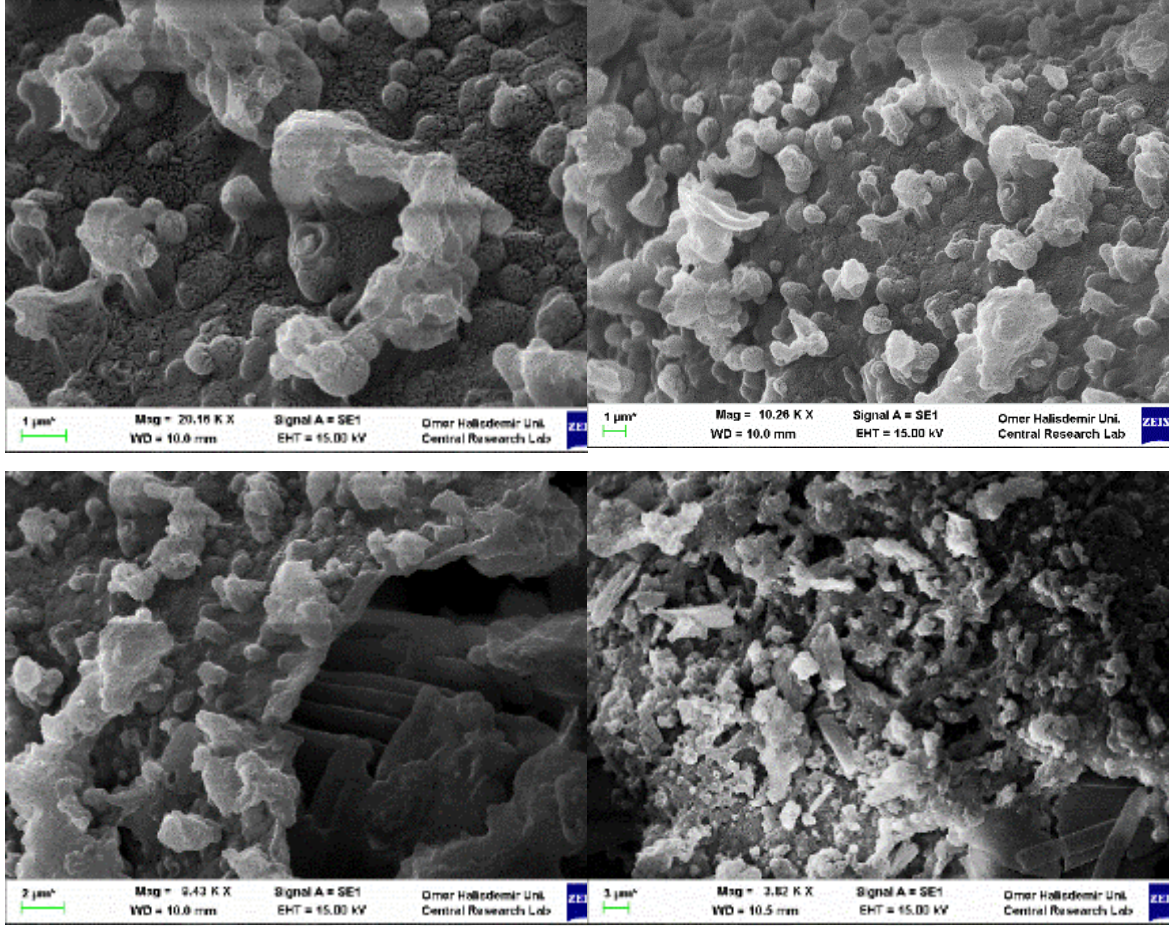
DA/b-MF mikrokapsüllerinin yapısal özelliklerini belirlemek amacı ile SEM analizi yapılmış ve sonuçlar Şekil 4.24.-26'de sunulmuştur.





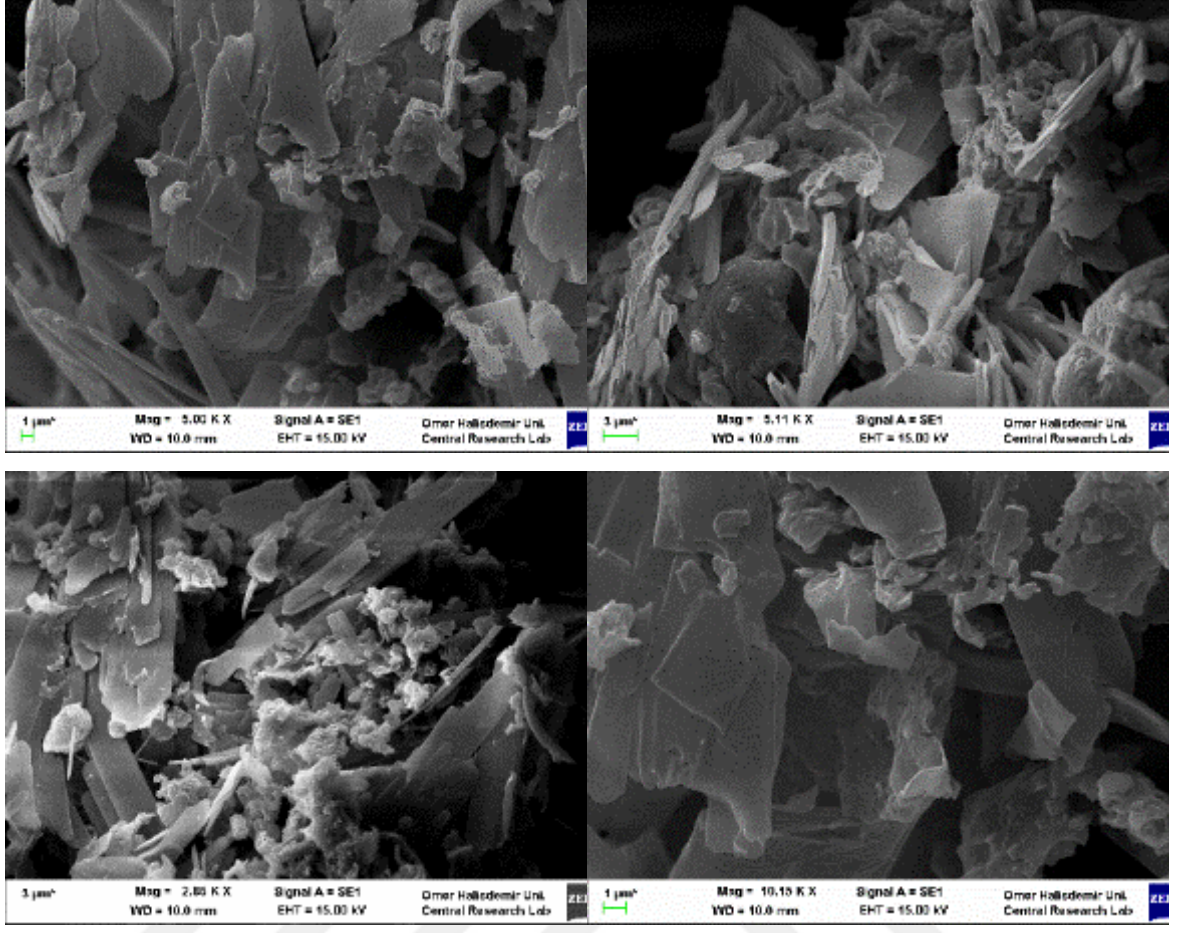
**Şekil 4.24.** MD4 mikrokapsülünün SEM görüntüleri

MD4'ün SEM analizi incelendiğinde; küresel kapsül yapısı gözlemlenmesinin yanısıra, küresel olmayan yapılarda gözlemlenmiştir.



Şekil 4.25. MD14 mikrokapsülünün SEM görüntüleri

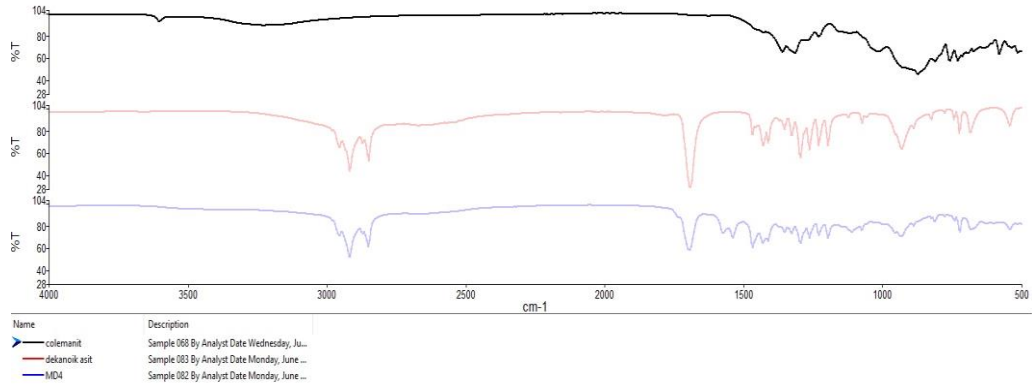
MD14 ve MD40'nin SEM analizleri incelendiğinde MD14'te kapsül yapısı gözlemlenmesine rağmen net küresel yapıda kapsüller gözlemlenememiştir. MD40 yapısı incelendiğinde ise küresel olmayan plakaların olduğu gözlemlenmiştir. Proses sonucunda oluşan küresel yapıda olmayan ürünler yüksek sıcaklık testinde sızıntı yapmadıklarından daha önce literatürde de bahsedildiği gibi (Konuklu ve Paksoy, 2015) bu yapılar mikrokompozit olarak adlandırılabilir.



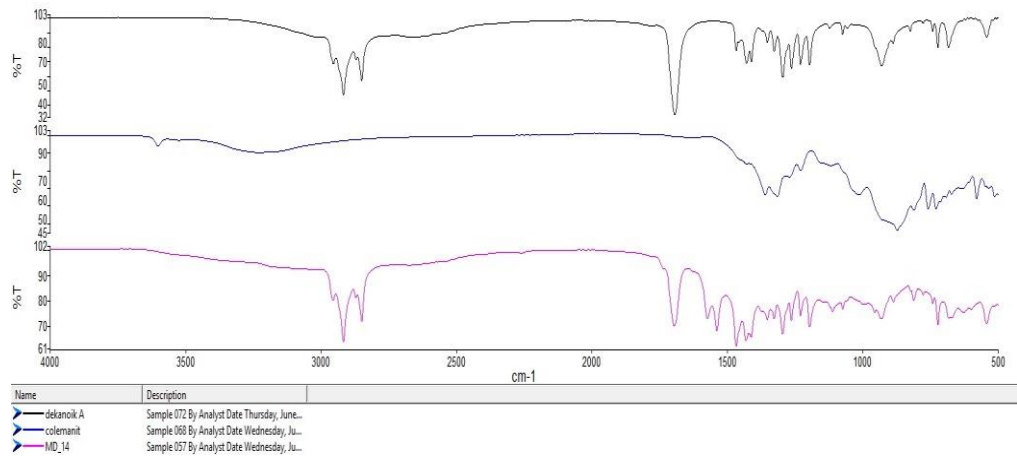
Şekil 4.26. MD40 mikrokapsülünün SEM görüntüleri

#### FTIR ile kimyasal Analiz

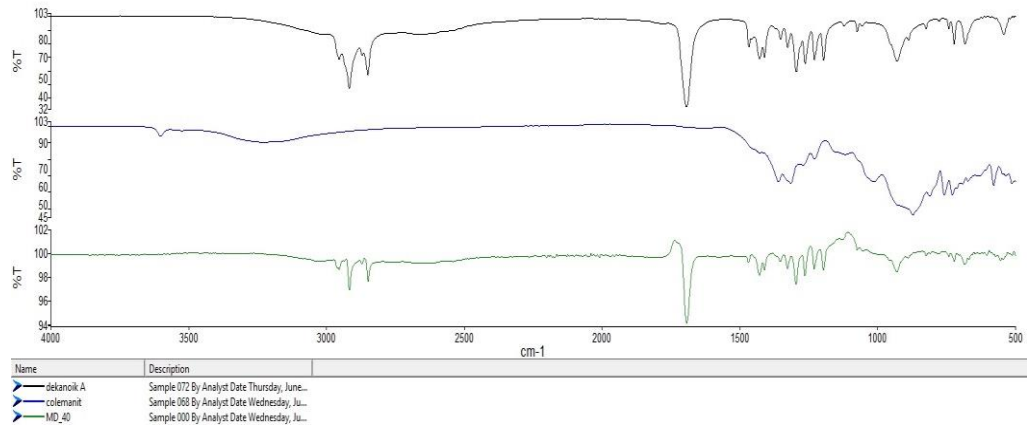
Sentezlenen DA/b-MF mikrokapsüllerinin kimyasal olarak analiz edilmesi ve kapsül/kompozit içerisindeki FDM yapısının değişmediğini kanıtlamak üzere yapılan FTIR analizleri Şekil 4.27.-29'da verilmiştir.



Şekil 4.27. DA, Kolemanit, MD4 FTIR analizi



Şekil 4.28. DA, Kolemanit, MD14 FTIR analizi



Şekil 4.29. DA, Kolemanit, MD40 FTIR analizi

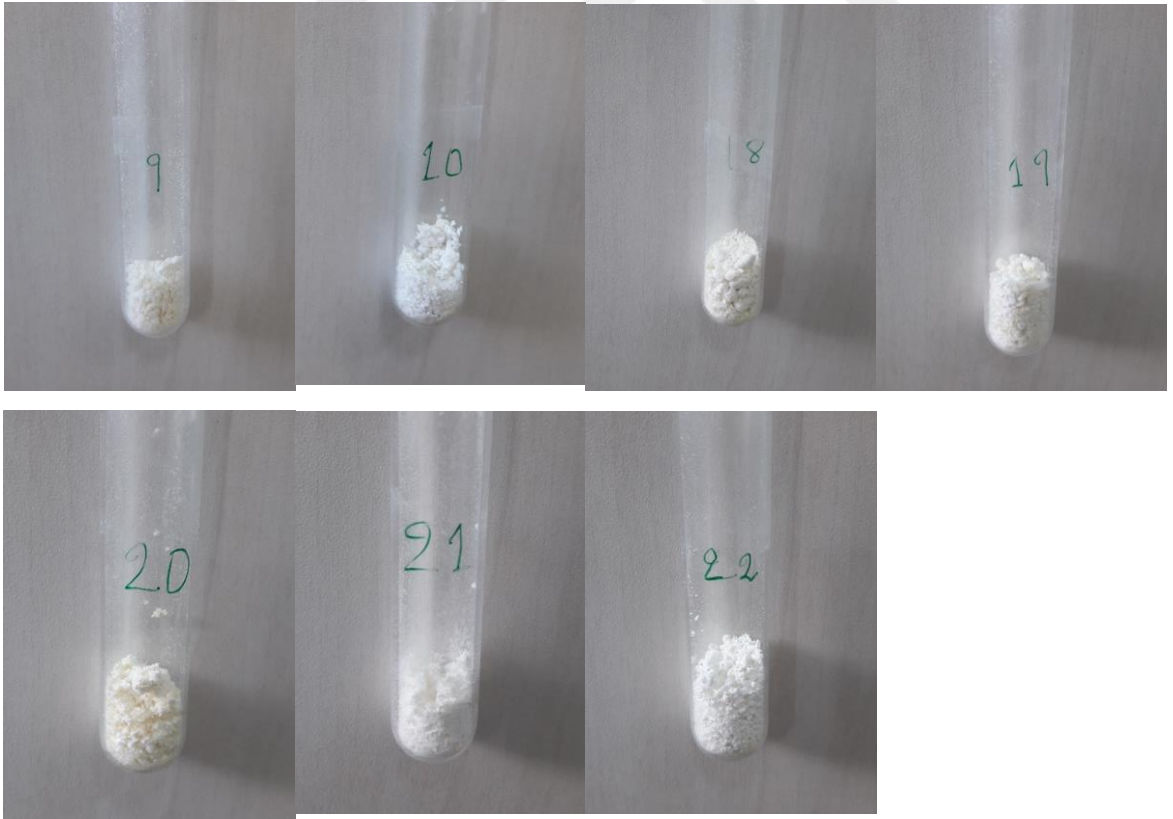
FT-IR analiz sonuçlarına göre MD4, MD14 ve MD40 spektrumları incelendiğinde her ikisinin DA'nın spesifik piklerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. FTIR analizi mikrokapsül/mikrokompozit hazırlama işleminin başarılı bir şekilde gerçekleştiğini ve işlem sonucunda DA'nın kimyasal yapısının değişmediği ve doğrulamaktadır.

#### 4.4 LA/b-MF Mikrokapsülleri

İçerikleri materyal metod bölümünde açıklanan deney parametreleri değiştirilerek elde edilen 8 adet LA/b-MF mikrokapsülleri sentezlenmiş ve analiz edilmiştir. Analiz sonuçları bu bölümde incelenmiştir.

##### Yüksek Sıcaklık Testi

Sentezlenen LA/b-MF'lerin erime noktasının üzerindeki bir sıcaklıktaki davranışlarını incelemek amacı ile yüksek sıcaklık testi yapılmıştır. Sonuçlar Şekil 4.30.'de sunulmuştur.

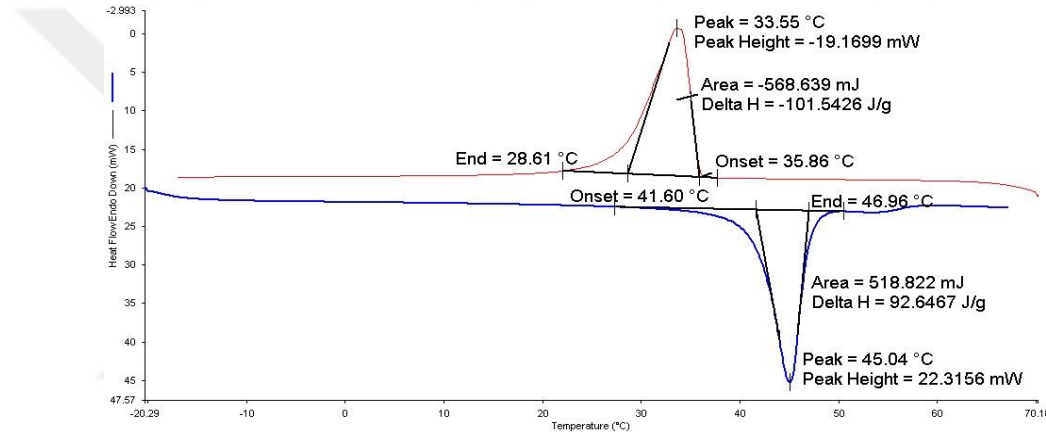


Şekil 4.30. LA/b-MF mikrokapsülleri

LA/b-MF mikrokapsüllerinin yüksek sıcaklık testi incelendiğinde formaldehit miktarı yetersiz kaldığında (MD17) mikrokapsüller yeterince stabil olamamakta ve sıcaklık değişimi ile yapıda bulunan LA sızma göstermektedir.

### DSC Analizleri

Yüksek sıcaklık testine göre sızdırma yapmayan MD9, MD10, MD18, MD19, MD20, MD21 ve MD22'nin termal özellikleri DSC ile analiz edilmiştir. MD10'un DSC grafiği Şekil 4.31.'de sunulmuş ve tüm analizler Çizelge 4.4.'de özetlenmiştir.



Şekil 4.31. MD10 DSC sonucu

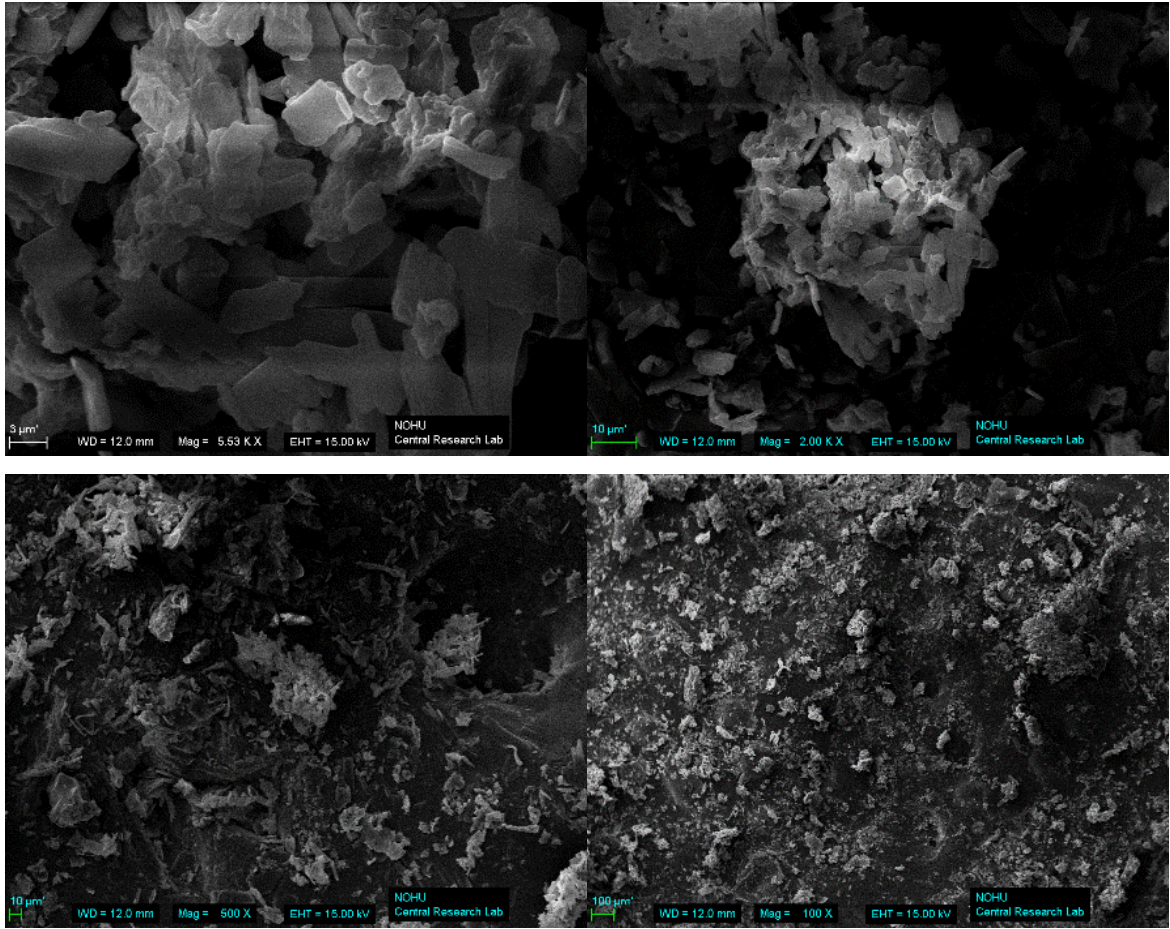
Çizelge 4.4. LA/b-MF mikrokapsüllerinin termal özellikleri

Örnek	Tom(°C)	Tpm(°C)	Tem(°C)	Hm(j/g)	Toc(°C)	Tpc(°C)	Tec(°C)	Hc(j/g)
LA	43.66	48.54	52.60	196.61	40.98	37.02	33.11	143.66
MD 9	37.33	45.67	47.42	89.89	35.89	33.56	29.74	-132.70
MD10	41.11	44.75	46.64	87.03	36.10	32.10	25.50	-101.16
MD18	40.54	44.30	45.85	74.13	35.10	31.40	25.27	-101.59
MD19	41.04	44.59	46.53	78.98	34.95	32.16	26.04	-93.88
MD20	40.39	44.13	46.00	70.98	35.93	29.40	23.67	-89.88
MD21	40.35	43.68	45.30	56.61	33.47	29.97	28.84	-82.80
MD22	40.83	44.29	46.19	73.15	35.73	32.16	26.03	-101.52

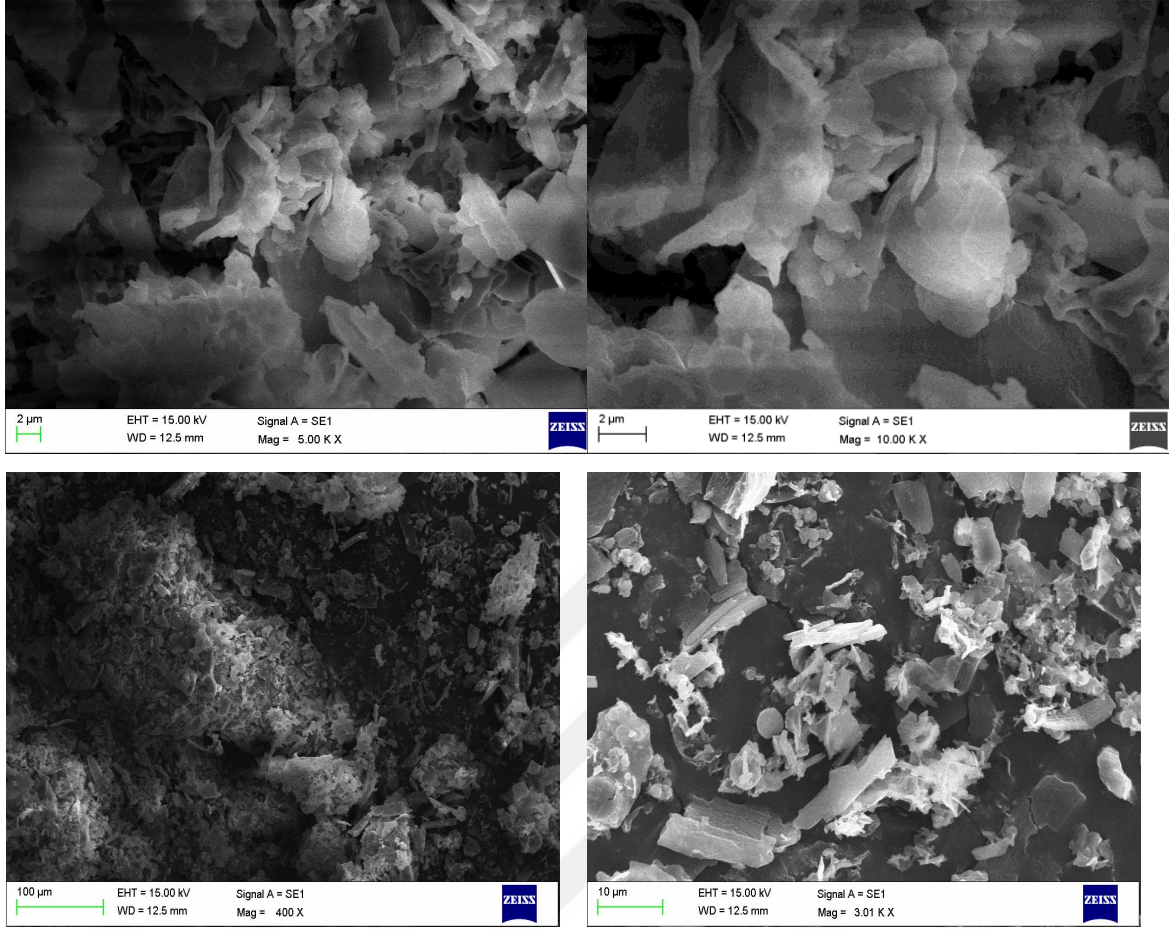
LA'nın ve LA/b-MF mikrokapsüllerinin DSC analiz sonuçları incelendiğinde; işlem görmemiş LA'nın erime noktası 43,66°C, enerji depolama kapasitesi 196,61 J/g'dır. Hazırlanan örneklerin DSC analizi incelendiğinde donma sırasında açığa çıkan gizli ısının depolanandan fazla olması dikkat çekicidir. Genellikle aşırı soğuma olayı sırasında depolanandan daha az enerji ortama verilirken burada depolanandan daha fazla bir enerji salınımı mevcuttur. Tüm örnekler incelendiğinde maksimum enerji depolama kapasitesi MD9 ve MD10 ile elde edildiği belirlenmiştir.

### SEM Kullanarak Yapısal Özelliklerin Belirlenmesi Metodu

LA/b-MF mikrokapsüllerinin yapısal özelliklerini belirlemek amacı ile SEM analizi yapılmış ve sonuçlar Şekil 4.32.-33'de sunulmuştur



Şekil 4.32. MD9 mikrokapsülü SEM analizi



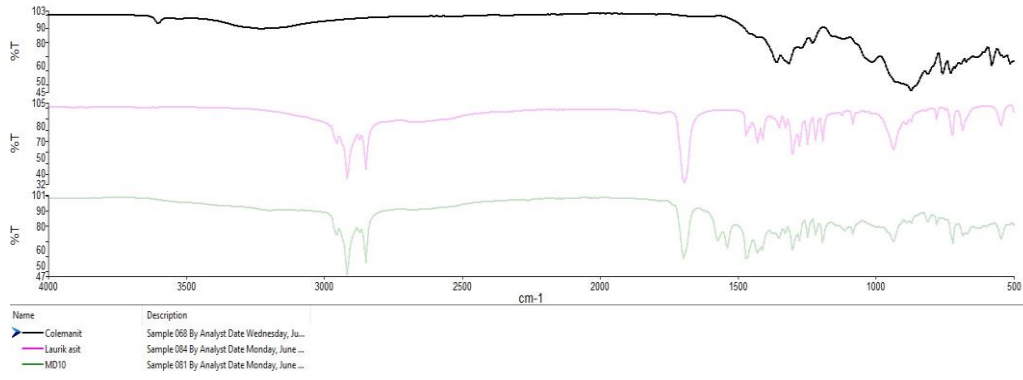
**Şekil 4.33.** MD10 mikrokapsülü SEM analizi

MD9 ve MD10'in SEM analizleri incelendiğinde net küresel yapıda kapsüller gözlemlenmemiştir. Ayrıca DA çalışmasında olduğu gibi küresel olmayan plakaların olduğu gözlemlenmiştir. Proses sonucunda oluşan küresel yapıda olmayan ürünler yüksek sıcaklık testinde sızıntı yapmadıklarından daha önce literatürde de bahsedildiği gibi (Konuklu ve Paksoy, 2015) bu yapılar mikrokompozit olarak adlandırılabilir.

#### FTIR ile kimyasal Analiz

Sentezlenen LA/b-MF mikrokapsüllerinin kimyasal olarak analiz edilmesi ve kapsül/kompozit içerisindeki FDM yapısının değişmediğini kanıtlamak üzere yapılan FTIR analizleri Şekil 4.34.'de verilmiştir.





**Şekil 4.34.** LA, Kolemanit, MD10 FTIR analizi

Üretilen mikrokapsül/kompozitin spektrumlarında hem kolemanit hem de LA'e ait pikler bulunmaktadır. FTIR analizi sonucunda mikrokapsül/kompozit üretiminin başarılı bir şekilde gerçekleştiğini doğrulamaktadır.

## BÖLÜM V

### SONUÇLAR

Faz Değişiren Maddelerde (FDM) termal enerji depolama, yenilenebilir enerji kaynaklarının mevcut olduğu zamanlarda depolanarak, enerjinin ihtiyaç duyulduğu zamanlarda kullanılmasına olanak vermektedir. Bu çalışmada termal enerji depolama uygulamalarında ısı yönetimi sağlayabilecek bor minerali esaslı FDM mikrokapsülleri/mikrokompozitleri ve kompozitlerin incelenmiştir. Mikrokapsülleme sırasında laurik asit ve dekanolik asit çekirdek materyali ve bor minerali katkıli melamin-formaldehit reçinesi kapsül polimeri olarak kullanılmıştır.

Bor mineralinin, yurdumuzda bol ve kaliteli rezervlerinin olduğu bilinmesine rağmen, endüstriye girmesinde arzu edilen gelişme sağlanamamıştır. Bor minerali katkıli FDM mikrokapsülleri veya kompozitlerin üretimi ile ilgili bu çalışma ülkemizin Bor rezervlerinin endüstride daha etkin kullanımına olanak sağlayarak Bor minerali içerikli yeni nesil enerji depolama maddelerinin üretilmesine çok önemli katkılarda bulunacaktır.

Bu çalışma kapsamında ısı enerji depolama özelliğine sahip bor minerali katkıli FDM mikrokapsülleri ve kompozitlerin üretimi hedeflenmiştir. Bu amaçla; bor minerali katkıli laurik asit ve dekanolik asit kompozitleri ve mikrokapsülleri hazırlanmıştır. Mikrokapsülleme ve kompozit üretimi sırasında verim artışını sağlayabilme amacı ile sistem parametreleri optimize edilmiştir.

Kompozit üretimi sırasında kullanılan kolemanitin 600°C fırında bir saat boyunca ısıtılması sonucunda absorpsiyon kapasitesinin arttığı ve hazırladığımız kompozitlerin gizli ısı depolama kapasitesinde artış olduğu ve 34,65 J/g'a ulaştığı belirlenmiştir.

Üretilen mikrokapsüllerin SEM analizi incelediğinde küresel yapıların yanısıra, küresel olmayan yapılarında olduğu gözlemlenmiştir. Proses sonucunda oluşan küresel yapıda olmayan ürünler yüksek sıcaklık testinde sızıntı yapmadıklarından bu yapılar mikrokompozit olarak adlandırılmıştır.

Mikrokapsül/mikrokompozit üretimi sırasında prosese eklenen bir geri soğutucu yardımı ile FDM'lerin proses sırasındaki buharlaşması önlenerek verim artışı sağlanmıştır. Ayrıca; karıştırma gücü, proses sıcaklığı ve formaldehit miktarının optimizasyonu ile maksimum verim elde edilmiştir. Hazırlanan mikrokapsüllerin/mikrokompozitlerin 89,93 J/g enerji depolama kapasitesine sahip olduğu belirlenmiştir.

Bu tez kapsamında üretilen bor minerallinin termal yapısal ve kimyasal özellikleri dikkate alındığında termal enerji depolama uygulamalarında özellikle; havacılıkta, binalarda, soğuk hava depolamada, güneş enerjisi sistemlerinde, elektronik donanımların soğutulmasında, otomotiv ve tekstil endüstrisi gibi pek çok yaygın alanlarda enerji depolama materyalleri olarak kullanılabilir. Hazırlanan kompozitlerin uygulamalarda kullanılması ile artan enerji yükü azaltılabilecek ayrıca fosil yakıtların daha az kullanımı ile sera gazının artışı önlenerek temiz bir çevre oluşumuna katkıda bulunabilecektir.

Bundan sonraki çalışmalarda farklı FDM grupları ve bor mineralleri kullanılarak emülsiyon polimerizasyonu ile mikrokapsülleme çalışmaları ve vakumlu emdirme, mikrodalga destekli emdirme yöntemleri kullanılarak mikrokapsül ve kompozitlerin üretiminin yapılması hedeflenmiştir.

## KAYNAKLAR

Asker, M., ve Günerhan, H., “ Faz değişim malzemeli ısı değiştirici üzerine parametrik bir alışma”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(3), 2016.

Cheng, F., Zhang, X., Wen, R., Huang, Z., Fang, M., Liu, Y. G., and Min, X., “Thermal conductivity enhancement of form-stable tetradecanol/expanded perlite composite phase change materials by adding Cu powder and carbon fiber for thermal energy storage”, *Applied Thermal Engineering*, 653-659, 2019.

Çimen, E., “Mikrokapsülleme yöntemiyle dokuma kumaşlara yeni özellikler katma olanakları”, Yüksek Lisans Tezi, *İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, s.73, 2007.

Dressler, H., “Process for dyeing molded articles containing urea formaldehyde resin or melamine formaldehyde resin” *U.S. Patent*, 4,009,995,1977.

Fang, X., Fan, L. W., Ding, Q., Yao, X. L., Wu, Y. Y., Hou, J. F., and Hu, Y. C., “ Thermal energy storage performance of paraffin-based composite phase change materials filled with hexagonal boron nitride nanosheets”, *Energy Conversion and Management*, 80, 103-109, 2014.

Feng, J., Zeng, Y., Ma, C., Cai, X., Zhang, Q., Tong, M., Yu, B. and Xu, P., “The surfactant Tween 80 enhances biodesulfurization”, *Applied and Environmental Microbiology*, 72-11, 2006.

Giro-Paloma, J., Konuklu, Y., and Fernández, A. I., “Preparation and exhaustive characterization of paraffin or palmitic acid microcapsules as novel phase change material”, *Solar Energy*, 112, 300-309, 2015.

Gök, Ö., Alkan, C., and Konuklu, Y., “Developing a poly (ethylene glycol)/cellulose phase change reactive composite for cooling application”, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 191, 345-349, 2019



Harikrishnan, S., Devaraju, A., Sivasamy, P., and Kalaiselvam, S., “Experimental Investigation of Improved Thermal Characteristics of SiO<sub>2</sub>/myristic acid Nanofluid as Phase Change Material (PCM) ”, *Materials Today: Proceedings*, 9, 397-409, 2019.

Horpan, M. S., Şahan, N., Paksoy, H., Sivrikaya, O., and Günes, M., “Direct impregnation and characterization of Colemanite/Ulexite-Mg (OH)<sub>2</sub> paraffin based form-stable phase change composites”, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 195, 346-352, 2019.

Jeong, S.G., Lee, J.H., Seo, J., and Kim, S., “ Thermal performance evaluation of Bio-based shape stabilized PCM with boron nitride for energy saving”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 71, 245-250, 2014.

Kalafatoğlu, İ.E., ve Örs, S.N., “ 21. yüzyılda bor teknolojileri ve uygulamaları”, *Balkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*”, 5(1), 59-71, 2003.

Karakuzue, E., ve Coşkun, M.B., “Faz değiştiren maddelerle sera ısıtma olanakları”, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 18-20, 2015.

Konuklu, Y., “Microencapsulation of phase change material with poly (ethylacrylate) shell for thermal energy storage”, *International Journal of Energy Research*, 38-15, 2014.

Konuklu, Y., “Mikrokapsüllenmiş Faz Değiştiren Maddelerde Termal Enerji Depolama ile Binalarda Enerji Tasarrufu, Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, s.5-15, 2008.

Konuklu, Y., and Ersoy, O., “Preparation and characterization of sepiolite-based phase change material nanocomposites for thermal energy storage”, *Applied Thermal Engineering*”, 107, 575-582, 2016.

Konuklu, Y., and Paksoy, H. O., “ The preparation and characterization of chitosan–gelatin microcapsules and microcomposites with fatty acids as thermal energy storage materials”, *Energy Technology*, 3(5), 503-508, 2015.



Konuklu, Y., Ersoy, O., and Gokce, O., “Easy and industrially applicable impregnation process for preparation of diatomite-based phase change material nanocomposites for thermal energy storage”, *Applied Thermal Engineering*, 91, 759-766, 2015.

Konuklu, Y., Ersoy, O., Erzin, F., and Toraman, Y. Ö., “Experimental study on preparation of lauric acid/microwave-modified diatomite phase change material composites”, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 194, 89-94, 2019.

Konuklu, Y., Erzin, F., Akar, H. B., and Turan, A. M., “Cellulose-based myristic acid composites for thermal energy storage applications”, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 193, 85-91, 2019.

Konuklu, Y., Ersoy, O., and Erzin, F., “Development of pentadecane/diatomite and pentadecane/sepiolite nanocomposites fabricated by different compounding methods for thermal energy storage”, *International Journal of Energy Research*, 2-4 2019.

Konuklu, Y., Paksoy, Ö. H., “Faz değiştiren maddeler ile binalarda enerji verimliliği”, *X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 920-922, 2011.

Konuklu, Y., Unal, M., and Paksoy, H. O. “Microencapsulation of caprylic acid with different wall materials as phase change material for thermal energy storage”, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 120, 536-542, 2014.

Koşan, M., ve Aktaş, M., “ Faz değiştiren malzemelerle termal enerji depolayan bir ısı değiştiricisinin sayısal analizi”, *Politeknik Dergisi*, 21(2), 403-409, 2018.

Kula, I., Olgun, A., Erdogan., and Sevinc, V., “Effects of colemanite waste, cool bottom ash, and fly ash on the properties of cement”, *Cement and Concrete Research*, 31(3), 491-494, 2001.

Li, C., Xie, B., Chen, D., Chen, J., Li, W., Chen, Z., and Long, Y., “Ultrathin graphite sheets stabilized stearic acid as a composite phase change material for thermal energy storage”, *Energy*, 166, 246-255, 2019.



Lin, C., and Rao, Z., “Thermal conductivity enhancement of paraffin by adding boron nitride nanostructures: a molecular dynamics study”, *Applied Thermal Engineering*, 110, 1411-1419, 2017.

Lu, X., Huang, J., Kang, B., Yuan, T., and Qu, J. P., “Bio-based poly (lactic acid)/high-density polyethylene blends as shape-stabilized phase change material for thermal energy storage applications”, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 192, 170-178, 2019.

Ma, T., Li, L., Wang, Q., and Guo, C., “High-performance flame retarded paraffin/epoxy resin form-stable phase change material”, *Journal of Materials Science*, 54(1), 875-885, 2019.

Mangold, O., and Selberg, P., “Renovating with a greenhouse and Phase Change Material”, *Chalmers University of Technology*, 70-78, 2015.

Mert, M.S., Merve, S.E.R.T., ve Mert, H.H., “Isıl enerji depolama sistemleri için organik faz değiştiren maddelerin mevcut durumu üzerine bir inceleme”, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(1), 161-174, 2018.

Mhadhbi, M. (Ed), “Phase Change Materials and Their Applications”, *BoD–Books on Demand*, Tunisia, 37, 2018.

Muruganatham, K., “Application of phase change material in buildings: field data vs. EnergyPlus simulation”, *Arizona State University*, 23-34, 2010.

Nomura, T., Yoolerd, J., Sheng, N., Sakai, H., Hasegawa, Y., Haga, M., and Akiyama, T., “Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> core/shell microencapsulated phase change material for high-temperature applications”, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 193, 281-286, 2019.

Ötleş, S., “Mikroenkapsülasyon teknolojisi ile beta karoten”, *Ege Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü*, 92, 2018.

Özonur, Y., Mazman, M., Paksoy, H. Ö., and Evliya, H., “Microencapsulation of coco fatty acid mixture for thermal energy storage with phase change material”, *International Journal of Energy Research*, 30(10), 741-749, 2006.

Özonur, Y., “Düşük sıcaklıkta termal enerji depolamasına uygun faz değıştiren maddelerin mikrokapsüllenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, s.3,8,15, 2004.

Pektaş, K.A.G., “Mikroenkapsülasyon üretim yöntemleri”, *K.S.İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, 4, 2017.

Qian, Z., Shen, H., Fang, X., Fan, L., Zhao, N., and Xu, J., “Phase change materials of paraffin in h-BN porous scaffolds with enhanced thermal conductivity and form stability”, *Energy and Buildings*, 158, 1184-1188, 2018.

Su, D., Jia, Y., Alva, G., Tang, F., and Fang, G., “Preparation and thermal properties of n-octadecane/stearic acid eutectic mixtures with hexagonal boron nitride as phase change materials for thermal energy storage”, *Energy and Buildings*, 131, 35-41, 2016.

URL-1, <https://www.boren.gov.tr/>, 2018

URL-2, [www.enerji.gov.tr](http://www.enerji.gov.tr), 2018

URL-3, [www.etimaden.gov.tr](http://www.etimaden.gov.tr), 2018

Wu, W., Wu, W., and Wang, S., “Form-stable and thermally induced flexible composite phase change material for thermal energy storage and thermal management applications”, *Applied energy*, 236, 10-21, 2019.

Xie, S., Sun, J., Wang, Z., Liu, S., Han, L., Ma, G., and Jia, Y.A., “ thermally stable phase change material with high latent heat based on an oxalic acid dihydrate/boric acid binary eutectic system”, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 168, 38-44, 2017.

Yang, X., Guo, Z., Liu, Y., Jin, L., and He, Y. L., “Effect of inclination on the thermal response of composite phase change materials for thermal energy storage”, *Applied Energy*, 238, 22-33, 2019.

Yuan, M., Ren, Y., Xu, C., Ye, F., and Du, X., “Characterization and stability study of a form-stable erythritol/expanded graphite composite phase change material for thermal energy storage”, *Renewable Energy*, 136, 211-222, 2019



## ÖZ GEÇMİŞ

Abdul Malik TURAN 1993 yılında Afganistanın Jewzjan ilinde doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Ghulam Server Şehit Lisesinde 2011 yılında tamamladı. Lisans eğitimine 2012 yılında Jawzjan Üniversitesi Eğitim Fakültesi Kimya Bölümünde başladı ve 2015 yılında mezun oldu. Lisans eğitimi ile birlikte 2013 yılında Jawzjan Teknik Enstitüsünde ikinci öğretim olarak iki yıllık Elektrik Mühendisliği Bölümüne başladı ve 2015 yılında mezun oldu.

Eğitimine devam etmek için 2016 yılında Türkiye'ye geldi. İlk yıl Türkçe eğitimi aldı. Kısa bir dönem Türkçe, Farsça ve Özbekçe tercümanı olarak "Sığınmacılar ve Göçmenlerle Dayanışma Derneğinde" çalıştı. 2017 yılında Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizikokimya Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine Doç. Dr. Yeliz KONUKLU'nun öğrencisi olarak başladı.

