



**BAZI TUZ HİDRAT KOMPOZİTLERİNİN
HAZIRLANMASI VE ISIL ENERJİ
DEPOLAMA ÖZELLİKLERİ BAKIMINDAN
KARAKTERİZASYONU**

ELİF ADIGÜZEL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA ANA BİLİM DALI**

**Prof. Dr. CEMİL ALKAN
Temmuz - 2019
Her hakkı saklıdır**

**TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BAZI TUZ HİDRAT KOMPOZİTLERİNİN
HAZIRLANMASI VE ISIL ENERJİ DEPOLAMA
ÖZELLİKLERİ BAKIMINDAN
KARAKTERİZASYONU**

ELİF ADIGÜZEL

**TOKAT
Temmuz - 2019**

Her hakkı saklıdır.



Bu tez çalışması;

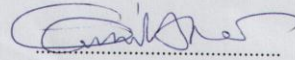
Avrupa Birliği ERANET NEW INDIGO programı kapsamında Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Kurumu tarafından TÜBİTAK 114M121 numaralı proje ile desteklenmiştir.

Elif ADIGÜZEL tarafından hazırlanan **BAZI TUZ HİDRAT KOMPOZİTLERİNİN HAZIRLANMASI VE ISIL ENERJİ DEPOLAMA ÖZELLİKLERİ BAKIMINDAN KARAKTERİZASYONU** adlı tez çalışmasının savunma sınavı 24 TEMMUZ 2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen Jüri tarafından Oy Birliği / Oy Çokluğu ile Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü KİMYA ANA BİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

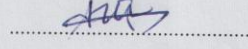
Jüri Üyeleri

İmza

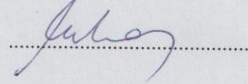
Danışman
Prof. Dr. CEMİL ALKAN



Üye
Doç. Dr. ALPER BİÇER
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi



Üye
Dr. Öğr. Üyesi RUHAN ALTUN ANAYURT
Çankırı Karatekin Üniversitesi

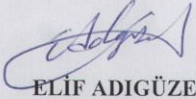


ONAY

Prof. Dr. Çetin ÇEKİÇ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü
31/07/2019

TEZ BEYANI

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdığı yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.



ELİF ADIGÜZEL

24 Temmuz 2019

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BAZI TUZ HİDRAT KOMPOZİTLERİNİN HAZIRLANMASI VE ISIL ENERJİ DEPOLAMA ÖZELLİKLERİ BAKIMINDAN KARAKTERİZASYONU

ELİF ADIGÜZEL

TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KİMYA ANA BİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. CEMİL ALKAN)

Bu çalışmada, mevcut faz değişim yoluyla ısı enerjisi depolama sistemlerine alternatif olarak önemli uygulama avantajlarına sahip olma potansiyeli bulunan yeni sistemlerin üretimi ve karakterizasyonu hedeflenmiştir. Faz değişim yoluyla ısı depolama, depolama yoğunluğu ve sabit sıcaklıkta gerçekleşme gibi önemli avantajları nedeniyle ısı enerjisi depolama yöntemleri arasında en çok tercih edilen yöntemdir. Bu çalışmada literatürden farklı olarak tuz hidratların polimer sistemleri süspansiyon polimerizasyonu yöntemiyle hazırlanmaya çalışılmıştır. Tuz hidratlar faz değişim yoluyla ısı enerjisi depo edebilen materyaller içerisinde ucuzluk, bulunabilirlik, çeşitlilik ve bu nedenle ortaya çıkan uygulama sıcaklık aralığı gibi çok sayıda üstün özelliklere sahiptirler. Ancak hidrat suyunun alınıp verilmesi aşamasının tersinirliğinin sağlanması çok sayıda problemi de beraberinde getirmektedir. Bu sebeplerle tuz hidratlarla ısı enerjisi depolama, bazı özel tasarımı mekanik sistemlerde yani aktif depolama sistemlerinde tercih edilmiştir. Organik faz değişim maddeleri ise uygulama sırasında daha kararlı olmalarına rağmen tuz hidratlara göre oldukça pahalı, bulunabilirliği düşük ve enerji depolama yoğunlukları düşük verimli malzemelerdir. Yapılan tersinir olarak çalışan bazı tuz hidrat polimer sistemleri üretilmiş, DSC ve ısı performans analizi cihazlarıyla karakterize edilmiştir.

2019, 56 SAYFA

ANAHTAR KELİMELER: Isıl enerji depolama, karışım, kompozit, tuz hidrat

ABSTRACT

MASTER THESIS

COMPOSITION OF PREPARATION OF SOME BASIC HYZMAT COMPOSITIONS AND CHARACTERIZING MEDICATION OF ISIL ENERGY STORAGE CHARACTERISTICS

ELİF ADIGÜZEL

**TOKAT GAZIOSMANPASA UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

DEPARTMENT OF CHEMISTRY

SUPERVISOR: PROF. DR. CEMIL ALKAN

In this study, the production and characterization of new systems which have the potential to have significant application advantages as an alternative to heat energy storage systems through the existing phase change is aimed. Heat storage through phase change is the most preferred method of thermal energy storage because of its important advantages such as storage density and realization at constant temperature. In this study, polymer systems of salt hydrates are tried to be prepared by suspension polymerization method. Salt hydrates have a number of superior properties in materials capable of storing thermal energy by phase change, such as affordability, availability, diversity, and therefore the resulting application temperature range. However, providing the reversibility of the hydrate water intake and delivery stage brings with it a number of problems. For these reasons, thermal energy storage with salt hydrates has been preferred in some specially designed mechanical systems, ie active storage systems. Organic phase change agents are more expensive than salt hydrates, although they are more stable during application, low availability and low energy storage densities. Some reversible salt hydrate polymer systems have been produced and characterized by DSC and thermal performance analysis devices.

2019, 56 PAGE

KEYWORDS: Thermal energy storage, mixture, composite, salt hydrate

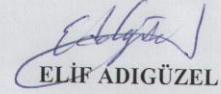
ÖNSÖZ

Çalışmalarım süresince bilgi birikimi ve tecrübesi ile beni yönlendiren, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen ve sürekli cesaretlendiren değerli hocam tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Cemil ALKAN (Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi)'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

114M121 nolu "Yenilikçi ısı enerji depolama sistemleri üretimi" isimli Avrupa Birliği ERANET NEW INDIGO projesinin bir kısmını oluşturması sebebi ile çalışmamı destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Kurumu (TÜBİTAK)'na katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Gaziosmanpaşa Üniversitesi Polimer Araştırma Laboratuvarı'nda her zaman yanımda bulunan ve tecrübesi ile beni destekleyen değerli hocam ve laboratuvar arkadaşım Dr. Derya Kahraman DÖĞÜŞCÜ (Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi)'ye teşekkür ederim. Ayrıca laboratuvardaki diğer çalışma arkadaşlarıma da birlikte çalışma ve desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Ve de desteği, sevgisi ve sabrı ile her zaman yanımda olan aileme teşekkürü bir borç bilirim.


ELİF ADIGÜZEL

24 Temmuz 2019

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	v
i	
ABSTRACT.....	vi
i	
ÖNSÖZ.....	H
ata! Yer işareti tanımlanmamış.	
İÇİNDEKİLER.....	ix
SİMGE VE KISALTMALAR.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xii
ÇİZELGE LİSTESİ	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	3
2.1. Isıl Enerji Depolama	3
2.2. Isıl Enerji Depolama Teknikleri	3
2.2.1 Gizli Isı Depolama.....	4
2.2.2 Duyulur Isı Depolama	4
2.3. Gizli Isı Depolama Sistemleri	6
2.4. FDM'ler.....	6
2.4.1 Termodinamik Ölçütler	9
2.4.2 Kinetik ölçütler	9
2.4.3 Kimyasal ölçütler.....	9
2.5. FDM'lerin Sınıflandırılması.....	9
2.5.1 Katı-Katı FDM'ler.....	9
2.5.2 İnorganik ve Organik Bileşikler	11
2.5.2.1 Parafinler.....	11
2.5.2.2 Tuz Hidratlar.....	11
2.5.2.3 Polimerler.....	13
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	14
3.1. Çalışmanın Amacı	14
3.2. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Kimyasal Maddeler.....	14

3.2.1	İnorganik FDM (Tuz Hidrat)'ler	18
3.2.2	Yüzey Aktif Maddeler	19
3.3.	Metot.....	21
3.4.	Karakterizasyon	22
3.4.1	Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC)	22
3.4.2	Isıl Performans Analizi.....	23
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	24
4.1.	DSC.....	24
4.1.1	Polimer-Tuz Hidrat Kompozitlerinin DSC Analizleri.....	24
4.1.2	Tuz Hidrat-Süspansiyon Karışımlarının DSC Analizleri	35
4.2.	Isıl performans analizi	46
4.2.1	Polimer-Tuz Hidratların Isıl Performans Analizleri.....	46
5.	TARTIŞMA VE SONUÇ.....	51
6.	KAYNAKLAR.....	52
7.	ÖZGEÇMİŞ.....	54

SİMGE VE KISALTMALAR

Simgeler

$^{\circ}\text{C}$	Celcius derece
g	Gram
dk	Dakika
s	Saniye
K	Kelvin
C_k	Katı haldeki özgül ısı (kJ/kgK)
C_p	Isı kapasitesi
C_s	Sıvı haldeki özgül ısı (kJ/kgK)
ΔH_e	Erime gizli ısısı (kJ/kg)
T_e	Erime sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
T_o	Başlangıç sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
T_s	Son sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)
J	Joule
ΔT	Sıcaklık değişimi

Kısaltmalar

KMS	Karboksimetil selüloz
DSC	Diferansiyel taramalı kalorimetre
FDM	Faz değişim malzemesi
GID	Gizli ısı depolama
PAM	Poliakril amid
PEG	Poli(etilen glikol)
PPG	Poli(propilen glikol)

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Isıl enerji depolamada kullanılan yöntemler	3
Şekil 2.2. Kapsül içerisindeki FDM'lerinin ısı absorplaması ve yayılmasının şematik gösterimi (Anonim, 2015b).....	7
Şekil 2.3. FDM'lerin sınıflandırılması.....	8
Şekil 2.4. Farklı faz değişim malzemelerinin ısı özelliklerinin karşılaştırılması	10
Şekil 3.1 Farklı yüzey aktif maddelerin çalışma prensibi.....	19
Şekil 3.2. Isı akışlı DSC sisteminin şematik diyagramı.....	23
Şekil 3.3. Isıl performans analizi sisteminin şematik diyagramı	23
Şekil 4.1. Şekilce kararlı %5/%95, %10/%90 ve %15/%85 PVA/Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O kompozitlerinin DSC ısı analizleri	24
Şekil 4.2. Şekilce kararlı %5/%95, %10/%90 ve %15/%85 PEG/Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O kompozitlerinin DSC ısı analizleri	26
Şekil 4.3. Şekilce kararlı %5/%95, %10/%90 ve %15/%85 KMS/Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O kompozitlerinin DSC ısı analizleri	27
Şekil 4.4. Şekilce kararlı %5/%95, %10/%90 ve %15/%85 PAM/Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O kompozitlerinin DSC ısı analizleri	28
Şekil 4.5. Şekilce kararlı %5/%95, %10/%90 ve %15/%85 PVA/CaCl ₂ .6H ₂ O kompozitlerinin DSC ısı analizleri	30
Şekil 4.6. Şekilce kararlı %5/%95, %10/%90 ve %15/%85 PEG/CaCl ₂ .6H ₂ O kompozitlerinin DSC ısı analizleri	31
Şekil 4.7. Şekilce kararlı %5/%95, %10/%90 ve %15/%85 KMS/CaCl ₂ .6H ₂ O kompozitlerinin DSC ısı analizleri	33
Şekil 4.8. Şekilce kararlı %5/%95, %10/%90 ve %15/%85 PAM/CaCl ₂ .6H ₂ O kompozitlerinin DSC ısı analizleri	34
Şekil 4.9. Şekilce kararlı PEG 600/Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O karışımlarının DSC ısı analizleri	36
Şekil 4.10. Şekilce kararlı PPG 400/Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O karışımlarının DSC ısı analizleri	37
Şekil 4.11. Şekilce kararlı Triton X-100/Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O karışımlarının DSC ısı analizleri	38
Şekil 4.12. Şekilce kararlı Tween 80/Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O karışımlarının DSC ısı analizleri	39
Şekil 4.13. Şekilce kararlı Span 80/Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O karışımlarının DSC ısı analizleri	40

Şekil 4.14. Şekilce kararlı PEG 600/CaCl ₂ .6H ₂ O karışımlarının DSC ısı analizleri	41
Şekil 4.15. Şekilce kararlı PPG 400/CaCl ₂ .6H ₂ O karışımlarının DSC ısı analizleri	42
Şekil 4.16. Şekilce kararlı Tween 80/CaCl ₂ .6H ₂ O karışımlarının DSC ısı analizleri	44
Şekil 4.17. Şekilce kararlı Span 80/CaCl ₂ .6H ₂ O karışımlarının DSC ısı analizleri	45
Şekil 4.18. Şekilce kararlı PVA/Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O karışımlarının ısı performans analizi	46
Şekil 4.19. Şekilce kararlı PEG/Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O karışımlarının ısı performans analizi	47
Şekil 4.20. Şekilce kararlı KMS/Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O karışımlarının ısı performans analizi	47
Şekil 4.21. Şekilce kararlı PAM/Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O karışımlarının ısı performans analizi	48
Şekil 4.22. Şekilce kararlı PVA/CaCl ₂ .6H ₂ O karışımlarının ısı performans analizi	48
Şekil 4.23. Şekilce kararlı PEG/CaCl ₂ .6H ₂ O karışımlarının ısı performans analizi	49
Şekil 4.24. Şekilce kararlı KMS/CaCl ₂ .6H ₂ O karışımlarının ısı performans analizi	49

ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ve $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ tuz hidratlarının termo-fiziksel özellikleri (Abhat, 1983)	13
Çizelge 3.1. Polivinil alkolün özellikleri	15
Çizelge 3.2. Polietilenglikol özellikleri	16
Çizelge 3.3. Karboksimetilselüloz özellikleri	17
Çizelge 3.4. Poliakrilamid özellikleri	18
Çizelge 3.5. Kullanılan yüzey aktif maddeler ve yapıları	20
Çizelge 3.6. Kompozit yapımında kullanılan polimer ve tuz hidratlar	21
Çizelge 4.1. Şekilce kararlı %5/%95, %10/%90 ve %15/%85 PVA/ $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ karışımlarının DSC ısı analizleri	25
Çizelge 4.2. Şekilce kararlı %5/%95, %10/%90 ve %15/%85 PEG/ $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ karışımlarının DSC ısı analizleri	27
Çizelge 4.3. Şekilce kararlı %5/%95, %10/%90 ve %15/%85 CMC/ $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ karışımlarının DSC ısı analizleri	28
Çizelge 4.4. Şekilce kararlı %5/%95, %10/%90 ve %15/%85 PAM/ $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ karışımlarının DSC ısı analizleri	29
Çizelge 4.5. Şekilce kararlı %5/%95, %10/%90 ve %15/%85 PVA/ $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ karışımlarının DSC ısı analizleri	31
Çizelge 4.6. Şekilce kararlı %5/%95, %10/%90 ve %15/%85 PEG/ $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ karışımlarının DSC ısı analizleri	32
Çizelge 4.7. Şekilce kararlı %5/%95, %10/%90 ve %15/%85 CMC/ $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ karışımlarının DSC ısı analizleri	34
Çizelge 4.8. Şekilce kararlı %5/%95, %10/%90 ve %15/%85 PAM/ $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ karışımlarının DSC ısı analizleri	35
Çizelge 4.9. Şekilce kararlı PEG 600/ $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ karışımlarının DSC ısı analizleri	36
Çizelge 4.10. Şekilce kararlı PPG 400/ $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ karışımlarının DSC ısı analizleri	37
Çizelge 4.11. Şekilce kararlı Triton X-100/ $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ karışımlarının DSC ısı analizleri	38
Çizelge 4.12. Şekilce kararlı Tween 80/ $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ karışımlarının DSC ısı analizleri	39

Çizelge 4.13. Şekilce kararlı Span 80/Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O karışımlarının DSC ısıl analizleri.....	40
Çizelge 4.14. Şekilce kararlı PEG 600/CaCl ₂ .6H ₂ O karışımlarının DSC ısıl analizleri.....	41
Çizelge 4.15. Şekilce kararlı PPG 400/CaCl ₂ .6H ₂ O karışımlarının DSC ısıl analizleri.....	42
Çizelge 4.16. Şekilce kararlı Tween 80/CaCl ₂ .6H ₂ O karışımlarının DSC ısıl analizleri.....	44
Çizelge 4.17. Şekilce kararlı Span 80/CaCl ₂ .6H ₂ O karışımlarının DSC ısıl analizleri.....	45



1. GİRİŞ

Avrupa Birliği ERANET NEW INDIGO projesi kapsamında desteklenen “Yenilikçi Isıl Enerji Depolama Sistemleri Üretimi” isimli projenin bir kısmını oluşturan “Polimer Tuz Hidrat Karışım ve Kompozitlerinin Hazırlanması” isimli bu tez çalışmasında;

Polimer-tuz hidrat karışımlarının ve yüzey aktif madde de içeren kompozitlerin hazırlanması ve tanımlanması çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Isı enerjisi bir maddeyi oluşturan atom veya moleküllerin, kinetik ve potansiyel enerjilerinin toplamıdır ve atomik veya moleküler titreşimler sonucu oluşur. Isı enerjisi, maddenin iç enerjisindeki değişme ile duyulur ısı, gizli ısı, tepkime ısısı ya da tüm bunların birleşimi olarak depolanır. Duyulur ısı depolama metodunda, depolama maddesinin sıcaklığındaki değişim sonucunda depolanan ya da salınan ısıdan yararlanır. Gizli ısı depolamada, faz değişimi gösteren maddeler kullanılır. Depolamaya uygun sıcaklık aralığında depolama maddesinin faz değiştirmesiyle ortaya çıkan gizli ısı vasıtası ile yoğun biçimde ısı depolanır veya salınır. Bu amaçla belirli sıcaklıklarda ergime, buharlaşma veya diğer faz değişimlerine uğrayan maddelerden yararlanır. (Yılmazoğlu, 2010)

Gelişen teknolojiyle birlikte günümüzde ortaya çıkan enerji kullanımındaki artış enerjinin daha etkili kullanımını ve yeni enerji kaynaklarının bulunmasını zorunlu hale getirmiştir (Alkan, 2019). Enerji talebindeki bu hızlı artışın karşılanması için ise, yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin verimli bir şekilde depolanması ve ihtiyacı karşılayacak en uygun dönüşümlerin geliştirilmesi yararlı olacaktır. Enerjinin kullanıldığı alanlarda oluşan atık enerjinin depolanması ve belirli zamanlarda enerji verebilen yenilenebilir enerji kaynaklarının enerjisinin depolanması, enerji temin zamanı ile talebi arasında doğabilecek farkı gidermeyi amaçlamaktadır. Enerji depolama ile enerji sistemlerinin verimliliğini arttırılabilmekte ve enerji tasarrufu sağlanabilmektedir (Aksoy, 2016). Enerjinin etkin kullanımı, daha fazla enerji üretimine kıyasla daha fazla evre dostu bir czmdr. Dolayısıyla, enerji kaynaklarının

ve enerjinin verimli bir şekilde kullanımı ve yenilenebilir enerji kaynakları konusuna olan ilgi her geçen gün artmaktadır. Faz değiştiren maddeler (FDM'ler) yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en popöler olanlardandır (Wang ve ark 2009). Çünkü FDM'ler son derece geniş bir uygulama yelpazesi içerisinde kolaylıkla değerlendirilebilmektedirler.

Genel olarak özetle; Yanıcı olmayan, zehirli olmayan korozif olmayan ve karalı bir kimyasal yapısı olan. Gizli ısı depolama özelliği yüksek, yüksek ısı iletkenliğe sahip, faz değişimi sırasında hacimsel genişlemesi düşük olan. Maliyeti düşük olan maddeler faz değişimli enerji depolama yöntemi için uygundur.

Tuz hidratlar bulunabilirlik, maliyet ve enerji depolama yoğunluğu gibi avantajlarının yanında tersinir çalışmama, aşırı soğuma, korozyon ve benzeri handikaplar nedeniyle sadece bazı aktif sistemlerde değerlendirilebilmektedir. Aktif sistemler mühendislik marifetiyle oluşturulan ve önemli kurulum ve işletme maliyetleri olan sistemlerdir. Pasif sistemler ise genellikle sadece kapsül ve uygulama maliyetiyle değerlendirilebilmektedir. Halen pasif sistemlerde kullanılabilen parafin, yağ asiti, poliöl ve polietilenglikoller tuz hidrata göre oldukça zor ve yüksek maliyetle temin edilebilmektedir. Bu nedenle tuz hidratların handikaplarından arındırılarak pasif sistemlerde kullanılabilmesi oldukça büyük önem arz etmektedir. Zira özellikle binalarda ısıtma ve iklimlendirme uygulamalarında maliyet önemli bir konudur. Tuz hidratlar yapıları gereği genellikle hidrofob özellikte bulunan polimer yapılar içerisinde çözünmezler. Dolayısı ile karışımlarında faz ayrımı meydana gelir. Elektriksel karakterlerin farklılığı dolayısı ile karışmanın ideal olarak oluşturulması imkanı teorik olarak söz konusu değildir. Tuz hidrat ve hidrofob polimer aynı çözücüde çözünmez. Eriterek karıştırma tuz hidratın daha hazırlanma safhasında hidrat suyunu kaybetmesi yani ısı depolama-yayma özelliğini kaybetmesidir. Tuz hidratlar çalışan sistemler olarak hidrofilik polimerik sistemlerde değerlendirilmektedir. Bu sistemlerde hidrat suyu matriks olan polimere aktarılacağından uzlaşma fırsatı bulamayacaktır. Yakın çevrenin su kaynağı olması sistemin tersinir çalışmasını sağlayacaktır. Benzer karakter olan tuz hidrat hidrofilik polimer içerisine daha etkili biçimde dağıtılabilir. Ayrıca hidrofilik polimer yapının ısı iletkenliği diğer ajanlarla kolaylıkla arttırılabilir (Alkan, 2017).

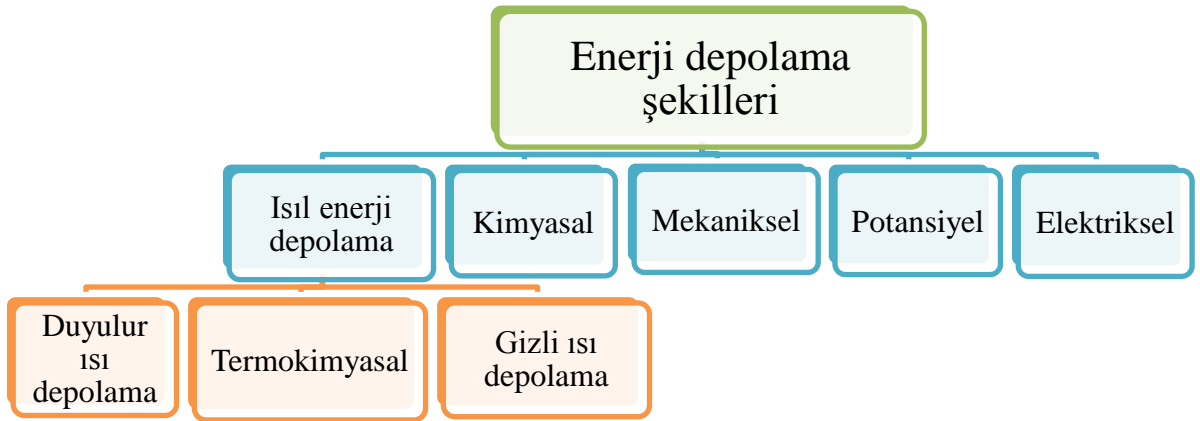
2. KURAMSAL TEMELLER

2.1 Isıl Enerji Depolama

Isıl enerji depolama, maddenin atomik veya moleküler düzeydeki hareketi (titreşim, dönme, öteleme, elektronik geçiş) ile ilişkili enerjisidir. Isıl enerji sıcaklık değişiminden kaynaklanan ısı akışıyla değerlendirilmektedir yani ısı, sıcaklık farkıyla transfer olur. Isı bir sıcaklık farkı oluştuğunda emilir veya yayılır. Isı enerjisinin daha sonra kullanılmak üzere geçici olarak depolanmasına ısı depolama denir. Isı enerjisi temel olarak iki şekilde depolanır. Bu teknikler; duyulur ve gizli ısı depolama teknikleridir (Lane, 1983).

2.2 Isıl Enerji Depolama Teknikleri

Sıcaklık ile birim hacimdeki iç enerji değişimi fazla olan ısı depolama maddeleri kullanılması durumunda, istenilen miktarda ısıyı depolamak için gereken hacim azalmaktadır. Isıl enerjinin 0-90°C gibi düşük sıcaklıkta depolanması için genel olarak kullanılan yöntemler Şekil 2.1’de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Isıl enerji depolamada kullanılan yöntemler

Şekil 2.1’de gösterilen ısı depolama teknikleri arasında en verimli ve ekonomik olan teknik gizli ısı depolama tekniğidir. Gizli ısı depolama tekniğinin ilk sırada bulunmasının sebebi; ısı depolama sistemleri içerisinde yüksek yoğunlukta ve

çoğunlukla sabit sıcaklıkta enerji depolayabilme gibi üstünlükler göstermesidir. Bu amaçla genellikle FDM'ler kullanılır. FDM'lerin son zamanlarda birçok çalışmada kullanılmasının nedeni, yüksek gizli ısı depolama ve salma özellikleridir. Katı-sıvı FDM'lerinin bulunabilirlikleri ve yüksek enerji depolama kapasitelerinden dolayı kullanımı daha yaygın iken katı-katı FDM'ler daha kolay uygulama potansiyeline sahiptirler. FDM'ler; bir maddenin sıcaklığı erime sıcaklığına ulaştığında erimeye başlayan erime süreci boyunca ortamdan ısı absorplayan ve ortam sıcaklığı maddenin katılaşma sıcaklığına kadar azaldığında katılaşma süreci boyunca absorpladığı bu ısıyı ortama salabilen malzemelerdir (Dardir, 2019).

2.2.1 Gizli Isı Depolama

Gizli Isı Depolama (GID); enerjinin, sabit faz geçiş sıcaklığında faz değişim yoluyla madde içerisinde depolanmasına denir (Kılıç ve Öztürk, 1983; Sharma ve Sagara, 2005). Faz geçişi sırasında depolanan ısı miktarının hesaplanmasını gösteren eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$q = mL_e \quad (2.1)$$

GID; duyulur ısı depolama ile karşılaştırılsa önemli iki avantaj ortaya çıkar: Birincisi hacim veya kütle başına sıcaklık değişiminde daha yüksek enerji depolama yoğunluğuna sahip olmalarıdır. İkincisi ise enerji depolama ve geri kazanım olayının sabit sıcaklıkta gerçekleşmesi ve erime sıcaklığına dayanarak hem ısıtma hem soğutma amaçlı kullanım kolaylığıdır (Sharma ve Sagara, 2005). Bu sistemlerde faz değişimi sırasında hacimde oluşan büyük değişim, sistemin yapısını oldukça karmaşık hale getirmektedir. Katı-katı faz değişimi; ısı depolama işlemi, maddenin bir kristal yapıdan başka bir kristal yapıya dönüşmesiyle oluşur. Bu değişim genellikle katı-sıvı faz değişiminden daha düşük gizli ısı değerine ve hacim değişimine sahiptir (Wang ve ark., 2000; Pillai ve Brinkwarth, 1976).

2.2.2 Duyulur Isı Depolama

Duyulur ısı depolama; enerjinin, sıvı ya da katı haldeki bir maddenin ısı depolama yoğunluğundan yararlanılarak depolanmasıdır. Isı depolama maddesinin sıcaklığı

yükseltilecek enerji duyulur biçimde depolanır. Duyulur ısı depolama süresince ortamının sıcaklığı farklılaşır. Depolanmış ısı enerji miktarı; ortamın özgül ısısına C_p , sıcaklık farkına ΔT ve depolama maddesinin miktarına (m) bağlıdır. Eşitlik 2 duyulur biçimde depolanan veya salınan ısının hesaplanması için kullanılabilen bir denklemi göstermektedir.

$$Q = \int_{T_i}^{T_s} m C_p dT = m C_p (T_s - T_i) \quad (2.2)$$

Isı enerjisi depolaması kullanım zamanlarına göre ikiye ayrılmaktadır. Bunlar kısa zamanlı depolama (gündüz-gece) ve uzun zamanlı depolama mevsimlik (yaz-kış)'dir. Kullanım amaçlarına ve sıcaklıklarına göre sıcak, soğuk veya her iki amaç için sıcak ve soğuk depolama işlemleri yapılabilir. Uzun zamanlı depolama ile hedeflenen, yaz sıcağını depolayıp kışın kullanmak veya kış soğuğunu depolayıp yazın kullanabilmektir. Isı enerjisinin depolanması, enerjinin elde edilmesi ve kullanımı arasındaki yer ve zaman farklılığını kapatarak, hem ısıtma hem de soğutma için alternatif olanaklar sağlar. Konut, ulaşım, sanayi ve tarım sektörlerinde uygulanan depolama işlemi, elektrik enerjisi kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtlarından tasarruf sağlayarak enerji verimliliğini arttırdığı ispatlanmıştır. Isı depolama işlemi, enerji verimliliği ve enerjinin devamlılığı açısından çok önemli yer kaplar.

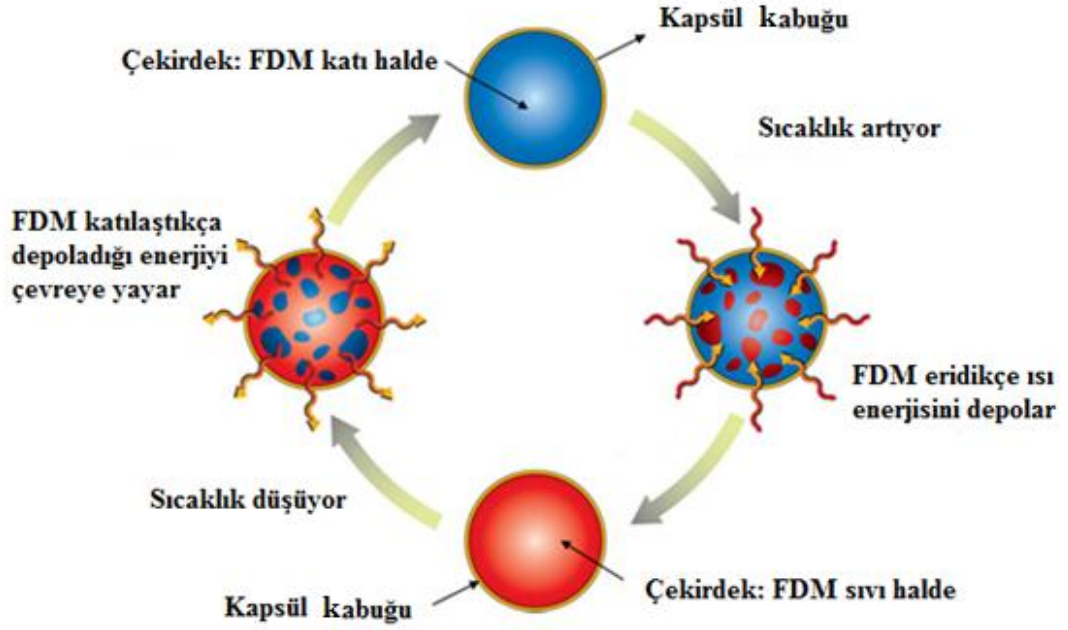
Depolama işleminin yapılabilmesi için bir ısı kaynağına ihtiyaç duyulur. Bu ısı kaynağı bir santralin atık ısısının kullanımı olabileceği gibi güneş enerjisi, jeotermal enerji vb ısı kaynakları da olabilir. Güneş enerjisi zamana bağlı olarak farklılık gösteren ve kesikli bir yapıya sahip enerji türüdür. Bu özelliği sebebi ile güneş enerjisine bağlı çalışan sistemlerin yük faktörü kesikli bir yapıya sahip enerji türlerine nazaran çok daha düşüktür. Güneş enerjisi tarafından elde edilen ısı enerjisinin depolanmasıyla beraber yük faktörü artmaktadır, bununla birlikte sistemlerin geri ödeme süreçleri kısalmakta ve sistemler bu sayede ekonomik hale gelmektedir. Bu depolama işleminin gerçekleştirilmesinde birçok parametre etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Depolama işlemi için kullanılacak olan ortam yapılacak işlem türü ile doğrudan ilişkilidir. Örneğin, su ısıtma sistemlerinde duyulur ısı yardımı ile depolama, hava ısıtma sisteminde ise çakıl taşı yatakları daha kullanışlıdır. Bir binanın pasif olarak ısıtılması işleminde ısı enerjisinin bina duvarlarında depolanması gerekir (Yılmazoğlu, 2010).

2.3 Gizli Isı Depolama Sistemleri

Zhang ve arkadaşları, çalışmalarında FDM'le gizli ısı depolama yöntemlerinin binalarda uygulanabilirliğini incelemişlerdir (Zhang ve ark., 2007). Uygulamalarda kullanılan FDM'lerin ideal olabilmesi için, yüksek bir gizli ısı, yüksek ısıl iletkenlik, yüksek özgül ısı kapasitesi ve küçük hacim değişimine sahip olmalıdır. Ayrıca korozif ve toksik olmamalıdır ve aşırı soğuma özelliği göstermemelidir (Ghoneim ve ark., 1991). Gizli ısı depolama özellikli maddeler FDM'ler olarak isimlendirilmektedirler (Mondal, 2008). Faz değişim işlemi sırasında, FDM tamamen eriyinceye veya katılaşmaya kadar sıcaklığı sabit kalır (Mattila ve ark., 2006). Glauber tuzu için katı, sıvı özgül ısıları ve gizli ısı değerleri sırasıyla, 1.95 kJ/kgK, 3.55 kJ/kgK ve 250 kJ/kgK olarak alınmıştır (Sharma ve ark., 2009). Bryant ve Colvin 1994 yılında kumaşlar için mikrokapsüllenmiş FDM ve plastik kristaller içeren kaplama ürünü geliştirilmiştir (Bryant ve Colvin, 1994). Aynı araştırmacılar 1995 yılında ise makro-paketlenmiş FDM ürünleri giysi yapısına ilave ederek serinletme amaçlı giysi tasarlamışlar, 1997 yılında ise ayakkabı, giysi, otomobil vb ortamlarda yalıtım malzemesi olarak kullanılmak üzere mikrokapsüllenmiş köpük yalıtım malzemesi geliştirmişlerdir (Bryant ve Colvin 1995; Bryant ve Colvin, 1997).

2.4 FDM'ler

FDM'ler, ortam sıcaklığı maddenin erime sıcaklığına yükseldiğinde, erimeye başlayan ve erime prosesi boyunca ortamdan ısı alan tam tersi durumda sıcaklık maddenin donma noktasına kadar düştüğünde ise donma prosesi boyunca depoladığı bu ısıyı ortama geri verebilen, yüksek ısıl enerji depolama kapasitelerine sahip maddelerdir. FDM'ler 1980'li yılların başlarında ilk olarak NASA tarafından yürütülen araştırmalarda astronotları aşırı sıcaklık dalgalanmalarından korunmak amacıyla kullanılmıştır (Qi, 2019). Günümüzde hala önemini arttırarak çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. FDM'lerin sürdürülebilir şekilde uzun süreli kullanılabilmesi için mikrokapsül denilen koruyucu bir kabuk içinde tutulması gerekir. Şekil 2.2'de kapsül içerisinde hapsedilmiş FDM'nin sıcaklık değişimine bağlı olarak ısı absorplaması ve ısı yayması şematik olarak gösterilmiştir.

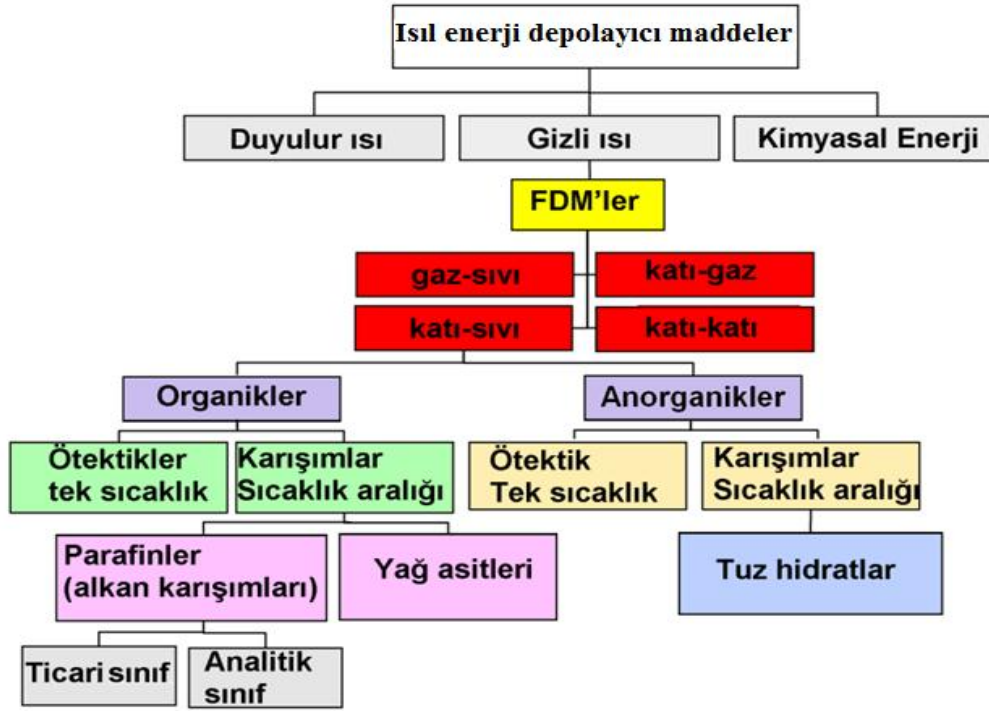


Şekil 2.2. Kapsül içerisindeki FDM'lerinin ısı absorplaması ve yayılmasının şematik gösterimi (Anonim, 2015b)

Tekstilde ısı yalıtımı, geleneksel olarak, hapsolmuş havanın kilit rol oynadığı hacimli kompozit malzemelerden yapılır. 1980'lerin sonlarından bu yana piyasada yeni bir yalıtım malzemesi türü ortaya çıktı, FDM'ler (Salaün, 2019). Tekstil ürünlerine termal konfor kazandırılması için mikrokapsüllenmiş FDM'leri kullanılmaktadır (Alay, 2012). Mikrokapsüller FDM'lerin taşınması ve tekstil ürününde bozulmadan etkinliğini sürdürmesi açısından gereklidir. MikroFDM çekirdek olarak FDM ve şekli korumak ve FDM'nin faz değişim işlemi sırasında sızıntısını önlemek için bir polimer veya inorganik kabuktan oluşur (Alkan, 2009). Tekstil ürünlerine kullanılacak olan MikroFDM'lerde uygun kabuk ve çekirdek materyali seçimi tekstil maddesinin üretim ve proses işlemleri ile uyumlu olmalıdır. Seçilecek kabuk ve çekirdek materyali yüksek termal ve mekanik stabiliteye sahip olmalıdır. Literatürde kabuk materyali olarak doğal veya sentetik polimerler kullanılırken çekirdek materyali olarak daha çok parafin, yağ asidi ve bunların ötektik karışımların kullanılmaktadır (Alay, 2011).

Isıl enerji depolama için kullanılan FDM'ler belirli faz değiştirme sıcaklıklarında ortamdaki ısı enerjisini soğurup yaymak suretiyle ısı transferi sağlayan maddelerdir. Isıl enerji depolama için kullanılan FDM'ler genellikle katı-sıvı FDM'lerdir ve bundan

dolayı kapsüllenmeleri gerekir. Mikrokapsüllenmiş FDM'ler (MikroFDM'ler), FDM'lerin büyük yüzey alanlarından dolayı ısı transfer oranlarının yüksek olduğu ve küçük olmaları dolayısı ile de kolay uygulanabildiği türevidir. MikroFDM'ler FDM'lerin ince ve esnek bir polimer kabuk içerisine hapsedilmesi ile üretilmektedirler (Alay ve ark, 2009). FDM'ler, ısıtma sistemi için ısı depolamak amacıyla, depolama ünitelerinde yaygın olarak kullanılır. (-20) - (+150) °C sıcaklık aralığında eriyebilen FDM'ler, güneş enerjisi, ısı pompaları vb soğutma sistemleri için önemlidir. Yüksek erime ısı ile 0-120 °C sıcaklık sınırlarında eriyen çok sayıda organik ve inorganik yapılı materyaller bulunmaktadır. Bu materyallerin gizli ısı depolama sistemlerinde ısı depolama materyali olarak kullanılabilmesi için, termodinamik, kinetik ve kimyasal yönlerden belirli özellikler göstermeleri gerekir. Ayrıca materyalin maliyeti ve çok miktarlarda bulunabilir olması da dikkate alınmalıdır. FDM'lerinin sınıflandırılması Şekil 2.3' de verilmiştir (Abhat, 1983).



Şekil 2.3. FDM'lerin sınıflandırılması (Abhat, 1983).

2.4.1 Termodinamik Ölçütler

FDM'lerle ilgili bazı termodinamik yeterlilik ölçütleri bulunmaktadır. Mesela FDM'lerin erime noktası istenilen çalışma sıcaklığı sınırlarında olmalıdır. Birim kütesinin erime ısı yüksek olmalıdır. Küçük hacimdeki depolara yerleştirildiğinde yüksek verim elde etmek için yoğunluğu fazla olmalıdır. Önemli oranda duyulur ısı da depolayabilmek için özgül ısı yüksek olmalıdır. Isıl iletkenliği yüksek olmalıdır. Faz değişiminde ısıl genleşme katsayısı düşük olmalıdır. Ayrıca materyal tamamıyla eriyerek tekdüze erime göstermelidir ve faz değiştirme sonucunda hacim değişimi az olmalıdır.

2.4.2 Kinetik ölçütler

Donma sırasında çok az aşırı soğuma etkisi göstermeli veya hiç göstermemelidir.

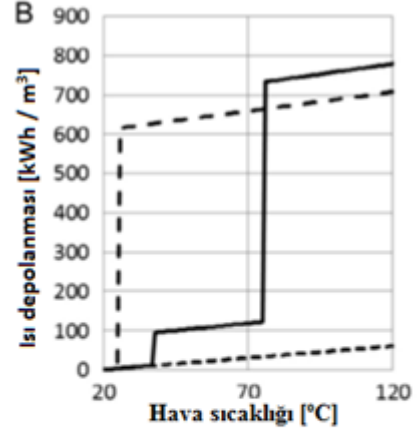
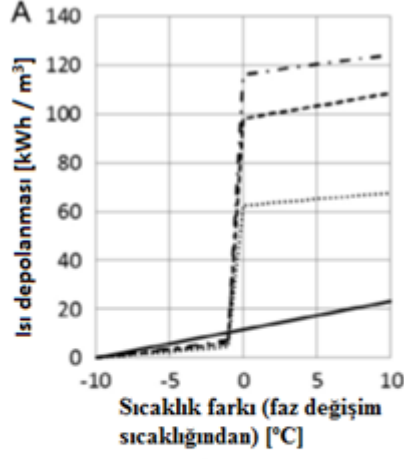
2.4.3 Kimyasal ölçütler

FDM'lerin kimyasal özellikleri değişmemelidir. FDM kullanım süresinin uzun olması için kimyasal ayrışmaya uğramamalıdır. Kullanılan depo malzemesi korozif etkili olmamalıdır. FDM'ler yanıcı, zehirli ve patlayıcı özelliklerde olmamalıdır.

2.5 FDM'lerin Sınıflandırılması

2.5.1 Katı-Katı FDM'ler

Katı-katı faz geçişinde ısı değişimi, ısı depolama materyali ve ısı taşıyıcı akışkan arasında, herhangi bir ısı değişim yüzeyi olmaksızın doğrudan gerçekleşir. İlke olarak, katı-katı faz değişimine uğrayan FDM'nin enerji depolama yeteneği, erime özelliği gösteren FDM'lerden daha düşüktür. Katı-katı faz değişimine uğrayan materyaller arasından yüksek yoğunluklu polietilen, ısı depolama materyali olarak geniş uygulama alanı bulmuştur. Katı-katı FDM'lerin muhafazası için depolama kapları gerekmez ve dolayısıyla maliyetleri düşüktür. Faz değiştirme sıcaklıkları ve faz değişimi sırasında açığa çıkan ısıya bağlı olarak, ısı depolama için katı-katı faz değişiminin gerçekleştiği en uygun organik materyaller Şekil 2.4'de verilmiştir (Michaels, 1980).



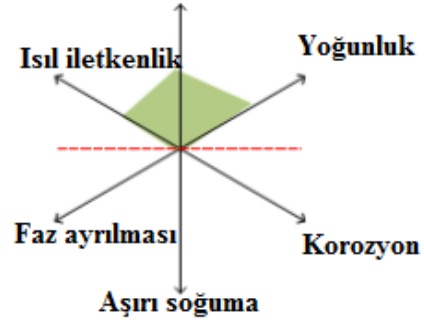
— Su (hissedilir ısı)
 ---- Kalsiyum Klorür Heksahidrat
 Parafin Balmumu
 - . - Sodyum Asetat Trihidrat

— Magnezyum sülfat heptahidrat sertleşmesi (susuzlaştırma)
 - - Magnezyum sülfat heptahidrat boşalması (nemlendirici)
 - . - Paketlenmiş kaya yatağı (Hassas Isı)

Hacimce füzyon ısısı

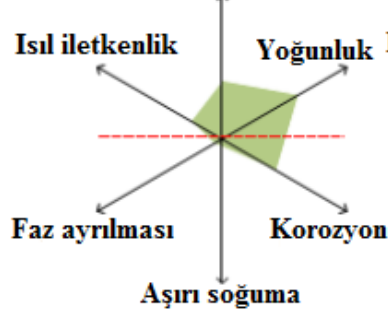


Hacimce füzyon ısısı



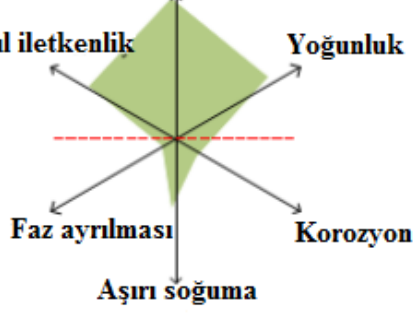
a) Tuz hidratları ve ötektikleri b) Parafin mumları

Hacimce füzyon ısısı



c) Yağ asitleri

Hacimce füzyon ısısı



d) Soğutucu hidratlar

Şekil 2.4. Farklı faz değişim malzemelerinin ısıl özelliklerinin karşılaştırılması

2.5.2 İnorganik ve Organik Bileşikler

İnorganik tuzların erime ısıları yüksektir. Organik bileşiklerin erime sıcaklığı geniş aralıkta yer alır. Bununla birlikte, ısı depolama kapasiteleri daha düşüktür. Organik bileşiklerin birim hacimlerinin ısı depolama kapasitesi, inorganik tuzlarınkinin yaklaşık yarısı kadar olup, 150–200 mj/m³ arasında değişir. Tuz hidratlarının ısı depolama kapasiteleri 250–400 mj/m³ arasındadır (Paksoy ve ark., 1992). Organik bileşikler, gerekli depolama hacminin fazla olması gibi olumsuz özelliklere sahip olmakla birlikte, inorganik bileşiklerle karşılaştırıldığında, ısı depolama materyali olarak bazı önemli özelliklere sahiptir.

2.5.2.1 Parafinler

Parafinler, oda sıcaklığında wax kıvamına sahip büyük oranda ağır hidrokarbonlardan oluşan maddelerdir. Kimyasal olarak parafin wax'lar başlıca zincir sonlarında 2-metil grupları gibi düşük miktarda kuvvetli zincire sahip hidrokarbonlardan oluşurlar. Parafinler, yüksek erime gizli ısısına sahip olmaları ve geniş bir sıcaklık aralığı içinde bulunmalarından dolayı gizli ısı depolama maddeleri olarak nitelendirilirler.

2.5.2.2 Tuz Hidratlar

Tuz hidratlar $M.nH_2O$ formülü ile karakterize edilirler ve M burada bir inorganik bileşiktir. Tuz hidratlar ısı depolama yoğunluklarından dolayı ısı depolama maddelerinin önemli bir sınıfını oluştururlar. Bu maddelerin FDM olarak kullanılmaları sırasında karşılaşılan en büyük problem düzensiz erime davranışı göstermeleridir. Erime esnasında yoğunluk farkından dolayı katı faz depolama kabının alt kısmında birikir. Bu nedenle özel önlemler alınmazsa katılaşma işlemi süresince katı faz gerçek tuz hidratı oluşturmak için doygun çözelti ile birleşemez. Tuz hidratların kullanımı sırasında karşılaşılan diğer bir problem, sıvı tuz hidratın aşırı soğumasına neden olan düşük çekirdekleşebilme özelliğidir. Uygun önlemler alınarak aşırı soğuma önlenabilir ya da azaltılabilir. Tuz hidratlar genellikle aktif sistemlerde kullanılırlar ve aktif sistemde tuz hidratların performansı işlem koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Tuz hidratların pasif sistemde kullanılmamanın nedeni geri dönüşü olmayan çalışma koşullarıdır. Pasif sistemler de oluşan handikapları ortadan kaldırmak için tuz hidratlar makro kapsüllü

metal kaplarda depolanmıştır ancak uzun süreli kullanımlarda oluşan problem ortadan kalkmamıştır (Alkan, 2016).

Tuz hidratların organik FDM'lerine göre üstünlükleri şunlardır:

- 1- Tuz hidratların maliyetleri organik FDM'lerine göre son derece ekonomiktir. Mesela Glauber tuzu olarak bilinen ve proje kapsamında kullanılan sodyum sülfat dekahidrat ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) parafine göre 10 kat daha ucuzdur. Glauber tuzu doğal olarak mevcutken veya işlem artığı olarak ortaya çıkarken Parafin maliyeti olan petrokimyasal bir üründür. Sık kullanılan diğer organik maddelerden yağ asitleri ve polietilen glikoller ise parafinlerden 5 ila 20 kat arasında daha yüksek maliyete sahiptirler.
- 2- Tuz hidratların hidrat suyunu alıp bırakmaları sırasındaki ısı depolayıp salma yetenekleri organik FDM'lerine nazaran daha yüksektir.
- 3- Tuz hidrat sistemlerinin ısıl iletkenlikleri genellikle daha iyidir.

Tuz hidratların bilinen dezavantajları ise;

- 1- Tuz hidratların kullanımı genellikle aktif sistemlerde özel tasarlanmış ısı depolama-salma sistemlerinde mümkün olabilmektedir. Pasif sistemlerde kullanım kısıtlı olarak mümkün olabilmektedir.
- 2- Tuz hidratlarda daha yüksek oranda aşırı soğuma davranışı görülmektedir.
- 3- Tuz hidratlarda su kaybı tersinir ısı transferini kısıtlamaktadır.

Çizelge 2.1'de kalsiyum klorür heksahidratın ($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) ve $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ termofiziksel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.1. $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ve $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ tuz hidratlarının termo-fiziksel özellikleri (Abhat, 1983)

Tuz hidratlar	Erime sıcaklığı (°C)	Erime ısısı (kJ/kg K)	Yoğunluk (kg/dm³)	Özgül ısı (kJ/kg)
$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	29,7	171,0	1,7	1,6 (katı)
$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	32,4	254,0	1,5 (sıvı) 1,5 (katı)	1,9 (katı)

2.5.2.3 Polimerler

Polimerler, uygun koşullarda farklı birimlerle birleşerek büyük moleküller oluşturmaya yatkın fonksiyonel grupları bulunan monomer adı verilen bileşiklerin kovalent bağlarla bağlanarak oluşturdukları yapılardır (Akovalı, 1884).

Sentetik polimerlerin üretilmesinden önce insanoğlu giyinme, dokuma, barınma ve beslenme amaçlı gereksinimlerini yün, pamuk, jüt, keten, selüloz, nişasta türü doğal polimerlerden sağlamışlardır. Sentetik polimerler ile ilgili ilk çalışmalar 1829 yılında kauçuğun kükürtle vulkanize edilmesi ile Charles Goodyear tarafından başlatılmıştır. 1930'lardan başlamak üzere, özellikle II. Dünya Savaşı'ndan sonra sentetik polimerlerin ticari boyutlarda üretilmesinde büyük bir artış görülmüştür (Saçak, 2008).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada, faz değişim yoluyla ısı depolama amacıyla bazı tuz hidratların [$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ - Kalsiyumklorür heksahidrat ($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)] hidrofilik polimerlerle [Poli(vinil alkol) (PVA), Poli(etilen glikol) (PEG), Karboksimetilselüloz (KMS), Poli(akril amid) (PAM)] kompozitleri ve PEG 600, Poli(Propilen glikol) [PPG 400], Triton X-100, Tween(80), Span(80) yüzey aktif maddeleri ile karışımları hazırlanmıştır.

3.2 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Kimyasal Maddeler

Polimer olarak; [PVA], [PEG], [KMS], [PAM]

İnorganik FDM (Tuz Hidrat) olarak; $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ -[$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$]

Yüzey aktif madde olarak; PEG 600, PPG 400, Triton X-100, Tween(80), Span(80)

3.2.1. Polimerler

PVA

PVA; PVAL, PVOH, PVA-OH veya PVAl şeklinde gösterilirler. Yan grup olarak hidroksil grubu takılı olan oldukça basit kimyasal yapıya sahip bir polimerdir. Monomeri olan vinil alkol, kararlı halde bir monomer olmadığından tautomerisini oluşturacak asetaldehit şekline dönüşür. Bu nedenle de PVA, vinil asetatın poli(vinil asetat)'a (PVAc) polimerleştirilmesi, sonrasında da PVA'nin PVA'ya hidroliz edilmesiyle elde edilir. Fakat hidrolizde de %100 dönüşüm gözlenmez. Bu nedenle PVA her zaman için PVAc ile kopolimer şeklinde bulunur. Ticari olarak en yüksek hidrolize PVA %98,5'tir. Çalışmada kullanılan PVA'nın hidrolize olma derecesi ise %86.7-88.7'dir.

Hidroliz ve polimerleşme derecesi, özellikle PVA'nın sudaki çözünürlüğünü oldukça etkilemektedir. Yüksek derecede hidrolize olmuş PVA, suda düşük çözünürlüğe

sahiptir. Sudaki çözünürlüğü asetat hidrolizinden dolayı %87-89 ile sınırlıdır (Chaouat ve ark., 2008). %70 oranında asetat grubunun bulunduğu polimerler organik çözücülerde, %30 oranından az asetat grubu içeren polimerler ise suda çözünür. Polimer yapısı içerisindeki hidrofobik asetat grupları, birbirleriyle bağlanan hidroksil gruplarının molekülleri arası ve molekül içi hidrojen bağı oluşumunu zayıflatır. Çözünmenin gerçekleşebilmesi için sıcaklığın 70 °C'ye yükseltilmesi gerekir. PVA amorf yapıda ataktik olmasına karşın, OH gruplarının yeterince küçük oluşları nedeniyle hidrojen bağı yapmaları sonucunda kristal hale de geçebilirler. Asetat gruplarının varlığı, ısı ile işlemle PVA'nın kristallenebilirliğini de etkiler. Yüksek miktarda hidrolize olmuş PVA'nın kristallenmesi daha zor gerçekleşir. PVA kristallerinin erime sıcaklık aralığı 220-240 °C arasındadır. Su varlığında bu camsı geçiş sıcaklığı belirgin oranda düşer (Finch, 1973). Çizelge 3.1'de PVA'nın fiziksel özellikleri tablo halinde verilmiştir.

Çizelge 3.1. PVA'nın fiziksel özellikleri

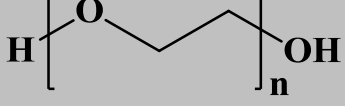
Molekül Ağırlığı	~205000
Molekül Yapısı	$\left[\begin{array}{c} \text{OH} \\ \\ \text{---} \text{C} \text{---} \text{C} \text{---} \\ \quad \quad \end{array} \right]_n$
Yoğunluk	1,2-1,3 g/cm ³
Erime Noktası	220-240,0 °C
Kaynama Noktası	228,0 °C
Alevlenme Noktası	79,4 °C

PEG

PEG, etilen oksitin polimerizasyonu neticesinde elde edilir. PEG poli(etilen oksit) olarak adlandırılır. Suda çözünebilen ve zehirli olmayan sentetik polieterdir. PEG 1000, PEG 1500, PEG 4000, PEG 6000, PEG 9000; çok çeşitli sanayilerde emülgatör, yağlayıcı ve kalıp ayırıcı olarak kullanılmaktadır. Ortalama mol kütlesi 1000 ya da daha fazla olan PEG'ler 23°C'de katıdırlar. PEG'ler, suda çözünür polieter alkollerdir. Çözücüler, yağlayıcılar ve dağıtıcılar olarak çeşitli uygulamalarda kullanılırlar. Ayrıca likitlerin viskozitesini modifiye etmek için kullanılabilirler ve ısı transfer ve hidrolik

sıvılar olarak da değerlendirilirler. PEG'ler ayrıca organik sentezlerde ara madde olarak kullanılırlar. Çizelge 3.2'de PEG'in fiziksel özellikleri tablo halinde verilmiştir.

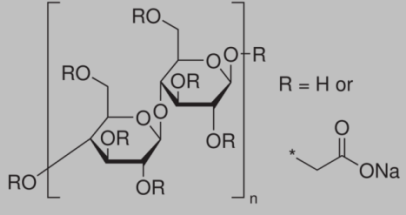
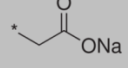
Çizelge 3.2. PEG'in fiziksel özellikleri

Molekül Ağırlığı	20000
Molekül Yapısı	
Yoğunluk	1.1 g/cm ³
Erime Noktası	63-66,0 °C
Kaynama Noktası	250,0 °C
Alevlenme Noktası	171-235,0 °C

KMS

Değişen viskozitelerde mevcut olan çözünür KMS'lar (KM-selüloz, KMS), emülsiyonları stabilize etmek için viskozite değiştiriciler (kolaylaştırıcılar) olarak ve yağların kimyasal dağıtıcıları ve nanotüpler gibi diğer karbon yapılar olarak kullanılırlar. KMS'ler, ilaç dağıtımı için biyofilmler, emülsiyonlar ve nanoparçacıklar gibi biyoyapıların geliştirilmesinde kullanılır. KMS, düşük viskoziteli çözeltileri sulu çözeltileri kıvamında tutmak için kullanılabilir. Viskozite, konsantrasyon ve sıcaklığa bağlıdır. Sıcaklık arttıkça viskozite azalır. Konsantrasyon arttıkça viskozite artar. Düşük, orta ve yüksek viskoziteli KMS süspansiyon maddeleri olarak kullanılır. Düşük viskoziteye sahip KMS genellikle sulu çözeltilerde kullanılır. Orta viskoziteye sahip KMS, şurup gibi görünen solüsyonlar yapmak için kullanılır. Yüksek viskoziteye sahip KMS, krema ya da losyona benzeyen bir karışım yapmak için kullanılır. Çizelge 3.3'de KMS'nin fiziksel özellikleri tablo halinde verilmiştir.

Çizelge 3.3. KMS'nin fiziksel özellikleri

Molekül Ağırlığı	265204
Molekül Yapısı	 <p>R = H or </p>
Yoğunluk	1.1 g/cm ³
Erime Noktası	300°C
Kaynama Noktası	527,1°C
Alevlenme Noktası	286,7°C

PAM

PAM suda çözünür lineer polimerlerin serbest radikal polimerizasyonu ile akrilamid monomerinden üretilir. PAM sıvılar arasındaki sürtünme direncini azaltabilir. İyon özellikli, iyonik olmayan bileşene sahip ve anyonik katyonik olabilen amfoterik yapıdadır. PAM, asetik asit, akrilik asit, kloroasetik asit, etilen glikol gibi birkaç polar organik çözücü haricinde, metanol, etanol, aseton, etil eter, yağlı hidrokarbon ve aromatik hidrokarbon gibi çoğu organik çözücüde çözünmez. Ancak bu organik çözücülerin çözücü potansiyeli de sınırlıdır ve genellikle ortamın ısıtılması gerekir, aksi takdirde uygulama değeri yoktur. Uygun düşük konsantrasyonda PAM çözeltisi ağ yapı olarak kabul edilebilir. Konsantrasyon yüksek olduğunda, çözelti jelatinimsidir çünkü çözelti birçok zincir temas noktası içerir. Çizelge 3.4'de PAM'nin fiziksel özellikleri tablo halinde verilmiştir.

Çizelge 3.4. PAM'nin fiziksel özellikleri

Molekül Ağırlığı	5000000 °C
Molekül Yapısı	$\left[\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{HC} \\ \\ \text{C=O} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array} \right]_n$
Yoğunluk	1.3 g/cm ³
Erime Noktası	246-250,0 °C
Kaynama Noktası	>200,0 °C

3.2.1 İnorganik FDM (Tuz Hidrat)'ler

Na₂SO₄.10H₂O

Soydum sülfat, sülfürik asidin soydum tuzudur. Katı, beyaz ve kristal hâlinde bulunur. Suda çözünür ve sulu çözeltisi nötrdür. Doğal kaynaklardan (göl ve deniz suları), tabii minerallerden, yeraltından ve kimyasallardan yan ürün olarak üretilmektedir.

Na₂SO₄.10H₂O halinde merablit minerali olarak bilinen doğal formunda bulunur ve bu halinin işlenmemiş formuna Glauber tuzu denir. Fiziksel ve kimyasal özellikleri ise Çizelge 2.1' de verilmiştir.

CaCl₂.6H₂O

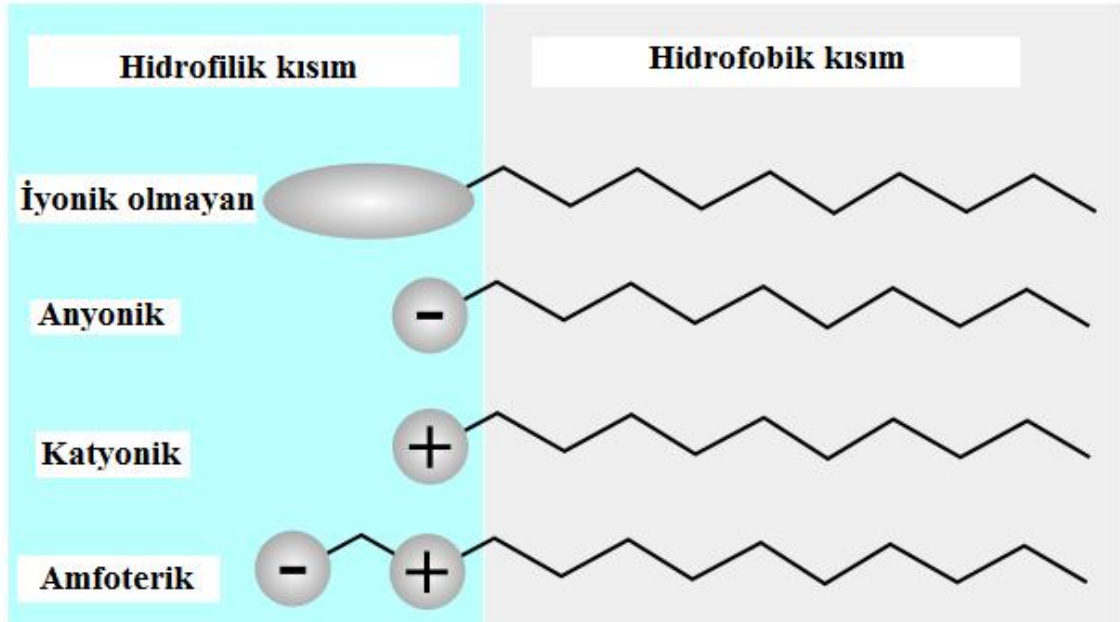
Kalsiyum ve klorun oluşturduğu tuz formudur. Oda sıcaklığında katı halde bulunan iyonik yapıdaki tuzlardan biridir. Direk olarak kireç taşından üretileceği gibi, Solvay işlemi sonucunda yüksek oranlarda yan ürün olarak da elde edilir. Higroskopik yapısı olduğundan dolayı, kapalı kap içerisinde saklanması gerekir.

Suda çözünmesi ekzotermik olarak bilinir. Düşük donma noktasında ve yüksek kullanım alanını yaygındır. Su içerisinde ve alkolde çözünür. Çözelti içerisinde kalsiyum iyonu kaynağı olarak işlev görür. Kalsiyum bileşiklerinin çözünememesinden

dolayı, çökelmeye sebep olur. Fiziksel ve kimyasal özellikleri ise Çizelge 2.1' de verilmiştir.

3.2.2 Yüzey Aktif Maddeler

Yüzey aktif madde ismi sabun, deterjan, emülsiyon oluşturan maddeler, ıslatıcı maddeler için kullanılan genel bir isimdir. Bu maddeler bulunduğu ortamın, yüzey gerilimini etkileyen suyu seven (hidrofilik) ve suyu iten (hidrofobik) kısımlardan oluşan maddelerdir. Yüzey aktif maddeler belli bir yüzey aktivitesine sahip olduklarından suda çözündüklerinde düşük konsantrasyonlarda bile olsalar içerisinde çözündükleri çözücülerin yüzey enerjisini ani olarak ve büyük ölçüde değiştirirler (çoğunlukla düşürürler). Çözücü sıvının yüzey veya ara yüzey özelliğini belirgin bir şekilde değiştirirler. Yüzey aktif maddelerinin yüzey aktiviteleri, çeşitli yüzey özelliklerinin (yüzey gerilimi vb) ölçülmesiyle belirgin hale getirilebilir. Yüzey aktif maddelerle diğer çözünmüş maddeler arasındaki fark, yüzey aktif maddelerin farklı bir koloidal çözelti tipi oluşturmasıdır (Çeltikçi, 2013). Yapılan bu çalışmada mikro parçacıkların kararlı olmasını sağlamak amacıyla bir yüzey aktif madde kullanılmıştır. Kullanılan yüzey aktif maddeler ve yapıları Çizelge 3.5'de verilmiştir.



Şekil 3.1 Farklı yüzey aktif maddelerin çalışma prensibi

3.3 Metot

Polimer tuz hidrat kompozitlerin hazırlanması ve tanımlanması

Isı enerjisinin depo edilebilmesi için gerekli olan ortam tuz hidratların kristal örgüsünü muhafaza ettiği ortam olduğu düşüncesinden hareketle polimer-tuz hidrat karışımları heterojen formda hazırlanılarak sabit koşullarda test edilmiştir. Bu şekilde hazırlanan karışımlar aşağıda yer almaktadır. Çizelge 3.6'da kompozit yapımında kullanılan polimer ve tuz hidratlar verilmiştir.

Çizelge 3.6. Kompozit yapımında kullanılan polimer ve tuz hidratlar

Karışım	Polimer	Tuz Hidrat
1	PVA	Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O
2	PEG	Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O
3	KMS	Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O
4	PAM	Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O
5	PVA	CaCl ₂ .6H ₂ O
6	PEG	CaCl ₂ .6H ₂ O
7	KMS	CaCl ₂ .6H ₂ O
8	PAM	CaCl ₂ .6H ₂ O

Polimer-tuz hidrat kompozitlerinin hazırlanması; 1 gram polimer alınıp yeterli miktarda su ile çözülür. Çözünme tamamlandıktan sonra üzerine 9 gram tuz hidrat ilave edilmiştir. Tuz hidrat katı partiküllerin kompozit sistem içerisinde homojen olarak dağıtılabilmesi için sistem mekanik olarak karıştırılır. Son olarak oluşturulan kompozitler kurumaya bırakılır. Tuz hidrat eklenip karıştırılan karışımların çeker ocakta bekletilmesi ile kompozitler son haline getirilir. Bu hazırlanan çözelti %10/%90'luk olup aynı çözeltinin %5/%95 ve %15/%85'liği de yapılmıştır.

Tuz hidrat süspansiyonlarının hazırlanması ve tanımlanması

Proje kapsamında üçüncü grup çalışma olarak bir seri tuz hidrat farklı özelliklerde yüzey aktif maddeler kullanılarak ısıl bakımdan kararlı hale getirilmişlerdir. Isıl kararlılığın ispatlanması için DSC tekniği kullanılmıştır. Ancak bu grafikler için

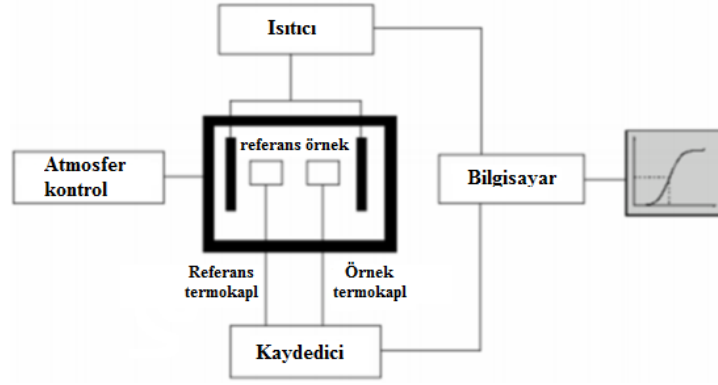
yeniden analiz yapılmayacak olup sadece hesaplama yapılacağından fazla bir çabaya gerek bulunmayacaktır.

Yüzey aktif Madde-tuz hidrat karışımlarının hazırlanması; 1 gram yüzey aktif madde alınıp yeterli miktarda su ile çözülmüştür. Çözünme tamamlandıktan sonra üzerine 9 gram tuz hidrat ilave edilmiştir. Tuz hidrat katı partiküllerin kompozit sistem içerisinde homojen olarak dağıtılabilmesi için sistem mekanik olarak karıştırılmıştır. Son olarak oluşturulan karışımlar kurumaya bırakılmıştır. Tuz hidrat eklenip karıştırılan karışımların çeker ocakta bekletilmesi ile son hali üretilmiştir.

3.4 Karakterizasyon

3.4.1 Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC)

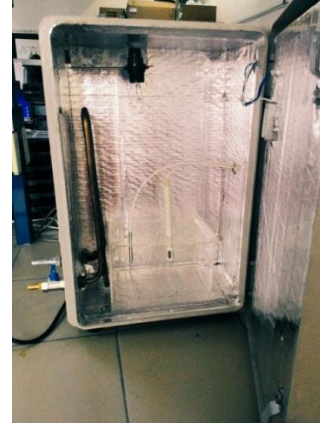
DSC analiz metodu, önceden belirlenmiş bir programa göre numune ve referans ısıtılırken numune ve referans arasındaki sıcaklık farkını, sıcaklığın veya zamanın fonksiyonu olarak inceleyen bir ısı yöntem olarak tanımlanabilir. DSC analiz tekniğinde numune ve referans arasında sıcaklık farkı oluşturulmasına izin verilmez. Bu nedenle DSC, numune sıcaklığı ve referans sıcaklığının aynı olması için numuneye uygulanan enerjiyi ölçer. Analiz işlemi süresince, ısı akışı referans ve numune maddenin her ikisine ait elektrikli ısıtıcılar üzerinden sağlanır. Referans ve numune madde alüminyumdan yapılmış küçük krozelere konularak, disk üzerindeki platformların üzerine yerleştirilir. Isı, diskler üzerinden krozelere, oradan da numune ve referansa iletilir. Referans ve numune diferansiyel ısı akışı sıcaklık sensörleri ile izlenir ve referans ile numune krozeleri arasındaki diferansiyel ısı akışı her iki sıcaklık sensörünün çıkışları arasındaki fark ile doğru orantılıdır. Bu çalışmada üretilen polimerik sistemlerin ısı fiziksel özellikleri Netzsch-DSC 214 Polyma modeli DSC cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Kullanılan cihaz ısı sığası hesaplayabilme ve ısı iletkenlik tahmin edebilme özelliklerine sahiptir. Isıl analizler 5 °C/dk ısıtma/soğutma oranında azot atmosferinde gerçekleştirilmiştir. DSC analizleri sırasında hassas terazide numuneler tartılarak 5-10 mg arasında olacak şekilde hazırlanmıştır. Ölçümler -20 ve 60°C sıcaklık aralığında ve 5°C/dk ısıtma hızında alınmıştır. Alüminyum kroze içerisine konulan numunelerin üstü özel bir presleme ünitesinde kapaklandıktan sonra ölçümler başlatılmıştır. Isı akışlı DSC sisteminin şematik diyagramı Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Isı akışlı DSC sisteminin şematik diyagramı

3.4.2 Isıl Performans Analizi

Isıl performans analizi genellikle T-history olarak da bilinen analiz yöntemidir. Analizlerin bu aşamasında, üretilen FDM'lerin ısıtma ve soğutma periyotları sürecince sıcaklıklarının değişim davranışlarına bakıldı. Bu amaçla yaklaşık 20 gram FDM bir ısı değiştirici içerisine yerleştirildi. Isıtma periyodu süresince ilgili FDM erime faz değişim sıcaklığını yaklaşık 20°C kadar üzerinde bir sıcaklığa sahip bir ampül ile sirküle edilerek FDM'nin tamamen erimesi sağlandı. Periyot sırasındaki sıcaklık değerleri NOVA2000 model bir veri toplayıcıyla bu cihazdaki bir program yardımı ile eş zamanlı olarak kaydedildi. Isıl performans analizi sisteminin şeması Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



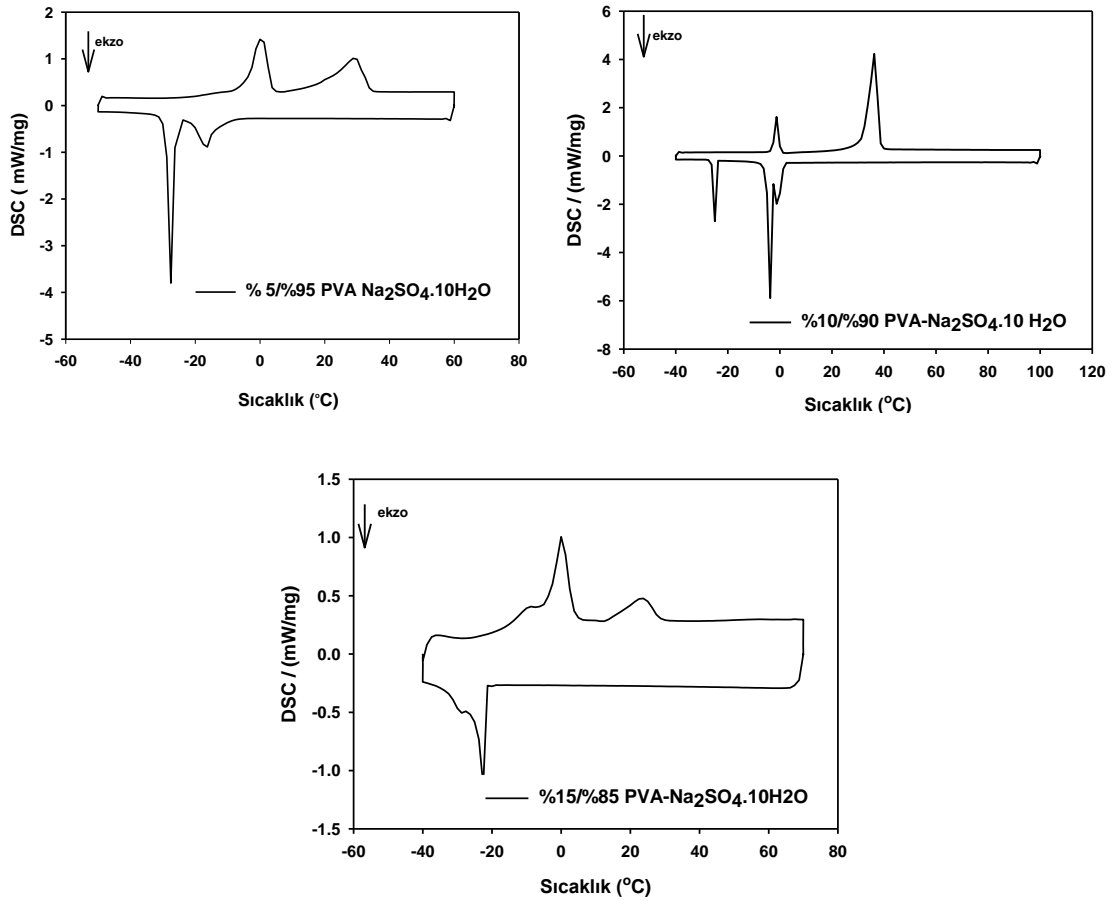
Şekil 3.3. Isıl performans analizi sisteminin şematik diyagramı

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 DSC

4.1.1 Polimer-Tuz Hidrat Kompozitlerinin DSC Analizleri

Çalışma sonucu üretilen polimer-tuzhidrat ve kompozitlerin ısıl özellikleri için en çok DSC analizlerinden faydalanılmaktadır. Şekilce kararlı %5/%95, %10/%90 ve %15/%85 polimer-tuz hidrat kompozitlerinin DSC ısıl analizleri Şekil 4.1- 4.8'de gösterilmiştir.



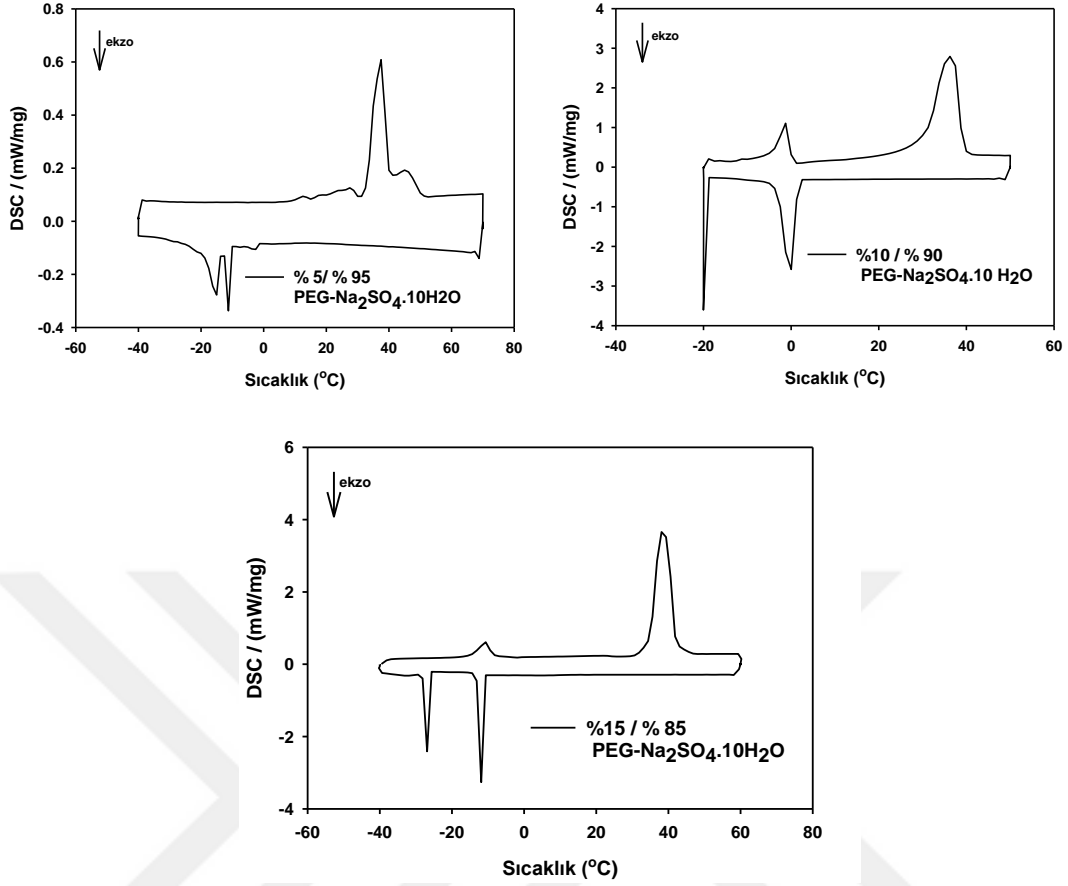
Şekil 4.1. Şekilce kararlı %5/%95, %10/%90 ve %15/%85 PVA/Na₂SO₄·10H₂O kompozitlerinin DSC ısıl analizleri

PVA-Na₂SO₄·10H₂O polimer-tuz hidrat kompozitleri için tersinir faz geçişi görülmektedir. Faz geçişinin tersinir olması hazırlanan sistemin yapıca kararlı pasif ısıl

enerji depolama sistemi olarak kullanılabilceğini ortaya koymaktadır. 0 °C civarında görülen tersinir faz geçişinin sistemdeki fazla sudan kaynaklandığı anlaşılmıştır. Ayrıca ölçüm aralığında Na₂SO₄.10H₂O tuzu 30 °C civarında tek sıcaklıkta 5 ve -25 °C civarında 2 ayrı sıcaklıkta ısı vermiştir. Bu haliyle sistemin gıda koruma amacıyla kullanılabilcek potansiyele sahip olduğu söylenebilir. Sistem kış aylarında gündüz güneş ışınlarıyla topladığı ısıyı gece donmaya karşı engel teşkil edecek şekilde seralarda değerlendirilebilir. PVA-Na₂SO₄.10H₂O polimer-tuz hidrat kompozitlerinin DSC sonuçları Çizelge 4.1’de özet halinde verilmiştir.

Çizelge 4.1. Şekilce kararlı %5/%95, %10/%90 ve %15/%85 PVA/Na₂SO₄.10H₂O kompozitlerinin DSC ısıl analizleri

Madde İsmi	Periyot	T (Başlangıç) °C	T (Tepe) °C	Entalpi j/g
%5 PVA + %95 Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O	Isıtma	-2,9	24,0	+166,7
	Soğutma	-14,0	-22,0	-137,8
%10 PVA + %90 Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O	Isıtma	34,2	37,7	+248,7
	Soğutma	1,4	-1,2	-207,6
%15 PVA + %85 Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O	Isıtma	-2,5	10,6	+80,2
	Soğutma	-20,0	-21,0	-54,6

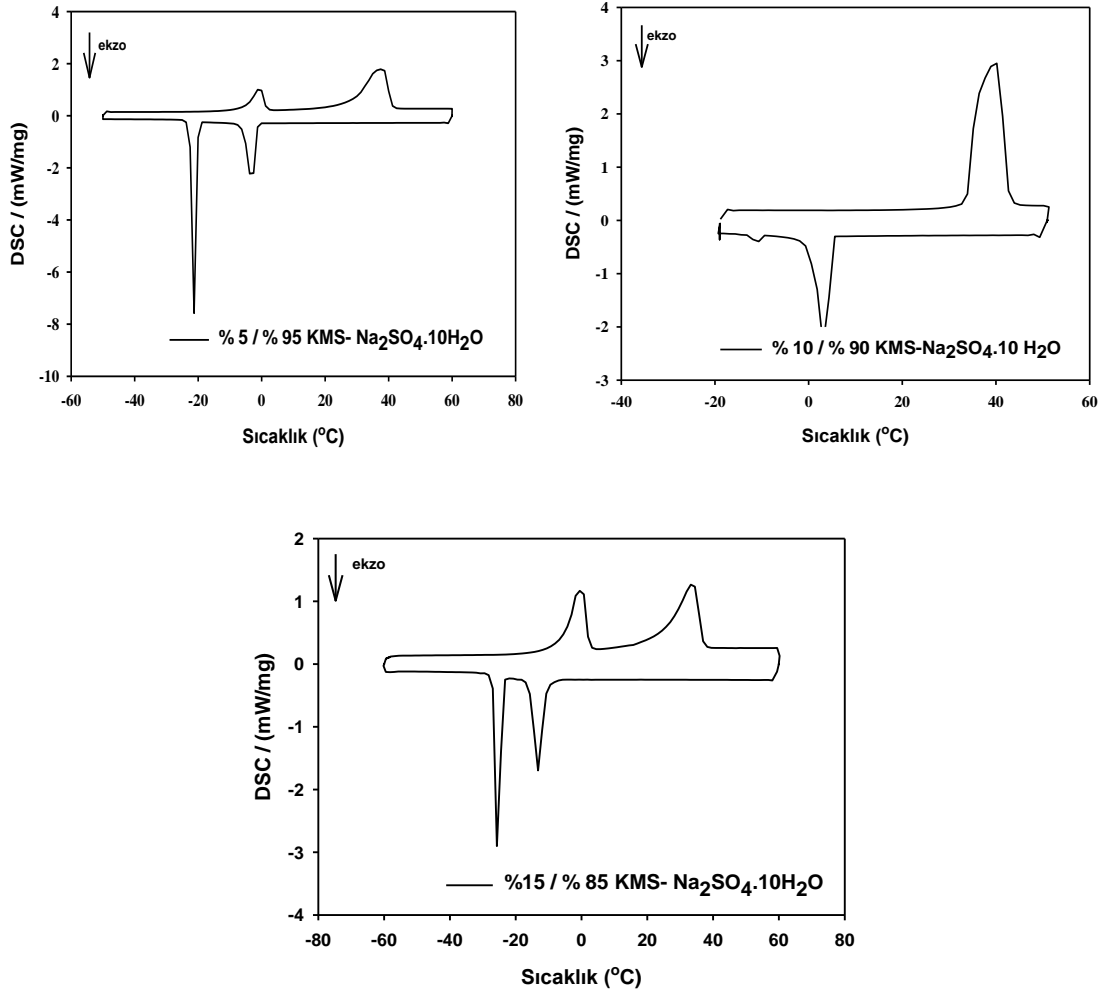


Şekil 4.2. Şekilce kararlı %5/%95, %10/%90 ve %15/%85 PEG/Na₂SO₄.10H₂O kompozitlerinin DSC ısıl analizleri

PEG-Na₂SO₄.10H₂O DSC termogramında tersinir olarak ısı alışverişi gösterilmektedir. 0 °C civarında görülen tersinir pik sistemde bulunan fazla su nedeniyle ortaya çıkmıştır. Bu da suda çözünen polimerin aldığı nemin ortamı o kadar kolay terk etmediği anlamına gelmektedir. Ancak geri dönüşüm piki tuz hidrat suyunu tekrar kazandığı basamaklardan biriyle de çakışmıştır. Sıcaklığın geri dönüş sırasında -20 °C ye inilmediği zaman ortaya çıkan piklerin entalpi olarak birbirini tekrar etmediği görülmüş ve buradan hareketle su almanın 2 basamakta gerçekleştiği sonucuna ulaşılmıştır. PEG-Na₂SO₄.10H₂O polimer-tuz hidrat kompozitlerinin DSC sonuçları Çizelge 4.2’de özet halinde verilmiştir.

Çizelge 4.2. Şekilce kararlı %5/%95, %10/%90 ve %15/%85 PEG/Na₂SO₄.10H₂O kompozitlerinin DSC ısı analizleri

Madde İsmi	Periyot	T (Başlangıç) °C	T (Tepe) °C	Entalpi j/g
%5 PEG + %95 Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O	Isıtma	33,0	34,0	+38,4
	Soğutma	-1,9	-11,0	-17,6
%10 PEG + %90 Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O	Isıtma	32,6	37,8	+201,1
	Soğutma	-0,6	-1,9	-135,1
%15 PEG + %85 Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O	Isıtma	31,0	35,0	+140,7
	Soğutma	-10,0	-12,0	-130,2

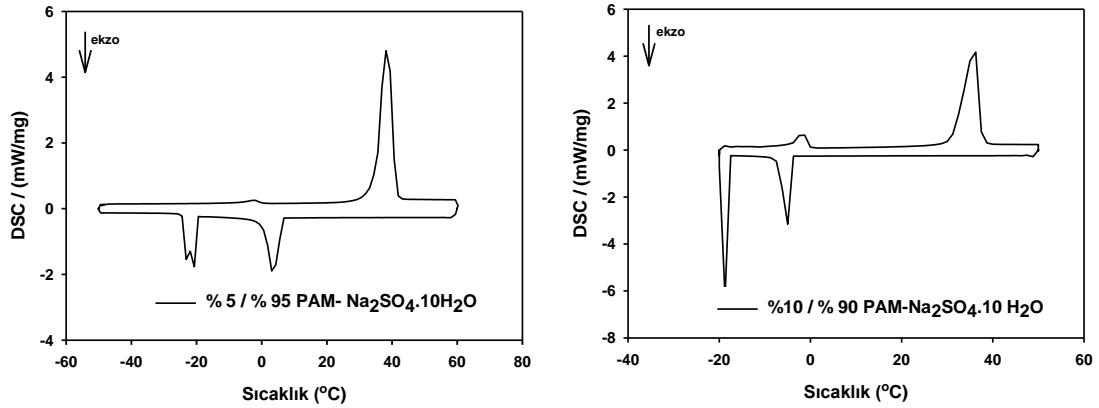


Şekil 4.3. Şekilce kararlı %5/%95, %10/%90 ve %15/%85 KMS/Na₂SO₄.10H₂O kompozitlerinin DSC ısı analizleri

KMS- $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ polimer-tuz hidrat kompoziti içinde tersinir olarak faz geçişi gözlemlenmiştir. Tersinir özellik genellikle organik sistemlerde ortaya çıkarken KMS- $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ polimer-tuz hidrat kompozitinde de görülebilmektedir. DSC termogramı iyi bir ısı koruma materyaline işaret etmiştir. Üretilen kompozit malzeme $30\text{ }^\circ\text{C}$ 'nin üzerinde depo ettiği ısıyı suyun donma noktasına yakın olan $1-3\text{ }^\circ\text{C}$ civarında geri sisteme vererek ısı koruma davranışı göstererek çalışabilir. KMS- $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ polimer-tuz hidrat kompozitlerinin DSC sonuçları Çizelge 4.3'de özet halinde verilmiştir.

Çizelge 4.3. Şekilce kararlı %5/%95, %10/%90 ve %15/%85 KMS/ $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ kompozitlerinin DSC ısı analizleri

Madde İsmi	Periyot	T (Başlangıç) °C	T (Tepe) °C	Entalpi j/g
%5 KMS + %95 $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	Isıtma	-4,4	13,0	+230,2
	Soğutma	-5,7	-17,0	-179,0
%10 KMS + %90 $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	Isıtma	33,1	38,8	+207,3
	Soğutma	4,2	2,4	-80,7
%15 KMS + %85 $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	Isıtma	-1,6	17,8	+180,3
	Soğutma	-11,0	-18,0	-157,3



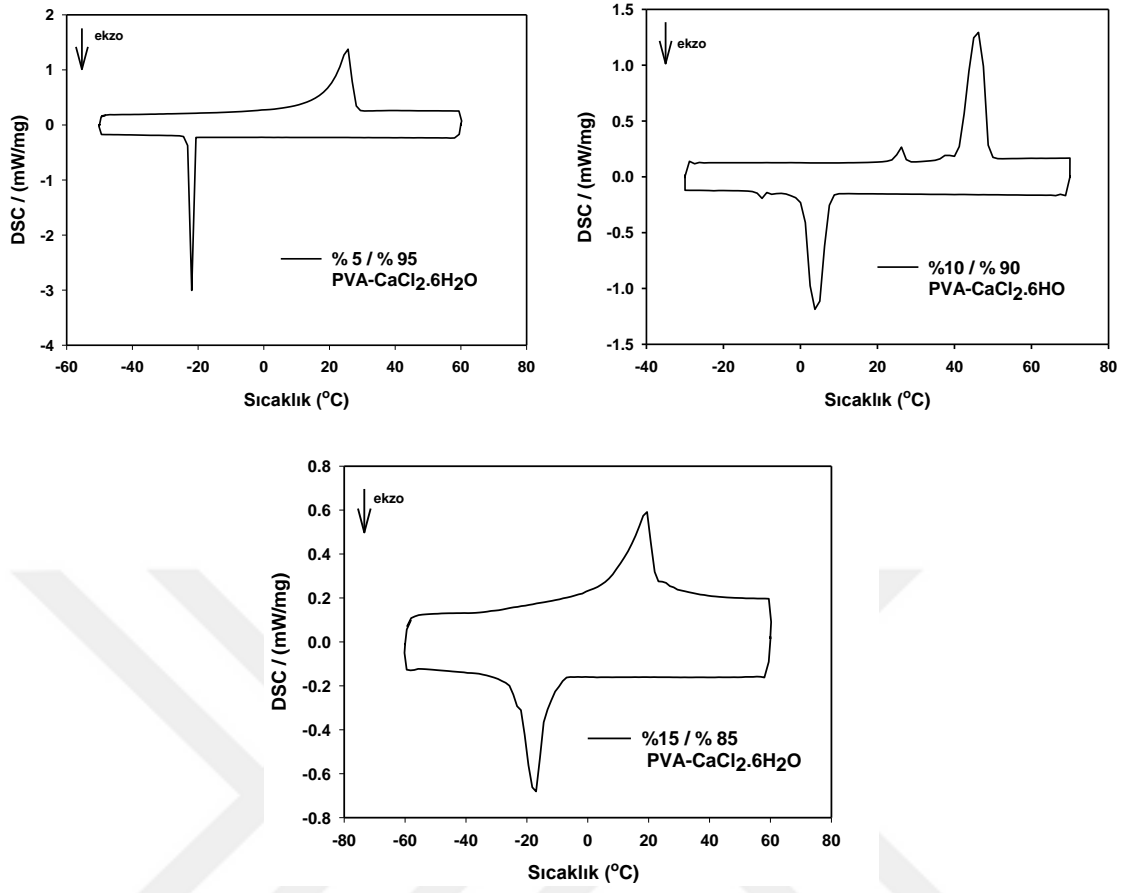
Şekil 4.4. Şekilce kararlı %5/%95, %10/%90 ve %15/%85 PAM/ $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ kompozitlerinin DSC ısı analizleri

PAM- $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ polimer-tuz hidrat kompozit karışımı da diğer suda çözünen polimer uygulamalarında olduğu gibi ideale yakın sonuçlar ortaya koymaktadır. Bu tip

bir uygulamada 30 °C civarında depo edilen bir ısı gıda koruması için 0 °C'nin altına inilirken sisteme salınarak koruma sağlayabilmektedir. Akrlamit polimerinin kullanımı sisteme diğer polimerlere nazaran entalpi avantajı sağlamıştır. %15/%85 oranında yapılan çalışmada entalpi değeri çok düşük olup 31°C'de 12 j/g olarak gözlenmiştir. PAM-Na₂SO₄.10H₂O polimer-tuz hidrat kompozitinin DSC sonuçları Çizelge 4.4'de özet halinde verilmiştir.

Çizelge 4.4. Şekilce kararlı %5/%95 ve %10/%90 PAM/Na₂SO₄.10H₂O kompozitlerinin DSC ısıl analizleri

Madde İsmi	Periyot	T (Başlangıç) °C	T (Tepe) °C	Entalpi j/g
%5 PAM + %95 Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O	Isıtma	35,0	36,0	+248,8
	Soğutma	-6,2	-12,7	-170,8
%10 PAM + %90 Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O	Isıtma	33,0	37,1	+211,2
	Soğutma	-3,7	-4,9	-96,0

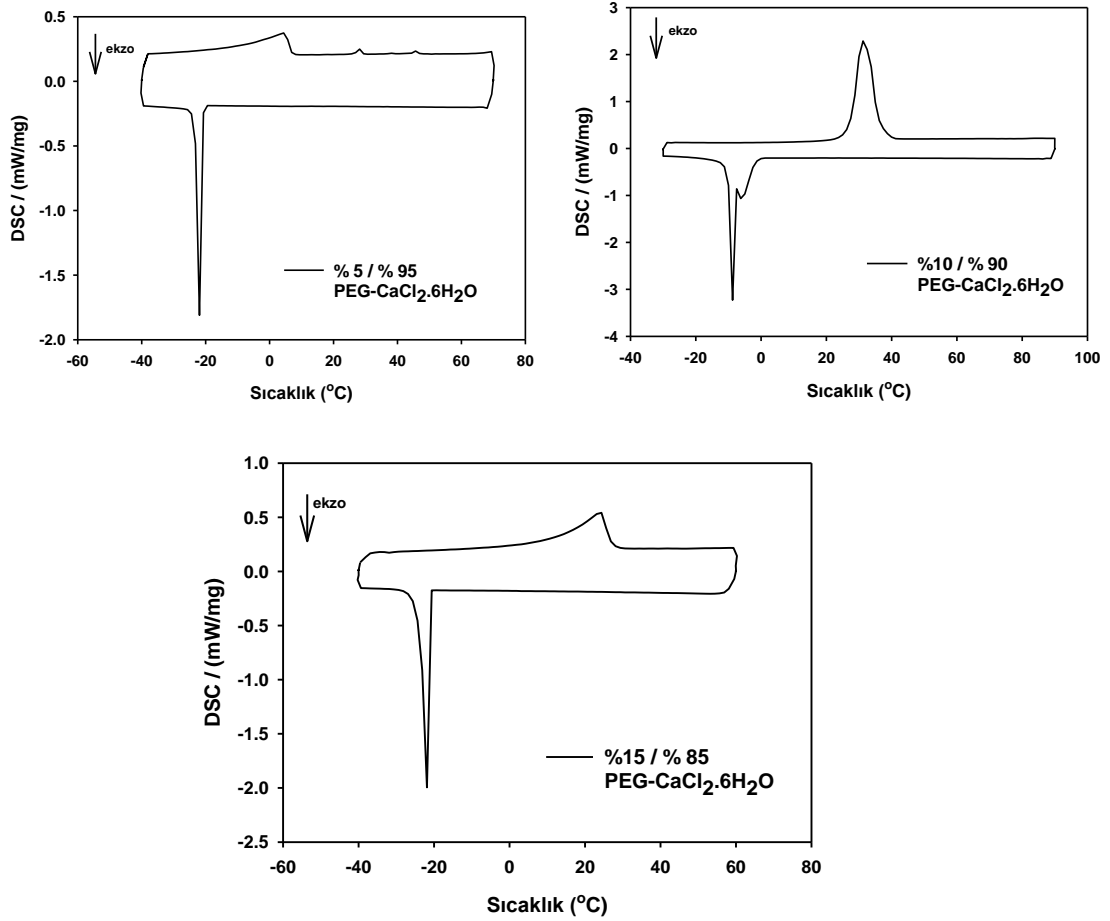


Şekil 4.5. Şekilce kararlı %5/%95, %10/%90 ve %15/%85 PVA/CaCl₂.6H₂O kompozitlerinin DSC ısıl analizleri

PVA-CaCl₂.6H₂O polimer-tuz hidrat kompoziti için görülen tersinir faz geçişi görülmektedir. Faz geçişinin tersinir olması hazırlanan sistemin yapıca kararlı pasif ısıl enerji depolama sistemi olarak kullanılabileceğini ortaya koymaktadır. Üretilen malzeme Na₂SO₄.10H₂O tuzuna karşın düşük entalpi gösterirken yine de aynı şekilde ısıl koruma potansiyeline işaret etmektedir. PVA-CaCl₂.6H₂O polimer-tuz hidrat kompozitinin DSC sonuçları Çizelge 4.5’de özet halinde verilmiştir.

Çizelge 4.5. Şekilce kararlı %5/%95, %10/%90 ve %15/%85 PVA/CaCl₂.6H₂O kompozitlerinin DSC ısıl analizleri

Madde İsmi	Periyot	T (Başlangıç) °C	T (Tepe) °C	Entalpi j/g
%5 PVA + %95 CaCl ₂ .6H ₂ O	Isıtma	19,0	25,0	+97,2
	Soğutma	-21,0	-20,0	-108,5
%10 PVA + %90 CaCl ₂ .6H ₂ O	Isıtma	42,1	47,3	+80,0
	Soğutma	7,3	4,2	-60,0
%15 PVA + %85 CaCl ₂ .6H ₂ O	Isıtma	-1,6	19,0	+69,7
	Soğutma	-13,0	-17,0	-49,0



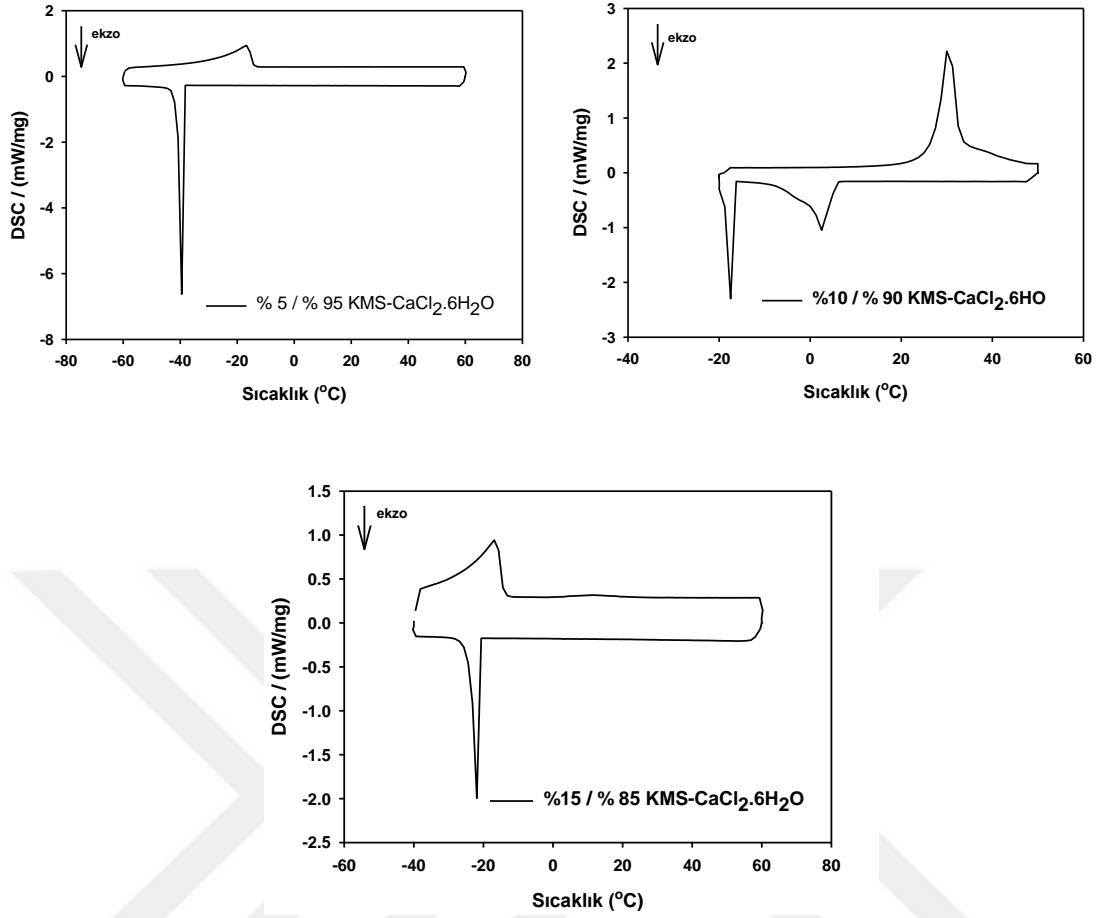
Şekil 4.6. Şekilce kararlı %5/%95, %10/%90 ve %15/%85 PEG/CaCl₂.6H₂O kompozitlerinin DSC ısıl analizleri

PEG-CaCl₂.6H₂O polimer-tuz hidrat kompozitinin neredeyse ideal biçimde (organik FDM'lerine çok benzer şekilde) ısı alma ve salma davranışı gösterdiği görülmüştür. Halbuki CaCl₂.6H₂O tuzu en zor kontrol edilebilen FDM'lerinden biri olduğu

literatürden bilinmektedir. Bu nedenledir ki $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ısı enerjisi depolama sistemlerinde nadiren kullanılabilmiştir. Tek başına PEG- $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ kompozit karışımının gıda maddelerinin korunması uygulamalarında kullanılabilmesine işaret etmektedir. Zira ortama katılan küçük miktarlardaki ikincil tuz ile faz değişim sıcaklığı $0\text{ }^\circ\text{C}$ 'nin üzerine ayarlanabilir. Kararlılık için eklenen PEG polimeri ise maliyet artırmayacak düşük miktarlarda kullanılmaktadır. Pasif sistem uygulaması tuz hidratların bilinen uygulamalarındaki dezavantajlarında bertaraf edilmesi anlamına gelecektir. PEG- $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ polimer-tuz hidrat kompozitinin DSC sonuçları Çizelge 4.6'de özet halinde verilmiştir.

Çizelge 4.6. Şekilce kararlı %5/%95, %10/%90 ve %15/%85 PEG/ $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ kompozitlerinin DSC ısı analizleri

Madde İsmi	Periyot	T (Başlangıç) °C	T (Tepe) °C	Entalpi j/g
% 5 PEG + %95 $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Isıtma	-7,9	7,4	+23,2
	Soğutma	-21,0	-22,0	-32,4
% 10 PEG + %90 $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Isıtma	28,2	32,3	+212,9
	Soğutma	-2,2	-6,0	-121,6
% 15 PEG + %85 $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Isıtma	15,0	24,0	+36,7
	Soğutma	-19,0	-20,5	-50,7

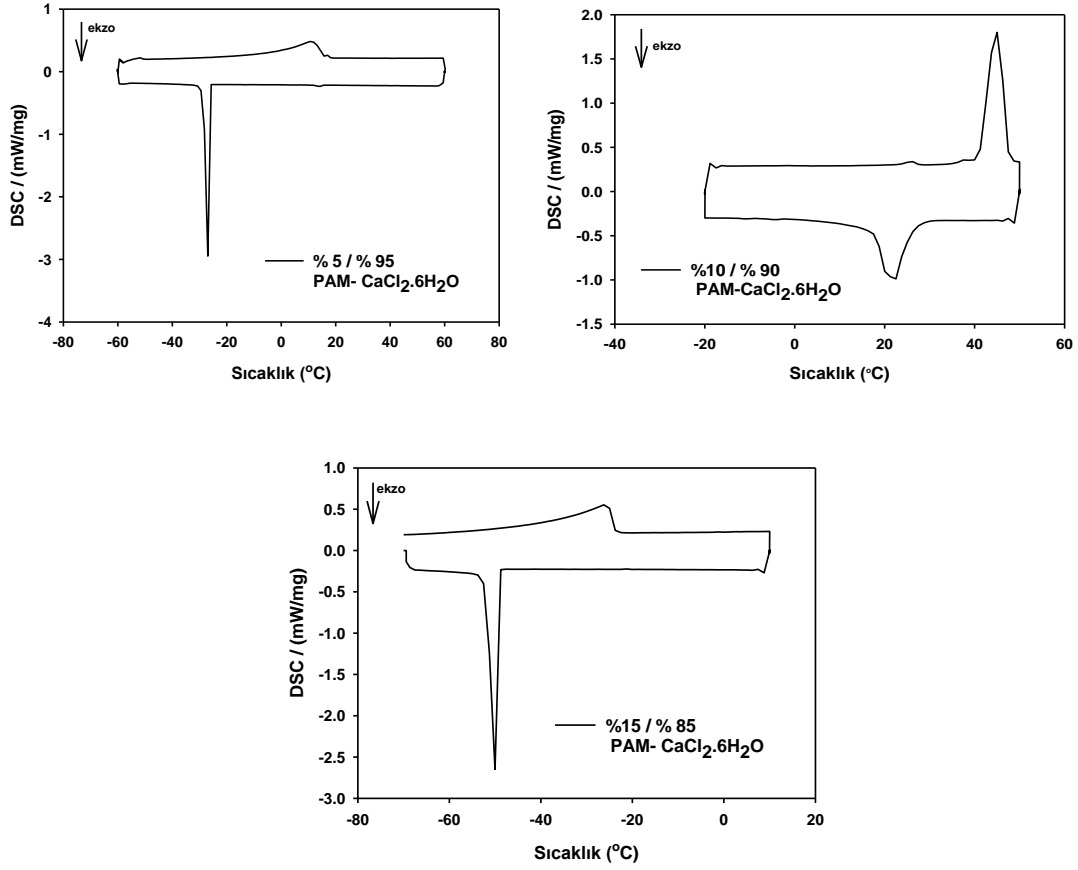


Şekil 4.7. Şekilce kararlı %5/%95, %10/%90 ve %15/%85 KMS/CaCl₂.6H₂O kompozitlerinin DSC ısıl analizleri

KMS-CaCl₂.6H₂O polimer-tuz hidrat kompozitinin ısıl özellikleri de kayda değer olarak bulunmuştur. Ayrıca burada %10/%90 oranında CaCl₂.6H₂O tuzunun da hidrat suyunu tek basamakta bırakırken 2 basamakta geri aldığı anlaşılmaktadır. KMS-CaCl₂.6H₂O polimer-tuz hidrat kompozitinin DSC sonuçları Çizelge 4.7’de özet halinde verilmiştir.

Çizelge 4.7. Şekilce kararlı %5/%95, %10/%90 ve %15/%85 KMS/CaCl₂.6H₂O kompozitlerinin DSC ısıl analizleri

Madde İsmi	Periyot	T (Başlangıç) °C	T (Tepe) °C	Entalpi j/g
% 5 KMS + %95 CaCl ₂ .6H ₂ O	Isıtma	-25,0	-17,0	+78,7
	Soğutma	-38,0	-38,0	-95,3
% 10 KMS + %90 CaCl ₂ .6H ₂ O	Isıtma	27,4	30,4	138,6
	Soğutma	5,0	2,4	-76,3
% 15 KMS + %85 CaCl ₂ .6H ₂ O	Isıtma	-26,0	-17,0	+101,8
	Soğutma	-38,0	-39,0	-100,9



Şekil 4.8. Şekilce kararlı %5/%95, %10/%90 ve %15/%85 PAM/CaCl₂.6H₂O kompozitlerinin DSC ısıl analizleri

PAM-CaCl₂.6H₂O polimer-tuz hidrat kompozit karışımının entalpisi daha düşük çıksa da geri dönüş entalpisi 20 °C'nin üzerinde olduğundan güneş enerjili ısıtma soğutma sistemlerinde kullanılabilme imkanı ortaya çıkmıştır. Bu entalpinin düşük çıkması CaCl₂.6H₂O tuzunun su ile daha kolay etkileşerek çözeltiye karışmasından

kaynaklanmıştır. Bu sorunun çözümü için su miktarı azaltılabilir. PAM-CaCl₂.6H₂O polimer-tuz hidrat karışımının DSC sonuçları Çizelge 4.8’de özet halinde verilmiştir.

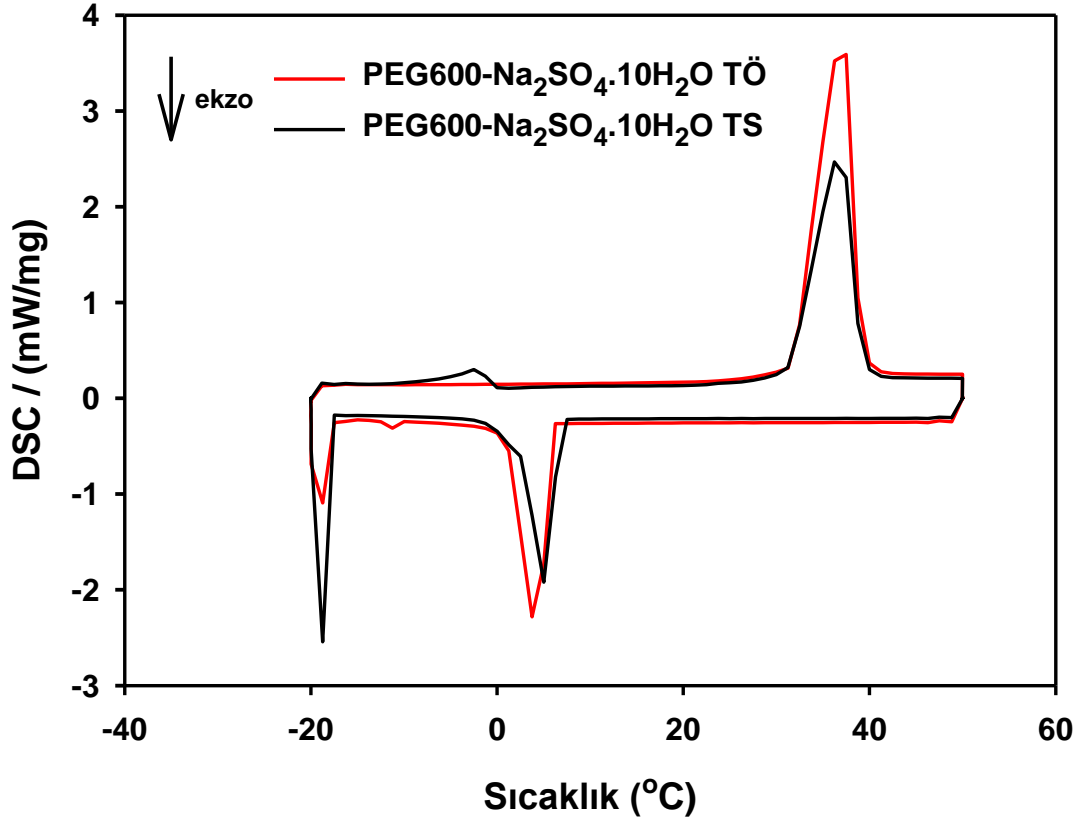
Çizelge 4.8. Şekilce kararlı %5/%95, %10/%90 ve %15/%85 PAM/CaCl₂.6H₂O kompozitlerinin DSC ısıl analizleri

Madde İsmi	Periyot	T (Başlangıç) °C	T (Tepe) °C	Entalpi j/g
% 5 PAM + %95 CaCl ₂ .6H ₂ O	Isıtma	-1,6	11,0	+51,5
	Soğutma	-20,0	-21,0	-57,3
% 10 PAM + %90 CaCl ₂ .6H ₂ O	Isıtma	42,4	46,5	+70,4
	Soğutma	23,6	21,8	-61,8
% 15 PAM+ %85 CaCl ₂ .6H ₂ O	Isıtma	-33,0	-26,0	+36,61
	Soğutma	-48,0	-49,0	-55,6

4.1.2 Tuz Hidrat-Süspansiyon Karışımlarının DSC Analizleri

Bu çalışmanın amacı, tuz hidratların ısı enerjisi depolama amacıyla yüzey aktif maddeler içerisinde süspansiyonlar olarak saklanıp saklanamayacağını araştırılmasıdır. Zira çalışmanın başarılı sonuçları neticesinde tuz hidratlar polimer sistemleri yerine doğrudan katılmak yerine süspansiyon sistemlerine entegre edilebilecektir. Bu maksatla farklı özelliklerde iyonik olmayan yüzey aktif malzemelerinden faydalanılmıştır. PEG ve PPG düşük molekül ağırlığındaki polimerik yapılardır. Bunların çalışması maliyet avantajı da sağlayacaktır. Triton X-100 daha evvel ki çalışmalarımızda da sıkça kullandığımız suda yağ fazı uygulamaları için kullanılan malzemedir. Tween 80 ve span 80 ise yağda su fazı uygulamaları için kullanılmaktadır.

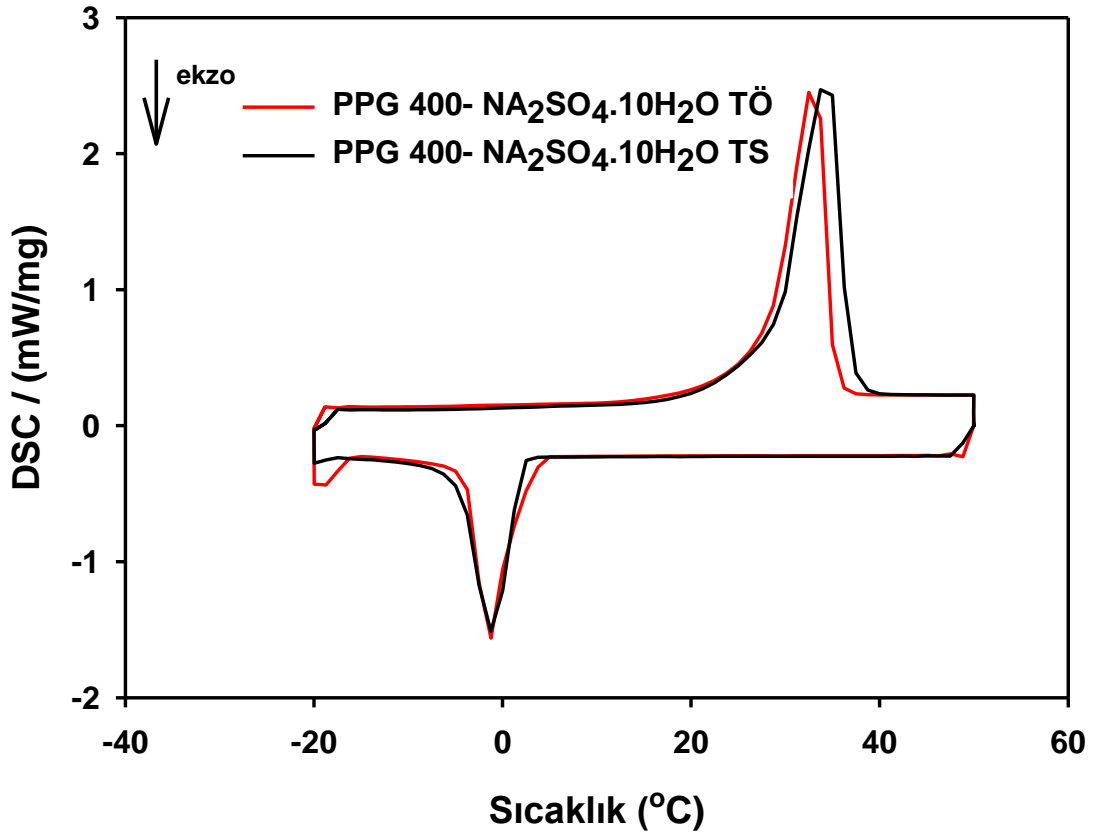
Şekil 4.9-4.17’de üretilen süspansiyonların 2 kez tekrarlanan DSC analizlerinden 2.si ısıl uygulama öncesi (termal uygulama öncesi:TÖ), 10 kez tekrarlanan ısıl uygulama sonra kullanılan malzemelerden ölçülen DSC termogramı ise ısıl uygulama sonrası (termal uygulama sonrası:TS) olarak kaydedilmiştir. Kaydedilmiş DSC termogramı verileri Çizelge 4.9-4.17’ de verilmiştir.



Şekil 4.9. Şekilce kararlı PEG 600/ $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ karışımlarının DSC ısı analizleri

Çizelge 4.9. Şekilce kararlı PEG 600/ $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ karışımlarının DSC ısı analizleri

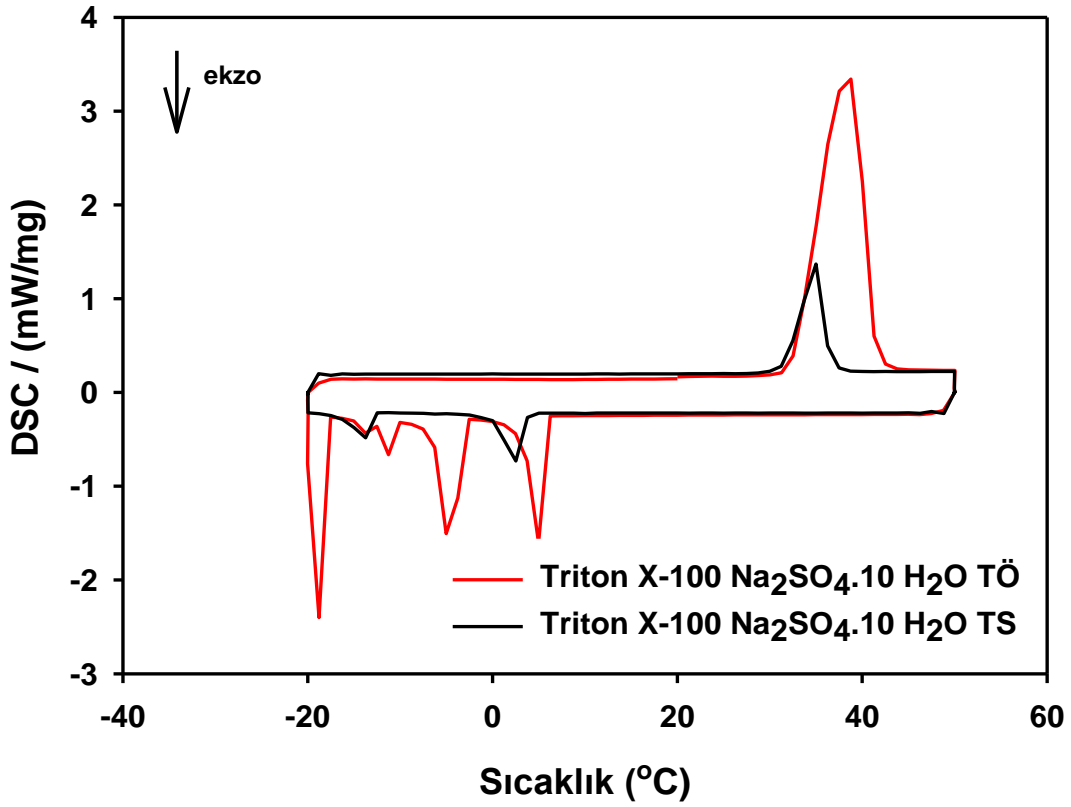
Madde İsmi	Periyot	T (Başlangıç) °C	T (Tepe) °C	Entalpi j/g	Isıl Döngü Sonrası Kararlılık
PEG 600 + $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	Isıtma (Isıl Uygulama Öncesi)	35,9	38,4	+182,0	%80
	Isıtma (Isıl Uygulama Sonrası)	31,6	36,9	+140,0	
	Soğutma (Isıl Uygulama Öncesi)	5,9	4,1	-95,0	%80
	Soğutma (Isıl Uygulama Sonrası)	6,3	4,6	-79,0	



Şekil 4.10. Şekilce kararlı PPG 400/Na₂SO₄.10H₂O karışımlarının DSC ısı analizleri

Çizelge 4.10. Şekilce kararlı PPG 400/Na₂SO₄.10H₂O karışımlarının DSC ısı analizleri

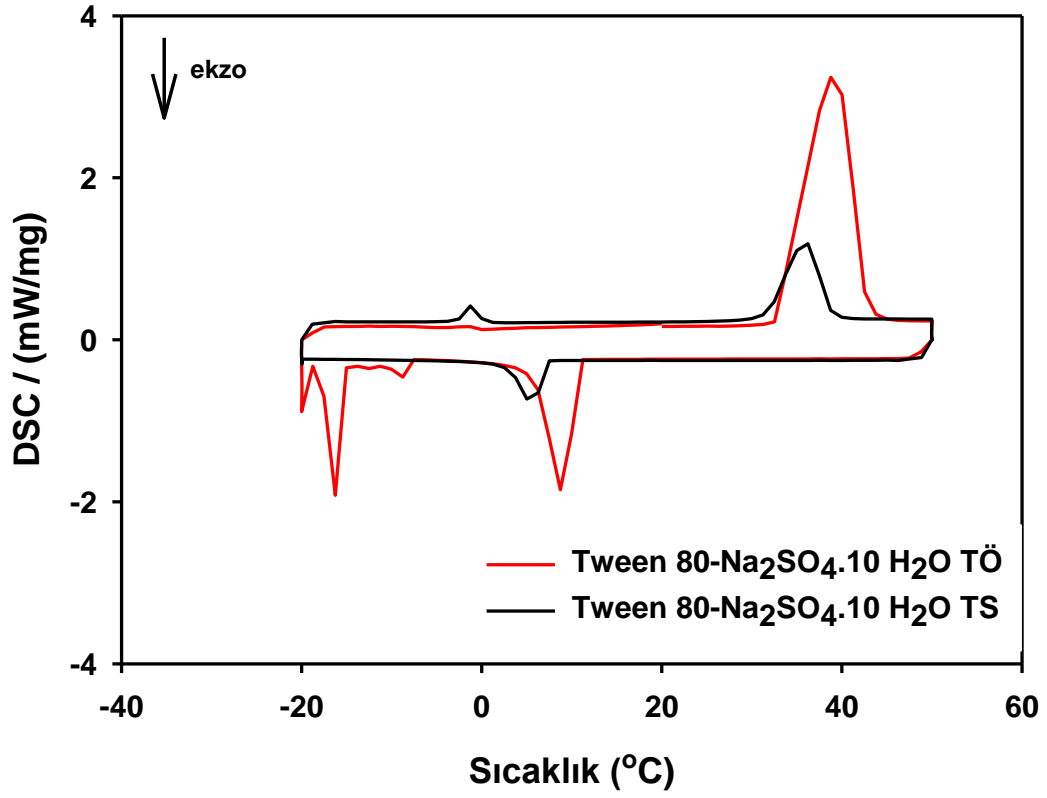
Madde İsmi	Periyot	T (Başlangıç) °C	T (Tepe) °C	Entalpi j/g	Isıl Döngü Sonrası Kararlılık
PPG 400 + Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O	Isıtma (Isıl Uygulama Öncesi)	29,1	34,5	+167,4	%80
	Isıtma (Isıl Uygulama Sonrası)	28,3	33,0	+147,1	
	Soğutma (Isıl Uygulama Öncesi)	1,9	-1,3	-123,3	%90
	Soğutma (Isıl Uygulama Sonrası)	0,3	-1,7	-121,1	



Şekil 4.11. Şekilce kararlı Triton X-100/Na₂SO₄.10H₂O karışımlarının DSC ısı analizleri

Çizelge 4.11. Şekilce kararlı Triton X-100/Na₂SO₄.10H₂O karışımların DSC ısı analizleri

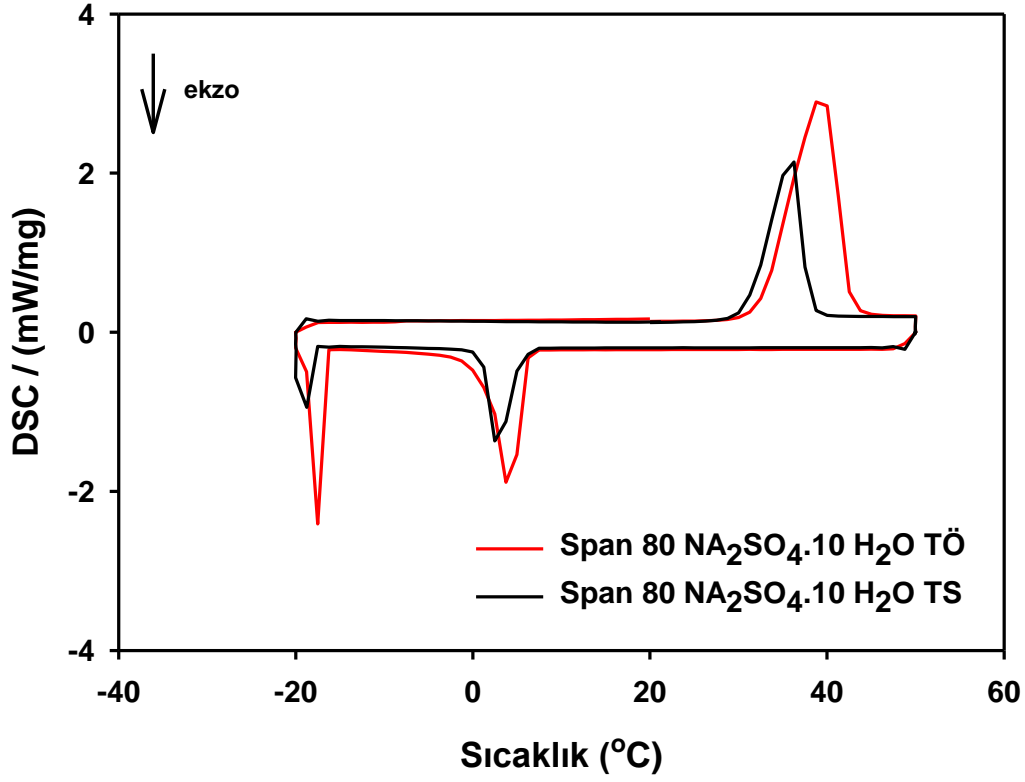
Madde İsmi	Periyot	T (Başlangıç) °C	T (Tepe) °C	Entalpi j/g	Isıl Döngü Sonrası Kararlılık
Triton X-100 + Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O	Isıtma (Isıl Uygulama Öncesi)	32,8	38,4	+202,9	%20
	Isıtma (Isıl Uygulama Sonrası)	32,2	35,9	+46,3	
	Soğutma (Isıl Uygulama Öncesi)	6,0	5,1	-133,9	%10
	Soğutma (Isıl Uygulama Sonrası)	3,7	2,2	-21,3	



Şekil 4.12. Şekilce kararlı Tween 80/Na₂SO₄.10H₂O karışımlarının DSC ısı analizleri

Çizelge 4.12. Şekilce kararlı Tween 80/Na₂SO₄.10H₂O karışımlarının DSC ısı analizleri

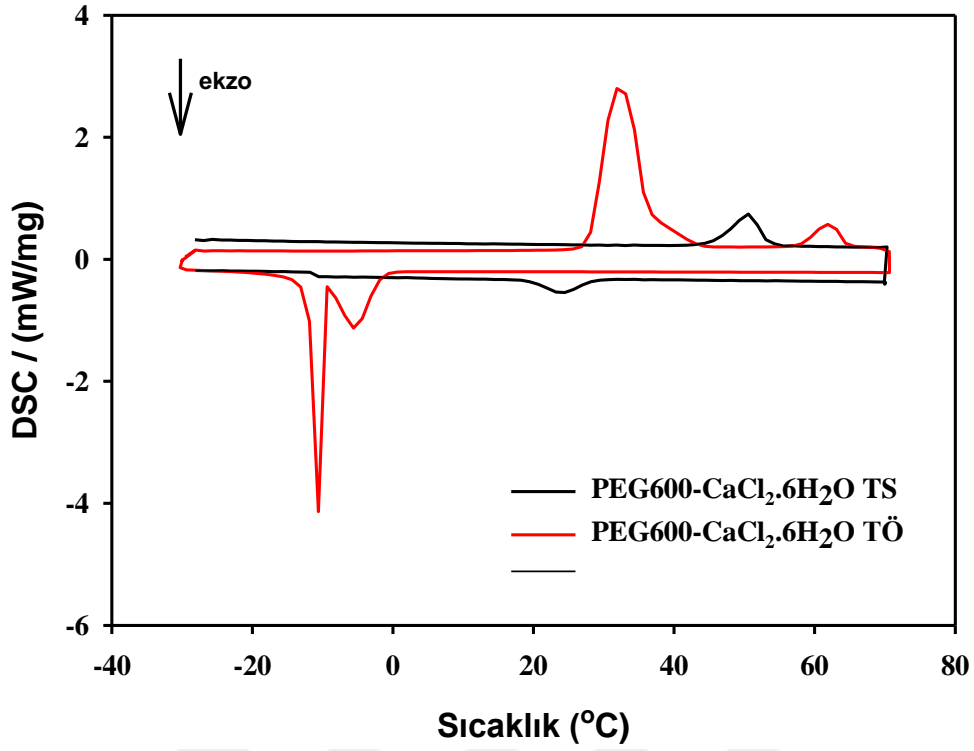
Madde İsmi	Periyot	T (Başlangıç) °C	T (Tepe) °C	Entalpi j/g	Isıl Döngü Sonrası Kararlılık
Tween 80 + Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O	Isıtma (Isıl Uygulama Öncesi)	32,4	38,9	+217,4	%20
	Isıtma (Isıl Uygulama Sonrası)	31,8	36,3	+53,4	
	Soğutma (Isıl Uygulama Öncesi)	10,7	8,6	-160,0	%20
	Soğutma (Isıl Uygulama Sonrası)	7,2	5,6	-39,4	



Şekil 4.13. Şekilce kararlı Span 80/Na₂SO₄.10H₂O karışımlarının DSC ısı analizleri

Çizelge 4.13. Şekilce kararlı Span 80/Na₂SO₄.10H₂O karışımlarının DSC ısı analizleri

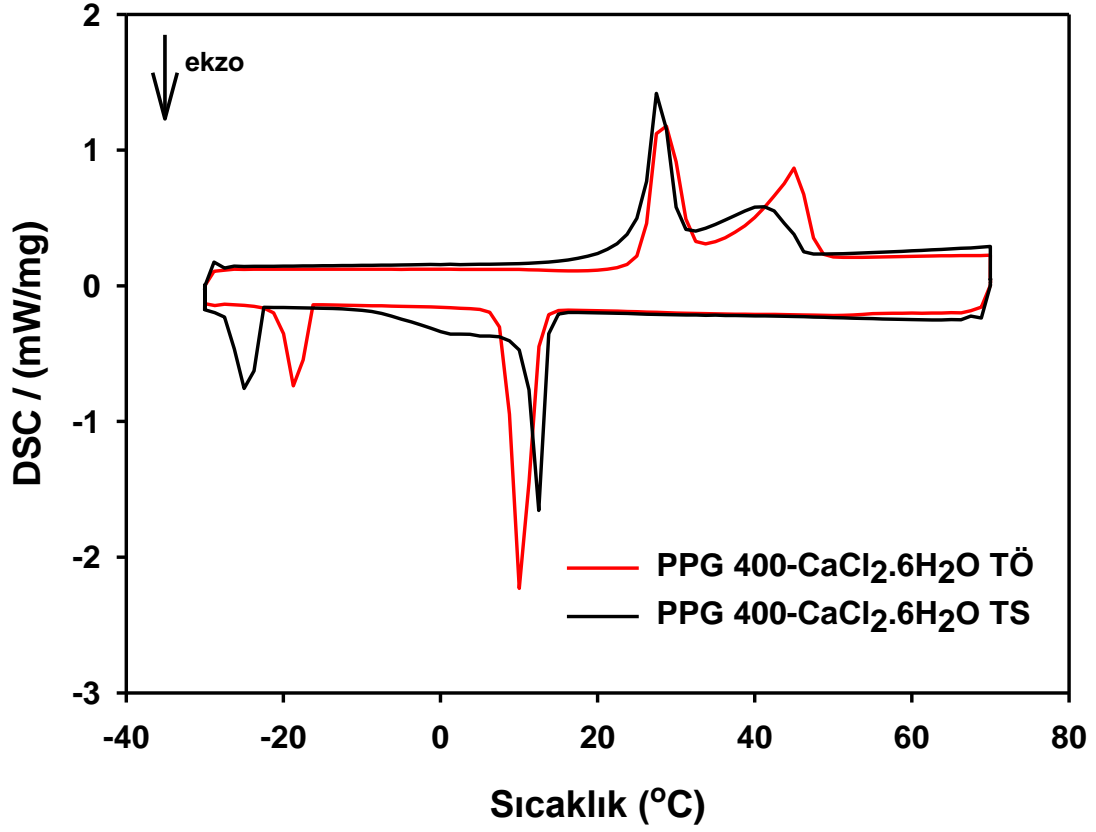
Madde İsmi	Periyot	T (Başlangıç) °C	T (Tepe) °C	Entalpi j/g	Isıl Döngü Sonrası Kararlılık
Span 80 + Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O	Isıtma (Isıl Uygulama Öncesi)	32,7	39,4	+200,9	%60
	Isıtma (Isıl Uygulama Sonrası)	31,5	35,9	+115,8	
	Soğutma (Isıl Uygulama Öncesi)	5,4	4,8	-127,1	%40
	Soğutma (Isıl Uygulama Sonrası)	6,0	2,9	-55,6	



Şekil 4.14. Şekilce kararlı PEG 600/CaCl₂.6H₂O karışımlarının DSC ısı analizleri

Çizelge 4.14. Şekilce kararlı PEG 600/CaCl₂.6H₂O karışımlarının DSC ısı analizleri

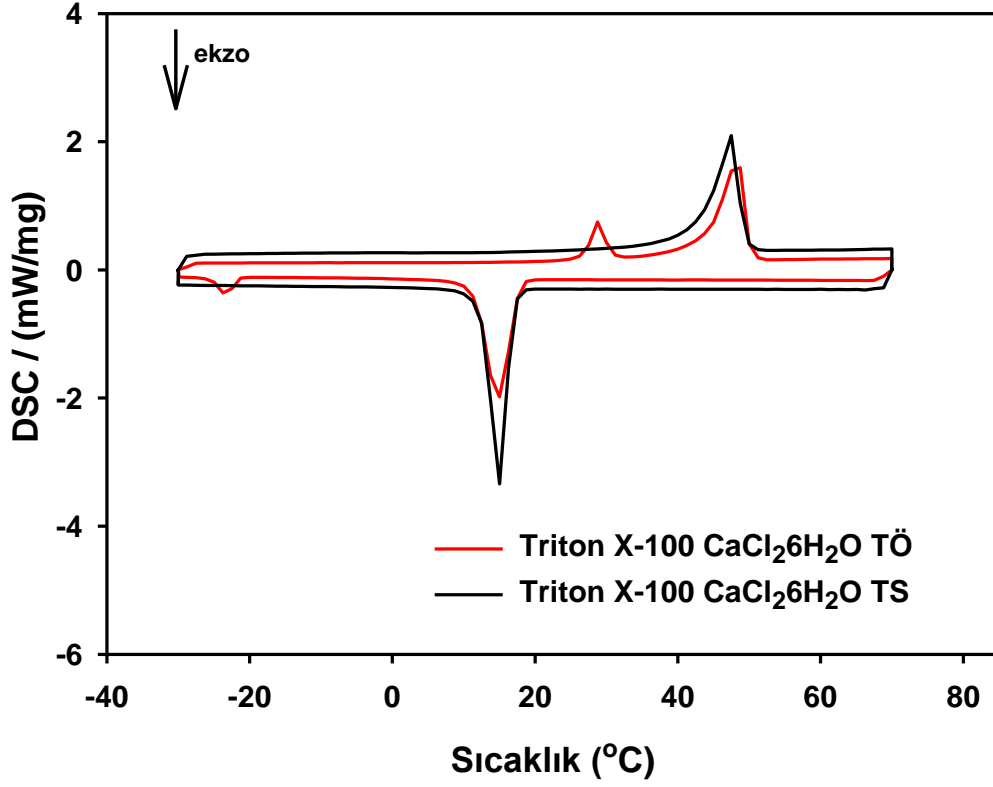
Madde İsmi	Periyot	T (Başlangıç) °C	T (Tepe) °C	Entalpi j/g	Isıl Döngü Sonrası Kararlılık
PEG 600 + CaCl₂.6H₂O	Isıtma (Isıl Uygulama Öncesi)	49,6	54,9	+143,0	%20
	Isıtma (Isıl Uygulama Sonrası)	45,9	50,6	+30,5	
	Soğutma (Isıl Uygulama Öncesi)	18,8	17,6	-104,1	%20
	Soğutma (Isıl Uygulama Sonrası)	10,7	6,3	-16,4	



Şekil 4.15. Şekilce kararlı PPG 400/CaCl₂.6H₂O karışımlarının DSC ısı analizleri

Çizelge 4.15. Şekilce kararlı PPG 400/CaCl₂.6H₂O karışımlarının DSC ısı analizleri

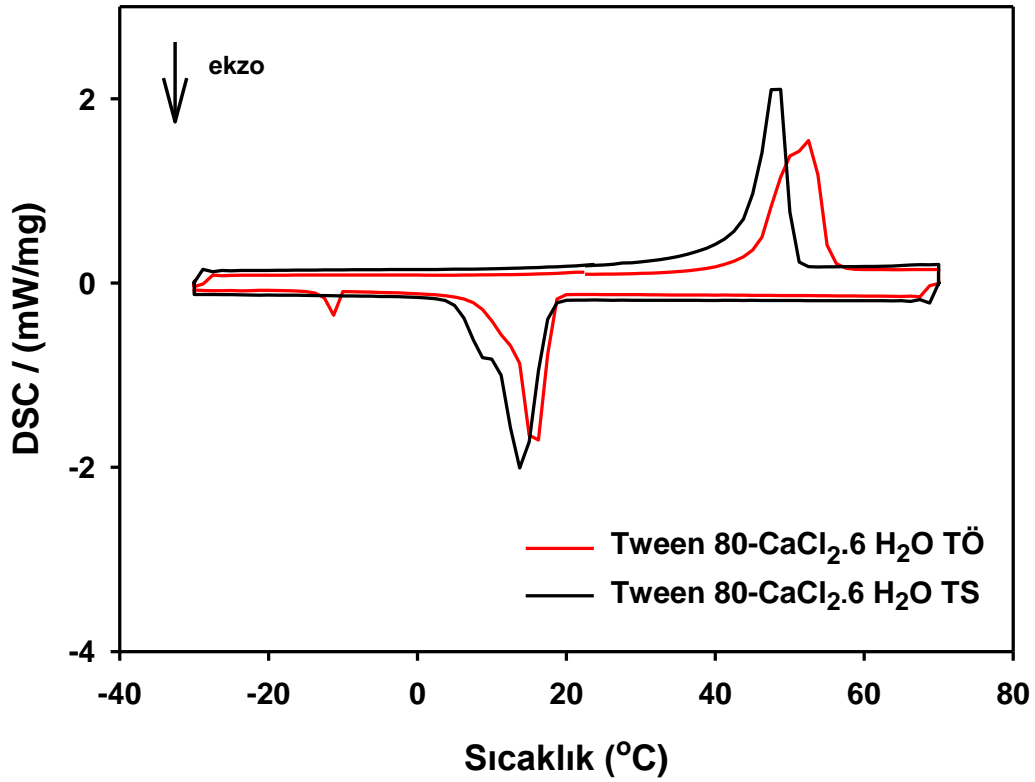
Madde İsmi	Periyot	T (Başlangıç) °C	T (Tepe) °C	Entalpi j/g	Isıl Döngü Sonrası Kararlılık
PPG 400 + CaCl ₂ .6H ₂ O	Isıtma (Isıl Uygulama Öncesi)	27,2	31,5	+128.8	%80
	Isıtma (Isıl Uygulama Sonrası)	24,0	29,9	+103.5	
	Soğutma (Isıl Uygulama Öncesi)	12,1	10,2	-109.1	%80
	Soğutma (Isıl Uygulama Sonrası)	14,1	11,4	-85.6	



Şekil 4.1.17. Şekilce kararlı Triton X-100/CaCl₂.6H₂O karışımlarının DSC ısıl analizleri

Çizelge 4.1.17. Şekilce kararlı Triton X-100/CaCl₂.6H₂O karışımlarının DSC ısıl analizleri

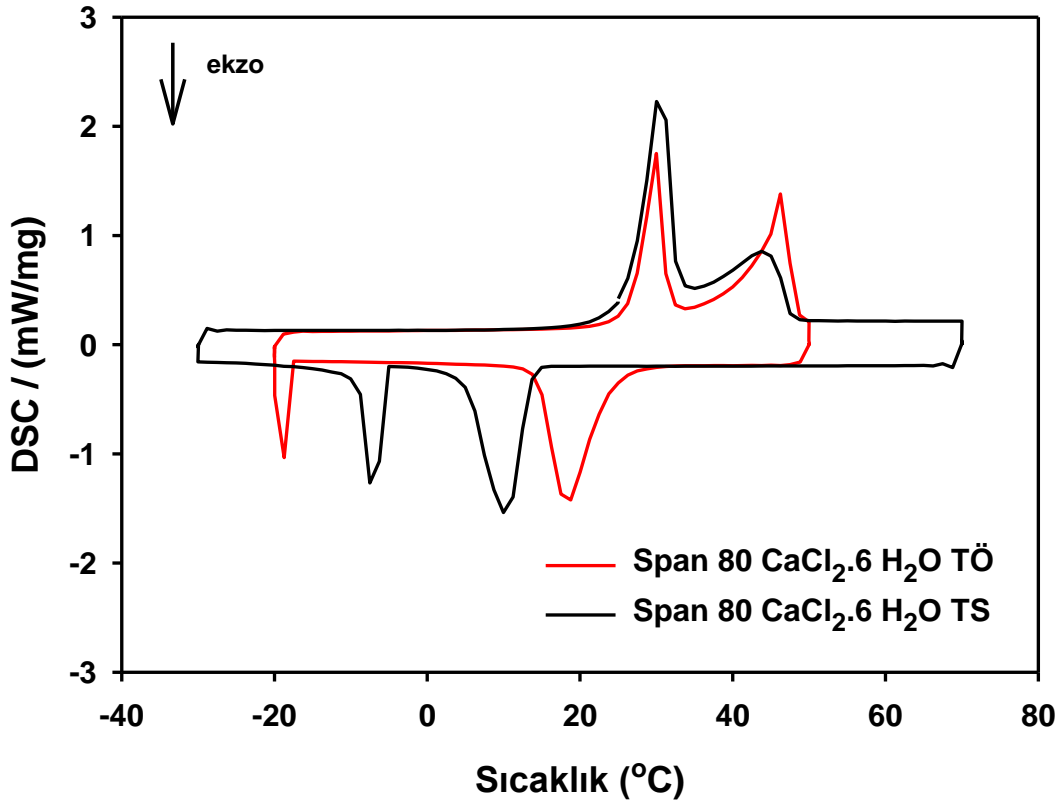
Madde İsmi	Periyot	T (Başlangıç) °C	T (Tepe) °C	Entalpi j/g	Isıl Döngü Sonrası Kararlılık
Triton X-100 + CaCl₂.6H₂O	Isıtma (Isıl Uygulama Öncesi)	45,5	52,6	+119,8	%40
	Isıtma (Isıl Uygulama Sonrası)	32,2	35,9	+46,5	
	Soğutma (Isıl Uygulama Öncesi)	17,6	14,6	-97,1	%30
	Soğutma (Isıl Uygulama Sonrası)	16,5	14,6	-27,1	



Şekil 4.16. Şekilce kararlı Tween 80/CaCl₂.6H₂O karışımlarının DSC ısı analizleri

Çizelge 4.16. Şekilce kararlı Tween 80/CaCl₂.6H₂O karışımlarının DSC ısı analizleri

Madde İsmi	Periyot	T (Başlangıç) °C	T (Tepe) °C	Entalpi j/g	Isıl Döngü Sonrası Kararlılık
Tween 80 + CaCl₂.6H₂O	Isıtma (Isıl Uygulama Öncesi)	45,4	52,6	+123,2	%110
	Isıtma (Isıl Uygulama Sonrası)	44,6	48,3	+133,3	
	Soğutma (Isıl Uygulama Öncesi)	17,9	15,4	-100,1	%130
	Soğutma (Isıl Uygulama Sonrası)	17,3	14,0	-129,5	



Şekil 4.17. Şekilce kararlı Span 80/CaCl₂.6H₂O karışımlarının DSC ısıl analizleri

Çizelge 4.17. Şekilce kararlı Span 80/CaCl₂.6H₂O karışımlarının DSC ısıl analizleri

Madde İsmi	Periyot	T (Başlangıç) °C	T (Tepe) °C	Entalpi j/g	Isıl Döngü Sonrası Kararlılık
Span 80 + CaCl ₂ .6H ₂ O	Isıtma (Isıl Uygulama Öncesi)	41,1	47,2	+139,6	%110
	Isıtma (Isıl Uygulama Sonrası)	45,9	48,6	+155,0	
	Soğutma (Isıl Uygulama Öncesi)	14,9	12,5	-100,4	%140
	Soğutma (Isıl Uygulama Sonrası)	13,4	11,0	-136,7	

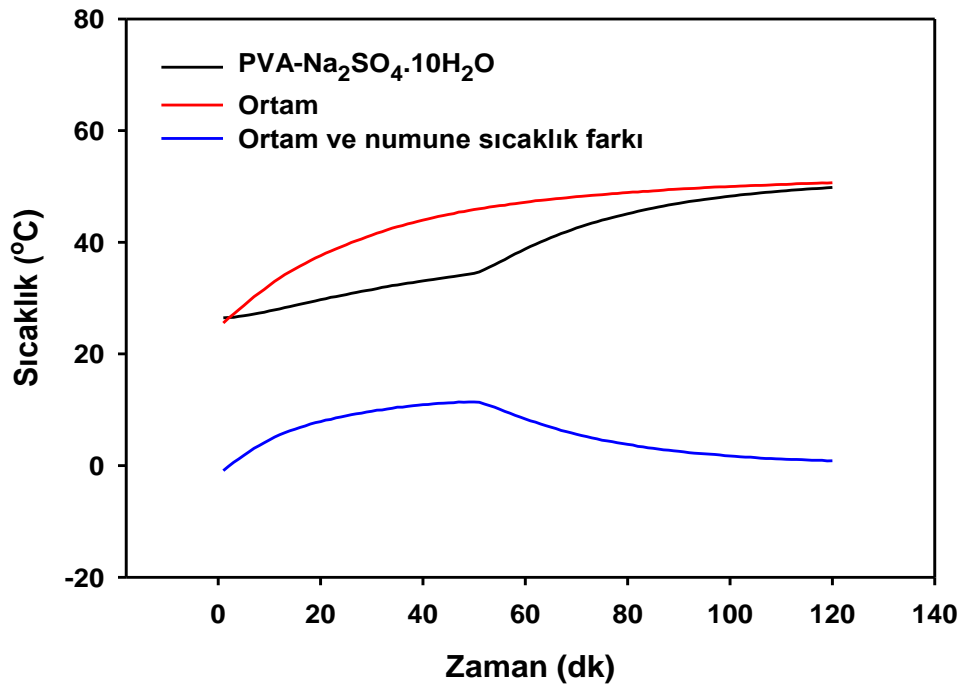
Şekil 4.9-4.17 arasındaki grafiklerden ve Çizelge 4.9-4.17 arasında bu grafiklerdeki ölçülen değerlerden şu sonuçlar üretilebilir. Tween 80 ve Span 80 tuz hidrat kararlı

süspansiyonlarını hazırlamak için kullanılabilir en uygun sistemlerdir. Sonrasında en uygun stabilizatör olarak PPG 400 polimeri en iyi performansı göstermiştir. PEG 600 ve Triton X-100 ile oluşturulan sistemlerden alınan sonuçlarda tatminkar olmakla birlikte her zaman tekrarlanabilir olarak izlenememiştir. $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ve $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ için elde edilen bulgular ise kullanılabilirlik noktasında potansiyel vaat ederken en azından herhangi bir yüzey aktif madde için hep aynı türden tekrarlanabilir sonuçlar ortaya koymamıştır.

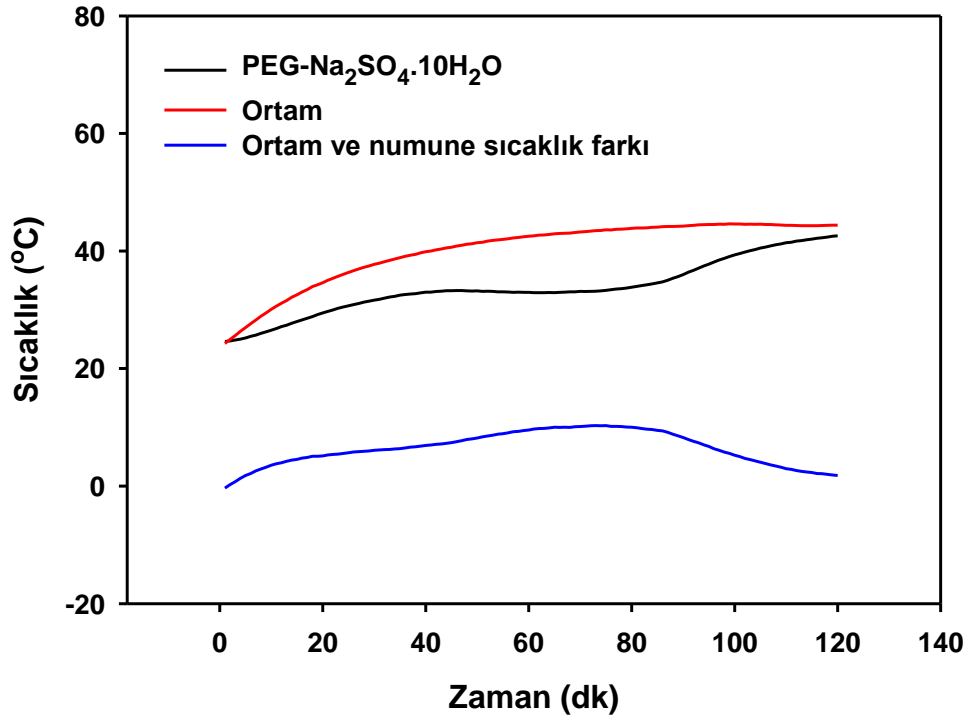
4.2 Isıl performans analizi

4.2.1 Polimer-Tuz Hidratların Isıl Performans Analizleri

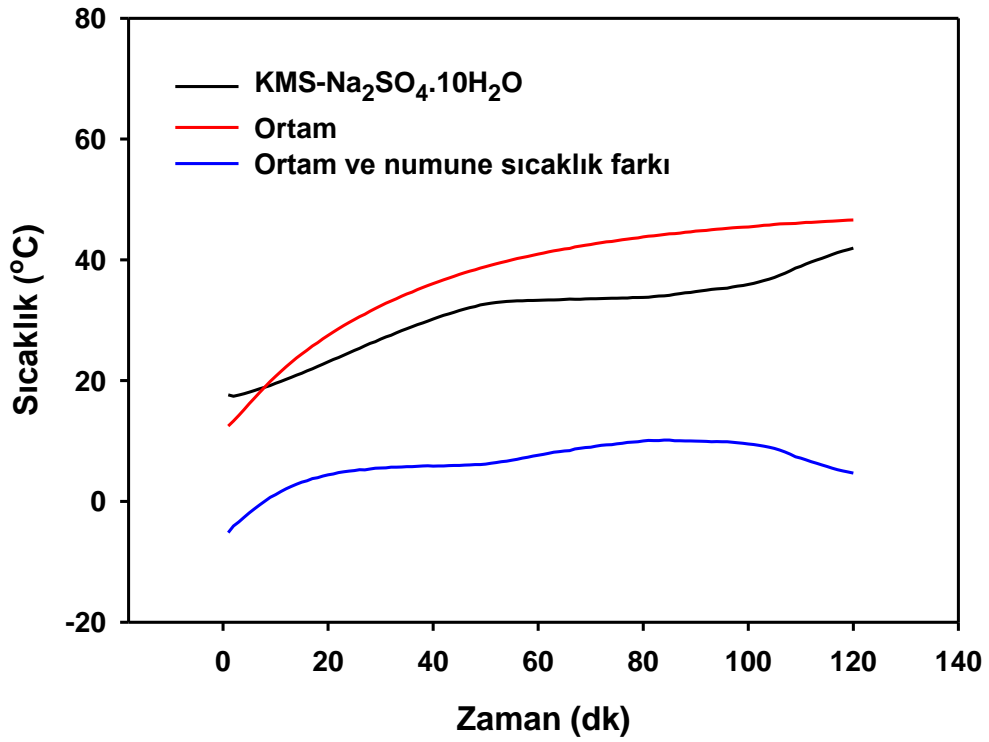
Uygulama özelliğinin belirlenmesi için ısıl geçmiş davranışı analizi yapmak gerekir. Bu analizde daha yüksek miktardaki kompozit karışım metal tüplere doldurularak yeterince süre verilip ısı alma davranışı incelenmiştir. Yapılan incelemelerde ısı verme davranışının daha uzun sürelerle yayılarak gerçekleştiği görülmüştür. Şekilce kararlı polimer-tuz hidrat kompozitlerinin ısıl performans analizleri Şekil 18-24'de gösterilmiştir.



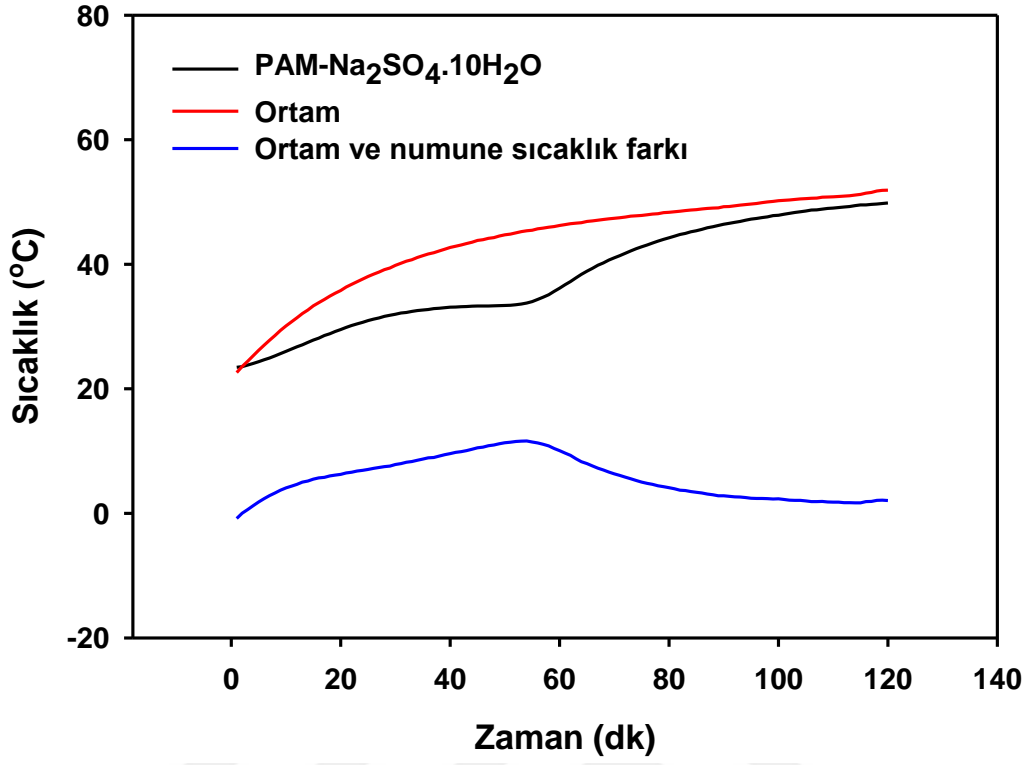
Şekil 4.18. Şekilce kararlı PVA/Na₂SO₄·10H₂O karışımlarının ısıl performans analizi



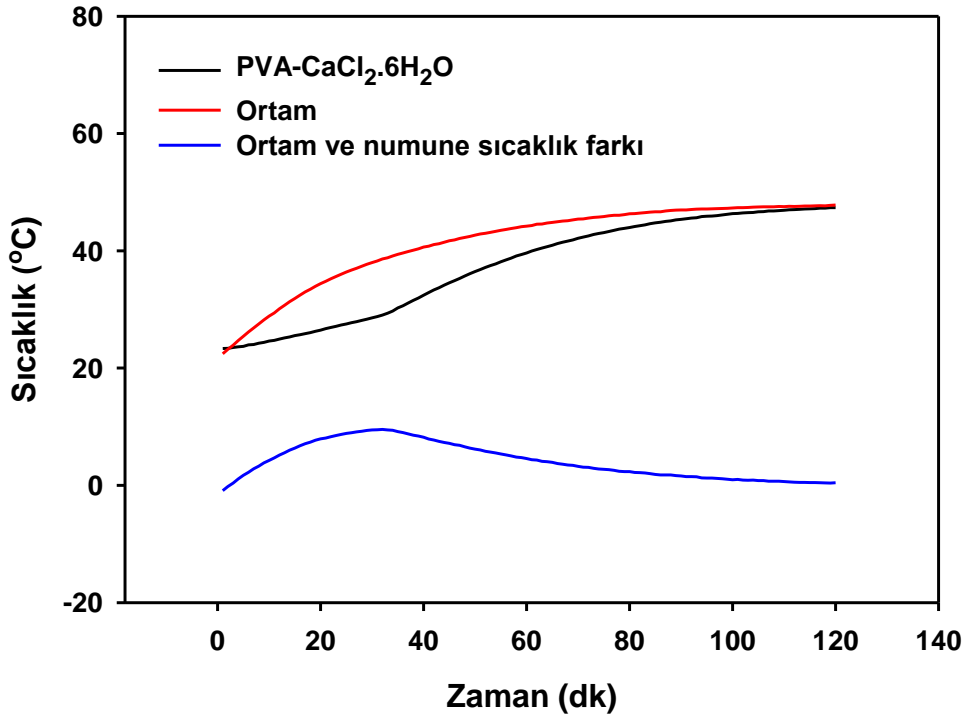
Şekil 4.19. Şekilce kararlı PEG/Na₂SO₄·10H₂O karışımlarının ısıl performans analizi



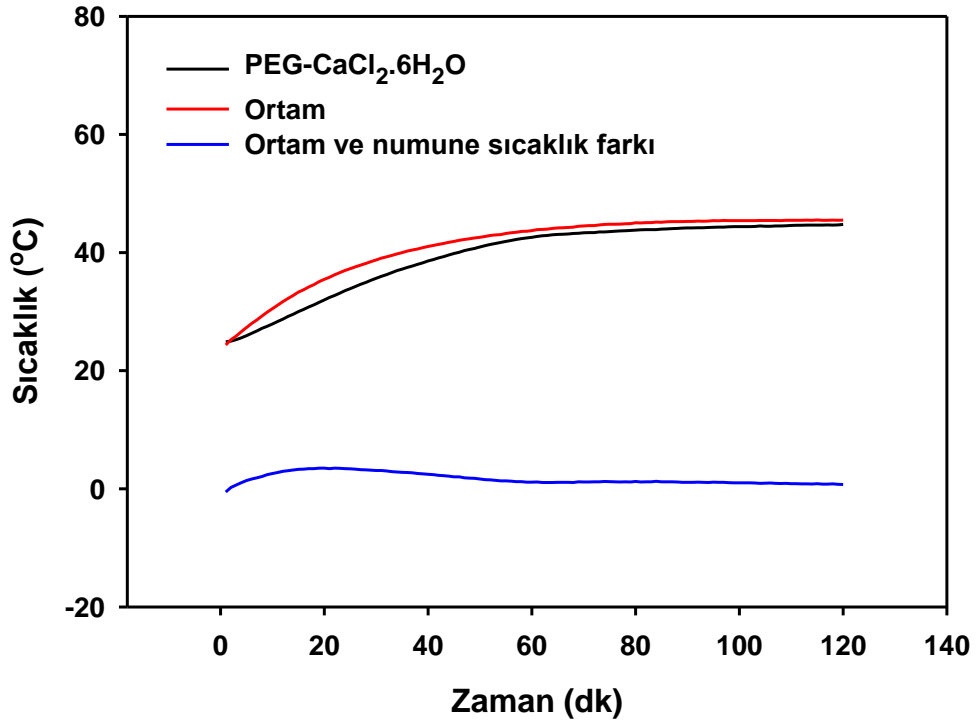
Şekil 4.20. Şekilce kararlı KMS/Na₂SO₄·10H₂O karışımlarının ısıl performans analizi



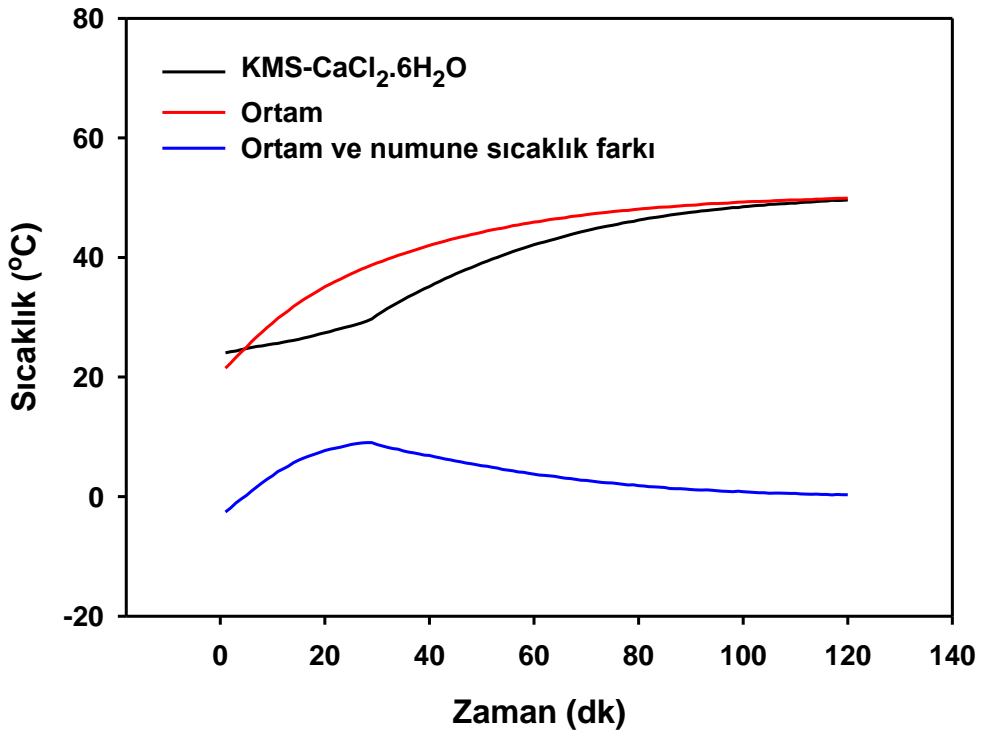
Şekil 4.21. Şekilce kararlı PAM/Na₂SO₄·10H₂O karışımlarının ısıl performans analizi



Şekil 4.22. Şekilce kararlı PVA/CaCl₂·6H₂O karışımlarının ısıl performans analizi



Şekil 4.23. Şekilce kararlı PEG/CaCl₂.6H₂O karışımlarının ısı performans analizi



Şekil 4.24. Şekilce kararlı KMS/CaCl₂.6H₂O karışımlarının ısı performans analizi

Grafiklerden görüleceği üzere tuz hidratların erime davranışlarına yakın sıcaklıklarda numunelerin ısınması yavaşlamış ve hatta belli bir süre ile durmuştur. Bu süre kompozit materyalin entalpi değeriyle değişmekte olup $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ tuzunda $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ tuzuna nazaran daha uzun süre ile sıcaklık artışının durdurulduğu görülmüştür. Bu sonuçlar DSC analizi ile ortaya çıkarılan davranışlarla paraleldir. Isıl geçmiş analizi üretilen yapıların kullanılabilirliğinin yüksek miktarlarla ispatlanması anlamına gelmektedir.

Isıl enerji depolama maksadıyla kullanılan tuz hidratlar tekrarlanabilirlik, agregasyon, korozyon ve aşırı soğuma gibi dezavantajlara sahiptirler. Bu çalışmada gerçekleştirilen suda çözünen polimer kapsüller içerisindeki tuz hidrat sistemleri pasif sistemlerde kullanılabilir ve tekrarlanır şekilde ısı alıp verebilen sistemler olarak öne çıkmaktadır. Tuz hidratların mikro hücrelerde dağıtılmış olması agregasyon sorununu da çözmüştür. Kapsüllenmiş olmaları bu malzemelerin korozyon problemini de doğal olarak çözmektedir. Üstelik hedeflenen sistemlerin pasif olması dolayısı ile üretilen malzemelerin paketlenbilmesi de mümkün olabileceğinden performansları daha da artacaktır. Dolayısı ile üretilen malzemelerin mevcut haliyle ve yapılan testler esas alınarak etkili pasif depolama sistemleri olduğu iddia edilebilir. Tuz hidrat sistemleri mevcut organik faz değişim malzemelerine göre önemli maliyet avantajına sahip olduğu literatürden de bilinmektedir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada; hidrofilik ve amfifilik özellikte olan PVA ve PEG polimerleri; FDM olarak, $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, ve $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ tuz hidratları; yüzey aktif madde olarak, PEG 600, PPG 400, Triton X-100, Tween 80 ve Span 80 malzemeleri kullanılmıştır.

Bu çalışmada, tuz hidratların kompozit ve karışımları hazırlanarak ısıl enerjisi depolama malzemesi olarak kullanılabilirlikleri test edilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen kompozit ve karışımlar içerdikleri FDMnin sabit bir sıcaklık ta hidrat suyunu bırakması ve geri alması ile ısı soğurup depolayan ve tersi durumda yayan malzemelerdir. Bu özellikleri ile ısı depolama özellikli kompozitler solar enerji sistemlerinde, binalarda iklimlendirme ve ısıtma sistemlerinde, gıda paketlerinde, organ nakil araçlarında, tekstil ürünlerinde vb pek çok alanda ve üründe ısıl konforu geliştirme, koruma, ısı düzenleme gibi amaçlar için yaygın olarak kullanılmaktadır. Farklı alanlarda kullanılmak üzere tasarlanmış ısı depolama özellikli kompozitler için en önemli karakteristik özellikler ısı depolama/yayma sıcaklık ve kapasitesi özellikleridir.

DSC sonuçlarına göre ortalama -30 ve $+60$ °C aralığında çalışmakta ve erirken depoladığı enerjiyi katılaştırırken geri yaymaktadır. İki kez tekrarlanan DSC ile de termal kararlılığının olduğunu göstermektedir. Yapılan bu çalışma ile ısıtma ve soğutma amaçlı alanlarda kullanılacak istenilen çalışma sıcaklıklarına uygun sıcaklıklarda faz değişim özelliği gösterebilen, yüksek FDM kapsülleme oranına ve dolayısıyla yüksek enerji depolama kapasitesine sahip, çevresine karşı korozif etkisi olmayan, kimyasal ve ısıl bakımdan kararlı, enerji depolama ömrü uzun, ısıl iletkenliği pratik uygulamalar için yeterli FDM"lerin üretimi gerçekleştirilmiştir.

Sonuç olarak bu çalışma ile üretilen kompozitlerin faz değiştirme sıcaklık aralıklarına bakıldığında, farklı tür tuz hidratlar için farklı eğilimler tespit edilmiştir. Bu grup kompozitler için en yüksek entalpi değerlerinin genellikle $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ tuzu ile KMS ve $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ tuzu ile PVA kullanıldığında alınmıştır. Ayrıca da $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ tuzu ile Tween 80 ve $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ tuzu ile PPG 400 yüzey aktif maddeleriyle kullanıldığında en yüksek entalpi değerlerinin elde edildiği sonucuna ulaşılmıştır.

6. KAYNAKLAR

- Abhat, A., 1983. Low temperature latent thermal energy storage system:heat storage materials. *Solar Energy*, 30, 313–332.
- Akovalı, G., 1884. *Temel ve Uygulamalı Polimer*, A.Ü.F.F. Basımevi, 1-2 s. Ankara.
- Aksoy, K ve Alkan, C., 2016. Kompleks Koaservasyon Metoduyla Kitosan-Poli (vinil alkol) Duvarlı N-hekzadekan Çekirdekli Mikrokapsüllerin Hazırlanması ve Karakterizasyonu. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 20 (2), 290-297.
- Alay,S., Göde, F., Alkan, C., Isıl Enerji Depolama için Poli(etil akrilat)/Hekzadekan Mikrokapsüllerinin Üretilmesi ve Karakterizasyonu-2009 www.teknolojikarastirmalar.com e-ISSN: 1309-3991).
- Alay, S., Alkan, C. ve Göde, F., 2011. Synthesis and characterization of poly(methyl methacrylate)/n-hexadecane microcapsules using different cross-linkers and their application to some fabrics. *Thermochimica Acta* 518, 1-8.
- Alay, S., Alkan, C. ve Göde, F., 2012. Steady-state thermal comfort properties of fabrics incorporated with microencapsulated phase change materials. *The Journal of The Textile Institute* 103, 757-765.
- Alkan, C., 2017. TÜBİTAK Araştırma Projesi Sonuç Raporu. Yenilikçi ısı enerjisi depolama sistemleri üretimi, Tokat.
- Alkan, C., Kahraman Döğüşcü, D., Gottschalk, A., Ramamoorthi, U., Kumar, A., Kumar Yadav, S., Singh Yadav, A., Adıgüzel, E., Altıntaş, A., Damlioğlu, Y. ve Çetin, A., 2016. Polyvinyl Alcohol-Salt Hydrate Mixtures as Passive Thermal Energy Storage Systems. *Energy Procedia*, 91, 1012-1017.
- Alkan, C., Sarı, A., Karaipekli, A. ve Uzun, O., 2009. Preparation, characterization, and thermal properties of microencapsulated phase change material for thermal energy storage. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 93, 143-147.
- Alkan, C., Rathgeber, C., Hennemann, P. ve Hiebler, S., 2019. Poly (ethylene-co-1-tetradecylacrylate) and poly(ethylene-co-1-octadecylacrylate) copolymers as novel solid-solid phase change materials for thermal energy storage. *Polymer Bulletin*, 76, 2021-2039.
- Anonim, 2015b. Understanding PCMs. How do PCMs work. [http://www.microteklabs.com/how-do-pcms-work.html-\(04.06.2015\)](http://www.microteklabs.com/how-do-pcms-work.html-(04.06.2015)).
- Bryant, Y.G. ve Colvin, D.P., 1994. Fabric with Reversible Enhanced thermal Properties. US Patent, 5,366,801.
- Bryant, Y.G. ve Colvin, D.P., 1995. Micro-Climate Cooling Garment. US Patent, 5,415,222.
- Bryant, Y.G. ve Colvin, D.P., 1997. Thermally Enhanced Foam Insulation, US Patent, 5,637,389.
- Chaouat, A., Naeije, R. ve Weitzenblum, E., 2008. KOAH'da Pulmoner Hipertansiyon, Pulmoner Hipertansiyon Serisi: Pratikte Temel Kavramlar M.M. Hoepfer ve A.T. Dinh-Xuan tarafından düzenlenmiştir Serinin 6. Yazısı, 32, 1371-1385
- Çeltikçi, O., D., 2013. Anyonik Ve Katyonik Yüzey Aktif Maddelerin Toprak Ortamında Parçalanabilirliklerinin Tarla Koşullarında Belirlenmesi. (Yüksek Lisans Tezi), Namık Kemal Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Dardir, M., Panchabikesan, K., Haghghat, F., Mankibi, M. ve Yuan, Y., 2019. Opportunities and challenges of PCM-to-air heat exchangers (PAHXs) for building free cooling applications—A comprehensive review. *Journal of Energy Storage*, 22, 157-175.

- Finch, C. A., 1973. Poly(vinyl alcohol): properties and applications. Wiley, New York. 203-227.
- Ghoneim, AA., Klein, SA. ve Duffie, J.A., 1991. Analysis of Collector-Storage Building Walls Using Phase-Change Materials. *Solar Energy*, 47, 237-244.
- Kahraman, Döğüşcü, D., 2016. Islanabilirliği Artırılmış Akrilik Lif Üretimi İçin Poliakrilonitril Kopolimerlerinin Sentez ve Karakterizasyonu. (Doktora Tezi), Gaziosmanpaşa Üniversitesi. Kimya Bölümü, Tokat.
- Kılıç A. ve Öztürk A. 1983. Güneş Enerjisi Kipaş Basımevi, 331, İstanbul.
- Sharma, S.D. ve Sagara, K., 2005. Latent Heat Storage Materials and Systems: A Review. *International Journal of Green Energy*, 2, 1-56.
- Lane, G.A., 1983. Solar Heat Storage: Latent Heat Materials. United States.
- Mattila, H.R., 2006. Intelligent Textiles and Clothing, Woodhead Publishing Limited. The Textile Institute, Cambridge, England.
- Michaels, A.I. 1980. An overview of the USA program for the development of thermal energy storage for solar energy applications. *Thermal storage of Solar Energy, Proceedings of an International TNO Symposium*, 78-89, Amsterdam.
- Mondal, S., 2008. Phase Change Materials for Smart Textiles – An Overview. *Applied Thermal Engineering*, 28, 1536–1550.
- Paksoy, H.Ö., 1992. Thermal Analysis of Heat Storage Materials and Integrated Heat Pump and Thermal Energy Storage. (Doktora Tezi), Çukurova Üniversitesi, Kimya Bölümü, Adana.
- Pillai, K.K., Brinkwarth, B.J., 1976. The storage of low grade thermal energy using phase change materials. *Applied Energy* 2, 205–216.
- Saçak, M., 2008. Polimer Kimyası. Gazi Kitabevi, 58-64 s, Ankara.
- Salaün, F., 2019. Phase Change Materials for Textile Application. *Textile Industry and Environment*, 1-27.
- Sharma A., Tyagi V.V., Chen C.R. ve Buddhi D., 2009. Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13,318-345.
- Sharma, S.D. ve Sagara, K., 2005. Latent heat storage materials and systems: review. *International Journal of Gren Energy*, 2,1-56.
- Qi, Z., Yang, L., Ma, H., Yang, J., Cao, H., Ding, X., Wang, G., Fan, S. Ve Duan, X., 2019. An experimental platform for rapid melting and solidification of metal materials in space. *9th International Symposium on Advanced Optical Manufacturing and Testing Technologies: Subdiffraction-limited Plasmonic Lithography and Innovative Manufacturing Technology*, 1084206, Chengdu, China.
- Wang, X., Lu, E., Lin, W., Liu, T., She, Z., Tang, R. ve Wang, C., 2000. Heat storage performance of the binary systems neopentyl glycol/pentaerythritol and neopentyl glycol/trihydroxy menthylaminomethane as solid phase change materials. *Energy Conservation and Management*, 41, 129-134.
- Wang, T., Huang, J., Zhu, P., Xiao, J., 2009. Fabrication and characterization of micro-encapsulated sodium phosphate dodecahydrate with different crosslinked polymer shells. *Colloid and Polymer Science* , 291, (10), 2463-2468.
- Yılmazoğlu, M., 2010. Isı Enerjisi Depolama Yöntemleri ve Binalarda Uygulanması. *Politeknik Dergisi*, 13, 33-42.
- Zhang Y., Zhou G., Lin K., Zhang Q. ve Di H., 2007. Application of Latent Thermal Energy Storage in Buildings State of the art and Outlook. *Building and Environment*, 42, 2197-2209.

7. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Elif ADIGÜZEL

Doğum Yılı : 17.06.1992

Yazışma Adresi : Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü
Taşlıçiftlik Kampüsü 60250 Tokat/Türkiye.

Telefon : 05432841246

e-posta : elif.adgzl.25@gmail.com

EĞİTİM BİLGİLERİ

Üniversite	Fakülte/Enstitü	Öğrenim Alanı	Derece	Mezuniyet Yılı
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi	Fen Bilimleri Enstitüsü	Kimya Anabilim Dalı	Yüksek Lisans	2014-Devam ediyor
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi	Fen-Edebiyat Fakültesi	Kimya Bölümü	Lisans	2010-2014

YAYINLAR

SCI, SSCI, AHCI indekslerine giren dergilerde yayınlanan makaleler

- 1) Alkan, C., Kahraman Doğuşcu, D., Gottschalk, A., Ramamoorthi, U., Kumar, A., Kumar Yadav, S., Singh Yadav, A., Adıgüzel, E., Altıntaş, A., Damlıoğlu, Y., Çetin, A., Polyvinyl Alcohol-Salt Hydrate Mixtures as Passive Thermal Energy Storage Systems, Energy Procedia 91, 1012-1017.

ULUSAL BİLİMSEL TOPLANTILARDA SUNULAN VE BİLDİRİ KİTABINDA (PROCEEDINGS) BASILAN BİLDİRİLER

▪ Sözlü Bildiriler

- 1) Adıgüzel, E., Kahraman Doğuşcu, D., Alkan, C., Peg 600-Magnezyum Nitrat Hekzahidrat Kararlı Süspansiyonlarının Yenilikçi Isıl Enerji Depolama Sistemleri Olarak Hazırlanması, 27. Ulusal Kimya Kongresi, 23-28 Ağustos 2015, Çanakkale/Türkiye

▪ Poster Bildiriler

1. Adıgüzel, E., Önal, A., Durnaoglu, Ü., Işıldak, Ö., Kavak, F., Kırmızı lahana (*Brassica oleraceae* var. *capitata* f. *rubra*) Kabuğun İpek ve Poliester Kumaş Boyama Potansiyelinin İncelenmesi, 5. Ulusal Kimya Öğrenci Kongresi, 17-19 Mayıs 2014, İstanbul/ Türkiye.
2. Adıgüzel, E., Önal, A., Kulle, N.S., Eser, F., Soğan (*Allium cepa* L.) Kabuğun İpek ve Poliester Kumaş Boyama Potansiyelinin İncelenmesi, 5. Ulusal Kimya Öğrenci Kongresi, 17-19 Mayıs 2014, İstanbul/ Türkiye.
3. Alkan, C., Adıgüzel, E., Poly(ethylene glycol)-Sodium Sulfate Decahydrate Suspensions as Innovative Thermal Energy Storage Systems, Fourth International Symposium Frontiers in Polymer Science, 20-22 May 2015, Riva del Garda (on Lake Garda), Italy.
4. Adıgüzel, E., Alkan, C., Poly(vinyl alcohol)-Sodium Sulfate Decahydrate Suspensions as Innovative Thermal Energy Storage Systems, Fourth International Symposium Frontiers in Polymer Science, 20-22 May 2015, Riva del Garda (on Lake Garda), Italy.
5. Adıgüzel, E., Kahraman Doğuşcu, D., Alkan, C., PVA Polimerinin Na Fosfanat Tuzunun Isı Enerjisi Depo Edebilen Malzeme Olarak Üretimi ve Fizikokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi , 6. Ulusal Polimer Bilim ve Teknolojisi Kongresi, 4-7 Eylül 2016, Ankara/ Türkiye.
6. Adıgüzel, E., Kahraman Doğuşcu, D., Alkan, C., Yapıca Kararlı PAAm-CaCl₂.6H₂O Tuz Hidrat-Polimer Kompozit Karışımının Yenilikçi Termal Enerji Depolama Sistemleri Olarak Hazırlanması, 6. Ulusal Polimer Bilim ve Teknolojisi Kongresi, 9-12 Eylül 2018, Eskişehir/ Türkiye.

PROJE DENEYİMİ

Proje Adı	Kurum	Proje No	Bütçe	Tarih	Görev
Yenilikçi ısıtılabilir enerji depolama sistemleri üretimi	Türkiye bilimsel ve teknolojik kurumu (TÜBİTAK)	114M121	358026,94 TL	15.05.2014-15.07.2016	Bursiyer/ Öğrenci

AR-GE PROJE PAZARI ETKİNLİKLERİ

1. Adıgüzel, E., Alkan, C., Elektroğırme yöntemiyle hazırlanan ısıtılabilir konfor özellikli dokumasız kumaş üretimi, UTİB Türkiye Tekstil Ve Konfeksiyon Sektörü'nde VII. Uluslararası Ar-Ge Proje Pazarı Zirvesi, 27-29 Nisan 2015 Bursa/Turkey.
2. Adıgüzel, E., Alkan, C., Kolon Kanserisinin Tedavisinde Kolona Hedefli Kantaron Yağı Taşıma Sistemi, Bartın Üniversitesi III. Uluslararası Ar-Ge Proje Pazarı Zirvesi, 25-26 Nisan 2019 Bartın/Turkey.

ÖDÜLLER

- 1) UTİB Türkiye Tekstil Ve Konfeksiyon Sektörü'nde VI. Uluslararası Ar-Ge Proje Pazarı Zirvesi, İnşaat Tekstilleri Alanında 1.'lik Ödülü, Adıgüzel, E., Alkan, C., "Elektroğırme yöntemiyle hazırlanan ısıtılabilir konfor özellikli dokumasız kumaş üretimi - Production of cost effective nonwoven fibers with thermal comforth property" 27-29 Nisan 2015 Bursa/Turkey..