

FAZ DEĞİŞTİRİCİ MADDELER VE UYGULAMALARI

Süreyya Şeyma ACAR

Yüksek Lisans Tezi

Kimya Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Memet ŞEKERCİ

NİSAN-2014

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FAZ DEĞİŞTİRİCİ MADDELER VE UYGULAMALARI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Süreyya Şeyma ACAR

Anabilim Dalı: Kimya

Programı: Anorganik Kimya

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Memet ŞEKERCİ

NİSAN-2014

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FAZ DEĞİŞTİRİCİ MADDELER VE UYGULAMALARI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Süreyya Şeyma ACAR

(111117102)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 09.04.2014

Tezin Savunulduğu Tarih: 24.04.2014

Tez Danışmanı	Prof. Dr. Memet ŞEKERCİ	
Üye	Prof. Dr. Mehmet KAYA	
Üye	Prof. Dr. Niyazi BULUT	

NİSAN-2014

ÖNSÖZ

Yenilenebilir enerji kaynaklarına duyulan ihtiyacın her geçen gün artmasının temel nedeni var olan fosil enerji kaynaklarının sınırlılığıdır. Gittikçe artan teknoloji çağı nüfusunun en büyük ihtiyacı enerjidir. Bu enerjiyi karşılamak amacıyla fosil yakıtların kullanılması aynı zamanda çevre kirliliğine de neden olmaktadır. Tüm bunlarda göstermektedir ki çağımız insanları yenilenebilir ve çevre ile dost enerji kaynaklarına ihtiyaç duymaktadır.

Faz değiştirici maddeler hal değişim sürecinde enerji depolayıp sonrasında depoladığı enerjiyi çevreye vererek enerji tüketiminin özellikle yalıtım sistemlerinde düşmesine neden olmaktadır. FDM özelliği taşıyan saf maddelerin olmasının yanı sıra istenen çalışma aralığında faz değiştiren ötektik bazı karışımlar da bu özelliği taşımaktadır. FDM özellikli ötektik karışımların eldesin de yaygın olarak yağ asitleri ve inorganik tuz hidratları kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında yeni FDM özellikli ötektik karışımlar hazırlanarak bunların yalıtım malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Bu çalışmanın tüm aşamalarında bilgisi ve tecrübesiyle bana her konu da yol gösteren danışman hocam Prof. Dr. MEMET ŞEKERCİ'ye,

Çalışmamın her basamağın da ilgi ve desteğini benden esirgemeyen, çalışma süresince sorularımı sabır ve güler yüzle cevaplayan, manevi desteğiyle her zaman yanımda olan Dr. ZUHAL KARAGÖZ GENÇ hocama,

Ayrıca çalışmalarım da bana bilgileriyle yardımcı olan Yrd. Doç. Dr. MURAT GENÇ ve Yrd. Doç. Dr. CANAN AKSU CANBAY hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Sadece yüksek lisans tezim süresince değil hayatımın her anında her şart altında sevgilerini ve desteklerini benden hiç esirgemeyen hep daha iyisini başarabileceğime inanan hep iyi hissetmemi sağlayan özellikle anneme, kardeşlerime ve yüksek lisans öğrencisi NOMAN TINAZ'a

Şu an yanımda olamasa da desteğini ve sevgisini hep hissettiğim bu günlere gelmemi sağlayan canım babacığım AHMET ACAR'a sonsuz ve en içten teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek Lisans çalışmama FF.13.07 nolu proje ile mali destek sağlayan Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine ayrıca teşekkür ederim

Süreyya Şeyma ACAR
NİSAN-2014

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	ii
ÖZET	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Termal Enerji ve Termal Enerji Depolama Yöntemleri	2
1.1.1 Termokimyasal Isı Depolama	4
1.1.2 Duyulur Isı Depolama	5
1.1.3 Gizli ısı depolama	7
1.2 Faz Değiştiren Maddeler	9
1.2.1 FDM'lerin Özelliklerinin Değerlendirilmesi	10
1.2.1.1 Erime/donma	11
1.2.1.2 Aşırı soğuma	11
1.2.1.3 Çekirdekleşme	12
1.2.1.4 Isıl çevrim boyunca karalılık	12
1.2.2 Faz Değiştirici Maddelerin Sınıflandırılması	14
1.2.2.1 Parafinler	15
1.2.2.2 Yağ Asitleri	16
1.2.2.3 İnorganik Tuz Hidratları	19
1.2.2.4 Ötektik Karışımlar	22
1.2.2.4.1 İnorganik tuz hidratların ötektik karışımları	24
1.2.2.4.2 Yağ asitlerinin ötektik karışımları	25
1.2.2.4.3 Organik ve İnorganik FDM'lerin Ötektik Karışımları	26
2. FAZ DEĞİŞTİRİCİ MADDELERLE İLGİLİ YAPILMIŞ ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	27
3. MATERYAL ve METOD	46
3.1. Materyal	46
3.1.1 Kullanılan Araç ve Gereçler	46
3.1.2. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Kimyasallar	47
3.2. Metod	48
3.2.1 FDM Ve Kompozit Destekli FDM'lerin Hazırlanması	48

3.2.1.1. Kamfen-Palmitik Asit Karışımları.....	48
2.2.1.2. Kamfen-Stearik Asit Karışımları	49
3.2.2. Elde Edilen FDM Karışımlarının Analizi.....	51
3.2.2.1. FT-IR Analizi.....	51
3.2.2.2. Yüzey Morfolojisi Analizi	51
3.2.2.3. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Analiz Tekniği	52
3.2.2.4. Termal Çevrim Analizi	52
4. BULGULAR.....	53
4.1. C- PA Karışımlarına Ait Veriler	53
4.1.1. C-PA karışımlarının DSC sonuçları.....	53
4.1.2. C-PA Karışımlarının FT-IR Sonuçları.....	56
4.1.3. Yalıtım malzemesi katkılandırılmış C-PA Karışımlarının DSC sonuçları	57
4.1.4. Yalıtım Malzemesi Katkılandırılmış C-PA Karışımlarının TGA Sonuçları.....	59
4.1.5. Yalıtım Malzemesi Katkılandırılmış C-PA Karışımlarının FT-IR Sonuçları.....	60
4.1.6. Yalıtım Malzemesi Katkılandırılmış C-SA Karışımlarının Spesifik Isı Kapasitelerinin (C_p) İncelenmesi.....	61
4.1.7. Yalıtım Malzemesi Katkılandırılmış C-PA Karışımlarının SEM Yorumları	62
4.1.8. Yalıtım Malzemesi Katkılandırılmış C-PA Karışımlarının Termal Çevrim Sonrası Özelliklerinin İncelenmesi	65
4.2. C-SA Karışımlarına Ait Veriler	69
4.2.1. C-SA Karışımlarının DSC Sonuçları	69
4.2.2 C-SA Karışımlarının FT-IR Sonuçlar	72
4.2.3 Yalıtım Malzemesi Katkılandırılmış C-SA Karışımının DSC Sonuçları.....	73
4.2.4 Yalıtım Malzemesi Katkılandırılmış C-SA Karışımının TGA Sonuçları	75
4.2.5 Yalıtım Malzemesi Katkılandırılmış C-SA Karışımlarının FT-IR Sonuçları.....	76
4.2.6 Yalıtım malzemesi katkılandırılmış C-SA karışımlarının SEM yorumları.....	77
4.2.7 Yalıtım Malzemesi Katkılandırılmış C-SA Karışımlarının Spesifik Isı Kapasitelerinin (C_p) İncelenmesi	80
4.2.8 Yalıtım Malzemesi Katkılandırılmış C-SA Karışımlarının Termal Çevrim Sonrası Özelliklerinin İncelenmesi	81
5. SONUÇ ve TARTIŞMA	85
6. KAYNAKLAR.....	90

ÖZET

İki aşamada gerçekleştirilen bu çalışmanın ilk aşamasında Kamfen, stearik asit ve palmitik asit maddeleri kullanılarak farklı oranlarda Kamfen-palmitik asit ve Kamfen-stearik asit seri karışımları hazırlandı. Hazırlanan bu iki seri FDM özellikli ötektik karışımdan yapısal ve termal özelliği en iyi olan karışımlar ana karışım olarak belirlendi. İkinci basamağında uçucu kül, proklastik mermer tozu ve barit seçilen karışımlara katkılандırıldı. Elde edilen kompozit temelli FDM'lerin yapısal ve temel özellikleri DSC, FT-IR, TGA ve SEM teknikleri kullanılarak analiz edildi.

Anahtar Kelimeler: FDM (Faz Değiştirici Maddeler), ötektik karışım

SUMMARY

PHASE CHANGE MATERIALS AND APPLICATIONS

In the first step of the work, which are placed in two steps, camphene-palmitic and camphene-stearic acid and mixtures have been prepared by using camphene, stearic acid and palmitic acid with different rates. The main eutectic mixtures have been selected from these prepared two series which have the best structural and thermal properties. In the second stage, fly ash, pyroclastic, marble powder and barite have been doped to the these selected mixtures. The obtained composite based PCM's structural and thermal properties have been analysed by using DSC, FT-IR, TGA and SEM techniques.

Ket Word: PCM (Phase Change Material), eutectic mixtures

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1	Termal enerji depolama sistemlerinin genel bileşenleri 3
Şekil 1.2	Isı depolamasında uygulanan yöntemler [7]..... 4
Şekil 1.3	Duyulur ve Gizli ısı depolama işleminin sıcaklık-ısı grafiği [40]..... 6
Şekil 1.4	Faz değişim olayının sıcaklık-ısı grafiği [40]..... 8
Şekil 1.2. 1	Aşırı soğuma davranışına sahip olan bir maddenin sıcaklık-zaman grafiği 12
Şekil 1.2. 2	Tuz – Buz karışımının donma hal değişimi sırasında gözlenen faz ayrılması13
Şekil 1.2. 3	NaCl – H ₂ O faz diyagramı [24]..... 23
Şekil 1.2. 4	Ötektik noktaya sahip karışımların faz diyagramı..... 24
Şekil 4. 1	Farklı oranlardaki C-PA karışımlarının Donma hal değişimlerinin DSC eğrileri..... 53
Şekil 4. 2	Farklı oranlardaki C-PA karışımlarının erime hal değişimlerinin DSC eğrileri..... 54
Şekil 4. 3	Kamfen, Palmitik Asit ve C-PA karışımının FT-IR spektrumları..... 56
Şekil 4. 4	Yalıtım malzemesi katkılandırılmış C-PA karışımlarının donma hal değişimlerine ait DSC eğrileri 57
Şekil 4. 5	Yalıtım malzemesi katkılandırılmış C-PA karışımlarının erime hal değişimlerine ait DSC eğrileri 58
Şekil 4. 6	Yalıtım malzemesi katkılandırılmış C-PA karışımlarının TGA eğrileri 59
Şekil 4. 7	Yalıtım malzemesi katkılandırılmış C-PA karışımlarının FT-IR spektrumları 60
Şekil 4. 8	Yalıtım Malzemesi Katkılandırılmış C-SA Karışımlarının hal değişimi süresince Spesifik Isı Kapasiteleri (C _p) 61
Şekil 4. 9	C-PA karışımının farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri 62
Şekil 4. 10	C-PA Proklastik karışımının farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri 63
Şekil 4. 11	C-PA Uçucu kül karışımının farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri..... 63
Şekil 4. 12	C-PA Barit karışımının farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri 64
Şekil 4. 13	C-PA Mermer tozu karışımının farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri 64
Şekil 4. 14	Yalıtım Malzemesi Katkılandırılmış C-PA Karışımlarının Termal Çevrim Sonrası FT-IR Spektrumları 65
Şekil 4. 15.	Yalıtım Malzemesi Katkılandırılmış C-PA Karışımlarının Termal Çevrim Sonrası Donma hal değişimlerine ait DSC eğrileri 66
Şekil 4. 16	Yalıtım Malzemesi Katkılandırılmış C-PA Karışımlarının Termal Çevrim Sonrası erime hal değişimlerine ait DSC eğrileri 66
Şekil 4. 17	Farklı oranlardaki C-SA karışımlarının donma hal değişimlerinin DSC eğrileri..... 69
Şekil 4. 18	Farklı oranlardaki C-SA karışımlarının erime hal değişimlerinin DSC eğrileri..... 70
Şekil 4. 19	Kamfen, Stearik asit ve C-SA karışımının FT-IR spektrumları 72
Şekil 4. 20	Yalıtım malzemesi katkılandırılmış C-SA karışımlarının donma hal değişimlerine ait DSC eğrileri 73
Şekil 4. 21	Yalıtım malzemesi katkılandırılmış C-SA karışımlarının erime hal değişimlerine ait DSC eğrileri 74
Şekil 4. 22	Yalıtım malzemesi katkılandırılmış C-SA karışımlarının TGA eğrileri 75

Şekil 4. 23	Yalıtım Malzemesi Katkılandırılmış C-SA Karışımlarının FT-IR Spektrumları	76
Şekil 4. 24	C-SA Uçucu kül karışımının farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri.....	77
Şekil 4. 25	C-SA Proklastik karışımının farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri	78
Şekil 4. 26	C-SA Barit karışımının farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri	78
Şekil 4. 27	C-SA Mermer tozu karışımının farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri	79
Şekil 4. 28	Yalıtım Malzemesi Katkılandırılmış C-SA Karışımlarının hal değişimi süresince Spesifik Isı Kapasiteleri (C_p)	80
Şekil 4. 29	Yalıtım Malzemesi Katkılandırılmış C-SA Karışımlarının Termal Çevrim Sonrası FT-IR Spektrumları	81
Şekil 4. 30	Yalıtım Malzemesi Katkılandırılmış C-PA Karışımlarının Termal Çevrim Sonrası Donma hal değişimlerine ait DSC eğrileri	82
Şekil 4. 31	Yalıtım Malzemesi Katkılandırılmış C-PA Karışımlarının Termal Çevrim Sonrası erime hal değişimlerine ait DSC eğrileri	82

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1.1	Duyulur ısı depolamada kullanılan bazı maddeler ve özellikleri	6
Tablo 1.2	Termal Enerji Depolama (TED) Sistemlerinde kullanılacak FDM’lerde olması gereken özellikler (Lane, 1983)	10
Tablo 1.3	Faz değıştiren maddelerin sınıflandırılması (Mazman, 2006).....	14
Tablo 1.4	Bazı yağ asidi ve tuzlarının erime sıcaklıkları, yoğunlukları ve termal özellikleri [18,39,47,48,49]	18
Tablo 1.5	Bazı yaygın tuz hidratlarının erime sıcaklıkları, yoğunlukları ve termal özellikleri [18,20,21,22,35,39]	21
Tablo 1.6	Bazı yaygın ötektik inorganik tuz hidrat karışımları [18,42]	25
Tablo 1.7	Bazı yaygın ötektik yağ asiti karışımları ve özellikleri [23,27,44,52,54]	26

1.GİRİŞ

Günümüzde enerji ihtiyacının çoğu fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Fosil yakıtların gelecekte tükenerek olması ve oluşum sürecinin uzun olmasının toplumlar üzerindeki olumsuz etkilerinin yanı sıra önemli bir kirlilik nedenidir. Fosil yakıtların yanma ürünü olan CO_x, SO_x, NO_x gibi gazların atmosferdeki miktarının artmasının etkisiyle asit yağmurlarının oluşumuna, ozon tabakasının zarar görmesine, sera etkisinin artmasına sebep olmaktadır. Bu yanma ürünlerinin zararının yanında bunlar kadar etkili olan başka bir unsurda ısı kirliliğidir. Her tür yanma sonucunda ortaya çıkan ısı küresel ısınmayı tehdit eder. Bo Nordell (2003) yanma sonucunda açığa çıkan tüm zararlı gazlar engellense bile oluşan ısı kirliliğinden dolayı küresel ısınmanın engellenemeyeceğini belirtmektedir. [1,2] Bunun sonucu olarak günümüzün en büyük sorunu olan enerji kaynaklarının büyüyen ve artan enerji tüketimi karşısında yetersiz kalması ve çevreye verdiği zararlar insanlığın alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ihtiyacını arttırmıştır. Türkiye’de nüfus ve sanayileşmenin hızla artmasından dolayı gittikçe büyüyen enerji gereksiniminin karşılanamaması ile birlikte enerji üretimi ve tüketimi arasındaki uçurum gittikçe büyümektedir. Enerji tüketimimizin % 35-40’nın binalarda tüketilmesi ve bu oranının % 85’inin ısınmada kullanılması bina ısı yalıtımına yeteri kadar önemin verilmeyişinden kaynaklanmaktadır (www.e.i.e.gov.tr). 2000 yılında yapılan E.İ.E.İ enerji raporuna göre 2020 yılında enerji ihtiyacının dörtte üçünün ithalat yoluyla karşılanabileceği öngörülmüştür ve bu öngörüye göre enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla ülkenin dışa bağımlılığı artacaktır.

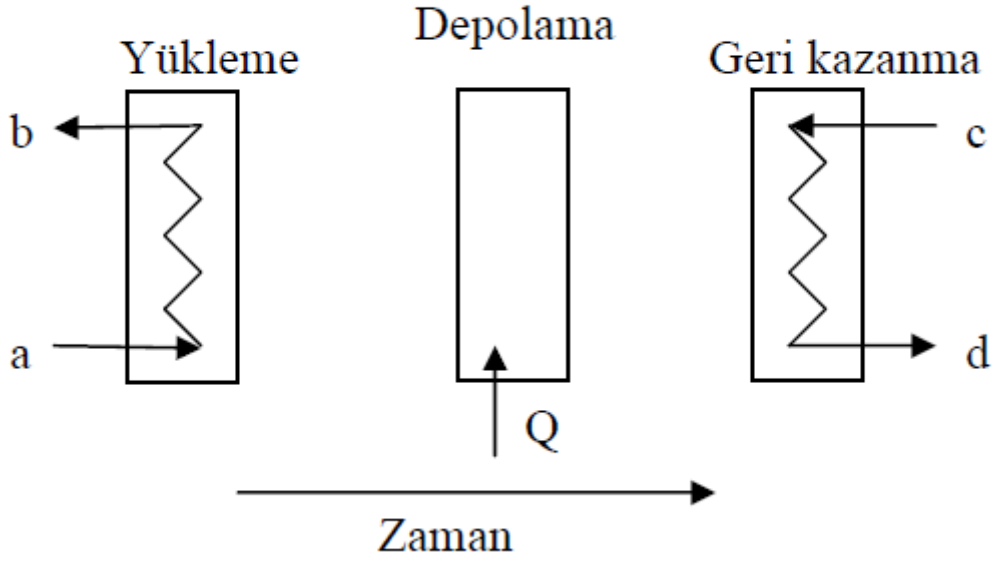
Bunun en iyi ve kalıcı çözüm yolu yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmektir çünkü yenilenebilir enerji kaynakları tükenmez ve süreklilik gösterirler. Bu enerji kaynaklarının kullanımı ve elde edilmesi arasındaki zaman farkı enerjinin depolanması yoluyla kapatılabilir. Enerji depolaması hem enerjinin kullanıldığı alanlardaki atık enerjiyi depolama (endüstrideki ve sanayideki atık ısının depolanması) hem de yalnız belirli zamanlarda enerji verebilen (güneş ve rüzgar enerjisi gibi) doğal ve sürekli olan yenilenebilir enerji kaynaklarındaki enerjiyi depolayarak, enerjinin depolanması ve ihtiyacı arasında oluşabilecek zaman farkının verimli bir şekilde giderilmesini ve performansın artırılmasını amaçlar. Bu yöntemde özellikle yardımcı enerji kaynağına duyulan ihtiyaç ortadan kaldırılmış olur.

Enerji elektrik, kimyasal, mekanik ve ısı enerji gibi farklı türlerde depolanabilir. Bu depolama yöntemlerinin en etkin kullanılanı ve ekonomik olanı Termal Enerji Depolama yöntemidir. Termal enerji depolamada iki farklı ısı depolama yöntemi mevcuttur bunlar duylur ısı depolama ve gizli ısı depolamadır. Duylur ısı depolama; kullanılan maddenin sıcaklığında meydana gelen değışimler sonucunda ortaya çıkan ısıdır ve bu yöntemde maddenin sıcaklık değışimden faydalanılarak depolama yapılır. Gizli ısı; kullanılan maddenin faz değışimi esnasında ortamdan aldığı veya ortama verdiği ısıdır. Termal enerji depolamada yaygın olarak enerjinin gizli ısı şekilde depolanması tercih edilir. Bunun nedeni yöntemin yüksek ısı depolama yeteneğine ve küçük sıcaklık aralıklarında bu ısıyı yükleme ve yayma özelliğine sahip olmasıdır. Gizli ısı depolama yönteminde faz değıştirici maddelerden faydalanılır. Belirli sıcaklık aralığında fazlarını değıştirme yeteneklerine sahip olan FDM'ler içinde bulundukları ortamın sıcaklığı faz değışim sıcaklığının üzerine çıktığında çevreden ısı alırken soğuma esnasında bu ısıyı tekrar çevreye yaymaktadırlar. Bu sayede FDM'ler bulundukları ortamın sıcaklık dalgalanmasını düzenleyerek konfor sağlamaları nedeniyle bina içi yalıtım ve iklimlendirmede büyük enerji tasarrufu sağlamaktadırlar. Bunlara ilave olarak bu faz değıştirici maddelerin mikrokapsüllenmesi yoluyla akıllı tekstil ürünleri geliştirilmiştir [3].

1.1. Termal Enerji ve Termal Enerji Depolama Yöntemleri

Enerji bir sistemin iş yapabilme kapasitesidir. Termal (ısı) enerji; bir maddeyi oluşturan atom veya moleküllerin potansiyel ve kinetik enerjilerinin toplamıdır. Bu enerji maddeyi oluşturan atom veya moleküllerin titreşimi sonucunda oluşur ve oluşan bu enerjinin aktarımı sistem ile ortam arasındaki sıcaklık farkından dolayı ısı akışı yoluyla gerçekleşir [2,3]. Çevresine iş yapan bir sistemin enerjisi azalırken, çevresinden iş alan bir sistemin enerjisi artar. Buna paralel olarak; çevresinden ısı alan bir sistemin enerjisi artar ve çevresine ısı yayan bir sistemin enerjisi azalır [5,6].

Termal enerji depolama sistemlerinin temelinde; depolama sistemine enerji sağlanması, sağlanan bu enerjinin depolanması ve ihtiyaç anında kullanılması prensibi vardır yani yükleme, depolama, geri kazanma süreçlerine dayanır.

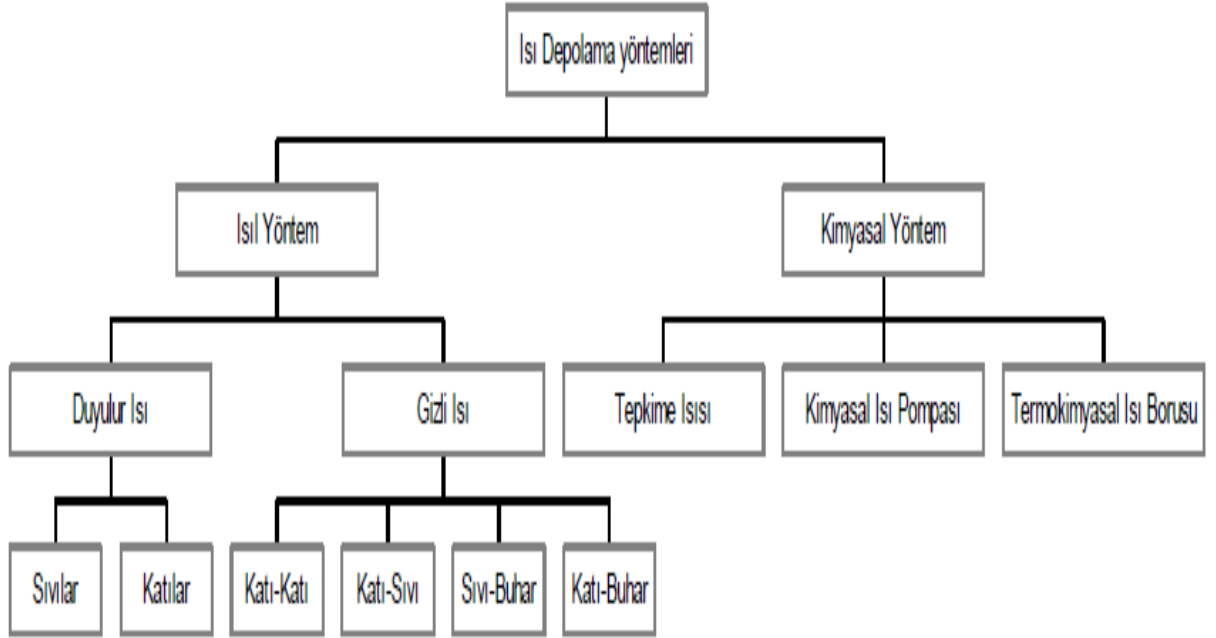


Şekil 1. 1 Termal enerji depolama sistemlerinin genel bileşenleri

Üç çeşit Termal Enerji Depolama yöntemi vardır. Bu depolama yöntemlerini birbirinden farklı kılan özellikleri birim hacimde depolayabildikleri enerji miktarlarıdır.

- 1) Termokimyasal ısı depolama yöntemi
- 2) Duyulur ısı depolama yöntemi
- 3) Gizli ısı depolama yöntemi

Birim hacimdeki iç enerji değişimi fazla olan bir materyalin termal enerji depolama sisteminde kullanılması, enerjinin depolanması için gerekli olan hacmin azalmasını sağlar.



Şekil 1. 2 Isı depolamasında uygulanan yöntemler [7]

1.1.1 Termokimyasal Isı Depolama

Kimyasal ısı bir kimyasal reaksiyonda ortamdan alınan veya ortama verilen ısıdır. Kimyasal reaksiyonda bir bağın oluşumu için gerekli olan enerji ortamdaki ısı enerjisi yoluyla sağlanıyorsa yani reaksiyon endotermikse veya var olan bir kimyasal bağ ayrışırken sahip olduğu enerjiyi ortama veriyorsa yani reaksiyon ekzotermikse ve bu yolla kimyasal bir reaksiyon yardımıyla ısı depolaması söz konusuysa bu olaya termokimyasal ısı depolaması denir. Bu yöntem endotermik olarak ısı alan bir reaksiyonun, ekzotermik bir reaksiyonla aldığı ısıyı geri vermesi temeline dayanır.

$$Q = a_r.m.\Delta H_r$$

a_r : Tepkiyen madde kesri

m : Maddenin kütlesi

ΔH_r : Birim kütlenin reaksiyon ısısı

1.1.2 Duyulur Isı Depolama

Duyulur ısı depolama sıvı ya da katı maddenin ısı depolama kapasitesinden değişen ortam sıcaklığına bağlı olarak faydalanılması temeline dayanır. Bu yöntemde maddenin sıcaklığı arttırılarak enerji depolanır. Bu depolama ve geri kazanma olayları tersinir olaylardır. Bu yüzden kullanım ömrü uzundur buna bağlı olarak depolamada kullanılan maddelerin özellikleri değişmez fakat sistem enerjiyi depolarken ve salarken ısı kaybetmeye elverişlidir. Bu yüzden bir izolasyon gerektirebilir. Depolama boyunca sistemin sıcaklığı artar ve geri kazanılırken sistem sıcaklığı sürekli düştüğünden ısı akış dağılımı gizli ısı depolamaya göre daha kararsızdır. Birçok enerji depolama ve geri kazanma döngüsüne sahip olması yöntemin avantajıdır, gereksinim duyulan depo hacminin büyük olması dezavantajıdır.[8,2]

$$Q = \int_{T_s}^{T_i} mC_p dT = mC_p(T_s - T_i) = \rho V C_p \Delta T$$

$$Q = m.C_p.(T_s-T_i)$$

Q: Depolanan toplam ısı enerjisi

m: Depolama maddesinin kütlesi

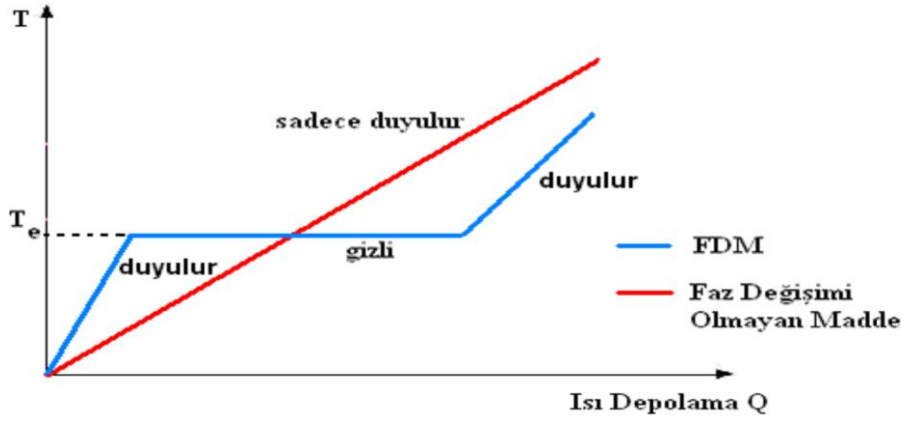
T_s: son sıcaklık

T_i: İlk sıcaklık

C_p: T_s ve T_i sıcaklıkları arasındaki ortamın özgül ısısı

V: Depolama maddesinin hacmi

ρ: Depolama maddesinin yoğunluğu



Şekil 1. 3 Duyulur ve Gizli ısı depolama işleminin sıcaklık-ısı grafiği [40]

Duyulur ısı depolamada ısı kapasitesi yüksek maddeler kullanılmalıdır. Fakat bu maddelerin seçiminde yanma ve alevlenme özelliklerinin olmamasına, sistemin tersinir bir şekilde çalışmasından dolayı seçilecek maddenin ömrünün uzun olmasına, zehirli veya korozyif özellik taşımasına dikkat edilmelidir. Bu kriterlere uygunluğu ekonomik ve elde edilme kolaylığı nedeniyle bu tür enerji depolama sistemlerinde yaygın olarak su ve çakıl taşı kullanımı tercih edilmiştir [9,10,11].

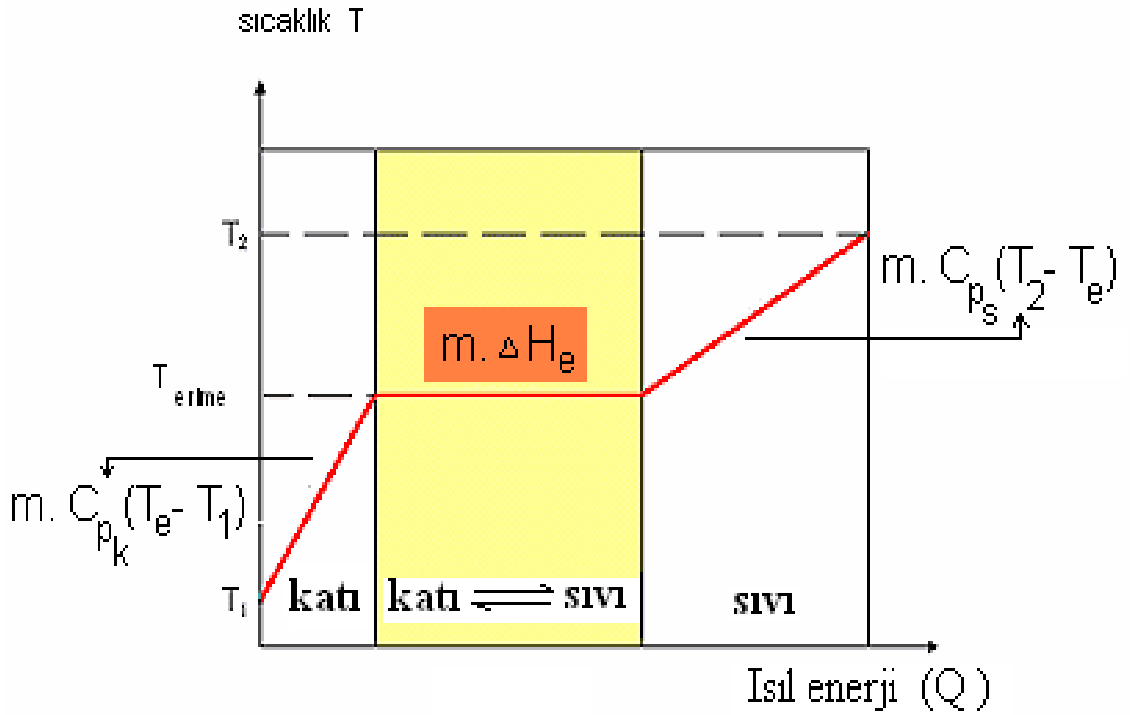
Tablo 1.1 Duyulur ısı depolamada kullanılan bazı maddeler ve özellikleri

Madde	Yoğunluk (kg/m ³)	Özgül ısı (kJ/kgK)
Su	1000	4,198
Çakıl taşı	2500-3500	0,88
Demir	7860	0,50
Beton	2250	0,65
Su/Etilen Glikol (50/50)	1050	3,47

1.1.3 Gizli ısı depolama

Maddenin iç enerjisinin önemli oranda değişmesi maddenin faz değiştirmesine neden olur. Maddenin faz değiştirirken çevreden aldığı ya da verdiği ısıya gizli ısı denir. Gizli ısı depolamak için faz değiştirici maddelerden (PCM: Phase Change Material) faydalanılır. Bu maddeler belirli sıcaklık aralıklarında faz değişim yoluyla termal enerjiyi gizli ısı şeklinde depolama yeteneğine sahiptirler [12]. Bir madde de faz değişimi katı-katı, katı-sıvı, katı-buhar ve sıvı-buhar şeklinde gerçekleşebilir [13]. Katı haldeki bir madde kristalleşerek diğer bir katı faza dönüştüğünde (katı-katı faz değişimi) ısı kristalleşme enerjisi olarak depolanır. Madde ilk durumdaki katı faza tekrar dönüştüğünde depoladığı ısı enerjisi geri kazanılmış olur. Katı-katı faz değişimi sırasında açığa çıkan gizli ısı miktarı azdır. Sıvı-buhar ya da katı-buhar faz değişiminde açığa çıkan gizli ısı miktarı katı-katı veya sıvı-katı faz değişimlerinde açığa çıkan gizli ısı miktarından oldukça fazladır. Fakat buhar fazının muhafaza edilmesi için basınçlı depolama kaplarına duyulan gereksinim bu faz değişim sisteminde karşılaşılan en büyük sorundur ve bu sorun katı-buhar veya sıvı-buhar faz değişiminde açığa çıkan gizli ısı miktarının depolanmasını sınırlandırır. Bunun yanı sıra bu faz değişimlerinde hacim değişikliğinin büyük olması bu değişimlerin gerçekleştiği depolama sistemlerinin karmaşık ve uygulanabilirliğinin kısıtlı olmasına neden olur [14,5].

Uygulamaların genelinde katı-sıvı faz değişimine uğrayan maddelerden faydalanılır. Katı-sıvı faz değişimine uğrayan maddeler diğerlerine oranla daha az hacim değişikliği gösterirler. Bu maddeler büyük hacim değişimi olmaksızın sınırlı sıcaklık aralığında enerji depolarlar [15,16].



Şekil 1. 4 Faz değişim olayının sıcaklık-ısı grafiği [40]

FDM içeren bir gizli ısı depolama sisteminin gizli ısı depolama kapasitesi:

$$\int_{T_e}^{T_i} mC_p dT + mH_e + \int_{T_s}^{T_e} mC_p dT = m [H_e + C_k(T_e - T_i) + C_s(T_s - T_e)]$$

Eşitliği kullanılarak hesaplanır. Bu eşitlikte birinci ve üçüncü terim duyulur ısıyı ikinci terim ise gizli ısıyı ifade eder.

C_k : katı fazın sabit basınçtaki özgül ısısı (kJ/kgK)

C_s : sıvı fazın sabit basınçtaki özgül ısısı (kJ/kgK)

T_i : başlangıç sıcaklığı (K)

T_e : erime sıcaklığı (K)

T_s : son sıcaklık (K)

H_e : erime gizli ısısı (kJ/kg)

1.2 Faz Değiştiren Maddeler

Belli bir sıcaklık aralığında faz değiştiren ve bu faz değişim olayı esnasında gizli ısı depolayabilen maddelere faz değiştiren maddeler (FDM'ler) denir. FDM'ler ortam sıcaklığının artmasına bağlı olarak faz değişimine uğrar (katı-sıvı) ve bu faz değişim olayı endotermik olarak geręekleřtięinden dolayı ortamdan ısı enerjisini absorblarlar. Faz değişim sıcaklığına ulaşıldığında depolanan bu ısı maddenin erimesine neden olur. Faz değişim süresince sıcaklık sabit kalır ve ısı enerjisi gizli ısı olarak depolanır.

Günümüzde katı-sıvı faz değişimi yoluyla 0-100 °C aralığında gizli ısı depolama işlemi için biręok organik ve inorganik FDM'ler kullanılmaktadır [5,17,18,19].

FDM'lerin sık görülen kullanım alanları;

- Binaların ısıtılması ve soğutulması amacıyla izolasyon da
- Elektronik cihazların ısınmasını önlemek amacıyla soğutma aksamalarında
- Tekstil endüstrisinde (mikro kapsüllenmiş FDM'ler içeren akıllı tekstil ürünlerinde)
- Gıda ambalajlarında
- Medikal alanda (kan, doku ve organ taşınmasında ve soğuk kompres uygulamalarında) [12].

Termal enerji depolama sistemlerinde kullanılacak FDM'lerin termodinamik, kinetik, kimyasal ve ekonomik özelliklere sahip olması gerekir [20,21,22,23].

1. TERMODİNAMİK ÖZELLİKLER

- İstenilen sıcaklık aralığında faz değiştirme sıcaklığına sahip olmalı
- Birim hacim ya da kütle başına yüksek faz değişim gizli ısısına sahip olmalı
- Isıl iletkenliği yüksek olmalı
- Düzenli (erime ve katılaşma) faz değişim davranışı göstermeli
- Öz ısısı yüksek olmalı
- Az hacim kaplaması için öz kütlesi yüksek olmalı

2. KİNETİK ÖZELLİKLER

- Çekirdekleşme hızı büyük olmalı (sıvı fazın aşırı soğumasını önlemek için).
- Kristal büyüme hızı yüksek olmalı (ısının geri kazanımının hızlı ve verimli olması için).

3. KİMYASAL ÖZELLİKLER

- Kimyasal olarak kararlı olmalı, çabuk bozulmamalı
- Çok sayıda faz değişim döngüsünden sonra kimyasal kararlılık göstermeli uzun ömürlü olmalı
- Korrozif, yanıcı, patlayıcı ve zehirleyici özelliklere sahip olmamalı

4. EKONOMİK ÖZELLİKLER

- Kolay temin edilebilir ve düşük maliyete sahip olmalı

Bu sınıflama Lane (1983) tarafından Tablo 1.2'deki gibi ifade edilmiştir.

Tablo 1.2 Termal Enerji Depolama (TED) Sistemlerinde kullanılacak FDM'lerde olması gereken özellikler [14]

Termal Özellikler	➤ Uygun faz dönüşüm sıcaklığı ➤ Yüksek ergime gizli ısı ➤ İyi ısı transferi
Fiziksel Özellikler	➤ Uygun faz dengesi ➤ Düşük buhar basıncı ➤ Düşük hacim değişimi ➤ Yüksek yoğunluk
Kinetik Özellikler	➤ Aşırı soğuma göstermemeli ➤ Yeterli kristalleşme hızı
Kimyasal Özellikler	➤ Uzun süreli kimyasal kararlılık ➤ Yapı malzemelerine uygunluk ➤ Toksik olmamalı ➤ Yanıcı olmamalı ➤ Kimyasal sıkıntı yaratmamalı
Ekonomi	➤ Bol bulunabilir olmalı ➤ Ucuz olmalı

1.2.1 FDM'lerin Özelliklerinin Değerlendirilmesi

FDM'ler erime/donma (faz değişim) süreçleri, aşırı soğuma, çekirdekleşme ve ısı çevrim boyunca kararlılık özelliklerine göre değerlendirilirler.

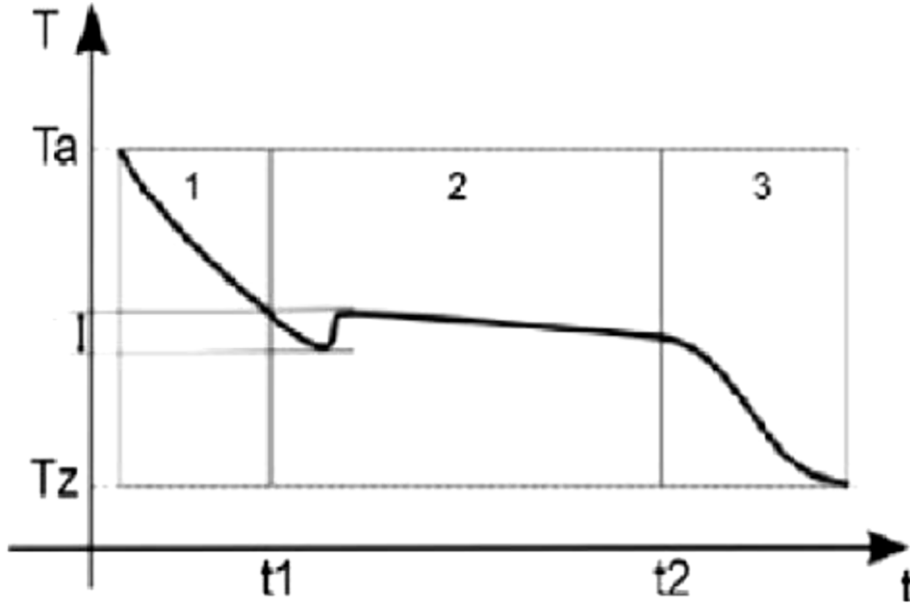
1.2.1.1 Erime/donma

Birçok madde erime/donma özelliğinden dolayı FDM olarak kullanıma müsait değildir. Bu düzensizlikten kasıt bazı maddeler inkongruent yani düzensiz erime ve donma özellikleri gösteriler. Böyle maddelerin erimesi ya da donması durumunda katı ve sıvı faz olmak üzere iki faz oluşumu gözlenir ve farklı kristal yapılarında çökelmeler meydana gelir. Bunun sonucu olarak madde farklı bir yapıda ve farklı bir sıcaklıkta donma özelliği gösterir. Bazı maddelerde ise donarken kristal oluşum hızlarının düşük olmasından kaynaklanan düzensizlikler meydana gelir. Bu problemleri gidermek için depo ortamına çeşitli çekirdekletiriciler eklenir fakat bu işlemde depo ortamında hacim artmasına neden olurken hem erime sıcaklığında hem de erime ısısında değişmeye sebep olur [2,6]

.

1.2.1.2 Aşırı soğuma

Maddenin donma olayının donma noktasının aşılmasına rağmen gerçekleşmemesine aşırı soğuma denir. Bunun asıl nedeni faz değişim sıcaklığına kadar soğumuş olan sıvı haldeki malzemenin katı kristallerinin oluşmasında ki zorluktur. Oluşan yarıçapı küçük katı kristallerden salınacak olan ısı yüzey enerjisinden küçük olabilir. Katı kristaller oluşurken verdikleri ısı yüzey enerjisinden küçük olursa sistem verilmesi gereken ısıyı veremez bundan dolayı da hal değişimi olmaz. Bunun sonucu olarak belirlenmiş olan donma noktasına göre tasarlanmış sistemde beklenen sıcaklık aralığında faz değişimi gerçekleşmediğinden ısı depolaması yapılamaz ve depolama istenmeyen bir sıcaklık aralığında gerçekleşir. Katı kristaller teorik sıcaklığın altında bir sıcaklık da oluşur [24,25]. Bu olaya çoğunlukla inorganik tuz hidratlarında rastlanır. Bu sorunu giderebilmek için depolama sisteminde kullanılan FDM ile benzer kristal örgüye sahip çekirdekletiriciler kullanılabilir.



Şekil 1.2. 1 Aşırı soğuma davranışına sahip olan bir maddenin sıcaklık-zaman grafiği [24,25]

1.2.1.3 Çekirdekleşme

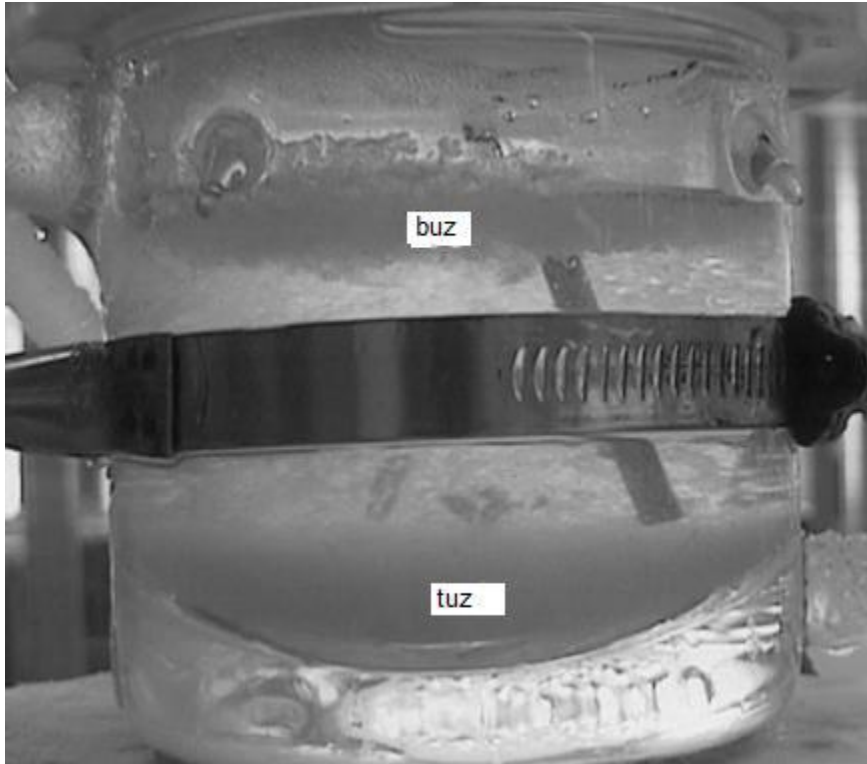
Aşırı soğuma ve düzensiz erime /donma olaylarına çözüm olarak depolama sisteminde kullanılan FDM ile benzer kristal örgüye sahip çekirdekleştiricilerin eklenmesi çözüm olarak gösterilmiştir. Eklenecek olan bu çekirdekleştiricilerin de bazı özelliklere sahip olmaları gerekmektedir. Bu özellikleri şöyle sıralayabiliriz;

- Çekirdekleştirici olarak kullanılacak maddenin erime sıcaklığı depolama sisteminin çalıştığı sıcaklık aralığından farklı olmalıdır.
- Bu madde hiçbir sıcaklık aralığında suda çözünme özelliğine sahip olmamalıdır.
- Kullanıldığı depolama sistemindeki depolama maddesiyle benzer kristal örgüye sahip olmalıdır.
- Depolama maddesiyle hiçbir koşul altında reaksiyona girmemelidir.

1.2.1.4 Isıl çevrim boyunca karalılık

Isıl çevrim boyunca karalılık özelliğine sahip olan FDM'nin kullanım ömrü uzun olur. Fakat yapılan çalışmalar göstermektedir ki maddelerin çoğu ısıl çevrimler sonucunda karalılıklarını kaybetmektedirler. Lane (1989)'da palmitik asit ile yapmış

olduğu çalışmada palmitik asidi 20 °C-95 °C sıcaklık aralığında ısıtıl çevrime maruz bırakılmış ve 21. çevrimden sonra normalde beyaz renkli olan maddenin renginin sarardığını ve erime sıcaklığının 2 °C düştüğünü saptamıştır [26]. Birden fazla maddenin karışımından elde edilen FDM’lerin, erime donma döngüleri sırasında faz ayrılması olayının meydana gelmesi FDM’nin ısı depolama kapasitesini düşürür. Aşağıda tuz-su karışımından oluşan FDM’nin ısıtıl çevrim döngüsünden kaynaklanan faz ayrılması olayı görülmektedir [24,25].



Şekil 1.2. 2 Tuz – Buz karışımının donma hal değişimi sırasında gözlenen faz ayrılması [24,25]

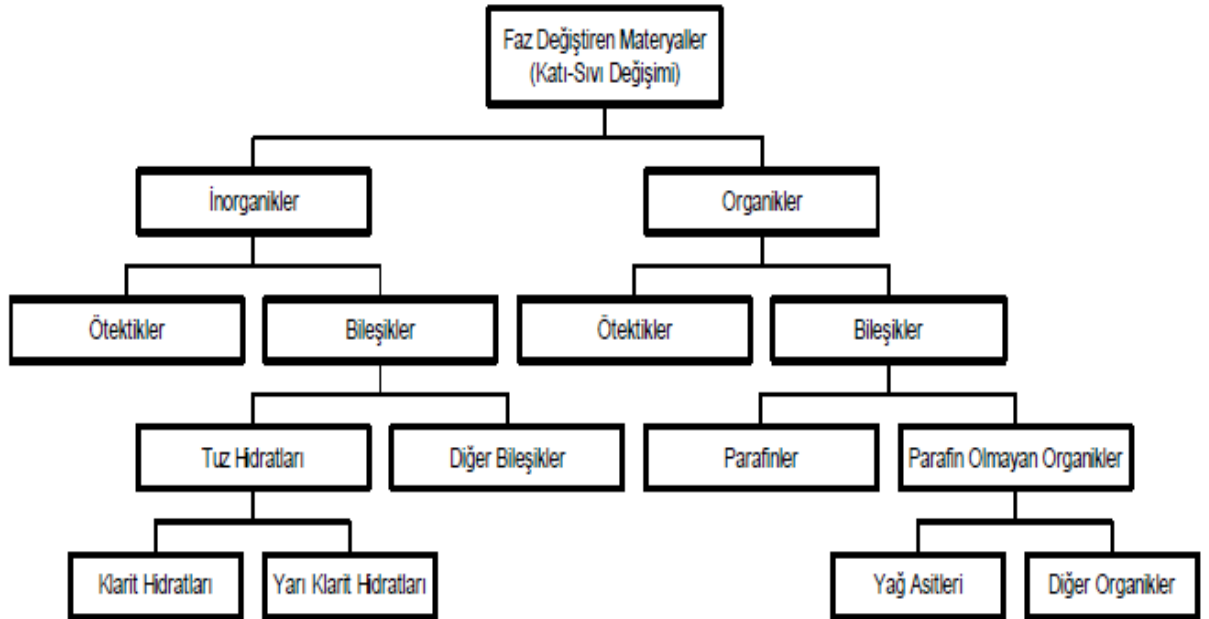
Bu şekildeki görsel değişikliklerin yanı sıra ısıtıl çevrim sonucunda madde de meydana gelebilecek olan kimyasal değişiklikler FT-IR analizleriyle belirlenebilir [2].

1.2.2 FAZ DEĞİŞTİRİCİ MADDELERİN SINIFLANDIRILMASI

Faz değişim sıcaklığı ve faz değişimi sırasında depoladıkları gizli ısı bakımından FDM sınıfına girebilen birçok organik, inorganik madde ve bunların ötektik karışımları vardır. FDM'lerin birçoğunun faz değişim sıcaklıkları ve depolama ortamı için gerekli olan özellikleri beklenen derecede memnun edici değildir. Bu nedenle ideal bir ısı depolama sistemi için mevcut olan bu maddelerin kullanılması ve sistemin tasarımında yapılacak bazı iyileştirmeler yardımıyla zayıf olan özelliklerin ortadan kaldırılması mümkün olabilir. FDM'lerin ısı iletkenliğinin artırılmasında ve özelliklerinin iyileştirilmesinde başvurulan çözüm yollarına örnek verecek olursak; FDM'lerin ısı iletkenliğinin artırma amacıyla metalik aksamlar kullanılabilir. FDM'de meydana gelebilecek aşırı soğumanın üstesinden gelmek depolama maddesine çekirdekleştirici ilavesiyle mümkün olabilir. FDM' de meydana gelebilecek düzensiz faz değişimini (özellikle düzensiz erimeyi) engellemek için ise uygun kıvamda FDM veya FDM karışımları kullanılabilir.

FDM'ler organik ve inorganik bileşikler ve onların karışımları olarak sınıflandırılır. Bu sınıflandırmayı aşağıdaki tablo ile ifade edebiliriz.

Tablo 1.3 Faz değiştiren maddelerin sınıflandırılması [2]



Organik FDM'ler ile yapılan depolamalarda kullanılan organik maddelerin düşük yoğunluklu olmalarından kaynaklanan büyük hacim değişikliğinden dolayı fazla depolama hacmi gereksinimi ortaya çıkar. Ayrıca organik maddelerin yanıcı olması ve düşük ısı iletkenliğe sahip olmaları da bunların dezavantajlarıdır. Fakat kongruent (düzenli) ergime, aşırı soğumaya uğramadan donabilme ve kendiliğinden kristalleşebilme özellikleri bu maddelerin diğerlerine olan üstünlükleridir [27,28,29].

FDM'leri genel olarak şu şekilde sınıflandırabiliriz;

- ❖ Parafinler
- ❖ Yağ asitleri
- ❖ İnorganik tuz hidratlar
- ❖ Bunların ötektik karışımları

1.2.2.1 Parafinler

Hem petrol kaynaklı çok sayıda alkandan oluşan mumsu yapıdaki doymuş hidrokarbonlardır. Genel olarak C_nH_{2n+2} kimyasal formülü ile ifade edilen parafinlerin özellikleri birbirine çok benzerdir. Parafin mumlardaki alkan içeriği % 75 ile % 100 arasında değişir. Karbon sayısı artışına paralel olarak erime noktasında ve ergime gizli ısılarında artma gözlenir. Arıtma prosesine tabi tutulduktan sonra kokusuz, tatsız ve toksik olmayan bir madde halini alır. Parafinler düz zincirli (n-alkan) ve dallanmış zincirli (izo-alkan) olmak üzere ikiye ayrılırlar. Genelde düz zincirli alkan karışımlarından meydana gelen parafinler faz değişimi esnasında yüksek miktarda gizli ısı depolar ve yayarlar. Karbon sayısı 5 ile 15 arasındaki parafinler sıvı halde geriye kalanlar ise mumsu katılar halinde bulunurlar. Karbon sayısı 14 ile 40 arasında bulunan alkanların erime noktaları 6 °C-80 °C arasında değişmektedir [7]. Parafinlerin bu geniş ergime sıcaklık aralığı ve yüksek ısı depolama kapasitesi onların depolama sistemlerinde yaygın kullanımının temel nedenidir. FDM olarak kullanılan parafinlerin gizli ısı depolama sistemlerindeki üstünlükleri şu şekilde sıralanabilir;

- Düzenli olarak ergime özelliklerinden dolayı faz ayrımı göstermezler
- Faz değişimleri hızlı bir şekilde gerçekleşir

- Düşük yoğunluğa sahiptirler ve bunun sonucu olarak erime esnasında küçük hacim değişiklikleri gösterirler
- Aşırı soğuma davranışı göstermediklerinden dolayı kullanıldıkları ısıtma enerji depolama sistemine çekirdekletirici ilavesi gerektirmezler
- Korozyon ve toksik etki göstermezler
- Kimyasal olarak kararlı bir yapıya sahiptirler
- Dışardan bir etki gerektirmeden kendi kendilerine kristalleşebilirler
- Buhar basınçları düşüktür
- Yüksek erime ısılarına sahiptirler
- Geniş bir erime sıcaklık aralığına sahiptirler
- Kolay temin edilebilirler
- Maliyetleri düşüktür [28,29,30,31,32].

Bunların yanında termal enerji depolama sistemlerinde parafinlerin kullanımlarında bazı problemlere de rastlanılmaktadır. Bu problemlerin en önemlileri parafinlerin ısıtma iletkenliklerinin düşük olması, sabit bir erime sıcaklığına sahip olmaması ve yanıcı özelliğe sahip olmalarıdır. Bu yüzden özellikle ısıtma iletkenliklerinin düşük olma problemini çözmeye yönelik bazı çözüm yolları geliştirilmektedir [6,28,29,30,31,32,45]. Bu çözüm yollarından en yaygın olanı, parafinin grafit ile birlikte yüksek yoğunluklu polietilen, polietilenglikol, polivinilklorür gibi polimerik ağ yapılı gözeneklerin içinde tutulması yöntemidir [28,31].

1.2.2.2 Yağ Asitleri

Yağ asitleri parafinlerle birçok ortak özelliğe sahip olan ve $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{2n}\text{COOH}$ kimyasal formülüyle ifade edilen organik yapıları faz değiştirici maddelerdir. Yağ asitleri molekülleri bir ucunda metil grubu bir ucunda da karboksil grubu ihtiva ederler ve zincir uzunluklarına göre sıvı ya da katı halde bulunabilirler. Hidrokarbon zincirinde düşük karbon sayısına sahip olanlar oda sıcaklığında sıvı halde bulunurlar karbon sayısının artmasına bağlı olarak viskozitelerinde artma gözlenir, hidrokarbon zincirinde yüksek karbon sayısı ihtiva eden yağ asitleri oda sıcaklığında katı halde bulunurlar. Sıvı haldeki yağ asitleri suda çözünürler bundan dolayı faz değiştirici madde olarak kullanıldıklarında yüksek yüzey gerilimlerinden faydalanılarak bir adsorban maddeye tutunarak

kullanımları mümkündür. Katı haldeki yağ asitleri ve yağ alkollerinin çoğu suda çözünmezler bundan dolayı yapı malzemelerinde enerji depolama amacıyla faz değiştirici madde olarak yaygın bir şekilde kullanılır.

Yağ asitlerinin ergime sıcaklıkları 30 °C ile 70 °C arasında değişirken ergime ısıları 153 kJ/kg ile 203 kJ/kg arasında değişir. Yağ asitlerinden faydalanılarak yağ alkoller ve yağ asidi esterleri de termal enerji depolama sistemlerinde kullanılır [2,3,6,18,17]. Polihidrikalkoller katı-katı faz değişim özelliğine sahip maddelerdir bu özelliklerinden dolayı daha çok tekstil ürünlerinde gizli ısı enerjisi depolama sistemlerinde tercih edilirler. Katı-katı faz değişim olayında erime söz konusu değildir. Bu maddeler yumuşar veya sertleşirler bu sırada da termal enerji depolarlar [33].

Yağ asitleri diğer faz değiştirici maddelere göre daha avantajlıdır özelliklerle tuz hidratların neden olduğu problemleri taşımazlar. Bunun yanında düşük ısı iletkenliğe sahiptirler ve yanıcı özellikleri vardır. Diğer faz değiştirici maddelere göre üstünlükleri şöyle sıralanabilir;

- Erime olaylarında faz ayrımı gözlenmez
- Termal enerji depolama için uygun faz değişim sıcaklığına sahiptirler
- Faz değişimi esnasında hacim değişiklikleri düşük miktarlarda olur
- Faz değişim dönüşümleri sonrasında termal ve kimyasal karalılığa sahiptirler
- Toksik özellik göstermezler
- Herhangi bir çekirdekleştiriciye gerek kalmadan kendiliğinden çekirdekleşirler
- Erime gizli ısıları yüksektir
- Erime ve katılaşma davranışları düzenlilik gösterir [18]

Tablo1.4 Bazı yağ asidi ve tuzlarının erime sıcaklıkları, yoğunlukları ve termal özellikleri [18,39,47,48,49]

FDM	Erime sıcaklığı (°C)	Gizli ısı (kJ/kg)	Isıl İletkenlik (W/mK)	Yoğunluk (kg/m ³)
Propilpalmitat	10	186	—	—
İzopropilpalmitat	11	100	—	—
Oleik asit	13,5-16,3	—	0,1886 ^{72,5C} 0,1783 ^{90C}	863 ^{60C}
İzopropilstearat	14-19	140-142	—	—
Kaprilik asit	16-16,3	148-149	0,149 ^{39C} 0,145 ^{67,7C} 0,14820C	901 ^{30C} 862 ^{80C} 981 ^{13C} 1033 ^{10C}
Butilstearat	19	123-140-203	—	—
Vinilstearat	17-29	122	—	—
Metil palmitat	29	205	—	—
Kaprik asit	32-31,5	152,7-153	0,153 ^{38,5C} 0,152 ^{55,5C} 0,149 ^{40C}	878 ^{45C} 886 ^{40C} 1004 ^{24C}
Metil-12-hidroksi-stearat	42-43	120-126	—	—
Laurik asit	42-44	178	0,1921 ^{72,5C} 0,1852 ^{90C}	862 ^{60C} 1007 ^{24C}
Miristik asit	49-51 54	205-187	—	861 ^{55C} 844 ^{80C}
Palmitik asit	64-61	185,4-203,4	0,162 ^{68,4C} 0,159 ^{80,1C}	850 ^{65C} 847 ^{80C}
Stearik asit	69 61-60	202,5 186	0,172 ^{70C}	848 ^{70C} 965 ^{24C}

1.2.2.3 İnorganik Tuz Hidratları

Eskiden beri termal enerji depolama da en çok incelenen ve FDM olarak en çok kullanılan maddeler tuz hidratlardır. Tuz hidratlar inorganik yapıdadırlar, $M.nH_2O$ genel formülüyle ifade edilirler. Yapıdaki 'M' inorganik yapıyı temsil eder. Katılaştıklarında kristal matriksinde inorganik tuz ile suyun birleşmesinden oluşurlar. FDM olarak büyük öneme sahiptirler. Bunun nedeni; geniş sıcaklık aralığında kullanım imkanı sunmalarıdır. 0 °C–150 °C sıcaklık aralığında küçük hacim değişikliğinde yüksek termal enerji depolayabilirler. Bunun yanı sıra organik FDM'lere kıyasla daha yüksek ısı iletkenliğe sahiptirler.

Tuz hidratlarda düzenli erime, yarı düzenli erime ve düzensiz erime olmak üzere üç tip erime davranışı gözlemlenir. Susuz tuzun erime sıcaklığında tuz hidratın, hidrat suyunda tamamen çözünmesiyle meydana gelen erime düzenli erime davranışındır. Susuz tuzun erime sıcaklığında tuz hidratın, hidrat suyunda tamamen çözünmemesiyle meydana gelen erime düzensiz erime davranışındır. Faz değişimi süresince şayet katı faz ile sıvı faz dengede ise yarı düzenli erime davranışı gözlemlenir.

İnorganik tuz hidratların bu özellikler ışığında avantaj ve dezavantajları şu şekilde ifade edilebilirler;

Avantajları;

- Yüksek ergime ısısına sahiplerdir,
- Termal iletkenlikleri diğer FDM'lere kıyasla daha yüksektir,
- Yanıcı özellikleri yoktur,
- Küçük hacim değişiklikleri neticesinde faz değiştirirler.

Dezavantajları;

- Korrozif özellik gösterirler,
- Aşırı soğuma davranışına sahiptirler,
- Bazıları düzensiz erime davranışı gösterirler,
- Faz ayrımı gözlemlenebilir,
- Hidrat sayısında değişim olabilir [6,7,13,18,23]

Avantajlarının neticeleri şu şekilde açıklanabilir; maliyetlerinin düşük olması temin edilebilme kolaylığı sağlar [23,37]. Termal iletkenliklerinin yüksek olması depolama kabının içindeki ve dışındaki ısı transferinin artmasını sağlar. Ergime gizli ısılarının yüksek olması küçük hacimde daha fazla gizli ısı depolamasını sağladığından

dolayı, ısı depolama sisteminin hacminin de küçük olmasına imkan verir. Hal değişimi sırasında diğer FDM'lere göre daha küçük hacim değişikliğine uğradığından depolamam sisteminin tasarımı için kolaylık sağlar [2,6,13,18,23].

Tuz hidratlar diğer FDM'lerin aksine donma noktasında kristallenmeye başlamazlar bunun sonucu olarak aşırı soğuma davranışı gösterirler. Bu özellikleri en büyük dezavantajlarıdır çünkü donma noktası dışında kristallenmek için gizli ısılarının bir kısmını kullanmaları gerektiğinden depolanan termal enerjide bir miktar düşüş olur. Bu olay ısı depolama sistemi içine kristal boyutunun büyümesini sağlayan uygun çekirdekleştiriciden ilave edilmesiyle engellenebilir. Faz ayrımı da en çok karşılaşılan sorunlardandır. Faz ayrımı esnasında hidrat sayısı farklı olan diğer tuz hidrat ya da hidratlarını kaybetmeleri nedeniyle dehidrat oluşumu gözlemlenir. Bunun sonucu olarak ısı depolama karakterlerinde bir azalma gözlemlenir. Bu olay tuz hidrata veya ötektik karışımına jelleştirici ya da kalınlaştırıcılar eklenerek engellenebilir [7,23,35].

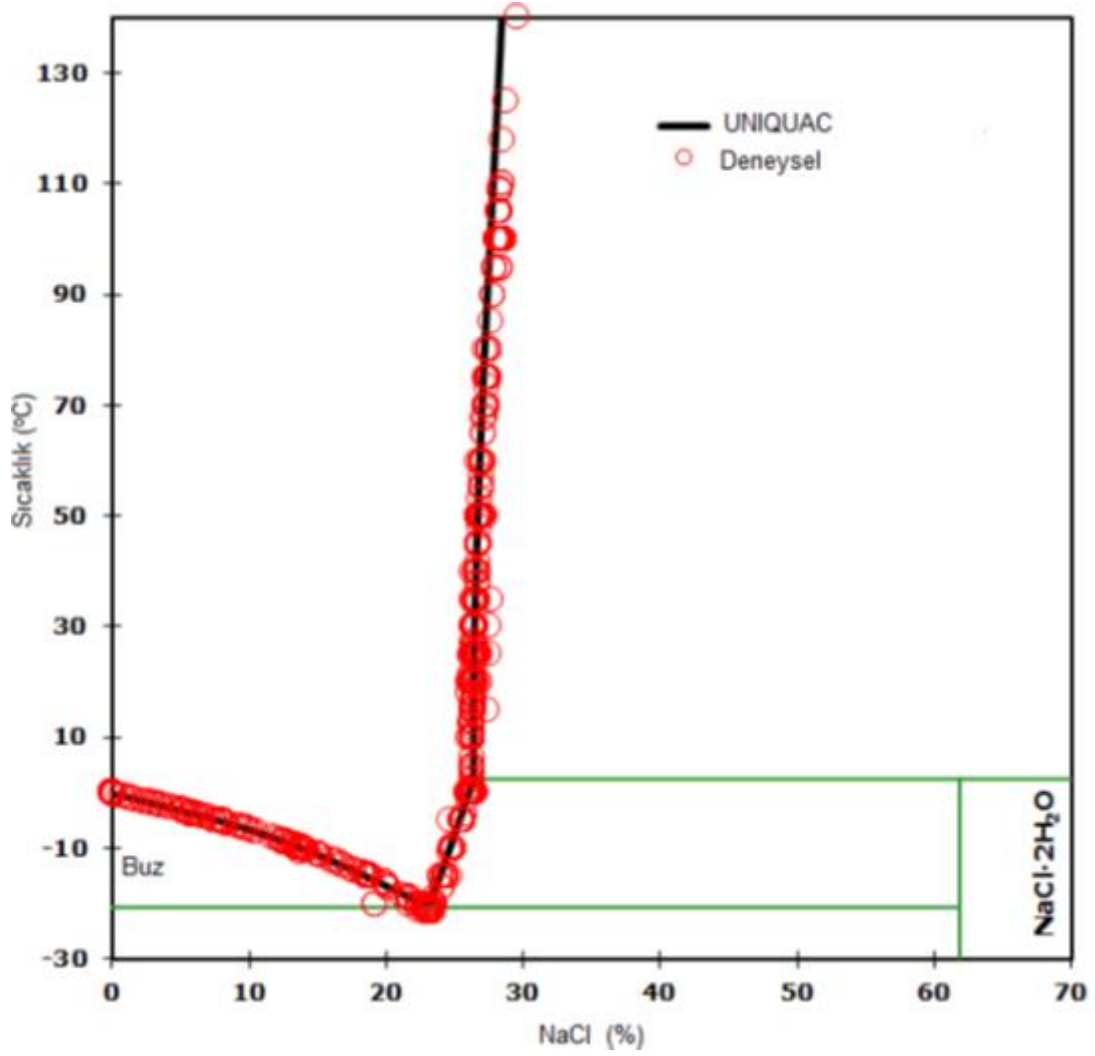
Tablo 1.5 Bazı yaygın tuz hidratlarının erime sıcaklıkları, yoğunlukları ve termal özellikleri [18,20,21,22,35,39]

FDM	Erime sıcaklığı (°C)	Yoğunluk (kg/m ³)	Isıl iletkenlik (W/mK)	Gizli ısı (kJ/kg)	Erime davranışı
KF.4H ₂ O	18	-	-	330	Düzenli
K ₂ HO ₄ .4H ₂ O	18,5	1447(20 °C) 1455(18 °C) 1480(6 °C)	-	231	-
CaCl ₂ .6H ₂ O	29-30	1562(32 °C) 1802(24 °C)	0,561(61,2 °C) 1,008(23 °C)	170-192	Düzensiz
LiNO ₃ .3H ₂ O	30	-	-	189-296	Düzenli
Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O	32	1485(24 °C)	0,544	251-254	Düzensiz
Na ₂ CO ₃ .10H ₂ O	33-36	1442	-	247	Düzensiz
Na ₂ HPO ₄ .12H ₂ O	35	1522	-	256-281	Düzensiz
Zn(NO ₃) ₂ .6H ₂ O	36	1828 (36 °C) 1937 (24 °C) 2065 (14 °C)	0,464(39,9 °C) 0,469 (61,2 °C)	134-147	Düzenli
K ₃ PO ₄ .7H ₂ O	45	-	-	145	-
Na ₂ S ₂ O ₃ .5H ₂ O	48	1600	-	209	-
CH ₃ COONa.3H ₂ O	58	-	-	270-290	Düzensiz
Ba(OH) ₂ .8H ₂ O	78	1937 (87 °C) 2070 (24 °C) 2180	0,653 (85,7 °C) 0,678 (98,2 °C) 1,25 5 (23 °C)	265-280	Düzenli
Sr(OH) ₂ .8H ₂ O	89	-	-	370	Düzensiz
Mg(NO ₃) ₂ .6H ₂ O	89-90	1550 (94 °C) 1636 (25 °C)	0,490 (95 °C) 0,502 (110 °C) 0,611 (37 °C) 0,699 (55,6 °C)	162-167	Düzenli
(NH ₄)Al(SO ₄).6H ₂ O	95	-	-	269	-

1.2.2.4 Ötektik Karışımlar

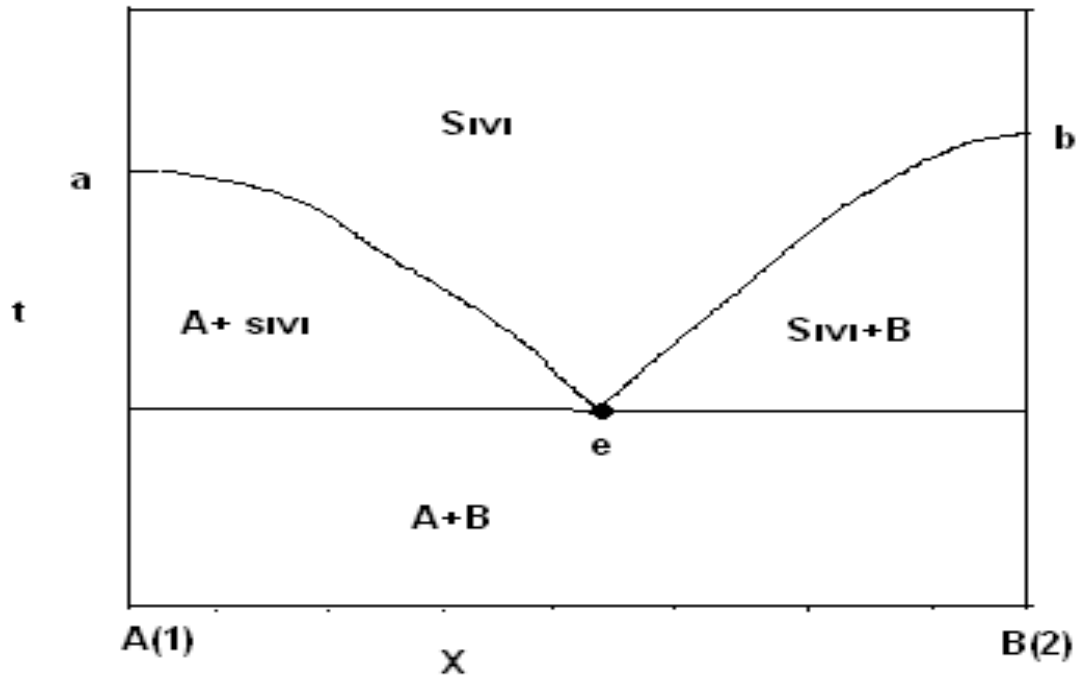
Saf bir madde donma noktasının altındaki sıcaklığa kadar soğutulup dondurulursa, donmuş olan bu maddenin karışım oranı, faz değişim entalpisi erime sıcaklığı gibi fiziksel özellikleri değişmez. Bu tip davranışı gösteren maddeler eşlenik eriyen maddeler olarak adlandırılır. Madde birden fazla bileşen içeriyorsa faz değişim davranışı daha farklı olur. Bu faz değişimi faz diyagramlarıyla açıklanır. Şekil 1.2.3’de % 10 tuz % 90 su içeren NaCl çözeltisinin faz diyagramında yaklaşık -10°C ’nin üstündeki sıcaklıklarda homojen sıvı olmasına rağmen -10°C ’nin altında ise suyun donup çökmesi nedeniyle faz ayrılması olayının gerçekleştiği görülmektedir. Faz ayrılması FDM’lerin verimliliği etkileyen en etkin faktörlerden biridir çünkü termal enerji depolama kapasitesini düşürecek yönde sisteme etki yapar.

Birden fazla bileşenden oluşan karışımın faz ayrımı olmaksızın hal değişimine uğrayabilmesi için her bileşenin aynı anda ve aynı sıcaklıkta hal değiştirmesi gerekir. Bunun olmasının mümkün olduğu karışımlara ötektik karışım ve ötektik karışımın hal değiştirdiği noktaya ise ötektik nokta denir [24,25]. Ötektik karışımdaki bileşenler ötektik noktada aynı anda ve aynı sıcaklıkta hal değiştirdikleri esnada birbirlerinden ayrılamazlar ve buna bağlı olarak da karışımın termal özellikleri değişmez.



Şekil 1.2. 3 NaCl-H₂O faz diyagramı [24]

Ötektik karışım; kristallenme boyunca bileşen kristallerinin bir karışım oluşturduğu ve her bir bileşenin düzenli olarak eridiği veya katılaştığı minimum erime noktasına sahip olan karışımdır [18,26,39,40]. Ötektik karışımlar saf madde gibi davranarak sabit sıcaklıkta hal değiştirirler. Şekil 1.2.4’de görülen e noktası ötektik noktadır [2,5,6,38].



Şekil 1.2. 4 Ötektik noktaya sahip karışımların faz diyagramı

Farklı amaçlarla farklı sıcaklıklarda termal enerji depolamak amacıyla, uygun erime noktasına sahip ötektik FDM karışımları yaygın olarak kullanılır [18,41].

1.2.2.4.1 İnorganik Tuz Hidratların Ötektik Karışımları

Literatür de en çok yer alan FDM'ler tuz hidratların ötektik karışımlarıdır. Bunun nedeni bina yalıtımında kullanım alanlarının geniş olmasıdır [7,41,42,18]. Zalba ve arkadaşları bazı tuz hidratların ötektik karışımlarını ve bu karışımların termal özelliklerini incelemişler, veriler tablo1.6'da özetlendiği gibidir [18,42].

Tablo 1.6 Bazı yaygın ötektik inorganik tuz hidrat karışımları [18,42]

Karışım	Erime sıcaklığı (°C)	Erime gizli ısı (kJ/kg)	Isıl iletkenlik (W/mK)	Yoğunluk (kg/m ³)
%66,6 CaCl ₂ .6H ₂ O + %33,4 MgCl ₂ . 6H ₂ O	25	127	-	1590
%48 CaCl ₂ + %4,3 NaCl + %0,4 KCl + %47,3H ₂ O	26,8	188	-	1640
%47 Ca(NO ₃) ₂ .6H ₂ O + %53 Mg(NO ₃) ₂ . 6H ₂ O	30	136	-	-
%60 Na(CH ₃ COO).3H ₂ O + %40 CO(NH ₂) ₂	31,5	226	-	-
%61,5 Mg(NO ₃) ₂ . 6H ₂ O + %38,5 NH ₄ NO ₃	52	125,5	0,494 (65 °C) 0,515 (88 °C) 0,552 (36 °C)	1515 (65 °C) 1596 (20 °C)
%58,7 Mg(NO ₃) ₂ . 6H ₂ O + %41,3 MgCl ₂ . 6H ₂ O	59	132,2	0,510 (65 °C) 0,565 (85 °C) 0,678 (38 °C)	1550 (50 °C) 1630 (24 °C)
%66 üre + %33,4 NH ₄ Br	76	161	0,331 (79 °C) 0,324 (92 °C) 0,649 (39 °C)	1440 (85 °C) 1548 (24 °C)
%32,5 LiF + %50,5 NaF + %17 MgF ₂	632	-	-	2105 (sıvı) 2810 (25 °C)

1.2.2.4.2 Yağ asitlerinin ötektik karışımları

Yağ asitleri diğer FDM'lere göre birçok üstün özelliğe sahiptir. Düzenli erime özelliği gösterirler, kristallenmek için herhangi bir çekirdekleştiriciye ihtiyaç duymazlar, yüksek gizli ısı depolama özellikleri olduğundan ve hal değişimi sırasında küçük hacimsel değişimlere uğradıklarından dolayı termal enerji depolama sistemlerinin dizaynlarında önemli derecede kolaylık sağlarlar. Farklı sıcaklıklarda termal enerji depolama amacıyla farklı yağ asitlerinin ötektik karışımlarının kullanımı yaygındır. Özellikle geniş bir sıcaklık aralığında hal değişimine uğrayan üyelerinin çok olmasından dolayı hem ısıtma hem de soğutma amaçlı termal enerji depolama sistemlerinde kullanımları yaygındır. Düşük molekül ağırlığına sahip olan bir yağ asidiyle büyük molekül ağırlığına sahip bir yağ asidinin istenilen kütle veya mol oranlarında karıştırılarak ihtiyaç duyulan sıcaklık aralığında termal enerji depolayabilen ötektik karışımlar oluşturabilir. Karışımlar başlangıçta literatür verileri dikkate alınarak hazırlanır, daha sonra karışım oranları ayarlanır. Bir seri karışım hazırlanarak, bu karışımların erime ısıları ve erime sıcaklıkları Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC)

teknikleriyle belirlenir. Bu veriler yardımıyla sıcaklık-bileşim oranı diyagramı oluşturularak ötektik karışımın oranı ve ötektik nokta tespit edilebilir.

Organik ötektik karışımlar içinde literatürde en çok rastlanılan karışımlar yağ asitlerinin ötektik karışımlarıdır. Dimaano (1998); laurik asit ve kaprik asit karışımının soğutma amaçlı düşük sıcaklıklarda termal enerji depolama sistemleri için uygun bir FDM olduğunu belirlemişleridir. Ayrıca bu karışımın ısıl çevrim boyunca kararlılığını belirlemek amacıyla 120 kez ısıl çevrime tabi tutup termal özelliklerinde değişim olup olmadığını incelemiş ve bu ısıl çevrim boyunca kararlı olduklarını saptamışlardır. Buna benzer çalışmalarda elde edilen veriler tablo 1.7’de özetlendiği gibidir [44].

Tablo 1.7 Bazı yaygın ötektik yağ asiti karışımları ve özellikleri [23,27,44,52,54]

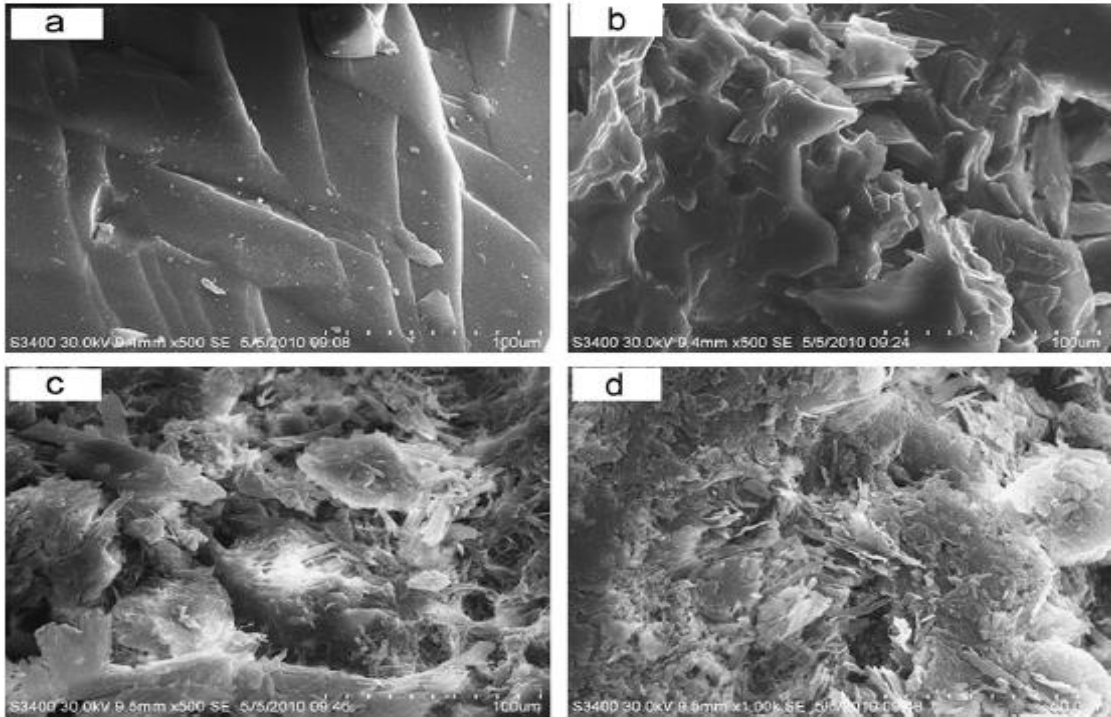
Yağ asitleri karışımı	Birleşim oranı (%wt)	Erime sıcaklığı (°C)	Erime ısısı (J/g)
Kaprik asit-laurik asit	61,5-38,5	19,1	132
Kaprik asit-miristik asit	73,5-26,5	21,4	152
Kaprik asit-palmitik asit	75,2-24,8	22,1	152
Kaprik asit-stearik asit	86,6-13,4	26,8	160
Laurik asit-miristik asit	62,6-37,4	32,6	156
Laurik asit-palmitik asit	64,0-36,0	32,8	165
Laurik asit-steairk asit	75,5-24,5	37,3	171
Miristik asit-palmitik asit	51,0-49,0	39,8	174
Miristik asit-stearik asit	65,7-34,3	44,2	181
Palmitik asit-stearik asit	64,9-35,1	50,4	179

1.2.2.4.3 Organik ve İnorganik FDM’lerin Ötektik Karışımları

Organik ve inorganik FDM’lerin ötektik karışımlarının çoğunda erime aralığı ve ergime gizli ısısında düşüş olur. Ancak kabul edilebilir bir ergime ısısına sahip olan ötektikler kullanılabilir. Ötektiklerin tek başına erime sıcaklık aralığının gerek duyulan sıcaklık aralığının dışında olması nedeniyle kabul edilebilir bir düşüş olması şartıyla istenilen sıcaklık aralığına çekilmesidir [2,37].

2. FAZ DEĞİŞTİRİCİ MADDELERLE İLGİLİ LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Palmitik asit/SiO₂ sol-gel metoduyla Guiyin ve arkadaşları tarafından hazırlanmıştır. Palmitik asit faz değıştirici madde olarak davranırken, SiO₂ ise destek materyali olarak kullanılmıştır. Ayrıca elde edilen bu kompozite yangın söndürücü özellik katmak için melamin ilave edilmiştir. Elde edilen kompozitlerin kimyasal yapıları, kristaloit fazları ve mikro yapıları XRD, FT-IR ve SEM analizleri yardımıyla aydınlatılmıştır. Gizli ısı depolama entalpisi ve faz değıştirme sıcaklığı gibi termal özellikleri ise DSC (Diferansiyel Taramalı Kalorimetre) ile analiz edilirken, TGA ile termal karalılıkları ölçülmüştür. SEM sonuçlarına göre SiO₂'in gözeneklerine palmitik asidin çok iyi yayıldığı gözlemlenmiştir. DSC sonuçlarına göre; Palmitik asit yüzdesi % 41,1 olduğunda elde edilen kompozit yapının 59,79 °C'de 85,11 kJ/kg'lık bir ısıyla eridiğı ve 59,20 °C'de 60,55 kJ/kg'lık bir ısıyla katılaştığı gözlemlenmiştir. TGA sonuçlarına göre de ilave edilen melaminin termal karalılığı arttırdığı belirlenmiştir. Ayrıca melamin katkılılandırıldıktan sonra kompozitin homojenliğinin korunduğı ve kompozitin yanıcılığının da azaldığı gözlemlenmiştir [55].

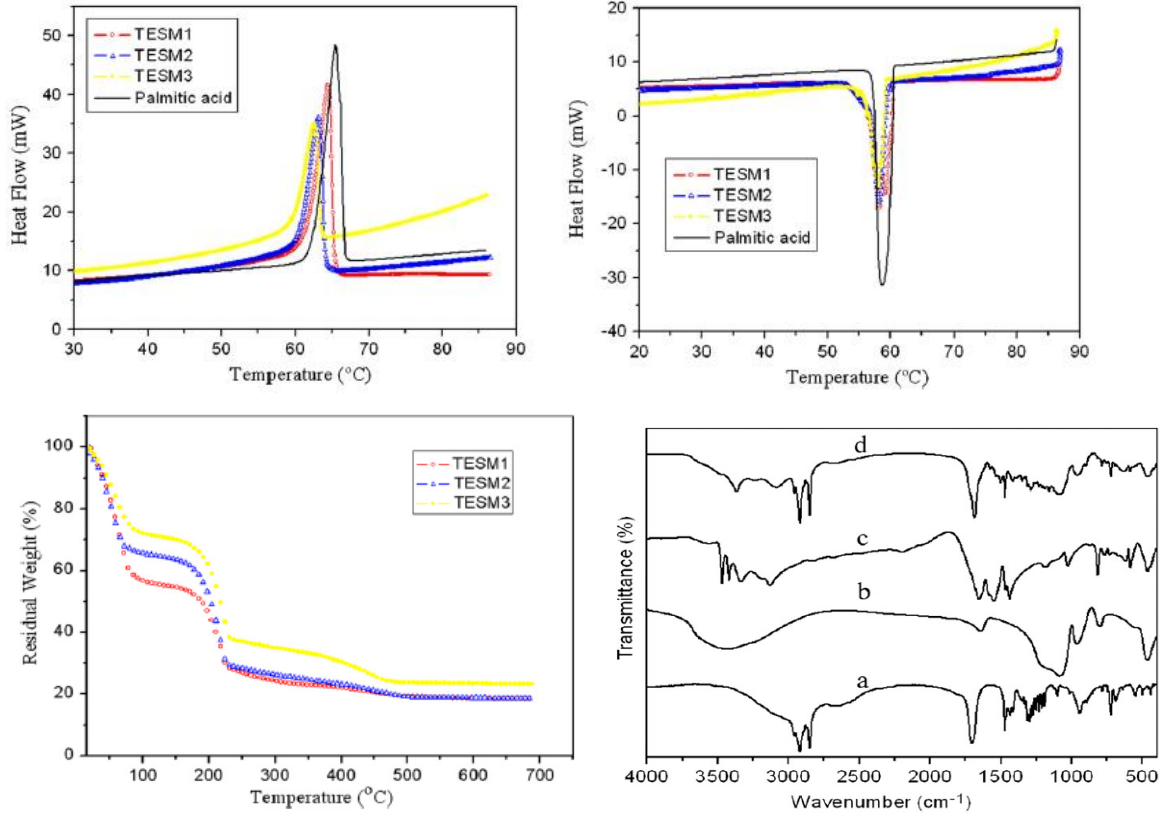


a) SiO₂

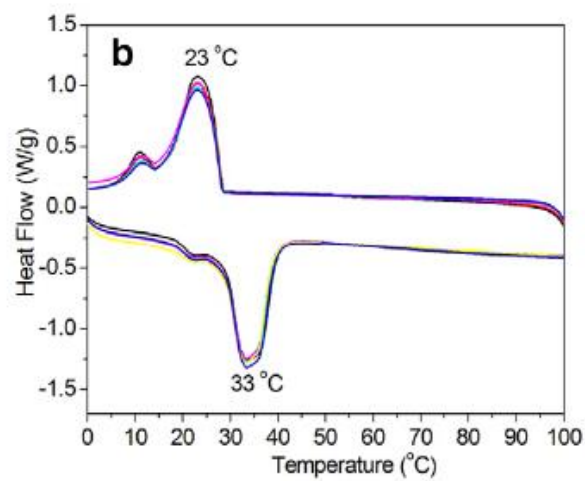
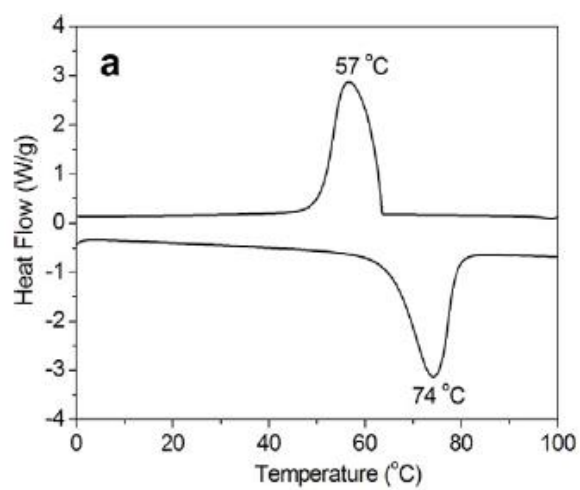
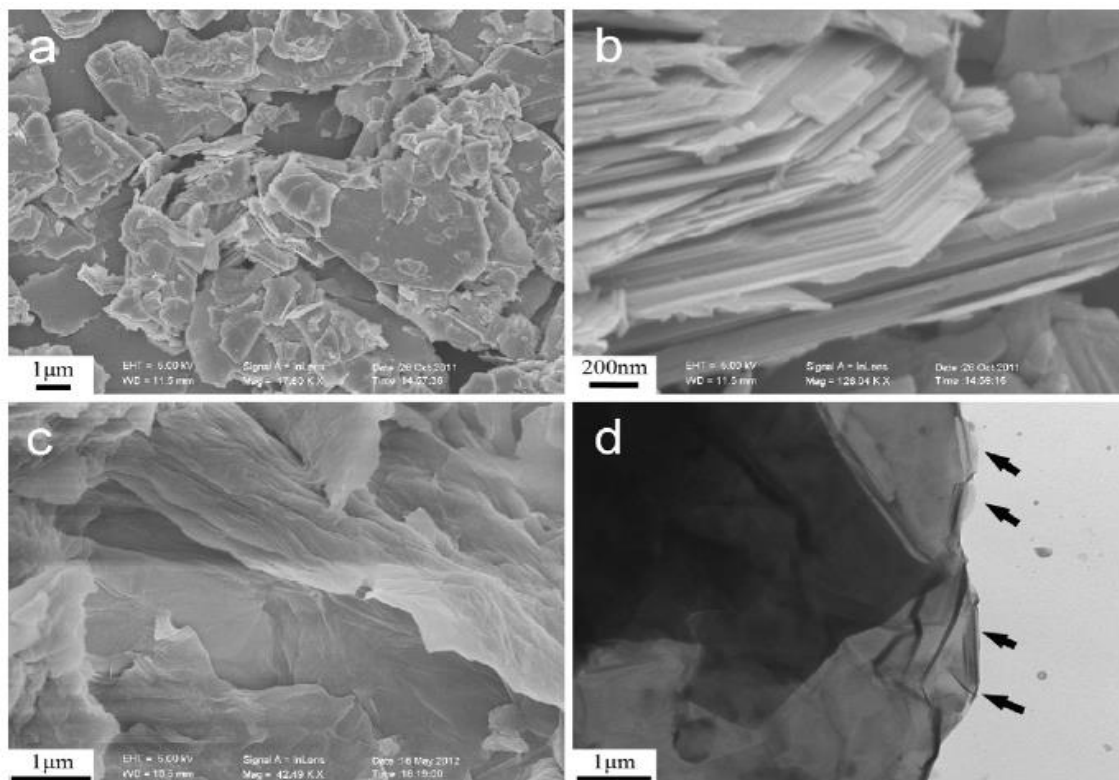
b) palmitik asit

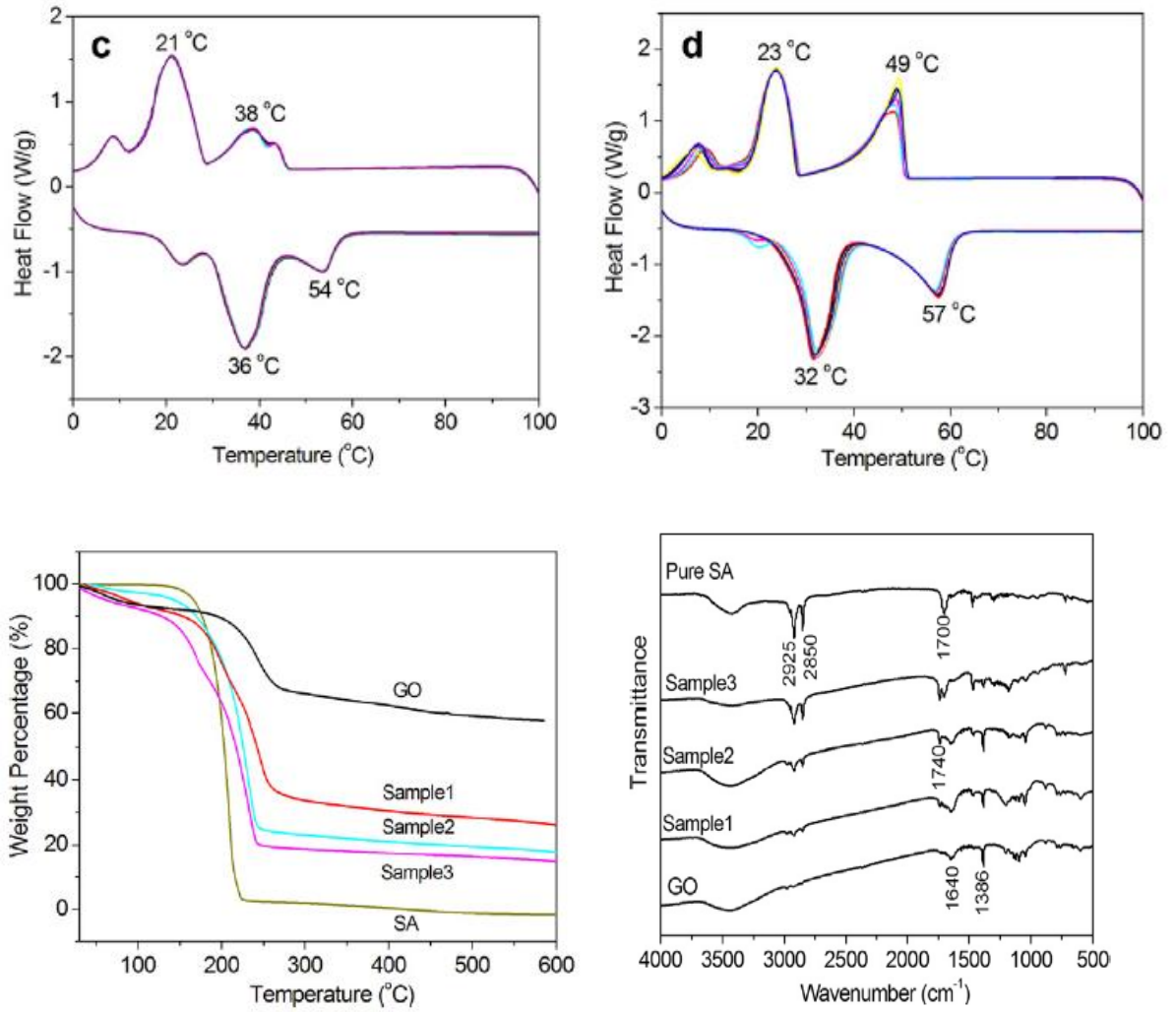
c) PA+0,5 g melamin

d) PA+2 g melamin

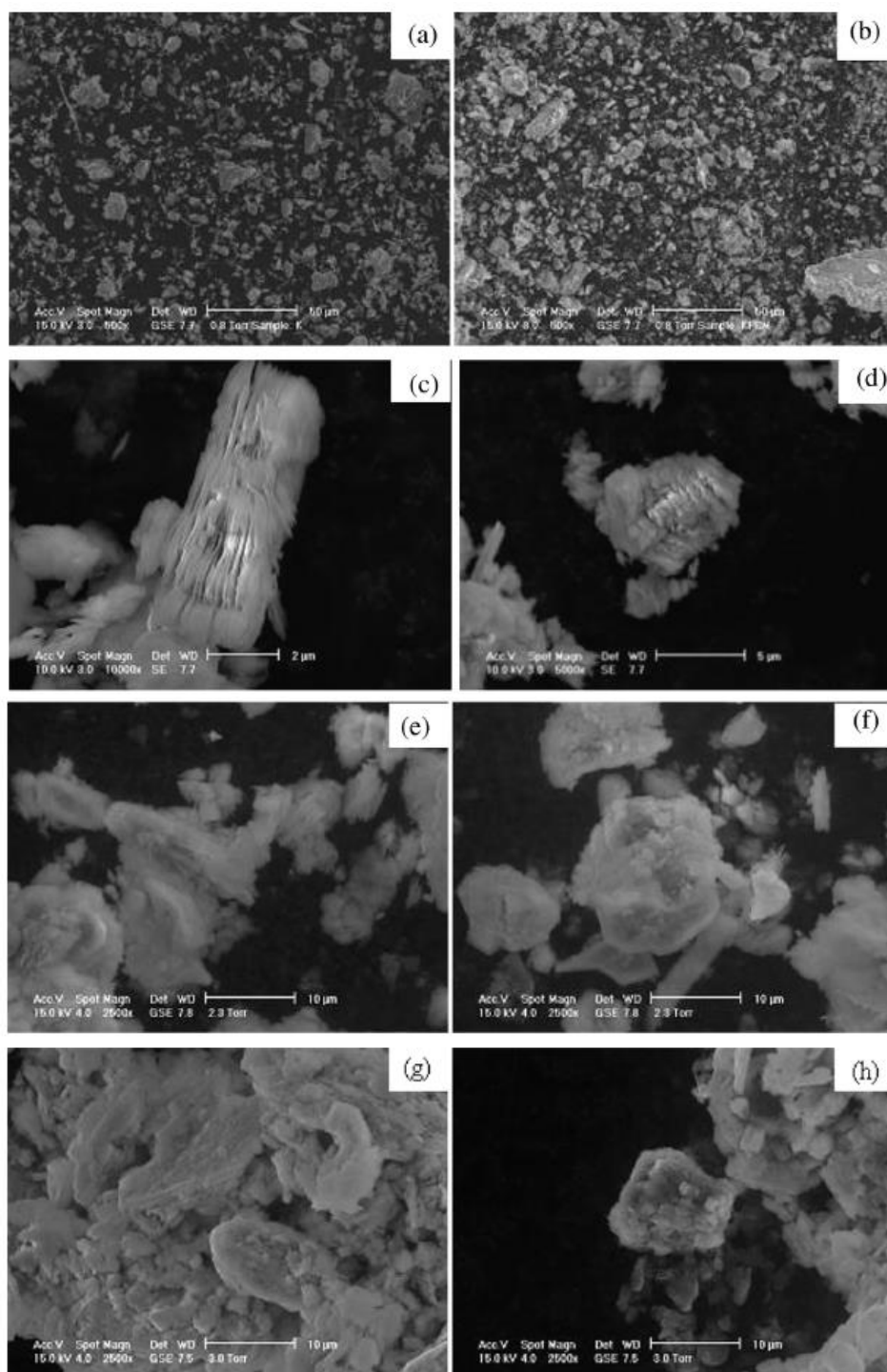


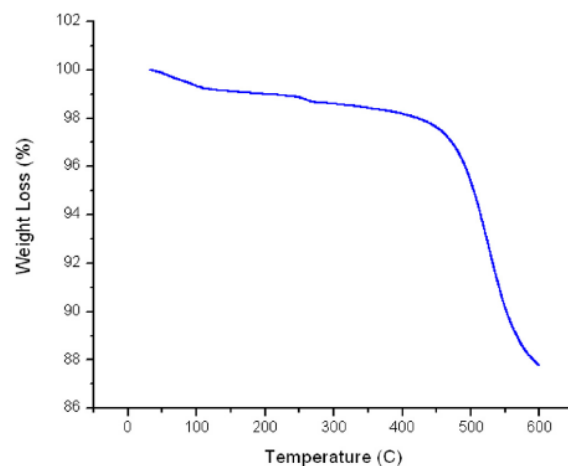
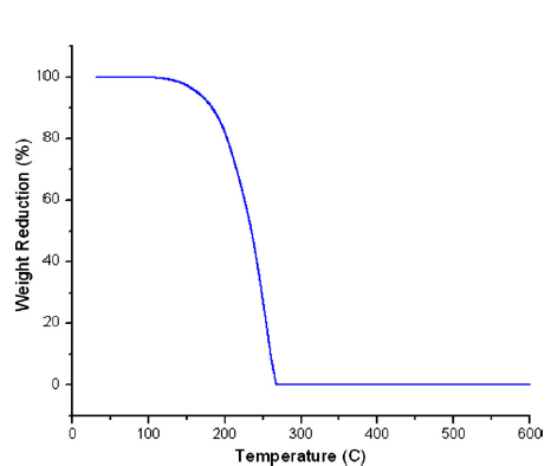
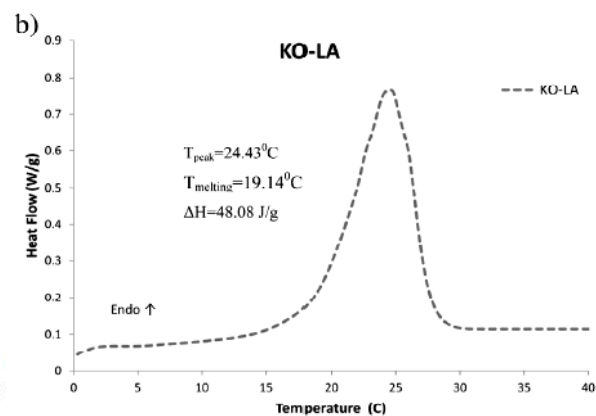
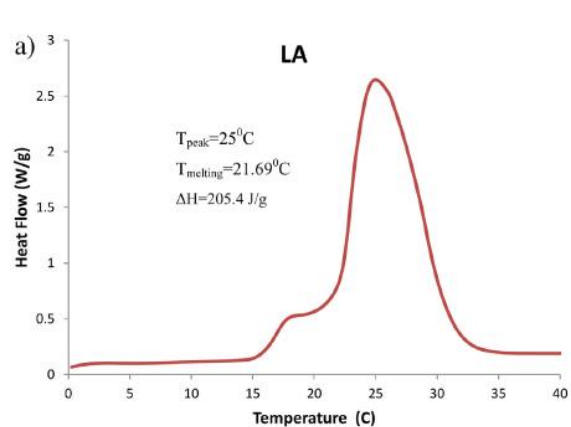
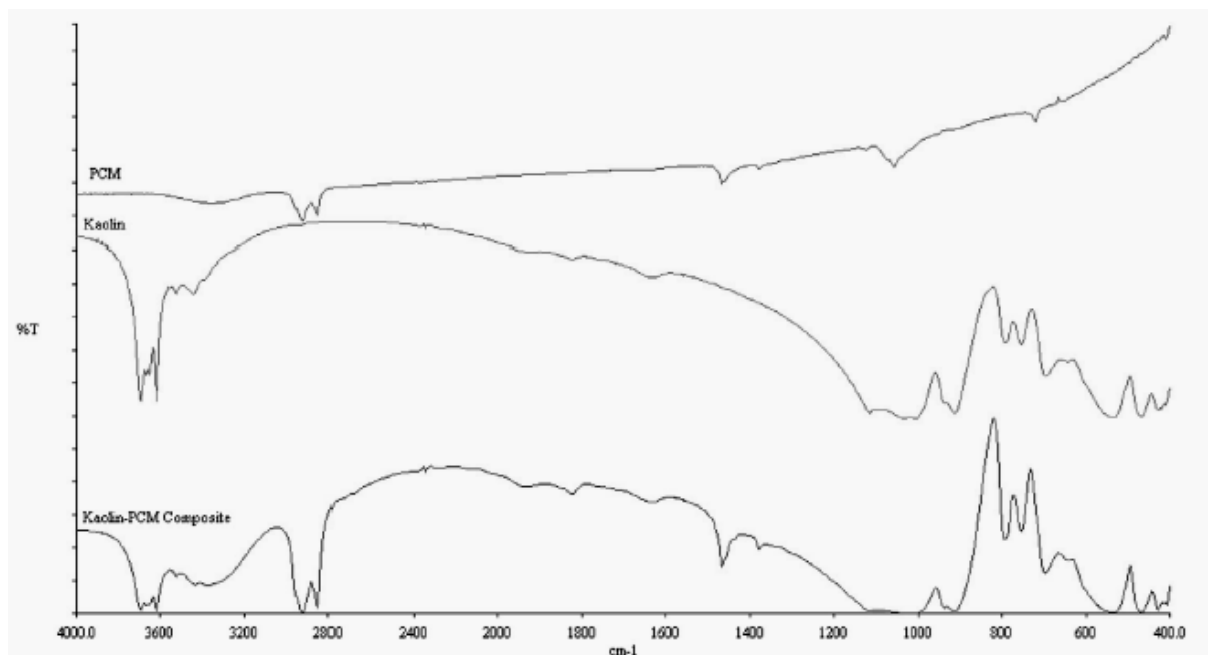
Organik faz değıştirici materyallerden biri olan Stearik asit özellikleri çok iyi bilinmesine rağmen düşük faz değıştirme sıcaklığı, termal iletkenliğinin düşük olması ve sızıntı gibi özelliklerinden dolayı kullanımı oldukça kısıtlıdır. Bu çalışmada Benxia ve arkadaşları (2012) Stearik aside Grafen oksit katkılanmıştır. Katkılama yüzeyler arası etkileşimle Grafen oksit'in katmanları arasına stearik asidin yerleşmesiyle gerçekleştirilmiştir. Yapı FT-IR, SEM ve XRD ile karakterize edilmiştir. SA-GO kompozitin istenilen sıcaklığa sahip olması için SA-GO oranının ayarlanması gerekmektedir. Bu amaçla çalışmada SA/GO oranı 1'e ayarlanmış, bu amaçla elde edilen kompozitin erime ve donma noktalarının arttığı ve bu doğrultuda termal enerji depolama kapasitesinin % 82,4 artarak 55,7 kJ/kg olarak değıştiği gözlemlenmiştir. Çalışmada aynı zamanda SA-grafit ve SA-aktif karbon kompozitleriyle de kıyaslama yapılmıştır. Böylece nano katkılı faz değıştiricilere yeni bir boyut kazandırılmıştır.

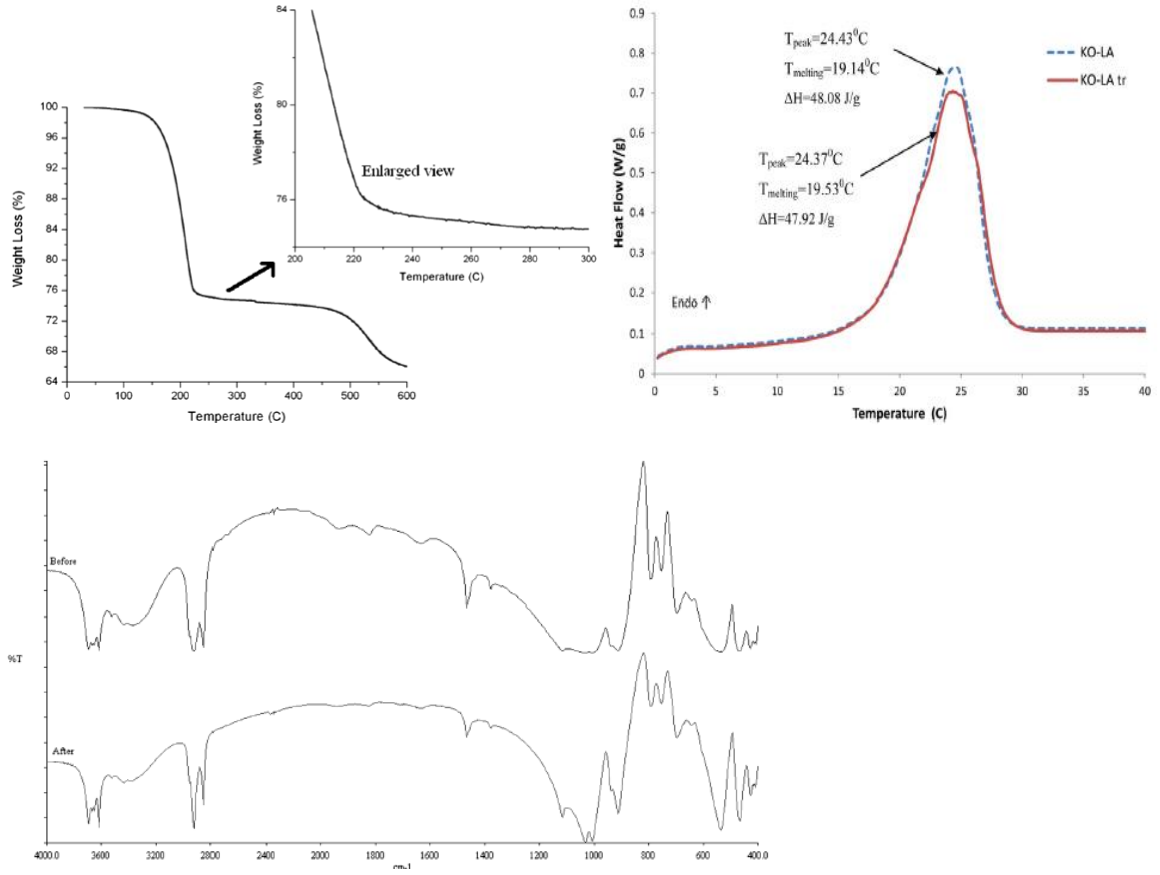




Shazim ve arkadaşları (2013) Lauril alkolün kaolin içine vakum emdirme yöntemiyle katkılandırılarak yeni bir kompozit destekli FDM olan LA-KO elde etmişlerdir. Kompozit FDM'nin yapısı FT-IR ve SEM ile aydınlatılmıştır. Termal özellikler, termal karalılık ve termal tekrarlanabilirlik ise DSC, TGA analizleri ve termal çevrim testleri ile tespit edilmiştir. Elde edilen kompozitin erime noktası DSC analizine göre 19,14 °C'dir ve erime entalpisi de 48,08 j/g'dır. Test sonuçlarına göre; % 24 oranında kaolinin içerisine lauril alkol katkılandırılabilmiştir. FT-IR sonuçlarına göre; elde edilen kompozit kimyasal olarak kararlı ve lauril alkol ile kaolin arasındaki etkileşiminde kimyasal bir etkileşim olmadığını göstermiştir. TGA ile Termal çevrim testleri de kompozitin termal olarak kararlı ve tekrarlanabilirliğinin yüksek olduğunu göstermiştir. Termal performans testlerine göre kapalı mekanlarda 4 °C'lik binalarda kullanım açısından elverişli olduğu belirlenmiştir [56].

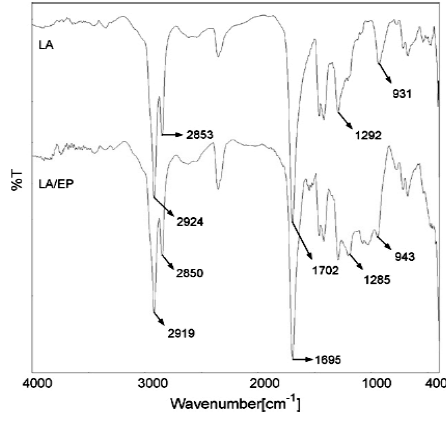




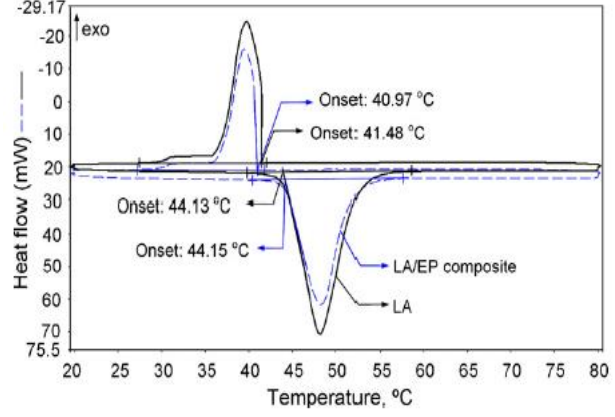


Ahmet sarı ve arkadaşları 2009 yılında yaptıkları çalışmada genişletilmiş perlit (GP) içine laurik asit (LA) katkılanmasıyla kararlı formda yeni bir kompozit destekli FDM elde edilmiştir. Kompozit FDM'nin yapısı FT-IR ve SEM ile aydınlatılmıştır. Kompozitin termal özellikleri, termal karalılığı ve termal tekrarlanabilirliği ise DSC, TGA ve termal çevrim ile tespit edilmiştir. SEM sonuçlarında GP in gözeneklerine LA'ın çok iyi dağıldığı gözlemlenmiştir. FT-IR sonuçları ise LA'ın PE'nin gözeneklerine fiziksel olarak dağıldığını ve kimyasal etkileşime girmediğini kanıtlamıştır. Kütlece % 60 LA içeren kompozitin ergimiş haldeyken sızdırmazlık özelliğine sahip olduğu belirlenmiştir. Bu yüzdeye sahip olan kompozit destekli FDM'nin DSC verilerine göre $44,13^{\circ}C$ ' de $93,36 \text{ J/g}$ 'lık ısı ile eridiği, $40,97^{\circ}C$ ' de $94,87 \text{ J/g}$ 'lık ısı ile katılaştığı belirlenmiştir. 1000 erime donma döngüsüyle yapılan termal çevrim testi sonucunda termal ve kimyasal karalılığını koruduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca bu kompozit destekli FDM'ye kütlece % 10'luk GG (genişletilmiş grafit) eklenmesiyle termal iletkenlikte yaklaşık olarak % 86'lık bir artış olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak bu kompozitin termal iletkenliğinin, kimyasal karalılığının, termal karlılığının ve termal enerji depolama

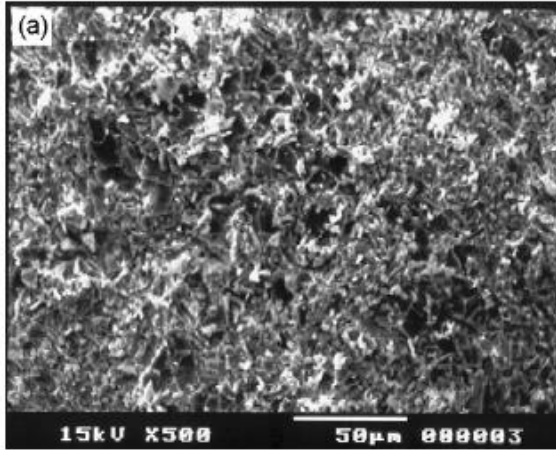
özelliklerinin iyi olmasından dolayı, termal enerji depolama sistemlerinde kullanılabilirliği kabul edilmiştir. [57]



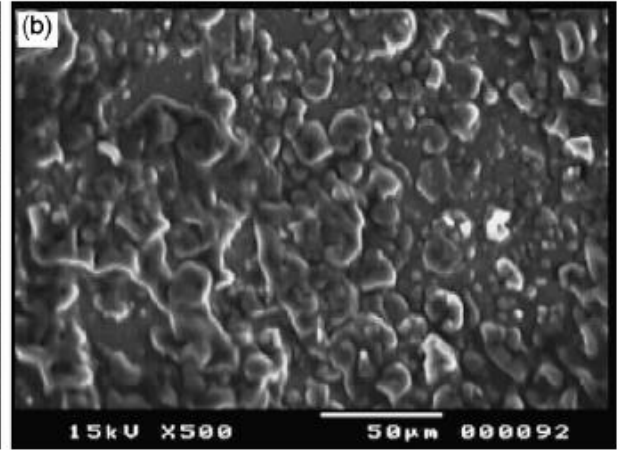
a) LA ve LA/EP (60/40 wt %) FT-IR spektrumları



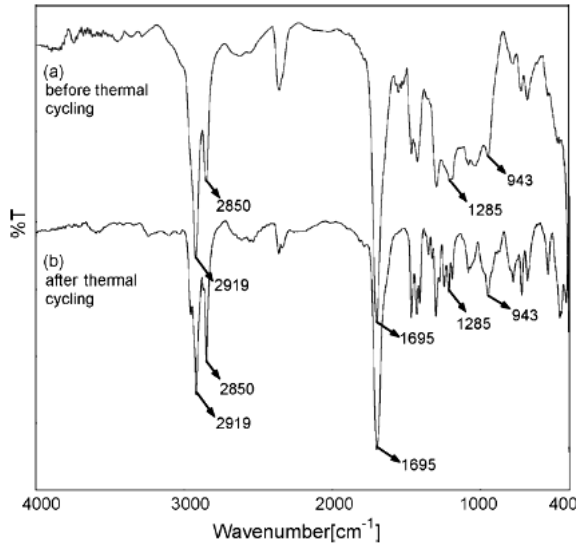
b) LA ve LA/EP kompozitinin DSC eğrileri



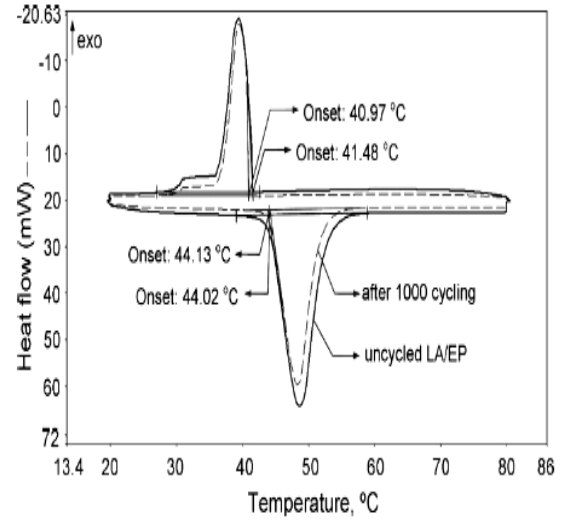
a) Laurik asit eklenmeden önce



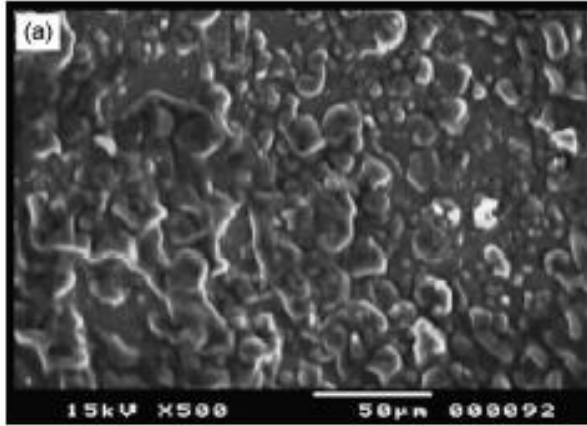
b) Laurik asit eklendikten sonra



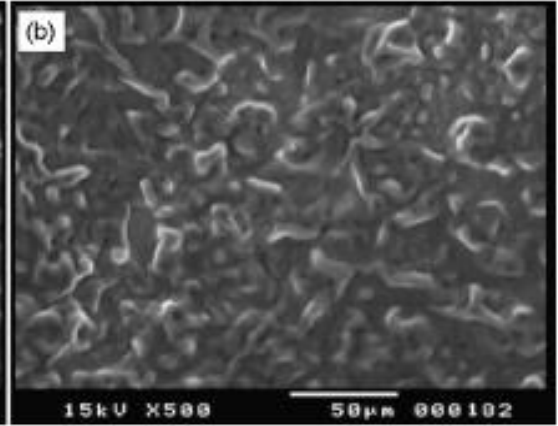
a) LA/EP ve 1000 termal döngüden sonra LA/EP FT-IR spektrumu



b) LA/EP ve 1000 termal döngüden sonra LA/EP DSC eğrisi



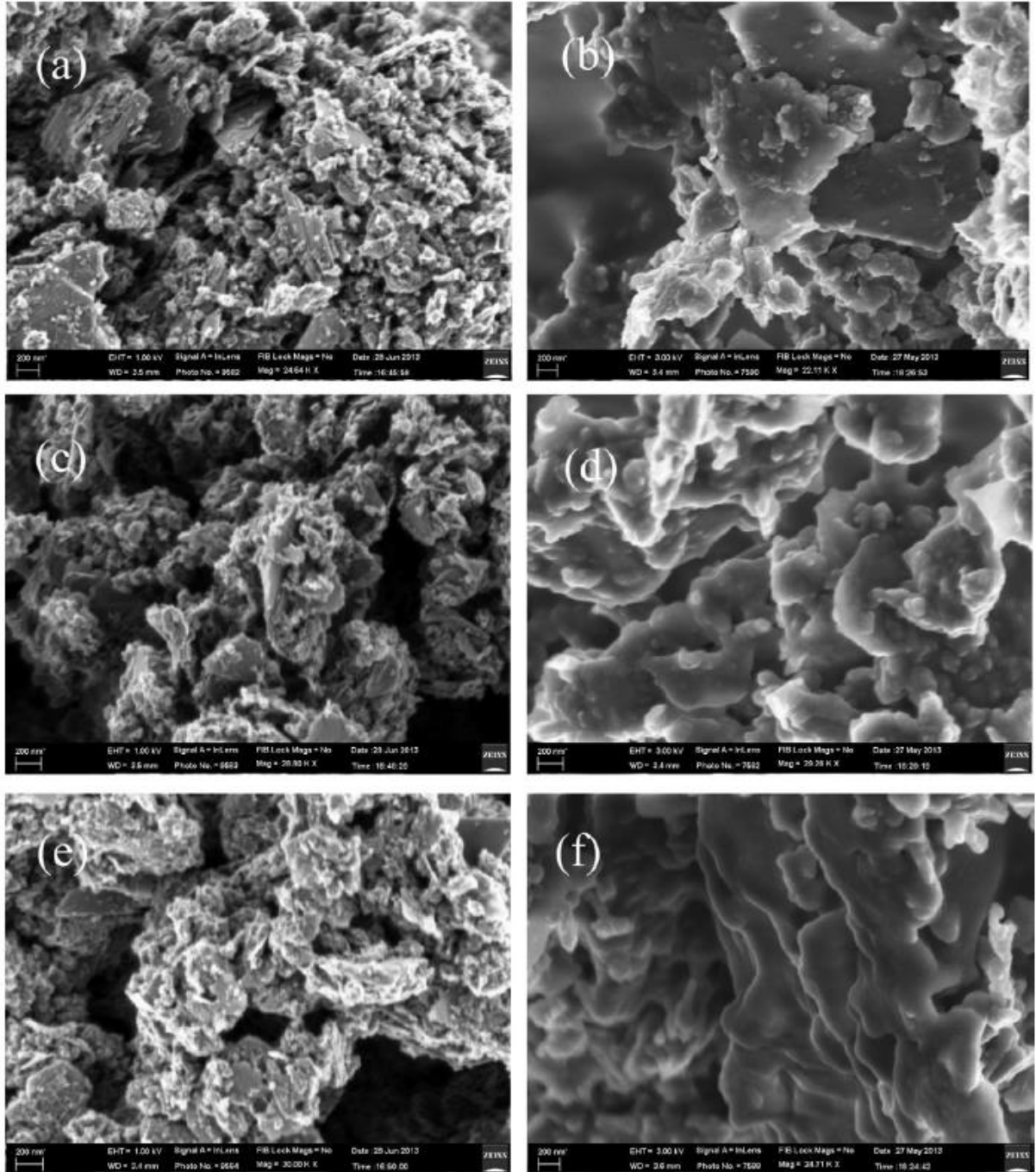
a) LA/EP 1000 termal döngüden önce SEM fotoğrafı

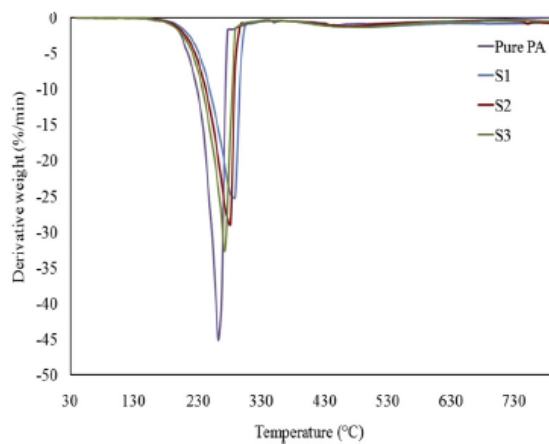
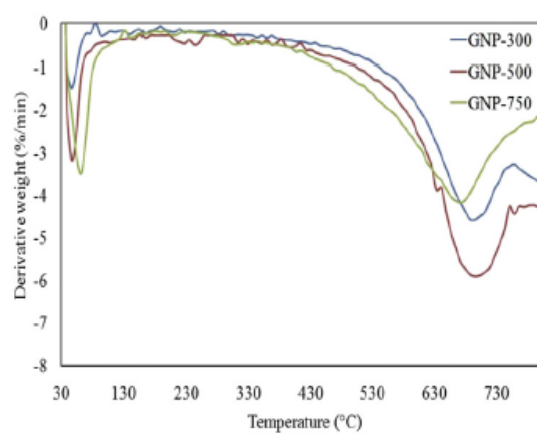
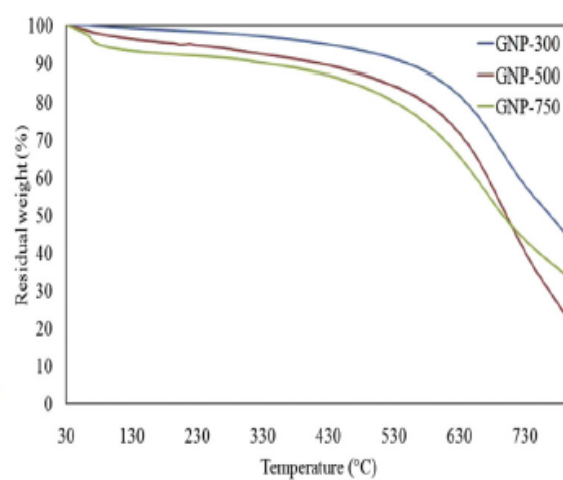
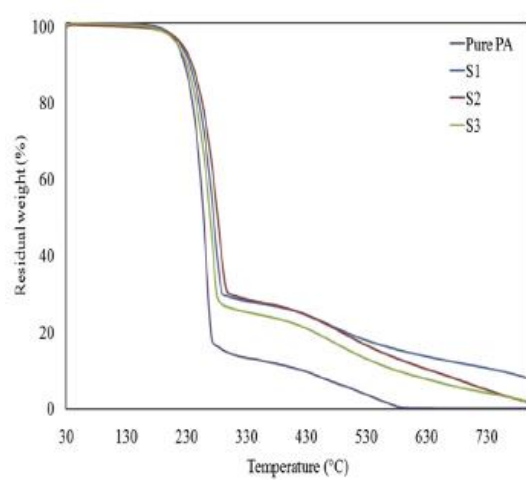
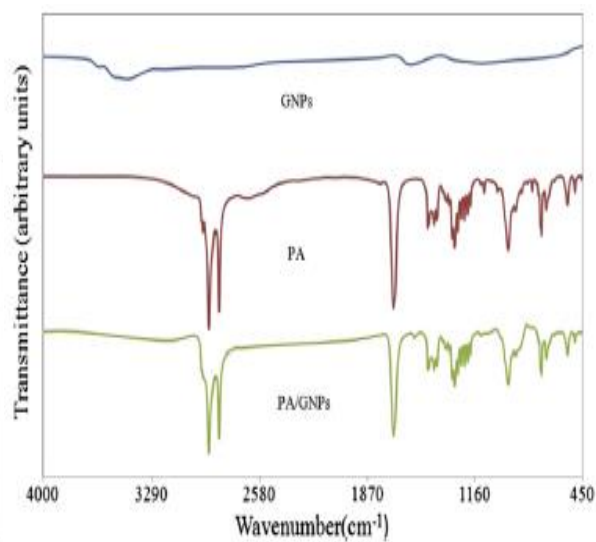
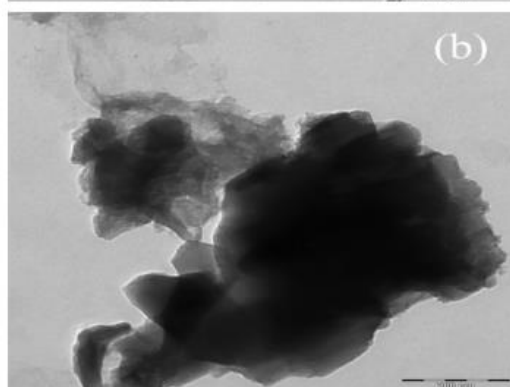
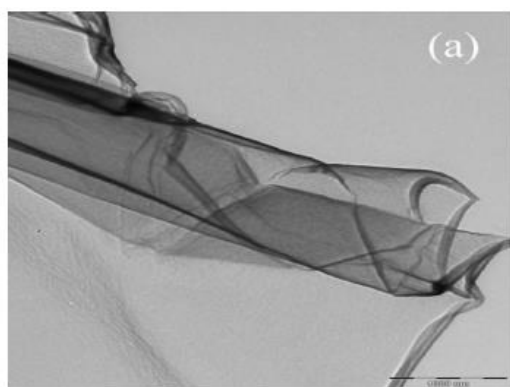


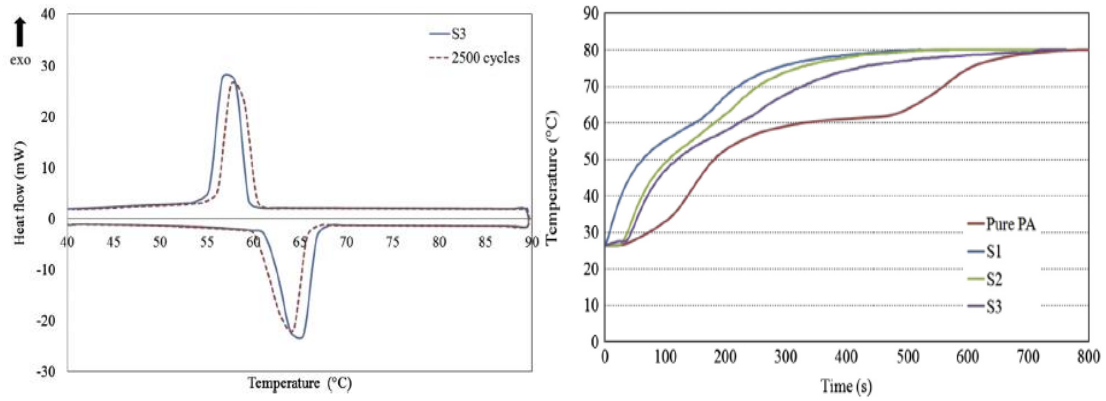
b) LA/EP 1000 termal döngüden sonra SEM fotoğrafı

Mohammad Mehrali ve arkadaşları 2013’de yaptıkları çalışmalarında Palmitik asit (PA)/Grafen nano plakaları (GNPs)’ndan oluşan kompozit destekli FDM’nin termal iletkenliğini ve şekil karalılığı incelenmişlerdir. Aşılama metoduyla 500, 300 ve 750 m²/g olmak üzere üç farklı yüzey alanına sahip GNPs ile karalı şekle sahip FDM hazırlanmıştır. GNPs’nin absorbladığı maksimum PA’nin kütlece yüzdesi % 91,94 olarak saptanmıştır. Bu FDM’nin ergimiş durumda sızdırmaz olduğu damla noktası testi ile kanıtlanmıştır. PA/GNPs kompozit destekli FDM’nin kimyasal yapısı ve mikro yapısı FT-IR, SEM, TEM ve XRD analizleri ile belirlenmiştir. Kompozit destekli FDM’nin

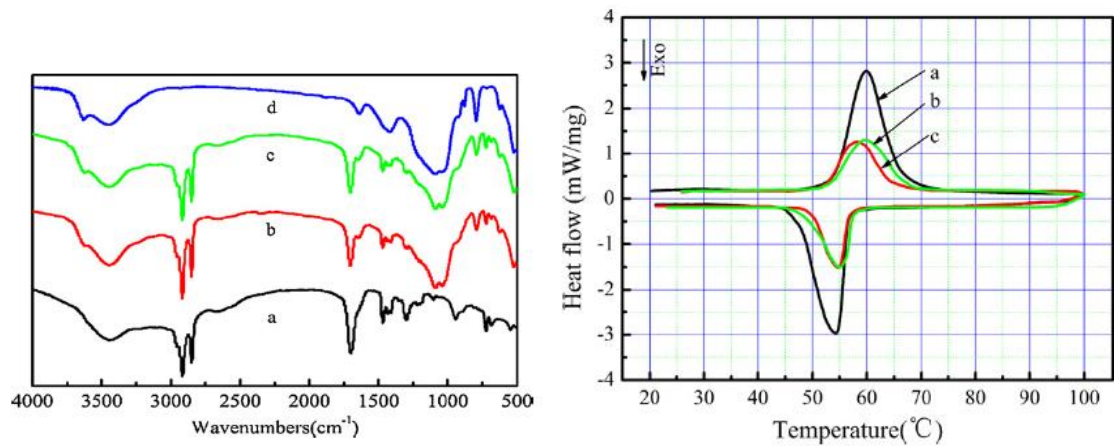
erime katılaşma sıcaklıklarında depoladığı gizli ısı DSC analizleriyle belirlenmiştir. Termal kararlılığı ise TGA analizi ile tespit edilmiştir. Termal iletkenliğinin saf PA'in termal iletkenliğinin 10 katı kadar arttığı belirlenmiştir. 2500 kez erime-donma döngüsüne tabi tutulan kompozit destekli FDM'nin kararlılığını koruduğu gözlemlenmiştir. Sonuç olarak termal iletkenliğinin yüksek olması, kimyasal ve termal olarak kararlılığa sahip olması ve termal özelliklerinin kabul edilebilir olmasından dolayı hazırlanan bu kararlı şekle sahip kompozit destekli FDM'nin termal enerji depolama uygulamalarında kullanıma uygun olduğu saptanmıştır [58].

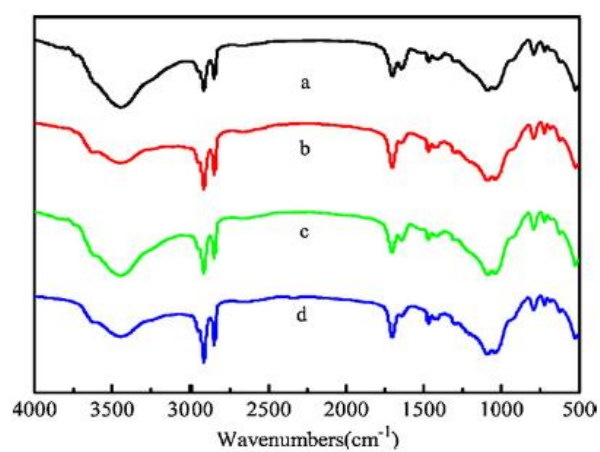
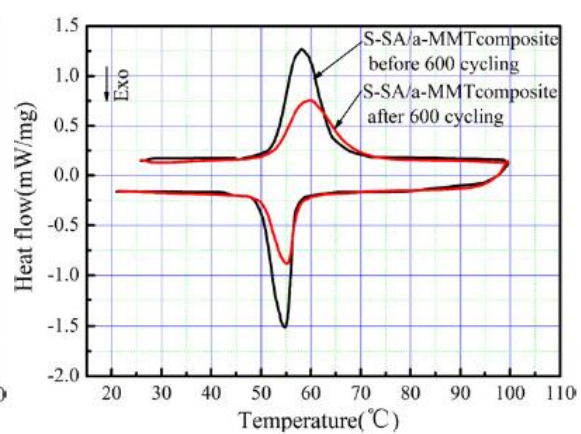
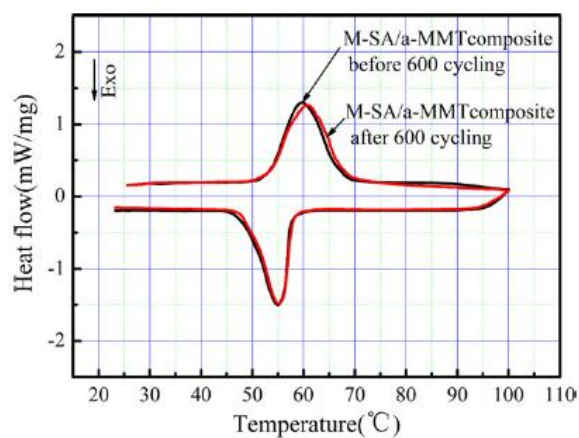
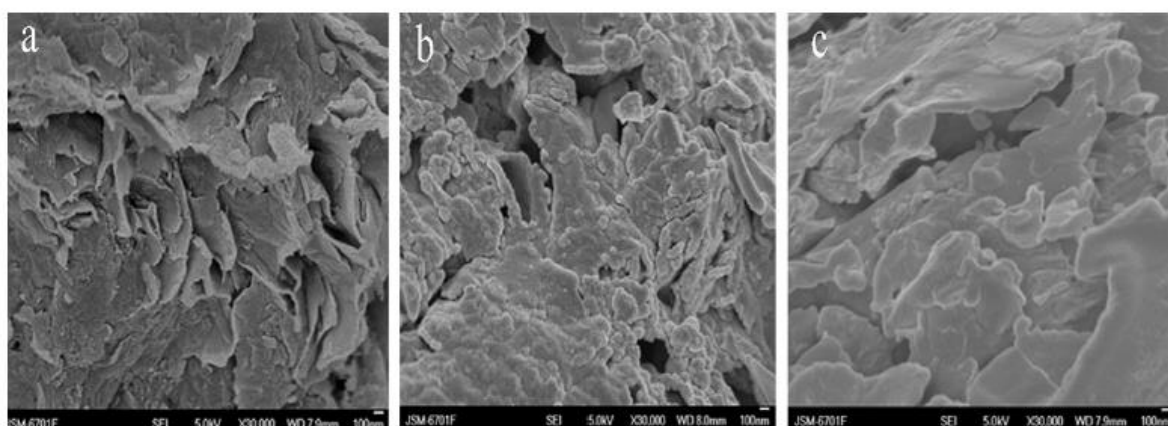




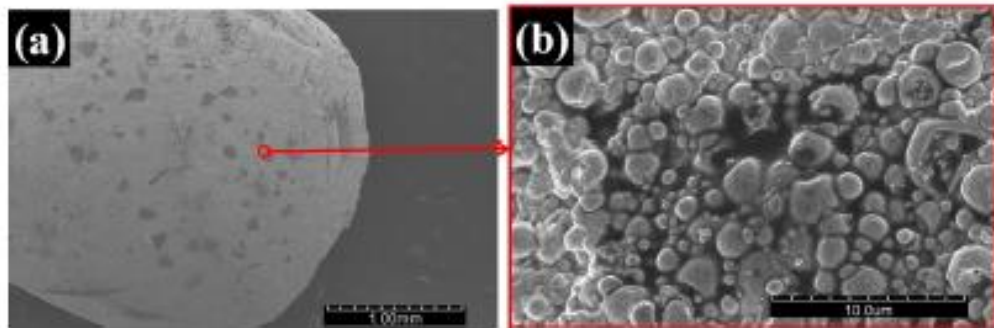
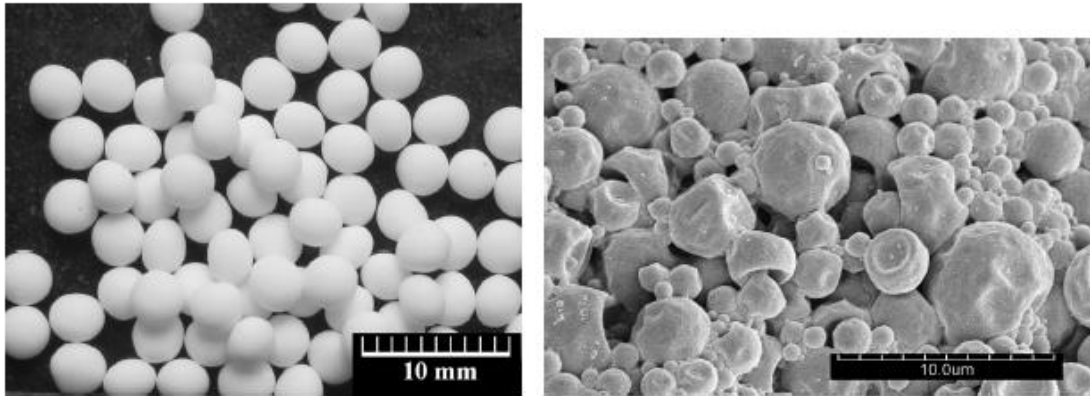


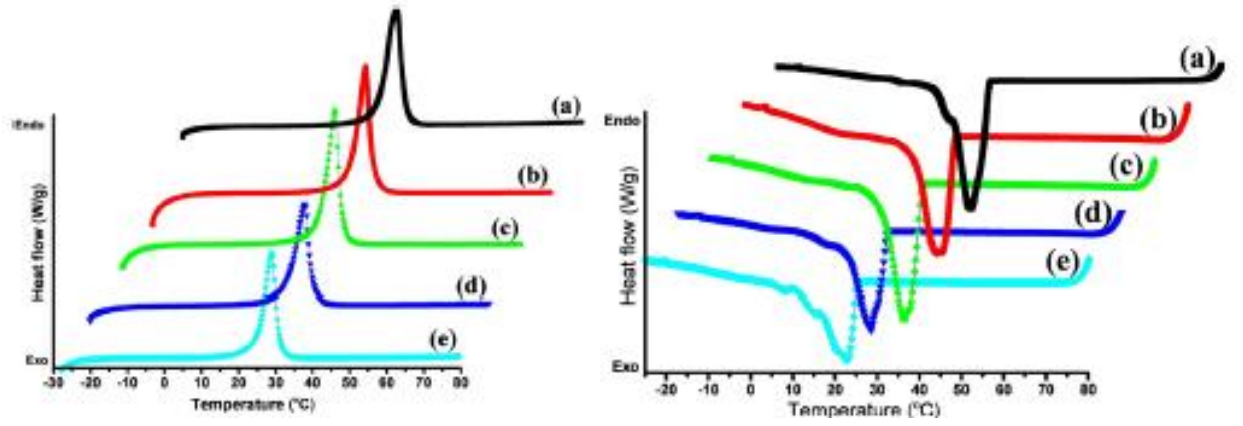
Yi Wang ve arkadaşları 2011 yılında yaptıkları çalışmada iki tür faz değiştirici madde hazırlamışlardır ve bu FDM'lerin hazırlama metotlarının termal özellikleri ve karakteristik yapılarına etkisini araştırmak amacıyla çeşitli karakterizasyon tekniklerini kullanmışlardır. Sonuçlar kompozitlerin benzer yapısal özelliklere sahip olduklarını ve aktif kil gözenekleri arasına katkılандırılmış Stearik asidin (SA) yapısının ve gizli ısılarının SA ile kıyaslanabilir olduğunu göstermiştir. Hazırlama tekniklerinin termal özellikler üzerinde etkili olduğu gözlemlenmiştir. Termal tekrarlanabilirliği termal çevrim testleri ile kanıtlanmıştır. TGA analiziyle termal kararlılığa sahip olduğu belirlenmişlerdir. Eritmeyle emdirme metodu kullanılarak hazırlanan kompozitin erime gizli ısısında % 0,59'luk katılşma gizli ısısında % 1,01'lik bir düşüş olduğu saptanmıştır. Çözeltiye daldırma tekniğiyle hazırlanan kompozitin 600 termal döngüden sonra erime gizli ısısının % 39,71 katılşma gizli ısısının % 40,98 oranında düştüğü saptanmıştır. Bu veriler ışığında eritmeyle emdirme metodunun kompozit FDM'lerin hazırlanmasında güvenilir bir metot olduğu kabul edilmiştir [59].



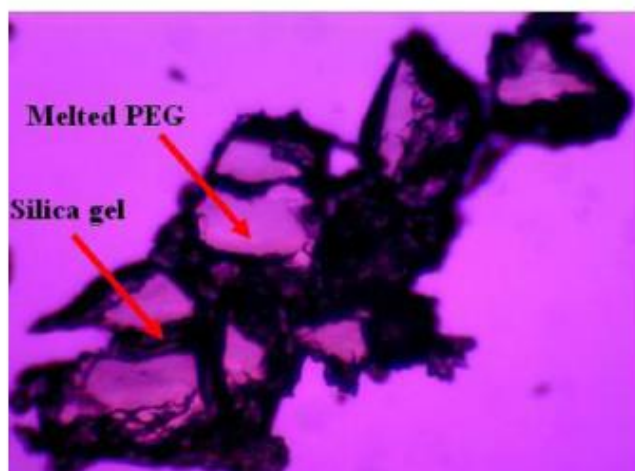
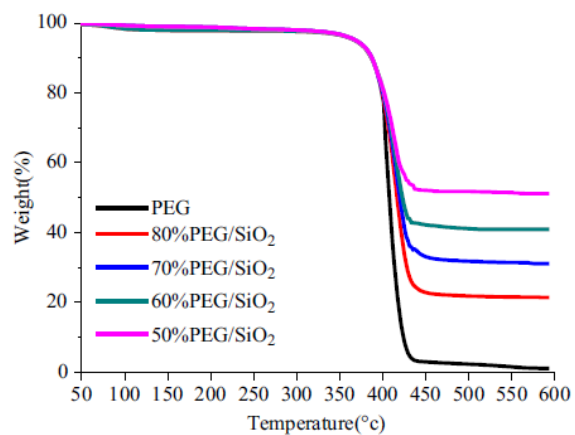
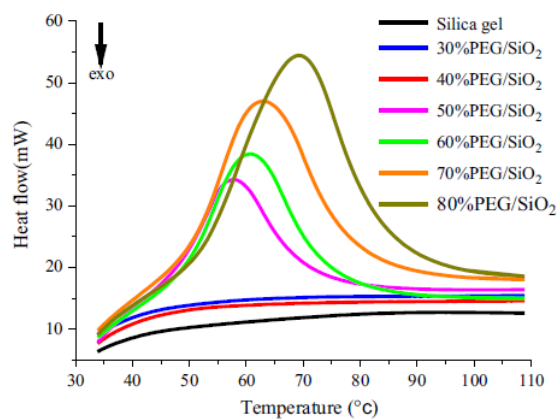
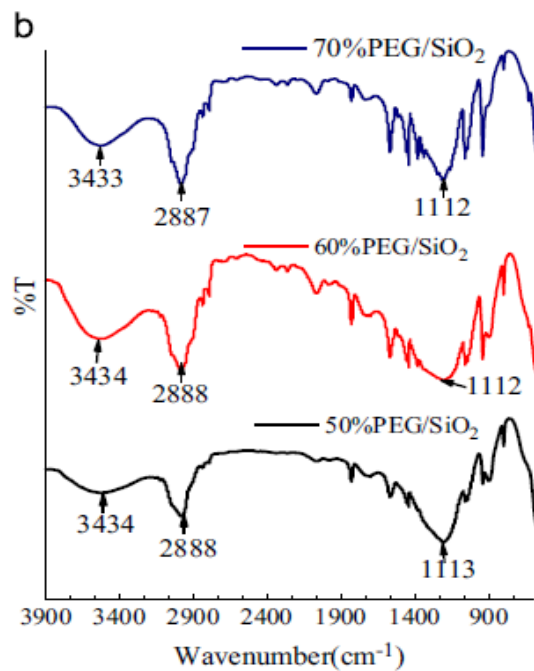
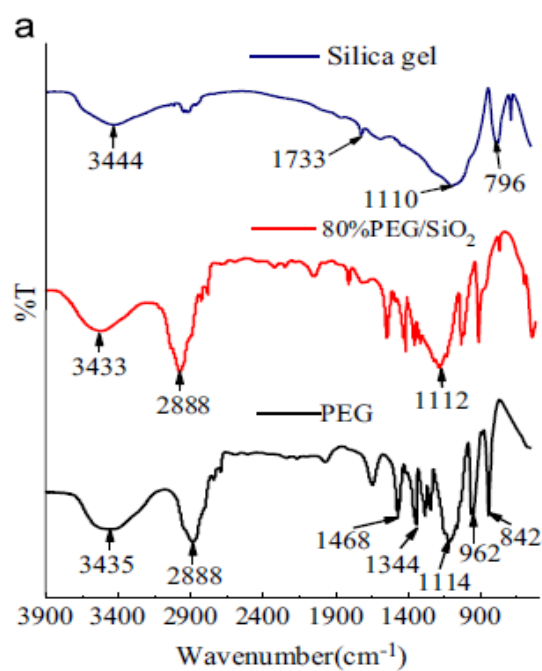


Wei Li ve arkadaşları makro PCM'leri kullanarak destek polimerleriyle mikrokapsül içeren faz değıştirici PCM'lere dönüştürmüşlerdir. Daha sonra elde edilen mikro PCM'leri genişletilmiş grafit ile süspansiyon polimerizasyon yöntemiyle kompozit PCM'ler elde etmişlerdir. Elde edilen kompozit PCM'lerin morfolojisi, mikro yapısı faz değıştirici özellikleri FESEM (Alan Emisyonlu Taramalı Elektron Mikroskobu), DSC, enerji ayırıcı X-ray spektrometresi (EDX) ile incelenmiştir. Mikro PCM'ler ile polimer substrat yüzeyler arası görünümü mikrogaf'lar ile çalışılmıştır. Buna göre kullanılan polimerler ve genişletilmiş grafit ile makro FDM'nin yapısında yer alan çatlaklar ve sızdırma yüzeyleri tamamen giderilmiştir. Bunun yanı sıra makro FDM'ler mikro FDM'ye dönüştürüldüğünde entalpi değerlerinin 126,2 J/g'a yükseldiğı ve bu entalpinin -6,6 °C ile -41,4 °C' de gerçekleştiğı görülmüştür. Aşırı soğumanın da genişletilmiş grafit eklendikten sonra yaklaşık 10 °C daha artmasıyla termal enerji sistemlerinde kullanımı oldukça kolay FDM'ler elde edilmiştir [60].

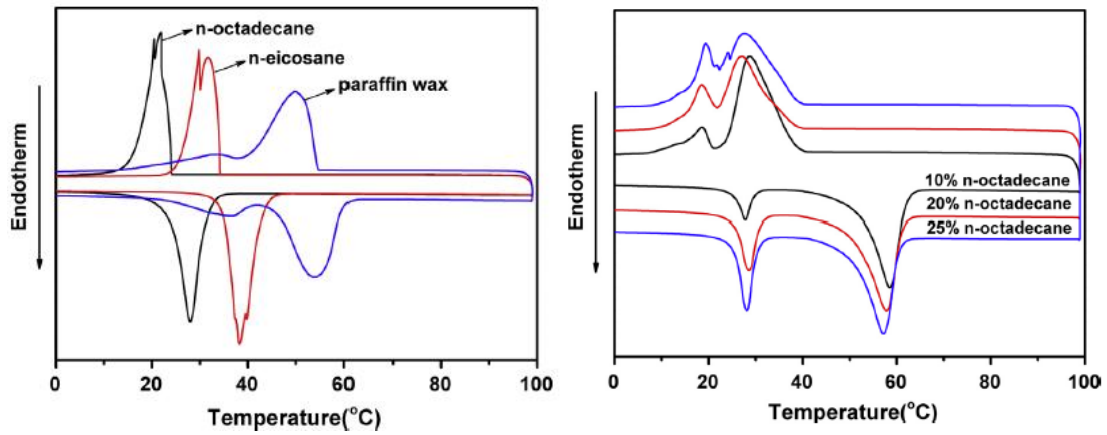


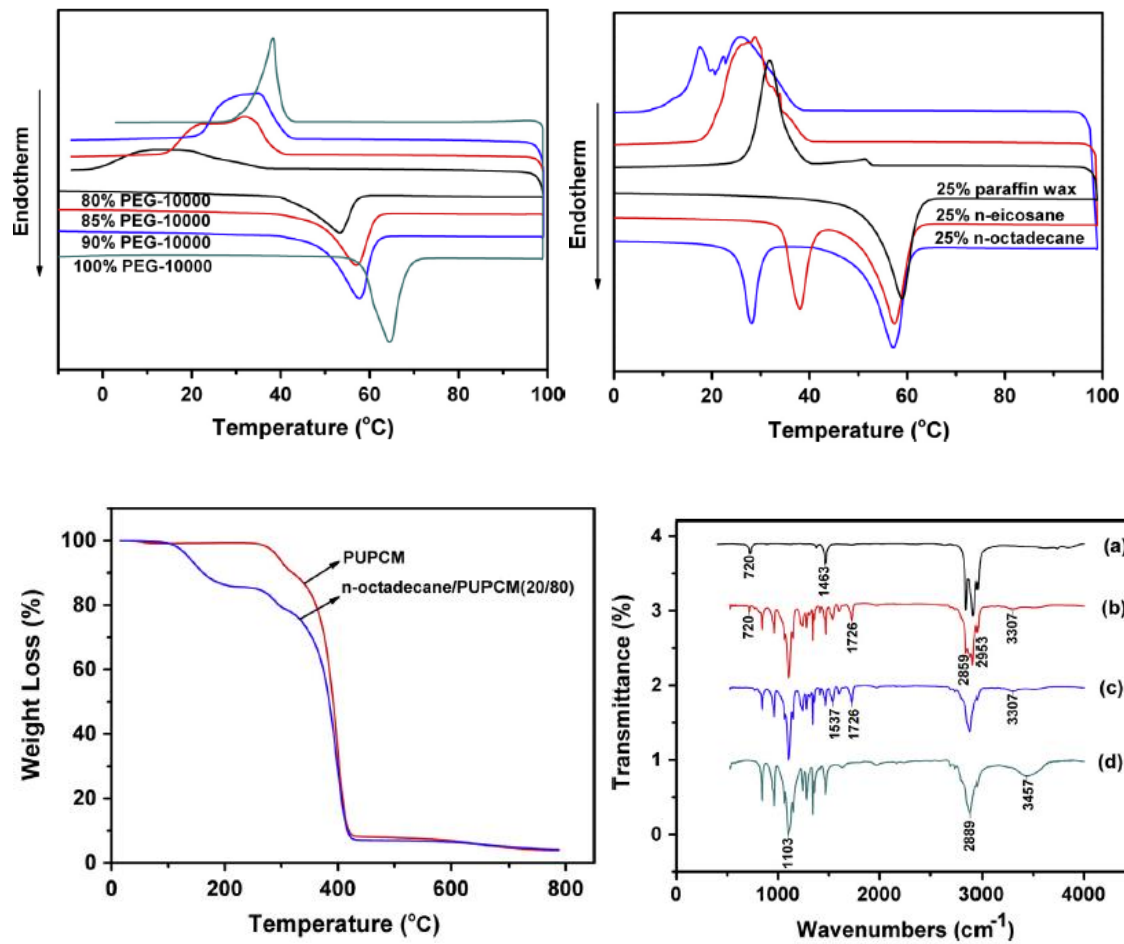


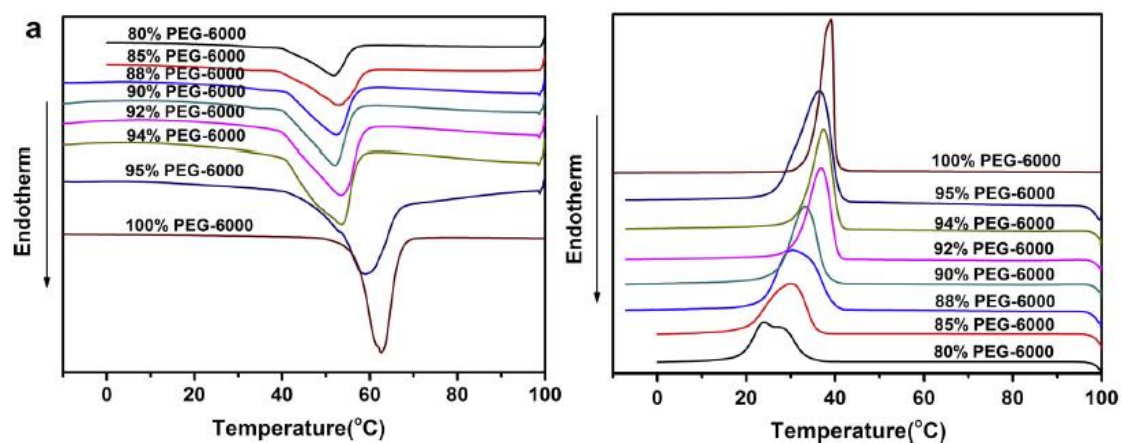
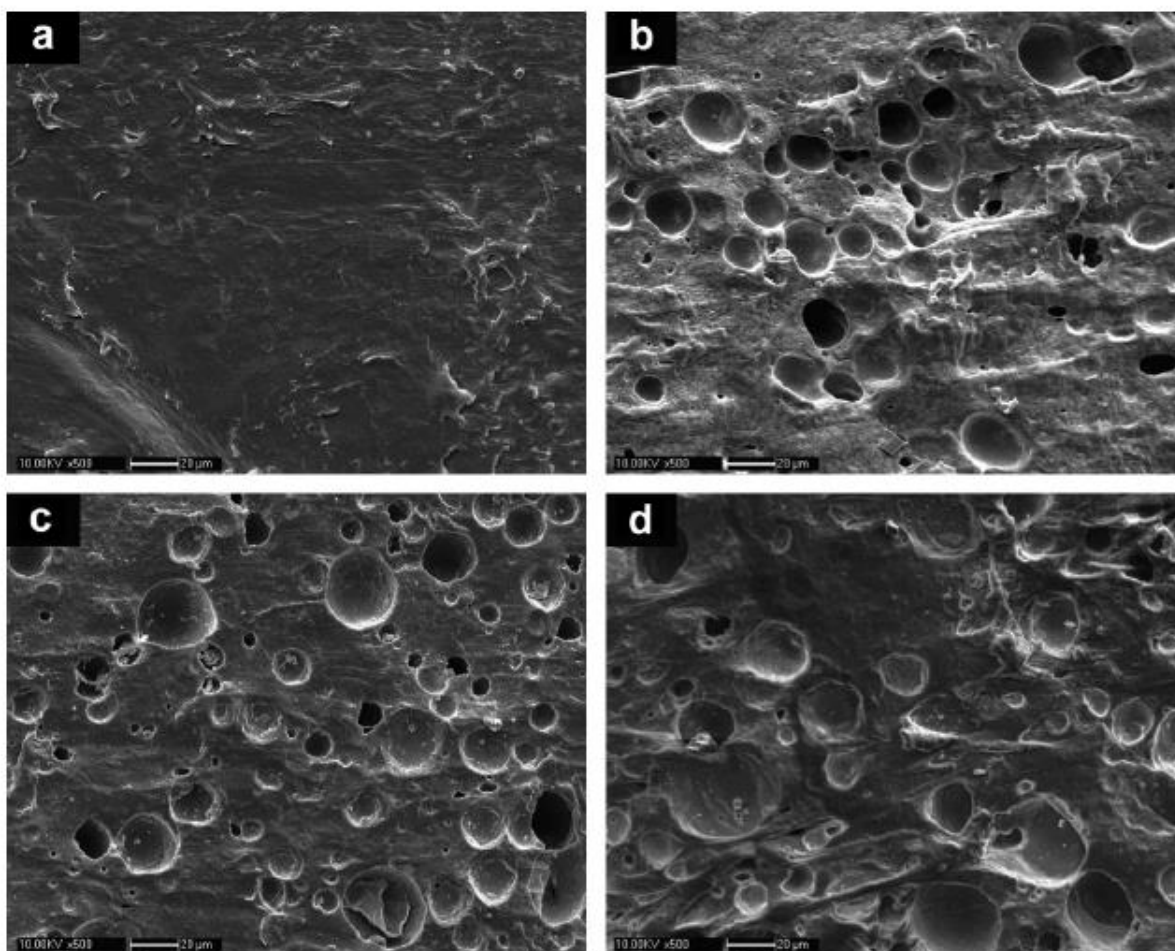
Polyetilen glikol/silikon dioksiti hazırlamak için Jingruo ve arkadaşları yeni bir sol-gel yöntemi geliştirmişlerdir. Sıcaklık ayarlanarak jelatinizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. PEG/SiO₂ kompozitlerinde PEG faz değiştirici madde olarak davranırken silika jel ise faz geçişleri sırasında elde edilen kompozit malzemenin şeklini korumak için destek materyali olarak kullanılmıştır. Kompozitlerin yapısını ve özelliklerini belirlemek için çeşitli karakterizasyon yöntemleri kullanılmıştır. Sonuçlara göre; polietilen glikolün erime noktasının çok üzerinde çalışılsa bile elde edilen kompozit bazlı FDM'nin bu sıcaklıklarda daha kararlı olduğu ve şeklini koruduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca PEG ile silikajel arasındaki etkileşimin sadece fiziksel olduğu polietilen glikolün kristal yapısının bundan etkilenmediği belirlenmiştir. Tüm bu özelliklerinden dolayı PEG mükemmel bir faz değiştirici malzeme olduğu ve elde edilen kompozitlerin PEG miktarlarına bağlı olarak entalpi değerlerinin % 50-% 80 değiştiği gözlemlenmiştir. Bu kompozitlere % 2,7 grafit ilave edildiğinde termal iletkenliklerinin 0,558 Wm⁻¹K⁻¹'e yükseldiği tespit edilmiştir. Termal kararlılıkları incelendiğinde ise geniş bir termal aralıkta oldukça kararlı kaldıkları belirlenmiştir. Bu nedenle binalarda faz değiştirici materyal olarak kullanılabilir saptanmıştır [61].



Poliüretan katı-katı faz değıştirci madde olarak termal enerji depolama sistemlerinde kullanılmaktadır. Fakat fiyatlarının yüksek olmasıyla beraber entalpi değerlerinin yüksek olması ve faz değıştirme sıcaklık aralığının geniş olması endüstriyel kullanımının kısıtlamaktadır. Keping ve arkadaşlarının yapmış olduğu bu çalışmada, bir seri parafin/poliüretan FDM kompozitleri (n-oktadekan/PUPCM, n-eikosan/PUPCM ve parafin wax/PUPCM) farklı sıcaklık aralığn da (20 °C-65 °C) direk olarak polimerizasyon büyütmesi ile elde edilmiştir. Kompozitler farklı oranlarda n-oktadekana göre hazırlanmıştır (% 10, % 20, % 25, % 30). Sonuçlara göre en yüksek n-oktadekan/PUPCM 1000 içeriğinin % 25 olduğu bulunmuştur. Kompozitlerin kimyasal yapı ve kristal özellikleri FT-IR, polarize optik mikroskop (PDM), geniş açılı X ışınları difraksiyonu (WAXD) ile aydınlatılmıştır. Termal özellikleri ve termal tekrarlanabilirliği DSC ve TGA ile belirlenmiştir. DSC analizlerine göre kompozitler ikili faz değıştirci sıcaklık aralığı göstermiştir. % 25 oranıyla kompozitlerin entalpi değeri n-eikosan için 141,2 J/g olarak bulunmuştur. TGA analizlerine göre kompozitin çok yüksek sıcaklıklarda bozunduğu belirlenmiştir. Sonuçlara göre kompozit temelli FDM'lerin oldukça ucuz, çevre dostu ve enerji depolama sistemlerinde ve binalarda kullanılabileceğı belirlenmiştir [62].







3. MATERYAL ve METOD

3.1. Materyal

3.1.1 Kullanılan Araç ve Gereçler

- FT-IR (Perkin Elmer Precisely Spectrum One), Fırat Üniversitesi Fen Fak. Kimya Bölümü
- Elektronik Terazı: Gec Avery, Fırat Üniversitesi Fen Fak. Kimya bölümü
- Termogravimetrik Analiz: Shimadzu DTG-60AH, Fırat Üniversitesi Fen Fak. Kimya Bölümü.
- Diferansiyel Taramalı Kalorimetre: Shimadzu DSC-60A, Fırat Üniversitesi Fen Fak. Kimya Bölümü.
- Ultrasonik Karıştırıcı Su Banyosu: Elmasonic S 30H, Fırat Üniversitesi Fen Fak. Biyoloji Bölümü.
- Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM): Erciyes Üniversitesi Teknolojik Araştırma ve Uygulama Merkezi
- Termal Cyclers: Applied Biosystems Veriti 96 Well Thermal Cyclers Fırat Üniversitesi Fen Fak. Kimya Bölümü.

3.1.2. Deneyisel Çalışmalarda Kullanılan Kimyasallar

Duyulur ısı depolama amacıyla hazırlanan FDM karışımları için yağ asidi olarak; Palmitik Asit (PA) ve Stearik asit (SA) organik madde olarak da Kamfen (C) kullanıldı. Bu maddelerin farklı oranlardaki karışımları hazırlanarak uygun çalışma sıcaklığında gizli ısı kapasitesi yüksek olan ötektik karışımlar FDM olarak belirlendi. Belirlenen oranlara sahip Kamfen-Stearik Asit (C-SA) ve Kamfen-Palmitik asit (C-PA) karışımlarına bazı yapı malzemeleri katkılanarak oluşturulan kompozit destekli FDM'lerin özellikle yalıtım sektöründe kullanılabilirliği araştırıldı. Bilinen yaygın yapı malzemelerinden olan Proklastik, Uçucu Kül, barit ve Mermer Tozu bu amaçla kullanıldı. Çalışmada kullanılan yağ asitlerinin formülleri ve DSC analizleriyle belirlenen ısı özellikleri tablo 3.1'de özetlenmiştir.

Tablo 3. 1 Ötektik karışımlarda kullanılan kimyasalların termal özellikleri

Yağ Asidi	Erime Sıcaklığı (°C)	Erime Gizli Isısı (kJ/kg)	Özgül ısı (kJ/kg °C)	Kimyasal Formülleri
Palmitik Asit	61 -64	203,4	2,20 (40 °C) 2,48 (80 °C)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$
Stearik Asit	70 - 71	186,5	2,83 (40 °C) 2,38 (80 °C)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$

3.2. Metod

3.2.1 FDM Ve Kompozit Destekli FDM' Lerin Hazırlanması

FDM'leri hazırlamak için yağ asitleri ve kamfen'nin toplam ağırlığı 1 gr olacak şekilde aşağıda belirtilen oranlarda tartıldıktan sonra karışım cam kapaklı şişelere aktarıldı. Ağzı kapalı şişelerdeki bu karışımlar ultrasonik karıştırıcılı su banyosunda 60 °C - 75 °C sıcaklık aralığının da 12-16 saat ultrasonik titreşim yardımıyla homojen olarak karışması sağlandı. Elde edilen bu homojen karışımların homojenliğini koruması için ani soğutma yöntemiyle katılaşması sağlandı.

3.2.1.1. Kamfen – Palmitik Asit Karışımları

Kamfen-Palmitik asit karışımlarının en iyi ısı özelliklerine sahip olan ötektik karışımının belirlenmesi için;

KAMFEN + PALMITİK ASİT KARIŞIMLARI

%20 Kamfen + % 80 Palmitik Asit karışımı (C-PA 2,8)için ; 200 mg C + 800 mgPA

% 33,4 Kamfen + % 44,6 Palmitik Asit karışımı (C-PA 2,4) için; 200 mg C+400 mgPA

% 44,6 Kamfen + % 33,4 Palmitik Asit karışımı (C-PA 4,2) için: 400mg C + 200 mgPA

% 40 Kamfen + % 60 Palmitik Asit karışımı (C-PA 4, 6) için; 400 mg C + 600 mg PA

% 60 Kamfen + % 40 Palmitik Asit karışımı (C-PA 6, 4) için; 600 mg C + 400 mg PA

% 80 Kamfen + % 20 Palmitik Asit karışımı (C-PA 8,2)için; 800 mg C + 200 mg PA

KOMPOZİT KATKILI FDM KARIŞIMLARI

Belirlenen ötektik karışım (C-PA) 1:2 proklastik için; 500 mg C-PA + 1000 mg Pro

Belirlenen ötektik karışım (C-PA) 1:4 proklastik için; 500 mg C-PA + 2000 mg Pro

Belirlenen ötektik karışım (C-PA) 1:2 uçucu kül için; 500 mg C-PA + 1000 mg UK

Belirlenen ötektik karışım (C-PA) 1:4 uçucu kül için; 500 mg C-PA + 2000 mg UK
Belirlenen ötektik karışım (C-PA) 1:2 Barit için; 500 mg C-PA + 1000 mg Bar
Belirlenen ötektik karışım (C-PA) 1:4 Barit için; 500 mg C-PA + 2000 mg Bar
Belirlenen ötektik karışım (C-PA) 1:2 Mermer Tozu için; 500 mg C-PA + 1000 mg MT
Belirlenen ötektik karışım (C-PA) 1:4 Mermer Tozu için; 500 mg C-PA + 2000 mg MT

Karışımları oluşturan maddeler arasındaki etkileşimlerin sadece fiziksel etkileşim olduğu FT-IR verileri ile desteklendi. Belirtilen oranlardaki karışımlar hazırlanarak DSC analizlerinin sonucuna göre ısı ve fiziksel özellikleri belirlenen en uygun ötektik karışım seçildi. Seçilen bu karışıma % 50 ve % 25 oranında proklastik, uçucu kül, mermer tozu ve barit katkılanarak kompozit FDM'ler oluşturuldu. Bu kompozit FDM'lerin de DSC verilerine göre en iyi özelliklere sahip olanları temel karışımlar olarak belirlendi. Bu belirlenen kompozit FDM'lerin termal kararlılıkları TGA analizleri ile incelendi ve termal tekrarlanabilirlikleri Termal çevrim cihazı ile 2500 termal döngüye tabi tutulduktan sonra termal özelliklerinde ve yapılarında herhangi bir değişiklik meydana gelip gelmediği araştırıldı. Karışımların yüzey morfolojilerindeki değişim SEM metoduyla incelendi.

3.2.1.2. Kamfen - Stearik Asit Karışımları

Kamfen –Stearik asit karışımlarının en iyi ısı özelliklere sahip olan ötektik karışımının belirlenmesi için;

KAMFEN + STEARİK ASİT KARIŞIMLARI

% 20 Kamfen + % 80 Stearik Asit karışımı (C-SA 2,8) için; 200 mg C + 800 mg SA
% 33,4 Kamfen + % 44,6 Stearik Asit karışımı (C-SA 2,4) için; 200 mg C + 400 mg SA
% 44,6 Kamfen + % 33,4 Stearik Asit karışımı (C-SA 4,2) için; 400 mg C + 200 mg SA
% 40 Kamfen + % 60 Stearik Asit karışımı (C-SA 4, 6) için; 400 mg C + 600 mg SA
% 60 Kamfen + % 40 Stearik Asit karışımı (C-SA 6, 4) için; 600 mg C + 400 mg SA
% 80 Kamfen + % 20 Stearik Asit karışımı (C-SA 8,2) için; 800 mg C + 200 mg SA

KOMPOZİT KATKILI FDM KARIŞIMLARI

Belirlenen ötektik karışım (C-SA) 1:2 proklastik için;	500 mg C-SA + 1000 mg Pro
Belirlenen ötektik karışım (C-SA) 1:4 proklastik için;	500 mg C-SA + 2000 mg Pro
Belirlenen ötektik karışım (C-SA) 1:2 uçucu kül için;	500 mg C-SA + 1000 mg UK
Belirlenen ötektik karışım (C-SA) 1:4 uçucu kül için;	500 mg C-SA + 2000 mg UK
Belirlenen ötektik karışım (C-SA) 1:2 Barit için;	500 mg C-SA + 1000 mg Bar
Belirlenen ötektik karışım (C-SA) 1:4 Barit için;	500 mg C-SA + 2000 mg Bar
Belirlenen ötektik karışım (C-SA) 1:2 Mermer Tozu için;	500 mg C-SA + 1000 mg MT
Belirlenen ötektik karışım (C-SA) 1:4 Mermer Tozu için;	500 mg C-SA + 2000 mg MT

Karışımları oluşturan maddelerin ve karışımın FT-IR spektrumlarının incelenmesi ile maddeler arasındaki etkileşimlerin fiziksel etkileşimler olduğu saptandı. Belirtilen oranlarda hazırlanan karışımların termal ve fiziksel özellikleri DSC analizleri ile belirlendi. Bu analiz sonuçlarına göre en iyi termal ve fiziksel özelliklere sahip olan ötektik karışım ana karışım olarak seçildi. Seçilen bu karışıma % 50 ve % 25 oranında proklastik, uçucu kül, mermer tozu ve barit katkılanarak kompozit FDM'ler oluşturuldu. Elde edilen kompozit destekli FDM'lerin termal ve fiziksel özellikleri DSC analizi ile belirlendi. Bu belirlenen kompozit destekli FDM'lerin termal kararlılıkları TGA analizi ile tespit edildi. Kullanım ömürlerinin belirlenmesi için karışımlar 2000 kez termal çevrime tabi tutuldu. Termal çevrim testi sonrasında karışımın kimyasal yapısının bu çevrimden etkilenmediği FT-IR spektrumlarının incelenmesi sonucunda saptandı. Karışımın termal ve fiziksel özelliklerindeki değişimler ise DSC analizi metoduyla belirlendi. Karışımların yüzey morfolojilerindeki değişim SEM analizi metodu ile incelendi.

3.2.2. Elde Edilen FDM Karışımlarının Analizi

3.2.2.1. FT-IR Analizi

IR ışınları, elektromanyetik spektrumun görünür alanından daha uzun dalga boyludur. Genel olarak radyasyon moleküller tarafından absorplanarak çeşitli moleküler vibrasyon (titreşim) veya rotasyon (dönme) enerjilerine dönüştürülür. Bundan yararlanılarak maddenin IR spekturumu alınır ve karakterize edilmesinde kullanılır. Bantların şiddeti geçirgenlik (T) veya absorbans (A) olarak ifade edilir. CO₂ spektrumunda moleküldeki asimetrik gerilmeden kaynaklanan 2400 cm⁻¹ dalga sayısında bir pik gözlemlenir. H₂O için iki pik vardır. Çift ışınlı bir spektrofotometresinde ışık kaynağı, örnek yerleştirme kısmı, fotometre, monokromatör ve dedektör ana kısımları bulunur.

Elde edilen karışımları oluşturan maddeler arasındaki etkileşimler FT-IR cihazı (Perkin Elmer Precisely Spectrum One) kullanılarak analiz edildi. Karışımlar oda sıcaklığında katı olduğundan spektrumlar KBr diski oluşturularak alındı. Saf yağ asitleri, Kamfen, kullanılan yapı malzemelerinin ve bunların karışımlarının FT-IR spektrumları alınarak birbirleriyle kıyaslandı. Bu kıyaslamalar karışım oluşurken aralarında fiziksel etkileşimden başka bir etkileşim olup olmadığı konusuna açıklık getirdi.

3.2.2.2. Yüzey Morfolojisi Analizi

Taramalı Elektron Mikroskopisi (SEM) analizleri malzemelerin yapıları hakkında bilgi veren bir deneysel metottur. Yapılan yüksek lisans tez çalışmasında, elde edilen farklı FDM'lerin yüzey morfolojisi hakkında bilgi edinmek için oda sıcaklığında SEM görüntüleri alınmıştır. Üretilen FDM'lerin özelliklerine göre farklı büyütme oranlarında SEM görüntüleri alınmıştır. Burada FDM'nin özellikleri tanımından kasıt, SEM ölçümleri sırasında cihazın vakumlanması ile cihaz içerisindeki ısı artışı malzemeyi direkt olarak etkilemektedir. Bu durumda nispeten düşük sıcaklıkta erime noktalarına sahip olan malzemeler sıvılaşma ya da erime eğilimi göstermektedir. Yapılan analizler sırasında, elde edilen numunelerden bazılarında yukarıda bahsetmiş olduğumuz erime ya da sıvılaşma durumu hasıl olduğundan farklı büyütme oranlarında SEM görüntüleri alınmıştır.

3.2.2.3. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Analiz Tekniği

Bu analiz metodunda belirlenmiş olan ısıtma programına göre numune ve referans (boş alüminyum pan) ısıtılırken aralarında meydana gelen enerji farkı zamanın ya da sıcaklığın bir fonksiyonu olarak incelenir. Bu analiz tekniği genellikle enerji değişimlerinin nicel olarak incelenmesinde kullanılır. Numune ile referans arasındaki sıcaklığı eşitlemek amacıyla numuneye verilen enerjiyi  l er. Elde edilen DSC eğrisindeki yatay eksen sıcaklığı düşey eksen ise numuneye aktarılan enerjiyi göstermektedir. Bu grafikte eğride pikin oluştuğu noktaya çizilen teğetlerin kesişme nokta erimeye başlama sıcaklığı oluşan pikin altında kalan alanın integrasyonu ile erime ya da katılaşma gizli ısısı belirlenir. Bu verilere ulaşmak için cihazın yazılım programlarından faydalanılır. Numunenin ısı kapasitesinin hesaplanmasında da cihazın yazılım programlarından faydalanılır.

Karışımıları oluşturan yağ asitlerinin, kamfen'nin, bunlardan oluşan ötektik karışımaların ve yalıtım malzemesi katkılanırılmış FDM'lerin erime (T_m) ve katılaşma (T_s) sıcaklıkları ve erime (ΔH_m), katılaşma (ΔH_s), gizli ısıları ve ısı kapasiteleri (C_p) DSC cihazı kullanılarak ölçüldü.

3.2.2.4. Termal  evrim Analizi

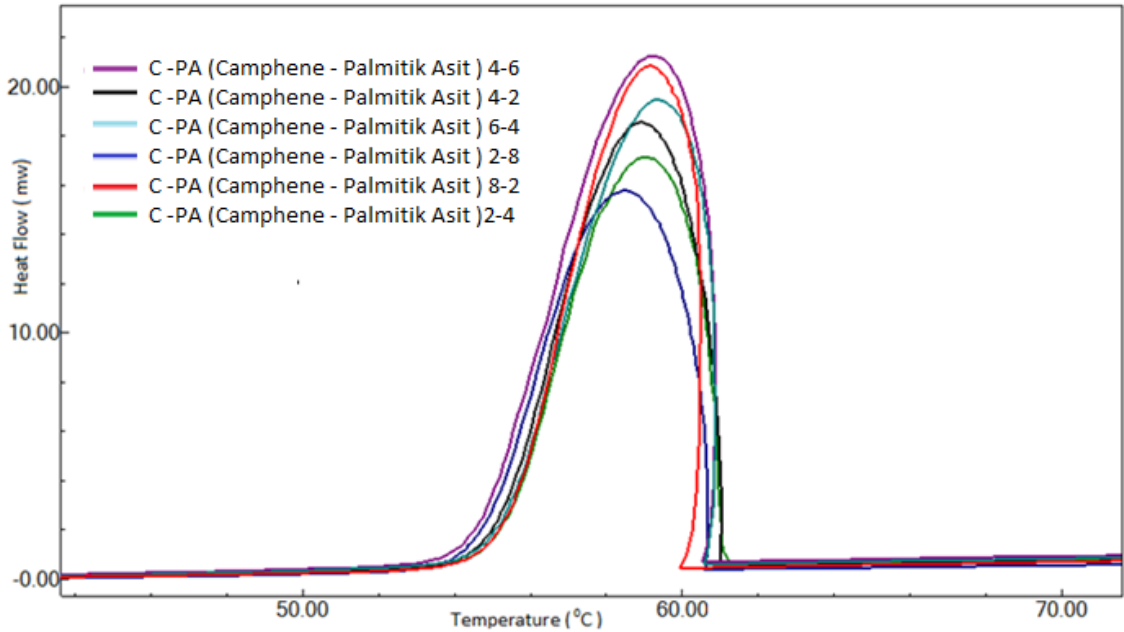
Bu analiz tekniğinde termal  evrim (Applied Biosystems Veriti 96 Well Thermal Cycler) cihazı kullanıldı. Bu cihaz numunenin belirlenen sıcaklıklarda istenilen zaman aralıklarında bekletilerek girilen tekrar sayısına bağlı olarak numunenin defalarca ısıtılıp soğutulmasını sağlamaktadır. Bu sayede numunenin termal olarak yaşlandırılması yapılır. Yaşlandırılan bu numunelerin FT-IR spektrumları yaşlandırılmayan numunelerin FT-IR spektrumlarıyla karşılaştırılarak termal döngünün numune yapısında herhangi bir değişikliğe neden olup olmadığı araştırılır. Bunun yanı sıra yaşlandırılan numunelerle yaşlandırılmaya tabi tutulmayan numunelerin DSC eğrileri de kıyaslanarak termal özelliklerinde ki değişimlerde kıyaslanır. Yapılan bu kıyaslamalar neticesinde herhangi bir değişimin olmadığının saptanması sonucunda numunenin termal tekrarlanabilirlik  zellikine sahip olduğu belirlenmiş olur.

4. BULGULAR

4.1. C- PA Ötektik Karışımları ve Yalıtım Malzemesi Katkılandırılmış FDM'lere Ait Veriler

4.1.1. C-PA Karışımlarının DSC Sonuçları

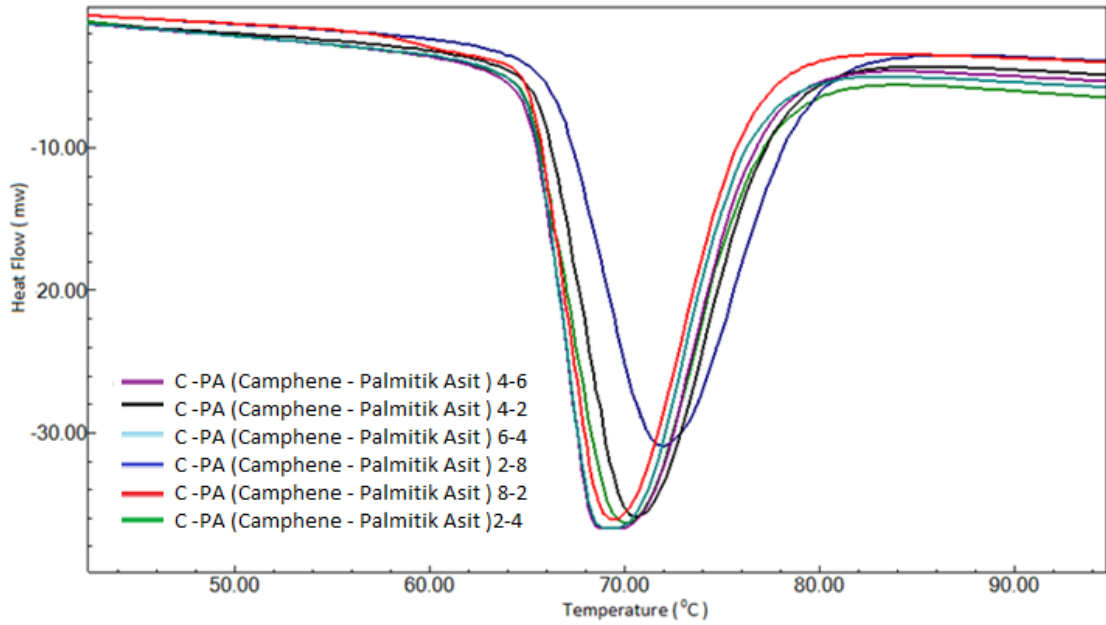
Elde edilen DSC eğrilerine göre C-PA 2-8 karışımının 66,57 °C'de erimeye başladığı ve 79,06 °C'de hal değişimini tamamladığı ve bu hal değişimi sırasında 199,98 J/g'lık gizli ısı enerji depoladığı aynı karışımın 60,61 °C'de donmaya başladığı ve 55,15 °C'de donma davranışını sonlandırdığı ve bu hal değişimi sırasında 201,15 J/g'lık gizli ısı enerji depoladığı gözlemlendi. Karışımın düzenli erime ve katılaşma davranışı gösterdiği saptandı.



Şekil 4. 1 Farklı oranlardaki C – PA karışımlarının Donma hal değişimlerinin DSC eğrileri

C-PA 2-4 karışımından elde edilen DSC eğrisi karışımın düzenli erime ve katılaşma özelliği taşıdığını 65,01 °C'de erimeye başladığını 76,52 °C'de erime

davranışını sonlandırdığını ve bu esnada 210,79 J/g'lık gizli ısı enerji depoladığını ve aynı karışımın 61,08 °C'de donmaya başladığını 55,53 °C'de donma davranışını sonlandırdığını ve bu hal değişimi sırasında hal değişimin gerçekleştiği sıcaklık aralığında 203,51 J/g'lık gizli ısı enerji depolama özelliğine sahip olduğunu göstermiştir. C-PA 4-2 karışımının DSC eğrilerinin incelenmesi sonucunda düzenli erime katılaşma özelliğine sahip olduğu 70,56 °C'de erimeye başladığı 76,81 °C'de erime davranışını sonlandırdığı ve bu hal değişimi sırasında 208,32 J/g'lık gizli ısı enerji depoladığı aynı maddenin 61,02 °C'de donmaya başladığı 55,46 °C'de tamamen donduğu bu esnada 198,20 J/g'lık gizli ısı enerji depoladığı belirlendi.



Şekil 4. 2 Farklı oranlardaki C-PA karışımlarının erime hal değişimlerinin DSC eğrileri

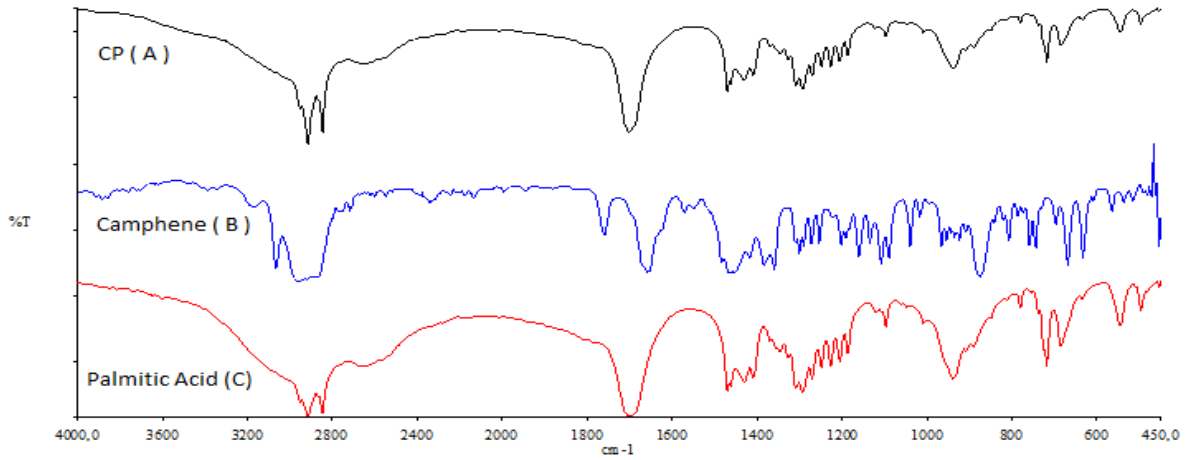
C-PA 4-6 karışımının 64,9 °C'de erimeye başladığı 76,35 °C'de hal değişimini tamamladığı hal değiştirirken 222,59 J/g gizli ısı enerji depoladığı 60,55 °C'de donmaya başladığı 55,16 °C'de bu hal değişimini tamamlayarak 221,12 J/g gizli ısı enerji depoladığı ve düzenli erime katılaşma davranışına sahip olduğu DSC eğrisinin incelenmesi sonucunda tespit edildi. C-PA 6-4 karışımının 64,99 °C'de erimeye başladığı 75,83 °C'de erime davranışını sonlandırdığı, 60,62 °C'de donmaya başladığı 55,63 °C'de donma davranışını sonlandırdığı erime hal değişimi sırasında -208,40 J/g gizli ısı enerji

depoladığı ve donma hal değişimi sırasında da 204,82 J/g gizli ısı enerji depoladığı DSC eğrilerinin incelenmesi sonucunda belirlendi. C-PA 8-2 karışımının DSC eğrilerinin incelenmesi sonucunda 64,81 °C’de erimeye başladığı ve 75,42 °C’de erime davranışını sonlandırdığı bu esnada -201,21 J/g gizli ısı enerji depoladığı 60,48 °C de donmaya başladığı ve 55,72 °C’de donma davranışını sonlandırdığı bu hal değişimi sırasında da 197,80 J/g gizli ısı enerji depoladığı gözlemlendi. DSC eğrilerinden elde edilen verilerin karşılaştırılmasıyla en yüksek erime ve donma gizli ısı entalpisine ve en uygun erime-donma sıcaklık aralığına sahip olan ötektik karışım C-PA 4-6 karışımı olarak belirlendiğinden bu karışım C-PA serisinin ana karışımı olarak alındı.

Tablo 4. 1 Farklı oranlarda karıştırılmış C-PA karışımlarına ait DSC verileri

Karışımlar	Erime Entalpisi (J/g)	Donma Entalpisi (J/g)	Erime Noktası (°C)	Donma Noktası (°C)
C-PA 2-4	-210,79	203,51	69,98	59,07
C-PA 2-8	-199,98	201,15	72,03	58,51
C-PA 4-2	-208,32	198,20	70,66	58,98
C-PA 4-6	-222,59	221,12	69,55	59,28
C-PA 6-4	-208,40	204,82	69,20	59,37
C-PA 8-2	-201,21	197,80	69,25	59,12

4.1.2. C-PA Karışımlarının FT-IR Sonuçları

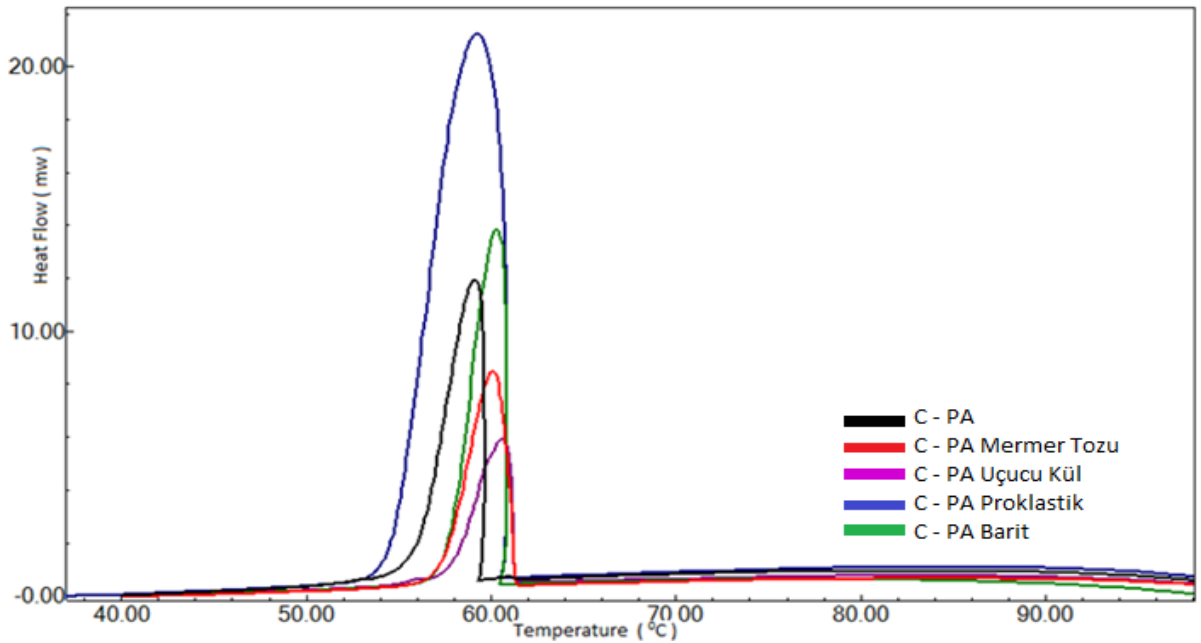


Şekil 4. 3 Kamfen, Palmitik Asit ve C-PA karışımının FT-IR spektrumları

Karışımın sadece fiziksel etkileşimle oluştuğu ve oluşumu esnasında kendini oluşturan ana maddelerin kimyasal herhangi bir değişime uğrayıp uğramadığının tespit edilebilmesi için Kamfen, Palmitik Asit ve C-PA karışımının IR spektrumları incelendi ve elde edilen spektrumlar birbirleriyle kıyaslandı. Buna göre Kamfen'in FT-IR spektrumu incelendiğinde 3056 cm⁻¹ ile 3069 cm⁻¹ aralığında gözlemlenen pikin =C-H grubuna ait olduğu, 2868 cm⁻¹ ile 2976 cm⁻¹ aralığında görülen piki C-H gerilme pikleri olduğu, 1658 cm⁻¹'deki pikin C=C gerilmesi, ve 1379 cm⁻¹ ile 1451cm⁻¹ aralığında gözlemlenen piklerin CH₂, CH₃ gruplarına ait pikler olduğu belirlendi. Palmitik asidin FT-IR spektrumunda gözlemlenen 1698 cm⁻¹'deki pikin C=O gerilmesine ait olduğu, 1428 cm⁻¹'deki pikin CH₂ gerilmesine ait olduğu, C-O gerilmesine ait olan pik 1294 cm⁻¹'de, 937 cm⁻¹'deki pikin karbonil grubuna komşu olan OH gerilmesi olduğu saptandı. Ana karışım olarak belirlenen C-PA 4-6'nın FT-IR spektrumunda karışımı oluşturan her iki bileşene ait karakteristik piklerin gözlemlenmesi ve önemli ölçüde kayma göstermemesi nedeniyle kimyasal bir etkileşim olamadan ötektik karışımın oluştuğu belirlenmiştir.

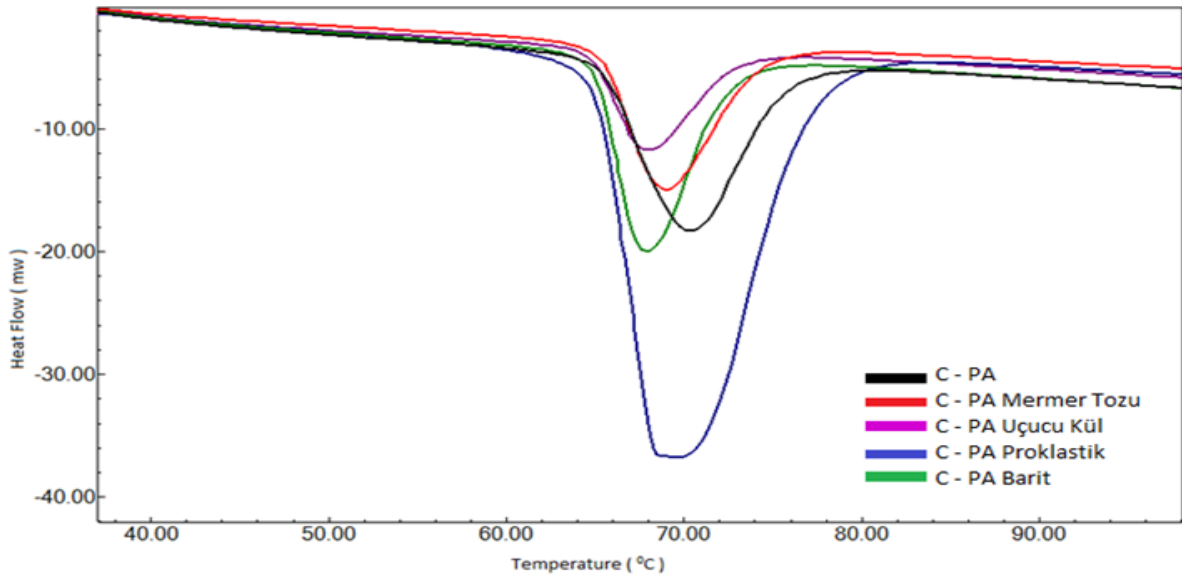
4.1.3. Yalıtım Malzemesi Katkılandırılmış C-PA Karışımlarının DSC sonuçları

Elde edilen DSC sonuçlarına dayanarak belirlenen C-PA 4-6'nın faz değıştirici ötektik karışımının yapı malzemelerindeki gizli ısı enerji depolamasının belirlenmesi ve bina yalıtım malzemesi olarak kullanımının uygunluğunun ölçülmesi amacıyla karışıma belirli oranlarda yaygın yalıtım malzemesi olarak kullanılan mermer tozu, uçucu kül, proklastik ve barit katkılandırılmıştır. C-PA karışımı ile farklı yalıtım malzemelerinin ağırlıkça 1-2 ve 1-4 oranlarında karışımları hazırlandı. Bu karışımlardan homojen olarak elde edilen ve düzenli erime katılaşma özelliğine sahip olan C-PA Uçucu kül 1-4, C-PA Barit 1-2, C-PA Proklastik 1-2 ve C-PA Mermer tozu 1-2 karışımlarının termal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla DSC eğrileri incelendi.



Şekil 4. 4 Yalıtım malzemesi katkılandırılmış C-PA karışımlarının donma hal değışimlerine ait DSC eğrileri

Yapılan DSC analizleri sonucunda C-PA Uçucu Kül karışımının 64,79 °C ile 72,59 °C sıcaklık aralığında erime davranışı gösterdiği ve bu sırada -38,21 J/g gizli ısı enerji depoladığı, 61,34 °C ile 58,11 °C arasında donma davranışı gösterdiği ve bu hal değişimi sırasında 31,83 J/g gizli ısı enerji depoladığı belirlendi. C-PA Proklastik karışımının 65,38 °C ile 72,39 °C sıcaklık aralığında erime hal değişimini gerçekleştirdiği ve bu hal değişimi boyunca karışımın -66,02 J/g gizli ısı enerji depoladığı tespit edildi. Aynı karışımın 59,35 °C ile 56,43 °C sıcaklık aralığında donma hal değişimini gerçekleştirdiği ve gözlemlenen bu sıcaklık aralığında karışımın 58,29 J/g gizli ısı enerji depoladığı saptandı.



Şekil 4. 5 Yalıtım malzemesi katkılandırılmış C-PA karışımlarının erime hal değişimlerine ait DSC eğriler

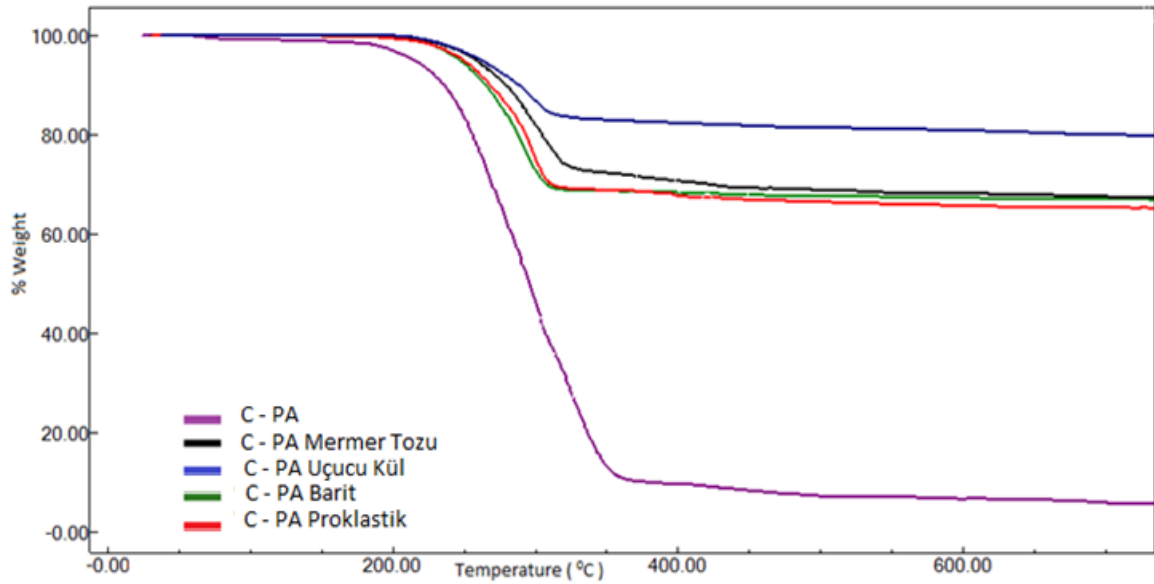
C - PA Mermer Tozu karışımının 65,46 °C’de erimeye başladığı erime davranışını 73,82 °C’de sonlandırdığı bu sırada -60,95 J/g gizli ısı enerji depoladığı, aynı karışımın 61,33 °C’de donmaya başladığı ve donma davranışını 57,72 °C’de sonlandırdığı bu hal değişimi sırasında 56,40 J/g’lık gizli ısı enerji depoladığı belirlendi. C-PA Barit karışımının 65 °C ile 72,08 °C sıcaklık aralığında eridiği ve bu esnada -68,73 J/g gizli ısı enerji depoladığı aynı karışımın donmaya başladığı sıcaklığın 60,49 °C olduğu

57,98 °C’de donmanın sonlandığı bu sırada 68,15 J/g gizli ısı enerji depoladığı gözlemlendi.

Tablo 4. 2 Yalıtım malzemesi katkılandırılmış C-PA karışımlarına ait DSC verileri

Karışımlar	Erime Entalpisi J/g	Donma Entalpisi J/g	Erime Noktası °C	Donma Noktası °C
C – PA 4-6	-222,59	221,12	69,55	59,28
C – PA Uçucu Kül	-38,21	31,83	68,06	60,65
C - PA Proklastik	-66,02	58,29	70,36	59,11
C - PA Barit	-68,73	68,15	67,98	60,29
C - PA Mermer Tozu	-60,95	56,40	69,05	60,13

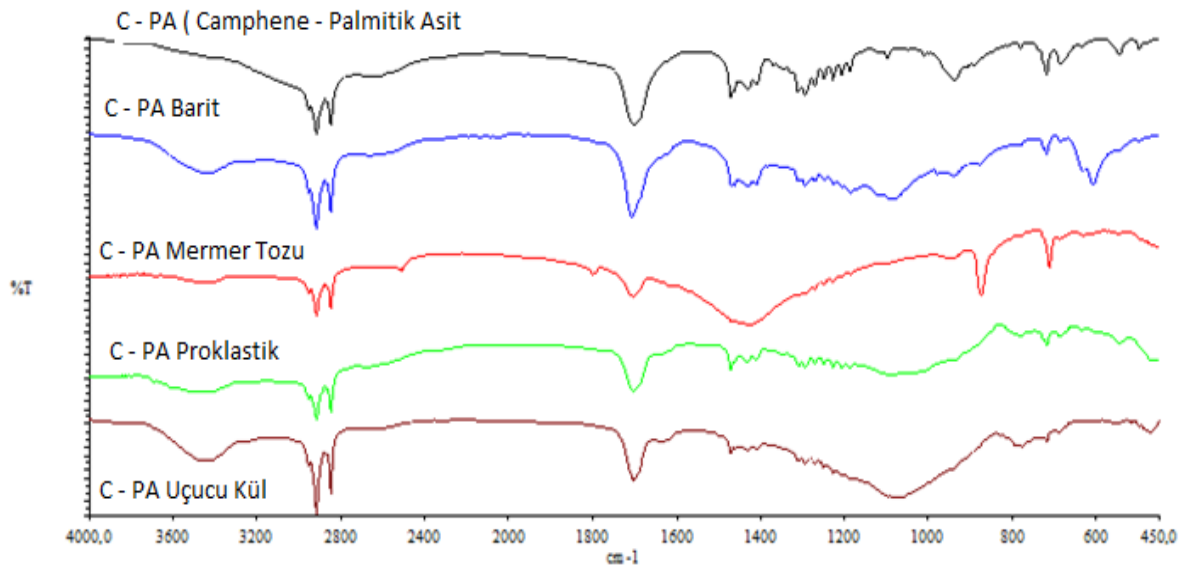
4.1.4. Yalıtım Malzemesi Katkılandırılmış C-PA Karışımlarının TGA Sonuçları



Şekil 4. 6 Yalıtım malzemesi katkılandırılmış C-PA karışımlarının TGA eğrileri

Yapılan termogravimetrik analiz sonuçlarında yalıtım malzemesi katkılandırılmış ve katkılandırılmamış FDM’lerde ortak olarak tek basamakta bozundukları bozunma gözlemlendi. C-PA ötektik karışımının TGA eğrisi incelendiğinde 195,68 °C’de bozunmaya başladığı ve analizin sonunda % 99,87 oranında ağırlık kaybına uğradığı maddenin tamamen tükendiği tespit edildi. Bu tespit neticesinde belirtilen sıcaklığa yakın sıcaklıklarda madde kaybının tüm karışımlarda C-PA karışımının tamamen yanması sonucu olduğu saptandı. TGA sonuçlarında CP-A uçucu kül karışımı bozunma sırasında % 19,89’luk bir ağırlık kaybına uğramıştır. Diğer karışımlar da; C-PA Proklastik de % 29,77, C-PA Barit de % 30,47 ve C-PA Mermer tozu karışımında % 31,23 oranında ağırlık kaybı olduğu gözlemlendi. Karışım oranlarına bağlı olarak tükenmeden kalan termal kararlılığa sahip maddenin karışıma katkılandırılmış yapı malzemeleri olduğu belirlendi.

4.1.5. Yalıtım Malzemesi Katkılandırılmış C-PA Karışımlarının FT-IR Sonuçları

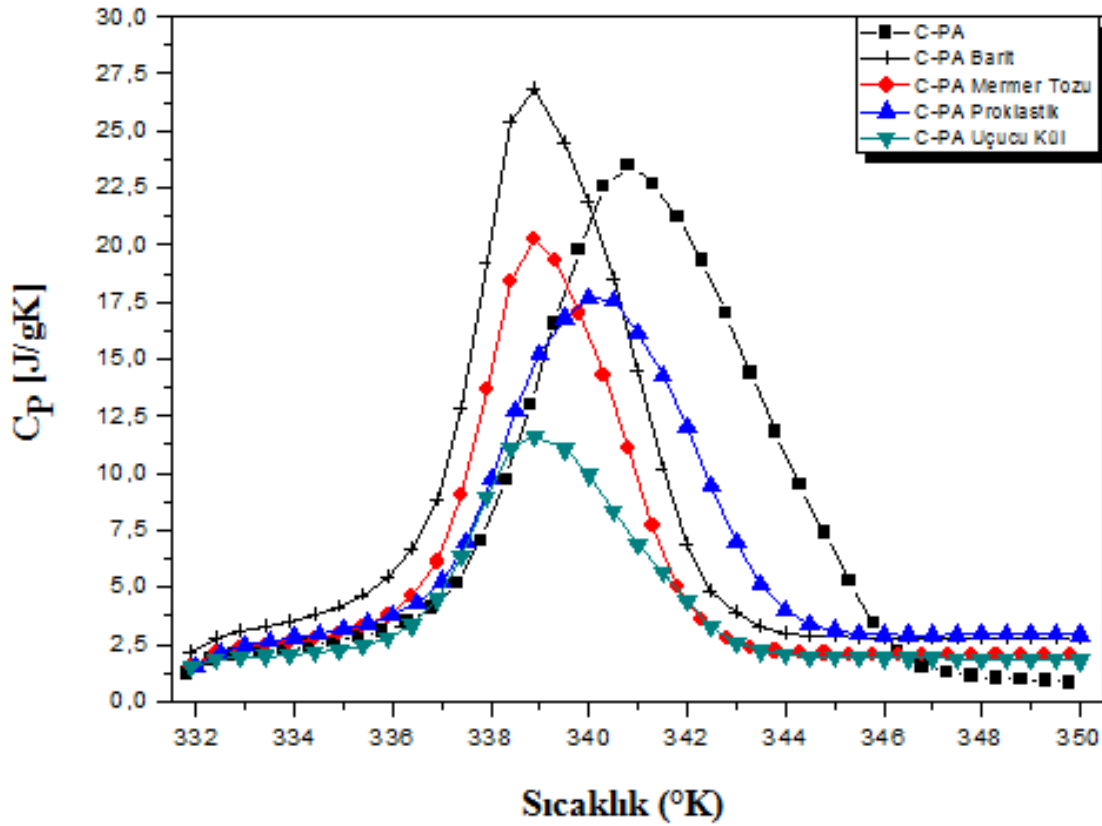


Şekil 4. 7 Yalıtım malzemesi katkılandırılmış C-PA karışımlarının FT-IR spektrumları

Elde edilen karışımların FT-IR spektrumlarının incelenmesi sonucunda yalıtım malzemesi katkılandırılmış C-PA karışımı ile katkılandırılmamış C-PA karışımının fonksiyonel grup bölgesinde yaklaşık olarak aynı dalga boylarında benzer pikler

verdikleri gözlemlendi benzerlik gösteren bu piklerin sırasıyla C-PA ana karışımını oluşturan kamfen ve palmitik aside ait olduğu kamfen'nin 3056 cm^{-1} - 3069 cm^{-1} aralığında gözlemlenen pikin $=\text{C-H}$ gerilme piki olduğu, 2868 cm^{-1} - 2976 cm^{-1} aralığında C-H gerilme piklerine ait pikler olduğu belirlenmesi, 1658 cm^{-1} 'deki pikin C=C gerilme piki olduğu ve 1379 cm^{-1} ile 1451 cm^{-1} aralığın da görülen piklerin kamfen ve palmitik asidin CH_2 , CH_3 gerilme piklerine ait olduğu belirlendi. Bunun yanında palmitik aside ait olduğu bilinen 1698 cm^{-1} 'deki pikin yağ asidinin C=O grubu gerilmesi olduğu, 1294 cm^{-1} ' de gözlemlenen pikin C-O gerilmesine ait olduğu, 937 cm^{-1} 'deki pikin karbonil grubuna komşu olan OH gerilmesine ait olduğu belirlendi. Bu tespitlere göre katkılanırılan yalıtım malzemelerinin C-PA karışımının kimyasal yapısında herhangi bir değişikliğe neden olmadığı saptandı

4.1.6. Yalıtım Malzemesi Katkılanırılmış C-PA Karışımınının Spesifik Isı Kapasitelerinin (C_p) İncelenmesi

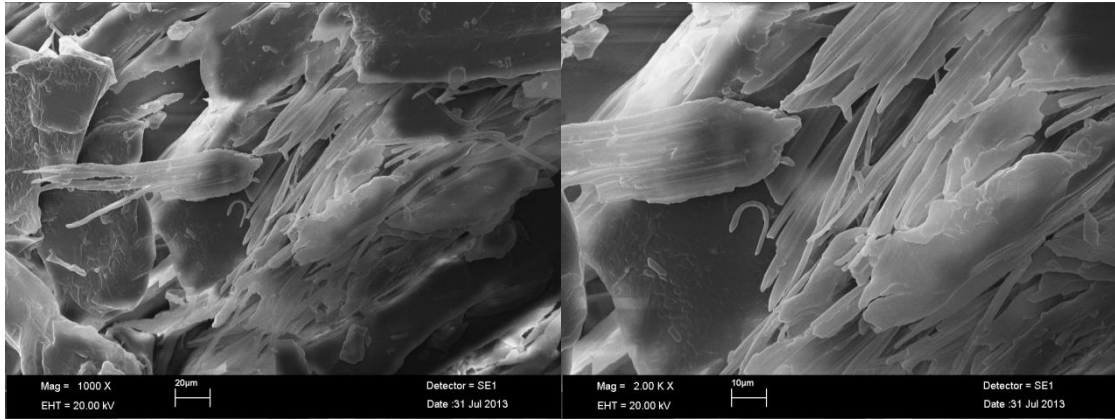


Şekil 4. 8 Yalıtım Malzemesi Katkılanırılmış C-PA Karışımınının hal değışimi süresince Spesifik Isı Kapasiteleri (C_p)

Yalıtım malzemesi katkılandırılmış ve katkılandırılmamış FDM özellikli ötektik C-PA karışımlarının sıcaklığa karşı Cp değerlerindeki değişimi gösteren grafik şekil 4.8’de verilmiştir. Bu grafik incelendiğinde serinin en yüksek spesifik ısı kapasitesine sahip olan karışımın C-PA barit karışımı olduğu ve bu karışımın Cp değerinin ana karışımın Cp değerinden oldukça yüksek olduğu saptandı.

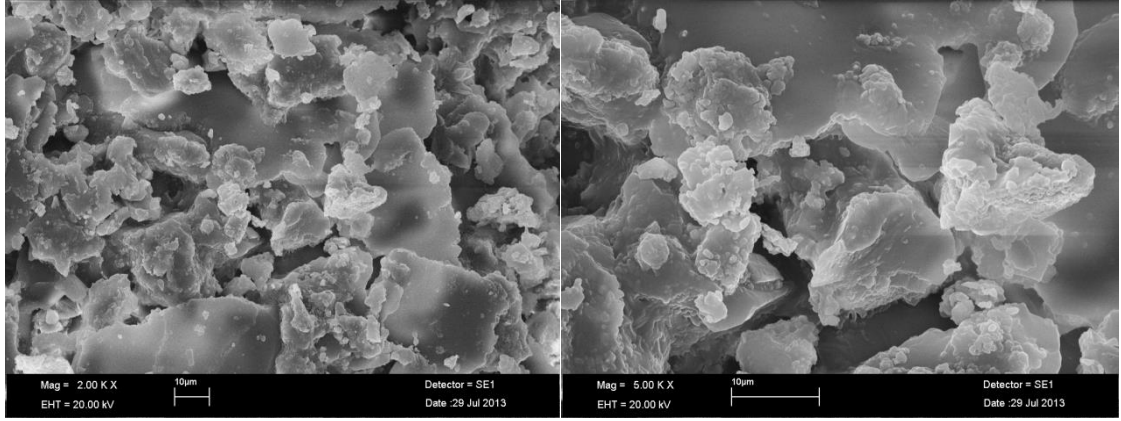
4.1.7. Yalıtım Malzemesi Katkılandırılmış C-PA Karışımlarının SEM Yorumları

Kamfen–palmitik asit (C-PA) , C-PA proklastik, C-PA uçucu kül, C-PA mermer tozu ve C-PA barit kompozit FDM’lerinin SEM analizleri oda sıcaklığında alınmıştır. C-PA karışımı düşük erime sıcaklığına sahip olmasından dolayı SEM analizlerinde erime göstermektedir. Bu nedenle C-PA karışımının SEM görüntüsü farklı büyütmelerde alınmıştır.



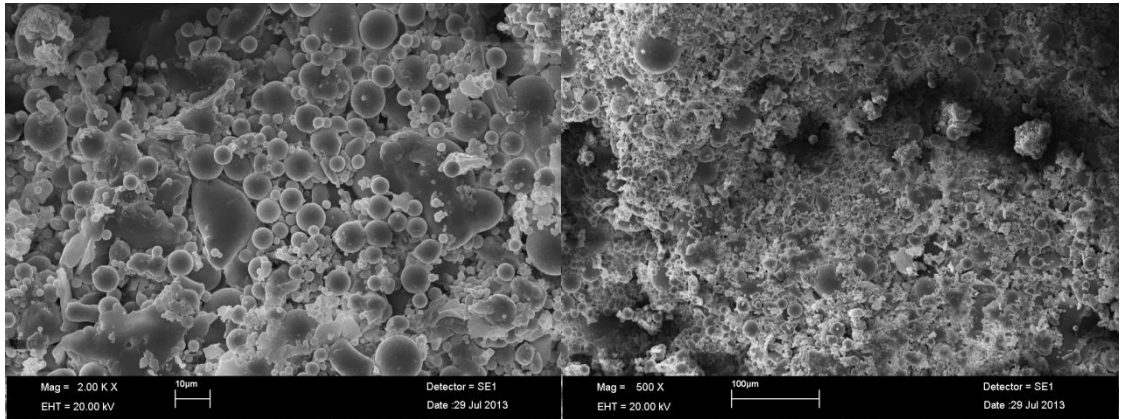
Şekil 4. 9 C-PA karışımının farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri

SEM analizlerinde C-PA karışımının iri taneli ve bu taneler arasında dağılmış çubuksu yapılara sahip olduğu belirlenmiştir.



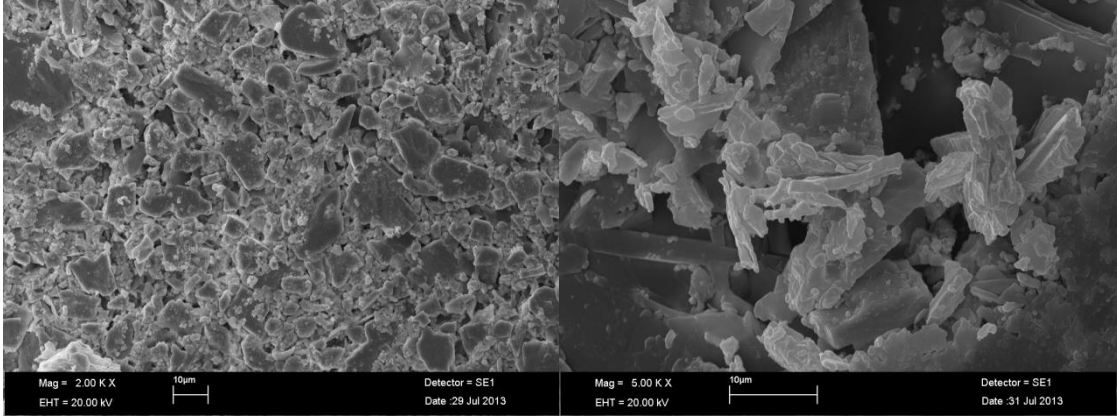
Şekil 4. 10 C-PA Proklastik karışımının farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri

Farklı büyüklükte verilen proklastik katkılı FDM'nin içerdiği tanelerin farklı büyüklükte olduğu gözlemlenmiştir.



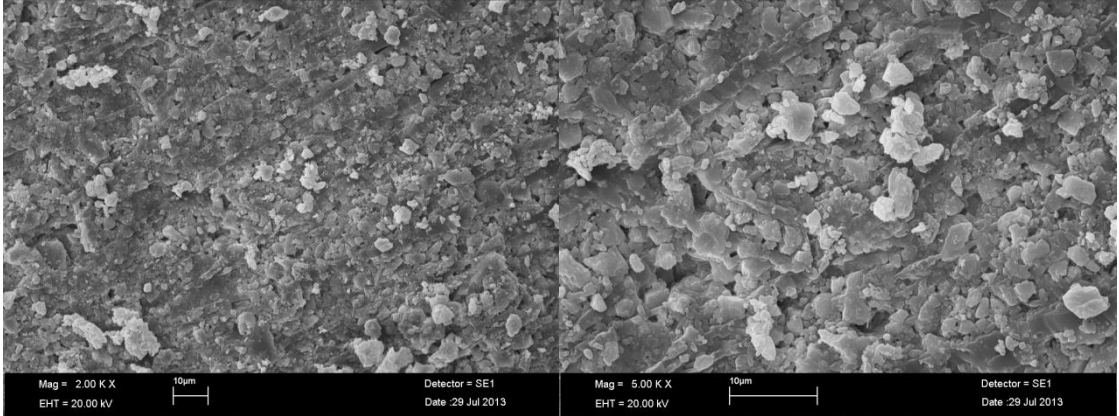
Şekil 4. 11 C-PA Uçucu kül karışımının farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri

C-PA uçucu kül kompozit FDM numunesi geniş bir yüzey alanına sahiptir ve yapı içerisindeki boşluk miktarı fazladır.



Şekil 4. 12 C-PA Barit karışımının farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri

C-PA barit kompozit numunesi yapı içerisinde çok küçük boşluklara sahiptir ve farklı şekillerde farklı büyüklüklerde parçacıklar içermektedir.

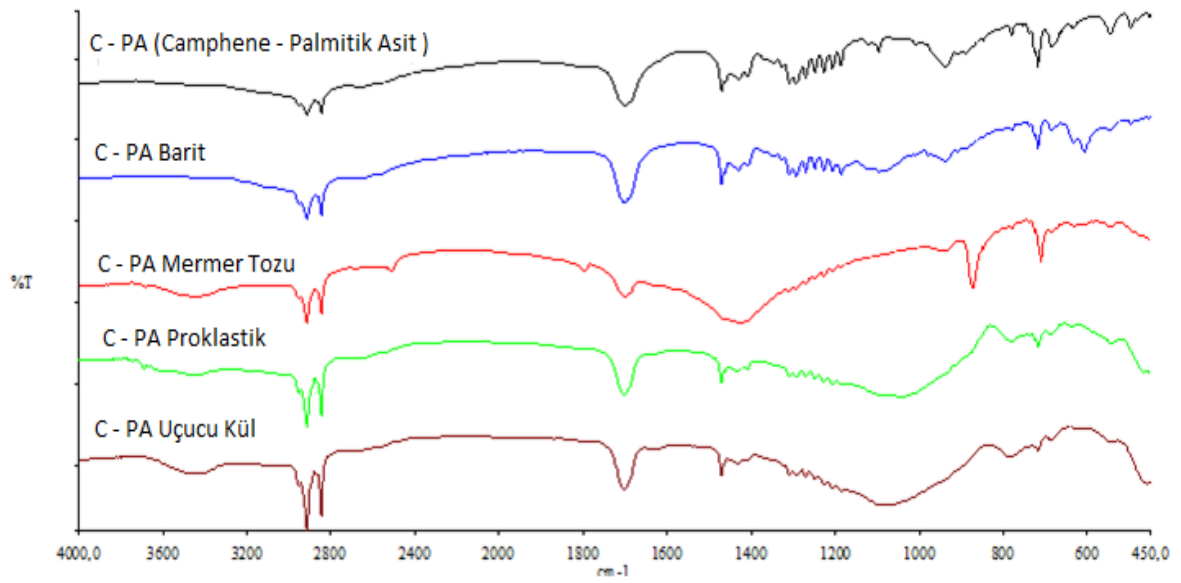


Şekil 4. 13 C-PA Mermer tozu karışımının farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri

C-PA mermer tozu kompozit FDM’de yapı içerisinde herhangi bir gözenek oluşumu mevcut değildir. Parçacıkların tane boyutunun hemen hemen aynı büyüklükte olduğu görülmektedir.

4.1.8. Yalıtım Malzemesi Katkılandırılmış C-PA Karışımlarının Termal Çevrim Sonrası Özelliklerinin İncelenmesi

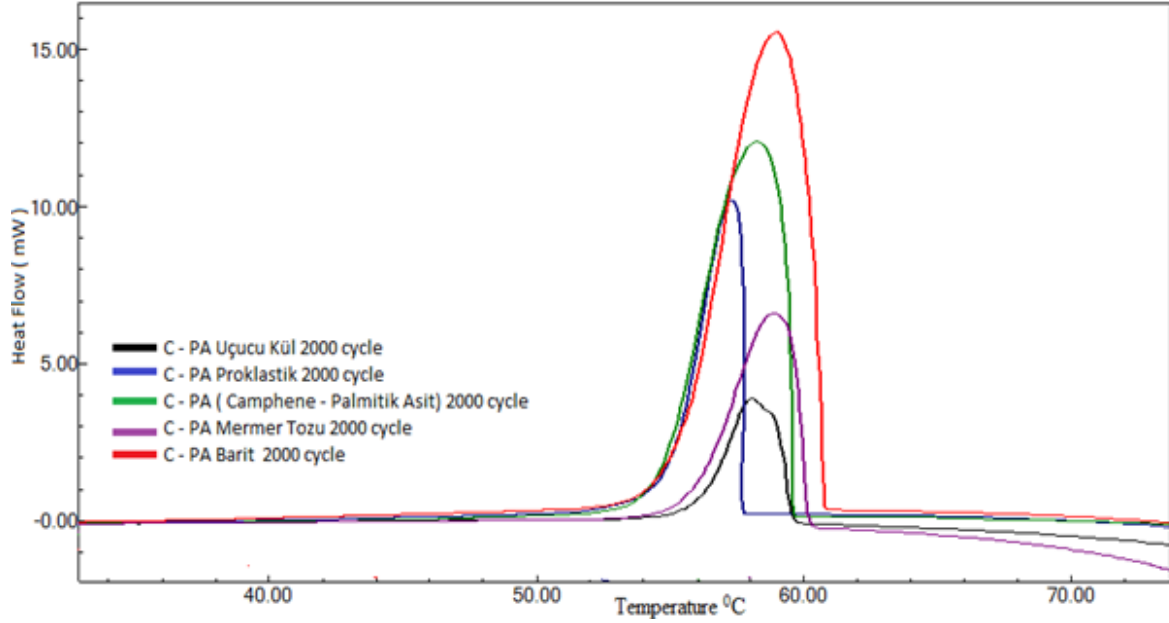
Bu yalıtım malzemesi katkılandırılmış FDM özellikli karışımların kullanım ömrünün belirlenmesi amacıyla karışımlar 45 °C ile 80 °C arasında 2000 termal döngüye tabi tutuldu ve bu termal döngü sonucunda termal özellikleri ile yapısal özellikleri tekrar incelendi.



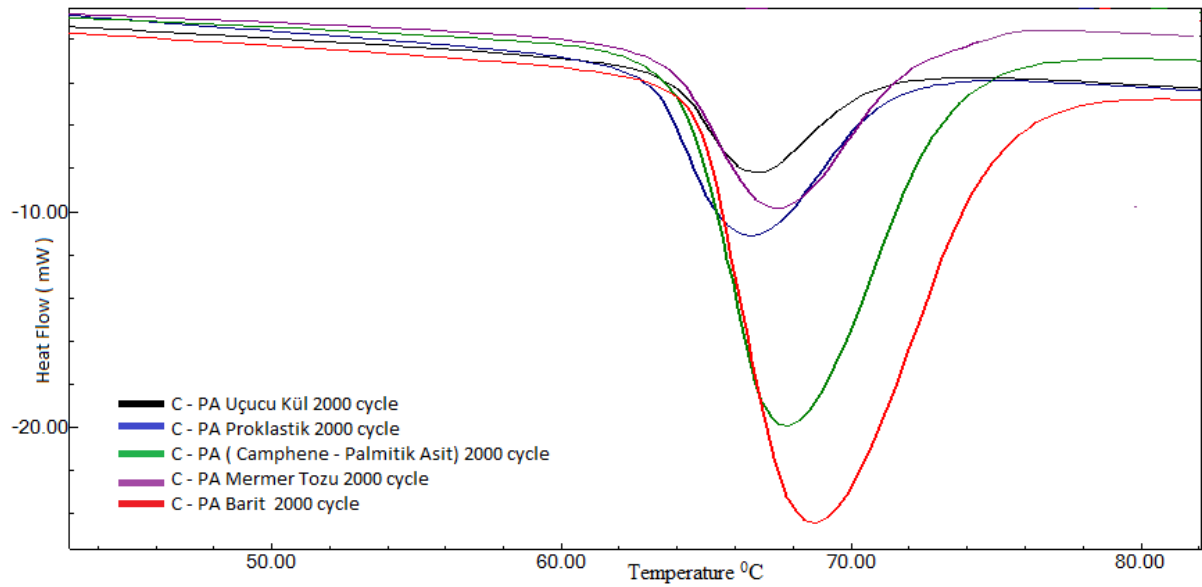
Şekil 4. 14 Yalıtım Malzemesi Katkılandırılmış C-PA Karışımlarının Termal Çevrim Sonrası FT-IR Spektrumları

Karışımlar 45 °C ile 80 °C arasında 2000 termal döngüye tabi tutulduktan sonra FT-IR spektrumlar incelendiğinde ana karışım olan C-PA karışımını oluşturan kamfen ve palmitik asidin 3056-3069 cm⁻¹ aralığında gözlemlenen pikin =C-H grubuna ait gerilme piki olduğu, 2868-2976 cm⁻¹ aralığındaki pikin C-H gerilmesine ait olduğu, 1658 cm⁻¹'deki pikin C=C gerilmesine ait olduğu ve 1379-1451cm⁻¹ aralığındaki piklerin kamfen ve palmitik asidin CH₂, CH₃ gerilme piklerine ait olduğunun belirlenmesi ve bunun yanında palmitik aside ait olan 1698 cm⁻¹'deki pikin karboksilik asidin C=O gerilme piki olduğu, 1294 cm⁻¹'de gözlemlenen pikin C-O gerilme piki olduğunun belirlenmesiyle FT-IR fonksiyonel grup bölgesindeki piklerde herhangi bir değişim

olmadığı tespit edildi. Bu sonuçlara dayanarak yalıtım malzemesi katkılandırılmış FDM özellikli karışımların termal döngü boyunca kimyasal olarak bir değişime uğramadığı ve termal döngü sonucunda da yapısal ve kimyasal olarak kararlılık gösterdiği saptandı.



Şekil 4. 15 Yalıtım Malzemesi Katkılandırılmış C-PA Karışımlarının Termal Çevrim Sonrası Donma hal değişimlerine ait DSC eğrileri



Şekil 4. 16 Yalıtım Malzemesi Katkılandırılmış C-PA Karışımlarının Termal Çevrim Sonrası erime hal değişimlerine ait DSC eğrileri

Tablo 4. 3 Yalıtım Malzemesi Katkılandırılmış C-PA Karışımlarının Termal Çevrim Öncesi ve Termal Çevrim Sonrası Erime Hal Değişimlerine ait DSC verileri

Karışımlar	Erimeye başladığı sıcaklık (°C)	Erimeyi sonlandırdığı sıcaklık (°C)	Erime Noktası (°C)	Erime Entalpisi (J/g)
C- PA 4-6	64,9	76,35	69,55	-222,59
C- PA 200 termal çevrim	64,14	73,27	67,88	-179,63
C- PA Proklastik	65,38	72,39	70,36	-66,02
C- PA Proklastik 2000 termal çevrim	62,97	71,14	66,55	-55,22
C- PA Uçucu Kül	64,79	72,59	68,06	-38,21
C- PA Uçucu Kül 2000 termal çevrim	63,38	70,57	66,71	-39,14
C- PA Mermer Tozu	65,46	73,82	69,05	-60,95
C- PA Mermer Tozu 2000 termal çevrim	63,63	71,56	67,33	-92,28
C- PA Barit	65 °C	72,08	67,98	-68,73
C- PA Barit 2000 termal çevrim	64,62 °C	74,41	68,75	-88,32

Tablo 4. 4 Yalıtım Malzemesi Katkılandırılmış C-PA Karışımlarının Termal Çevrim Öncesi ve Termal Çevrim Sonrası donma Hal Değişimlerine ait DSC verileri

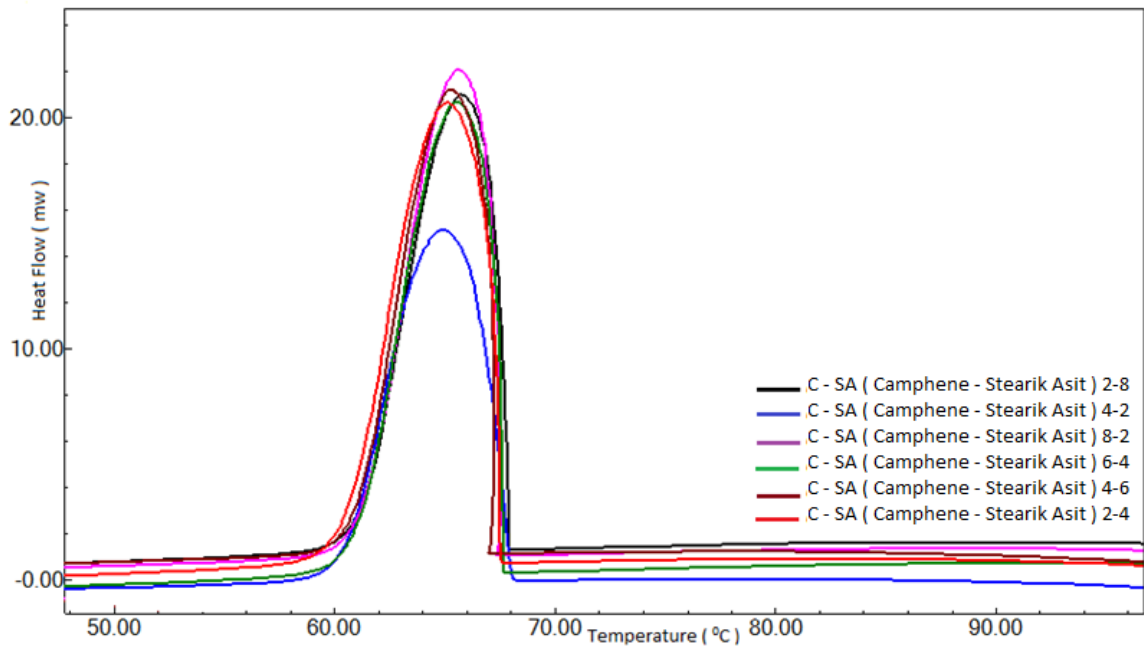
Karışımlar	Donmaya başladığı sıcaklık (°C)	Donmayı sonlandırdığı sıcaklık (°C)	Donma Noktası (°C)	Donma Entalpisi (J/g)
C-PA 4-6	60,55	55,16	59,28	221,12
C-PA 200 termal çevrim	59,62	54,82	58,30	167,87
C-PA Proklastik	59,35	56,43	59,11	58,29
C-PA Proklastik 2000 termal çevrim	57,70	55,06	57,36	49,36
C-PA Uçucu Kül	61,34	58,11	60,65	31,83
C-PA Uçucu Kül 2000 termal çevrim	59,70	56,23	58,03	39,28
C-PA Mermer Tozu	61,33	57,72	60,13	56,40
C-PA Mermer Tozu 2000 termal çevrim	60,21	56,16	58,97	77,00
C-PA Barit	60,49	57,98	60,29	68,15
C-PA Barit 2000 termal çevrim	60,75	55,66	59,00	91,15

Termal döngüden önce ve termal döngüden sonra karışımların DSC eğrilerinden elde edilen veriler yukarıdaki tablo da karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Bu verilerin incelenmesi neticesinde karışımların tümünün düzenli erime katılaşma davranışlarını ve gizli ısı enerji depolama özelliklerini korudukları birçoğunun gizli ısı enerji depolama miktarlarının kısmen arttırdığı gözlemlendi. Bunun yanı sıra erimeye başlama, erimeyi sonlandırma, donmaya başlama, donmayı sonlandırma, erime ve donma noktalarında ihmal edilebilecek düzeyde 0 °C ile 3 °C’lik sıcaklık yükselmesi veya düşmesinin meydana geldiği görülmektedir.

4.2. C – SA Karışımlarına Ait Veriler

Kamfen ve stearik asit maddelerinden alınarak C-SA 2-8, C-SA 8-2, C-SA 4-2, C-SA 2-4, C-SA 4-6 ve C-SA 6-4 karışımları hazırlandı. Hazırlanan bu karışımların DSC ve FT-IR verileri incelendi

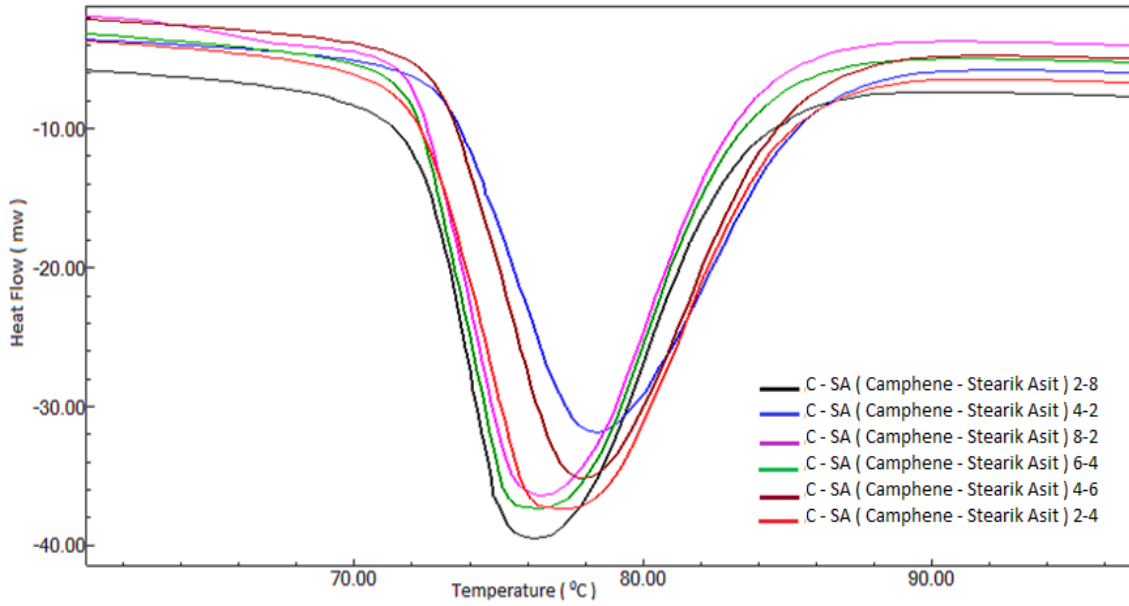
4.2.1. C-SA Karışımlarının DSC Sonuçları



Şekil 4. 17 Farklı oranlardaki C – SA karışımlarının donma hal değişimlerinin DSC eğrileri

C-SA 2-8 karışımının DSC eğrisinin incelenmesi ile karışımın 72,03 °C ile 82,74 °C arasında erime hal değişimine uğradığı ve bu hal değişimi sırasında -197,98 J/g gizli ısı enerji depoladığı, aynı karışımın 67,36 °C’de donmaya başlayarak donma hal değişimini 200,80 J/g gizli ısı enerji depolayarak 61,86 °C’de sonlandırdığı belirlendi. C-SA 8-2 karışımının erime hal değişiminin 72,17 °C ile 83,03 °C sıcaklık aralığında gerçekleştiği ve bu sırada -1922,22 J/g gizli ısı enerji depoladığı tespit edildi. Aynı karışımın donma hal değişiminin 67,36 °C ile 61,75 °C sıcaklık aralığında gerçekleştiği ve

karışımın 200,40 j/g'lık gizli ısı enerji depoladığı saptandı. C-SA 4-2 karışımının DSC eğrilerinin incelenmesi sonucunda 73 °C ile 85,26°C aralığında karışımın erime hal değişimine uğradığı 68,0 °C ile 60,98°C sıcaklık aralığında donma hal değişimine uğradığı gözlemlendi. Karışımın erime hal değişimi süresince -173,01 J/g ve donma hal değişimi süresince 173,60 J/g gizli ısı enerji depoladığı belirlendi.



Şekil 4. 18 Farklı oranlardaki C – SA karışımlarının erime hal değişimlerinin DSC eğrileri

C-SA 2-4 karışımının 72,13 °C'de erimeye başladığı 84,25 °C' de erime davranışını sonlandırdığı bu sıcaklık aralığında -199,04 J/g gizli ısı enerji depoladığı, 67,54 °C'de donmaya başladığı 61,10 °C'de tamamen donduğu ve bu esnada 209,38 J/g gizli ısı enerji depoladığı gözlemlendi. C-SA 4-6 karışımının 72,81 °C'de erimeye başladığı 84,55 °C'de tamamen eridiği 67,02 °C'de donmaya başladığı 61,46 °C de donma davranışını sonlandırdığı erime hal değişimi boyunca -194,7 J/g ve donma hal değişimi boyunca 196,46 J/g gizli ısı enerji depoladığı belirlendi. C-SA 6-4 karışımının 71,93 °C ile 82,83 °C sıcaklık aralığında erime davranışını tamamladığı ve bu sırada -215,98 J/g gizli ısı enerji depoladığı, 67,67 °C'de donmaya başladığı 61,60 °C'de donma davranışını tamamladığı ve bu hal değişimi boyunca 223,35 J/g gizli ısı enerji depoladığı

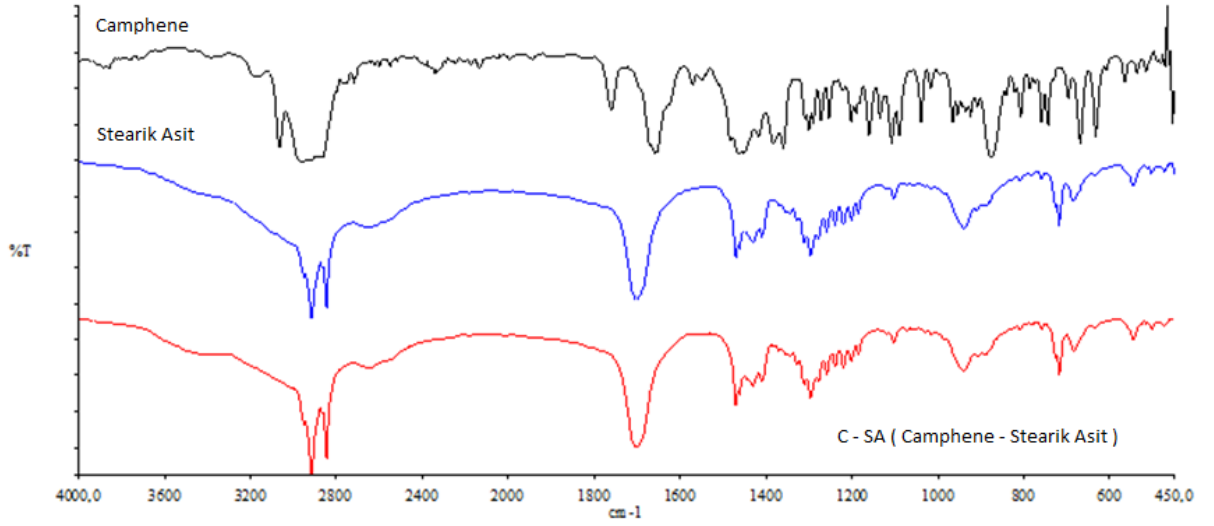
saptandı. Tüm bu karışımlar düzenli erime donma davranışı gösterdiği saptandı. Elde edilen veriler neticesinde hal değişimi sırasında en yüksek gizli ısı depolama özelliği olan ve erime donma sıcaklık aralığı kullanıma en uygun olan C-SA 6-4 karışımı C-SA serisinin ana karışımı olarak belirlendi.

Tablo 4. 5 Farklı oranlarda karıştırılmış C-SA karışımlarına ait DSC verileri

Karışımlar	Erime Entalpisi (J/g)	Donma Entalpisi (J/g)	Erime Noktası (°C)	Donma Noktası (°C)
C - SA 2-8	-197,98	200,80	76,29	65,89
C - SA 4-2	-173,01	173,60	78,48	64,83
C - SA 8-2	-192,22	200,40	76,40	65,76
C – SA 4-6	-194,7	196,46	77,79	65,51
C - SA 2-4	-199,04	209,38	77,40	64,95
C - SA 6-4	-215,98	223,35	76,38	65,68

4.2.2 C-SA Karışımlarının FT-IR Sonuçlar

Bu karışımın oluşumu sırasında kimyasal bir değişim meydana gelip gelmediğinin tespit edilebilmesi için Kamfen, Stearik asit ve C-SA karışımının FT-IR spektrumları incelendi.



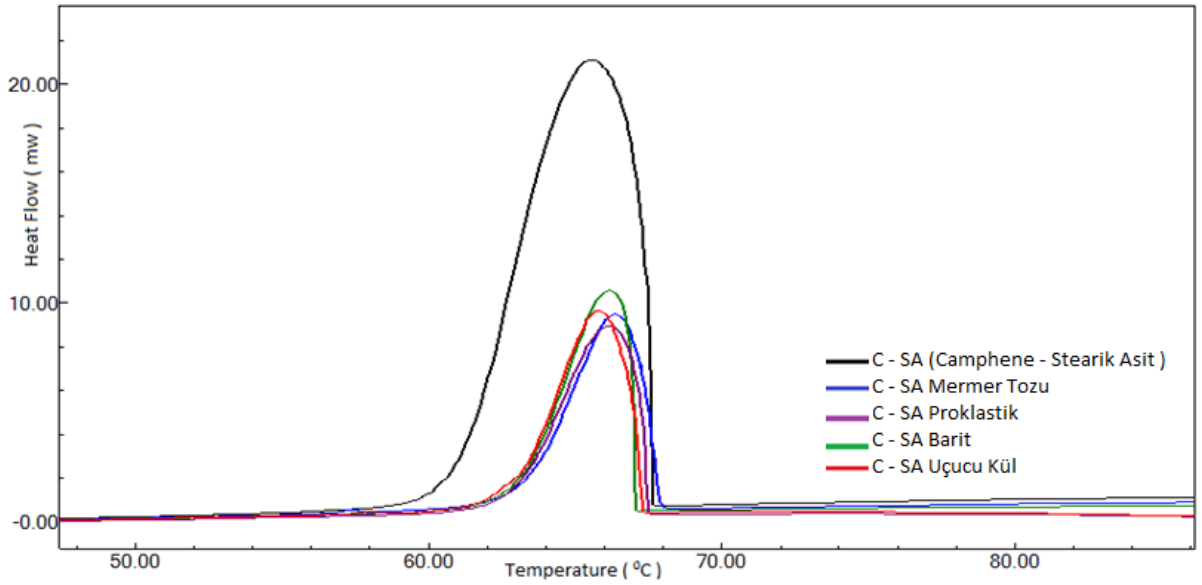
Şekil 4. 19 Kamfen, Stearik asit ve C-SA karışımının FT-IR spektrumları

FT-IR spektrumunda 3056 cm⁻¹ ile 3069 cm⁻¹ aralığında gözlemlenen pikin kamfen'e ait =C-H gerilmesi olduğu, 1658 cm⁻¹'deki pikin kamfen'e ait C=C gerilmesi olduğu belirlendi. Stearik asidin FT-IR spektrumunda 1697 cm⁻¹ de gözlemlenen pik C=O grubuna ait gerilme pikidir. 1294 cm⁻¹'de gözlemlenen pikin C-O gerilme piki olduğu, 2923 cm⁻¹ ve 2856 cm⁻¹ de gözlemlenen piklerin ise alifatik C-H gerilme pikleri olduğu belirlendi. Ana karışım olarak belirlenen C-SA 6-4'nin IR spektrumunda gözlenen piklerin yukarıda belirtilen pik bölgeleriyle örtüşmesi karışımın kimyasal bir değişime uğramaksızın oluştuğunu kanıtlamaktadır. Tüm bu sonuçlara dayanarak belirlenen C-SA faz değiştirici ötektik karışımının yapı malzemelerindeki gizli ısı depolamasının belirlenmesi ve bina yalıtım malzemesi olarak kullanımının uygunluğunun ölçülmesi için karışıma belirli oranlarda yaygın yapı malzemeleri olan mermer tozu, uçucu kül, proklastik ve barit katkılandırılarak termal özellikleri incelenmiştir.

4.2.3 Yalıtım Malzemesi Katkılandırılmış C-SA Karışımının DSC Sonuçları

Ana karışım olarak belirlenen C-SA 6-4 karışımına aşağıda belirtilen oranlarda uçucu kül, mermer tozu, proklastik ve barit katkılandırıldı.

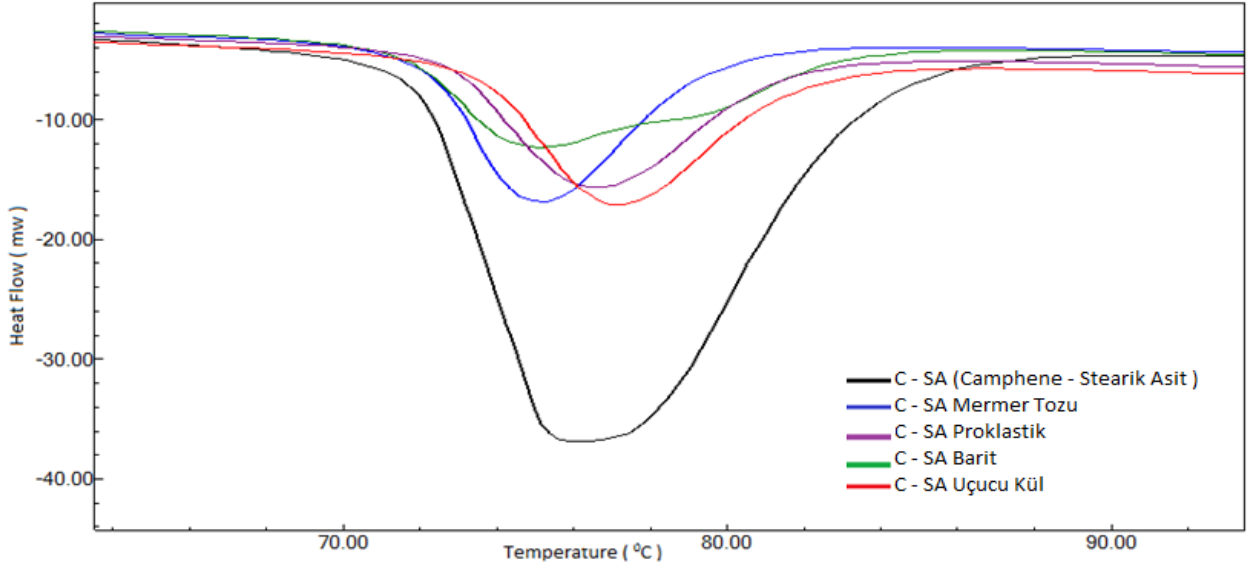
Elde edilen bu karışımlardan homojen yapıda olan ve tek bir erime donma noktasına sahip olan C-SA 1:2 Mermer Tozu, C-SA 1:2 Proklastik, C-SA 1:2 Uçucu Kül ve C-SA 1:2 Barit yalıtım malzemesi katkılandırılmış FDM karışımları olarak seçildi. Seçilen bu karışımların termal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla elde edilen DSC eğrileri incelendi.



Şekil 4. 20 Yalıtım malzemesi katkılandırılmış C-SA karışımlarının donma hal değişimlerine ait DSC eğrileri

DSC eğrilerinin incelenmesi sonucunda C-SA Mermer Tozu karışımının 72,17 °C’de erimeye başladığı 79,39 °C’de erime davranışını sonlandırdığı ve bu hal değişimi sırasında -53,61 J/g gizli ısı enerji depoladığı saptandı. Aynı karışımın 67,88 °C’de donmaya başladığı ve 63,71 °C’de donma davranışını sonlandırdığı bu sırada 54,46 J/g gizli ısı enerji depoladığı ve karışımın düzenli erime donma özelliğine sahip olduğu gözlemlendi. C-SA Proklastik karışımının 71,60 °C’de erimeye başladığı 82,63 °C’de tamamen eridiği, 67,08 °C’de donmaya başladığı 63,42 °C’de tamamen

donduğu ve erime hal değişimi sırasında -48,82 J/g'lık gizli ısı enerji depoladığı donma hal değişimi sırasında da 48,83 J/g'lık gizli ısı enerji depolama özelliğine sahip olduğu belirlendi.



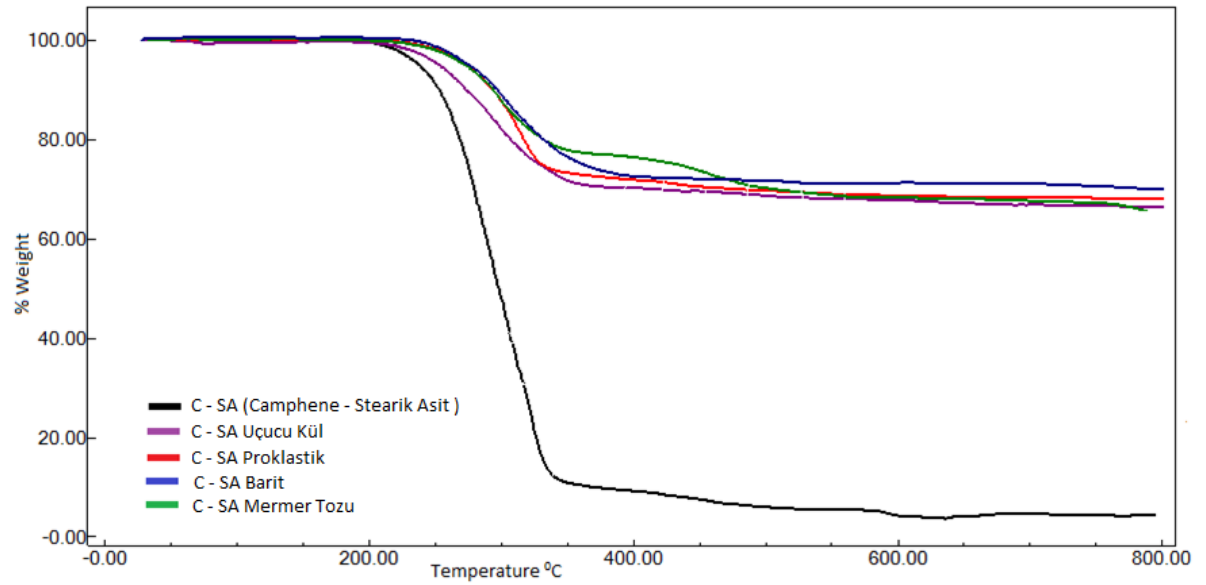
Şekil 4. 21 Yalıtım malzemesi katkılandırılmış C-SA karışımlarının erime hal değişimlerine ait DSC eğrileri

C-SA Barit karışımının 72,63 °C ile 81,28 °C sıcaklık aralığında erime davranışı gösterdiği ve erime hal değişimi sırasında -158,66 J/g gizli ısı enerji depoladığı aynı karışımın 67,49 °C'de donmaya başladığı 63,24 °C'de 161,58 J/g gizli ısı enerji depolayarak donma hal değişimini sonlandırdığı gözlemlendi. C-SA Uçucu Kül karışımının 73,54 °C'de erimeye başladığı 81,45 °C'de tamamen eridiği ve bu hal değişimi sırasında -60,24 J/g gizli ısı enerji depoladığı 67,33 °C'de donmaya başladığı 63,23 °C'de 63,77 J/g'lık gizli ısı enerji depolayarak donma davranışının sonlandırdığı tespit edildi.

Tablo 4. 6 Yalıtım malzemesi katkılandırılmış C-SA karışımlarına ait DSC verileri

Karışımlar	Erime Entalpisi (J/g)	Donma Entalpisi (J/g)	Erime Noktası (°C)	Donma Noktası (°C)
CSA 6-4	-156,74	156,80	79,38	62,69
C - SA Mermer Tozu	-53,61	54,46	77,06	63,41
C - SA Proklastik	-48,82	48,83	76,95	64,05
C - SA Barit	-158,66	161,58	76,02	65,00
C - SA Uçucu Kül	-60,24	63,77	73,70	62,04

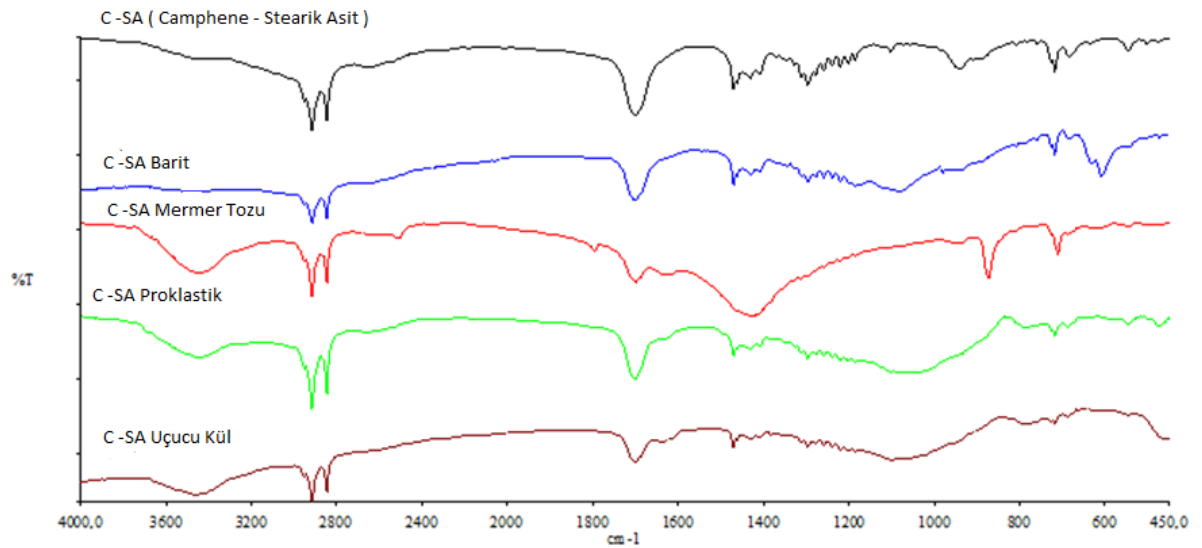
4.2.4 Yalıtım Malzemesi Katkılandırılmış C-SA Karışımının TGA Sonuçları



Şekil 4. 22 Yalıtım malzemesi katkılandırılmış C-SA karışımlarının TGA eğrileri

Elde edilen yalıtım malzemesi katkılandırılmış FDM karışımlarının termal kararlılıklarının belirlenebilmesi için TGA analizleri yapıldı. Elde edilen TGA eğrileri incelendi. Karışımların hepsinin ortak olarak 200,50 °C’de bozunmaya başladığı, tek basamakta bozunduğu ve bu bozunan kısmın aynı sıcaklıkta tamamen tükenen C-SA ana karışımı olduğu gözlemlendi. C-SA proklastik karışımının aynı sıcaklık aralığında % 32,59’luk kısmının bozunduğu ve % 67,41’nin bozunmadan kaldığı gözlemlendi. Bu bozunmadan kalan termal olarak kararlılık gösteren kısım karışım içindeki yalıtım malzemesinin oranıyla yaklaşık olarak aynıdır. C-SA membr tozu karışımının belirtilen sıcaklık aralığında % 32,169’luk kütle kaybına uğradığı, C-SA uçucu kül karışımının % 32,553’lük kısmının bozunduğu ve C-SA barit karışımının % 30,75’lik kısmının bozunduğu gözlemlendi. Tüm bu sonuçlara dayanarak tek basamakta bozunan kısmın organik yapıya sahip ana karışım olan C-SA ve bozunmadan kalan kısmın da yalıtım malzemesi olduğu saptandı.

4.2.5 Yalıtım Malzemesi Katkılandırılmış C-SA Karışımlarının FT-IR Sonuçları



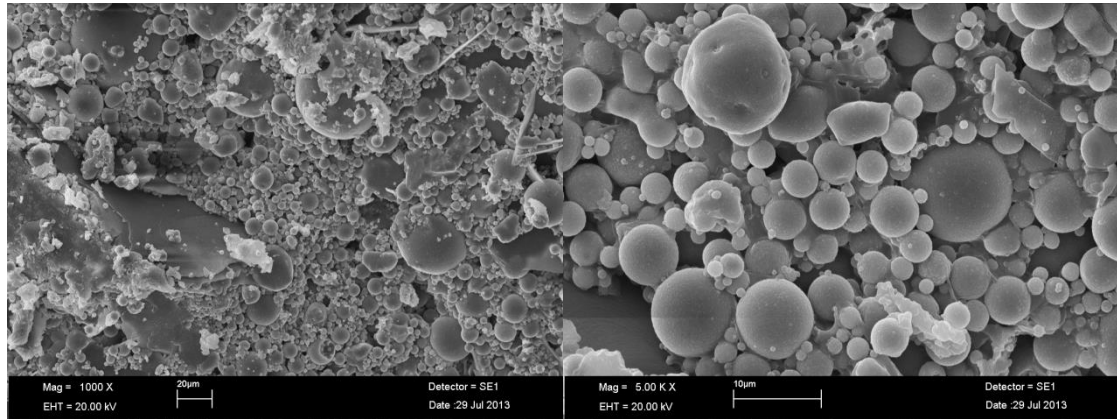
Şekil 4. 23 Yalıtım Malzemesi Katkılandırılmış C-SA Karışımlarının FT-IR Spektrumları

Elde edilen bu karışımların oluşumları sırasında herhangi bir kimyasal değişimin olup olmadığının belirlenebilmesi amacıyla FT-IR spektrumları kıyaslandı. Yapılan

kıyaslanmalar sonucunda yalıtım malzemesi katkılanmış FDM karışımlarının IR absorpsiyon piklerinin C-SA ana karışımıyla örtüştüğü ve C-SA karışımının FT-IR spektrumunda Kamfen ve Stearik aside ait olan fonksiyonel grup bölgesinde ki gerilme piklerinde herhangi bir değişiklik olmadığı gözlemlendi. Sonuç olarak C-SA ana karışımıyla yapı malzemelerinin hiçbir kimyasal farklılaşmaya uğramadan karıştıkları belirlendi.

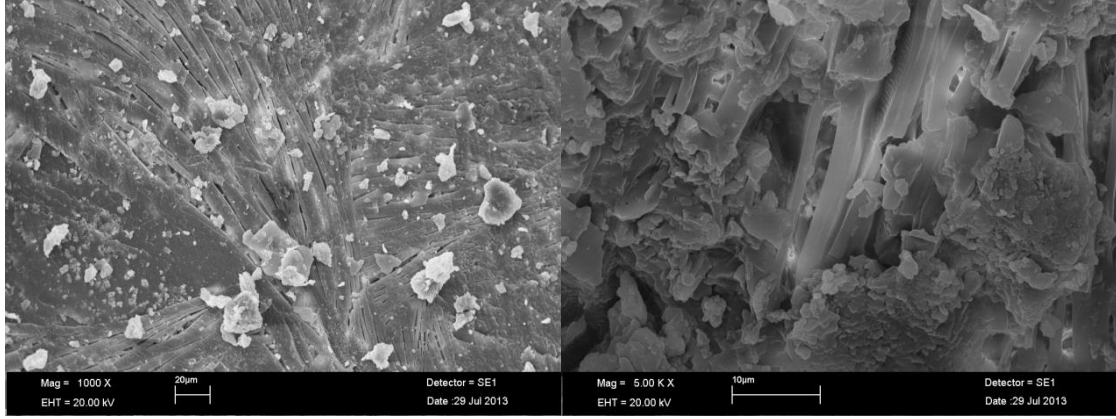
4.2.6 Yalıtım Malzemesi Katkılanmış C-SA Karışımlarının SEM Yorumları

Sentezlenmiş olan numunelerin farklı yüzey morfolojilerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bunun nedeni ise Kamfen-stearik asit içine farklı yapıdaki maddelerin katkılanmasıdır. Çünkü matrise yani ana faza katılanan numune kısmen de olsa ana fazın yapısını değiştirmektedir.



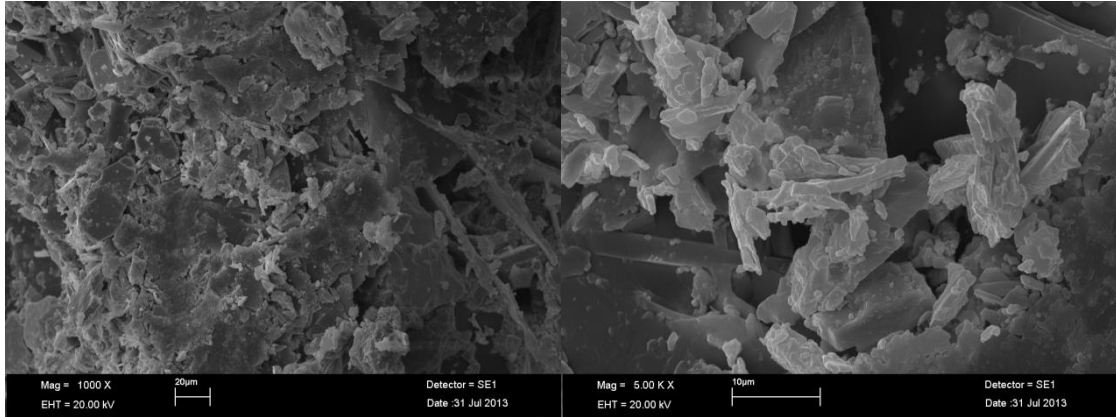
Şekil 4. 24 C-SA Uçucu kül karışımının farklı büyütme ölçeklerindeki SEM görüntüleri

C-SA uçucu kül numunesinin baloncuk şeklinde farklı büyüklükte taneciklerden oluştuğu belirlenmiştir.



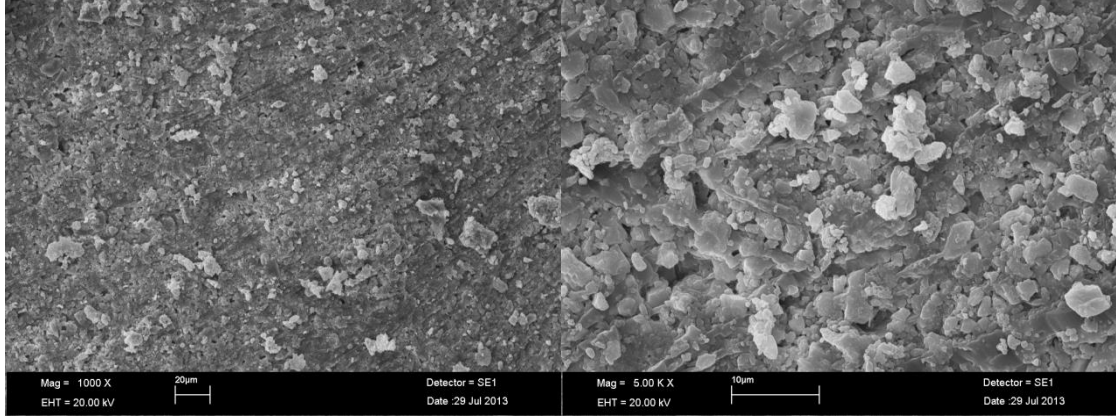
Şekil 4. 25 C-SA Proklastik karışımının farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri

C-SA proklastik numunesinin ise lifli bir yapı sergilediği aynı zamanda yapı içerisinde iğnemsî ve sarkıt şeklinde oluşumlar meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 4. 26 C-SA Barit karışımının farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri

C-SA Barit numunesinde ise farklı büyüklüklerde kümeli yapılar ve iğnemsî yapılar mevcuttur. Bu oluşum yapı içerisinde gözeneklerin oluşmasına neden olmuştur.

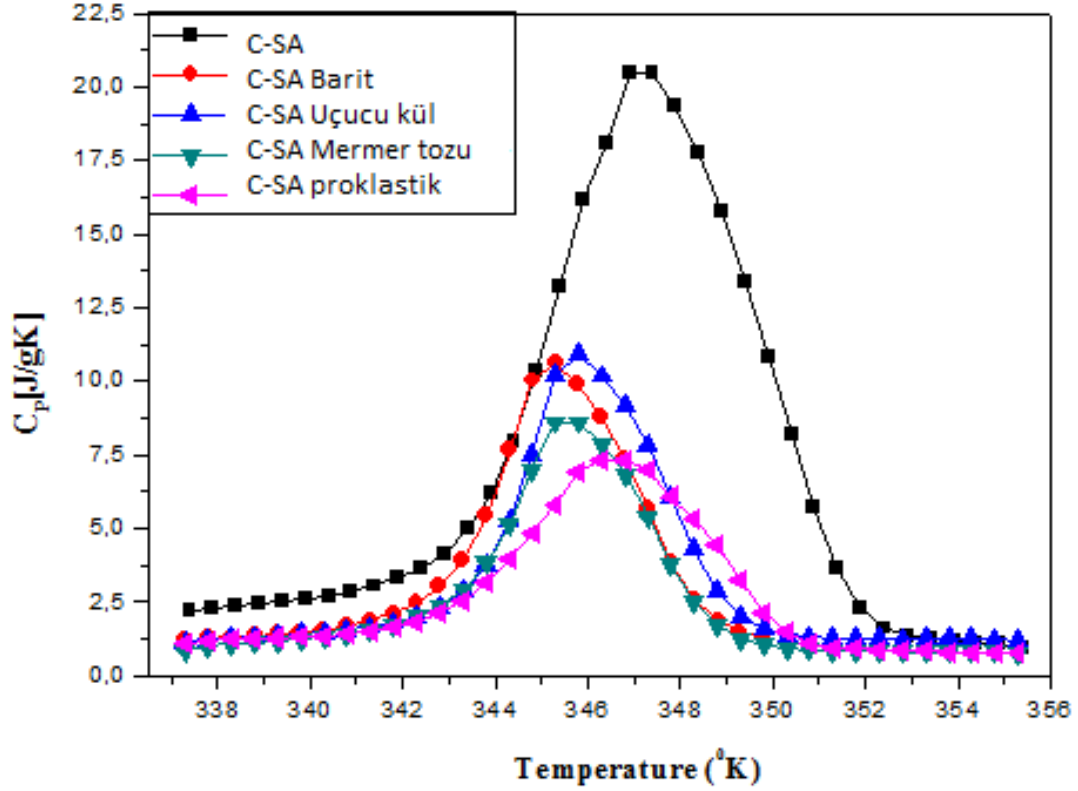


Şekil 4. 27 C-SA Mermer tozu karışımının farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri

C-SA Mermer tozu numunesinde çubuk ve plaka şeklinde yapılar mevcut olup bu yapılar arasında boşluklar meydana geldiği belirlenmiştir.

C-SA uçucu kül ve C-SA mermer tozu kompozit bazlı FDM'lerdeki boşluk miktarının C-SA proklastik ve C-SA barit karışımlarına göre daha az miktarda olduğu SEM analizlerine dayanarak saptandı.

4.2.7 Yalıtım Malzemesi Katkılandırılmış C-SA Karışımlarının Spesifik Isı Kapasitelerinin (C_p) İncelenmesi

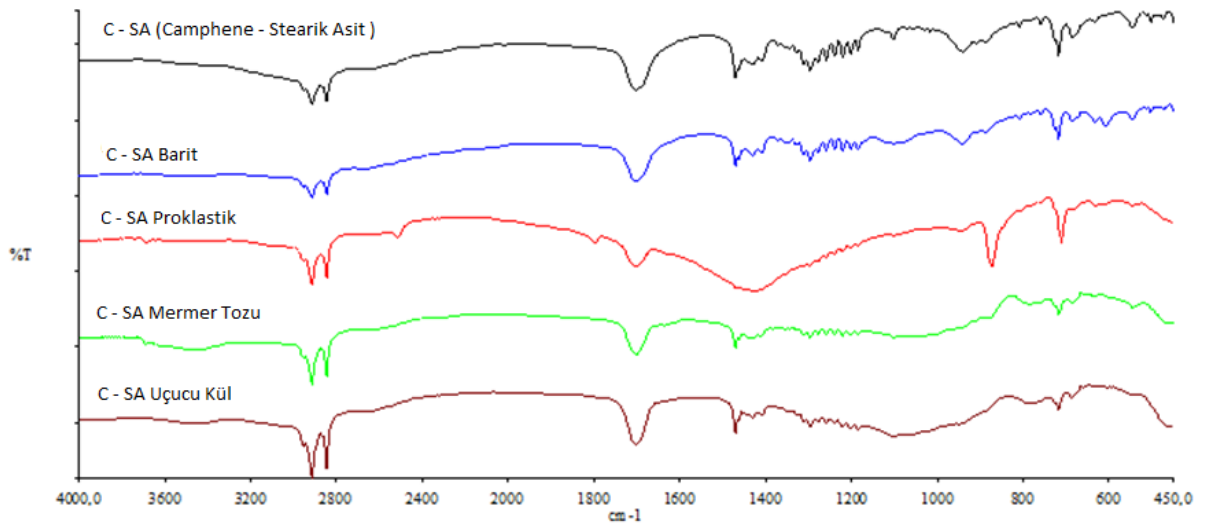


Şekil 4. 28 Yalıtım Malzemesi Katkılandırılmış C-SA Karışımlarının hal değişimi süresince Spesifik Isı Kapasiteleri (C_p)

Yalıtım malzemesi katkılandırılmış C-SA FDM özellikli ötektik karışımlarının ve C-SA ana karışımının hal değişim sıcaklık aralığında sıcaklığa karşı C_p değerlerindeki değişimi gösteren grafik incelendiğinde C-SA barit karışımının yalıtım malzemesi katkılandırılmış FDM özellikli ötektik C-SA karışımları içerisinde en yüksek spesifik ısı kapasitesine sahip olduğu, fakat bu karışımın C_p değerinin C-SA ana karışımının C_p değerinden küçük olduğu belirlendi.

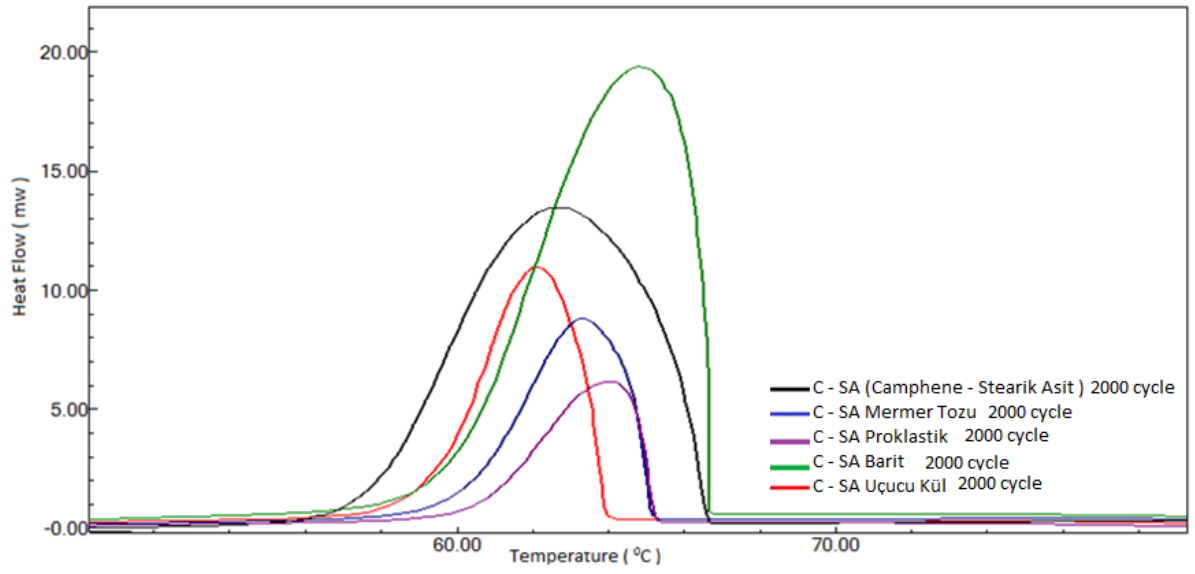
4.2.8 Yalıtım Malzemesi Katkılandırılmış C-SA Karışımlarının Termal Çevrim Sonrası Özelliklerinin İncelenmesi

Bu yalıtım malzemesi katkılandırılmış FDM özellikli karışımların kullanım ömrünün belirlenmesi amacıyla karışımlar 45 °C ile 80 °C arasında 2000 termal döngüye tabi tutuldu ve bu termal döngü sonucunda termal özellikleri ile yapısal özellikleri tekrar incelendi.

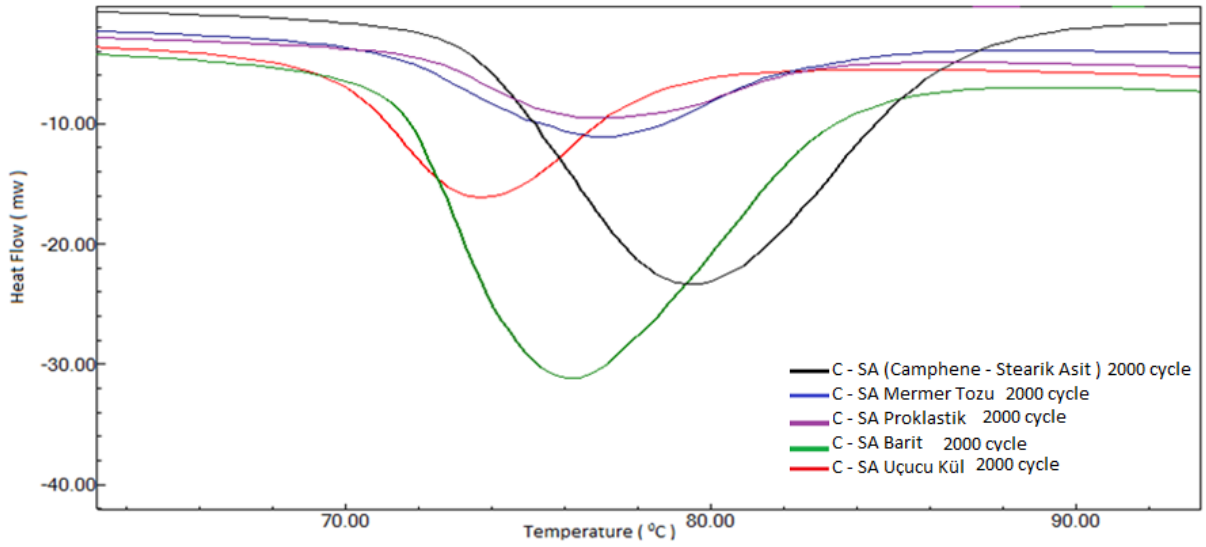


Şekil 4. 29 Yalıtım Malzemesi Katkılandırılmış C-SA Karışımlarının Termal Çevrim Sonrası FT-IR Spektrumları

Karışımlar 45 °C ile 80 °C arasında 2000 termal döngüye tabi tutulduktan sonra FT-IR spektrumlar incelendiğinde ana karışım olan C-SA karışımını oluşturan Kamfen ve stearik asitin her ikisinin de IR fonksiyonel grup absorpsiyon frekanslarında herhangi bir değişim olmaması elde edilen yalıtım malzemesi katkılandırılmış FDM özellikli karışımın termal döngü boyunca kimyasal olarak bir değişime uğramadığını ve termal döngü sonucunda da yapısal ve kimyasal olarak kararlılık gösterdiğini destekledi.



Şekil 4. 30 Yalıtım Malzemesi Katkılandırılmış C-PA Karışımlarının Termal Çevrim Sonrası Donma hal değişimlerine ait DSC eğrileri



Şekil 4. 31 Yalıtım Malzemesi Katkılandırılmış C-PA Karışımlarının Termal Çevrim Sonrası erime hal değişimlerine ait DSC eğrileri

Tablo 4. 7 Yalıtım Malzemesi Katkılandırılmış C-SA Karışımlarının Termal Çevrim Öncesi ve Termal Çevrim Sonrası erime Hal Değişimlerine ait DSC verileri

Karışımlar	Erimeye başladığı sıcaklık (°C)	Erimeyi sonlandırdığı sıcaklık (°C)	Erime Noktası (°C)	Erime Entalpisi (j/g)
C-SA 6-4	71,81	83,04	79,38	-156,74
C-SA 6-4 200 çevrim	73,12	86,28	79,38	-160,83
C - SA Proklastik	71,60	82,63	76,95	-48,82
C - SA Proklastik 2000 çevrim	71,67	82,76	76,95	-47,79
C - SA Uçucu Kül	73,54	81,45	73,70	-60,24
C - SA Uçucu Kül 2000 çevrim	69,63	78,34	73,70	-60,55
C - SA Mermer Tozu	72,17	79,39	75,31	-53,61
C - SA Mermer Tozu 2000 çevrim	70,67	82,68	77,06	57,31
C - SA Barit	72,63	81,28	76,02	-158,66
C - SA Barit 2000 çevrim	71,24	83,20	76,02	-168,55

Tablo 4. 8 Yalıtım Malzemesi Katkılandırılmış C-SA Karışımlarının Termal Çevrim Öncesi ve Termal Çevrim Sonrası donma Hal Değişimlerine ait DSC verileri

Karışımlar	Donmaya başladığı sıcaklık (°C)	Donmayı sonlandırdığı sıcaklık (°C)	Donma Noktası (°C)	Donma Entalpisi (j/g)
C-SA 6-4	67,67	61,52	62,69	156,80
C-SA 6-4 2000 çevrim	66,72	58,02	62,68	158,18
C - SA Proklastik	67,08	63,42	64,05	48,83
C - SA Proklastik 2000 çevrim	60,77	65,25	64,08	48,21
C - SA Uçucu Kül	67,33	63,23	62,04 °C	63,77
C - SA Uçucu Kül 2000 çevrim	63,95	59,65	62,15 °C	62,77
C - SA Mermer Tozu	67,88	63,42	63,41 °C	54,46
C - SA Mermer Tozu 2000 çevrim	65,16	60,43	63,41 °C	56,93
C - SA Barit	67,33	63,23	65,00 °C	161,58
C - SA Barit 2000 çevrim	66,67	60,43	64,83 °C	163,30

Termal çevrimden önce ve termal çevrimden sonra karışımların DSC eğrilerinden elde edilen veriler tablo 4.7 ve tablo 4.8’de özetlenmiştir. Bu verilerin neticesinde karışımların tümünün düzenli erime katılaşma davranışlarını ve gizli ısı enerji depolama özelliklerini kaybetmedikleri birçoğunun gizli ısı enerji depolama miktarlarının kısmen arttığı gözlemlendi. Bunun yanı sıra erimeye başlama, erimeyi sonlandırma, donmaya başlama, donmayı sonlandırma, erime ve donma noktalarında çok küçük ihmal edilebilecek düzeyde 0 °C ile 3 °C’lık sapmalar meydana geldiği görülmektedir.

5. SONUÇ ve TARTIŞMA

Bu çalışmada hal değiştirirken termal enerji depolamaları amacıyla kamfen ve yağ asitleri kullanılarak hazırlanan FDM özelliğine sahip ötektik karışımlar elde edildi. Çalışma iki seri karışım ile yapıldı. İlk seri kütlece 2-4, 4-2, 2-8, 8-2, 6-4 ve 4-6 oranlarına sahip Kamfen-Palmitik asit karışımlarıdır. Elde edilen bu karışımların DSC verilerine dayanarak gizli ısı enerji depolama, düzenli erime katılaşma, erime ve donma hal değişim sıcaklıkları da dikkate alınarak ana karışımın oranı belirlendi. C-PA serisinde en yüksek erime entalpisi (-222,59 J/g) ve donma entalpisine (221,12 J/g) sahip olan C-PA 4-6 karışımı ana karışım olarak seçildi. Belirlenen bu karışımın oluşumu esnasında hiçbir kimyasal değişimin gerçekleşmediği ve karışımın tamamen fiziksel etkileşimlerle oluştuğu FT-IR spektrumlarıyla desteklendi. FT-IR spektrumlarının incelenmesi neticesinde karışımı oluşturan Kamfen ve Palmitik aside ait olan fonksiyonel grup piklerinin karışımın FT-IR spektrumunda da gözlemlenmesi kimyasal olarak bir etkileşim olmadığını kanıtladı. Elde edilen bu FDM özellikli ötektik karışımın bina yalıtımında kullanılabilirliğinin tespiti için yaygın yalıtım malzemeleri olan barit, mermer tozu, uçucu kül ve proklastik katkılandırılarak termal ve yapısal özellikleri incelendi.

C-PA karışımının 1-2 ve 1-4 oranlarında barit, mermer tozu, uçucu kül ve proklastik ayrı ayrı katkılandırılarak C-PA uçucu kül, C-PA proklastik, C-PA mermer tozu ve C-PA barit karışımları hazırlandı. Hazırlanan bu karışımların her biri için homojen olan ve düzenli erime katılaşma davranışına sahip olanları belirlenerek termal, yapısal ve kimyasal özellikleri incelendi. FT-IR spektrumlarının incelenmesi sonucunda karışıma katkılandırılan yalıtım malzemelerinin de kimyasal bir etkileşime girmedikleri C-PA karışımının fonksiyonel grup piklerinde herhangi bir değişiklik olmadığının gözlenmesi sonucunda kanıtlandı. Termal kararlılıklarının belirlenmesi amacıyla TGA eğrileri incelendi ve karışımların hepsinin tek basamakta 200 °C ile 300 °C arasında bozundukları ve bu bozunma sırasındaki ağırlık kayıplarının oranının karışımdaki C-PA oranına karşılık geldiği saptandı. DSC verileri ışığında yalıtım malzemesi katkılandırılmış C-PA karışımlarından en yüksek gizli ısı enerji depolama özelliğine sahip olan karışımın C-PA barit karışımı olduğu belirlendi. SEM fotoğrafları incelendiğinde C-PA barit karışımının yapı içerisinde çok küçük boşluklara sahip olduğu ve farklı büyüklükte parçacıklar içerdiği görüldü. Yalıtım malzemesi katkılandırılmış

C-PA karışımlarının ve C-PA ana karışımının sıcaklığa karşı Cp değerlerindeki değişimi gösteren grafik incelendiğinde C-PA barit karışımının tüm seri içinde en yüksek spesifik ısı kapasitesine sahip olduğu belirlendi. C-PA ana karışımına katkılanırlan barit yalıtlım malzemesinin bu karışımın Cp değeriinde önemli bir yükselmeye sebep olduğu gözlemlendi.

Bu karışımlar kullanılabilirliklerinin ve termal olarak tekrarlanabilirliklerinin belirlenmesi amacıyla 2000 termal çevrime tabi tutuldular. Bu termal çevrim sonucunda özellikleri tekrar incelendi. Termal çevrim sonrası alınan FT-IR spektrumlarında özellikle fonksiyonel grup bölgelerinde herhangi bir değışime rastlanmadı bu da malzemelerin termal çevrim sonunda yapısal özelliklerini koruduklarını kimyasal başkalaşıma uğramadıklarını kanıtladı. Aynı şartlarda elde edilen DSC eğrileri de incelendi ve C-PA Proklastik karışımı hariç diğeri tüm karışımların termal çevrim sonunda erime ve donma hal değışimi boyunca depoladıkları gizli ısııl enerji de bir artış olduğu gözlemlendi. En yüksek artışın ise hem erime hem de donma sırasında C-PA Barit karışımında olduğu tespit edildi.

Yapılan tüm bu incelemeler neticesinde C-PA serisinde yalıtlım malzemesi katkılanırlmış olarak en iyi FDM özelliğı taşıyan karışımın C-PA Barit karışımı olduğu belirlendi.

Diğeri seri ise kütlece 2-4, 4-2, 2-8, 8-2, 6-4 ve 4-6 oranlarına sahip Kamfen-Stearik asit karışımlarıdır. Elde edilen bu karışımların DSC eğrilerinin incelenmesi sonucunda serinin tüm karışımlarına kıyasla C-SA 6-4 karışımının en yüksek erime entalpisi (-156,74 J/g) ve donma entalpisine (156,80 J/g) sahip olduğu saptandı. Gizli ısııl enerji depolama kapasitesi en yüksek karışım olmasından dolayı C-SA 6-4 karışımı serinin ana karışımı olarak belirlendi. Bu karışımın oluşumu sırasında kendini oluşturan Kamfen ve stearik asidin birbirleriyle kimyasal bir etkileşime girip girmediklerinin tespiti için karışımın FT-IR spektrumu incelendi. Kamfen, stearik asit ve C-SA 6-4 karışımının hepsinin FT-IR spektrumunda ortak olarak Kamfen'in fonksiyonel grup bölgesine ait olduğu bilinen $3056-3069\text{ cm}^{-1}$ =C-H, $2868-2976\text{ cm}^{-1}$ C-H 1658 cm^{-1} C=C gerilme pikleri ve stearik asidin fonksiyonel grup bölgesine ait olduğu bilinen 1697 cm^{-1} de C=O gerilme piki, 2923 cm^{-1} ve 2856 cm^{-1} de C-H gerilme piklerinin gözlenmesi karışımın kimyasal herhangi bir etkileşim sonucu oluşmadığı belirlendi.

Elde edilen FDM özellikli ötektik karışımın bina yalıtlım malzemesi olarak kullanılabilirliğinin tespiti için karışıma yaygın yalıtlım malzemeleri olan barit, proklastik,

mermer tozu ve uçucu kül katkılandırılarak termal ve yapısal özelliklerindeki değişimler incelendi. Karışımlar hazırlanırken 1-2 ve 1-4 oranında her bir yalıtım malzemesi için ikiye bölünmüş gruplar oluşturuldu. Bu gruplarda yapılan seçimler karışımların homojenliği düzenli erime katılaşma özellikleri ve hal değişimleri boyunca depoladıkları gizli ısı enerjileri dikkate alınarak yapıldı. Buna bağlı olarak C-SA 6-4 mermer tozu 1-2, C-SA 6-4 proklastik 1-2, C-SA 6-4 uçucu kül 1-2 ve C-SA 6-4 barit 1-2 karışımları inceleme için seçildi. Ana karışıma yalıtım malzemesi katkılandırılarak elde edilen karışımların oluşumlarının kimyasal etkileşime dayalı olmadığını belirlemek amacıyla FT-IR spektrumları incelendi. Hepsinin FT-IR spektrumundaki fonksiyonel grup piklerinin yalıtım malzemesi katkılandırılmamış C-SA karışımının pikleriyle örtüştüğünün gözlemlenmesi sonucu C-SA karışımının da oluşumu sırasında kimyasal herhangi bir değişime uğramamış olmasına dayanarak bu karışımların da kimyasal yapılarında kimyasal değişim olmadığını sonucuna varıldı. Termal kararlılıklarının incelenmesi amacıyla TGA eğrileri incelendi. Yapılan inceleme neticesinde bu yalıtım malzemesi katkılandırılmış serinin de tek basamakta ve bozunma sıcaklığı olarak saf C-SA karışımının tamamen bozunduğu 267 °C-357 °C arasında içerdikleri C-SA oranına paralel oranda ağırlık kaybederek bozundukları saptandı. DSC eğrileri incelendiğinde diğer serideki yalıtım malzemesi katkılandırılmış olan karışımların aksine C-SA barit karışımının hem kendi serisi içinde hem de ana karışımdan daha yüksek gizli ısı enerjisi depolama özelliğinin olduğu belirlendi. SEM fotoğrafları incelendiğinde C-SA barit karışımının yapısında farklı büyüklüklerde kümeli yapılar ve iğnemsî yapılar içerdiği bu yapılarında gözeneklerin oluşmasına neden olduğu saptandı. Serinin sıcaklığa karşı Cp değerlerindeki değişimi gösteren grafik incelendiğinde yalıtım malzemesi katkılandırılmış olan FDM özellikli ötektik karışımlar içerisinde en yüksek Cp değerine sahip olan karışımın C-SA barit karışımı olduğu fakat bu karışımın C-PA serisinin aksine C-SA ana karışımının Cp değerine üstünlük sağlayamadığı tespit edildi.

Bu karışımlar kullanılabilirliklerinin ve termal olarak tekrarlanabilirliklerinin belirlenmesi amacıyla 2000 termal çevrime tabi tutuldular. Termal çevrim sonunda yapısal ve termal özellikleri tekrar incelendi. FT-IR spektrumlarında özellikle fonksiyonel grup bölgelerinde herhangi bir değişime rastlanmadı. Termal çevrim öncesi FT-IR spektrumunda Kamfen, stearik asit ve C-SA karışımında ortak olarak gözlenen 3056-3069 cm⁻¹ =C-H, 2868-2976cm⁻¹ C-H 1658 cm⁻¹ C=C gerilmesi, 1697 cm⁻¹ de C=O gerilme piki, 2923 cm⁻¹ ve 2856 cm⁻¹ de C-H gerilme piklerinin termal çevrim sonrası

karışımlarda da ortak olarak görülmesi sonucunda yalıtım malzemesi katkılandırılmış C-SA karışımının termal çevrim sonunda kimyasal herhangi bir başkalaşıma uğramadığı saptandı. Karışımların DSC eğrilerinin incelenmesi sonucunda termal çevrime tabi tutulmuş olan C-SA mermer tozu, C-SA proklastik, ve C-SA uçucu kül karışımlarının erime donma sıcaklıkların da ve entalpi değerlerinde belirgin bir sapma gözlenmedi. Fakat termal çevrim sonunda C-SA barit karışımının gizli ısı enerjisinde termal çevrim uygulanmamış olan karışımına kıyasla belirgin bir artış olduğu gözlemlendi.

Tablo 5. 1 C-SA ve C-SA Barit karışımının termal çevrim öncesi ve termal çevrim sonrası erime hal değişimlerine ait DSC verileri

Karışımlar	Erimeye başladığı sıcaklık (°C)	Erimeyi sonlandırdığı sıcaklık (°C)	Erime Noktası (°C)	Erime Entalpisi (j/g)
C-SA 6-4	71,81	83,04	79,38	-156,74
C-SA 6-4 200 cycle	73,12	86,28	79,38	-160,83
C - SA Barit	72,63	81,28	76,02	-158,66
C - SA Barit 2000 cycle	71,24	83,20	76,02	-168,55

Tablo 5. 2 C-SA ve C-SA Barit karışımının termal çevrim öncesi ve termal çevrim sonrası donma hal değişimlerine ait DSC verileri

Karışımlar	Donmaya başladığı sıcaklık (°C)	Donmayı sonlandırdığı sıcaklık (°C)	Donma Noktası (°C)	Donma Entalpisi (j/g)
C-SA 6-4	67,67	61,52	62,69	156,80
C-SA 6-4 2000 cycle	66,72	58,02	62,68	158,18
C - SA Barit	67,3	63,23	65,00	161,58
C - SA Barit 2000 cycle	66,67	60,43	64,83	163,30

Elde edilen tüm bu sonuçlara dayanarak C-SA serisinde yalıtım malzemesi katkılı en iyi FDM özelliği taşıyan karışımın C-SA Barit karışımı olduğu belirlendi.

Bu çalışmada amaçlanan FDM özellikli ötektik karışımlar yardımıyla gizli ısı enerji depolama yöntemiyle yalıtım sisteminin geliştirilmesiydi. Fakat elde edilen ötektik karışımların erime donma sıcaklık aralığı bina yalıtım sistemlerinin sıcaklık aralıklarıyla uyuşmamaktadır. Bu nedenle yalıtım sisteminde olmasa da yeşil çatı uygulamalarında gıda ambalajlama ve ya medikal sektörlerde kullanılabilir. Bina yalıtımında kullanılacak olan FDM'lerin daha düşük sıcaklıklar da faz değişim yoluyla enerji depolama özelliklerine sahip olmaları gerekmektedir.

6. KAYNAKLAR

1. **NORDELL B.**, 2003, Thermal pollution causes global warming, *Global and Planetary Change*, V 38, , 305-312
2. **MAZMAN M.**, 2006, Gizli ısı depolaması ve uygulamaları, Doktora tezi, Ç.Ü. Fen Bil. Ens., Adana
3. **ALAY S.**, 2010 Isıl Enerji Depolama Özellikli Mikrokapsüller İçeren Akıllı Tekstil Ürünlerinin Geliştirilmesi üzerine bir araştırma, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Ü. Fen Bil. Ens. Isparta
4. **DİKİCİ D.**, 2004, Doğal soğuk kaynaklardan yararlanan yer altı kanallarında termal enerji depolanması (KTED), Doktora tezi, Ç.Ü. Fen Bil. Ens., Adana
5. **SARIKAYA Y.**, Fizikokimya, Gazi kitabevi, 2000
6. **YILMAZ S.**, 2008, Soğutma Uygulamaları İçin Faz Değiştiren Maddelerde Termal Enerji Depolaması üzerine bir araştırma, Yüksek Lisans Tezi Çukurova Ü. Fen. Bil. Ens. Adana
7. **ABHAT A.**, 1983, Low temperature latent heat thermal energy storage materials, *Solar Energy* 30, 313-332
8. **MAZMAN M., PAKSOY, H.Ö. VE EVLIYA H.**, 2002, Güneş Enerjisinin Yağ Asitlerinde Gizli Isı Şeklinde Depolanması (Solar Energy Storage in Fatty Acids as Latent Heat), Proceedings of the Fourth GAP Engineering Congress, 06-08 June, Şanlıurfa, Turkey
9. **DİNÇER I, ROSEN M.A.**, 2002, Thermal energy storage, Systems and applications, *John Wiley & Sons. Chicheser* (England).
10. **KILKIŞ, B., KAKAÇ, S.**, 1989. "Importance of Energy Storage", Energy Storage Systems, NATO ASI Series, Kluwer Academic Pub., The Netherlands.
11. **YANG, W. J.**, 1989. "Thermal Energy Storage Systems and Their Dynamic Behavior" Energy Storage Systems, NATO ASI Series, Kluwer Academic Pub., The Netherlands.
12. **KONUKLU Y.**, 2008, Mikrokapsüllenmiş Faz Değiştiren Maddelerde Termal Enerji Depolama ile Binalarda Enerji Tasarrufu,. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana
13. **ÖZONUR (KONUKLU) Y.**, 2004, Düşük sıcaklıkta termal enerji depolamasına uygun faz değiştiren maddelerin mikrokapsüllenmesi, Yüksek lisans tezi, Ç.Ü. Fen Bil. Ens., Adana

14. **LANE G.A.**, 1980, Low temperature heat storage with phase change materials, *Int. J. Ambient Energy* I, 155-168.
15. **ÖZTÜRK H.**, 1997, Sera ısıtma için güneş enerjisinin faz değiştiren maddelerde depolanması üzerine bir araştırma, Doktora tezi, Ç.Ü. Fen Bil. Ens., Adana
16. **BAŞTENÇELİK, A., PAKSOY, H.Ö., ÖZTÜRK , H.H.**, 1996, “Greenhouse heating with solar energy and PCM storage”. *Acta Horticulturae* 443, 63-70.
17. **MONDAL, S.**, 2008, “Phase Change Materials for Smart Textiles-An Overview”, *Applied Thermal Engineering*, 28, 1536-1550
18. **KARAIPEKLİ A.**, 2006, Faz Değişimli Enerji Depolama Maddelerinde Isıl İletkenliğin Zenginleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi Gaziosmanpaşa Ü. Fen Bil. Ens. Tokat
19. **FARID M. M., KHUDHAIR A. M., RAZACK S. A. K., AL-HALLAJ S.**, 2004, A review on phase change energy storage: materials and applications, *Energy Conversion & management*, 45, pp. 1597-1615
20. **HALE, D.V., HOOVER, M.J., O’NEILL, M.J.**, 1971. Phase Change Materials Hand Book, Report no. HREC- 5183-2LMSC-HREC D225138. NASA. Marshal Space Flight Center, Alabama
21. **GARG, H.P., MULLICK, S.C., BHARGAVA, A.K.**, 1985. Solar Thermal Energy Storage. Dordrecht, Holland: D. Reidel Publishing Co.
22. **BUDDHI, D., SAWHNEY, R.L.**, 1994. Proceeding of thermal energy storage and energy conversion. School of energy and environmental studies. Devi Ahilya University. Indore, India. February 24–25.
23. **AKÇAY M.**, 2006, Isıl Enerji Depolama Amaçlı Bazı Polimer/Yağ Asidi Karışımlarının Hazırlanması Ve Isıl Özelliklerinin Belirlenmesi üzerine bir araştırma, Yüksek Lisans Tezi Gaziosmanpaşa Ü. Fen Bil. Ens. Tokat
24. **COŞKUN Ç., DURMAZ G.,ÖZKOL Ü.**, 2013 Ev tipi bir buzdolabının kararlı durum altında sayısal olarak incelenmesi. 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği kongresi, İzmir.
25. **HERALD MEHLING, LUISA F. CABEZA**, Heat and cold storage with PCM, An up to date introduction into basics and applications, 2008.
26. **LANE, G.A.**, 1989. Phase Change Thermal Storage Materials. In: Hand Book of Thermal Design. In: Guyer, C., ed. McGraw Hill Book Co.
27. **FELDMAN D., SHAPIRO M.M., BANU D.**, 1986, Organic phase change materials for thermal energy storage, *Solar Energy Mater* 13, , 1-10

28. **XIAO M., FENG B., GONG K.,** 2002, Preparation and performance of shape stabilized phase change thermal storage materials with high thermal conductivity, *Energy Conversion and Management*, 43, 103-108
29. **BUGAJE, IM.,** 1997, Enhancing the thermal response of latent heat storage systems , *International Journal Of Energy Research* 65: 759-766
30. **VELRAJ, R., SEENIRAJ, B., HAFNER, B., FABER, C., SCHWARZER, K.,** 1998. Heat transfer enhancement in a latent heat storage system. *Solar Energy* 65: 171–180.
31. **SARI A.,** 2003, Thermal Characteristics of a Eutectic Mixture of Myristic and Palmitic Acids as Phase Change Material for Heating Applications, *Applied Thermal Engineering*, 23, pp. 1005-1017
32. **GÖK Ö., YILMAZ M.Ö., YILMAZ S., TURGUT B., MAZMAN M., BEYHAN B., ŞAHAN N., PAKSOY H.Ö., EVLİYA H.,** 2008 Beyaz Eşyalarda Faz Değiştiren Maddelerde Gizli Isı Depolama Yöntemi İle Enerji Verimliliğinin Araştırılması, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu , İstanbul
33. **Mattila, H.R.,** 2006, “Intelligent Textiles and Clothing”, Woodhead Publishing Limited, 506p. Cambridge
34. **BUDDHI D., BANSAL N.K., SAWHNEY R.L., SODHA S.,** 1988, Solar thermal storage systems using phase change materials, *Int. J. Energy Research*, Volume 12, 547-555
35. **LANE G. A.,** 1983a, Solar heat storage latent heat material, Volume I, CRC Pres Inc. Boca Raton/Florida, 450
36. **GÖK Ö.,** 2005, Faz değiştiren maddelerin destekleyici maddelerde tutuklanması ve termal performansı, Yüksek lisans tezi, Ç.Ü. Fen Bil. Enst., Adana
37. **LANE G. A.,** 1983b, Solar heat storage latent heat material, Volume II, CRC Pres Inc. Boca Raton/Florida, 450
38. **SARI A.,** 2000, Bazı yağ asitleri ve ötektik karışımlarının enerji depolayıcı madde olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi, Doktora Tezi, Gaziosman Paşa Ü. Fen Bil. Ens., Tokat
39. **SHARMA, S. D., SAGARA, K.,** 2005. Latent Heat Storage Materials and Systems: A Review. *International Journal of Green Energy* 21-56
40. **SARI, A., TARHAN S., KAYGUSUZ, K.,** 2005. Enerjiyi düşük sıcaklıkta gizli ısı olarak depolayan kimyasal maddeler. Yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları sempozyumu. Kayseri

41. **TUNÇBİLEK K.** 2005. Laurik-palmitik asit ötektik karışımının enerji depolama karakteristiklerinin belirlenmesi, Yüksek lisans Tezi.
42. **ZALBA B., MARİN J. M., CABEZA L.F., MEHLİNG H.,** 2003, Review on thermal energy storage with phase change materials, heat transfer analysis and applications, *Applied Thermal Engineering*, 23, pp. 251-283
43. **KIMURA, H., KAI J.,** 1988. Mixtures of Calcium Chloride Hexahydrate with Some Salt Hydrates or Anhydrous Salts as Latent Heat Storage Materials. *Energy Conversion and Management*, 28 (3), 197-200.
44. **DIMAANO M.N.R., WATANABE T.,** 2002, The capric - lauric acid and pentadecane combination as phase change material for cooling applications, *Applied Thermal Engineering* 22, 365-377
45. **YILMAZ M.Ö.,** 2005, Yer altı termal enerji depolanmada kullanılan farklı dolgu maddelerinin termal özelliklerinin araştırılması, Yüksek lisans tezi, Ç.Ü. Fen Bil. Enst., Adana
46. **FELDMAN, D., KHAN, M. A. BANU, D.,** 1989. Energy storage composite with an organic PCM, *Solar Energy Materials*, 18(6), pp.333-341.
47. **FORMO, M. W., JUNGGERMANN, E., NORRIS, F. A., SONNTAG, N. O. V.,** 1979. Bailey's Industrial Oil and Fat Products *John Wiley & Sons*: New York
48. **LUTTON, E. S.,** 1967. Fatty Acids: Their Chemistry, Properties, Production and Uses., Part 4. 2nd ed.; Markley, K. S., Ed.; Interscience: New York
49. **BAILEY, A. E.,** 1950. Melting and Solidification of Fats and Fatty Acids Interscience: New York.
50. **MALKIN, T.,** 1952. Progress in the Chemistry of Fats and Other Lipids Pergamon Press: New York. Vol. 1
51. **SHARMA, S. D.,** 1999. Study of thermal energy storage in phase change materials for low temperature solar applications. Ph.D. Dissertation, Devi Ahilya University, Indore, India.
52. **SARI, A., SARI, H., ve ÖNAL, A.,** 2004a. Thermal properties and thermal reliability of eutectic mixtures of some fatty acids as latent heat storage materials. *Energy Conversion & Management*, 45, 365–376.
53. **SARI, A.,** 2004b. Form-stable paraffin/high density polyethylene composites as solid-liquid phase change material for thermal energy storage: preparation and thermal properties. *Energy Conversion and Management*, 45:2033-2042.
54. **ZHANG J.J., ZHANG J.L., HE S.M., WU K.Z., LIU X.D.,** 2001. Thermal studies on the solid-liquid phase transition in binary systems of fatty acids, *Thermochimica Acta*, 369, 157-160

55. GUIYIN, F., HUILI, Z., XU, L., 2011. Preparation and properties of palmitic acid/SiO₂ composites with flame retardant as thermal energy storage materials, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 95, 1875 – 1881
56. SHAZIM, A. M., TOMMY, Y. L., XIAN, S., SALIM, B., HONGZHI, C., 2013. Preparation, characterization and thermal properties of Lauryl alcohol/Kaolin as novel form-stable composite phase change material for thermal energy storage in buildings, *Applied Thermal Engineering*, 59, 336 – 347
57. SARI, A., KARAIPEKLI, A., ALKAN, C., 2009. Preparation, characterization and thermal properties of lauric acid/expanded perlite as novel form-stable composite phase change material, *Chemical Engineering Journal*, 155, 899 – 904
58. MOHAMMAD, M., SARA, T.L., MEHDI, M., TEUKU, M. I. M., HENDRIK, S. C. M., MOHAMMAD, S. N., EMAD, S., AMIR, R. A., 2013. Preparation and characterization of palmitic acid/graphene nanoplatelets composite with remarkable thermal conductivity as a novel shape-stabilized phase change material, *Applied Thermal Engineering*, 61, 633 – 640
59. YI, W., HAN, Z., HUI, X. F., DE, Y. Z., 2012. Effect of preparation methods on the structure and thermal properties of stearic acid/activated montmorillonite phase change materials, *Energy and Buildings*, 47, 467 – 473
60. WEI, L., RONG, Z., NAN, J., XIAO-FEN, T., HAI-FENG, S., XING-XANG, Z., YUANKAI, Z., LIN, D., NINGXIN Z., 2013. Composite macrocapsule of phase change materials/expanded graphite for thermal energy storage, *Energy*, 57, 607 – 614
61. JINGRUO, L., LIHONG, H., TANGZHI, L., XUEJUAN, C., HONGZHOU, Z., 2013. Preparation and characterization of PEG/SiO₂ composites as shape-stabilized phase change materials for thermal energy storage, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 118, 48 – 53
62. KEPING, C., XUEJIANG, Y., CHUNRONG, T., JIANHUA, W., 2014. Preparation and characterization of form-stable paraffin/polyurethane composites as phase change materials for thermal energy storage, *Energy Conversion and Management*, 77, 13 – 21

ÖZGEÇMİŞ

Süreyya Şeyma ACAR

Kişisel Bilgiler:

Doğum Tarihi: 1988

Doğum Yeri: ELAZIĞ

Uyruğu: T.C.

Medeni Hali: Bekar

Eğitim:

İlköğretim:

Namık Kemal İlköğretim Okulu

Ortaöğretim:

Elazığ, Balakgazi Lisesi

Lisans: (2007-2011)

Fırat Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü (Elazığ)

Yüksek Lisans: (2011-)

Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü(Elazığ)