

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FAZ DEĞİŞTİREN MALZEME DESTEKLİ İÇ
SIVA UYGULAMALARININ DENEYSEL
İNCELENMESİ: PAMUK LİFLİ SIVA ÖRNEĞİ**

Necla Seval BAYRAM

Temmuz, 2021

İZMİR

**FAZ DEĞİŞTİREN MALZEME DESTEKLİ İÇ
SIVA UYGULAMALARININ DENEYSEL
İNCELENMESİ: PAMUK LİFLİ SIVA ÖRNEĞİ**

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Doktora Tezi

Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Bilgisi Programı

Necla Seval BAYRAM

Temmuz, 2021

İZMİR

DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

NECLA SEVAL BAYRAM, tarafından DOÇ. DR. A. VEFA ORHON yönetiminde hazırlanan “FAZ DEĞİŞTİREN MALZEME DESTEKLİ İÇ SIVA UYGULAMALARININ DENEYSEL İNCELENMESİ: PAMUK LİFLİ SIVA ÖRNEĞİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. A. Vefa ORHON

Yönetici

Doç. Dr. Koray ÜLGEN

Tez İzleme Komitesi Üyesi

Doç. Dr. Müjde ALTIN

Tez İzleme Komitesi Üyesi

Prof. Dr. Tuğçe KAZANASMAZ

Jüri Üyesi

Doç. Dr. Zeynep DURMUŞ ARSAN

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Özgür ÖZÇELİK

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Öncelikle tez sürecimde yardımlarını esirgemeyen saygıdeğer tez danışmanım Doç. Dr. A. Vefa ORHON'a ve değerli hocam Doç. Dr. Müjde ALTIN'a saygı ve teşekkürlerimi sunuyorum. Tezin gelişim aşamasında bana yol haritası çizerek, sabır ve özveriyle beni yönlendiren ve tezin olgunlaşmasında büyük emeği olan sayın hocam Doç. Dr. Koray Ülgen'e değerli katkılarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmamı 2019.KB.FEN.020 numaralı proje ile destekleyen Dokuz Eylül Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne ve çalışanlarına katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Çalışmamın ana malzemesi olan pamuk lifli sıvanın üretimini gerçekleştiren ve bana malzeme temininde bulunan Pamukap firması kurucuları Yahya AKTAŞ ve Osman AKTAŞ'a desteklerinden ötürü teşekkür ederim.

Tez çalışmamın arka plan kahramanlarından biri olan sevgili arkadaşım Doç. Dr. Ayça TOKUÇ'a bana her daim bilgi ve malzeme paylaşımında bulunduğu için, can dostlarım Doç. Dr. Taner UÇAR'a ve Dr. Öğr. Üyesi Berivan POLAT'a zor zamanlarımdaki değerli yardımları için ve adını burada saymadığım çok değerli arkadaşlarıma manevi destekleri için ayrı ayrı teşekkürlerimi sunuyorum.

Hayatımın her anında ve her koşulda yanımda olan ve maddi manevi desteklerini daima yanımda hissettiğim başta sevgili annem Sevgi ERDEM'e, babam Celal ERDEM'e, ağabeyim Önder ERDEM'e, kardeşim Eren ERDEM'e, tez yolculuğumda bana evini ve kalbini açan sevgili teyzem Gönül ÇELİKER'e ve tüm yakınlarıma teşekkür ederim. Ayrıca akademik hayat yolumda beni yürekten destekleyen, yönlendiren ve bana ışık olan canım dayım rahmetli Dr. Öğr. Üyesi Ergün PEHLİVAN'a ve canım dayım Mahmut KARAKAŞ'a binlerce teşekkürler.

Son olarak bu zorlu süreci benimle birlikte yakinen yaşayan, deney sürecinde yardımlarını esirgemeyen, maddi manevi en büyük desteği sağlayan sevgili eşim Mehmet BAYRAM'a gösterdiği fedakârlık, özveri ve sevgisi için sonsuz teşekkürler. Ve tezim sürecinde dünyaya gelen, benim canım oğlum Ozan Sufi BAYRAM, bana tattırdığın koşulsuz sevgin ve varlığın için binlerce teşekkürler.

Necla Seval BAYRAM



FAZ DEĞİŞTİREN MALZEME DESTEKLİ İÇ SIVA UYGULAMALARININ DENEYSEL İNCELENMESİ: PAMUK LİFLİ SIVA ÖRNEĞİ

ÖZ

Faz Değiştiren Malzemeler (FDM) ile ilgili yapılan çalışmalarda FDM'lerin tatmin edici bir termal performans gösterdiği aşîkârdır ancak FDM'ler ile ilgili yeni yapı malzemeleri geliştirmek ve yapı endüstrisinde özel uygulamalar için farklı çözümler üretmek gerekmektedir. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda FDM'ler birçok yapı malzemesine eklenerek test edilmiş, bu çalışmalarda daldırma, makrokapsülleme, doğrudan ekleme gibi metotlar kullanılmıştır. FDM'lerin yapı malzemesine doğrudan karıştırıldığı çalışmalarda mikrokapsüllenmiş FDM'ler tercih edilmiştir. Bu çalışmada ise ana amaç İzmir ilinde üretilen ve tamamen doğal bir malzeme olan pamuk lifli sıvaya (PLS) mikrokapsülsüz ve mikrokapsüllenmiş iki farklı FDM'nin emdirmeye yöntemiyle karıştırılarak, malzemenin termal performansını ne oranda iyileştirilebileceğini test etmektir. Bu sebeple, PLS harcına FDM eklenmesiyle oluşturulan yeni kompozit yapı malzemesinin geliştirilmesi ve karakterizasyonu amaçlanmaktadır. Buna göre kurgulanan yöntemde Tunceli Munzur Üniversitesi'nde İnşaat Mühendisliği Bölümü'ne ait bir laboratuvar içerisinde yer alan iki eşdeğer odanın ısıtma yükünü azaltmak için FDM'li PLS karışımının ne derece katkıda bulunacağı test edilmiştir. Edinilen sonuçlara göre FDM₁'li ve PLS'li oda karşılaştırmasında ısıtıcıların çalıştırıldığında sıcaklık farkı 1,7 °C iken ısıtıcı çalıştırılmadığında sıcaklık farkı 0,5°C'dir. Bu durum FDM₁'li odanın erime sürecine geçerek odanın enerjisini sönümlediğini göstermiştir. Bu sebeple de FDM₁'li oda daha düşük sıcaklıkta seyretmektedir. Deneylerin yapıldığı ısıtma sezonunda ihtiyaç duyulan enerji miktarı ile üretilen enerji miktarı arasında PLS'li oda 0,105 kWh, FDM₁'li oda 0,106 kWh ve FDM₂'li oda 0,72 kWh fark vardır. Buna göre sistem ürettiği enerji ile Mart ayı içerisinde ihtiyaç duyulan enerji miktarını karşılamaktadır. Elde edilen veriler doğrultusunda mikrokapsülsüz FDM'nin mikrokapsüllü FDM'ye göre enerji tasarrufuna daha fazla katkıda bulunduğu görülmektedir.

Anahtar kelimeler: Faz değıştiren malzemeler (FDM), pamuk lifli sıva (PLS), gizli ısı depolama

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF PHASE CHANGE MATERIAL SUPPORTED INTERIOR PLASTER APPLICATIONS: AN EXAMPLE OF COTTON FIBER PLASTER

ABSTRACT

According to studies, it is obvious that phase change materials (PCM) have a satisfactory thermal performance, but it is necessary to develop new building materials and produce different solutions for special applications with PCM in the building industry. In many studies, PCMs have been tested by adding them to construction materials by using methods such as immersion, macroencapsulation and direct addition. Microencapsulated PCMs were preferred in studies by mixing directly into the building material. In this study, the main purpose is to test the performance of the material by mixing two different PCMs, (both microencapsulated and not), to cotton fiber plaster (CFP). Therefore, it is aimed to develop and characterize a new composite building material formed by adding PCM to cotton fiber plaster. Accordingly, in the designed method, it is aimed to test the contribution of the CFP mixture with PCM to reduce the heating load of two equivalent rooms in Tunceli Munzur University. According to the results, in the comparison of rooms with PCM₁ and PLS, the temperature difference is 1.7 °C when the heaters are operated, while the temperature difference is 0.5°C when the heater is turned off. This showed that the room with PCM₁ went into the melting process and absorbed the energy of the room. For this reason, the room with PCM₁ operates at a lower temperature. There was a difference of 0.105 kWh in the room with CFP, 0.106 kWh in the room with PCM₁ and 0.72 kWh in the room with PCM₂ between the amount of energy needed and the amount of energy produced in the heating season in which the experiments were carried out. Accordingly, the system meets the amount of energy needed in March with the energy it produces. The data obtained show that non-microencapsulated PCM contributes more to energy saving than microencapsulated.

Keywords: Phase change materials (PCM), cotton fiber plaster (CFP), latent heat storage

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZ	v
ABSTRACT	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
TABLolar LİSTESİ	xiv

BÖLÜM BİR - GİRİŞ

1

1.1 Problem Tanımı.....	1
1.2 Araştırmanın Hedefi ve Amaçları.....	3
1.3 Araştırmanın Yöntemi ve Kapsamı	4

BÖLÜM İKİ - MİMARLIKTAKİ ENERJİ ETKİN AMAÇLI KULLANILAN AKILLI MALZEMELER.....

6

2.1 Akıllı Malzemeler.....	6
2.1.1 Nitelik Değiştiren Malzemeler.....	7
2.1.2 Enerji Değiş Tokuşu Yapan Malzemeler.....	8
2.2 Isı Depolama Yöntemleri	10
2.2.1 Duyulur Isı Depolama.....	10
2.2.2 Termokimyasal Enerji Depolama	11
2.2.3 Gizli Isı Depolama	11
2.3 Faz Değiştiren Malzemeler	12
2.3.1 Organik FDM'ler	14
2.3.2. İnorganik FDM'ler.....	15
2.3.3. Ötektikler	15
2.3.4 Şekil Stabilize Faz Değiştiren Malzemeler.....	15
2.3.5 Form Stabil Faz Değiştiren Malzemeler.....	16
2.4 Uygun Faz Değiştiren Malzeme Kriterleri	16

2.4.1 Termal Özellikler	16
2.4.2 Kimyasal Özellikler	17
2.5 Faz Değiştiren Malzeme Üretim Yöntemleri	17
2.5.1. Mikrokapsülleme	17
2.5.2. Makrokapsülleme.....	18
2.5.3. Doğrudan Kullanım	18
2.5.4. Daldırma	18
BÖLÜM ÜÇ - DENEYSEL ÇALIŞMA	26
3.1. Kullanılan Malzemeler	27
3.1.1 Pamukap- Pamuk Lifli Sıva (PLS)	27
3.1.2 Faz Değiştiren Malzemeler (FDM).....	29
3.2. FDM’li PLS Karışımlarının Oluşturulması	32
3.3 FDM Özelliklerini Analiz Yöntemleri	34
3.3.1 Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC)	35
3.3.2 Isıl İletkenlik ve Isıl Direnç Ölçümü	37
3.3.3 Yoğunluk Ölçümü.....	37
3.4. Deney Odaları.....	38
3.5. Ölçümlerde Kullanılan Malzemeler	42
3.5.1 Isıl Çiftler.....	42
3.5.2 Datalogger.....	43
3.6 Deney Çalışması 1. Aşama.....	44
3.6.1 24-28 Mart Ölçümleri (Isıtıcı Çalıştırarak).....	47
3.7 Deney Çalışması 2. Aşama.....	62
3.7.1 20 -26 Mart 2021 Ölçümleri Isıtıcı Çalıştırarak	69
3.8 Isıtma Yüğü Hesaplama	81
3.9 Enerji İhtiyacı ve Üretimi Hesabı.....	91
BÖLÜM DÖRT- TARTIŞMA VE SONUÇ.....	97
BÖLÜM BEŞ- ÖNERİLER	100

KAYNAKLAR 100

EKLER..... 108



ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Gizli ısı duyulur ısı karşılaştırma grafiği	12
Şekil 2.2 FDM çeşitleri	13
Şekil 3.1 Pamukap- PLS	27
Şekil 3.2 PLS'nin su eklemeyen önceki hali ve sıva yapılmış hali	28
Şekil 3.3 PLS'nin püskürtme tabancası ile duvar yüzeyine uygulanması	28
Şekil 3.4 Kuru PLS'nin tartılması	29
Şekil 3.5 Rubitherm SP ₂₁ EK Mikrokapsülsüz FDM (FDM ₁)	30
Şekil 3.6 Nextek 18D Mikrokapsüllü FDM (FDM ₂)	31
Şekil 3.7 Numunelerin hazırlanma aşamasında kullanılan malzemeler	32
Şekil 3.8. FDM'nin eritilerek suya karıştırılması	33
Şekil 3.9 FDM'li PLS'nin hazırlanma aşaması	33
Şekil 3.10 FDM'li PLS'nin kalıplara dökülmesi	33
Şekil 3.11 %10 ve %25 oranında hazırlanan FDM ₁ 'li numuneler	34
Şekil 3.12 %40 ve %60 oranında hazırlanan FDM ₁ 'li numuneler	34
Şekil 3.13 Yoğunluk ölçümü için hazırlanan numuneler	38
Şekil 3.14 Deneylerin gerçekleştiği test odalarının içinde bulunduğu laboratuvar ...	39
Şekil 3.15 Test odalarının dıştan görünümü	39
Şekil 3.16 Alüminyum doğramaların alçıpan levha ile yalıtıma hazırlanması	40
Şekil 3.17 Alüminyum doğramaların alçıpan levha ile yalıtılması	40
Şekil 3.18 Deneyin yapıldığı laboratuvarın ve test odalarının planı	41
Şekil 3.19 Deneyin yapıldığı test odalarının planı	42
Şekil 3.20 Isıl çiftlerin duvara alüminyum bant ile sabitlenmesi	43
Şekil 3.21 Datalogger	44

Şekil 3.22 Isıl çift kurulum şeması	45
Şekil 3.23 1 numaralı duvar	46
Şekil 3.24 2 ve 6 numaralı duvar	46
Şekil 3.25 3 numaralı duvar	46
Şekil 3.26 5 numaralı duvar	47
Şekil 3.27 7 numaralı duvar	47
Şekil 3.28 24-28 Mart 2020, iç ortam sıcaklık karşılaştırması	49
Şekil 3.29 28 Mart, 1 günlük iç ortam sıcaklık karşılaştırması	49
Şekil 3.30 9-12 Şubat 2021 iç ortam 5 günlük sıcaklık ölçümleri (ısıtıcı çalıştırmadan).....	50
Şekil 3.31- 24-28 Mart 2020, 5 günlük dış ortam sıcaklık karşılaştırması	51
Şekil 3.32 28 Mart 2020, 1 günlük dış ortam sıcaklık karşılaştırması	51
Şekil 3.33 24-28 Mart 2020, 5 günlük iç-dış ortam sıcaklık karşılaştırması	52
Şekil 3.34 28 Mart 2020, 1 günlük iç-dış ortam sıcaklık karşılaştırması	53
Şekil 3.35 9-12 Şubat 2021 iç-dış ortam 5 günlük (ısıtıcı çalıştırmadan)	54
Şekil 3.36 24-28 Mart 2020 FDM ₁ 'li duvarlar ve iç ortam, 5 günlük sıcaklık ölçümleri (ısıtıcı çalıştırarak).....	54
Şekil 3.37 28 Mart 2020 FDM ₁ 'li duvarlar ve iç ortam, 1 günlük sıcaklık ölçümleri ısıtıcı çalıştırarak)	55
Şekil 3.38 9-12 Şubat 2021 FDM ₁ 'li duvarlar ve iç mekân 5 günlük ölçümleri (ısıtıcı çalıştırmadan)	56
Şekil 3.39 24-28 Mart 2020 FDM'siz duvarlar ve iç ortam, 5 günlük sıcaklık ölçümleri (ısıtıcı çalıştırarak).....	57
Şekil 3.40 28 Mart 2020 FDM'siz duvarlar ve iç ortam, 1 günlük sıcaklık ölçümleri (ısıtıcı çalıştırarak)	57

Şekil 3.41 9-12 Şubat 2021 FDM'siz duvarlar ve iç ortam 5 günlük sıcaklık ölçümleri (ısıtıcı çalıştırmadan)...	58
Şekil 3.42 24-28 Mart 2020 FDM'siz ve FDM ₁ 'li bölme duvarlar ve iç ortamlar, 5 günlük sıcaklık ölçümleri (ısıtıcı çalıştırarak)	59
Şekil 3.43 28 Mart 2020 FDM'siz ve FDM ₁ 'li bölme duvarlar ve iç ortamlar, 5 günlük sıcaklık ölçümleri (ısıtıcı çalıştırarak)	59
Şekil 3.44 9-12 Şubat 2021 FDM'siz duvarlar ve iç ortam 5 günlük sıcaklık ölçümleri (ısıtıcı çalıştırmadan)	60
Şekil 3.45 24-28 Mart 2020 FDM'siz ve FDM ₁ 'li oda alüminyum panel, 5 günlük sıcaklık ölçümleri (ısıtıcı çalıştırarak)	61
Şekil 3.46 28 Mart 2020 FDM'siz ve FDM ₁ 'li oda alüminyum panel, 5 günlük sıcaklık ölçümleri (ısıtıcı çalıştırarak)	61
Şekil 3.47 9-12 Şubat 2021 FDM'siz ve FDM ₁ 'li oda alüminyum panel 5 günlük ve 1 günlük sıcaklık ölçümleri (ısıtıcı çalıştırmadan)	62
Şekil 3.48 İkinci durum ısı çift kurulum şeması	64
Şekil 3.49 FDM ₂ -P'yi uygulamadan önce PLS'li duvarın kazınarak temizlenmesi...	65
Şekil 3.50 FDM ₂ -P'li karışımın hazırlanması	65
Şekil 3.51 FDM ₂ 'li karışımın hazırlanması	66
Şekil 3.52 FDM ₂ 'li karışımın mikserle karıştırılması ve duvara uygulanması	67
Şekil 3.53 1 nolu duvar	67
Şekil 3.54 2 nolu duvar	68
Şekil 3.55 3 nolu duvar	68
Şekil 3.56 5 nolu duvar	68
Şekil 3.57 6 nolu duvar	69
Şekil 3.58 7 nolu duvar	69
Şekil 3.59 20 -26 Mart 2021 7 günlük sıcaklık ölçümleri (ısıtıcı çalıştırmadan ve ısıtıcı çalıştırarak).....	71

Şekil 3.60 23 Mart 2021 1 günlük sıcaklık ölçümleri (ısıtıcı çalıştırarak)	71
Şekil 3.61 20-26 Mart 2021 7 günlük dış ortam sıcaklık ölçümleri (ısıtıcı çalıştırmadan ve ısıtıcı çalıştırarak).....	72
Şekil 3.62 23 Mart 2021 dış ortam 1 günlük sıcaklık ölçümleri (ısıtıcı çalıştırarak)...	73
Şekil 3.63 20-26 Mart 2021 7 günlük iç-dış ortam sıcaklık ölçümleri (ısıtıcı çalıştırmadan ve ısıtıcı çalıştırarak)	74
Şekil 3.64 23 Mart 2021 iç-dış ortam 1 günlük sıcaklık ölçümleri (ısıtıcı çalıştırarak).....	74
Şekil 3.65 20 -26 Mart 2021 7 günlük FDM ₁ 'li duvarlar ve iç ortam sıcaklık ölçümleri (ısıtıcı çalıştırmadan ve ısıtıcı çalıştırarak)	75
Şekil 3.66 23 Mart 2021, 1 günlük FDM ₁ 'li duvarlar ve iç ortam sıcaklık ölçümleri (ısıtıcı çalıştırarak)	76
Şekil 3.67 20-26 Mart 2021 7 günlük FDM ₂ 'li duvarlar ve iç ortam sıcaklık ölçümleri (ısıtıcı çalıştırmadan ve ısıtıcı çalıştırarak)	77
Şekil 3.68 20 -26 Mart 2021, FDM ₁ 'li ve FDM ₂ 'li bölme duvar ve iç ortam sıcaklık ölçümleri (ısıtıcı çalıştırmadan ve ısıtıcı çalıştırarak)	77
Şekil 3.69 23 Mart 2021, 1 günlük FDM ₁ 'li ve FDM ₂ 'li bölme duvar ve iç ortam sıcaklık ölçümleri (ısıtıcı çalıştırmadan ve ısıtıcı çalıştırarak)	79
Şekil 3.70 20 -26 Mart 2021, alum. paneller sıcaklık ölçümleri (ısıtıcı çalıştırmadan ve ısıtıcı çalıştırarak)	79
Şekil 3.71 23 Mart 2021, 1 günlük alum. paneller sıcaklık ölçümleri (ısıtıcı çalıştırmadan ve ısıtıcı çalıştırarak)	80

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1 FDM uygulama yöntemleri, avantajları ve dezavantajları	21
Tablo 3.1 Çalışmanın metodolojisi	26
Tablo 3.2. PLS Teknik Özellikleri	27
Tablo 3.3 PLS ilk ağırlık, kuru ağırlık	29
Tablo 3.4 FDM1 teknik özellikleri	30
Tablo 3.5 Mikrokapsüllü FDM ₂ teknik özellikleri	31
Tablo 3.6 PLS- FDM1- Su oranları	32
Tablo 3.7 DSC cihazı teknik özellikleri	35
Tablo 3.8 FDM ₁ -P DSC analiz sonuçları, Tie ısıtma grafiği ilk erime sıcaklığı, Tpe ısıtma grafiği pik erime sıcaklığı, Tse ısıtma grafiği son erime sıcaklığı, ΔH_e ısıtma grafiği erime entalpisi, Tik soğutma grafiği ilk kristallenme sıcaklığı, Tpk soğutma grafiği pik kristallenme sıcaklığı, Tsk soğutma grafiği son kristallenme sıcaklığı, ΔH_k soğutma grafiği kristallenme entalpisi.....	36
Tablo 3.9 FDM ₂ -P DSC analiz sonuçları, Tie ısıtma grafiği erime sıcaklığı, Tpe ısıtma grafiği pik erime sıcaklığı, ΔH_e ısıtma grafiği erime entalpisi	37
Tablo 3.10 FDM ₁ , FDM ₂ ve PLS yoğunluk, ısıl iletkenlik ve ısıl direnç değerleri...	38
Tablo 3.11 Datalogger teknik özellikleri	43
Tablo 3.12 24-28 Mart 2020 5 günlük sıcaklık ölçümleri (ısıtıcı çalıştırarak)	48
Tablo 3.13 28 Mart 1 günlük sıcaklık ölçümleri	48
Tablo 3.14 9-12 Şubat 2021 (ısıtıcı çalıştırmadan)	48
Tablo 3.15 22-26 Mart 2021 Sıcaklık 5 günlük sıcaklık ölçümleri (ısıtıcı çalıştırarak).....	70
Tablo 3.16 20-21 Mart 2021 Sıcaklık 2 günlük sıcaklık ölçümleri (ısıtıcı çalıştırmadan)	70

Tablo 3.17 Uygulama öncesi deney odalarının ısı kaybı ve kazancı hesabı	82
Tablo 3.18 Deney odalarının 1 yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı	84
Tablo 3.19 PLS’li deney odasının ısı kaybı ve kazancı hesabı	85
Tablo 3.20 FDM ₁ -P’li deney odasının ısı kaybı ve kazancı hesabı	87
Tablo 3.21 FDM ₂ -P’li deney odasının ısı kaybı kazancı hesabı	89



BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Bu bölümde genel olarak problem tanımı, tezin amacı, kapsamı, yöntemi ve konuyla ilgili günümüze kadar yapılan çalışmalar ile ilgili literatür taraması yer almaktadır.

Buna göre tez çalışmasının ilk bölümünde problem tanımı yapılarak araştırmanın hedefi, amaçları, yöntemi ve kapsamı üzerinde durulmuştur.

Tezin ikinci bölümünde ilk olarak akıllı malzemelerin tanımı yapılarak çeşitleri ve özellikleri anlatılmıştır. Daha sonra ısı depolama yöntemlerinden duyulur, termokimyasal ve gizli ısı depolama teknikleri araştırılmıştır. Akıllı malzemelerden biri olan ve gizli ısı depolama özelliğine sahip FDM'ler tez çalışmasının odak noktası olup, çeşitleri, seçim kriterleri, termal ve kimyasal özellikleri ve üretim yöntemleri irdelenmiştir. Daha sonra literatür çalışmalarına yer verilerek, uygulama alanlarına göre FDM'lerin kullanıldığı deneysel ve nümerik çalışmalar incelenmiştir.

Tezin üçüncü bölümünde FDM'lerin termal özelliklerini analiz yöntemleri incelenmiştir.

Tezin dördüncü bölümünde tez kapsamında yapılan deneysel çalışmanın aşamaları detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

Tezin beşinci bölümü sonuç ve tartışma bölümüdür. Deneysel çalışma neticesinde elde edilen veriler grafiğe dökülerek malzemelerin getirdiği katkı yorumlanmış ve ısıtma yükü hesabı yapılmıştır.

1.1 Problem Tanımı

Son yıllarda dünyada yaşanan enerji krizi nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim artmıştır. Bu bağlamda yapıların iklimlendirme ihtiyaçlarının yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması üzerine yoğun araştırmalar yapılmaktadır. Bu arayışlar sonucunda çevresel değişkenlere cevap veren ve akıllı

malzemeler olarak adlandırılan yeni nesil malzemeler ortaya çıkmıştır. Bulundukları ortama göre tepki veren bu yeni malzemeler yenilenebilir enerjiler üretebilecek, kendilerini iyileştirebilecek, kendi bakımını yapabilecek, enerji tüketimini minimuma indirecek ve doğal ışığın maksimum kullanımını sağlayabilecek özelliklere sahiptir.

Akıllı malzemelerin mimarlıkta kullanmaya başlanmasıyla, ahşap ve taş gibi konvansiyonel malzemelerin standart özelliklerini kabul etmek ve getirdiği sınırlamalar çerçevesinde tasarım yapmak yerine, gereksinim duyulan ihtiyaca göre malzeme seçimi gerçekleştirilmeye başlanmıştır. Böylece malzeme tasarımı değil, tasarım malzemeyi yönetmeye başlamıştır. Bu sayede geleneksel malzemelerin getirdiği masif kütlenin yerini hafif yapı sistemli akıllı binalar almış ve mimarlara özel sorunlara özel cevaplar veren yeni yapı elemanları tasarlama imkânı sunulmuştur. Standart yapı malzemeleri bina yüklerine dayanacak şekilde statik konumda iken, akıllı malzemeler enerji tüketimine tepki üretmeleri bakımından dinamik yapıdadır.

Daha çok elektronik, tekstil, havacılık, tıp ve kimya alanında geniş uygulama alanına sahip olan akıllı malzemelerin mimarlık alanında kullanımı birkaç malzeme ile sınırlıdır. Faz değiştiren malzemeler (FDM) pasif yapı sistemlerinde enerji korunumu sağlaması bakımından tercih edilen akıllı malzemelerden biridir. FDM'lerin gizli ısı depolama özelliği sayesinde, yapıların ısıtma ve soğutma uygulamalarında verimliliğinin artırılması mümkündür. FDM'ler, birim kütle başına depolanan ısı miktarının etkin biçimde artışının sağlanması, mevcut sistemlerle kolayca bütünleştirilebilmesi, duvar kalınlıklarının azaltılabilmesi ve uygulama alanını diğer kullanımlar için optimize edebilmesi gibi nedenlerle klasik sistemlere karşı ideal bir seçenek olarak görülmektedir. 10 yıllardır yapı uygulamalarında kullanılan FDM'lerin iç mekânda getirdiği faydalar hâlihazırda kanıtlandığından FDM'ler ile ilgili yeni yapı malzemeleri geliştirmek ve yapı endüstrisinde özel uygulamalar için farklı çözümler üretmek gerekmektedir. Bu sebeple, bu çalışmada, PLS harcına FDM eklenmesiyle oluşturulan yeni bir kompozit yapı malzemesinin geliştirilmesi ve karakterizasyonu amaçlanmaktadır. Önerilen çalışma konusu ile aşağıdaki sorulara uygun cevaplar bulmaya çalışılacaktır.

- Deneylerin gerçekleştirileceği ortam koşulları için uygun FDM çeşitleri hangileridir?
- PLS'ye eklenecek uygun FDM oranı nedir?
- PLS'ye FDM eklenerek malzemenin termal performansı ne oranda iyileştirilebilir?
- FDM- PLS karışımını mimari uygulamalarda üretime geçirmek için fiziksel ve termal özellikleri yeterli midir?

1.2 Araştırmanın Hedefi ve Amaçları

Bu sebeple tez kapsamında İzmir ili içerisinde üretimi yapılan ve tamamen doğal içerikli olan pamuk lifli sıva (PLS) içerisine FDM eklenmesiyle oluşturulacak yeni nesil kompozit malzemenin, enerji verimliliği açısından getirdiği katkının ölçülmesi amaçlanmaktadır. Böylece PLS'ye gizli ısı depolama yeteneği kazandırılarak, yapının ısıtma ve soğutma yüklerinin azaltılması amaçlanmaktadır. Çalışmada PLS'nin tercih edilme sebebi, malzemenin yerel üretim olması, kolay temin edilebilmesi, kolaylıkla uygulanabilmesi ve düşük maliyetli olmasıdır. Ayrıca malzemenin doğal içerikli olması sebebiyle de nefes alan, ekolojik bir yapı tasarımı elde etmek hedeflenmektedir. Bu çalışma ile üretilen bu kompozit malzemenin pratikte uygulanabilmesi için gerekli bilgiler elde edilecek ve böylece literatüre daha önce denenmemiş bir çalışma sunularak katkıda bulunulacaktır.

Literatürde FDM'nin birçok yapı bileşeniyle kullanıldığı çalışmalar bulunmaktadır. Ancak doğal içerikli, yerel üretimi gerçekleştirilen bir malzemenin içerisine eklenerek yapılan bir uygulamaya rastlanmamış olması çalışmanın özgünlüğünü ortaya koymaktadır. Ayrıca doğrudan karıştırma yöntemlerinin uygulandığı çalışmalarda genel olarak sadece mikrokapsüllü FDM'ler tercih edilmiştir. Bu çalışmada farklı olarak mikrokapsülsüz FDM de PLS'ye emdirilerek uygulanabilirliği test edilecektir. Tez kapsamında bina kabuğunun iç yüzeylerine uygulanacak FDM içerikli PLS'nin uzun süreli davranışlarının incelenmesi sonucu elde edilecek veriler, yeni bulgular niteliğinde olup, tez çalışmasının özgün değerini yüksek düzeyde artıracaktır.

Önerilen çalışmanın hedefleri ise şöyle özetlenebilir:

- FDM’li PLS karışımlarının termal karakterizasyonu,
- İki farklı test düzeneğinin kurulması. FDM₁-P’li ve FDM’siz ve FDM₁-P’li FDM₂-P’li iki farklı senaryonun karşılaştırılması
- Termal döngü esnasında duvarların, iç ve dış mekânların davranışlarının incelenmesi ve karşılaştırılması
- Yapılan ölçümler ile ısıtma yükünün ve enerji tasarrufunun hesaplanması ve sonuçların değerlendirilmesidir.

1.3 Araştırmanın Yöntemi ve Kapsamı

Bu tez çalışmasında, PLS’ye FDM eklenerek oluşturulan yapı bileşeninin enerji verimliliği açısından sağladığı katkının değerlendirilmesi için önerilen modelde deneysel çalışmaya dayalı yöntem kullanılmaktadır. Çalışmada uygulama yapmak üzere duvar yüzeyi yapı bileşeni olarak seçilmiştir. Çalışma kapsamında PLS’ye karıştırılacak en uygun FDM oranı tespit edilmiş ve sıva karışımının uygulandığı duvar davranışı ısıtma mevsimi periyodunda incelenerek duvarın performansının iç mekâna etkisinin belirlenen aylara göre nasıl değiştiği ortaya konulmuştur. Sistemin gerçek yapılarda uygulanması göz önüne alınarak, yapıya getireceği katkı, FDM kullanmadan ve mikrokapsüllü ve mikrokapsülsüz FDM kullanılarak tasarlanmış bir yapı elemanının karşılaştırılmasını kapsamaktadır.

Bu çalışmada yapılacak deneyler kapsamında kullanılacak metotlar şunlardır:

FDM seçimi: Yapı tipi, ortam koşulları ve parametrik verilerden yola çıkılarak hal değişim sıcaklığına göre mikrokapsüllü ve mikrokapsülsüz FDM seçimi gerçekleştirilecektir.

FDM’nin oranının belirlenmesi: Seçilen FDM’nin PLS içerisine hangi oranda katılacağı ve bu oranın sıvanın özelliklerini nasıl etkileyeceği incelenmiştir. Bunun için FDM oranı kütsel olarak %10, %25 ve %40 olacak şekilde numuneler hazırlanarak malzemenin termofiziksel özellikleri analiz edilmiş, çıkan sonuçlara göre optimum FDM oranı belirlenmiştir.

FDM'nin termofiziksel özelliklerinin belirlenmesi: Yapı malzemelerinin verimlilik ölçütü mekanik davranışları olduğu kadar, ısı performansına da bağlıdır. Bir malzemenin ısı performansını ısı iletim katsayısı, özgül ısı ve ısı geçiş katsayısı parametreleri tayin etmektedir. Buna göre deneysel çalışmada kullanılacak olan FDM'li PLS karışımının yoğunluğu, ısı iletim katsayısı, ısı direnci ve ısı depolama kapasitesi belirlenmiştir. Isı iletim katsayısı, yoğunluk ve ısı direnç değerleri TSE İstanbul laboratuvarında yapılan ölçümler sonucunda elde edilmiştir. Hazırlanan karışımların ısı depolama kapasiteleri ise DEU Makine Mühendisliği ve Ege MATAL Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda uygun karışım oranına karar verilmiş ve belirlenen aylarda gözlemlenmek üzere test odası duvarına uygulanmıştır.

FDM'li PLS'nin ısı davranışının deneysel olarak ölçülmesi: FDM'lerin ve PLS'nin ısıtma yüküne katkısını gözlemlene amaçı ile gerçek ortam koşullarına maruz bırakılan 11 m²'lik (ve) iki adet ışık geçirimsiz test kulübesi kullanılarak, ölçümlerle çıkan sonuçlar karşılaştırılmıştır. İlk aşamada FDM₁-P'li, FDM'siz, ikinci aşamada ise FDM₁-P'li, FDM₂-P'li olmak üzere iki farklı senaryo kurgulanmıştır. Deneyler süresince iç yüzeyler, iç mekân ve dış mekân sıcaklıklarını ölçmek için 10 adet PT 100 sıcaklık sensörü kullanılmıştır. HC 2S3- Elite marka sıcaklık ve nem sensörü ile sıcaklık, nem ve hava hareketleri ölçümü yapılmıştır. Elde edilen verilerin depolanması amacıyla CR1000 Datalogger kullanılmıştır.

Analizler ve Sonuçların değerlendirilmesi: 3 aylık ısıtma sezonunda yapılan deneylerden elde edilen verilere göre FDM'li PLS'nin performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Yapı elemanı kullanımının sağladığı enerji tasarrufunun ve ısıtma yükünün hesaplanması ile sonuçlar değerlendirilmiştir.

BÖLÜM İKİ

MİMARLIKTAKİ ENERJİ ETKİN AMAÇLI KULLANILAN AKILLI MALZEMELER

2.1 Akıllı Malzemeler

Günümüzde inşaat sektöründe müşteri taleplerinin artması, olumsuz çevresel koşullara yanıt veren mimari çözümler arayışı, sürdürülebilirlik ve düşük maliyetli ürünler gibi ihtiyaçlar, inşaat sektörünün geleneksel kimliğinden sıyrılarak malzeme alanında yenilik getirmesini zorunlu kılmıştır. Enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik açısından üstün özelliklere sahip akıllı malzemeler bu amaca hizmet edebilecek yeni nesil ürünlerden biridir.

Önceleri kullanışlılıkları, elde edilebilirlikleri veya cephede süsleme yeterlilikleri sebebiyle seçilen yapı malzemeleri, görsel ve işlevsel olarak binanın durağan bir parçası konumundaydı. Ancak akıllı malzemelerin mimarlıkla etkileşime geçmesiyle birlikte malzemeler dış uyaranlara tepki veren aktif yapı elemanlarına dönüştü (Addington ve Schodek, 2005). Akıllı malzemeler fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkiler gibi dış uyaranlara karşı çevreye akıllı tepkiler vererek değişime uğrayan, nitelik değiştiren veya enerji dönüşümü yapan malzemeler olarak yapı uygulamalarında yerini aldı. Akıllı malzemelerin yapı uygulamalarında getirdiği olanaklar şu şekilde sıralanabilir (Mohamed, 2017):

- Üstün mukavemet ve dayanıklılık
- Aşınma, korozyon, yorgunluk ve kimyasal reaksiyonlara karşı direnç
- Malzeme yaşam döngüsü, sürekliliği ve maliyet verimliliği
- Üretim ve uygulama kolaylığı
- Estetik ve çevresel uyumluluk
- Kendi kendini iyileştirme, kontrol etme, çevresel uyarılara tepki verme.

Addington ve Schodek'in 'Smart Materials and New Technologies for Architecture and Design Professions' adlı kitabında Akıllı Malzemeleri 3 ana gruba ayırmış ve

Nitelik Değiştiren Malzemeler, Enerji Değiş Tokuşu Yapan Malzemeler ve Tersinir Enerji Değiş Tokuşu Yapan Malzemeler olarak sınıflandırmıştır. Addington ve Schodek malzemeleri incelerken bir girdiden ve bir çıktıdan bahsetmiştir. Akıllı malzemelerin doğasında ortamda bulunan uyarana nitelik değiştirerek veya enerji değiş tokuşu yaparak tepki vermek vardır. Akıllı malzemeleri de geleneksel malzemelerden ayıran faktör de uyaranlara karşı verdiği tepkiler yani girdi-çıkıtlardır.

2.1.1 Nitelik Değiştiren Malzemeler

Dış uyaranların etkisiyle (kimyasal, termal, mekanik, manyetik, optik veya elektrik etki) malzemenin şekil, sertlik, akışkanlık, opaklık ve hal gibi özelliklerinin değişime uğramasıdır. Renk değiştiren, şekil değiştiren ve adezyon değiştiren malzemeler olarak 3'e ayrılırlar (Döşemeciler, 2012).

2.1.1.1 Şekil Değiştiren Akıllı Malzemeler

Şekil değiştiren akıllı malzemeler, dış etkilerden, (ışık, sıcaklık, basınç, elektrik, manyetik alan veya kimyasalların etkisinden dolayı) bir veya daha fazla uyarana tepki olarak şekillerini ve / veya boyutlarını tersine çevirebilen malzemelerdir. Basınç ve gerilimden etkilenen piezoelektrik malzemeler, sıcaklık karşısında şekil değiştiren termotriktif malzemeler, elektriğe maruz kaldığında şekil değiştiren elektroaktif malzemeler, manyetik alandan etkilenen manyetotriktif malzemeler ve kimyasallardan etkilenen kemotriktif malzemeler bu gruptadır. Şekil değiştiren malzemeleri membran, üst örtü, yapı kabuğu ve cephelerde güneş kırıcı gibi yapı elemanlarına uygulayarak kullanım amacına göre hareket kontrolü sağlamak ve enerji korunumu sağlamak mümkündür (Orhon, 2012).

2.1.1.2 Renk Değiştiren Akıllı Malzemeler

Renk değiştiren akıllı malzemeler ısı, ışık, basınç, elektriksel veya manyetik alanın ve kimyasal bir uyarının etkisine maruz kaldığında renklerini veya optik özelliklerini değiştiren malzemelerdir (Ritter, 2007). Elektrik verildiğinde renk değiştiren elektrokromik malzemeler, ışığa maruz kaldığında, renk değiştiren fotokromik camlar, ortam sıcaklığına bağlı olarak renk değiştiren boyalar, sıcaklık değişimleri karşısında renk değiştiren termokromik malzemeler, basınç veya deformasyona maruz kaldığında renk değiştiren mekanokromik malzemeler mimari kullanıma en uygun akıllı malzemelerdir.

2.1.1.3 Adezyon Değiştiren Akıllı Malzemeler

Adezyon değiştiren akıllı malzemeler, bir uyarana yanıt olarak katı, sıvı veya gazlı bir bileşenin atom veya molekülleri arasındaki adezyonu değiştiren malzemelerdir. Bu durum, ışık, sıcaklık, elektriksel alan gibi bir uyarın etkisiyle meydana gelebilir (Ritter, 2007). Bunların arasında emme ve yüzeye tutunma özelliği ile kir parçacıklarını tutarak ışık etkisiyle su ve karbondioksit parçalayan (fotokatalitik) titanyum dioksit cephe uygulamalarında kullanılmaktadır. Ayrıca malzemenin hidrofilik (buğu yapmama), fotokatalitik ve bakteri barındırmama özellikleri sayesinde ameliyathanelerde tercih konusu olmakta veya yapı malzemelerine eklenerek kaplama olarak kullanılabilir (Orhon, 2012).

2.1.2 Enerji Değiş Tokuşu Yapan Malzemeler

Malzemenin yapısındaki değişim sırasında enerjinin bir formdan diğerine dönüştüğü malzemelerdir (Orhon, 2012). Bu malzemeler ışık yayan, elektrik enerjisi üretebilen ve enerji dönüşümü yapan malzemeler olarak 3'e ayrılır.

2.1.2.1 Işık Yayan Malzemeler

Işık yayan malzemeler, molekülleri ısı, ışık, basınç, elektriksel veya manyetik alanın, radyasyon ve kimyasal bir uyarının etkisine maruz kaldığında ışık yayan malzemelerdir. Mimarlık alanında en çok tercih edilen malzemeler gün ışığı yayan ve

herhangi bir yüzeye uygulanabilen, dispersiyon bazlı, akrilat bazlı ve alkol bazlı ışık yayan boyalardır (Ritter, 2007). İç ve dış cephe kaplaması, iç mekân dekorasyonu, sergi alanları gibi birçok alanda uygulama imkânı sunmaktadır. Ayrıca köprü, dekoratif aydınlatma, dış mekân aydınlatması, sanatsal uygulamalar gibi birçok mimari aydınlatmada kullanılan ışık yayan diyot (Light Emitting Diode: LED) sistemi de tercih edilen malzemelerden biridir (Orhon, 2012).

2.1.2.2 Elektrik Enerjisi Üretebilen Malzemeler

Elektrik üreten akıllı malzemeler, ısı, ışık, basınç, elektriksel veya manyetik alan, radyasyon gibi uyaranlara tepki olarak elektrik akımı üretebilen malzemelerdir. Fotoelektrik, termoelektrik, piezoelektrik ve kemoelektrik malzemeler bu gruptadır (Ritter, 2005). Özellikle piezoelektrik malzemeler, uygulanan kuvvetle aynı oranda elektrik üretmesinden ötürü yapılarda strüktürel davranışların incelenmesinde kullanımı düşünülmüştür (Orhon, 2012).

2.1.2.3 Enerji Dönüşümü Yapan Malzemeler

Enerji dönüşümü yapan malzemeler bir uyaranın etkisinde kaldıklarında duyulur ısı, gizli ısı, elektrik, hidrojen ve ışık depolayabilen malzemelerdir. Isıya maruz kaldığında hal değişikliğine uğrayan faz değiştiren malzemeler enerji korunumu sağlaması ve ısı enerjisiyi gizli ısı şeklinde depolaması sebebiyle, yapı uygulamalarında en çok tercih edilen akıllı malzemelerden biridir ve bu tez çalışmasının ana konusudur. FDM'ler yenilenebilir enerji kaynaklarının yetmediği durumlarda, depoladıkları enerjiyi açığa çıkararak enerjinin sürekliliğini sağlamakta ve iç mekân sıcaklığını insan konfor aralığında tutmaktadır. Bu sayede birçok yalıtım katmanından oluşan masif yapı kütlesi, yerini hafif yapı sistemlerine bırakabilmektedir. FDM'ler, içerisine eklendikleri malzemelerin termal etkinliğini artırmakta, böylece yeni yapı malzemeleri üretmek yerine mevcut malzemeler iyileştirilebilmektedir.

2.2 Isı Depolama Yöntemleri

Termal enerjinin depolanması, enerji tüketimini azaltarak verimliliği sağlayan ve enerji sistemlerinin etkinliğini artıran yöntemlerden biridir. Termal enerji depolama (TES), termal enerjinin yüksek veya düşük sıcaklıklarda geçici olarak depolanması olarak tanımlanabilir (Hassan, 1991). Bir maddeyi oluşturan atom veya moleküllerin kinetik ve potansiyel enerjilerinin toplamı ısı enerjisini ortaya çıkarmaktadır. Isı enerjisi bu moleküllerin ve atomların titreşimi sonucu oluşmaktadır. Maddenin iç enerjisindeki bu değişim duyulur ısı, gizli ısı, tepkime ısısı veya bu enerjilerin birleşimi şeklinde depolanabilmektedir (Yılmazoğlu, 2010).

2.2.1 Duyulur Isı Depolama

Duyulur ısı ergime veya buharlaşmanın olmadığı zamanlarda, maddenin sıcaklığını değiştirmek için gereken ısı miktarıdır. Maddenin sıcaklığında farklılık yaratmasına karşın, halini değiştirmemektedir (Konuklu ve Paksoy, 2011). Günümüzde en çok tercih edilen bu depolama yönteminde; su, hava, kayaç, kum, tuğla ve toprak gibi malzemeler kullanılmaktadır. Bunun nedenleri; bu malzemelerin kolay elde edilebilirliği ve düşük maliyetleri olarak sıralanabilmektedir. Duyulur ısı depolama yönteminin en büyük avantajı çok sayıda depolama imkânı sağlanabilmesi ve geri kazanma çevriminin gerçekleşmesi, en büyük dezavantajı ise ihtiyaç duyulan depo hacminin çok büyük olmasıdır (Konuklu, Ostry, Paksoy ve Charvat, 2015). Malzemenin yeterli bir duyulur ısı depolama kapasitesine ulaşması için büyük bir sıcaklık değişimine veya daha fazla kütleye sahip olması gerekmektedir. (Tokuç, 2018; Zalba, Marin, Cabeza ve Mehling, 2003).

En yaygın kullanılan duyulur ısı materyali olaraktan su hem ucuz oluşu hem de yüksek özgül ısıya sahip oluşu sebebiyle ($4190\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$) en iyi duyulur ısı depolama materyali olarak bilinmektedir.

Duyulur ısı depolama yönteminde malzemede aranan en büyük özellikler; düşük maliyet, kolay elde edilebilirlik, yüksek ısı kapasitesi, alev almazlık ve uzun ömürlülük

olması ve korozyon ve zehirli olmamasıdır. Sıvı sistemlerde su ve hava, akışkan sistemlerde ise en çok çakıl taşı tercih edilmektedir (Günerhan, 2004).

2.2.2 Termokimyasal Enerji Depolama

Termokimyasal enerji depolama, tersinir bir endotermik kimyasal reaksiyonda kimyasal bileşiklerin ayrışması ve sentezlenmesi sırasında açığa çıkan ısı enerjisinin kimyasal bağlarda depolanması prensibine dayanmaktadır. Termokimyasal enerji depolama sistemleri sabit sıcaklıkta, uzun süreli ve stabil depolamada ve geniş sıcaklık aralıklarında yüksek enerji yoğunluğu avantajına sahiptir (Zeinelabdein, Ömer ve Gan, 2018).

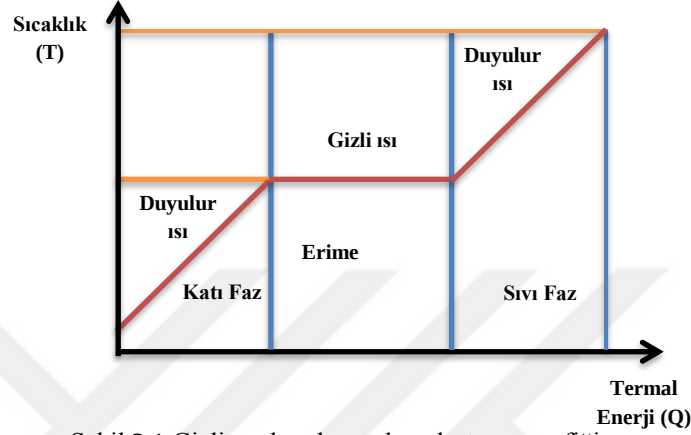
2.2.3 Gizli Isı Depolama

Gizli ısı, maddenin faz değişimi gerçekleşirken dışardan aldığı veya verdiği ısı şeklinde tanımlanabilir (Konuklu, 2008) Uygun sıcaklık aralığında malzemenin faz değiştirmesiyle ortaya çıkan bu ısı depolanabilmektedir. Bu sebeple ısı depolamak için belli bir sıcaklık aralığında buharlaşma, ergime veya faz değiştiren malzemelerden yararlanılır. Gizli ısı depolama, sabit bir sıcaklıkta ısı gerektiren durumlar için ideal bir seçenektir (Gök, 2005).

Gizli ısı depolama yöntemleri için gerekli depo hacmi, duyulur ısıya göre çok daha küçük, depolama kapasitesi ise çok daha büyüktür (Öztürk, 2007). FDM'ler ile daha düşük sıcaklık ve hacim değişimi ile daha fazla ısı depolanabilmekte böyle duyulur ısıya göre daha fazla verim alınabilmektedir (Günerhan, 2004). FDM'lerin birim kütlelerinin ısı depolama kapasiteleri daha yüksektir ve faz değiştirme sıcaklıkları, sabit sıcaklıkta depolama ve geri kazanma için uygundur (Gök, 2005).

Gizli ısı depolama katı-sıvı, sıvı-gaz, katı-gaz ve katı-katı faz dönüşümleri ile gerçekleştirilebilir, ancak pratikte sadece katı-sıvı ve katı katı faz dönüşümü kullanılmaktadır.

Katı-gaz ve sıvı-gaz geçişi daha yüksek bir gizli füzyon ısısına sahiptir, ancak faz geçişindeki büyük hacim değişiklikleri, kapsülleme problemlerine yol açmakta ve termal depolama sistemlerinde uygulama zorluğu çıkmaktadır (Konstantinidou, 2010).



Şekil 2.1 Gizli ısı duyulur ısı karşılaştırma grafiği

Katı-sıvı faz geçişinde uygun bir malzeme seçilirse büyük miktarda enerji depolanabilmektedir. Ayrıca katı-gaz ve sıvı-gaz faz dönüşümüne oranla hacim değişimi daha küçüktür. Bu sebeple yapı uygulamalarında daha çok tercih edilmektedir (Sharma ve Sagara, 2005).

Katı-katı faz geçişinde ise bazı özellikler katı-sıvı faz geçişleriyle aynıdır ancak faz değişim entalpileri daha düşüktür. Bununla birlikte katı-katı geçişlerde malzeme bir kristalden diğerine dönüşürken daha küçük hacim değişikliğine uğramaktadır (Sharma ve Sagara, 2005).

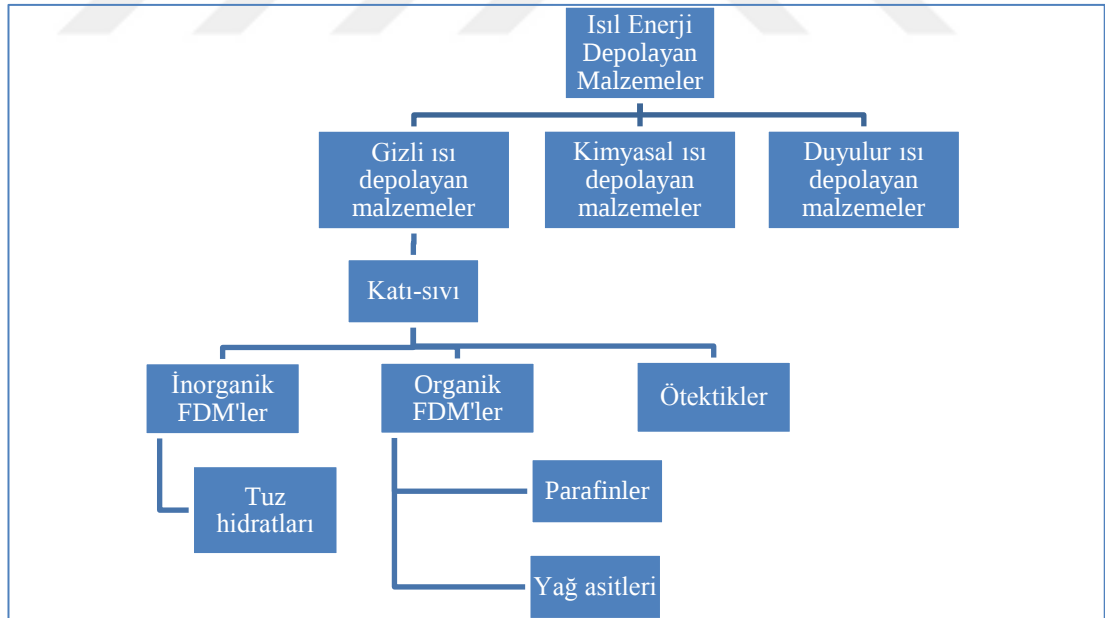
2.3 Faz Değiştiren Malzemeler

FDM'ler kendi iç sıcaklıklarını artırmadan ısıyı absorbe etmek ve salmak için faz geçişi olgusunu kullanan malzemelerdir. Bir mekânda sıcaklık FDM'nin erime noktasını aştığında, bu sıcaklık FDM tarafından kullanılır ve malzeme faz değiştirmeye başlar ve erir. Sıcaklık düşmeye başladığında ise FDM faz değiştirerek katı formuna dönüşmeye başlar ve bu esnada depoladığı ısıyı açığa çıkarır. Bu sayede iç mekân sıcaklığı konfor aralığında sabitlenmiş olur (Casini, 2014). FDM'nin

fonksiyonel olabilmesi için ortalama sıcaklığın FDM'nin erime noktasının üzerinde olması ve faz değişimini başlatması gerekmektedir. Bu yüzden FDM seçiminde erime noktası ve iklim koşulları göz önüne alınması gereken kriterlerden biridir.

Beton ve alçı gibi sıradan inşaat malzemeleri sadece duyulur ısı depolama kapasitesine sahiptir. Isı depolama kapasitesi 0,76 ile 1 kJ/(kg.K) arasında değişmektedir. Oysa parafin gibi FDM'ler, yaklaşık 110 kJ/kg'lık gizli ısı depolama kapasitesine sahip olabilir. FDM'nin yüksek ısı depolama potansiyeli nedeniyle, aynı oranda termal enerjinin depolanması çok daha az miktarda malzemeyle mümkündür. FDM'lerin bir diğer avantajı, FDM'nin içinde bulunduğu kabuk sıcaklığının neredeyse sabit kalmasıdır.

Organik, inorganik ve ötektik karışımlar olmak üzere 3'e ayrılan FDM'ler arasında yalnızca insan konfor sıcaklığı arasında erime noktasına sahip olanlar yapı uygulamalarında kullanılabilmektedir.



Şekil 2.2 FDM çeşitleri (Abhat, 1983)

2.3.1 Organik FDM'ler

Organik FDM'ler parafin ve parafin olmayanlar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Düz zincir formunda olan parafinlerin karbon uzunluğu arttıkça erime sıcaklıkları ve faz değişim entalpileri de artmaktadır. Her bir çeşidi birbirine yakın özellikler gösteren parafinlerin erime noktaları ise -5 ile 60°C arasında değişmektedir bu nedenle iç ortam sıcaklık dengelemesi için kullanılabilirler (Mert, Sert ve Mert, 2018; Zhou, Zhao ve Tian, 2012). Ayrıca, termal performansları döngü sayısından etkilenmez (Cabeza, Castell, Barreneche ve Fernández, 2011). Termal depolama kapasiteleri 100-210 kJ / kg arasındadır. Ayrıca, parafinler yaklaşık 0.2 W/mK'lik bir termal iletkenliğe sahiptir (Baetens, Jelle ve Gustavsen, 2010). Yağ asitleri ise her biri farklı özellikler gösteren zengin bir malzeme çeşidine sahiptir (Sharma, Tyagi, Chen ve Buddhi, 2009).

Yapı uygulamalarında yaygın olarak kullanılan organik FDM'lerin en büyük avantajları geniş sıcaklık aralığına sahip olmaları, faz değişimi esnasında düşük hacimsel değişikliğe uğramaları, yapısal elemanlarıyla uyumlu olması, geri dönüştürülebilirlik, aşırı soğuma göstermemeleri ve dayanıklılık gibi özellikleridir (Baetens ve diğ.; Kuznik, Virgone ve Lepers, 2007; Banu, Feldman, Haghighat, Paris ve Hawes, 1998; Koşan ve Aktaş, 2018). Katı halde düşük ısı iletkenliği, düşük ısı depolama hacmi, yanıcılık, yüksek maliyet ise bu malzemelerin en önemli dezavantajları arasındadır (Pasupathy, Velraj ve Seeniraj, 2008).

Organik FDM'lerin yanıcılığı, son 20 yıldır geniş alanda uygulanmalarını engelleyen bir problemdir. Bununla birlikte, Kosny ve Yarbrough (2010), bu soruna çözüm olarak yangına dayanıklılığı arttıran selüloz ve cam elyafı kapsüllemesi geliştirmiştir.

Parafin olmayan organikler, yağ asitleri, esterler, alkoller ve glikoller gibi çok çeşitli organik materyalleri içerir (Sunliang, 2010). Parafinlere kıyasla daha yüksek gizli füzyon ısısı ve faz geçişleri sırasında nispeten daha küçük bir hacim değişikliğine uğramak gibi bazı avantajları vardır (Velraj ve Pasupathy. 2009).

2.3.2 İnorganik FDM'ler

Tuz hidratları ve klatrat hidratlarını içeren inorganik maddeler, yüksek gizli ısı depolama kabiliyeti ve yüksek ısı iletkenliğe sahip, düşük maliyetli malzemeler olmasına karşın; korozyon olması, bozunmaya uğraması ve hidrat kaybı yaşaması gibi dezavantajlara sahiptir (Zhou ve diğer., 2012; Yılmazoğlu, 2010). Organik FDM'lere kıyasla, daha iyi termal özelliklere sahiptirler, çünkü yaklaşık 180-440 kJ / kg arasında yüksek bir gizli füzyon ısısına sahiptirler. Ayrıca, parafin türleriyle karşılaştırıldığında daha yüksek bir termal iletkenliğe (yaklaşık 0.5 W / mK) sahiptirler. (Cabeza ve diğer., 2011). İnorganik FDM'lerin ana dezavantajı, nispeten kısa bir döngüden sonra (1000 erime / donma döngüsü) gösterdikleri faz ayrımıdır (Sharma ve diğer., 2009). Bunun nedeni, hidratlanmış tuzların düşük tuzların oluşumu ile uyumlu bir şekilde erimesi, işlemi birkaç döngüden sonra geri döndürülemez hale getirmesidir, bu da ısı depolama kapasitelerinin ve sağlamlıklarının azalmasına neden olmaktadır (Abhat 1983).

2.3.3 Ötektikler

Ötektikler veya ötektik karışımlar, mümkün olan en düşük erime noktasına sahip bir FDM oluşturmak için yapılan karışımlardır. Keskin bir erime noktasına (küçük erime-katılma sıcaklığı aralığı) sahiptirler ve bu da belirli bir iç ortam sıcaklığını korumak için kullanılmalarını olanaklı kılmaktadır. Hacimsel depolama yoğunluğu organik bileşiklerinkinden biraz daha yüksektir. Ötektikler organik - organik, inorganik - inorganik ve inorganik - organik olmak üzere 3'e ayrılırlar (Cabeza ve diğer., 2011).

2.3.4 Şekil Stabilize Faz Değiştiren Malzemeler

Şekil stabilize FDM'ler termal enerji depolama malzemelerinin yenilikçi bir türüdür. Faz değişimi süresince şekillerini korurlar, sıvı faza geçmedikleri için kapsüllemeye ihtiyaçları yoktur ve akma riski teşkil etmezler (Memon, 2014; Subramanian, 2011). Düşük termal iletkenlikleri yüksek termal iletkenliğe sahip katkı maddeleriyle artırılabilir. Bu alanda çok fazla araştırma yürütülmektedir. Zhang ve diğer., (2006) destekleyici materyal olarak Stiren Butadien Stiren (SBS) ile parafinden

yapılmış, büyük bir füzyon ısısı sergileyen bir şekil stabilize FDM geliştirdiler. Şekil stabilize FDM'ler yapı malzemelerine entegre edildikleri gibi, binalar düşük maliyetli enerji depolama malzemeleri üretmek için FDM'li çimento ile inşa edilebilir.

2.3.5 Form Stabil Faz Değiştiren Malzemeler

Form stabil FDM'ler katı-katı veya katı-sıvı FDM'ler olabilir. Katı-katı FDM'lerin yapısı kristalin formunda dönüşümlere uğrayan moleküler kristallerdir. Buna ek olarak, kimyasal çapraz bağlama ajanları eklenerek veya elektron ışını radyasyonu yoluyla çapraz bağlanmış polimerler, katı-katı FDM'ler olarak kullanılabilir. Nispeten düşük bir maliyetle geliştirilen ve gizli füzyon ısısı yaklaşık 300 kJ/kg olan, kararlı bir Silan Graft Kopolimeri, yaklaşık 127°C geçiş sıcaklığına sahiptir (Feustel ve Steitu, 1997; Feldman ve Banu, 1991). Bu sıcaklık bina uygulamaları için yüksek bir değer olsa da uygulamaya değer bir örnektir.

2.4 Uygun Faz Değiştiren Malzeme Kriterleri

Uygun bir faz değişim sıcaklığı ve büyük bir erime entalpisi, bir faz değişim malzemesi için iki önemli gerekliliktir. Bununla birlikte, bazı uygulamalar için daha fazla gereksinim vardır. Bu gereksinimler termal, fiziksel, kinetik, kimyasal ve ekonomik olarak gruplandırılabilir (Sunliang 2010; Dutil, Rousse, Salah, Lassue ve Zalewski, 2011; Zhou ve diğer. 2012).

2.4.1 Termal Özellikler

FDM'lerin öngörülebilir uygulamaları için uygun bir faz değişim sıcaklığı aralığına sahip olmaları gerekir. Optimum faz değişim sıcaklığı, bina kullanıcısı tarafından istenen konfor sıcaklığına ve ayrıca iklim koşullarına bağlıdır (Dutil ve diğer. 2011). Bir faz değişim malzemesini binalarda termal kütle çözümü olarak kullanabilmek için, bina sakinlerinin termal konforu için kabul edilebilir bir sıcaklık aralığında çalışması gerekmektedir. CIBSE (2005), iç mekânın çoğu bina tipi için yaz aylarında 21°C ila 25°C arasında olmasını önermektedir. Doğal ve mekanik olarak havalandırılan binalar için, işgal edilen sürenin% 5'inden daha fazla bir süre için 25°C'nin aşılması tavsiye edilmektedir. Bu kritere dayanarak, termal konforun yaklaşık 25°C'de tutulmasını

sağlayan bir faz değişim malzemesinin seçilmesi gerektiği belirlenmiştir. Yapı uygulamalarında kullanılacak FDM yüksek bir gizli ısı, yüksek ısı iletkenlik, yüksek özgül ısı kapasitesi ve küçük hacim değişimine sahip olmalıdır (Lane, 1983; Telkes, 1975; Bordeau, 1980; Zalba, 2002). Ayrıca, bir FDM'nin iç ortam sıcaklık değişimlerine hızlı tepki verebilmesi için yeterli bir iletkenlik oranına sahip olması gerekir (Zhou ve diğer. 2012).

2.4.2 Kimyasal Özellikler

Yapılarda FDM uygulamasında, uzun süreli performans sağlamak için malzemenin dayanıklı olması gerekmektedir. Erime ve katılaşma döngüsünde kimyasal kararlılık ve döngünün devamlılığı da aranan kriterler arasındadır. Yapı uygulamalarında FDM'nin yapı malzemeleriyle uyumlu olması çok önemlidir (Sharma ve diğer. 2009). Ayrıca aşındırıcı (korozyon) ve toksik olmamalı, bozunmaya uğramadan eski haline dönebilmeli ve aşırı soğuma özelliği göstermemelidir (Konuklu ve Paksoy, 2011).

2.5 Faz Değiştiren Malzeme Üretim Yöntemleri

Bunlar; tutma, koruma, ısı transferi ve taşımadır. Yapı uygulamalarında kullanılan FDM sisteminin tipik olarak sürdürülebilirliğinin sağlanması için en az 20 yıl dayanımının olması gerekir, bu nedenle enkapsülasyonun da uzun ömürlü olması gerekir (Lane, 1983). FDM'ler kendi başına kullanıldıkları gibi mikrokapsülleme, makrokapsülleme, malzemeye doğrudan birleştirme ve daldırma yöntemleriyle de uygulanabilmektedir (Tablo 2.1).

2.5.1 Mikrokapsülleme

Mikrokapsülleme, mikron boyutundaki malzemelerin (hem sıvılar hem de katı maddeler) kapsüller halinde, 1 mm'den 300 mm'ye kadar değişen aralıklarda paketlenmesidir. Kapsülleme işlemi ilk önce, 1940-1950'lerde National Cash Register Corporation'dan Barrett K Green tarafından, karbonsuz kopya kağıdı için mürekkebin kapsüllemesi için bir yöntem olarak keşfedildi ve geliştirildi. Kapsülün kabuğu, doğal ve sentetik polimerler dahil olmak üzere çok çeşitli malzemeler kullanılarak formüle edilebilir (Hawladar, Uddin ve Khin, 2003). FDM parçacıklarının uygulanacağı

malzemeye uyumlu olması şartıyla, ince ve yüksek moleküler ağırlıklı polimerik filmle kaplanabilir. Mikrokapsüllemeye santrifüj, püskürtmeli kurutma ve akışkan yataklı işlemler gibi yöntemler uygulanmaktadır.

Mikrokapsüllenmiş faz değişim malzemelerinin dezavantajı, kapsülün oranının FDM'ye göre yüksek olmasıdır. Bu durum, FDM'nin ısı depolama yoğunluğunu azaltmakta ve çoğu zaman maliyeti artırabilmektedir (Lane, 1983).

2.5.2 Makrokapsülleme

Makrokapsülleme FDM'nin tüp, panel, küre, poşet gibi bir kaba doldurulduktan sonra yapı malzemesine entegre edildiği en yaygın metottur. Bu yöntemle FDM'ler birkaç gramdan birkaç kilografa kadar değişen miktarlarda makroskopik kaplara doldurulmaktadır. Bu kaplar, ısı transferinin kullanılabilirliğini en üst düzeye çıkarmak için genellikle geniş bir yüzey / hacim oranına sahiptir. Uygulama kolaylığının yanında binalarda makro kapsüllenmiş FDM'lerin kullanılmasının dezavantajları, çabuk hasar görmesi ve katılaşma esnasında FDM'nin kenarlardan donması ve bu süreçte ısı transferinin azalmasıdır. Kapsüllenmiş tuz hidratları ile ilgili en önemli sorun ise süper soğutma ve faz ayrımıdır (Yinping, Jianhong, Xin, Rui, ve Kunping 2006; Khudhair ve Farid, 2004).

2.5.3 Doğrudan Kullanım

Üretim aşamasında, FDM'nin, yapı malzemesinin içerisine karıştırıldığı yöntemdir. Uygulama aşamasında az donanım kullanıldığında düşük maliyetli bir yöntem olmasına karşın, homojen ve düzgün bir şekilde FDM'nin yayılmaması ve FDM'nin erime aşamasında dışarı sızması gibi sorunları vardır.

2.5.4 Daldırma

Yapı malzemesinin ergimiş FDM'nin içerisine daldırıldığı, FDM'nin kapiler hareketle malzemenin gözeneklerine nüfuz etmesinin sağlandığı yöntemdir. (Tokuç, 2013; Khudhair ve Farid, 2004). Bu yöntemin en önemli avantajı herhangi bir yapı

malzemesi için uygulanabilir olması ve işlemin her koşulda yapılabilmesidir (Yinping, Yi, J. ve Yi. 1999). Daldırma yöntemi gözenekli malzemeleri FDM içerisine daldırma, polimerik taşıyıcılara ve ince silikalara emdirme şeklinde uygulanabilmektedir (Salyer, Sircar, ve Charlo, 1985).

Tablo 2.1 FDM uygulama yöntemleri, avantajları ve dezavantajları (Cabeza ve diğer., 2011)

Yöntem	Avantajlar	Dezavantajlar
Doğrudan kullanım	Basitlik	Hidrasyon işlemi ve hidrasyon ürünleri ile kolay etkileşim
	Pratiklik	Yapı malzemelerinin düşük mekanik özellikleri
	Düşük maliyet	Düşük dayanım Düşük termal stabilite ve güvenilirlik Düşük kimyasal stabilite FDM'nin kolay sızması
Daldırma	Basitlik	Düşük termal stabilite ve güvenilirlik
	Pratiklik	Düşük kimyasal stabilite
	Düşük maliyet	Düşük dayanım
		FDM'nin kolay sızması
Mikrokapsülleme	Faz geçişi sırasında FDM sızdırmazlığı	Düşük ısı transfer hızı
	Yüksek ısı transfer hızı	Yüksek maliyet
	Küçük hacimli değişim	Yapı malzemelerinin düşük mekanik özellikleri
	Yüksek kimyasal stabilite	
	Yüksek stabilite ve güvenilirlik	
Makrokapsülleme	FDM sızdırmazlığı	Düşük ısı iletkenliği.
	Kolay taşıma	Kolay hasar
	Yüksek uyumluluğu Küçük hacimli değişim Yüksek kimyasal stabilite Yüksek stabilite ve güvenilirlik	Köşelerde ve kenarlarda katılma

2.6. Literatür Çalışmaları

Uygulama alanına göre literatürde yer alan bazı çalışmalar aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

Duvar paneli uygulamaları;

Neeper (2000) alçı panele yağ asidi ve parafin mumları emprenye etmiş ve sırasıyla iç bölüm ve dış bölüm üzerinde oda sıcaklığının günlük sıcaklık ayrımındaki ısı dinamiklerini incelemiştir. Araştırma sonucunda FDM'nin erime sıcaklığının ortalama oda sıcaklığına yakın olduğu durumda azami enerji depolamasının meydana geldiği ve faz değişimi sırasında enerji depolamasının azaldığı gözlemlenmiştir.

Maha, Andre ve Hebert (2006) bir test hücresi kullanarak, vakumlu yalıtım panellerini ve FDM'yi birleştirerek küçük ölçekli bir deney yapmıştır. FDM'li ve FDM'siz iki hücrenin karşılaştırıldığı çalışmada, elde edilen sonuca göre, test hücresindeki iç ortam sıcaklık genliğinin yaklaşık 20°C'lik bir düşüşle dikkat çekici olduğunu göstermektedir. Yaz aylarında, FDM'li hücre içindeki sıcaklığın genliği, günlük döngüde 20°C azalmıştır. Kış döneminde ise, FDM'siz hücre sıcaklığı -9°C iken dış sıcaklık -6 °C'nin altında ölçülmüştür. FDM'li hücrede ise negatif iç ortam sıcaklığı önlenmiştir.

Wang, Hang, Lu, Li ve Mei (2009) Şangay'da şekil stabilize FDM'li bir tür kompozit duvar üzerinde küçük ölçekli ve tam ölçekli deney yapmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, iç duvar yüzey sıcaklığında yaklaşık 0,2°C'lik bir düşüş, yaklaşık 1-2 saatlik bir sıcaklık genliği zaman gecikmesi ve duvar soğutma yükünde % 24,32'lik bir düşüş gözlenmiştir. Yıl ortasında FDM duvarı faz geçiş sıcaklığı aralığında kalmış ve ortamdaki termal bozulmaya karşı tamamen dayanabilmiştir. Kış koşullarında FDM duvarı, ısıtma yükünün % 10-30'unu azaltmıştır.

Evers, Medina ve Fang (2010) FDM olarak parafin ve hidratlanmış tuz kullanarak dinamik bir duvar simülatörü inşa etmiş ve duvarlarının ısı performansını üzerinde küçük ölçekli bir deney yapmıştır. Deney sonuçlarına göre, FDM kullanımının

ortalama ısı akışını %9,2 düşürdüğünü ve ortalama toplam günlük ısı akışını %1,2 düşürdüğünü göstermiştir.

Li, Liang, Zhou ve Long (2017) FDM’li yapı kabuğunun termal performans gelişimini incelemek üzere 1 referans oda ve FDM’li odanın karşılaştırılması yapılmıştır. FDM faz değiştirme sıcaklık aralığı 18°C - 26°C, gizli ısı ise 178.5kJ/kg. ‘dır. Çelik çerçevelerle desteklenen iki duvar birimi, aralarındaki ısı transferini azaltmak için 80mm EPS ile çevrelenmiştir. Sonuçlara göre; FDM, iç yüzey sıcaklığını düşürmüştür. İç yüzey ısı akışı %40 oranında azalmıştır. FDM’nin iç mekânı soğuk tutma süresi referans duvarına göre daha uzundur. FDM yapının termal performansını önemli ölçüde iyileştirmektedir.

Yao, Kong, Li, Du ve Qi (2018) FDM ve destekleyici materyal olarak perlitin kullanıldığı FDM’li duvar panosu (FDMD) üzerinde deneysel gözlem yapmıştır. Erime noktası ve donma noktası sırasıyla 27.60 ° C ve 23.56 ° C ve erime ve donma latent ısıları sırasıyla 67.13 J / g ve 67.06 J / g olan parafin kullanılmıştır. FDMD termal performansını analiz etmek için deneysel ve nümerik çalışmalar yapılmıştır. Kuzey Çin’in iklim koşullarının modellendiği bir konteynerde 5 gün içinde yapılan deney sonuçları, kullanılan FDMD’nin iç mekân sıcaklığını 2.53 K düşürebildiğini göstermiştir.

Wang, Matiasovsky, Mihálka ve Lai (2018) yapılan çalışmada mikrokapsüllenmiş FDM’li alüminyum duvar panelinin günlük ısı davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmada temel malzemesi parafin olan ve 37°C’de eriyen ve kapsül birleşimi % 85-90 FDM ve % 10-15 polimer kabuk olan FDM kullanılmıştır. Duvarın dış yüzü, gündüz güneş ışığından ve gece doğal konveksiyondan etkilenirken, iç yüzü ise zorunlu konveksiyon veya doğal konvektif sınırlara tabi tutulmuştur. Sonuçlar iç mekân koşullarının FDM’li duvar üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ve kapalı ortamın zorunlu veya doğal konveksiyon durumuna maruz kaldığında, panel içerisindeki FDM’nin ısıyı etkili bir şekilde tüketebildiğini göstermiştir. FDM kendisini her zaman orijinal termal durumuna geri döndürebildiği ve ertesi gün ısı yönetimine hazır olabildiği gözlenmiştir.

Tavan paneli uygulamaları;

Yahaya ve Ahmad (2011) FDM'li tavan panellerinin (alçıpan) etkinliği araştırmıştır. Tek hacimli test binasının iç mekân sıcaklıkları ve FDM tavan panellerinin etkisi sırasıyla nümerik metod ve özgül ısı kapasitesi yöntemleri kullanılarak incelenmiştir. FDM olarak palmiye yağından elde edilebilen ötektik laurik-stearik asit karışımı kullanılmıştır, alçı levha FDM karışımına daldırılmıştır. FDM tavan panelli ve sıradan tavan panelli iki test odası karşılaştırılmıştır. Sonuçlar FDM'li tavan panellerinin etkin soğutma sistemleri vasıtasıyla enerji tüketimini büyük ölçüde azaltılabileceğini göstermiştir.

Çatı uygulamaları;

Jayalath, Aye, Mendis ve Ngo (2016) Melbourne'daki bir konut binasının termal konforunu iyileştirmek için FDM'li çatının etkinliğini değerlendirmiştir. Çalışmada TRNSYS simülasyon programı kullanılmıştır. Sonuçlar FDM'li çatı katmanının soğutma ve ısıtma yüklerini azalttığını ve iç mekânda sıcaklık dalgalanmalarını azaltarak termal konforu sağladığını göstermiştir.

Guichard, Miranville, Bigot, Damour, Beddiar ve Boyer (2017) test hücresine ait çatı katmanına eklenmiş FDM'nin termal performansını ölçmüştür. Test edilen FDM'ler 23.4 °C erime noktasına sahip, Dupont TM Energain®'in ticari ürünüdür. Bu ürün 5 mm kalınlıkta iki alüminyum levha ile laminatlanmış, % 60 mikrokapsüllü parafin mumundan oluşmaktadır. Çalışmada ayrıca matematiksel model (ISOLAB) kullanılmıştır. Simülasyonlarla karşılaştırmalar yapıldığında termal konforun geliştirilebileceği görülmüştür. FDM'li çatı katmanı termal enerji depolamayı artırmanın yanı sıra, yansıtıcı yüzeyi sebebiyle de güneş radyasyonunu engellemektedir. Deneyin sonucunda iç mekân sıcaklığında olumlu bir etki gözlemlenmiştir.

Isı yalıtım malzemesi uygulamaları;

Schossig, Henning, Gschwander ve Haussmann (2005) yalıtım+alçıpanlı ve sıva + FDM’li iki test odasının performanslarını araştırmıştır. Uygun malzeme ve verimli uygulama parametrelerini belirlemek için ilk olarak Tool ESP-R ile simülasyon yapılmıştır. Buna paralel olarak saf FDM’nin diferansiyel tarama kalorimetresi, 50x50 cm duvar örneklerinin ölçümleri ve ofis odalarının gözlemlenmesine kadar birçok ölçüm yapılmıştır. Ölçümler sonucunda, FDM ürünlerinin soğutma talebini azalttığı, hafif yapılarda iç mekân konforunu artırdığı görülmüştür.

Xie, Ling, He ve Tong (2016) çok katmanlı ısı yalıtım malzemesinin termal özelliklerini sayısal olarak incelemiştir. Yalıtım malzemesi silika aerojel, alümin aerojel, FDM olarak eritritol ve stearik asit içermektedir. Çalışmada Sonlu Hacim yöntemi ve Entalpi yöntemi kullanılmış ve FDM’nin farklı katmanlara yerleştirilerek ısı transfer özellikleri analiz edilmiştir. Buna göre FDM’nin ısı yalıtım malzemesinin tabanına yerleştirmesi, ısı yalıtım performansını artırmazken, orta tabakaya yerleştirilmesi daha verimli sonuca ulaştırmıştır.

Güneş kırıcı uygulamaları;

Silva, Vicente, Amaral ve Figueiredo (2016) FDM içeren bir termal enerji depolama sistemi (TES) için sayısal ve deneysel çalışma yapılmıştır. Sayısal hesaplama için hesaplamalı akışkanlar dinamikleri (CFD) kullanılmış ve modelin geçerliliği için FDM’li ve FDM’siz iki panjurlu test hücresi kullanılmıştır. Çalışmada seçilen FDM Rubitherm GmbH marka organik parafindir. Sayısal sonuçların verilerini doğrulamak için ASHRAE, IPMVP’ye dayalı FEMP kullanılmıştır. Yapılan karşılaştırmaya göre, FDM’li odada ısıtma süresi boyunca iç mekan sıcaklığını % 8,7 oranında düşürmüş, gece periyodunda oda sıcaklığını % 16,7 artırmıştır.

Waqas ve Ji (2017) FDM’lerin elektrik verimliliği ve PV panelin uygulama sıcaklığı üzerine çalışmıştır. PV panelin önüne FDM’li hareketli panjur yerleştirilmiştir. Modelleme sonuçları 64 °C olan konvansiyonel PV panel sıcaklığının, erime sıcaklığı 35°C olan FDM’li panjurlarla 42 °C’ye düşürülebileceğini göstermiştir.

Trombe duvar uygulamaları;

Berthou, Biwole, Achard, Sallée, Tantot-Neirac ve Jay (2015) eş zamanlı olarak süper izolasyon, ısı depolama ve doğal aydınlatma sağlayan trombe duvarı sistemi önermiştir. Yapılan deneyde FDM olarak E.N. 21,3°C' yağ asiti ötektik karışımı kullanılmıştır. Aerojel ve FDM dolu cam tuğladan oluşan yarı saydam trombe duvarı sistemi ve standart duvar karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda; Isı kayıplarının çok düşük olduğu, ısı ve ışık kazanımlarının yüksek olduğu ölçülmüştür. Kış ayında iç-dış mekân sıcaklık farkı 9°C'dir.

Kara ve Kurnuç (2012) Erzurum koşullarında yaptığı çalışmada üçlü camlı, FDM'li tromb duvar sistemini test etmiştir. FDM olarak 45°C erime noktasına sahip GR41 ve 35°C erime sıcaklığına sahip GR35 mikrokapsüllenmiş parafin kullanılmıştır. Çalışmada FDM duvar sıvasının içine dahil edilmiştir. 3'lü cam ünitesi kışın güneş ışığının çoğunu geçiren ve yaz aylarında yansıtan Priskasolar camdan oluşmaktadır. Deney aşamasında iç mekân sıcaklığı dijital termostatlı bir ısıtıcıyla 20-23°C arasında sabitlenmiştir. Açık hava şartlarında bir yıl boyunca süren testler sonucunda; GR35'li duvar, GR41'li duvara göre daha verimli sonuç vermiştir. Ekim başından Şubat'ın sonuna kadar, GR35'li duvarın günlük toplam veriminin %22-%37 arasında, GR41'li duvarın ise %20 ila %33 arasında değiştiği görülmüştür. FDM duvarı, test odasının yıllık ısı yükünün% 14'ünü sağlamıştır. FDM duvarlarının genel toplam verimliliği % 20 ila % 36 arasında değişmiştir. Üçlü cam, FDM duvarındaki enerji depolamasını azaltmıştır. Güneş enerjisi kazancı Nisan ve Mayıs aylarında sıfıra düşmüştür. Şekilde FDM duvarının katkısını göstermektedir. Ekim ve Kasım aylarında FDM duvarı tarafından sağlanan ısı yükü %70 ve %41'dir. Güneş geçirgenliği: kışın 0,45'den 0,55'e, yaz boyunca ise 0,2'den 0,25'e kadar değişmiştir.

Chaichan ve Abaas (2015) Irak'ın Bağdat kentinde yaptığı çalışmada yerel ve uygun maliyetli malzemeler kullanarak FDTM üretmeyi amaçlamıştır. Kasım 2014-Ocak 2015 döneminde yapılan deneylerde sistemin kış ayında Bağdat evleri için uygunluğu test edilmiştir. FDM olarak 45°C erime noktasına sahip parafin wax

kullanılmıştır. Bu malzeme, Irak piyasalarında uygun maliyeti nedeniyle seçilmiştir. FDTM kışın kurulup yazın sökülebilen, içi parafin wax dolu alüminyum borulardan oluşmaktadır. Her bir boru 400 gram parafin wax ile doldurulmuştur. Kullanılan toplam parafin wax 7,2 kg'dır. 1 m²'lik ahşap kutu şeklinde kurulan FDTM 1 cm kalınlığında cam yünü ile yalıtılmıştır.. Duvarın iç yüzeyine 3 mm kalınlığında siyah bir bakır plaka yerleştirilmiştir. Alüminyum folyoyla kaplı plaka, yüzeye çarpan güneş ışınlarını borulara yansıtmaktadır. Tromb duvarı 3 mm kalınlığında şeffaf camla kaplıdır ve gün batımından sonra ahşap bir kapakla kapatılmaktadır. Üstteki menfezlerin yanında sıcak havayı dışarı atmak için bir fan yerleştirilmiştir. Çalışmada 11 adet ısı çifti kullanılmıştır. Bunlardan 3'ü parafin wax'ın sıcaklık değişimini gözlemlemek için farklı borulara yerleştirilmiştir. 3 ısı çifti duvara, 3 ısı çifti yere sabitlenmiş, 1 ısı çifti soğuk havayı, 1 ısı çifti ise sıcak havayı ölçmektedir. Duvarın çalışma prensibi sera etkisinin kullanılmasına bağlıdır. Duvara yansıyan güneş ışınımı camdan borulara geçmektedir. Radyasyonun bir kısmı alüminyum yansıtıcıdan yansyarak borulara vurmakta, diğer dağınık ışınlar ise camdan yansımaktadır. Böylece duvarın içindeki ısı artmaktadır. Çalışmanın sonucunda; Bu malzemenin Irak kış koşulları için uygun olduğu tespit edilmiştir. Parafin wax'ın kolay bulunabilirliği ve düşük fiyatı uygun kullanım olanağı sağlamaktadır.

Sonuç olarak, yapılan çalışmalara bakıldığında FDM'lerin yapı uygulamalarında pek çok avantaja sahip olduğu ve başarılı bir alternatif oluşturduğu aşikârdır. Bu noktada bu araştırmanın konusu; birçok yapı malzemesiyle ve yapı elemanı ile bir arada kullanılan FDM'lerin, PLS ile de uygulanıp uygulanamayacağını araştırmaktır (Sharma ve Sagara, 2005).

BÖLÜM ÜÇ

DENEYSEL ÇALIŞMA

Tablo 3.1 Çalışmanın metodolojisi

1. ADIM FDM'lerin Termal Karakterizasyonu	Deneyin yapılacağı ortam koşulları için en uygun FDM çeşitlerinin belirlenmesi,
	Farklı oranlardaki mikrokapsülsüz FDM-PLS karışımlarının (FDM ₁ -P) termal karakterizasyonunun yapılması
	Uygulamada kullanılacak optimum karışım oranına karar verilmesi
	Aynı oranda Mikrokapsüllü FDM-PLS karışımlarının (FDM ₂ -P) termal karakterizasyonunun yapılması
	
2. ADIM FDM ₁ 'li ve PLS'li odaların karşılaştırması	Karışım oranı belirlenen FDM ₁ -P'nin duvar yüzeyine uygulanması ve FDM ₁ 'li ve PLS'li iki farklı test odasının kurulması,
	Termal döngü esnasında duvarların, iç ve dış mekânların davranışlarının incelenmesi ve iki odanın karşılaştırılması
	
3. ADIM FDM ₂ 'li ve FDM ₁ 'li odaların karşılaştırması	Karışım oranı belirlenen FDM ₂ -P'nin duvar yüzeyine uygulanması ve FDM ₁ 'li ve FDM ₂ 'li iki farklı test odasının kurulması,
	Termal döngü esnasında duvarların, iç ve dış mekânların davranışlarının incelenmesi ve iki odanın karşılaştırılması
	
4. ADIM Hesap	Isıtma Yüğü Hesabı
	Enerji İhtiyacı ve Üretimi Hesabı

3.1 Kullanılan Malzemeler

3.1.1 Pamukap- Pamuk Lifli Sıva (PLS)

PLS 1991 yılında Pamukap Duvar ve Tavan Kaplama İth. İhr. San. ve Tic. Ltd. Şti. adıyla İzmir’de kurulan şirketin, 1992 yılında patent tescili yapıp TSEK belgesi alınarak üretime başladığı pamuk esaslı duvar ve tavan sıvasıdır (Şekil 3.1). Cam dahil her türlü yüzeye uygulanabilen, aleve karşı dayanıklı, nefes alan, ısı kaybını engelleyen, antistatik ve gözenekli yapısı sebebiyle ses yalıtımı yapan doğal bir malzemedir. 1000 gr PLS’ye 6 lt su karıştırılarak 5 metrekare yüzey sıvanabilmektedir. PLS hazırlanırken öncelikle 6 lt su bir kovaya koyularak kuru PLS (Şekil 3.2) yavaş yavaş suya eklenmektedir. Karışım önce elle karılarak yoğurulmakta daha sonra mikserle karıştırılarak homojen bir karışım elde edilmektedir. Hazırlanan sıva, tabanca ile duvar yüzeyine 2 mm kalınlığında olacak şekilde dairesel hareketlerle püskürtülmektedir. Sıvanın kuruması yaklaşık 1 günü bulmaktadır (Şekil 3.3). PLS’nin teknik özellikleri Tablo 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.1 Pamukap- PLS (Pamukap Firması, 2018)

Tablo 3.2 PLS teknik özellikleri

Yutma Katsayıları	125 -4000 Hz	0,016-1,160
Isı iletim Katsayısı	0,078 W/mK	
Isıya bağlı deforme sıcaklık ortalaması	197 °C	
Deforme yayılma hızı ortalaması	0,75 mm/sn	
Alevucu noktası ortalama sıcaklığı	520 °C	



Şekil 3.2 PLS'nin su ekleden önceki hali ve sıva yapılmış hali (Kişisel arşiv, 2020)



Şekil 3.3 PLS'nin püskürtme tabancası ile duvar yüzeyine uygulanması (Kişisel arşiv, 2020)



Şekil 3.4 Kuru PLS'nin tartılması (Kişisel arşiv, 2020)

PLS'nin kuru ağırlığını tayin etmek amacıyla, metal bir kaba koyulan 10 gr kuru PLS 100 derecede ısıtılmış etüve alınarak 24 saat bekletilmiştir (Şekil 3.4). Süre sonunda etüvden çıkarılan PLS'nin yeni ağırlığı 9,20 gr olarak ölçülmüştür. Kuru PLS'nin bünyesinde 0,80 gr nem barındırdığı gözlenmiş ve hazırlanacak karışımlarda bu oran eklenen su miktarından düşürülmüştür (Tablo 3.3).

Tablo 3.3 PLS ilk ağırlık, kuru ağırlık

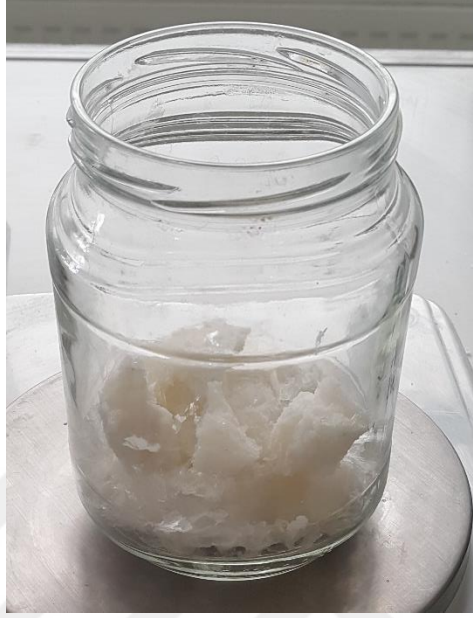
İlk Ağırlık	10 gr
Kuru Ağırlık	9,20 gr

3.1.2 Faz Değiştiren Malzemeler (FDM)

3.1.2.1 Mikrokapsülsüz FDM (FDM₁)

Çalışmanın ilk aşamasında FDM olarak Rubitherm SP₂₁EK marka malzeme kullanılmıştır (Şekil 3.5). Malzemenin özellikleri Tablo 3.4'te verilmiştir. Bu malzemenin tercih edilmesinin sebebi, FDM'nin mikrokapsülsüz olması, erime aralığının 22-23 °C olması ve literatür çalışmalarındaki makrokapsülleme

yöntemlerinin aksine, FDM'nin pamuklu sıva malzemesine emdirilerek bu yöntemin uygulanabilirliğinin test edilmek istenmesidir.



Şekil 3.5 Rubitherm SP₂₁EK Mikrokapsülsüz FDM (FDM₁) (Kişisel arşiv, 2020)

Tablo 3.4 FDM₁ teknik özellikleri

Erime aralığı	22-23°C
Donma aralığı	21-19 °C
Isı depolama kapasitesi $\pm$ %7,5	170 Kj/kg
Özgül ısı kapasitesi	2 kJ/kg.K
Katı yoğunluk (15 °C)	1,5 kg/l
Sıvı yoğunluk (35 °C)	1,4 kg/l
Hacim artışı	%3-4
Isı iletkenliği	0,5 [W/(m·K)]
Maks. Uygulama sıcaklığı	45 °C
Korozyon	Metalde korozyon etkisi

3.1.2.2 Mikrokapsüllü FDM (FDM₂)

Çalışmanın ilk aşamasında mikrokapsülenmemiş FDM ile FDM'siz iki odanın kış ayları boyunca karşılaştırmalı ölçümleri yapılmıştı. İkinci aşamada ise aynı oranda mikrokapsüllü FDM kullanılarak, mikrokapsülenmemiş FDM'li oda ile karşılaştırması yapılmıştır. Bu sebeple Mikrotek Laboratuvarından temin edilen Nextek 18D parafin bazlı FDM kullanılmıştır (Şekil 3.6). FDM₂'nin özellikleri Tablo 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.6 Nextek 18D mikrokapsüllü FDM (FDM₂) (Kişisel arşiv, 2020)

Tablo 3.5 Mikrokapsüllü FDM₂ teknik özellikleri

İçerik	Parafin Wax	%82
	Melamin Reçinesi	%8
	Modifiye Üre Reçinesi	%7
	Su	%3
Erime Noktası	18-20°C	
Füzyon Isısı	≥190 J/g	
Görünüm	Beyaz, pudra	

3.2 FDM’li PLS Karışımlarının Oluşturulması

Çalışmada ilk olarak FDM’li karışımların yoğunluk, ısıl iletkenlik, ısıl direnç ve DSC analizlerini yapmak üzere numunelerin döküleceği kalıplar hazırlanmıştır (Şekil 3.7). Deneysel ölçümler aşamasında duvara uygulanacak optimum FDM oranını bulmak amacıyla kütleli olarak %10, %25, %40 ve %60 olmak üzere 4 farklı oranda numune dökülmüştür (Şekil 3.11). Ancak %60’lık katkı durumunda, PLS’nin bağlayıcılık özelliği bozulmuş ve hazırlanan sıva karışımında dökülmeler görülmüştür (Şekil 3.12). Bu sebeple üst limit %40 olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.7 Numunelerin hazırlanma aşamasında kullanılan malzemeler (Kişisel arşiv, 2020)

Tablo 3.6 PLS- FDM₁- Su oranları

Oran	Pamukap	Su	FDM
%10	900 gr	5400 ml – 72 gr	100 gr
%25	900 gr	5400 ml -72 gr	300 gr
%40	720 gr	4320 ml – 57,6 gr	480 gr

Buna göre %10’luk oran için 1000 gr’lık FDM’li PLS karışımında 900 gr pamuk, 100 gr FDM ve 5400 ml-72gr (PLS’nin içinde barındırdığı nem oranı çıkarılmıştır) su bulunmaktadır (Tablo 3.6). Karışım hazırlanırken öncelikle erimiş haldeki FDM

belirlenen orandaki su içerisinde çözdürülerek homojen bir şekilde karıştırılmış (Şekil 3.8), daha sonra kuru PLS yavaş yavaş eklenerek önce elle daha sonra mikser yardımıyla karıştırılmıştır (Şekil 3.9). Hazırlanan karışımlar ısıl iletkenlik ve yoğunluk değerleri tayinleri için önceden hazırlanan kalıplara dökülerek kurumak üzere etüve koyulmuştur (Şekil 3.10).



Şekil 3.8. FDM'nin eritilerek suya karıştırılması (Kişisel arşiv, 2020)



Şekil 3.9 FDM'li PLS'nin hazırlanma aşaması (Kişisel arşiv, 2020)



Şekil 3.10 FDM'li PLS'nin kalıplara dökülmesi (Kişisel arşiv, 2020)



Şekil 3.11 %10 ve %25 oranında hazırlanan FDM₁'li numuneler (Kişisel arşiv, 2020)



Şekil 3.12 %40 ve %60 oranında hazırlanan FDM₁'li numuneler (Kişisel arşiv, 2020)

3.3 FDM Özelliklerini Analiz Yöntemleri

Uygun FDM seçimi için uygulamaya geçmeden önce malzemenin termal özelliklerinin belirlenmesi gerekir. Bunlar, faz değişim başlangıç sıcaklığını, tepe faz değişim sıcaklığını ve gizli füzyon ısını içerir. Faz değişimi başlangıç sıcaklığı, faz geçişinin başladığı ve gizli ısıyı emdiği veya bıraktığı sıcaklıktır. Başlangıç sıcaklığı özellikle faz değişim malzemesi safsa ve bir karışım değilse hem eriyik hem de donma geçişleri için aynıdır.

Tepe faz değişim sıcaklığı genellikle tepe erime noktası ve tepe katılaşma veya donma noktası olarak adlandırılır. Bu, en yüksek gizli ısı miktarının absorbe edildiği veya bırakıldığı sıcaklıktır.

Çalışmada kullanılan FDM'leri analiz etmek amacıyla diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) metodu kullanılmıştır.

3.3.1 Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC)

Malzemelerin termal özelliklerini analiz etmek için kullanılan yaygın bir yöntem diferansiyel tarama kalorimetresidir (DSC). DSC, kontrollü bir atmosfer altında, malzemenin ısıtılması, soğutulması veya sabit sıcaklık altında tutulması sırasında salınan veya soğurulan enerji miktarını ölçmektedir (Lungren, 2002). DSC yönteminde bir numune ve bir referans bulunmakta, numune ile referansın sıcaklığı aynı oranda tutulmaktadır. Eğer numune ile referans arasında sıcaklık farkı oluşursa, sıcaklığı aynı tutmak için numuneye verilen enerji (güç) miktarı değişmektedir. Böylece faz değişim sürecinde numunedeki ısı transferi miktarı belirlenmektedir. DSC ölçümleri endotermik ve ekzotermik reaksiyonlar veya ısı kapasitesindeki değişiklikleri içeren fiziksel ve kimyasal değişiklikler hakkında niceliksel ve niteliksel bilgi sağlamaktadır. Çalışmada %10, %25 ve %40 oranlarında hazırlanan karışımlar ile saf FDM₁'in DSC ölçümleri DEU Makine Mühendisliği Laboratuvarında, FDM₂'nin ölçümleri ise Ege Üniversitesi MATAL laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. DSC cihazının özellikleri Tablo 3.7'de verilmiştir.

Tablo 3.7 DSC cihazı teknik özellikleri

Sıcaklık Aralığı	-180°C ile 550 °C
Sıcaklık Doğruluğu	+/- 0,1°C
Sıcaklık Çözünürlüğü	+/- 0,01°C
Duyarlılık	0,2 µW
Kalorimetrik Doğruluğu (indium metal)	+/- 0,05%
Kalorimetri Çözünürlüğü (indium metal)	+/- 0,05%

3.3.1.1 FDM₁-P DSC Analiz Sonuçları

FDM₁-P için yapılan DSC ölçümlerine ait sonuçlar Tablo 3.8'de verilmiştir. DSC ölçüm değerleri incelendiğinde %10 katkı durumunda belirgin bir erime bölgesi görünmemektedir. Bu numune için faz değişimi 23,88 – 27,57 °C arasında

gerçekleşmiştir. Burada malzemenin erime gizli ısı değeri 503,6 J/kg olarak elde edilmiştir. Ancak bu değer ticari FDM'lerde gizli ısı değerinin 150 - 250 kJ/kg civarında olduğu düşünüldüğünde oldukça düşük bir değerdir. Bunun sebebi gizli ısı hesabı (toplam kütlenin sadece %10'u FDM olduğu için) DSC ölçümlerinde FDM'nin gizli ısı değeri etkisinin çok nispi kalması olarak düşünülebilir. Bu sebeple bu değer gizli ısıdan çok malzemenin efektif özgül ısısına karşılık gelen bir değer gibi de yorumlanabilir. %25 katkı durumunda erime sıcaklığı yukarı yönde biraz ötelenmiş durumdadır. Katkı oranının artmasıyla erime gizli ısı değeri 1146 kJ/kg değerine artmıştır. %25 için verilen soğuma eğrisinde, donma sırasında elde edilen değerler erime prosesine yakın bir sonuç vermiştir. Elde edilen veriler sonucunda uygulama yapmak üzere %25'lik FDM₁-P karışımının kullanılması uygun görülmüştür. Analizlere ait grafikler EK- 1-21'de sırayla verilmiştir.

Tablo 3.8 FDM₁-P DSC analiz sonuçları, T_{ie} ısıtma grafiği ilk erime sıcaklığı, T_{pe} ısıtma grafiği pik erime sıcaklığı, T_{se} ısıtma grafiği son erime sıcaklığı, ΔH_e ısıtma grafiği erime entalpisi, T_{ik} soğutma grafiği ilk kristallenme sıcaklığı, T_{pk} soğutma grafiği pik kristallenme sıcaklığı, T_{sk} soğutma grafiği son kristallenme sıcaklığı, ΔH_k soğutma grafiği kristallenme entalpisi

Malzeme)	₁ T _{ie} (°C)	₂ T _{pe} (°C)	₃ T _{se} (°C)	₄ ΔH _e (J.g-1)	₅ T _{ik} (°C)	₆ T _{pk} (°C)	₇ T _{sk} (°C)	₈ ΔH _k (J.g-1)
FDM ₁ (1.ısıtma, soğutma)	22,84	26,53	27,72	2,58	25,32	24,11	20,98	1,14
FDM ₁ (2.ısıtma, soğutma)	21,77	26,25	27,55	2,52	25,19	24,02	21,21	1,12
%10 (1.ısıtma, soğutma)	23,88	26,18	27,57	0,50	35,35	32,55	29,64	2,57
%10 (2.ısıtma, soğutma)	18,42	21,70	25	3,69	26,97	24,69	21,04	3,65
%25(1.ısıtma, soğutma)	24,85	27,40	28,49	3,48	26,52	25,18	21,14	2,26
%25 (2.ısıtma, soğutma)	25,31	27,23	28,10	1,14	26,62	25	22,49	3,22
%40(1 ve 2. ısıtma, soğutma)	-	-	-	-	-	-	-	-

3.3.1.2 FDM₂ DSC Analiz Sonuçları

Deneylerin 1.aşamasında FDM₁P için optimum değer olarak %25'lik karışım oranına karar verilmiştir. Deneylerin 2. Aşamasında ise karşılaştırma yapmak üzere aynı oranda FDM₂P karışımı hazırlanmış ve elde edilen karışımın DSC analizleri Ege MATA'L'da yaptırılmıştır. Buna göre DSC analiz sonuçları incelendiğinde (Tablo 3.9) saf FDM₂'nin ilk erime noktası 15,24 °C iken %25 katkı durumunda bu değer 15,04 °C'ye düştüğü gözlemlenmektedir. Pik erime sıcaklıkları saf FDM₂'de 19,23 °C, %25'lik karışım ise 18,99 °C'dir. FDM₂'nin gizli ısı değeri 128,2 j/g olarak elde edilmiş, ancak karışım bu oran 37,74 j/g'a düşüş göstermiştir. Buna sebep olarak yine önceki ölçümlerde olduğu gibi DSC analizinde karışım içerisinde %25'lik bir oranda bulunan FDM'nin gizli ısı değeri etkisinin çok nispi kalması olarak düşünülebilir. Ölçümlere ait grafikler EK- 23 ve 24'te verilmiştir.

Tablo 3.9 FDM₂-P DSC analiz sonuçları, Tie ısıtma grafiği erime sıcaklığı, Tpe ısıtma grafiği pik erime sıcaklığı, ΔHe ısıtma grafiği erime entalpisi

Malzeme)	Tie (°C)	Tpe (°C)	ΔHe (J.g-1)
FDM ₂ (1.ısıtma, soğutma)	15,24	19,23	128,2
%25(1.ısıtma, soğutma)	15,04	18,99	37,74

3.3.2 Isıl İletkenlik ve Isıl Direnç Ölçümü

Çalışmada ısı iletkenlik ve ısı direnç ölçümü için %10, %25 ve %40 oranlarında hazırlanan 375x375x26 mm'lik FDM'li pamuklu sıva karışımları TSE laboratuvarında teste tabi tutulmuştur. Ölçümlerde TS EN 12664 standardı referans alınmış ve mahfazalı sıcak plaka cihazı kullanılmıştır.

3.3.3 Yoğunluk Ölçümü

Yoğunluk ölçümü için her bir karışım oranından 4 er adet 40x40x160 mm ölçülerinde numuneler hazırlanarak kurumaya bırakılmıştır. TSE'de yapılan yoğunluk ölçümünde TS EN 1015-10 standardı referans alınmıştır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13 Yoğunluk ölçümü için hazırlanan numuneler (Kişisel arşiv, 2020)

FDM₁, FDM₂ ve PLS yoğunluk, ısı iletkenlik ve ısı ı direnç değ erleri Tablo 3.10’da verilmiştir.

Tablo 3.10 FDM₁, FDM₂ ve PLS yoğunluk, ısı iletkenlik ve ısı ı direnç değ erleri

FDM oranı	Yoğunluk (kg/m ³)	Isı İletkenlik Değ eri, λ [W/(m.K)]	Isı ı Direnç Değ eri, R a (m ² .K/W)
FDM ₁	1500	0,5	0,004
PLS	284,2	0,078	0,026
%10	168,5	0,06083	0,426
%25	177,7	0,06274	0,410
%40	192,4	0,06338	0,382
FDM ₂			
%25	115,1	0,190	

3.4 Deney Odaları

Deneyleri gerç ekleştirmek üzere Tunceli Munzur Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Laboratuvarı içerisinde 2 bitiş ik mekân test odası olarak seç ilmiştir (Ş ekil 3.14, 3.15). Odalar alüminyum doğ rama ile ayrılmakta, 2 duvarı ise tuğ la duvardan oluş maktadır. Yalıtım sağ laması açısından alüminyum bölücü duvara her iki taraftan alçıpan levha monte edilmiştir (Ş ekil 3.16, 3.17). Deneylerin yapıldığı laboratuvar ve test odalarının planları Ş ekil 3.18 ve 3.19’de verilmiştir.



Şekil 3.14 Deneylerin gerçekleştirildiği test odalarının içinde bulunduğu laboratuvar (Kişisel arşiv, 2020)



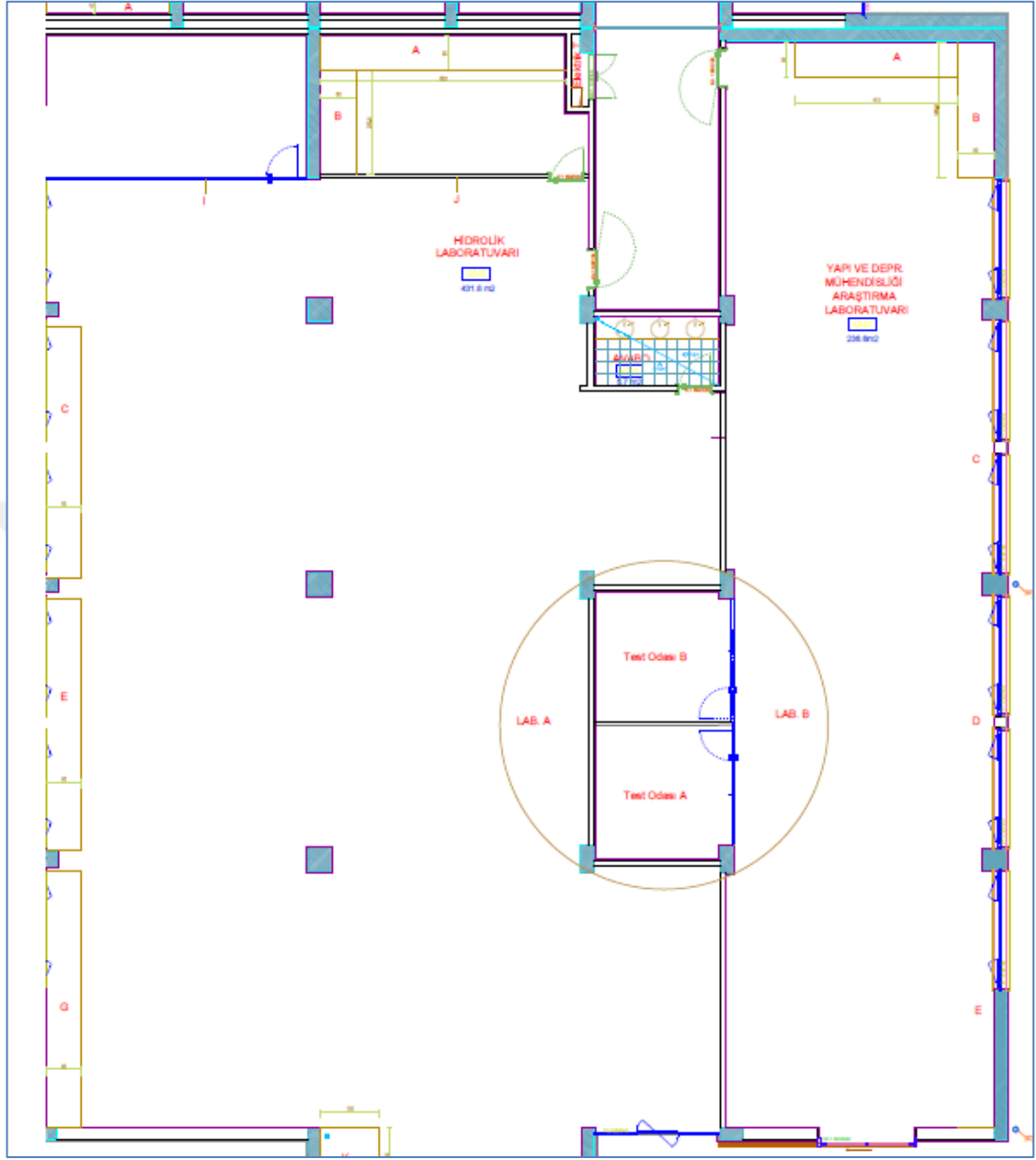
Şekil 3.15 Test odalarının dıştan görünümü (Kişisel arşiv, 2020)



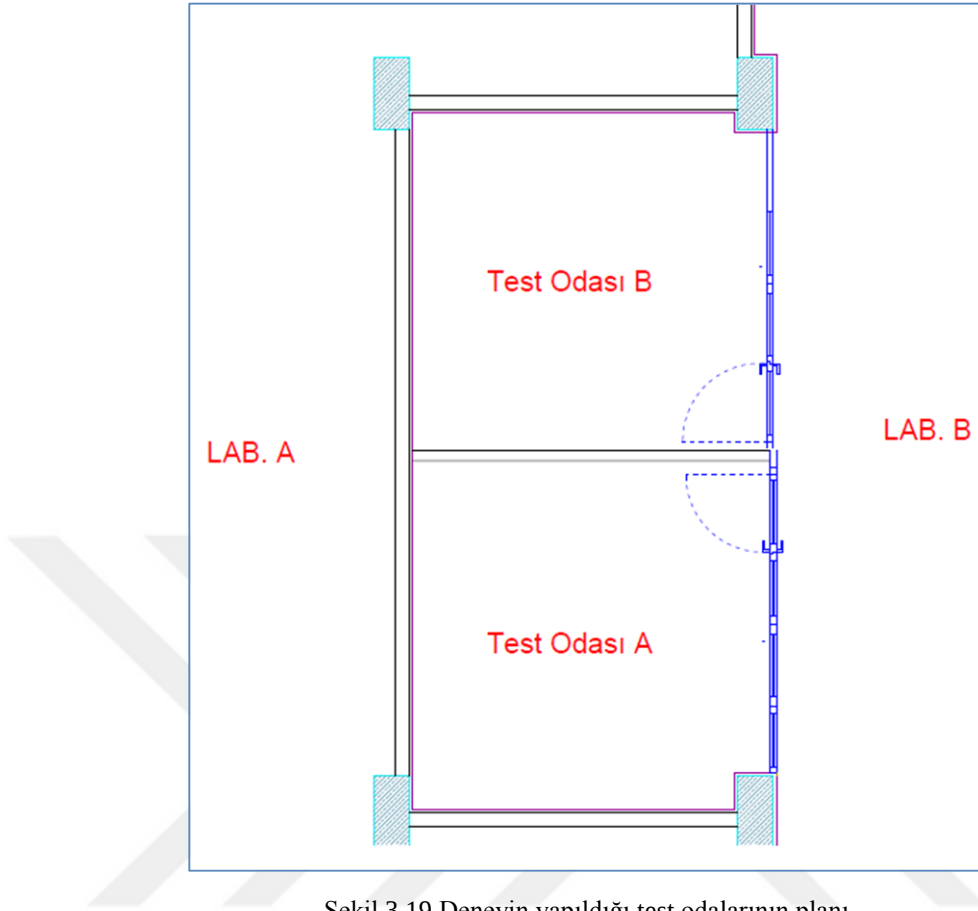
Şekil 3.16 Alüminyum doğramaların alçıpan levha ile yalıtıma hazırlanması (Kişisel arşiv, 2020)



Şekil 3.17 Alüminyum doğramaların alçıpan levha ile yalıtılması (Kişisel arşiv, 2020)



Şekil 3.18 Deneyin yapıldığı laboratuvarın ve test odalarının planı



Şekil 3.19 Deneyin yapıldığı test odalarının planı

3.5 Ölçümlerde Kullanılan Malzemeler

3.5.1 Isıl Çiftler

Sıcaklık ölçümleri için 9 adet PT 100 marka ısıl çift kullanılmıştır (Şekil 3.20). Sıcaklık ölçüm aralığı -35° ile $+50^{\circ}\text{C}$ olan ısıl çiftlerin ölçüm hassasiyeti $\leq \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 'dir. Isıl çiftler iç duvarlar, iç mekân ve dış mekân olmak üzere 9 noktaya konumlandırılmıştır. Yüzey sıcaklık ölçümü yapacak olan ısıl çiftler, duvara alüminyum bant ile yapıştırılarak dış ortamdan yalıtılması sağlanmıştır.



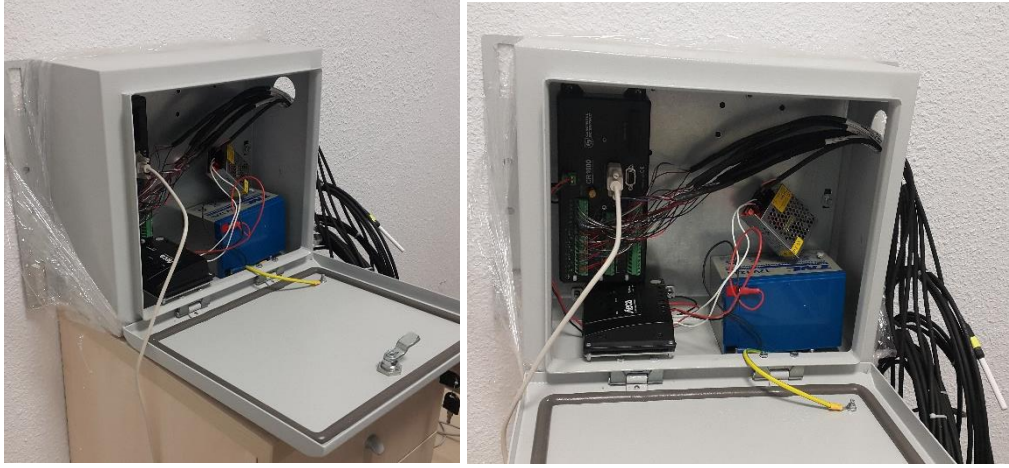
Şekil 3.20 Isıl çiftlerin duvara alüminyum bant ile sabitlenmesi (Kişisel arşiv, 2020)

3.5.2 Datalogger

Isıl çiftlerden gelen verileri kaydetmek amacıyla CR1000 model datalogger kullanılmış ve depolanan veriler bilgisayara aktarılmıştır (Şekil 3.21). Ölçümler 5 dk aralıklarla kaydedilmiştir. Kullanılan dataloggerın teknik özellikleri Tablo 3.11’da verilmiştir.

Tablo 3.11 Datalogger teknik özellikleri

Bellek	4 MB
Program yürütme hızı	100 Hz
Seri portlar	CS G / Ç ve RS-232
Giriş kanalları	8 diferansiyel (DF) veya 16 tek uçlu (SE)
Dahili CPU	32-bit
H8S Renesas Mikrodenetleyici	16-bit
Anahtar	12 volt



Şekil 3.21 Datalogger (Kişisel arşiv, 2020)

3.6 Deney Çalışması 1. Aşama

Çalışmanın ilk aşamasında %25 oranında mikrokapsülsüz FDM, PLS içerine emdirilerek Test Odası A duvarlarına püskürtme tabancası ile uygulanmıştır. Test Odası B duvarlarına ise saf PLS uygulanmıştır. Odaların giriş kapısının bulunduğu alüminyum doğrama mevcut haliyle bırakılmıştır.

FDM'nin erime sıcaklığına gelmesi ve iç mekân dış mekân arasında sıcaklık farkı yaratmak amacıyla ısıtıcılar sabah 8:00 akşam 17:00 saatleri arasında çalıştırılmıştır. Yüzey sıcaklıklarını ölçmek için; duvarlara, iç mekân sıcaklıklarını ölçmek için; tavana ve dış ortam sıcaklıklarını ölçmek için; test odalarının komşu olduğu Lab. A ve Lab. B.'ye ısıl çiftler yerleştirilmiş ve ısıtma ayları boyunca ölçümler alınmıştır. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak durumun yalıtıma katkısı incelenmiştir.

Isıl çiftler yerleştirildiği yüzeylere göre şu şekilde adlandırılmıştır (Şekil 3.22):

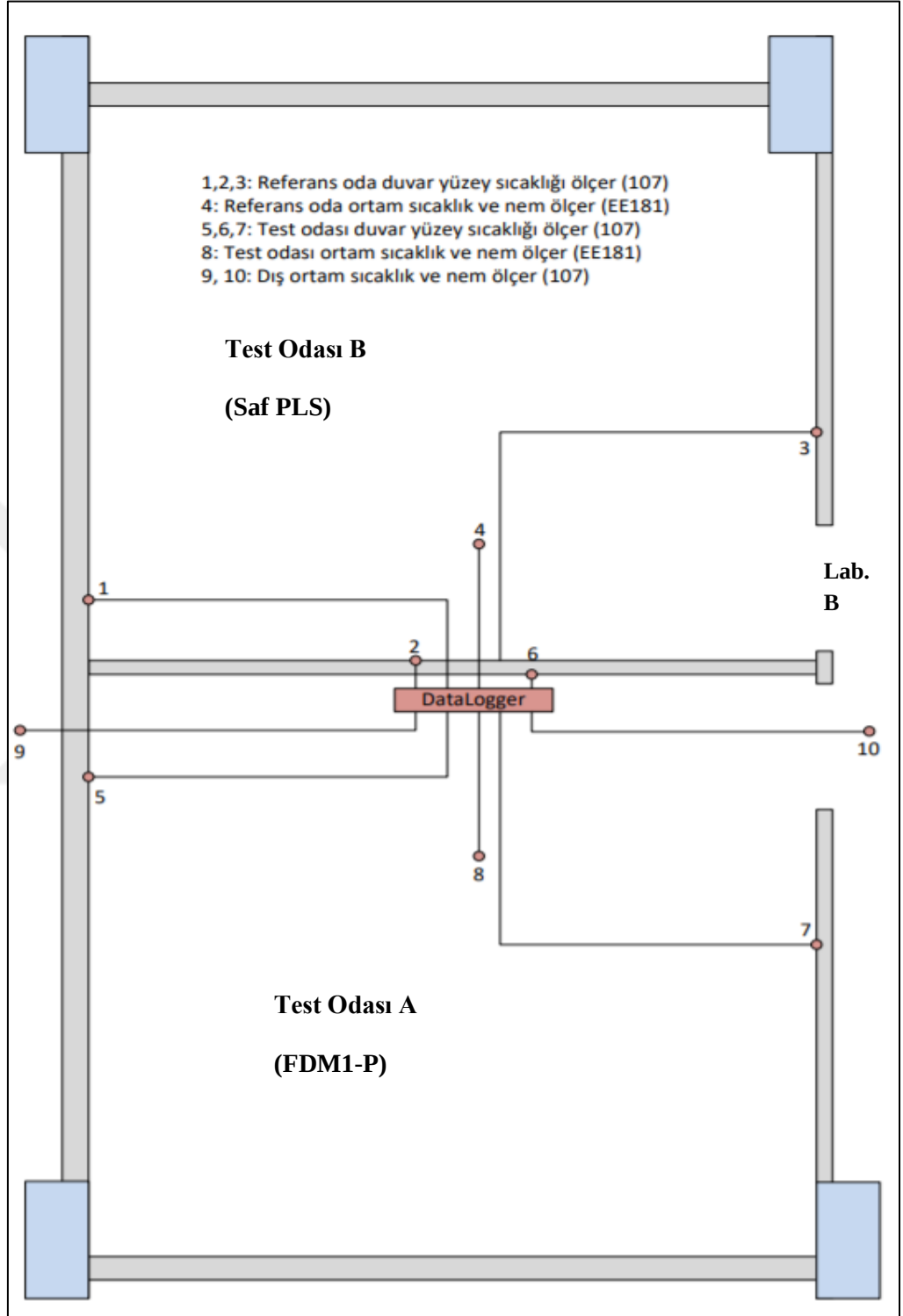
PT 1,2,3: Test odası B (referans oda) duvar yüzey sıcaklığı

PT 4: Test odası B ortam sıcaklığı

PT 5,6,7: Test odası A duvar yüzey sıcaklığı

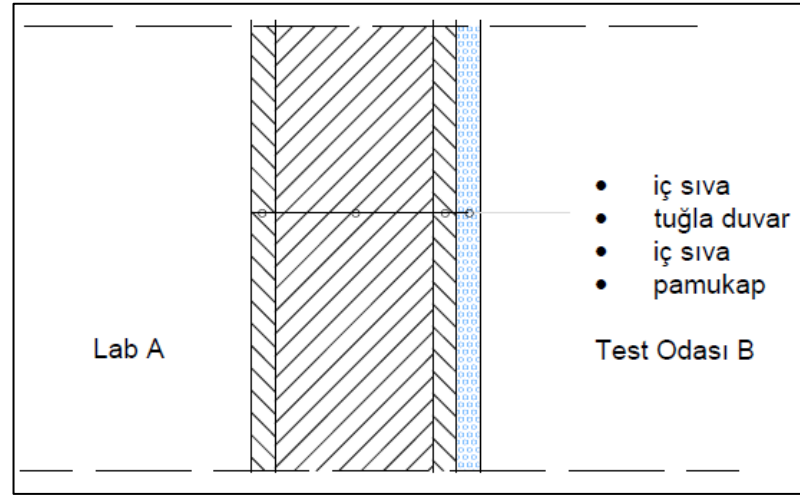
PT 8: Test odası A ortam sıcaklığı

PT 9, 10: Lab A ve Lab B ortam sıcaklığı

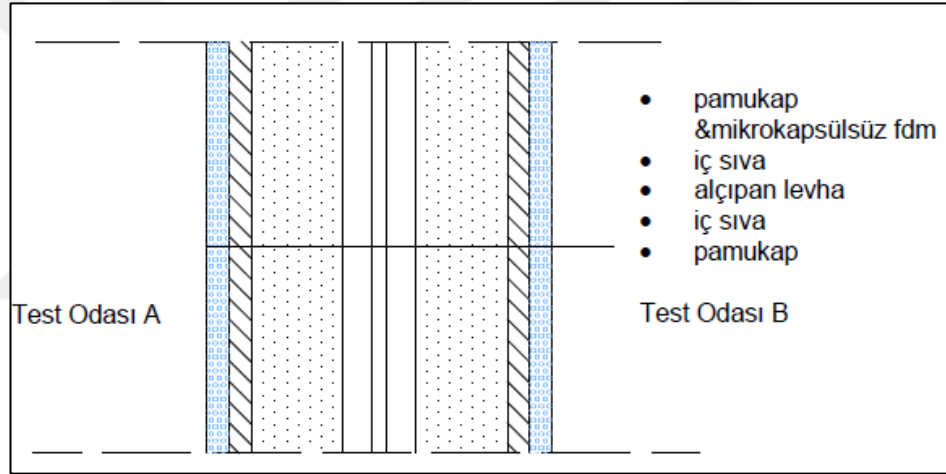


Şekil 3.22 Isıl çift kurulum şeması

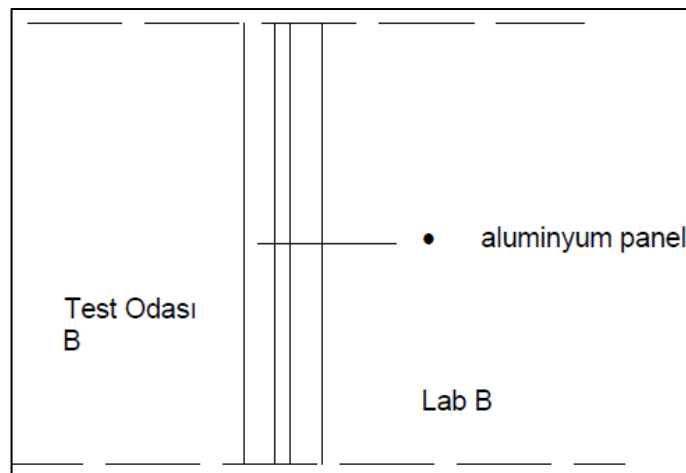
Test odalarına ait duvar detayları aşağıda verilmiştir (Şekil, 3.23-3.27)



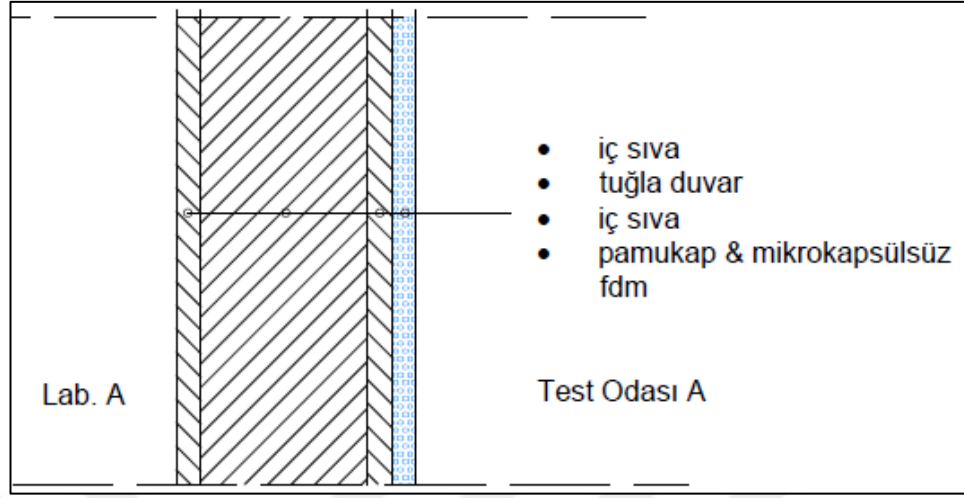
Şekil 3.23 1 numaralı duvar



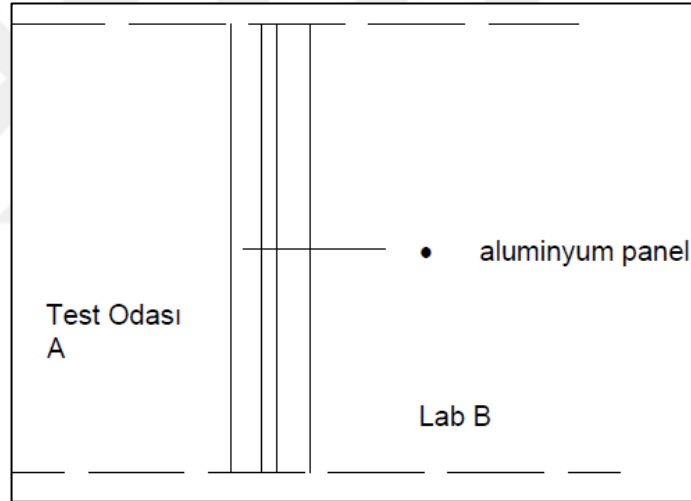
Şekil 3.24 2 ve 6 numaralı duvar



Şekil 3.25 3 numaralı duvar



Şekil 3.26 5 numaralı duvar



Şekil 3.27 7 numaralı duvar

3.6.1 24-28 Mart Ölçümleri (Isıtıcı Çalıştırarak)

2020 yılı ısıtma sezonu süresince ölçümlerin alındığı deney çalışmasında, değerlendirme yapmak üzere 24-28 Mart tarihleri arasındaki 5 günlük ve 1 günlük süre referans olarak seçilmiş ve elde edilen sıcaklık verileri Tablo 3.12 ve 3.13’de gösterilmiştir. Ayrıca FDM’nin çalışma prensibini gözlemlemek amacıyla ısıtıcının çalıştırılmadığı günlerin de verileri alınarak iki durumun karşılaştırması yapılmıştır. Tablodaki veriler grafiğe dökülerek iç mekân, dış mekân, FDM’li ve PLS’li duvar yüzeylerinin davranışları yorumlanmıştır (Tablo 3.14).

Tablo 3.12 24-28 Mart 2020 5 günlük sıcaklık ölçümleri (Isıtıcı Çalıştırarak)

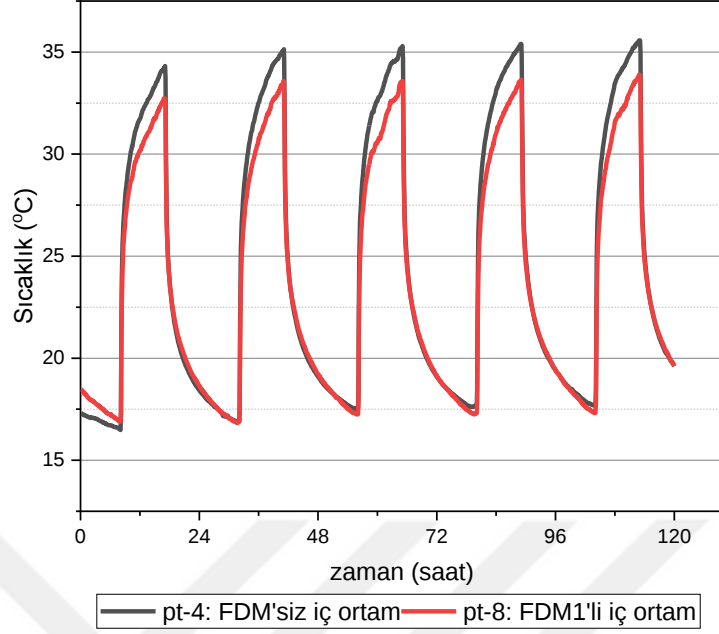
(°C)	pt1	pt2	pt-3	pt-4	pt-5	pt-6	pt-7	pt-8	pt-9	pt10
En düşük sıcaklık	16,24	16,8	14,79	16,48	17,02	16,9	14,96	16,89	14,24	13,73
En yüksek sıcaklık	29,45	33,3	29,46	35,57	28,32	32,66	25,24	33,87	17,5	17,47
Ortalama sıcaklık	22,06	23,72	20,54	24,34	21,86	23,42	18,99	23,72	14,95	14,95

Tablo 3.13. 28 Mart 1 günlük sıcaklık ölçümleri

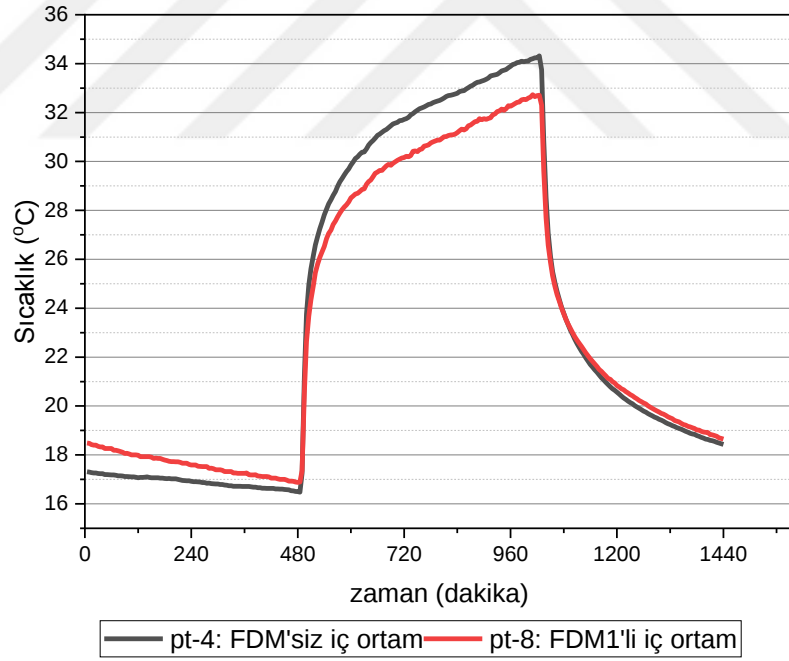
(°C)	pt1	pt2	pt-3	pt-4	pt-5	pt-6	pt-7	pt-8	pt-9	pt10
En düşük sıcaklık	16,24	16,8	14,86	16,48	17,02	16,9	14,96	16,89	14,24	13,73
En yüksek sıcaklık	28,28	31,99	28,37	34,32	27,42	31,45	24,1	32,71	16,04	16,54
Ortalama sıcaklık	21,19	22,91	19,93	23,50	21,43	22,82	18,55	23,23	14,85	14,66

Tablo 3.14 9-12 Şubat 2021 (ısıtıcı çalıştırmadan)

(°C)	pt1	pt2	pt-3	pt-4	pt-5	pt-6	pt-7	pt-8	pt-9	pt10
En düşük sıcaklık	10,23	10,16	9,41	10,14	10,22	10,07	9,33	10,07	10,27	8,98
En yüksek sıcaklık	11,13	11,04	10,28	10,99	11,1	10,94	10,22	10,94	11,13	9,89
Ortalama sıcaklık	10,7	10,62	10,02	10,61	10,69	10,52	9,94	10,55	10,93	9,71



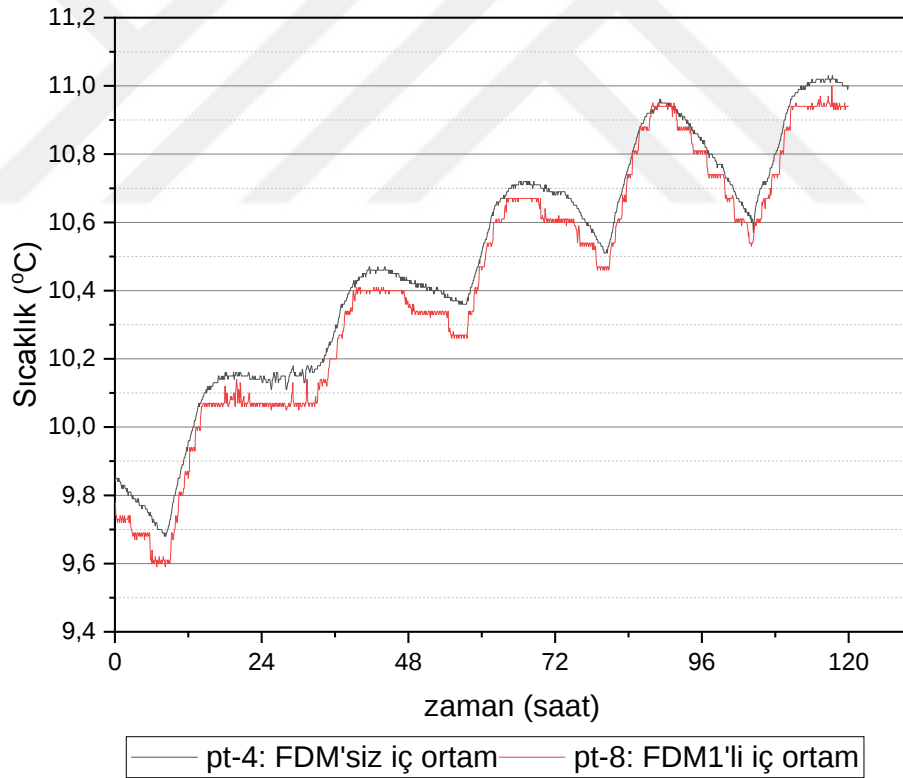
Şekil 3.28 24-28 Mart 2020, iç ortam sıcaklık karşılaştırması



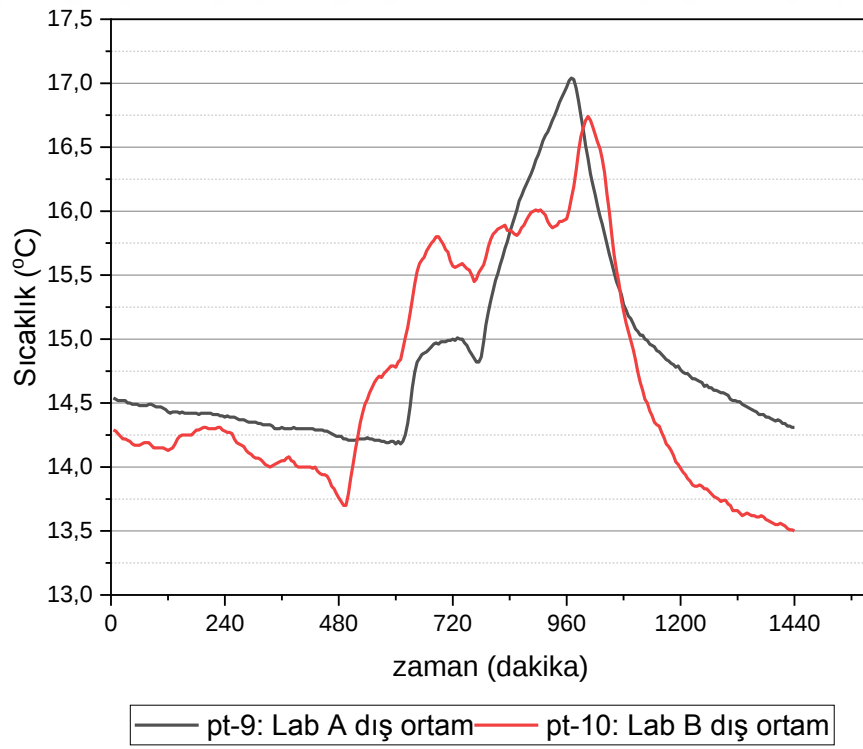
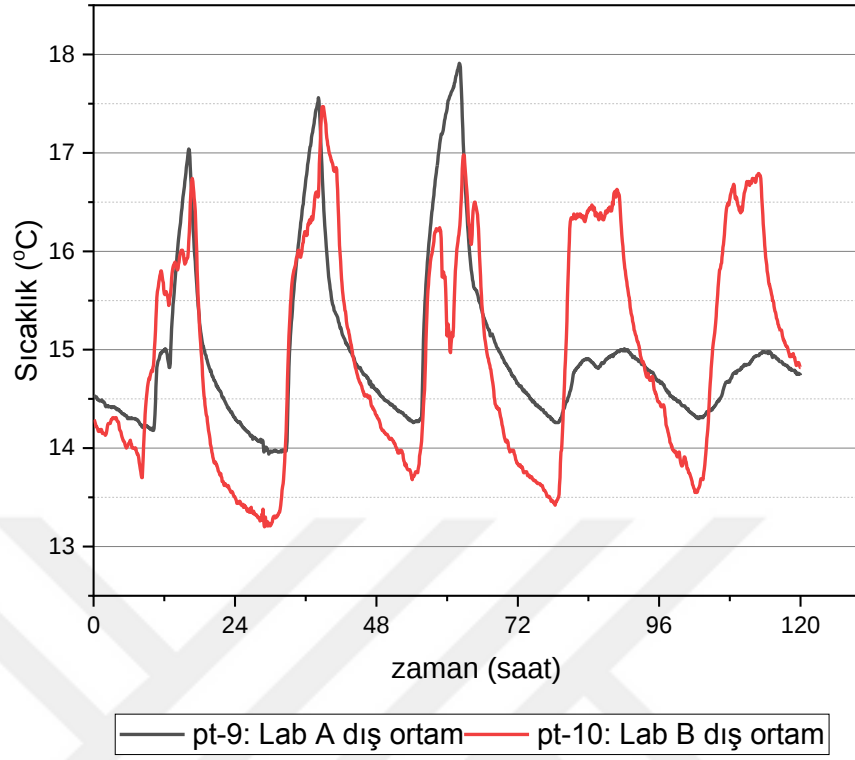
Şekil 3.29 28 Mart, 1 günlük iç ortam sıcaklık karşılaştırması

24-28 Mart 2020 tarihleri arası 5 günlük iç ortam sıcaklık ölçümleri karşılaştırıldığında (Şekil 3.28), FDM₁'li oda ile saf PLS'li oda sıcaklıkları arasında paralel bir artış gözlemlenmiştir. Ancak sıcaklıklar maksimum seviyeye ulaştığında iki

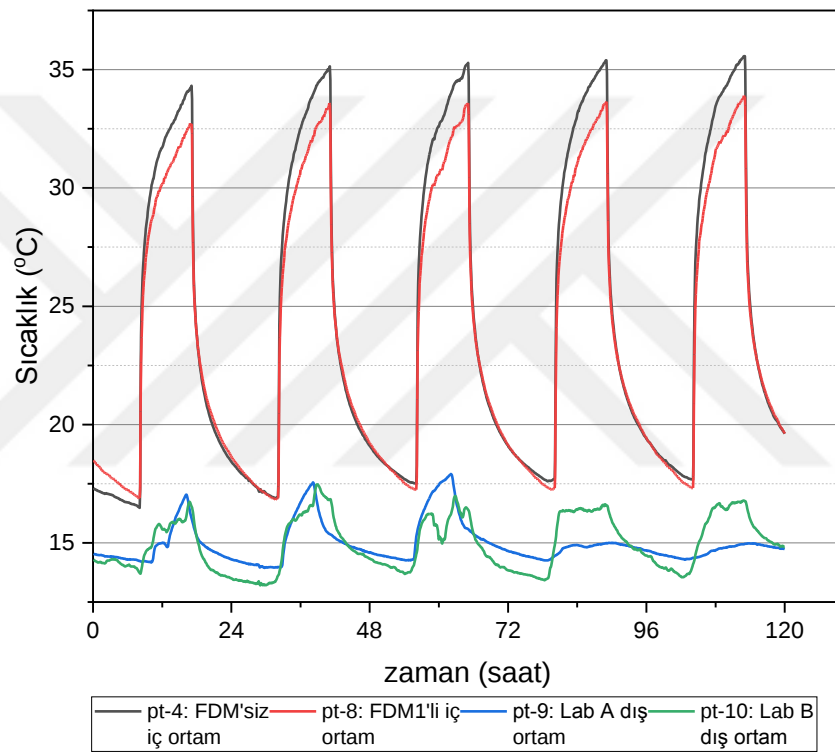
oda arasındaki sıcaklık farkı $1,7^{\circ}\text{C}$ 'ye ulaşmış, FDM'siz odanın daha sıcak olduğu görülmüştür (Şekil 3.29). Isıtıcı kullanılmadığı günlerde ise iki oda arasındaki sıcaklık farkı maksimum $0,5^{\circ}\text{C}$ 'dir. Isıtıcının çalıştırıldığı senaryodaki sıcaklık farkı, ısıtıcı çalıştırılmadığı senaryodakinden daha fazladır. Buna göre ısıtıcı çalıştırıldığı tarihlerde, oda sıcaklığı erime noktasını aştığında, FDM erimeye geçmekte ve odanın enerjisini sönmölemektedir. Bu sebeple de FDM'li oda daha düşük sıcaklıkta seyretmektedir. FDM'li odada en yüksek sıcaklık $33,87^{\circ}\text{C}$, en düşük sıcaklık $16,89^{\circ}\text{C}$, ortalama sıcaklık ise $23,72^{\circ}\text{C}$ 'dir. FDM'siz odada ise en düşük sıcaklık $16,48^{\circ}\text{C}$, en yüksek sıcaklık $35,57^{\circ}\text{C}$, ortalama sıcaklık $24,34^{\circ}\text{C}$ 'dir. Isıtıcının çalışmadığı saatlerde (Şekil 3.30), FDM'li odanın sıcaklığı FDM'siz odaya göre daha yüksek görölmekte bu da FDM'nin donma döngüsü esnasında dışarıya enerji salınımı yaptığını göstermektedir.



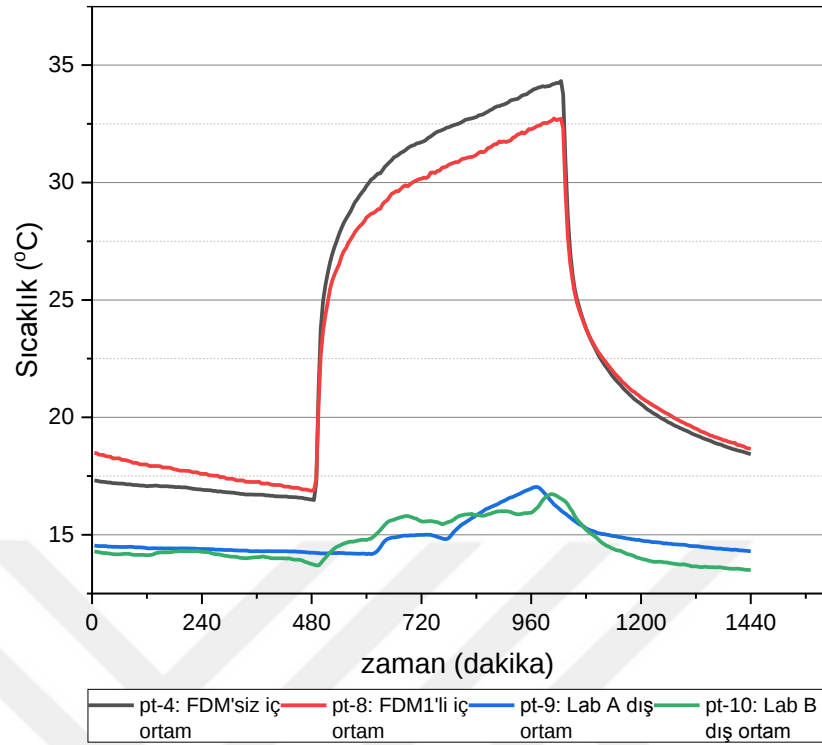
Şekil 3.30 9-12 Şubat 2021 iç ortam 5 günlük sıcaklık ölçümleri (ısıtıcı çalıştırmadan)



2020 Mart ayı ölçümlerinde 5 günlük dış ortam (Lab. A ve Lab. B) sıcaklık grafiği incelendiğinde (Şekil 3.31), hafta içerisinde Lab A'nın (pt9) sıcaklığı öğlen saatlerinde en fazla 17,8 °C'ye yükselmiş, gece saatlerinde ise 14,8 °C'ye düşmüştür (Şekil 3.32). Lab B'de ise (pt10) en yüksek sıcaklık 17,5 °C, en düşük sıcaklık ise 13,4 °C olarak gözlemlenmiştir. Son 2 gündeki pt9'daki gözle görülen sıcaklık düşüşü ve iki ortamdaki büyük sıcaklık farkı ise kullanıcıların mekânlara olan etkisinden kaynaklanmaktadır.

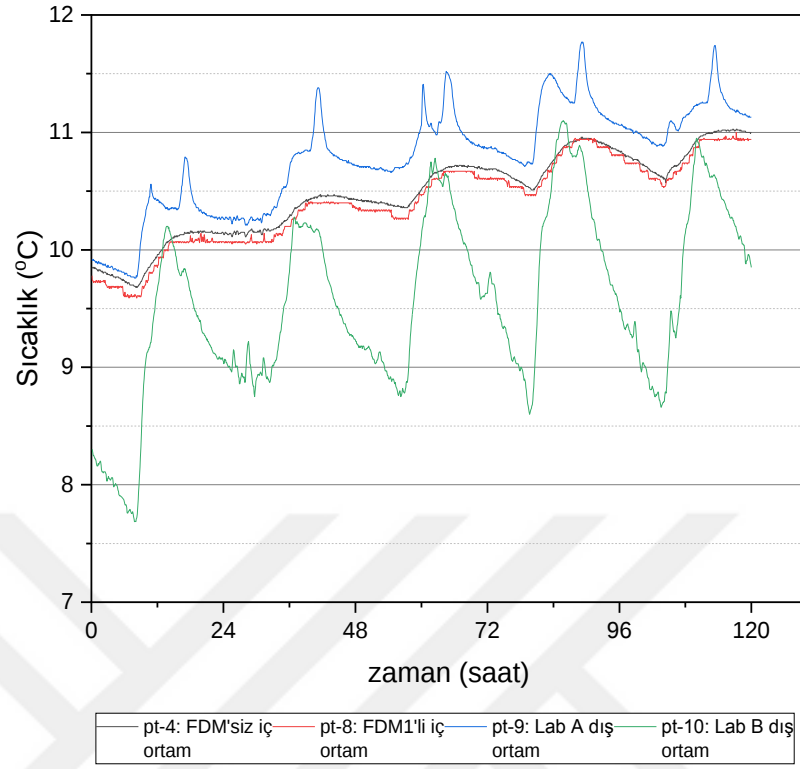


Şekil 3.33 24-28 Mart 2020, 5 günlük iç-dış ortam sıcaklık karşılaştırması

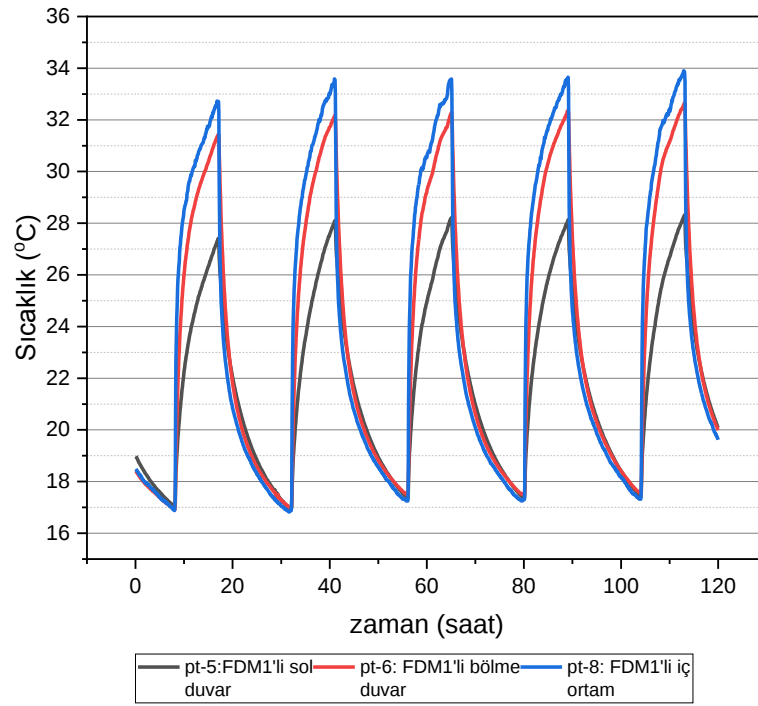


Şekil 3.34 28 Mart 2020, 1 günlük iç-dış ortam sıcaklık karşılaştırması

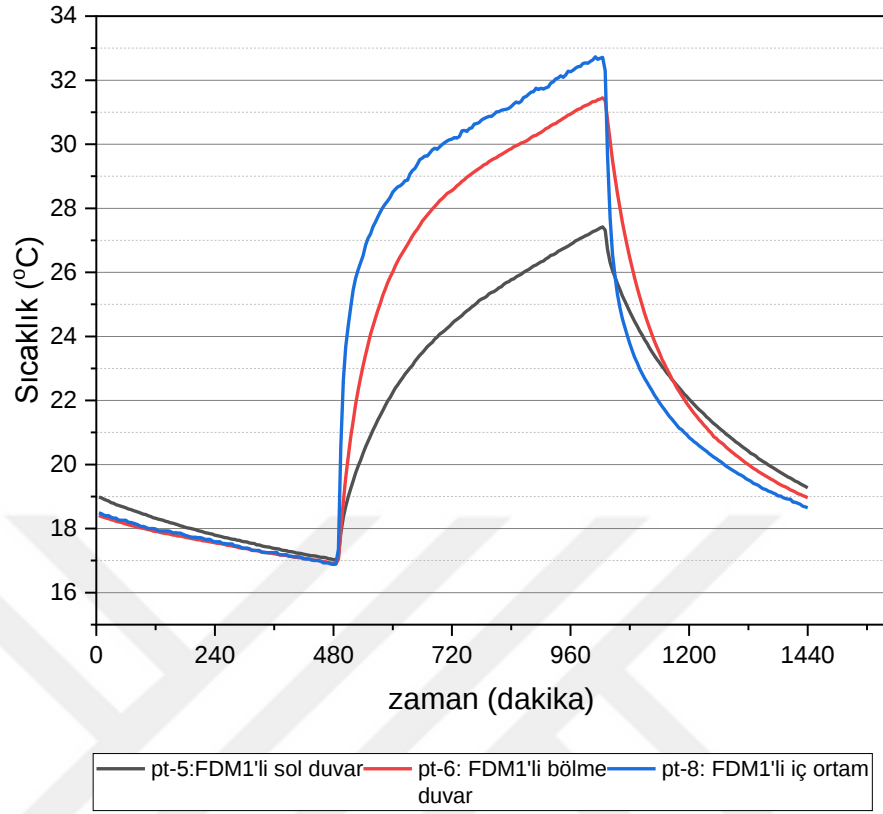
5 günlük iç ortam ve dış ortam sıcaklık karşılaştırmasına bakıldığında sıcaklık eğrilerinde artış ve azalmalar paralel gitmektedir (Şekil 3.33). Isıtıcının çalışmaya başlayacağı saatlerde iç ve dış ortam en düşük sıcaklığa ulaşmakta, pt4 ve pt8 arasındaki fark ise azalmaktadır (Şekil 3.34). Isıtıcının çalıştırılmadığı 5 günlük grafik incelendiğinde ise pt9 ve pt10'daki (dış ortam) keskin iniş çıkış eğrilerine kıyasla, FDM'li ve FDM'siz odalarda sıcaklıklar 10,14- 10,99 °C arasında seyretmektedir (Şekil 3.35). Bu da PLS'nin yalıtım özelliğinden kaynaklanıyor şeklinde yorumlanabilir. İki oda arasındaki sıcaklık farkı en fazla 0,7 °C'dir. Bu durum FDM'nin çalışma sıcaklığının altında kalması sebebiyle döngü prosesine girememesini göstermektedir.



Şekil 3.35 9-12 Şubat 2021 iç-dış ortam 5 günlük (ısıtıcı çalıştırmadan)



Şekil 3.36 24-28 Mart 2020 FDM₁'li duvarlar ve iç ortam, 5 günlük sıcaklık ölçümleri (ısıtıcı çalıştırarak)

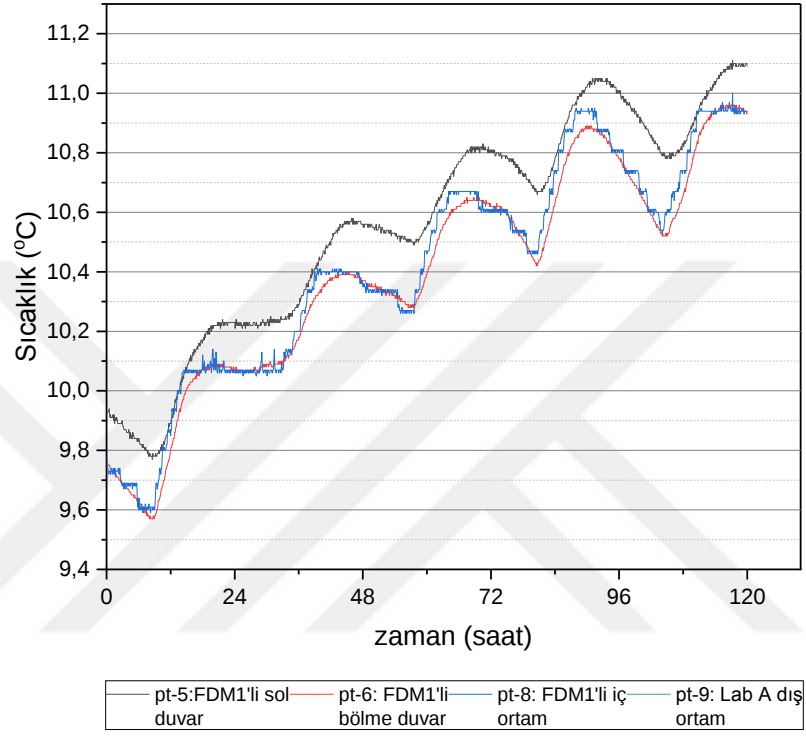


Şekil 3.37 28 Mart 2020 FDM₁'li duvarlar ve iç ortam, 1 günlük sıcaklık ölçümleri (ısıtıcı çalıştırarak)

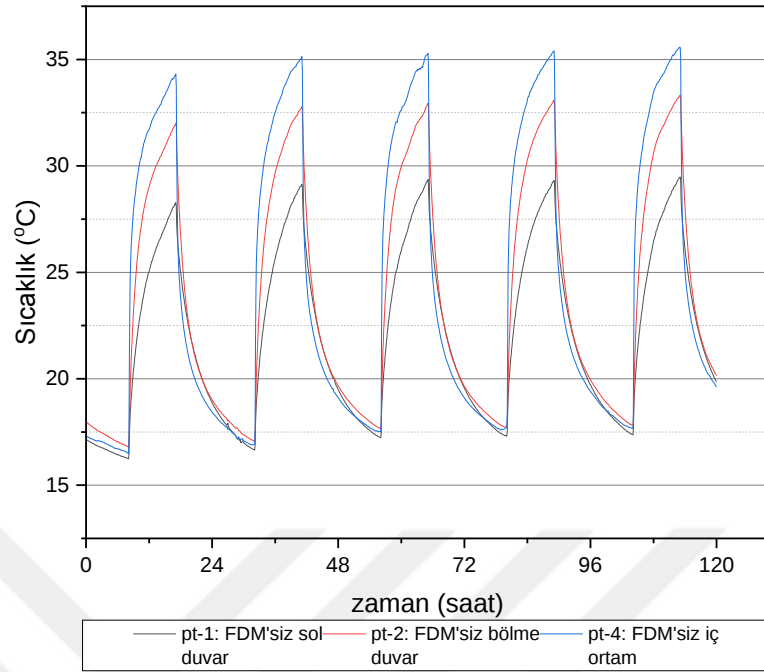
24-28 Mart 2020, 5 günlük FDM₁'li iç duvar ve iç ortam sıcaklık karşılaştırmasına bakıldığında (Şekil 3.36), FDM₁'li bölme duvarın iç ortam sıcaklığına daha yakın bir değerde seyrettiği görülmektedir (Şekil 3.37). Gece saatlerinde ısıtıcı çalıştırılmadığında FDM₁'li sol duvar 19 °C, iç ortam ve FDM₁'li bölme duvar ise yaklaşık 18,2 °C dolaylarında görülmektedir.

Isıtıcının hiç çalıştırılmadığı 9-12 Şubat 2021 tarihlerinde iç ortam ve iç duvar sıcaklıklarına bakıldığında, FDM₁'li sol duvarın 5 gün süresince daha yüksek sıcaklıkta seyrettiği görülmektedir (Şekil 3.38). FDM₁'li bölme duvar ve iç ortam sıcaklıkları ise birbirine yakın değerlerdedir. FDM₁'li sol duvarın ortalama sıcaklığı 10,69 °C, bölme duvar 10,52 °C, iç ortam ise 10,55 °C'dir. En yüksek en düşük sıcaklık farkı ise iç ortam için 0,87 °C, sol duvar için 0,88 °C, bölme duvar için ise 0,87 °C'dir. Buna göre iç ortam ve duvarlarda eşit oranda sıcaklık farkı yaşanmış, benzer davranış sergilemişlerdir. Isıtıcının çalıştırıldığı tarihlerde ise en yüksek en düşük sıcaklık farkı; iç ortam için 16,98 °C, sol duvar için 11,3 °C, bölme duvar için ise 15,76 °C'dir. Buna

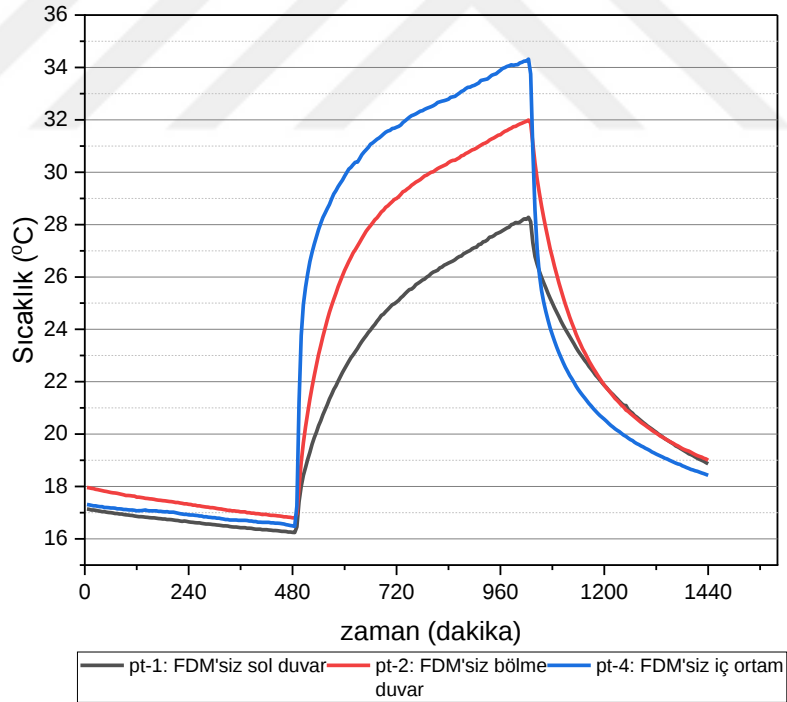
göre en fazla sıcaklık düşüşü iç ortamda görülmektedir. FDM'nin erime sıcaklığına ulaştığı vakitlerde FDM₁'li sol duvar, iç ortam ve bölme duvardan daha düşük sıcaklığa ulaşmaktadır. Bu durum bölme duvarın ısı iletkenliğinin yüksek olmasının bir sonucu olarak yorumlanabilir.



Şekil 3.38 9-12 Şubat 2021 FDM₁'li duvarlar ve iç mekân 5 günlük ölçümleri (ısıtıcı çalıştırmadan)



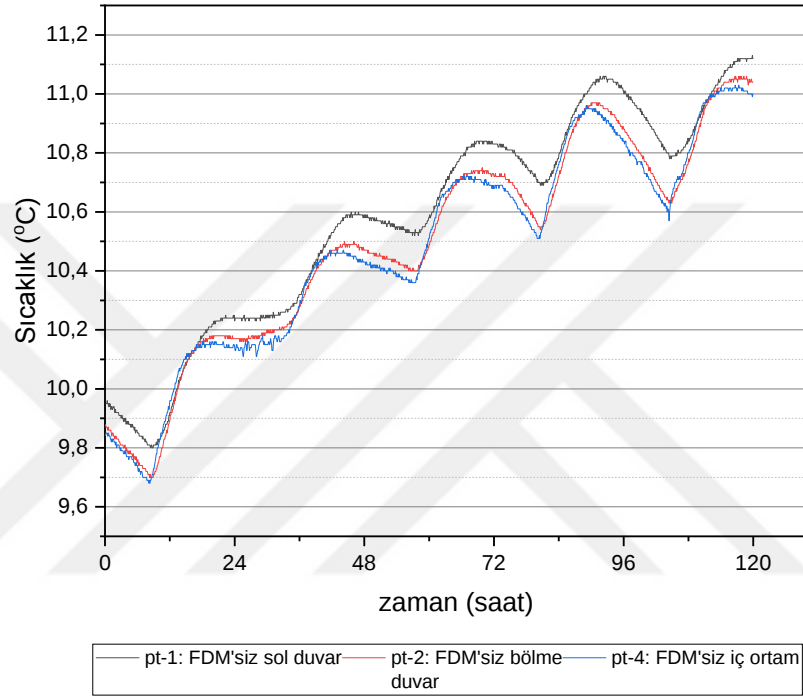
Şekil 3.39 24-28 Mart 2020 FDM'siz duvarlar ve iç ortam, 5 günlük sıcaklık ölçümleri (ısıtıcı çalıştırarak)



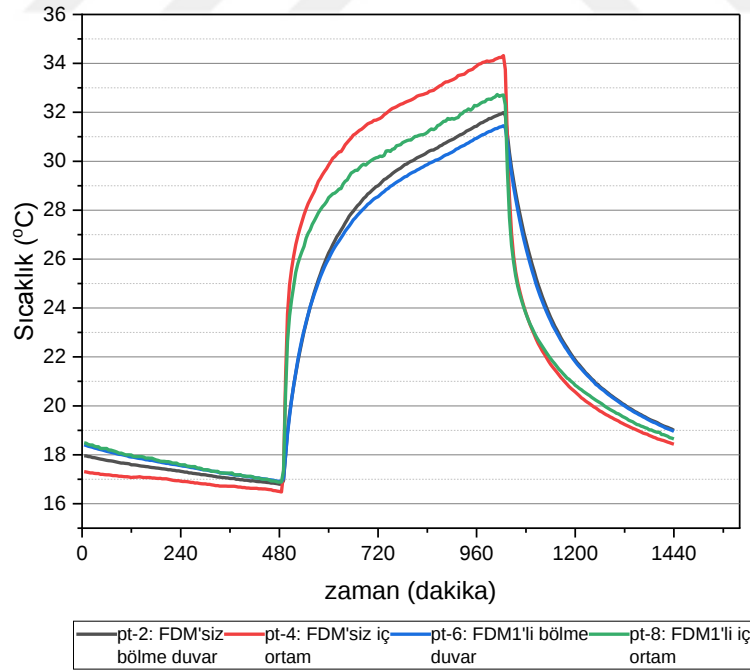
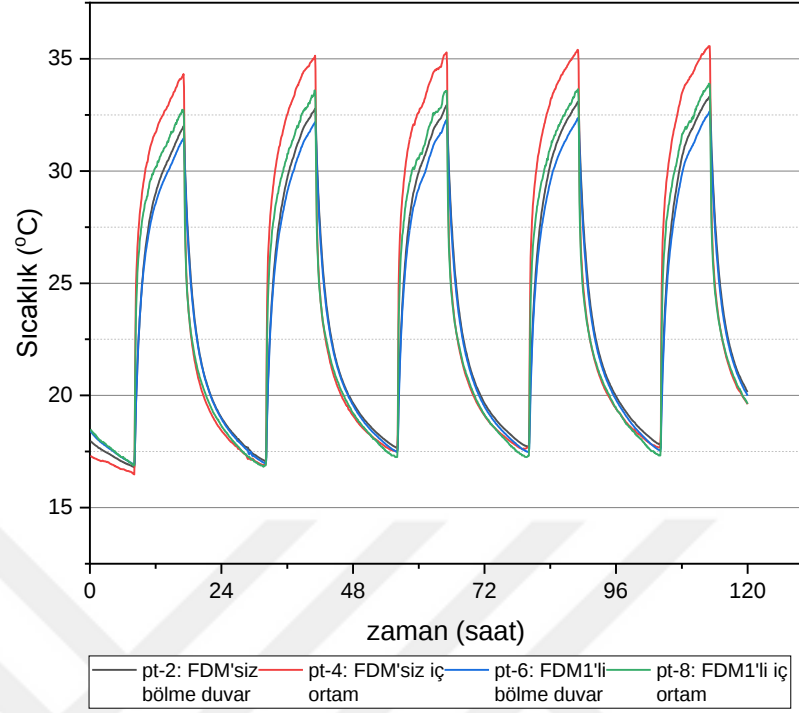
Şekil 3.40 28 Mart 2020 FDM'siz duvarlar ve iç ortam, 1 günlük sıcaklık ölçümleri (ısıtıcı çalıştırarak)

24-28 Mart 2020, FDM'siz duvarlar ve iç ortam sıcaklıklarına bakıldığında iç ortamın en yüksek 35,57 °C'ye, bölme duvarın 33,3 °C'ye, sol duvarın ise 29,45 °C'ye ulaştığı görülmektedir (Şekil 3.39). En yüksek en düşük sıcaklık farkı ise iç ortam için

16,94 °C, sol duvar için 13,21 °C, bölme duvar için ise 14,2 °C'dir (Şekil 3.40). Isıtıcının çalıştırılmadığı 9-12 Şubat 2021 tarihlerinde ise en yüksek ve en düşük sıcaklık farkları iç ortam için 0,85 °C, sol duvar için 0,9 °C, bölme duvar için ise 0,88 °C'dir (Şekil 3.41). FDM'nin erime sürecine girmediği bu tarihlerde her iki odadaki iç mekân ve duvar yüzeylerindeki sıcaklık farkı değerleri birbirine yakın çıkmıştır.

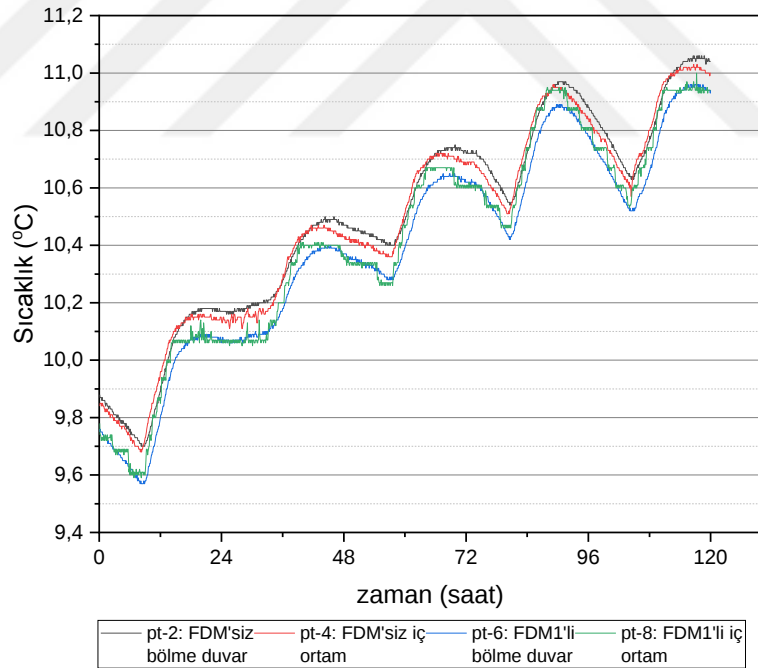


Şekil 3.41 9-12 Şubat 2021 FDM'siz duvarlar ve iç ortam 5 günlük sıcaklık ölçümleri (ısıtıcı çalıştırmadan)

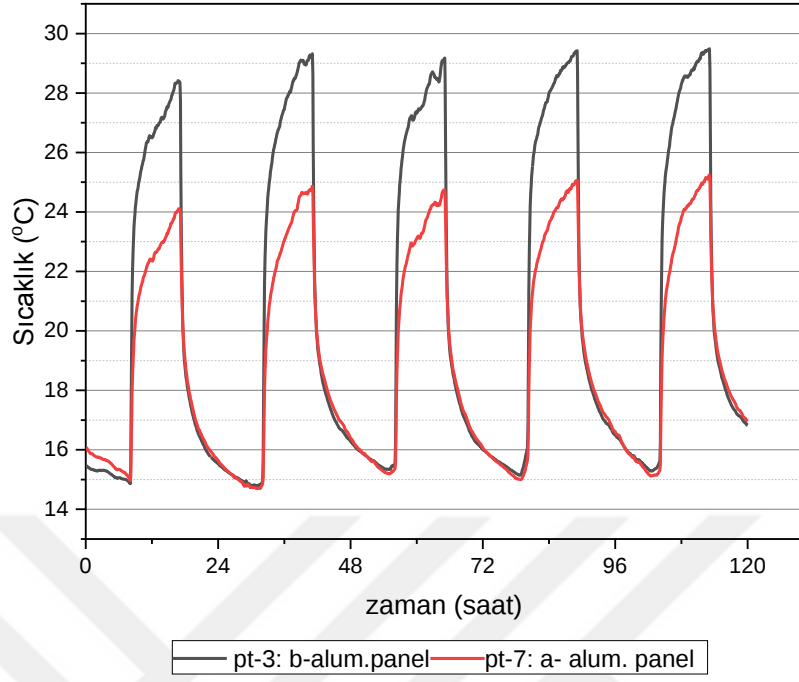


24-28 Mart 2020 FDM'siz ve FDM₁'li bölme duvarlar ile iç ortam sıcaklıkları karşılaştırıldığında gece saatlerinde ısıtıcı çalıştırılmadığında FDM₁'li iç ortam sıcaklığının en yüksek, FDM'siz iç ortamın ise en düşük olduğu görülmektedir (Şekil 3.42). Bu durum FDM'nin donma döngüsü sırasında dışarıya enerji salması sonucu ortamın sıcaklığını yükseltmesi şeklinde yorumlanabilir. Isıtıcı çalıştırıldığı ve sıcaklığın en yüksek değere ulaştığı saatlerde ise FDM'siz iç ortam 35,57 °C, FDM₁'li iç ortam 33,87 °C, FDM'siz bölme duvar 33,3 °C, FDM₁'li bölme duvar ise 32,66 °C olmuştur (Şekil 3.43). Buna göre FDM erime noktasına ulaşarak ortamın enerjisini sönmölemek ve iç mekân ve bölme duvarın sıcaklığı düşmektedir.

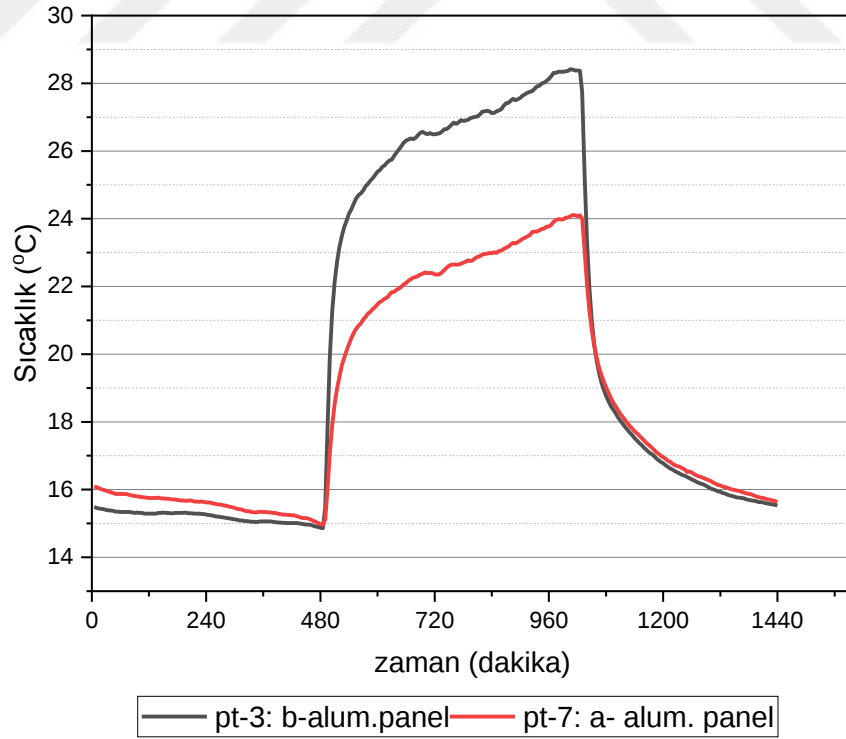
Isıtıcının hiç çalıştırılmadığı 9-12 Şubat 2021 tarihlerinde ise FDM'siz duvar ve iç ortamın sıcaklığı ile FDM₁'li duvar ve iç ortam sıcaklıkları paralel artış göstermektedir ve aralarındaki sıcaklık farkı 0,1 °C- 0,05 °C arasında değişmektedir (Şekil 3.44).



Şekil 3.44 9-12 Şubat 2021 FDM'siz duvarlar ve iç ortam 5 günlük sıcaklık ölçümleri (ısıtıcı çalıştırmadan)



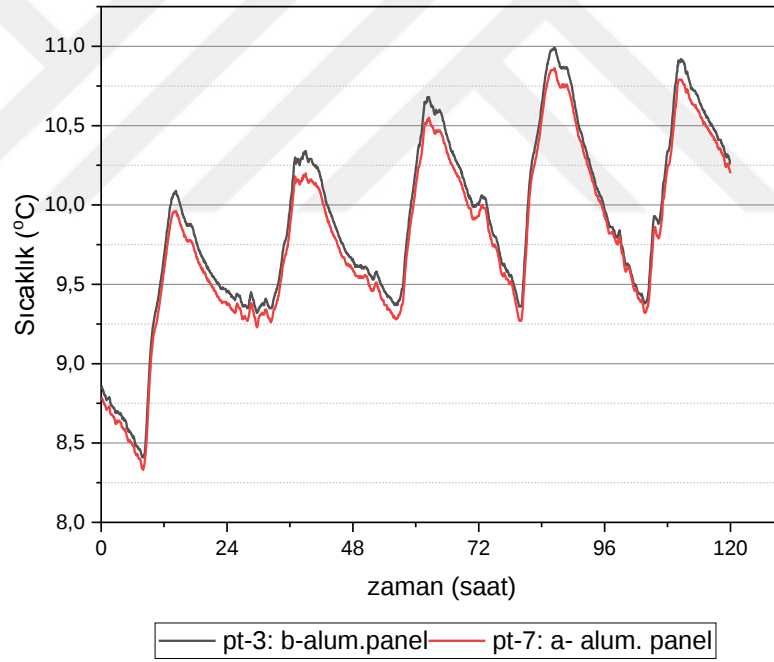
Şekil 3.45 24-28 Mart 2020 FDM'siz ve FDM₁'li oda alüminyum panel, 5 günlük sıcaklık ölçümleri (ısıtıcı çalıştırarak)



Şekil 3.46 28 Mart 2020 FDM'siz ve FDM₁'li oda alüminyum panel, 5 günlük sıcaklık ölçümleri (ısıtıcı çalıştırarak)

24-28 Mart 2020 tarihlerinde, 5 günlük FDM'li ve FDM'siz oda alüminyum panel sıcaklık karşılaştırmasına bakıldığında, FDM'siz ortamdaki panelin (pt3), FDM'li ortamdaki panele (pt7) göre 4,22 °C kadar sıcaklık farkı olduğu görülmektedir. Herhangi bir sıva uygulaması yapılmayan bu panellerdeki sıcaklık farkının sebebi, FDM'li 3 duvarın sıcaklık rejimlerini dengeye getirmek için ortamdan radyal olarak ısı koparması ve ısıyı kendine çekmesidir. Böylece FDM'li ortamdaki alüminyum panelin sıcaklığı düşmektedir. Isıtıcının çalıştırılmadığı gece saatlerinde ise FDM'li duvarların ortama ısı vermesi sebebiyle pt7'nin sıcaklığı pt3'e göre artış göstermektedir (Şekil 3.46).

Isıtıcının hiç çalıştırılmadığı 9-12 Şubat tarihlerinde ise iki panel arasındaki sıcaklık farkı 0,06 °C'dir (Şekil 3.47).



Şekil 3.47 9-12 Şubat 2021 FDM'siz ve FDM'li oda alüminyum panel 5 günlük ve 1 günlük sıcaklık ölçümleri (ısıtıcı çalıştırmadan)

3.7 Deney Çalışması 2. Aşama

Deney çalışmasının 2. Aşamasında 1. Durumla karşılaştırma yapmak amacıyla PLS'nin uygulandığı duvar kazınarak temizlenmiş (Şekil 3.49) ve %25 oranında mikrokapsüllenmiş FDM'li PLS (FDM₂-P) karışımı hazırlanarak (Şekil 3.50 ve Şekil

3.51) Test Odası B duvarlarına uygulanmıştır (Şekil 3.52). Test Odası A ise mevcut haliyle bırakılmıştır. Karşılaştırmanın tutarlı olması açısından, aynı koşulları sağlaması amacıyla ölçümler 2021 yılının ısıtma sezonunda gerçekleştirilmiştir. FDM'lerin erime sıcaklığına gelebilmesi amacıyla ısıtıcılar yine sabah 8:00 akşam 17:00 saatleri arasında çalıştırılmıştır.

Yüzey sıcaklıklarını ölçmek için; duvarlara, iç mekân sıcaklıklarını ölçmek için; tavana ve dış ortam sıcaklıklarını ölçmek için; test odalarının komşu olduğu Lab. A ve Lab. B.'ye ısıtıcılar yerleştirilmiş ve ısıtma ayları boyunca ölçümler alınmıştır. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak durumun yalıtıma katkısı incelenmiştir.

Isıtıcılar yerleştirildiği yüzeylere göre şu şekilde adlandırılmıştır (Şekil 3.48):

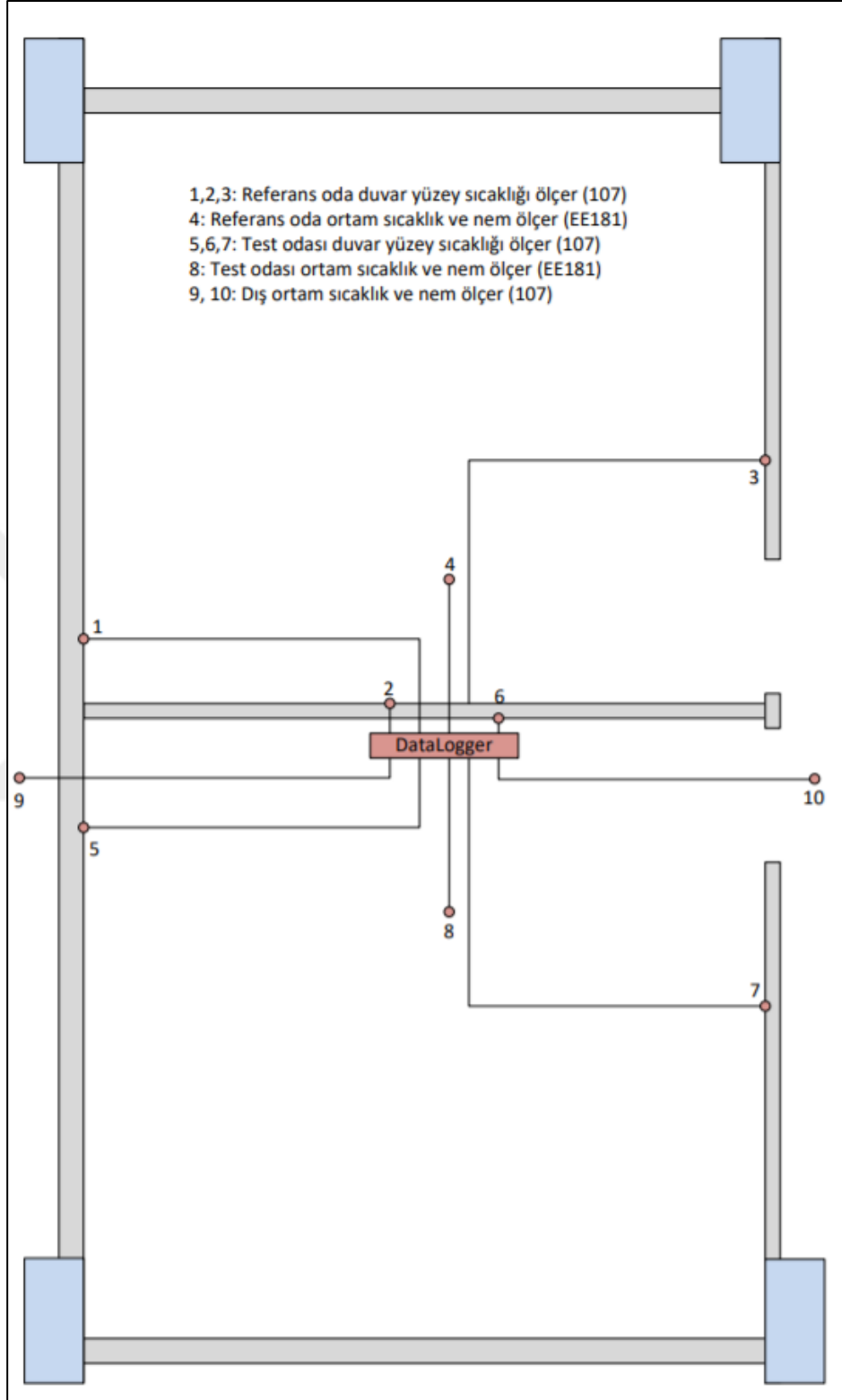
PT 1,2,3: Test odası B (referans oda) duvar yüzey sıcaklığı

PT 4: Test odası B ortam sıcaklığı

PT 5,6,7: Test odası A duvar yüzey sıcaklığı

PT 8: Test odası A ortam sıcaklığı

PT 9, 10: Lab A ve Lab B ortam sıcaklığı



Şekil 3.48 İkinci durum ısı çift kurulum şeması



Şekil 3.49 FDM₂-P'yi uygulamadan önce PLS'li duvarın kazınarak temizlenmesi (Kişisel arşiv, 2021)



Şekil 3.50 FDM₂-P'li karışımın hazırlanması (Kişisel arşiv, 2021)

Karışım hazırlanırken öncelikle pudra halindeki FDM₂ 6 lt su içerisinde çözdürülerek homojen bir şekilde karıştırılmış, daha sonra kuru PLS yavaş yavaş eklenerek önce elle daha sonra mikser yardımıyla karıştırılmıştır (Şekil 3.50). Hazırlanan karışım püskürtme tabancasının haznesine koyularak duvar üzerine sıvama işlemi yapılmıştır. (Şekil 3.51). Duvar yüzeyindeki malzeme kuruduğunda ısıl çiftler monte edilerek ölçümlerin 2. aşamasına geçilmiştir.

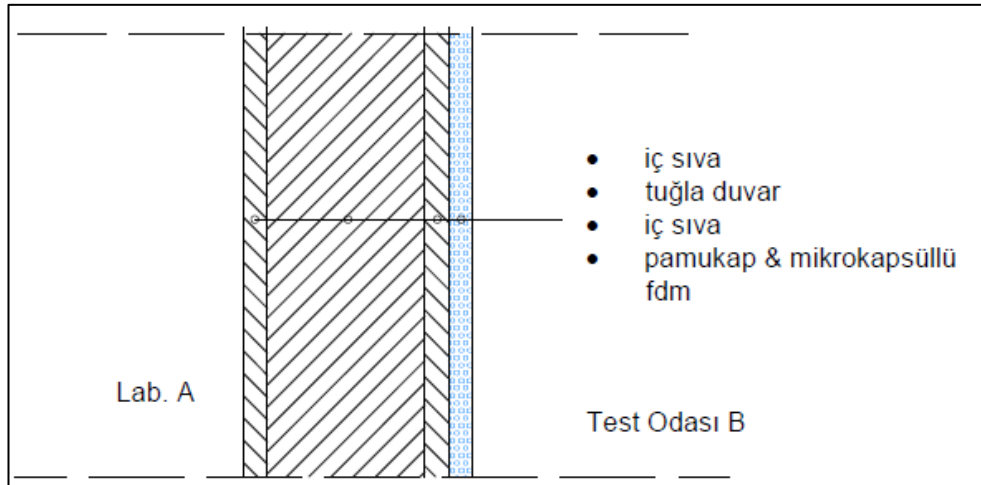


Şekil 3.51 FDM₂'li karışımın hazırlanması (Kişisel arşiv, 2021)

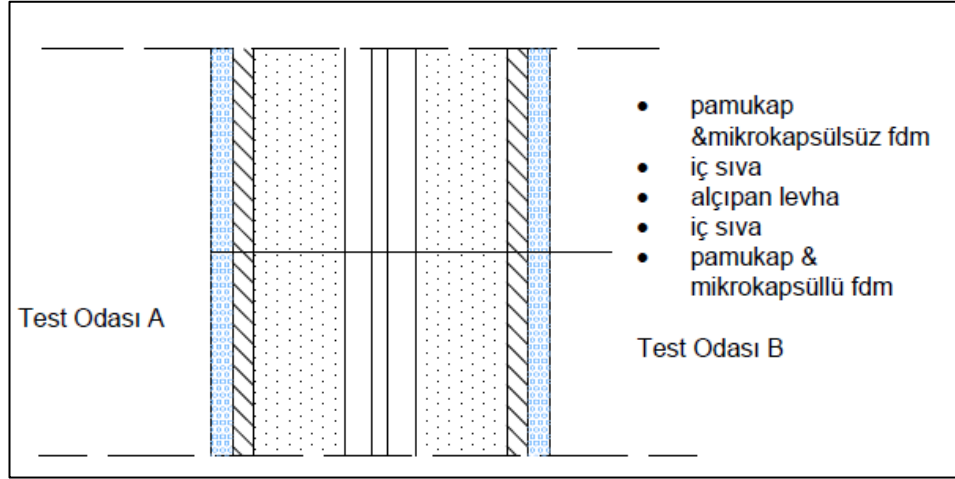


Şekil 3.52 FDM₂'li karışımın mikserle karıştırılması ve duvara uygulanması (Kişisel arşiv, 2021)

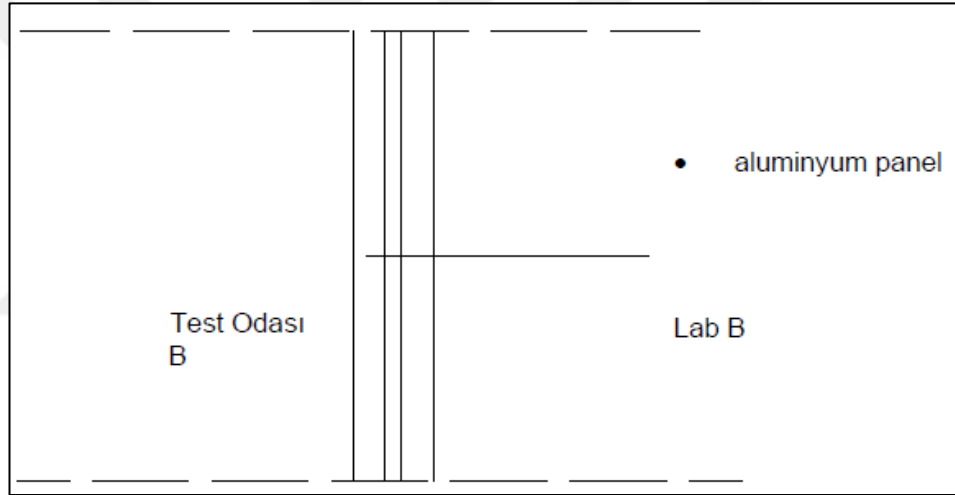
Test odalarına ait duvar detayları aşağıda verilmiştir (Şekil, 3.53-3.58)



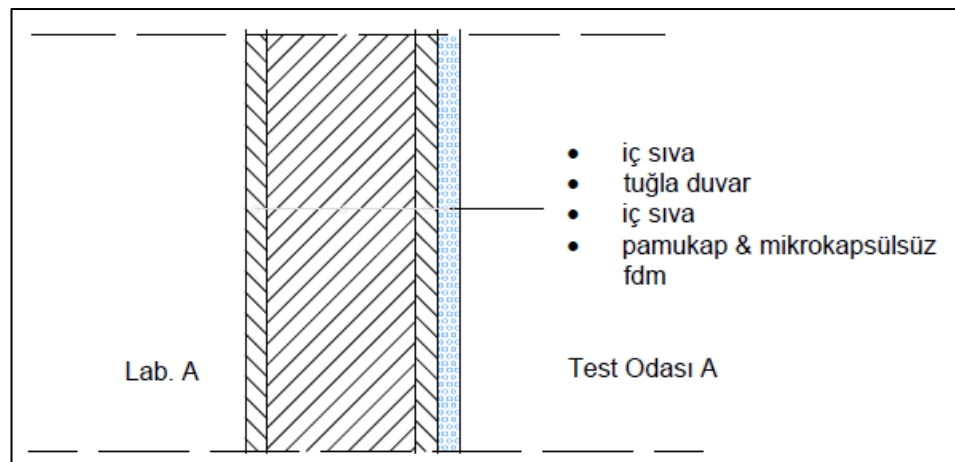
Şekil 3.53 1 nolu duvar



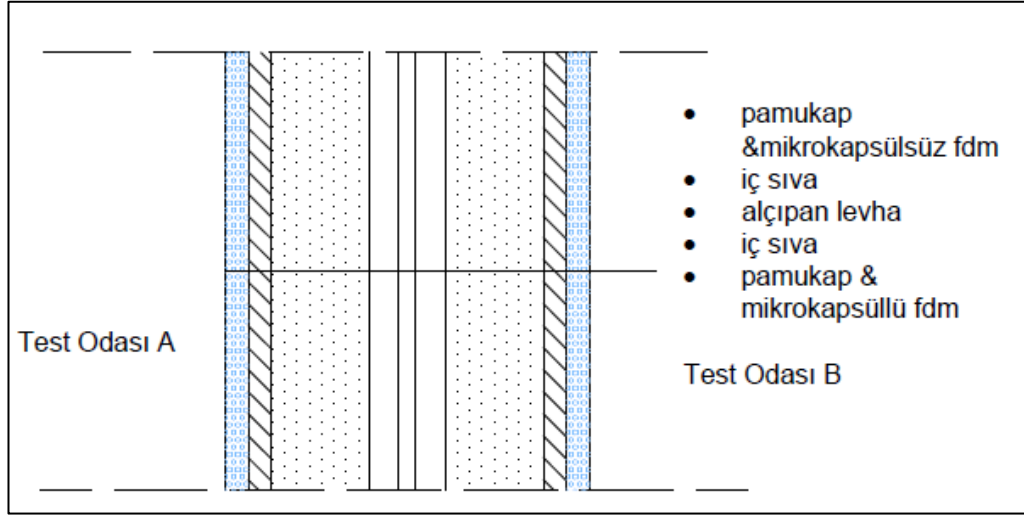
Şekil 3.54 2 nolu duvar



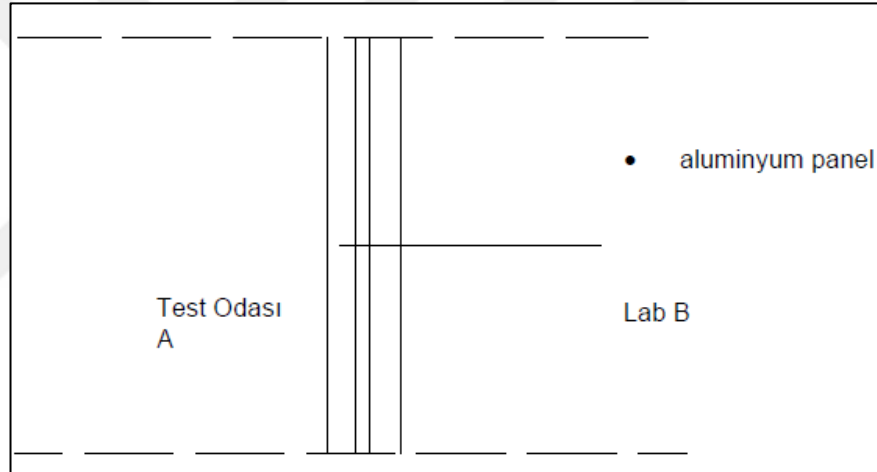
Şekil 3.55 3 nolu duvar



Şekil 3.56 5 nolu duvar



Şekil 3.57 6 nolu duvar



Şekil 3.58 7 nolu duvar

3.7.1 20 -26 Mart 2021 Ölçümleri Isıtıcı Çalıştırarak

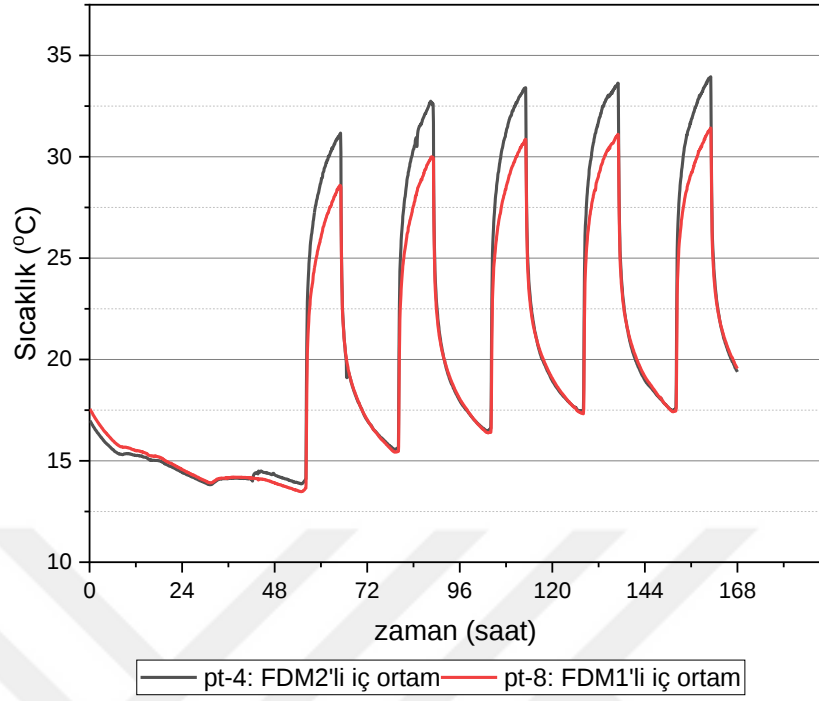
2021 yılı ısıtma sezonu süresince ölçümlerin alındığı deney çalışmasında, değerlendirme yapmak üzere 20-26 Mart tarihleri arasındaki 7 günlük süre referans olarak seçilmiş ve elde edilen sıcaklık verileri Tablo 3.15 ve 3.16'de gösterilmiştir. Ayrıca FDM'nin çalışma prensibini gözlemlemek amacıyla ısıtıcının çalıştırılmadığı günlerin de verileri alınarak iki durumun karşılaştırması yapılmıştır. Tablodaki veriler grafiğe dökülerek iç mekân, dış mekân, FDM'li ve PLS'li duvar yüzeylerinin davranışları yorumlanmıştır.

Tablo 3.15 22- 26 Mart 2021 Sıcaklık 5 günlük sıcaklık ölçümleri (ısıtıcı çalıştırarak)

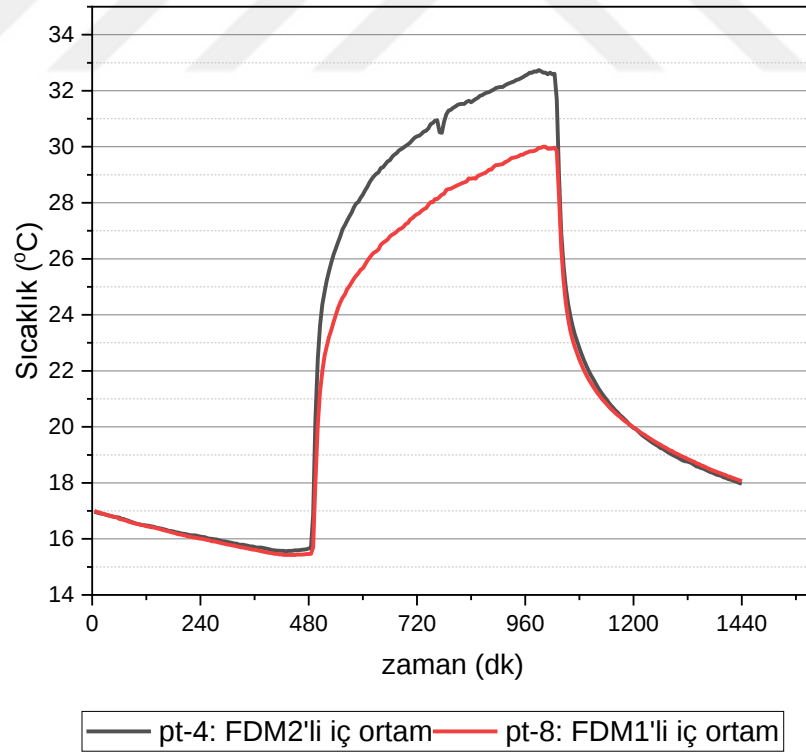
	pt1	pt2	pt-3	pt-4	pt-5	pt-6	pt-7	pt-8	pt-9	pt10
En düşük sıcaklık	13,67	13,74	12,26	13,87	13,49	13,49	11,41	13,48	13,15	11,42
En yüksek Sıcaklık	29,47	31,07	32,27	33,95	28,04	29,92	23,21	31,42	17,68	14,62
Ortalama Sıcaklık	21,24	21,88	21,41	22,99	20,82	21,39	17,59	21,98	15,97	15,22

Tablo 3.16 20-21 Mart 2021 Sıcaklık 2 günlük sıcaklık ölçümleri (ısıtıcı çalıştırmadan)

	pt1	pt2	pt-3	pt-4	pt-5	pt-6	pt-7	pt-8	pt-9	pt10
En düşük sıcaklık	13,79	13,9	12,26	13,9	13,89	13,8	12,16	13,97	12,73	11,58
En yüksek Sıcaklık	17,34	17,28	14,54	16,99	18,13	17,47	13,8	17,56	13,71	11,97
Ortalama Sıcaklık	14,64	14,81	13,32	14,75	14,86	14,76	12,82	14,89	13,11	11,91

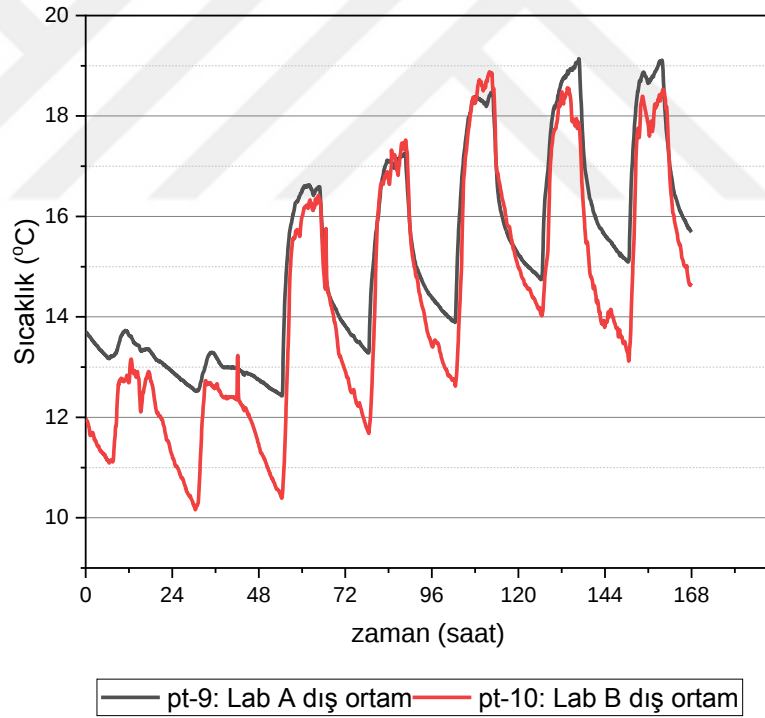


Şekil 3.59 20 -26 Mart 2021 7 günlük sıcaklık ölçümleri (ısıtıcı çalıştırmadan ve ısıtıcı çalıştırarak)

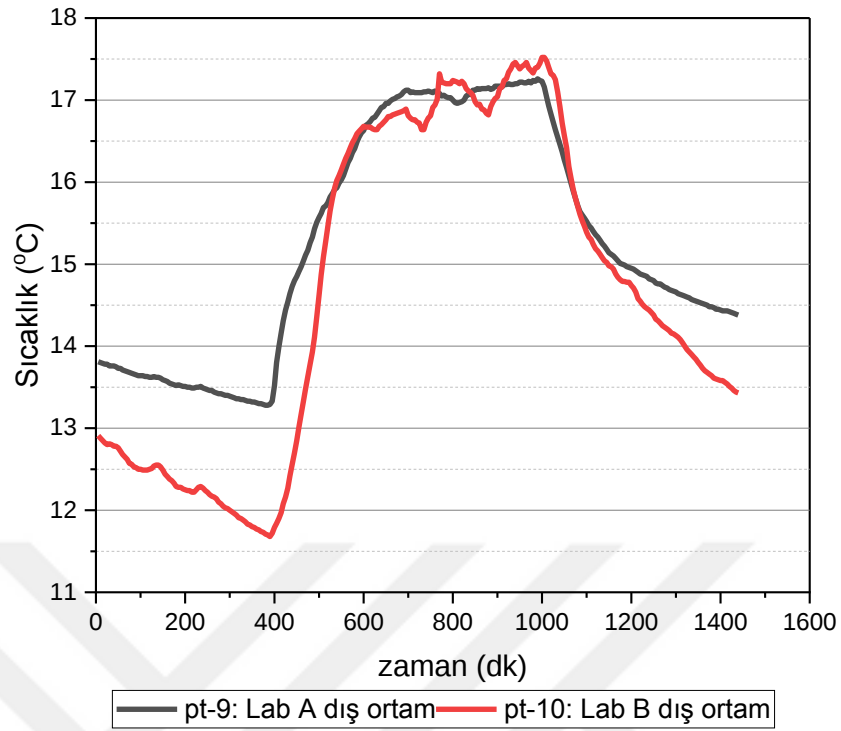


Şekil 3.60 23 Mart 2021 1günlük sıcaklık ölçümleri (ısıtıcı çalıştırmadan ve ısıtıcı çalıştırarak)

20 -26 Mart 2021 tarihlerinde 7 günlük sıcaklık karşılaştırma grafiğinde, 2 gün ısıtıcı çalıştırılmamış, 5 iş günü ısıtıcı çalıştırılmıştır. İç ortam sıcaklıklarına bakıldığında ısıtıcının çalıştırılmadığı 2 günde sıcaklıkların paralel gittiği gözlemlenmiştir (Şekil 3.59). Isıtıcının çalıştırıldığı günlerde ise FDM₂'li iç ortamın FDM₁'li ortama göre 2,53 °C daha sıcak olduğu görülmektedir (3.60). Buna göre mikrokapsülsüz FDM'nin çalışma sıcaklığına ulaştığında ısıyı mekândan daha fazla absorbe ettiği görülmektedir. Isıtıcının çalıştırıldığı günlerde iki ortam arasında ortalama sıcaklık farkı 1 °C'dir. Gece ısıtıcının çalıştırılmadığı saatlerde iki odanın sıcaklığının aynı değerlere düştüğü gözlemlenmektedir. FDM₂'li odanın gece gündüz sıcaklık farkı 20,08 °C, FDM₁'li odanın ise 17,94 °C'dir. Buna göre FDM₁'li oda donma döngüsüne girdiğinde ortama ısı vererek sıcaklığın fazla düşmesine engel olmuştur.

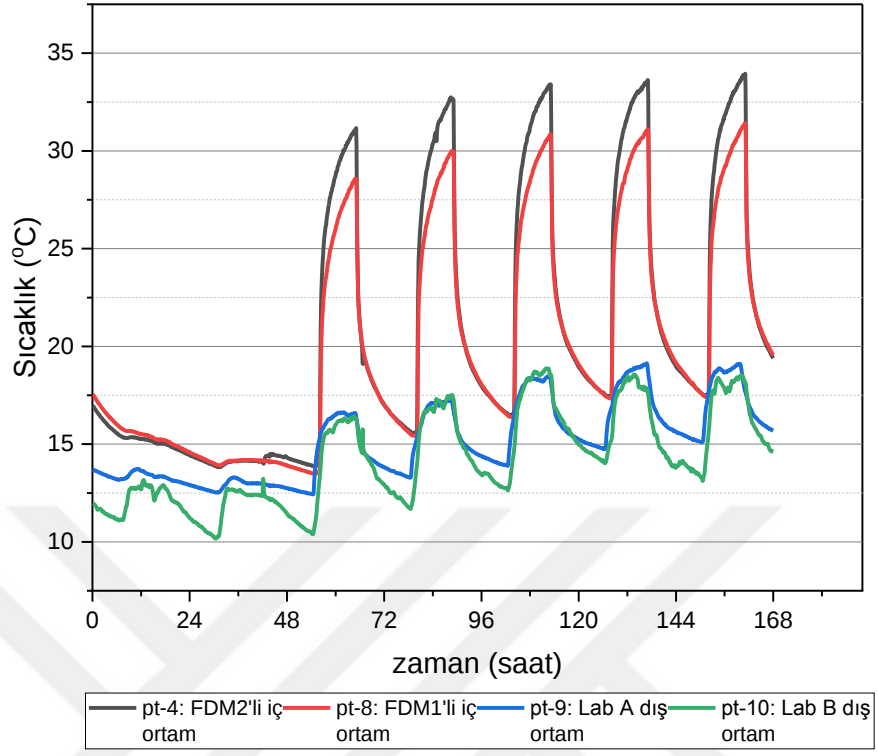


Şekil 3.61 20-26 Mart 2021 7 günlük dış ortam sıcaklık ölçümleri (ısıtıcı çalıştırmadan ve ısıtıcı çalıştırarak)

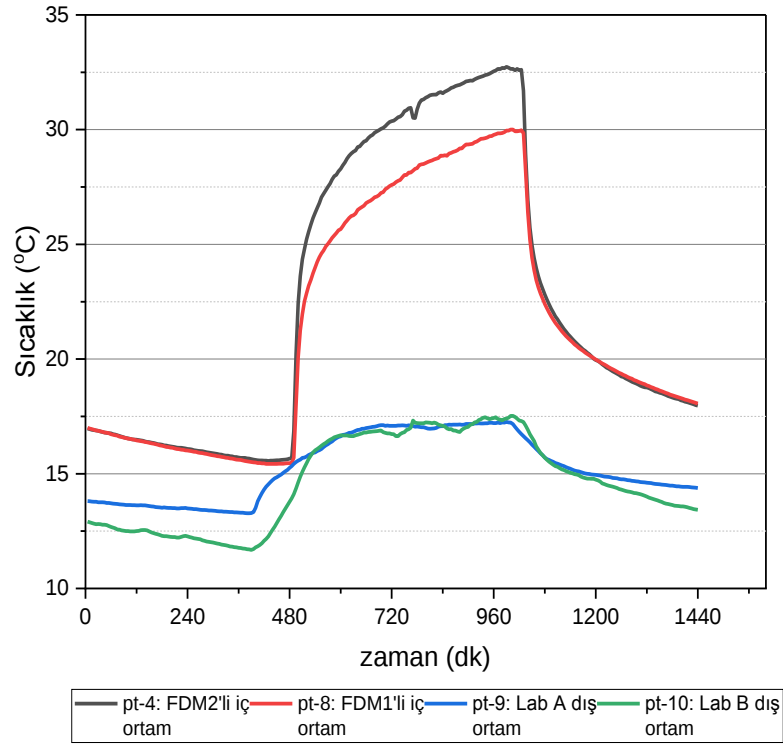


Şekil 3.62 23 Mart 2021 dış ortam 1 günlük sıcaklık ölçümleri (ısıtıcı çalıştırmadan ve ısıtıcı çalıştırarak)

7 günlük dış ortam sıcaklık karşılaştırmasına bakıldığında (Şekil 3.61) Lab. A'nın en yüksek 17,98 °C, en düşük 13,15 °C olduğu, Lab. B'nin ise en yüksek 14,62 °C, en düşük 11,42 °C olduğu görülmektedir (Şekil 3.62). Lab. A'nın ortalama sıcaklığı 15,97 °C, Lab. B'nin ise 15,22 °C'dir.

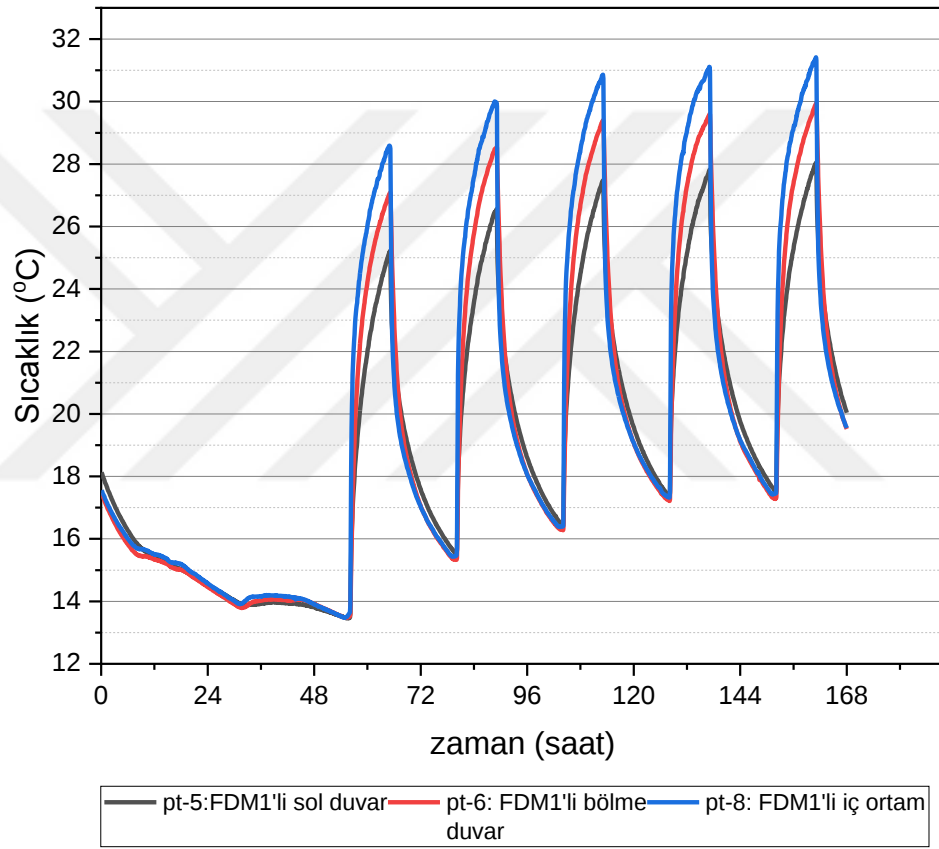


Şekil 3.63 20 -26 Mart 2021 7 günlük iç-dış ortam sıcaklık ölçümleri (ısıtıcı çalıştırmadan ve ısıtıcı çalıştırarak)



Şekil 3.64 23 Mart 2021 iç-dış ortam 1 günlük sıcaklık ölçümleri (ısıtıcı çalıştırarak)

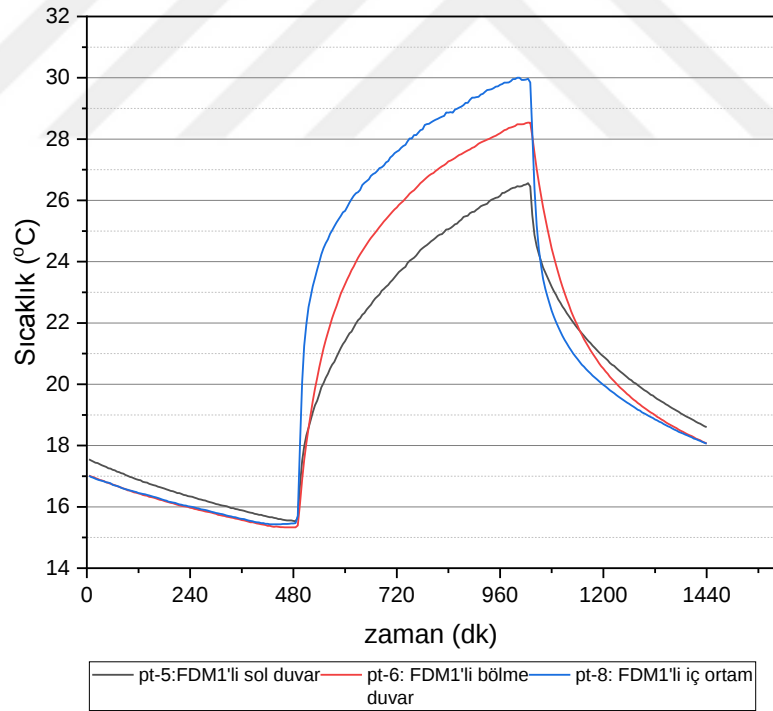
7 günlük iç ortam ve dış ortam sıcaklık karşılaştırmasına bakıldığında (Şekil 3.63) iç-dış ortam sıcaklık eğrilerinde artış ve azalmalar paralel gitmektedir (Şekil 3.64). Isıtıcının çalışmadığı 2 günde iç-dış ortam sıcaklıklarında yaklaşık 1°C fark gözlemlenmekte ve pt4 ile pt8 arasındaki fark ise azalmaktadır. Isıtıcı çalıştırıldığında ise fark yaklaşık 15 °C dolaylarına yaklaşmaktadır. Isıtıcının kapatıldığı gece saatlerinde sıcaklıklara bakıldığında Lab. A'nın 4,53 °C, Lab. B'nin 3,2 °C, FDM₁'li ortamın 14,55 °C, FDM₂'li ortamın ise 20,08 °C düştüğü gözlemlenmektedir.



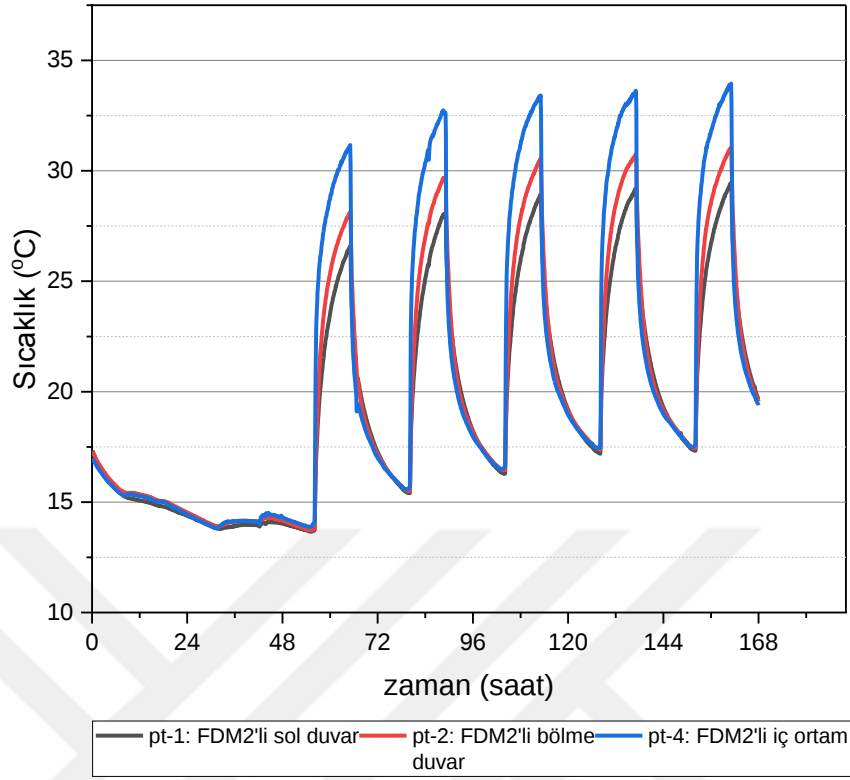
Şekil 3.65 20 -26 Mart 2021 7 günlük FDM₁'li duvarlar ve iç ortam sıcaklık ölçümleri (ısıtıcı çalıştırmadan ve ısıtıcı çalıştırarak)

7 günlük FDM₁'li duvarlar ve iç ortam sıcaklık karşılaştırmasına bakıldığında (Şekil 3.65) FDM₁'li bölme duvarın iç ortam sıcaklığına daha yakın bir değerde seyrettiği görülmektedir. Gece saatlerinde ısıtıcı çalıştırılmadığında ise bütün değerlerin birbirine yaklaştığı, duvarların 13,49 °C, iç ortamın ise 13,48 °C'ye düştüğü gözlemlenmektedir.

Isıtıcının hiç çalıştırılmadığı 2 günde ise iç ortam ve iç duvar sıcaklıklarına bakıldığında, FDM₁'li sol duvarın yaklaşık 0,7 °C daha yüksek sıcaklıkta seyrettiği görülmektedir. FDM₁'li bölme duvar ve iç ortam sıcaklıkları ise birbirine yakın değerlerde olup aralarındaki fark en fazla 0,09 °C'dir. FDM₁'li sol duvarın ortalama sıcaklığı 14,86 °C, bölme duvar 14,76 °C, iç ortam ise 14,89 °C'dir. En yüksek en düşük sıcaklık farkı ise iç ortam için 3,59 °C, sol duvar için 4,24 °C, bölme duvar için ise 3,67 °C'dir. Buna göre iç ortam ve duvarlarda eşit oranda sıcaklık farkı yaşanmış, benzer davranış sergilemişlerdir. Isıtıcının çalıştırıldığı 5 günde ise en yüksek en düşük sıcaklık farkı; iç ortam için 17,94 °C, sol duvar için 14,55 °C, bölme duvar için ise 16,43 °C'dir. Buna göre en fazla sıcaklık düşüşü iç ortamda görülmektedir. FDM'nin erime sıcaklığına ulaştığı vakitlerde FDM₁'li sol duvar, iç ortam ve bölme duvardan daha düşük sıcaklığa ulaşmaktadır. Bu durum bölme duvarın ısı iletkenliğinin yüksek olmasının bir sonucu olarak yorumlanabilir (Şekil 3.66)

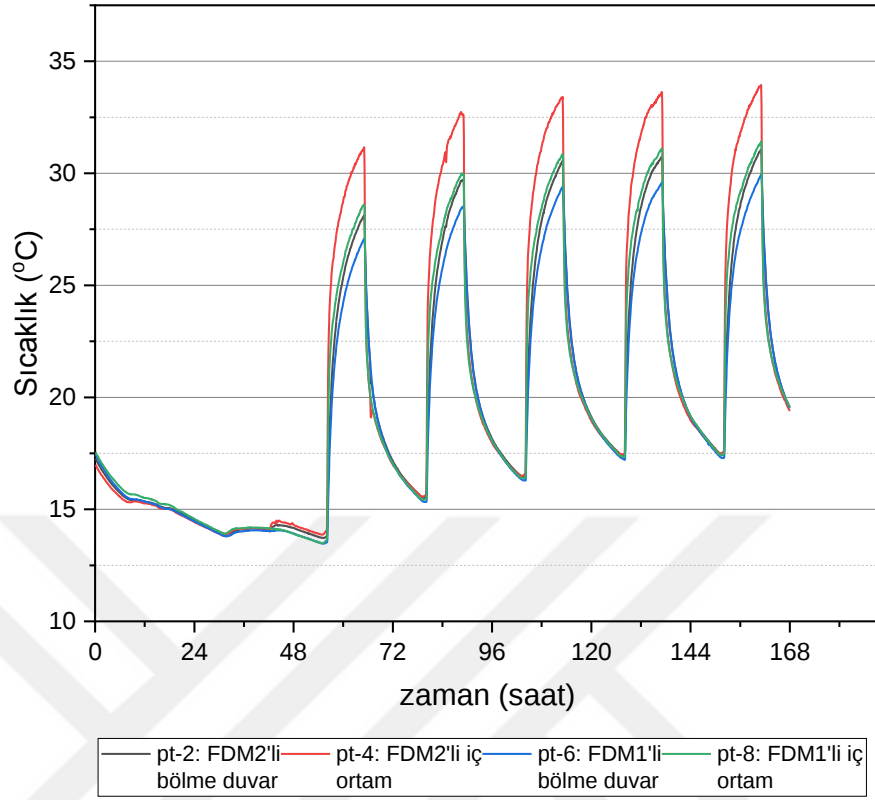


Şekil 3.66 23 Mart 2021, 1 günlük FDM₁'li duvarlar ve iç ortam sıcaklık ölçümleri (ısıtıcı çalıştırarak)



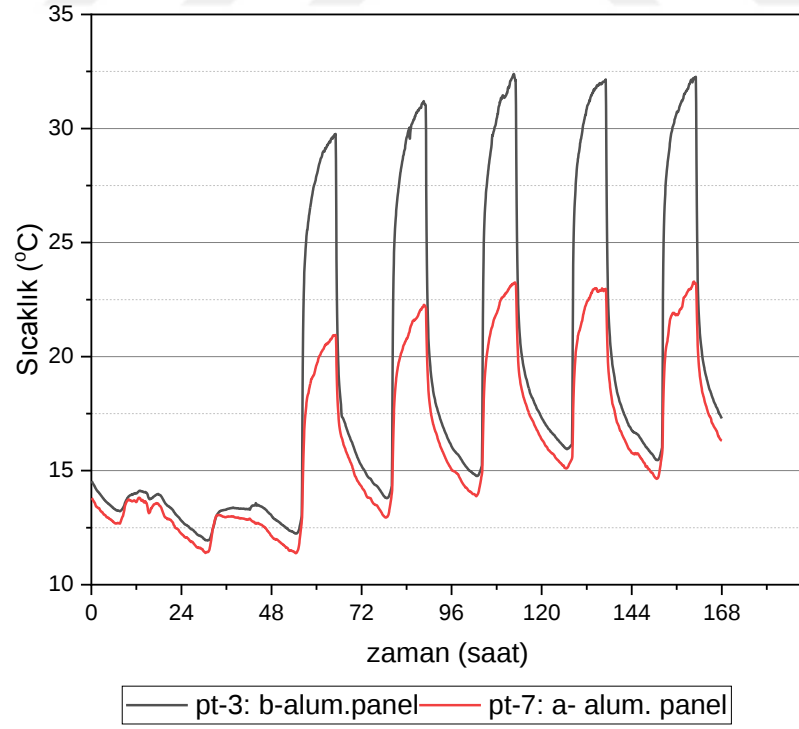
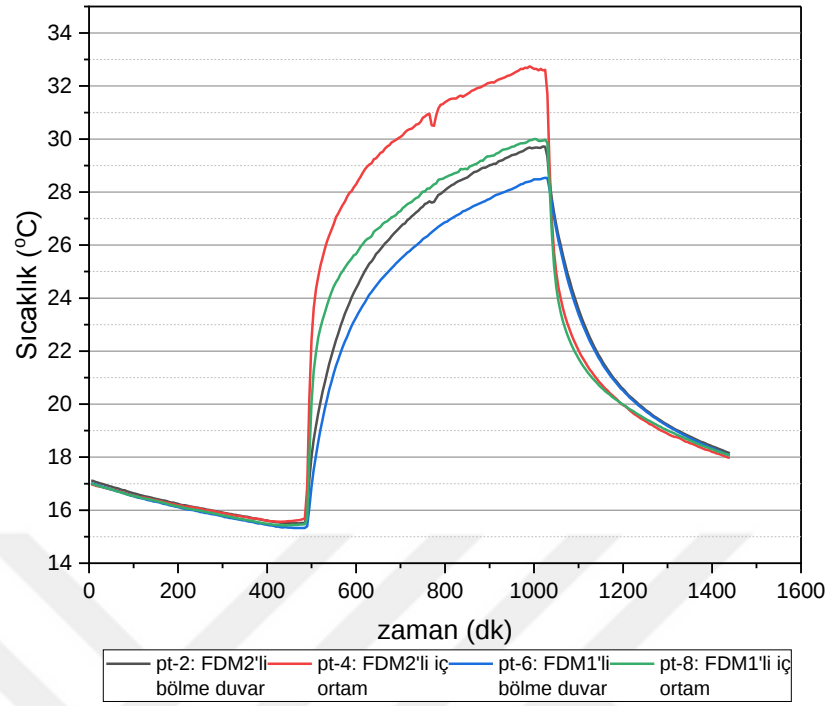
Şekil 3.67 20-26 Mart 2021 7 günlük FDM₂'li duvarlar ve iç ortam sıcaklık ölçümleri (ısıtıcı çalıştırmadan ve ısıtıcı çalıştırarak)

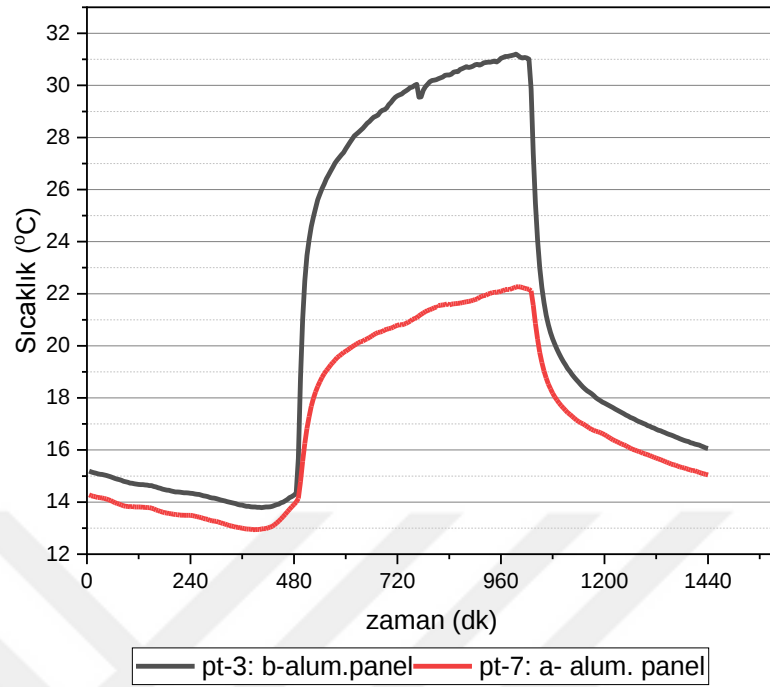
FDM₂'li duvarlar ve iç ortam sıcaklık ölçümleri karşılaştırıldığında (Şekil 3.67), ısıtıcının çalıştırılmadığı 2 gün sürecinde sıcaklık değerleri birbirine yakın görünmektedir. Isıtıcının çalıştırıldığı 5 gün süresince ise FDM₂'li iç ortam sıcaklığı en yüksek 33,95 °C, sol duvar 29,47 °C ve bölme duvar 31,07 °C'ye ulaşmaktadır. En yüksek en düşük sıcaklık farkı; iç ortam için 20,08 °C, sol duvar için 15,8 °C, bölme duvar için ise 17,33 °C'dir.



Şekil 3.68 20 -26 Mart 2021, FDM₁'li ve FDM₂'li bölme duvar ve iç ortam sıcaklık ölçümleri (ısıtıcı çalıştırmadan ve ısıtıcı çalıştırarak)

FDM₁'li ve FDM₂'li bölme duvarlar ile iç ortam sıcaklıkları karşılaştırıldığında (Şekil 3.67), gece saatlerinde ısıtıcı çalıştırılmadığı zaman diliminde iç ortam sıcaklıklarının eşdeğer olduğu görülmektedir (Şekil 3.69). Isıtıcının hiç çalıştırılmadığı 2 gün ile ısıtıcının kapatıldığı gece sıcaklıkları arasında yaklaşık 2°C fark vardır. Bu da ısıtıcının çalıştırıldığı 5 günde FDM'lerin erime donma döngüsüne girmesi ve geceleri donma aşamasında enerji salınımı yaparak her iki odada da ortamın sıcaklığını yükseltmesinden kaynaklanmaktadır. Isıtıcı çalıştırıldığı ve sıcaklığın en yüksek değere ulaştığı saatlerde ise FDM₂'li iç ortam 33,95 °C, FDM₁'li iç ortam 31,42 °C, FDM₂'li bölme duvar 31,07 °C, FDM₁'li bölme duvar ise 29,92 °C olmuştur. Buna göre FDM₁'li iç ortam ve bölme duvar erime noktasına ulaştığında, FDM₂'ye göre daha fazla ortamın enerjisini sönmölemekte ve iç mekân ve bölme duvarın sıcaklığı düşmektedir.





Şekil 3.71 23 Mart 2021, 1 günlük alum. paneller sıcaklık ölçümleri (ısıtıcı çalıştırmadan ve ısıtıcı çalıştırarak)

FDM₁'li ve FDM₂'li oda alüminyum panel sıcaklık karşılaştırmasına bakıldığında (Şekil 3.70), FDM₂'li ortamdaki panelin (pt3), FDM₁'li ortamdaki panele (pt7) göre 9,06 °C kadar sıcaklık farkı olduğu görülmektedir (Şekil 3.71). Herhangi bir sıva uygulaması yapılmayan bu panellerdeki sıcaklık farkının sebebi, FDM₁'li 3 duvarın, FDM₂'li duvarlara göre sıcaklık rejimlerini dengeye getirmek için ortamdan daha fazla radyal olarak ısı koparması ve ısıyı kendine çekmesidir. Böylece FDM₁'li ortamdaki alüminyum panelin sıcaklığı daha fazla düşmektedir. Isıtıcının çalıştırılmadığı gece saatlerinde ise FDM₁'li duvarların ortama ısı vermesi sebebiyle pt7'nin sıcaklığı pt3'e göre artış göstermektedir.

Isıtıcının hiç çalıştırılmadığı 9-12 Şubat tarihlerinde ise iki panel arasındaki sıcaklık farkı 0,06 °C'dir.

3.8 Isıtma Yüğü Hesaplama

TSE 825 Standardına göre yapılan ısıtma yüğü hesaplamalarında ilk olarak test mekânlarının boş hali için ısı kazanç toplamı hesabı yapılmıştır. Ölçümlerin alındığı Mart 2020 ayı için iç ortam dış ortam sıcaklık farkı 10°C'dir. Yapı elemanlarından iletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kazancı toplamı 121,14 W/K'dır (Tablo 3.16). Binadaki birim hacim başına düşen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı ($Q_{yıl}$) 71,68 kWh/m³ olup kullanım alanı başına düşen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı 275,95 kWh/m²_{yıl} 'dır (Tablo 3.17).

Mart 2020 ayında test mekânlarına yapılan PLS'li ve FDM₁P'li uygulamalarda, PLS'li oda için yapı elemanlarından iletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kazancı toplamı 121,14 W/K (Şekil 3.18), FDM₁P'li oda için ise 120,98 W/K (Tablo 3.19) olarak hesaplanmıştır. Mart 2021 ayı için ise FDM₂P'li odanın (Tablo 3.20) yapı elemanlarından iletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kazancı toplamı 120,72 W/K'dır.

Tablo 3.17 Uygulama öncesi deney odalarının ısı kaybı ve kazancı hesabı

Isı kaybeden yüzey	Binadaki yapı elemanları	Yapı elemanı kalınlığı d (m)	Isıl iletkenlik hesap değeri λh (W/m ² *K)	Isıl iletkenlik direnci R (m ² K/W)	Isıl geçirgenlik katsayısı U (W/m ² K)	Isıl kaybedilen yüzey A (m ²)	Isı kaybı A*U (W/K)
Duvar yüzeyleri (düşük sıcaklık, tuğla)	Ri			0,130			
	Sıva	0,02	1	0,020			
	Yatay delikli tuğla	0,19	0,36	0,528			
	Sıva	0,02	1	0,020			
	Re			0,130			
Toplam				0,828	0,604	55,86	33,74
Duvar yüzeyleri (düşük sıcaklık, alüminyum)	Ri			0,130			
	Alüminyum	0,1	4	0,025			
	Re			0,130			
Toplam				0,285	1,754	20,14	35,33
Tavan	Ri			0,130			
	Alçı karton plaka	0,008	0,21	0,038			
	Isı yalıtım malzemesi	0,03	0,03	2,000			
	Betonarme	0,15	2,5	0,060			
	Şap	0,04	1,4	0,029			
	Mozaik	0,008	3,5	0,002			
	Re			0,040			

Tablo 3.17 devamı

Toplam				2,299	0,435	23,70	10,31
Taban (toprak teması)	Ri			0,170			
	Sert odun lifli levha	0,008	0,13	0,062			
	Çimento harcı	0,04	1,4	0,029			
	Hafif beton	0,1	1,1	0,091			
	Re			0,000			
Toplam				0,351	1,424	23,70	33,76
İç kapı					2,000	4,00	8,00
Yapı elemanlarından iletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kazancı toplamı							121,14

Tablo 3.18 Deney odalarının 1 yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı

Aylar	Özgül ısı kaybı	Sıcaklık farkı	Isı kayıpları	İç ısı kazancı	Güneş enerjisi kazancı	Toplam	Kazanç Kullanım Oranı	Kazanç kullanım faktörü	Isıtma enerjisi ihtiyacı
	H=HT+Hv (W/K)	(θi-θe) °C	H(θi-θe) (W)	ϕi (W)	ϕs (W)	ϕT=ϕi+ϕs (W)	γ	ηay	Qay (kJ)
Ocak	142,53	10	1425,27	0	0,00	0,00	0,0000	0,0000	3817449,34
Şubat		10	1425,27		0,00	0,00	0,0000	0,0000	3448018,76
Mart		10	1425,27		0,00	0,00	0,0000	0,0000	3817449,34
Nisan		10	1425,27		0,00	0,00	0,0000	0,0000	3694305,82
Mayıs		0	0,00		0,00	0,00	0,0000	0,0000	0,00
Haziran		0	0,00		0,00	0,00	0,0000	0,0000	0,00
Temmuz		0	0,00		0,00	0,00	0,0000	0,0000	0,00
Ağustos		0	0,00		0,00	0,00	0,0000	0,0000	0,00
Eylül		0	0,00		0,00	0,00	0,0000	0,0000	0,00
Ekim		10	1425,27		0,00	0,00	0,0000	0,0000	3817449,34
Kasım		10	1425,27		0,00	0,00	0,0000	0,0000	3694305,82
Aralık		10	1425,27		0,00	0,00	0,0000	0,0000	3817449,34
								Qyıl (kJ)	26106427,77
								Qyıl (kWh)	7257,59

Binadaki birim hacim başına düşen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı:

$$Q_{yıl} = 71,68 \text{ kWh/m}^3 \quad (3.1)$$

Kullanım alanı başına düşen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı

$$Q_{yıl} = 275,95 \text{ kWh/m}^2\text{yıl} \quad (3.2)$$

$$Q_{ay} = 23 \text{ (kWh/m}^2\text{ay)} \quad (3.3)$$

$$Q_{gün} = 0,77 \text{ (kWh/m}^2\text{gün)} \quad (3.4)$$

$$Q_{saat} = 0,03 \text{ (kWh)} \quad (3.5)$$

Tablo 3.19. PLS'li deney odasının ısı kaybı ve kazancı hesabı

Isı kaybeden yüzey	Binadaki yapı elemanları	Yapı elemanı kalınlığı d (m)	Isıl iletkenlik hesap değeri λh (W/m*K)	Isıl iletkenlik direnci R (m ² K/W)	Isıl geçirgenlik katsayısı U (W/m ² K)	Isıl kaybedilen yüzey A (m ²)	Isı kaybı A*U (W/K)
Duvar yüzeyleri (düşük sıcaklık, tuğla)	Ri			0,130			
	PLS	0,002	0,078	0,026			
	Sıva	0,02	1	0,020			
	Yatay delikli tuğla	0,19	0,36	0,528			
	Sıva	0,02	1	0,020			
	Re			0,130			

Tablo 3.19 devamı

Toplam				0,854	0,586	55,86	32,71
Duvar yüzeyleri (düşük sıcaklık, alüminyum)	Ri			0,130			
	Alüminyum	0,1	4	0,025			
	Re			0,130			
Toplam				0,285	1,754	20,14	35,33
Tavan	Ri			0,130			
	Alçı karton plaka	0,008	0,21	0,038			
	Isı yalıtım malzemesi	0,03	0,03	2,000			
	Betonarme	0,15	2,5	0,060			
	Şap	0,04	1,4	0,029			
	Mozaik	0,008	3,5	0,002			
	Re			0,040			
Toplam				2,299	0,435	23,70	10,31
Taban (toprak teması)	Ri			0,170			
	Sert odun lifli levha	0,008	0,13	0,062			
	Çimento harcı	0,04	1,4	0,029			
	Hafif beton	0,1	1,1	0,091			
	Re			0,000			
Toplam				0,351	1,424	23,70	33,76
İç kapı					2,000	4,00	8,00
Yapı elemanlarından iletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kazancı toplamı							120,11

Tablo 3.20 FDM₁-P'li deney odasının ısı kaybı ve kazancı hesabı

Isı kaybeden yüzey	Binadaki yapı elemanları	Yapı elemanı kalınlığı d (m)	Isıl iletkenlik hesap değeri λh (W/m ² *K)	Isıl iletkenlik direnci R (m ² K/W)	Isıl geçirgenlik katsayısı U (W/m ² K)	Isıl kaybedilen yüzey A (m ²)	Isı kaybı A*U (W/K)
Duvar yüzeyleri (düşük sıcaklık, tuğla)	Ri			0,130			
	PLS+FDM ₁	0,002	0,5	0,004			
	Sıva	0,02	1	0,020			
	Yatay delikli tuğla	0,19	0,36	0,528			
	Sıva	0,02	1	0,020			
	Re			0,130			
Toplam				0,832	0,601	55,86	33,58
Duvar yüzeyleri (düşük sıcaklık, alüminyum)	Ri			0,130			
	Alüminyum	0,1	4	0,025			
	Re			0,130			
Toplam				0,285	1,754	20,14	35,33
Tavan	Ri			0,130			
	Alçı karton plaka	0,008	0,21	0,038			
	Isı yalıtım malzemesi	0,03	0,03	2,000			
	Betonarme	0,15	2,5	0,060			
	Şap	0,04	1,4	0,029			
	Mozaik	0,008	3,5	0,002			
	Re			0,040			

Tablo 3.20 devamı

Toplam				2,299	0,435	23,70	10,31
Taban (toprak teması)	Ri			0,170			
	Sert odun lifli levha	0,008	0,13	0,062			
	Çimento harcı	0,04	1,4	0,029			
	Hafif beton	0,1	1,1	0,091			
	Re			0,000			
Toplam				0,351	1,424	23,70	33,76
İç kapı					2,000	4,00	8,00
Yapı elemanlarından iletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kazancı toplamı							120,98

Tablo 3.21 FDM₂-P'li deney odasının ısı kaybı kazancı hesabı

Isı kaybeden yüzey	Binadaki yapı elemanları	Yapı elemanı kalınlığı d (m)	Isıl iletkenlik hesap değeri λh (W/m ² *K)	Isıl iletkenlik direnci R (m ² K/W)	Isıl geçirgenlik katsayısı U (W/m ² K)	Isıl kaybedilen yüzey A (m ²)	Isı kaybı A*U (W/K)
Duvar yüzeyleri (düşük sıcaklık, tuğla)	Ri			0,130			
	PLS+FDM ₂	0,002	0,19	0,011			
	Sıva	0,02	1	0,020			
	Yatay delikli tuğla	0,19	0,36	0,528			
	Sıva	0,02	1	0,020			
	Re			0,130			
Toplam				0,838	0,596	55,86	33,32
Duvar yüzeyleri (düşük sıcaklık, alüminyum)	Ri			0,130			
	Alüminyum	0,1	4	0,025			
	Re			0,130			
Toplam				0,285	1,754	20,14	35,33
Tavan	Ri			0,130			
	Alçı karton plaka	0,008	0,21	0,038			
	Isı yalıtım malzemesi	0,03	0,03	2,000			
	Betonarme	0,15	2,5	0,060			
	Şap	0,04	1,4	0,029			
	Mozaik	0,008	3,5	0,002			
	Re			0,040			

Tablo 3.21 devamı

Toplam				2,299	0,435	23,70	10,31
Taban (toprak temaslı)	Ri			0,170			
	Sert odun lifli levha	0,008	0,13	0,062			
	Çimento harcı	0,04	1,4	0,029			
	Hafif beton	0,1	1,1	0,091			
	Re			0,000			
Toplam				0,351	1,424	23,70	33,76
İç kapı					2,000	4,00	8,00
Yapı elemanlarından iletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kazancı toplamı							120,72

3.9 Enerji İhtiyacı ve Üretimi Hesabı

TSE 825 standartları baz alınarak yapılan hesaplamalara göre, ısıtma periyodu içerisinde Mart ayı seçilmiş ve bu ay içerisinde ihtiyaç duyulan ısıtma gücü hesaplanmıştır. Uygulama öncesi test odasının 1 saatlik enerji ihtiyacı 0,142 kW'tır. Test odasına PLS uygulandıktan sonra hesaplanan 1 saatlik enerji ihtiyacı 0,141 kW'tır. Duvara FDM₁-P ve FDM₂-P uygulandıktan sonraki enerji ihtiyaçları ise eşdeğer oranda olup, hesaplanan değer 0,142 kW'tır.

$$Q_{\text{mart}} = \text{kWh} / 744 \quad (3.6)$$

$$1 \text{ kJ} = 0,278 \cdot 10^{-4} \text{ kWh} \quad (3.7)$$

- Mart ayı, uygulama öncesi test odasının 1 saatlik enerji ihtiyacı:

$$1 \text{ aylık ısıtma ihtiyacı} = 3817449,34 \text{ kJ} \quad (3.8)$$

$$3817449,34 \text{ kJ} \cdot 0,278 \cdot 10^{-4} = 106,125 \text{ kWh} \quad (3.9)$$

$$Q_{\text{mart}} = 106,125 \text{ kWh} / 744 = 0,142 \text{ kW} \quad (3.10)$$

- Mart ayı, PLS'li test odasının 1 saatlik enerji ihtiyacı:

$$1 \text{ aylık ısıtma ihtiyacı} = 3789928,54 \text{ kJ} \quad (3.11)$$

$$3789928,54 \text{ kJ} \cdot 0,278 \cdot 10^{-4} = 105,36 \text{ kWh} \quad (3.12)$$

$$Q_{\text{mart}} = 105,36 \text{ kWh} / 744 = 0,141 \text{ kW} \quad (3.13)$$

- Mart ayı, FDM₁-P'li duvar yüzeyinin 1 saatlik enerji ihtiyacı:

$$1 \text{ aylık ısıtma ihtiyacı} = 3813103,39 \text{ kJ} \quad (3.14)$$

$$3813103,39 \text{ kJ} \cdot 0,278 \cdot 10^{-4} = 106,004 \text{ kWh} \quad (3.15)$$

$$Q_{\text{mart}} = 106,004 \text{ kWh} / 744 = 0,142 \text{ kW} \quad (3.16)$$

- Mart ayı, FDM₂-P’li duvar yüzeyinin 1 saatlik enerji ihtiyacı:

$$1 \text{ aylık ısıtma ihtiyacı}=3806101,65 \text{ kJ} \quad (3.17)$$

$$3806101,65 \text{ kJ} \cdot 0,278 \cdot 10^{-4}=105,8 \text{ kWh} \quad (3.18)$$

$$Q_{\text{mart}}=105,8 \text{ kWh} / 744=0,142 \text{ kW} \quad (3.19)$$

Mart ayı süresince ne kadar enerji depolandığını hesaplamak için ise aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır. Bu hesaplamayla uygulanan malzemelerin birim zamanda, birim alanda, birim sıcaklık farkı için depolayabileceği enerji miktarı bulunmuştur. Bir sistemin ihtiyaç duyduğu enerjinin eşit oranında ($Q_{\text{üretim}}=Q_{\text{ihtiyaç}}$) üretilmesi gerekmektedir. Bu sistemde enerji üretimi FDM malzemesinin depoladığı enerji ile yapılmaktadır.

$$Q_{\text{üretim}}=\rho \cdot C \cdot V \cdot \Delta T \quad (3.20)$$

Bu eşitliklerde;

ρ : Yoğunluk (kg/m^3)

C: Özgül ısı (J/kgK)

V (Hacim), (m^3) = A (duvar yüzey alanı) * d (sıva kalınlığı)

ΔT : İç mekân- iç yüzey sıcaklık farkı

$$\text{Fark}=Q_{\text{üretim}} - Q_{\text{mart}} \quad (3.21)$$

$Q_{\text{üretim}} > Q_{\text{mart}}$ ise yeterli

$Q_{\text{üretim}} < Q_{\text{mart}}$ ise yetersiz

Yapılan hesaplamalara göre PLS’li oda için 1 saatlik depolanan enerji miktarı $Q_{\text{üretim}}=0,246 \text{ kWh}$ olup ihtiyaç duyulan enerji ile arasındaki fark $0,105 \text{ kWh}$ ’tır. Buna göre sistem ürettiği enerji ile Mart ayı içerisinde ihtiyaç duyulan enerji miktarını karşılamaktadır.

PLS’li oda için;

$$A_{\text{duvar}}: 31,14 \text{ m}^2$$

$$\rho_{\text{siva}}: 1200 \text{ kg/m}^3$$

$$C_{\text{siva}}: 1008 \text{ j/kgK}$$

$$V_{\text{duvar}}: 31,14 \times 0,02 = 0,62 \text{ m}^3$$

$$P_{\text{PLS}}: 284,2 \text{ kg/m}^3$$

$$C_{\text{PLS}}: 1300 \text{ j/kgK}$$

$$V_{\text{PLS}}: 31,14 \times 0,002 = 0,062 \text{ m}^3$$

$$\text{Duvar yüzeyinin Mart ayı ortalama sıcaklığı: } 22,15^\circ\text{C}$$

$$\text{İç ortam Mart ayı ortalama sıcaklığı: } 23,3^\circ\text{C}$$

$$\Delta T: 23,3 - 22,15 = 1,15^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{üretim}} = Q_{\text{siva}} + Q_{\text{PLS}} \quad (3.22)$$

$$[(1200 \times 1008 \times 0,62) + (284,2 \times 1300 \times 0,062)] \times 1,15 = 888787,298 \text{ J} \quad (3.23)$$

$$Q_{\text{saat}} = 888787,298 / 3600 = 246,88 \text{ Wh} = 0,246 \text{ kWh} \quad (3.24)$$

$$Q_{\text{gün}} = 246,88 \times 24 = 5925,24 \text{ Wh/gün} = 5,92 \text{ kWh/gün} \quad (3.25)$$

$$Q_{\text{ay}} = 5925,24 \times 31 = 183682,7 \text{ Wh/ay} = 183 \text{ kWh/ay} \quad (3.26)$$

$$\text{Fark: } 0,246 - 0,141 = 0,105 \text{ kWh} \quad (3.27)$$

$$Q_{\text{üretim}} > Q_{\text{mart}} \quad (3.28)$$

FDM₁-P'li oda için; 1 saatlik depolanan enerji miktarı $Q_{\text{üretim}}=0,248$ kWh olup ihtiyaç duyulan enerji ile arasındaki fark 0,106 kW'tır. Sistemin ürettiği enerji ise, Mart ayı içerisinde ihtiyaç duyulan enerji miktarını karşılamaktadır.

FDM₁-P'li oda için;

$$A_{\text{duvar}}: 31,14 \text{ m}^2$$

$$\rho_{\text{siva}}: 1200 \text{ kg/m}^3$$

$$C_{\text{siva}}: 1008 \text{ j/kgK}$$

$$V_{\text{duvar}}: 31,14 \times 0,02 = 0,62 \text{ m}^3$$

$$\rho_{\text{PLS}}: 284,2 \text{ kg/m}^3$$

$$C_{\text{PLS}}: 1300 \text{ j/kgK}$$

$$V_{\text{PLS}}: 0,060 \text{ m}^3$$

$$\rho_{\text{FDM1}}: 1500 \text{ kg/m}^3$$

$$C_{\text{FDM1}}: 2000 \text{ j/kgK}$$

$$V_{\text{FDM1}}: 0,002 \text{ m}^3$$

Duvar yüzeyinin Mart ayı ortalama sıcaklığı: 22,2 °C

İç ortam Mart ayı ortalama sıcaklığı: 23,4 °C

$$\Delta T: 23,3 - 22,15 = 1,2^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{üretim}} = Q_{\text{siva}} + Q_{\text{PLS}} + Q_{\text{FDM1}} \quad (3.29)$$

$$[(1200 \times 1008 \times 0,62) + (284,2 \times 1300 \times 0,060) + (1500 \times 2000 \times 0,002)] \times 1,15 = 894837,54 \text{ J} \quad (3.30)$$

$$Q_{\text{saat}} = 894837,54 / 3600 = 248,56 = 0,248 \text{ kWh} \quad (3.31)$$

$$Q_{\text{gün}} = 246,88 \times 24 = 5965,58 = 5,96 \text{ kWh/gün} \quad (3.32)$$

$$Q_{\text{ay}} = 5925,24 \times 31 = 184933,09 = 184 \text{ kWh/ay} \quad (3.33)$$

$$\text{Fark: } 0,248 - 0,142 = 0,106 \text{ kWh} \quad (3.34)$$

$$Q_{\text{üretim}} > Q_{\text{mart}} \quad (3.35)$$

FDM₂-P'li oda için; 1 saatlik depolanan enerji miktarı $Q_{\text{üretim}} = 0,214 \text{ kWh}$ olup ihtiyaç duyulan enerji ile arasındaki fark $0,72 \text{ kWh}$ 'tır. Ancak FDM₂'nin ürettiği enerji FDM₁'e göre daha düşüktür.

FDM₂-P'li oda için;

$$A_{\text{duvar}}: 31,14 \text{ m}^2$$

$$\rho_{\text{siva}}: 1200 \text{ kg/m}^3$$

$$C_{\text{siva}}: 1008 \text{ J/kgK}$$

$$V_{\text{duvar}}: 31,14 \times 0,02 = 0,62 \text{ m}^3$$

$$\rho_{\text{PLS}}: 284,2 \text{ kg/m}^3$$

$$C_{\text{PLS}}: 1300 \text{ J/kgK}$$

$$V_{\text{PLS}}: 0,057 \text{ m}^3$$

$$\rho_{\text{FDM2}}: 971 \text{ kg/m}^3$$

$$C_{\text{FDM2}}: 666,6 \text{ J/kgK}$$

$$V_{\text{FDM2}}: 0,0045 \text{ m}^3$$

Duvar yüzeyinin Mart ayı ortalama sıcaklığı: $19,54^\circ\text{C}$

İç ortam Mart ayı ortalama sıcaklığı: 20,88°C

$\Delta T: 20,88-19,54= 1,34^{\circ}\text{C}$

$$Q_{\text{üretim}}= Q_{\text{sıva}} + Q_{\text{PLS}}+ Q_{\text{FDM2}} \quad (3.36)$$

$$[(1200 \times 1008 \times 0,62) + (284,2 \times 1300 \times 0,057) + (971 \times 666,6 \times 0,0045)] \times 1,15 = 773923,92 \text{ J} \quad (3.37)$$

$$Q_{\text{saat}} = 773923,92 / 3600 = 214,97 \text{ Wh} = 0,214 \text{ kWh} \quad (3.38)$$

$$Q_{\text{gün}} = 214,97 \times 24 = 5159,49 \text{ Wh/gün} = 5,15 \text{ kWh/gün} \quad (3.39)$$

$$Q_{\text{ay}} = 5159,49 \times 31 = 159944,27 \text{ kWh/ay} = 159 \text{ kWh/ay} \quad (3.40)$$

$$\text{Fark: } 0,214 - 0,142 = 0,72 \text{ kWh} \quad (3.41)$$

$$Q_{\text{üretim}} > Q_{\text{mart}} \quad (3.42)$$

BÖLÜM DÖRT

TARTIŞMA VE SONUÇ

Literatür çalışmalarından elde edilen verilere göre duvar yüzeyinde uygulama yapmak üzere FDM olarak parafinin kullanılması daha uygundur.

PLS içerisine eklenebilecek optimum FDM oranı %25 olarak saptanmıştır. Daha düşük oranlarda FDM etkinliğini göstermemekte, daha yüksek oranlarda ise PLS'nin bağlayıcılığı bozulmaktadır.

Analizlerde FDM-P'lerin gizli ısı değerlerinin çok düşük çıkmasının sebebi DSC ölçümlerinde PLS'ye kütleli olarak %25 oranında karıştırılan FDM'nin gizli ısı değeri etkisinin çok nispi kalması olarak düşünülebilir. Bu sebeple bu değer gizli ısıdan çok malzemenin efektif özgül ısısına karşılık gelen bir değer gibi de yorumlanabilir.

Kuru PLS'nin bünyesinde kütleli olarak %8 oranında nem barındırdığı gözlenmiş ve hazırlanan karışımlarda bu oran eklenen su miktarından düşürülmüştür.

Karışım hazırlanırken FDM'lerin önce su ile karıştırılması daha sonra PLS'nin eklenmesi homojenliği artırmaktadır. Aksi takdirde PLS'de topaklanmalar olmakta ve uygulama aşamasında püskürtme tabancası tıkanmaktadır.

Mikrokapsülsüz FDM'nin erirken içerisinde bulunduğu malzemeye bulaşması ve yayılması daha olasıdır. Mikrokapsülde FDM'nin etrafındaki kabuktan ötürü bir ısı bariyer oluşmaktadır. Dolayısıyla biriktirdiği enerjinin tamamını ısı olarak ortama yayamamaktadır.

Mikrokapsülsüz FDM eridiğinde sıvılaşabilmekte ve bölgesel, lokal değişikliklere sebep olabilmektedir. Ancak biriktirdiği enerjiyi daha hızlı ortama yayabilmektedir.

PLS mikrokapsülsüz FDM'yi emerek içerisinde hapsedtiği için akma durumu olmamaktadır. Yapı malzemelerinde mikrokapsüllü FDM kullanmak daha verimli

sonuç vermesine karşın; kumaş, pamuk ve benzeri malzemelerde mikrokapsülsüz FDM kullanmak daha uygundur. FDM₁ PLS yerine beton sıva içerisinde kullanılsaydı, malzeme çalışmayabilirdi veya erime döngüsünde sıvılaşp dışarı akabilirdi.

Bu çalışmada deney odaları kapalı bir hacmin içerisinde olduğu için FDM'lerin erime noktalarına ulaşabilmeleri için ısıtıcılar konvektif olarak odaları ısıtmaktadır. Böyle bir sistemde ısıtıcılar önce iç mekânı, daha sonra duvar yüzeylerini ısıtmaktadır. Bu sebeple FDM'lerin erime sürecine ulaşması zaman almakta ve beklenen etkinlik düzeyine ulaşamamaktadır.

FDM₁'li ve PLS'li oda sıcaklık karşılaştırması yapıldığında ısıtıcıların çalıştırıldığı saatlerde iç mekân sıcaklık farkı 1,7 °C iken ısıtıcı çalıştırılmadığında sıcaklık farkı 0,5°C'dir. Buna göre FDM₁'li oda ısıtıcı çalıştığında erime sürecine geçmekte ve odanın enerjisini sönmlemektedir. Bu sebeple de FDM₁'li oda daha düşük sıcaklıkta seyretmektedir.

Dış ortam sıcaklıklarındaki ani düşüş ve artışlar, kullanıcıların mekâna etkisinden kaynaklanmaktadır.

Isıtıcının çalıştırılmadığı günlerde dış ortam sıcaklıklarındaki keskin iniş çıkış değerlerine kıyasla, FDM'li ve FDM'siz odalarda sıcaklıklar 10,14- 10,99 °C arasında seyretmektedir. Bu durum FDM'nin çalışma sıcaklığının altında kalması sebebiyle erime donma sürecine girememesini, dış ortamla iç ortam sıcaklık farkının sebebinin de PLS'nin yalıtım özelliğinden kaynaklandığını göstermektedir. İki oda arasındaki sıcaklık farkı en fazla 0,7 °C'dir.

Deneyin uygulanma koşullarına rağmen FDM'nin çalıştığının en önemli kanıtlarından biri FDM'li odanın diğerine göre daha düşük olması yani erime sürecinde ortamdaki ısı koparmasıdır.

Deneylerin yapıldığı ısıtma sezonunda ihtiyaç duyulan enerji miktarı ile üretilen enerji miktarı arasında PLS'li oda 0,105 kWh, FDM₁'li oda 0,106 kWh ve FDM₂'li

oda 0,72 kWh fark vardır. Buna göre sistem ürettiği enerji ile Mart ayı içerisinde ihtiyaç duyulan enerji miktarını karşılamaktadır.



BÖLÜM BEŞ

ÖNERİLER

Deneyler güneş gören bir ortamda yapıldığı takdirde malzemenin verimliliğini daha belirgin gözlemlemek mümkün olacaktır. Buna göre güneş etkisi altında önce duvarlar ısınacak daha sonra iç ortam ısınacaktır. FDM daha kısa sürede erime noktasına ulaşacaktır.

Bu çalışmada karşılaştırma yapmak amacıyla her iki FDM’li karışım için eşdeğer kütleli oran kullanılmıştır. Sonraki yapılacak çalışmalarda mikrokapsüllü FDM’nin farklı oranlarının da denenmesi önerilebilir.

Ortamdaki nemin pamuklu lifli sıvaya etkisini gözlemlemek amacıyla sıcaklık nem ölçer ile ölçüm yapmak, iç ortam konforu hakkında daha fazla bilgi edinmek için yararlı olacaktır.

İç ortamda fanlı ısıtıcı yerine infrared ısıtıcı kullanılması, kızılötesi ışınlar yayarak ısı vermesi, doğrudan baktığı noktadaki ısıya temas ettiği yere ısınıp yansıtması sebebiyle tercih edilebilir. Böylece önce duvarların ısınması ve FDM’lerin erime döngüsüne geçmesi sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- Abhat, A. (1983). Low temperature latent heat thermal energy storage: heat storage materials. *Solar Energy*, 4, 313-331.
- Addington, D. M., ve Schodek, D. (2005). *Smart materials and new technologies for the architecture and design professions*. Oxford: Elsevier.
- Baetens, R., Jelle, B.P., ve Gustavsen, A. (2010). Phase change materials for building applications: A state-of-the-art review. *Energy Building*. 42, 1361-1368.
- Banu, D., Feldman, D., Haghighat, F., Paris, J., ve Hawes, D. (1998). Energy storing wallboard: flammability tests. *Journal of Materials and Civil Engineering*, 10, 98-105.
- Berthou, Y., Biwole, P., Achard, P., Sallée, H., Tantot-Neirac, M., Jay, F. (2015). Full scale experimentation on a new translucent passive solar wall combining silica aerogels and phase change materials. *Solar Energy*, 115, 733-742.
- Bordeau L. E. (1980). Study of two passive solar systems containing phase-change material for thermal storage. *Proceedings of the 5th National Passive Solar Conference*. 5 (1), 760-772
- Cabeza, L. A., Castell, C., Barreneche, A., ve Fernández, A. I. (2011). Materials used as PCM in thermal energy storage in buildings: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (3), 1675-1695.
- Casini, M. (2014). Smart materials and nanotechnology for energy retrofit of historic buildings. *Journal Of Advances In Civil, Structural and Construction Engineering*, 1 (3), 88-97.

- Chaichan, M.T., ve Abaas, K.I. (2015). Performance amelioration of a trombe wall by using phase change material (PCM), *International Advanced Research Journal , Science, Engineering and Technology*, 2 (4), 1-6.
- CIBSE (2005). *Guide A: Environmental Design*. 20 Şubat 2019, <https://www.cibse.org/getattachment/Knowledge/CIBSE-Guide/CIBSE-Guide-A-Environmental-Design-NEW-2015/Guide-A-presentation.pdf.aspx>
- Döşemeciler, A. (2012). Cam ve aydınlatma sistemlerinde akıllı malzemeler. *Ege Mimarlık*, 3 (82), 14-17.
- Dutil, Y., Rouse, D., Salah, N., Lassue, S., ve Zalewski, L. (2011). A review on phasechange materials: mathematical modeling and simulations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 112–130.
- Evers, A., ve Medina M. A., Fang. Y. (2010). Evaluation of the thermal performance of frame walls enhanced with paraffin and hydrated salt phase change materials using a dynamic wall simulator. *Energy and Environment*, 45, 1762-1768.
- Feustel, H. E., ve Steitu, C. (1997). *Thermal performance of phase change wallboard for residential cooling application*. United States: Lawrence Berkeley National Laboratory.
- Feldman, D., ve Banu, D. (1991). Obtaining an energy storing building material by direct incorporation of an organic phase change material in gypsum wall board. *Solar Energy Materials*, 22, 231-42.
- Gök, Ö. (2005). *Faz değıştiren maddelerin destekleyici maddelerde tutuklanması ve termal performansı*. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Guichard, S., Miranville, F., Bigot, D., Damour B. M., Beddiar, K., ve Boyer, H. (2017). A complex roof incorporating phase change material for improving thermal comfort in a dedicated test cell. *Renewable Energy*, 101, 450-461.

- Günerhan, H. (2004). *Duyulur ısı depolama ve bazalt taşı*. 21 Mart 2019, https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/2fc990265c712c4_ek.pdf
- Hawladar, M. N. A., Uddin, M. S. ve Khin, M. M. (2003). Microencapsulated PCM thermal-energy storage system. *Applied Energy*, 74, 195-202.
- Hassan, E. (1991). Technical assessment of solar thermal energy storage technologies. *Pergamon Renewable Energy*, 14 (1-4), 35-40.
- Jayalath, A., Aye, L., Mendis, P., ve Ngo, T. (2016). Effects of phase change material roof layers on thermal performance of a residential building in Melbourne and Sydney. *Energy and Buildings*, 121, 152-158.
- Kara, Y., ve Kurnuç, A. (2012). Performance of coupled novel triple glass unit and pcm wall. *Applied Thermal Engineering*, 35, 243-246.
- Khudhair, A. M., ve Farid, M. M. (2004). A review on energy conservation in building applications with thermal storage by latent heat using phase change materials. *Energy Conversion and Management*, 263–275.
- Konstantinidou, C. (2010). *Integration of thermal energy storage in buildings*. Yüksek Lisans Tezi, The University of Texas, Austin.
- Konuklu, Y. (2008). *Mikrokapsüllenmiş faz değiştiren maddelerde termal enerji depolama ile binalarda enerji tasarrufu*. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Konuklu, Y. ve Paksoy, H. (2011). Faz değiştiren maddeler ile binalarda enerji verimliliği. *X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 919-930.
- Konuklu, Y., Ostry, M., Paksoy, H.O., ve Charvat, P. (2015). Review on using microencapsulated phase change materials (PCM) in building applications. *Energy Building*, 106, 134–155.

- Kosny, J., ve Yarbrough, D. (2010). Development and testing of ignition resistant microencapsulated phase change material. *Oak Ridge National Laboratory*, Oak Ridge.
- Koşan, M., ve Aktaş, M. (2018). Faz değıştiren malzemelerle termal enerji depolayan bir ısı değıştiricisinin sayısal analizi. *Politeknik Dergisi*, 21 (2), 403-409.
- Kuznik, F., Virgone, J., ve Lepers, S. (2007). Full scale experimental investigation of room wall containing phase change materials wallboard. *Proceedings of Climate Well Being Indoors*, Helsinki, Finland.
- Neeper, D. A. (2000). Thermal dynamics of wallboard with latent heat storage. *Solar Energy*, 68 (5), 393-403.
- Lane G., (1983). *Solar heat storage: latent heat materials. Background and Scientific Principles*. Florida: CRC Press.
- Li, Y., Liang, W., Zhou, J., ve Long, E. (2017). Experimental study on thermal performance improvement of building envelopes integrated with phase change materials in an air-conditioned room. *Procedia Engineering*, 205, 190-197.
- Maha, A., Andre, B., ve Hebert, S. (2006). Experimental investigation and computer simulation of thermal behaviour of wallboards containing a phase change material. *Energy Building*, 38, 357–366.
- Memon, S. A. (2014). Phase change materials integrated in building walls: A state of the art review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 870- 906.
- Mert, M. S., Sert, M., ve Mert, H. H. (2018). Isıl enerji depolama sistemleri için organik faz değıştiren maddelerin mevcut durumu üzerine bir inceleme. *Mühendislik Bilim ve Tasarım Dergisi*, 6, 161-174.
- Mohamed, A.S.Y., (2017). Smart materials innovative technologies in architecture; towards innovative design paradigm. *Energy Procedia*, 115 (2017), 139–154.

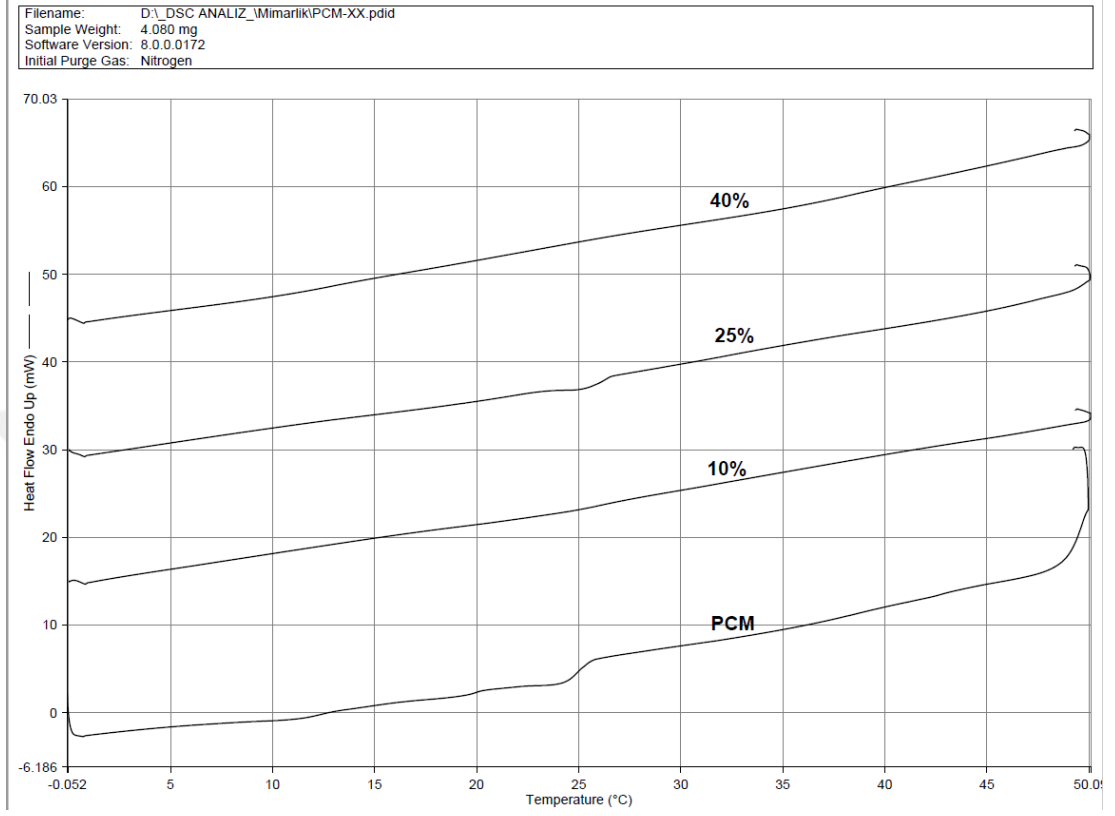
- Orhon, A. V., (2012). Akıllı malzemelerin mimarlıkta kullanımı. *Ege Mimarlık*, 3 (82), 18-21.
- Öztürk, H. (2007). Güneş enerjisinin gizli ısı tekniği ile depolanması. *Tesisat Mühendisliği*, 100, 16-31.
- Pasupathy, A., Velraj, R., ve Seeniraj, R. V. (2008). Phase change material-based building architecture for thermal management in residential and commercial establishments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12, 39-64.
- Ritter, A. (2007). *Smart materials in architecture, interior architecture and design*. Berlin: Birkhäuser.
- Salyer, I. O., Sircar, A. K., ve Charlo, R. P. (1985). Advanced phase-change materials for passive solar storage applications. *Proceedings of the Solar Building Conference*. Washington D.C., ABD.
- 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: a review. *International Journal of Green Energy*, 2, 1-56.
- Schossig, P., Henning, H. M., Gschwander, S., ve Haussmann, T. (2005). Micro-encapsulated phase-change materials integrated into construction materials. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 89, 297–306.
- Silva, T., Vicente, R., Amaral, C., ve Figueiredo, A. (2016). Thermal performance of a window shutter containing PCM: Numerical validation and experimental analysis. *Applied Energy*, 179, 64-84.
- Subramanian, E. (2011). *Integrating phase change materials in building materials: Experimentation, characterization and numerical simulation*. Doktora Tezi, Clemson University, USD.

- Sunliang, C. (2010). *State of the art thermal energy storage*. Yüksek Lisans Tezi, University of Jyväskylä, Finland.
- Telkes M., (1975). *Thermal storage for solar heating and cooling, Proceedings of the Workshop on Solar Energy storage Subsystems for the Heating and Cooling of Buildings*. Charlottesville, VA, USA.
- Tokuç, A. (2018). Bina soğutma enerjisinin ve ısı adası etkisinin azaltılmasında ısı kütlesi kullanımının etkisi. *İzmir Bölgesi Enerji Forumu*, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, 135-142
- Velraj, R., ve Pasupathy, A. (2006). *Phase change material based thermal storage for energy conservation in building architecture*. 12 Nisan 2021, https://www.researchgate.net/publication/228823294_Phase_Change_Material_based_thermal_storage_for_energy_conservation_in_building_architecture
- Wang, S., Matiasovsky, P., Mihálka, P., ve Lai, C. (2018). Experimental investigation of the daily thermal performance of a mPCM honeycomb wallboard. *Energy and Buildings*, 159, 419- 425.
- Wang, X., Hang, Y., Lu, Li., ve Mei, Z. (2009). Experimental assessment on a kind of composite wall incorporated with shape-stabilized phase change materials (SSPCMs). *Energy and Buildings*, 128, 567-574.
- Waqas, A., ve Ji, J. (2017). Thermal management of conventional PV panel using PCM with movable shutters - A numerical study. *Solar Energy*, 158, 797-807.
- Xie, T., Ling, Y., He, L. Y., ve Tong, X. T., (2016). Analysis of insulation performance of multilayer thermal insulation doped with phase change material. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 102, 934-943.
- Yahaya, N. A., ve Ahmad, H. (2011). Numerical investigation of indoor air temperature with the application of PCM gypsum board as ceiling panels in buildings. *Procedia Engineering*, 20, 238 – 248.

- Yao, C., Kong, X., Li, Y., Du, Y., ve Qi, C. (2018). Numerical and experimental research of cold storage for a novel expanded perlite-based shape-stabilized phase change material wallboard used in building. *Energy Conversion and Management*, 155, 20-31.
- Yinping, Z., Jianhong, D., Xin, W., Rui, Y., ve Kunping, L. (2006). Influence of additives on thermal conductivity of shape stabilized phase change material, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 90, 1692-1702.
- Yinping, Z., Yi, J. ve Yi, J. (1999). A simple method, the T-history method, of determining the heat of fusion, specific heat and thermal conductivity of phase change materials. *Measurement Science and Technology*, 10, 201-205.
- Yılmazoğlu, M. Z. (2010). Isı enerjisi depolama yöntemleri ve binalarda uygulanması. *Journal Polytech*. 13, 33-42.
- Zalba, B. (2002). *Free-cooling, an application of PCMs in TES*. Doktora Tezi, University of Zaragoza, Spain.
- Zalba, B., Marin, J. M., Cabeza, L. F., ve Mehling, H. (2003). Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications. *Applied Thermal Engineering*, 23, 251-283.
- Zeinelabdein, R., Omer, S., ve Gan, G. (2018). Critical review of latent heat storage systems for free cooling in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 2843-2868.
- Zhou, D., Zhao, C., ve Tian, Y. (2012). Review on thermal energy storage with phase change materials (PCMs) in building applications. *Applied Energy*, 92, 593–605.

EKLER

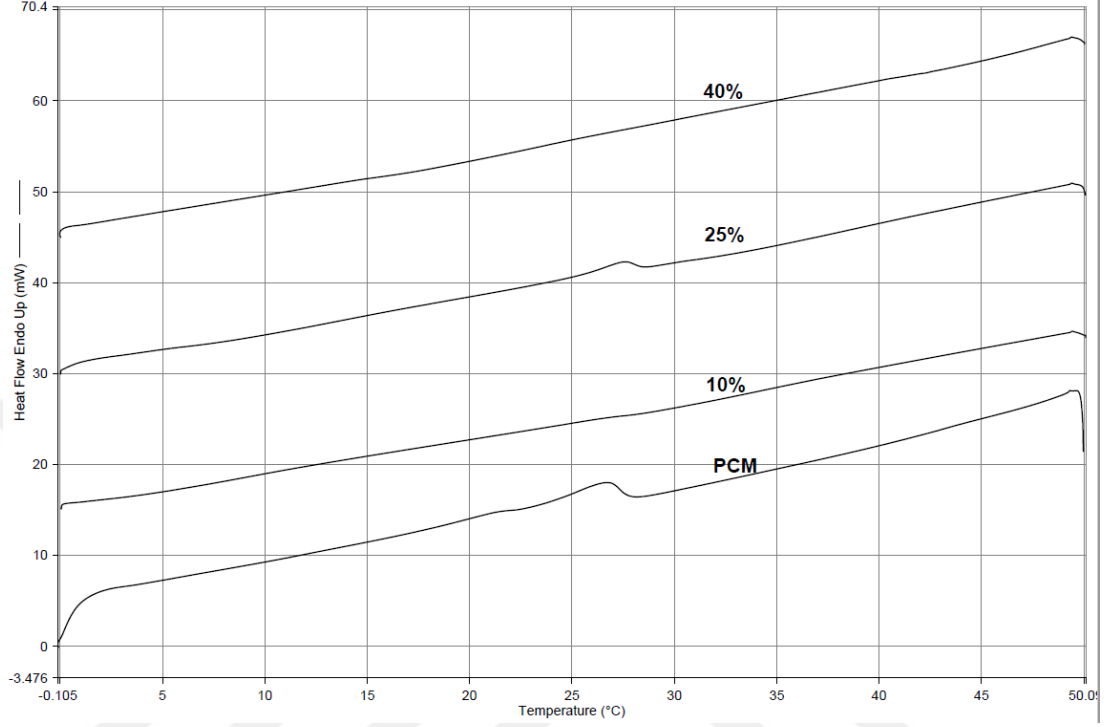
EK-1



Şekil A.1 Farklı oranlardaki FDM₁-P'nin DSC analizi soğutma grafiği

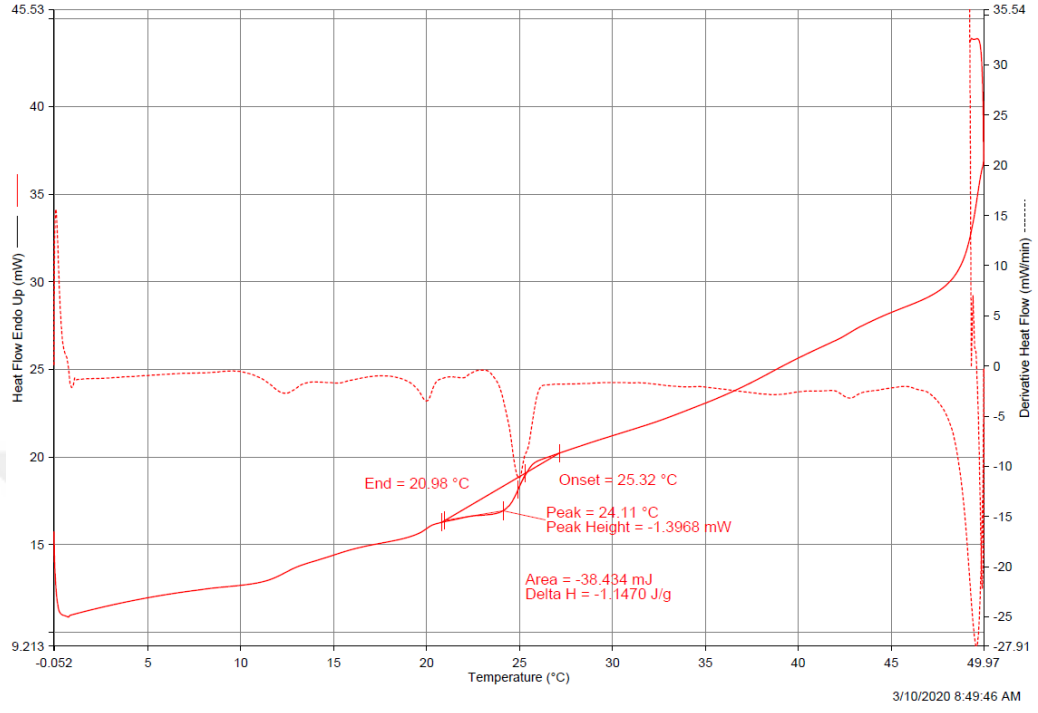
EK-2:

Filename: D:_DSC ANALIZ_Mimarlik\PCM-XX.pdtd
Sample Weight: 4.080 mg
Software Version: 8.0.0.0172
Initial Purge Gas: Nitrogen



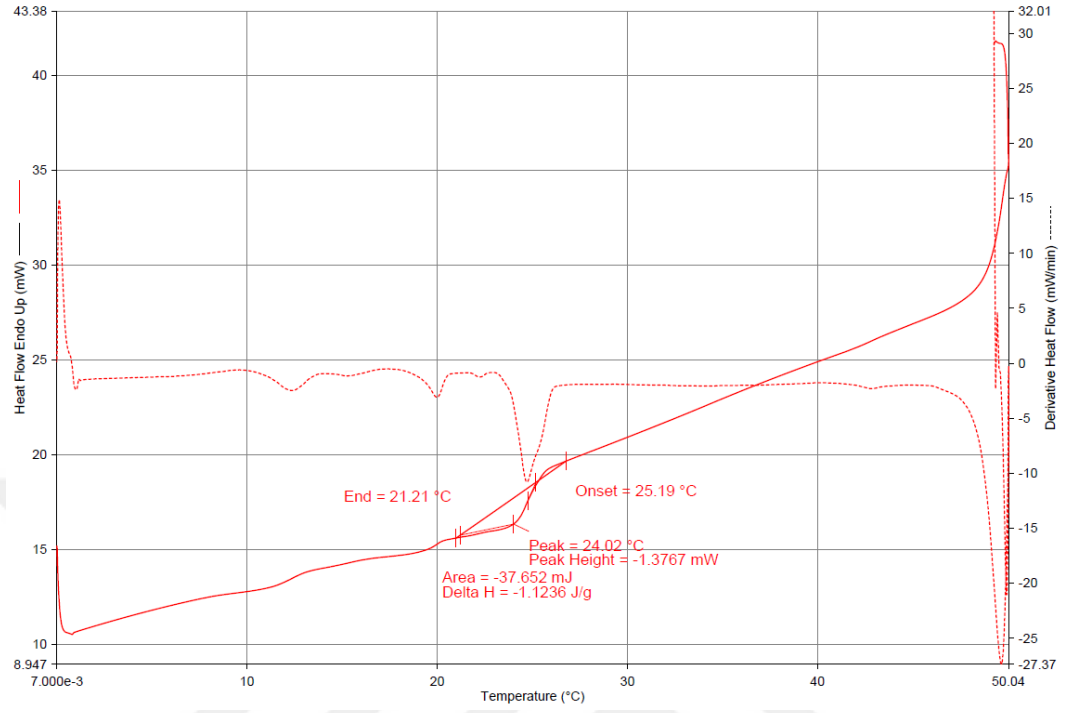
Şekil A.2 Farklı oranlardaki FDM₁-P'nin DSC analizi ısıtma grafiği

EK-3



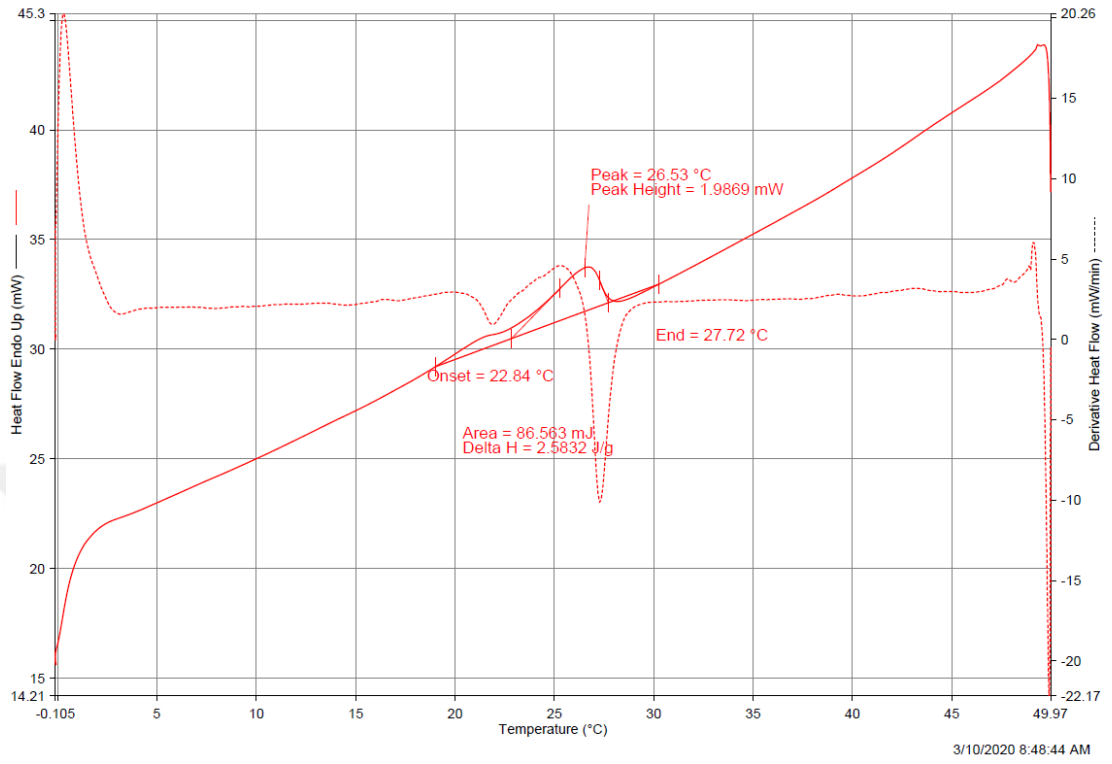
Şekil A.3 FDM1 DSC analizi (birinci soğutma) grafiği

EK – 4



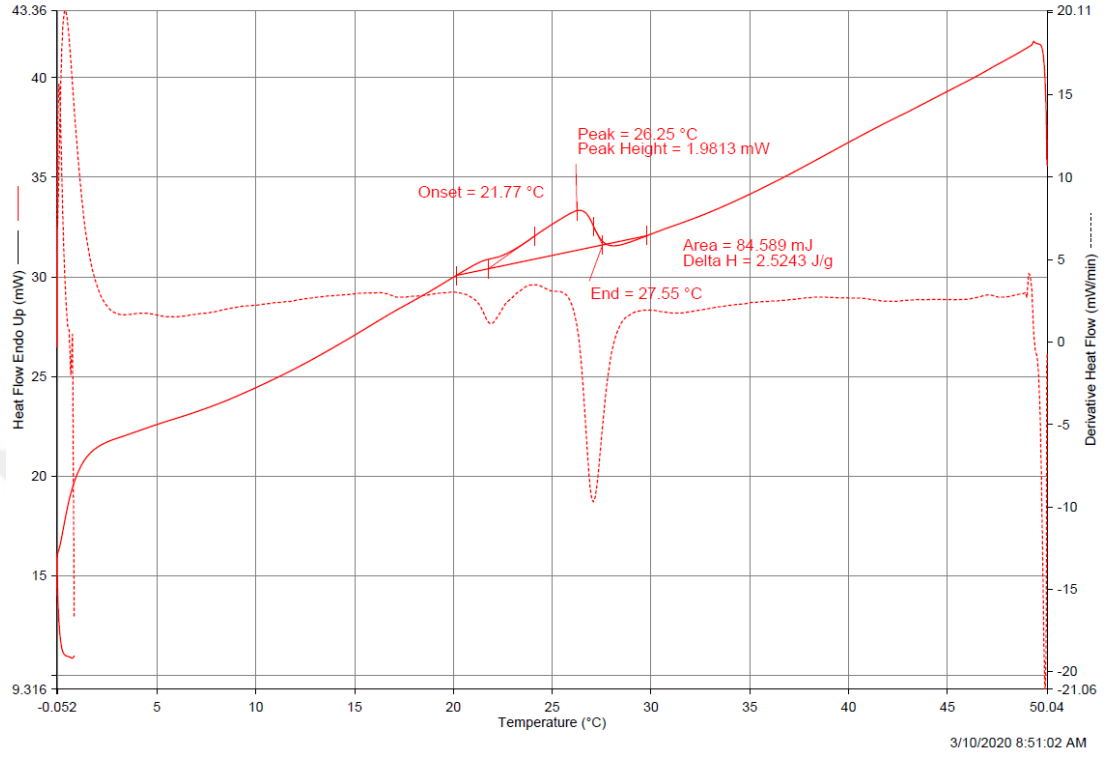
Şekil A.4 FDM₁ DSC analizi (ikinci soğutma) grafiği

EK – 5



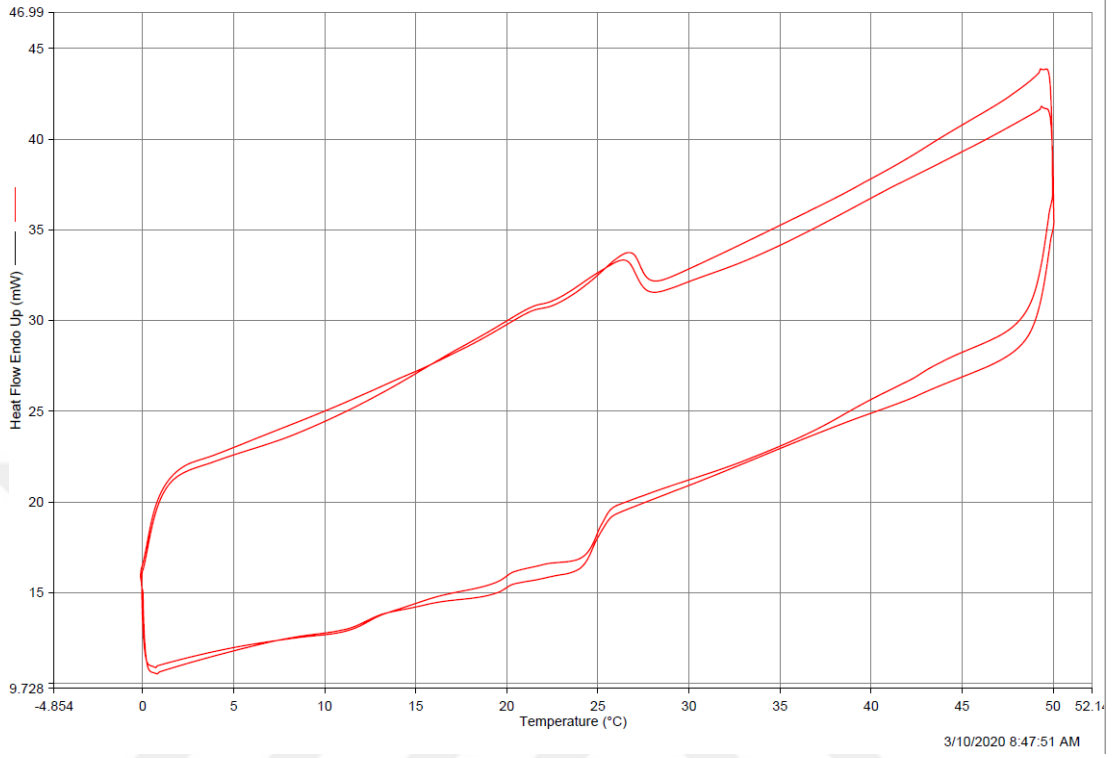
Şekil A.5 FDM₁ DSC analizi (birinci ısıtma) grafiği

EK- 6



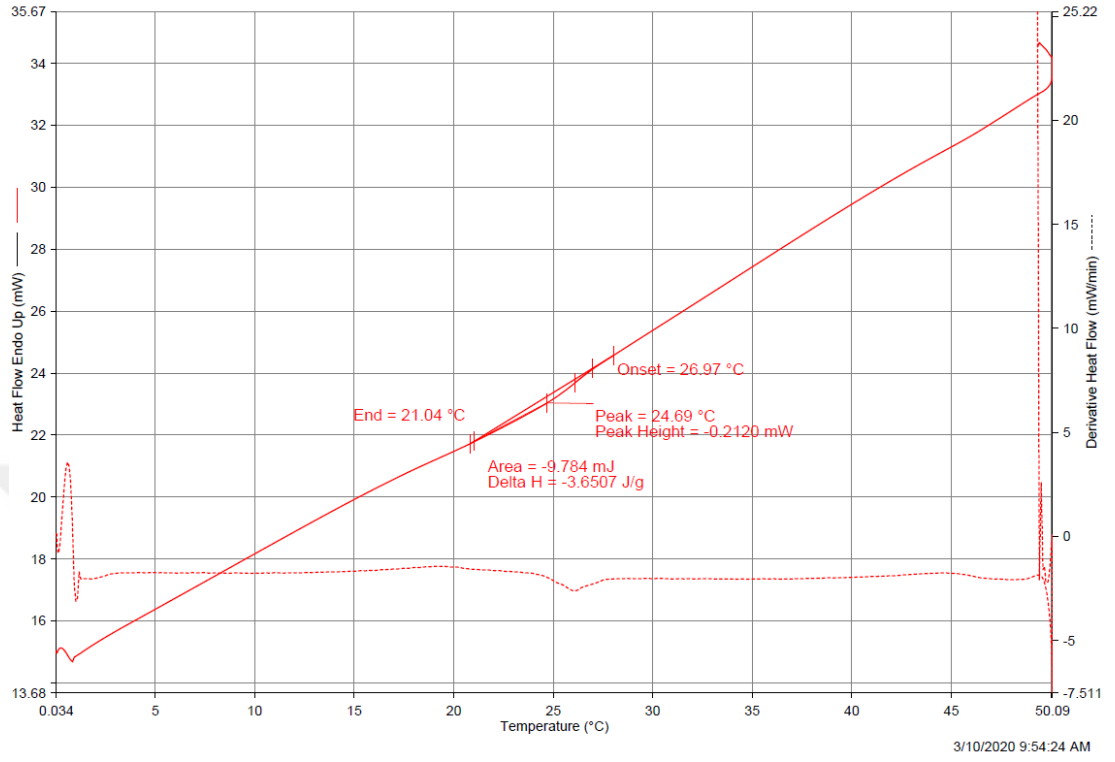
Şekil A.6 FDM₁ DSC analizi (ikinci ısıtma) grafiği

EK- 7



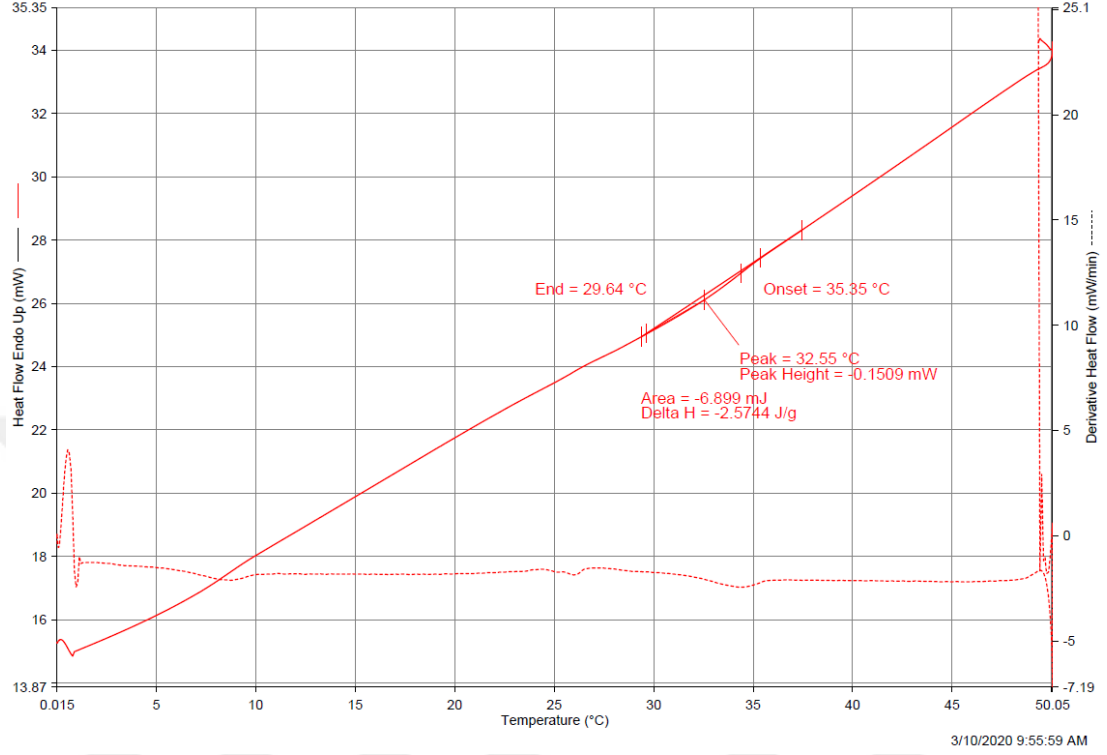
Şekil A.7 FDM1 DSC analizi tam döngü grafiği

EK- 8



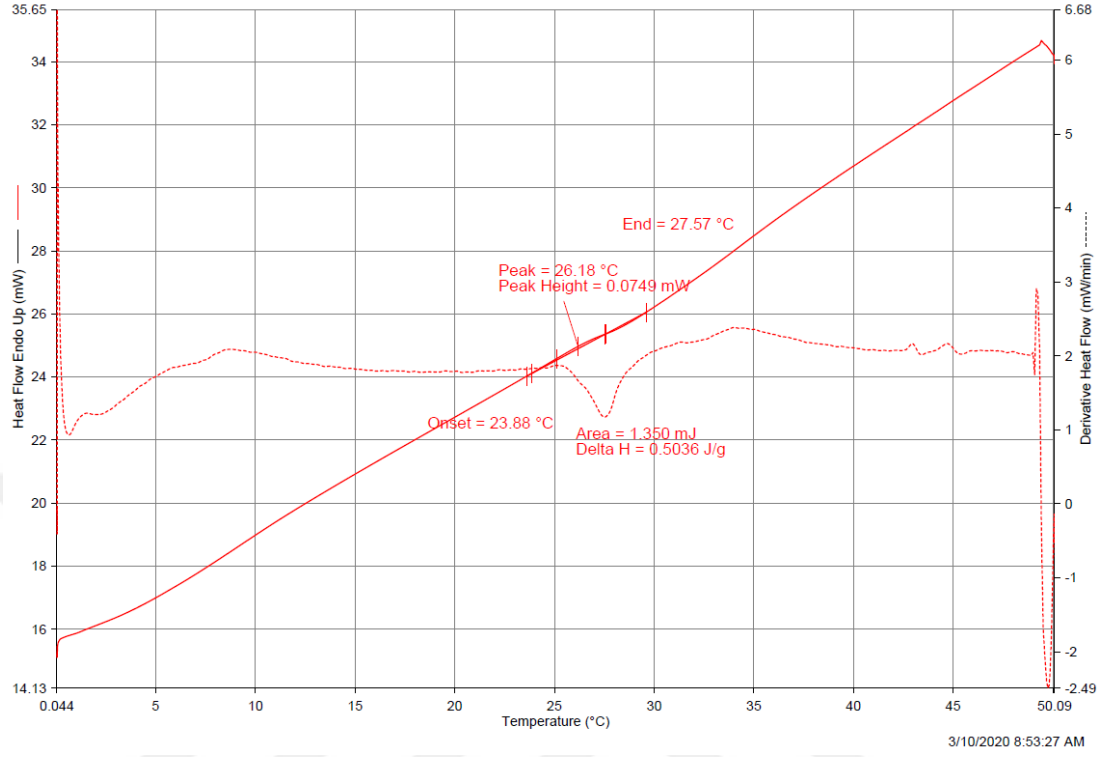
Şekil A.8 %10 FDM₁-P karışımı DSC analizi (birinci soğutma) grafiği

EK 9



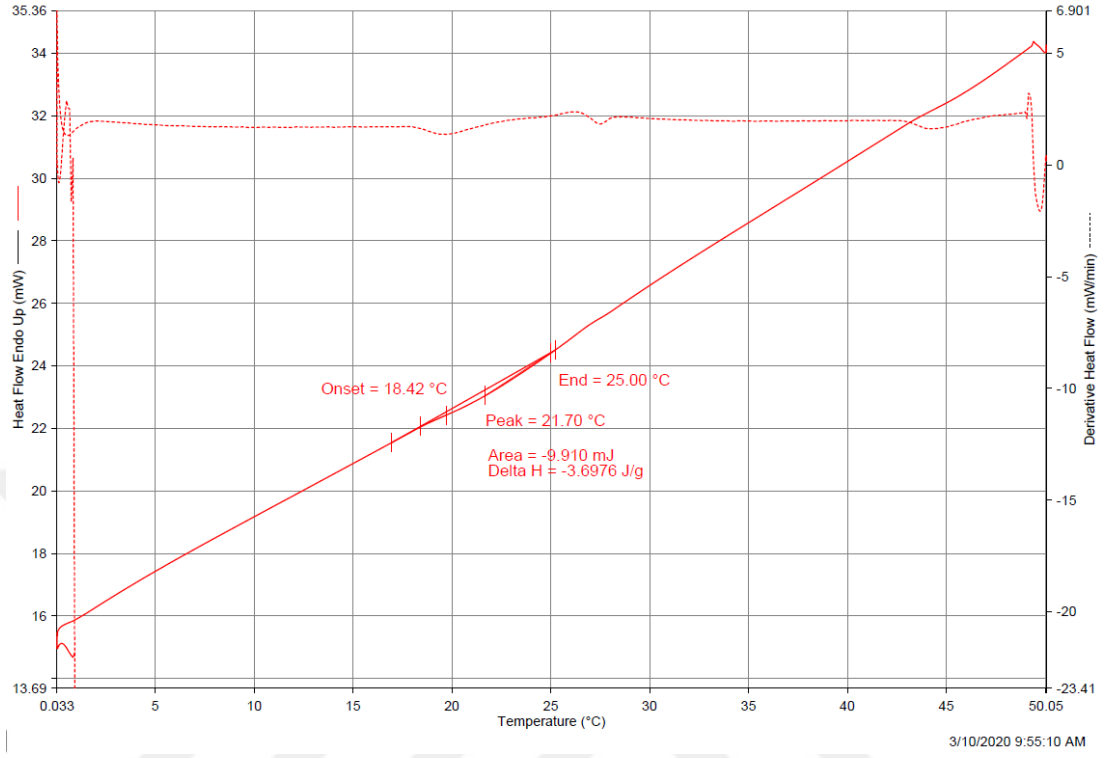
Şekil A.9 %10 FDM₁-P karışımı DSC analizi (ikinci soğutma) grafiği

EK-10



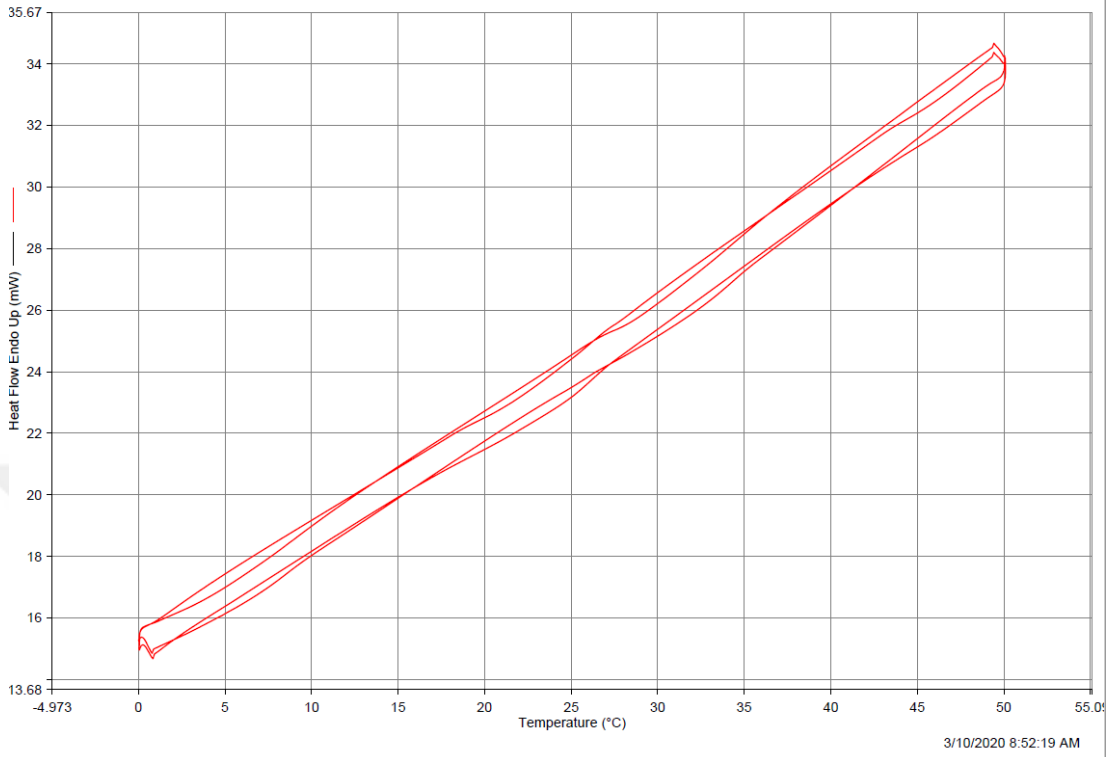
Şekil A.10 %10 FDM₁-P karışımı DSC analizi (birinci ısıtma) grafiği

EK-11



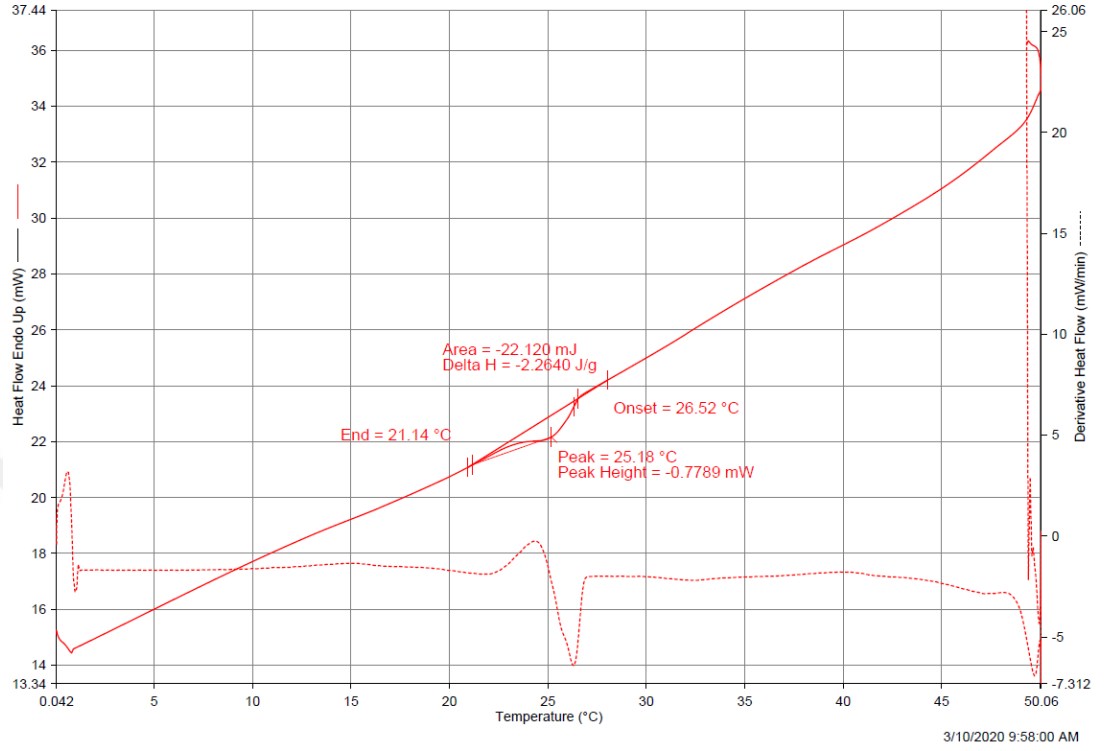
Şekil A.11 %10 FDM1-P karışımı DSC analizi (ikinci ısıtma) grafiği

EK-12



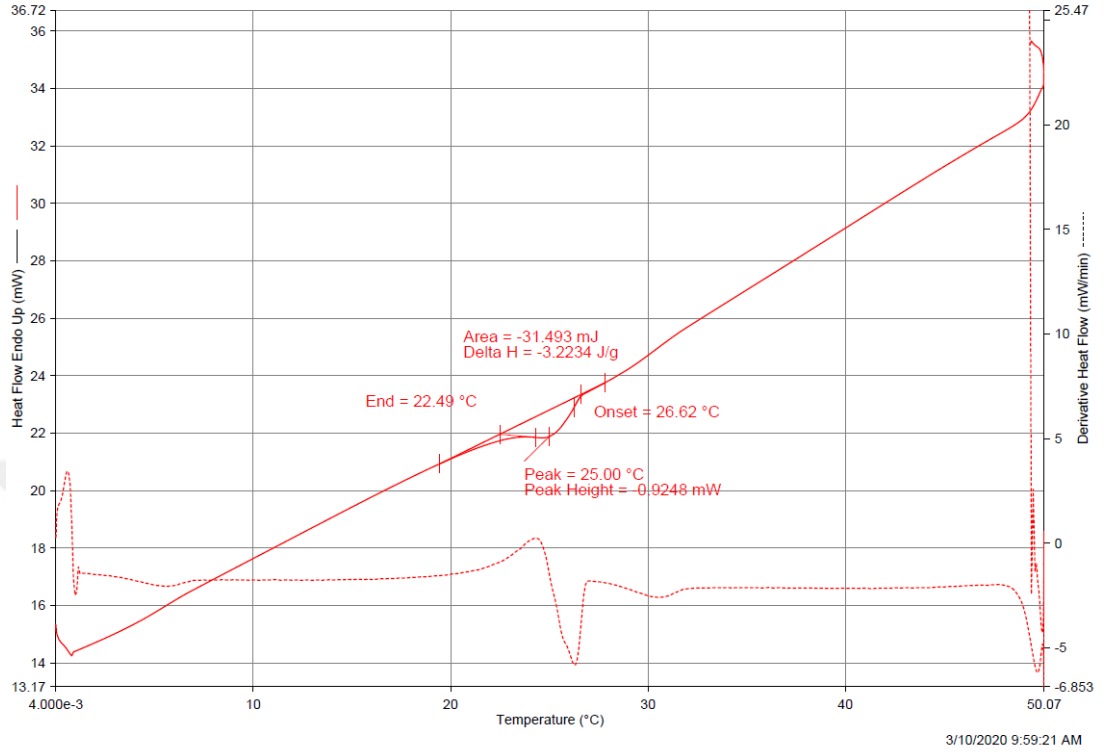
Şekil A.12 %10 FDM₁-P karışımı DSC analizi tam döngü grafiği

EK-13



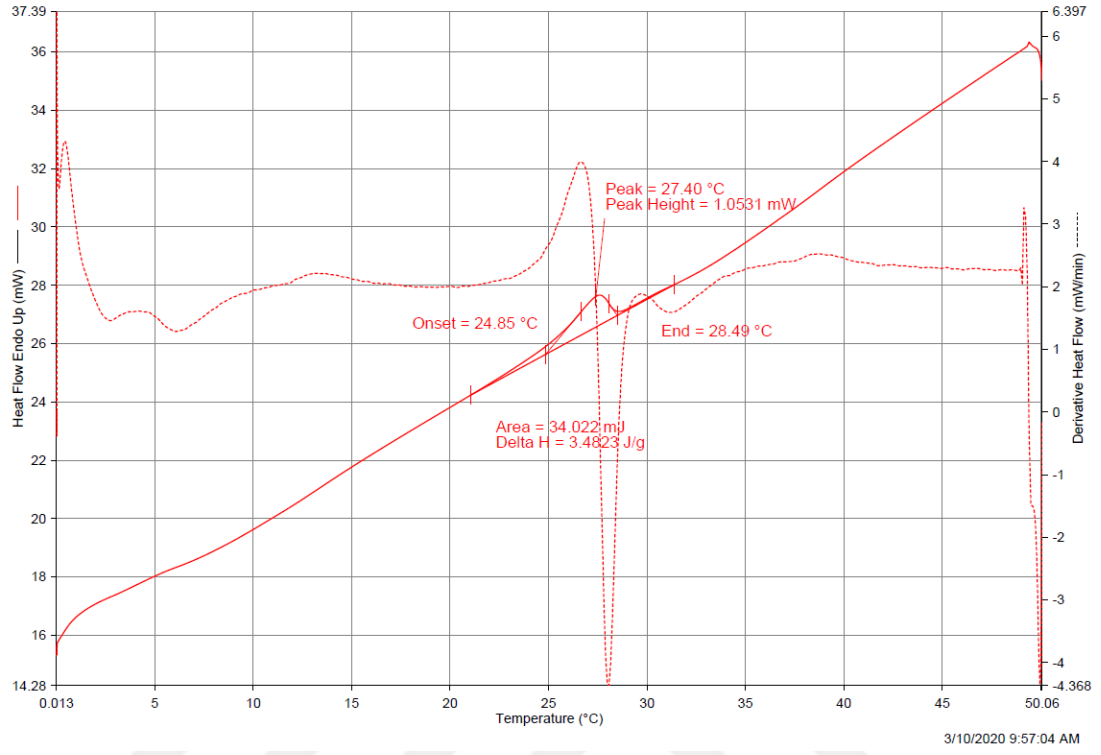
Şekil A.13 %25 FDM₁-P karışımı DSC analizi (birinci soğutma) grafiği

EK-14



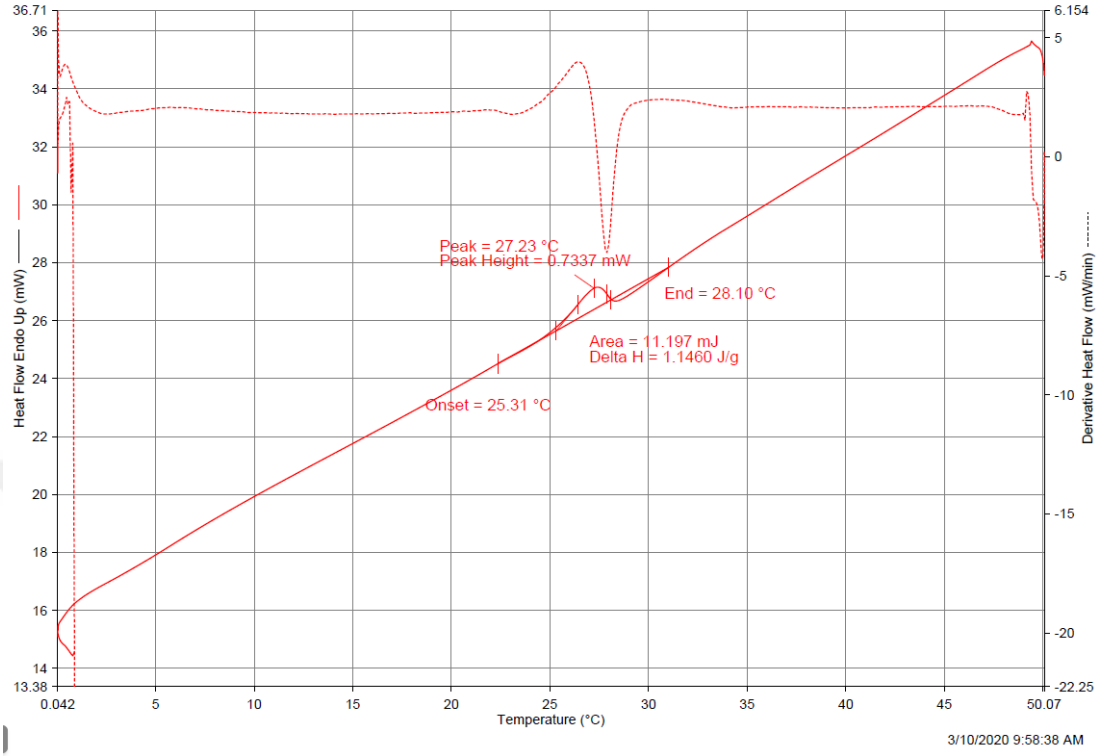
Şekil A.14 %25 FDM1-P karışımı DSC analizi (ikinci soğutma) grafiği

EK-15



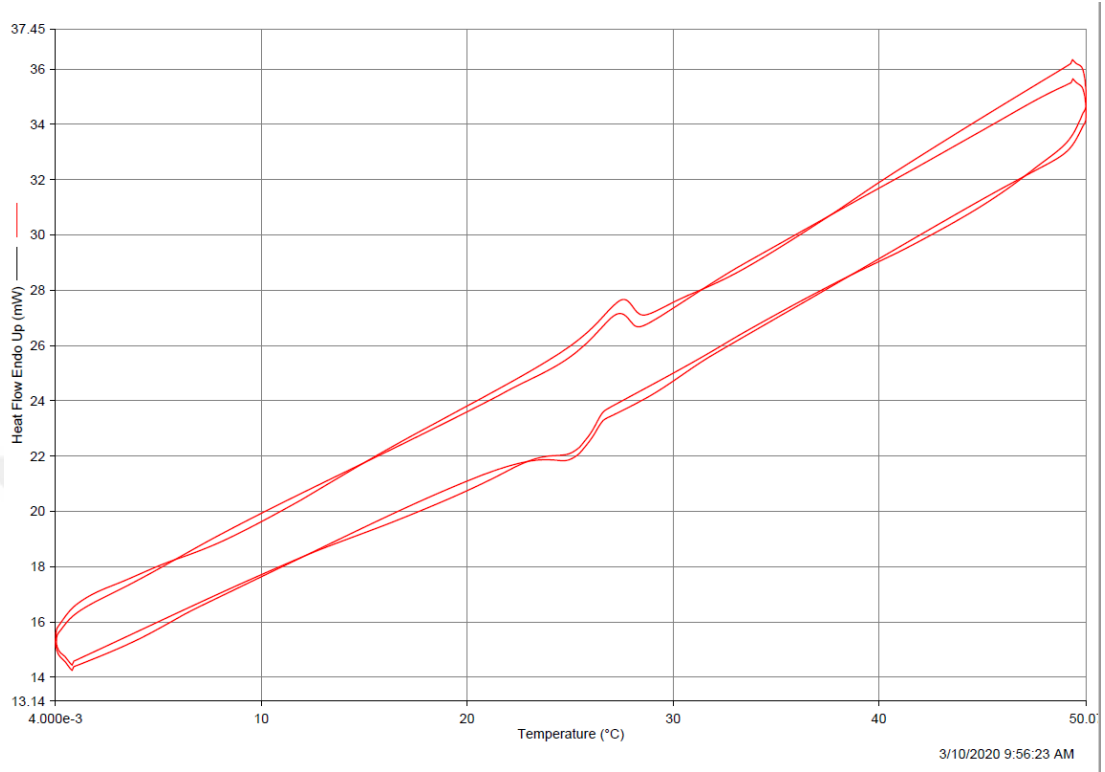
Şekil A.15 %25 FDM₁-P karışımı DSC analizi (birinci ısıtma) grafiği

EK-16



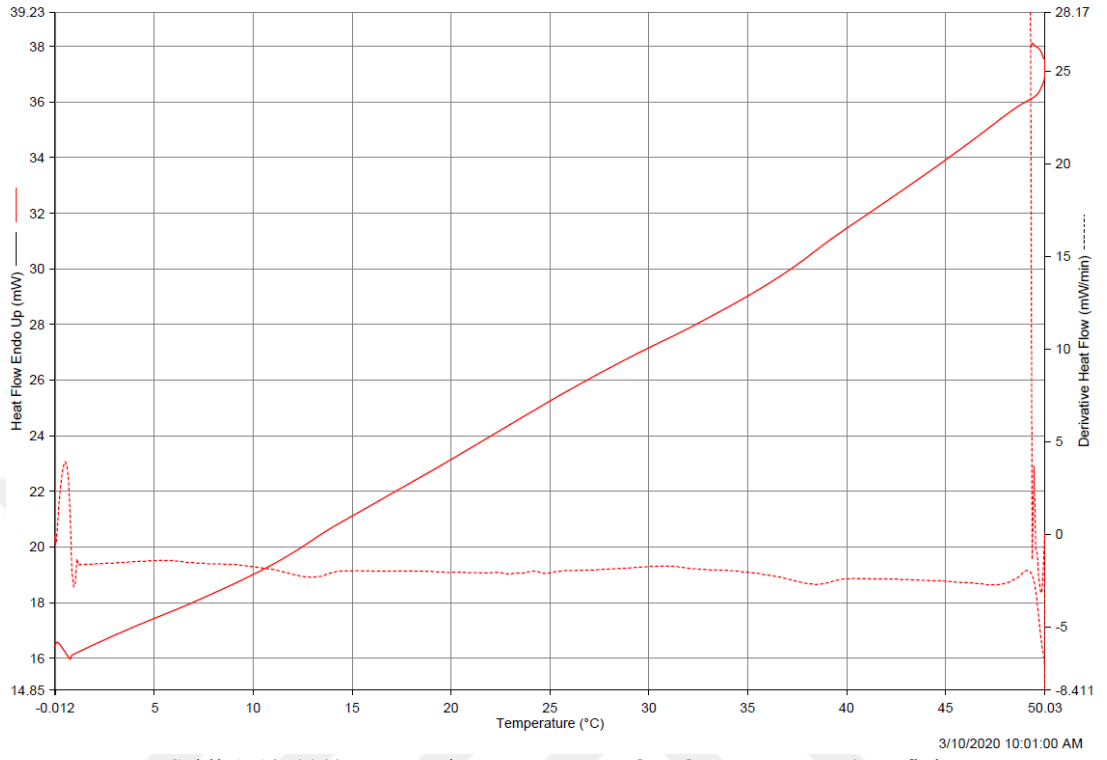
Şekil A.16 %25 FDM₁-P karışımı DSC analizi (ikinci ısıtma) grafiği

EK-17



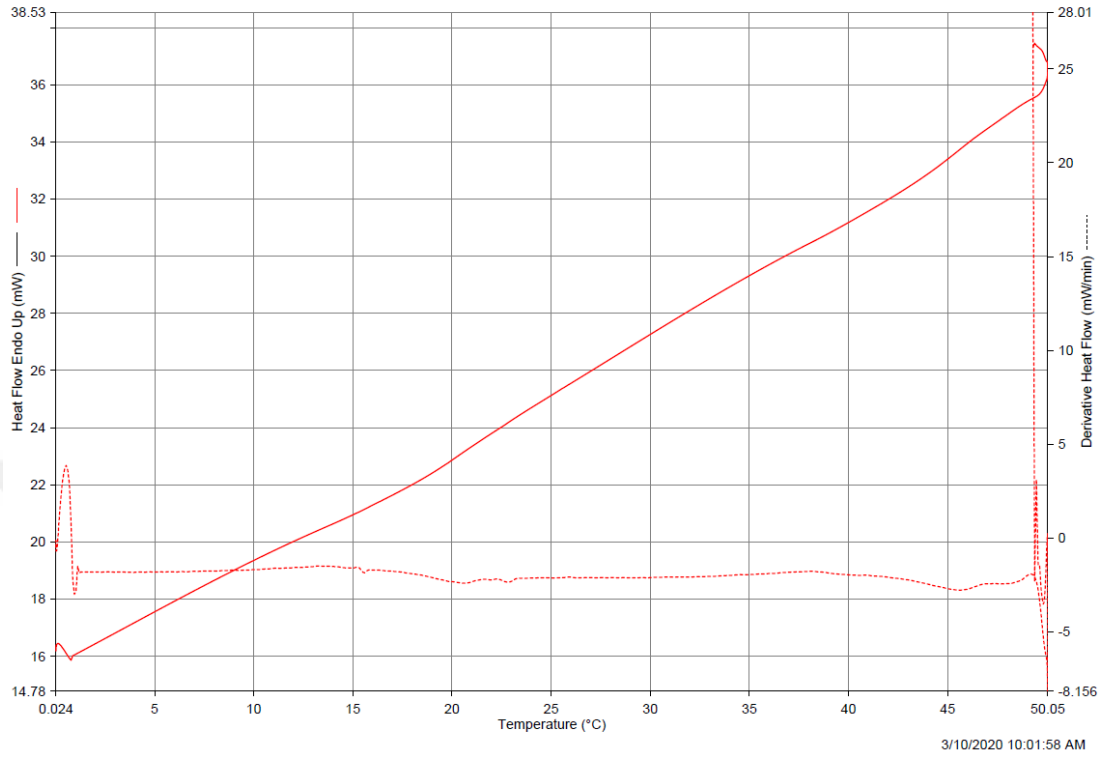
Şekil A.17 %25 FDM₁-P karışımı DSC analizi tam döngü grafiği

EK-18



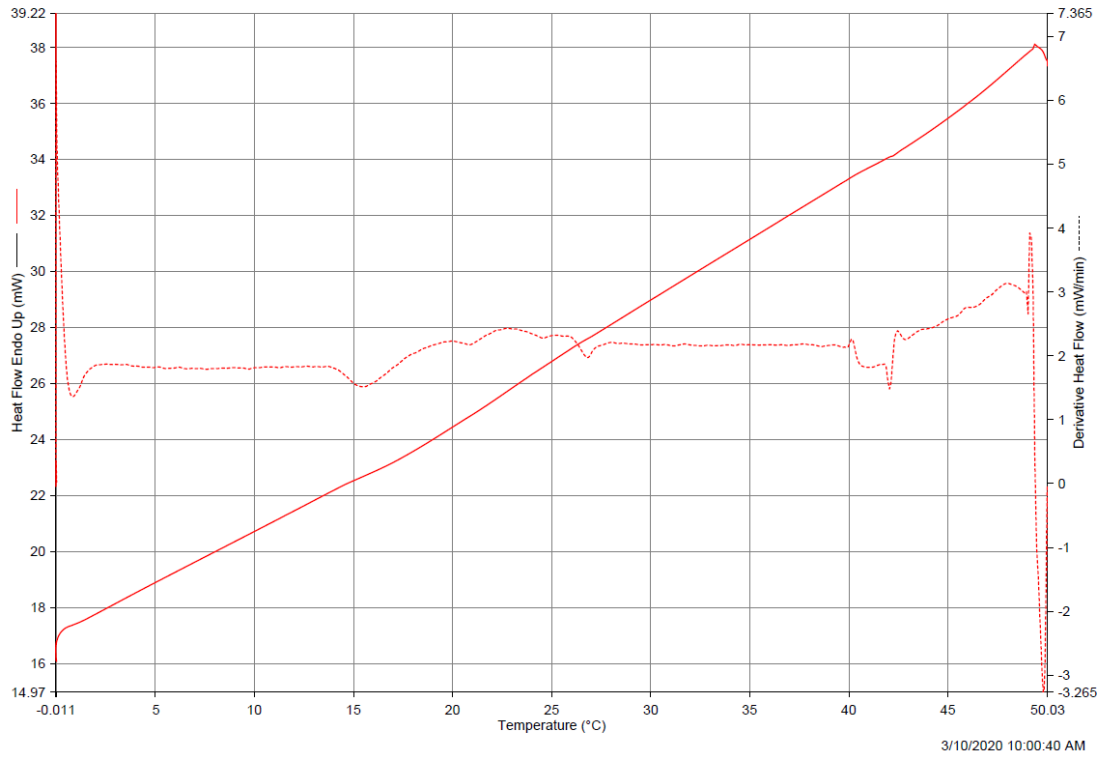
Şekil A.18 %40 FDM₁-P karışımı DSC analizi (birinci soğutma) grafiği

EK-19



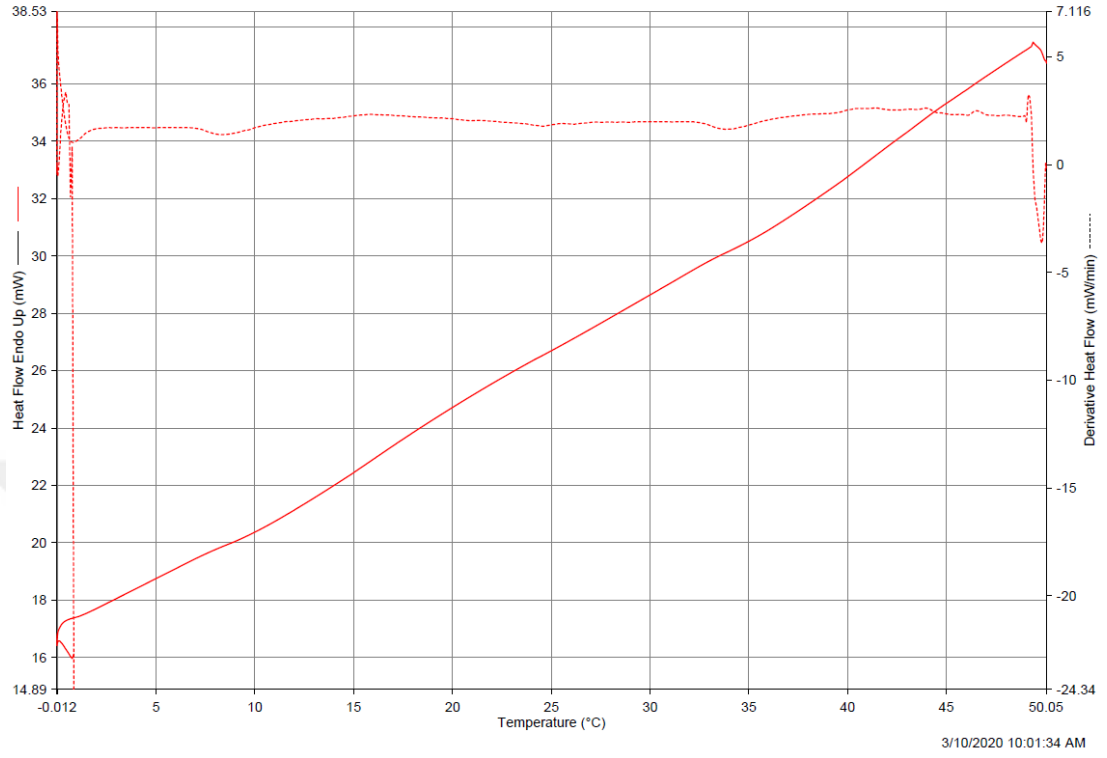
Şekil A.19 %40 FDM₁-P karışımı DSC analizi (ikinci soğutma) grafiği

EK-20



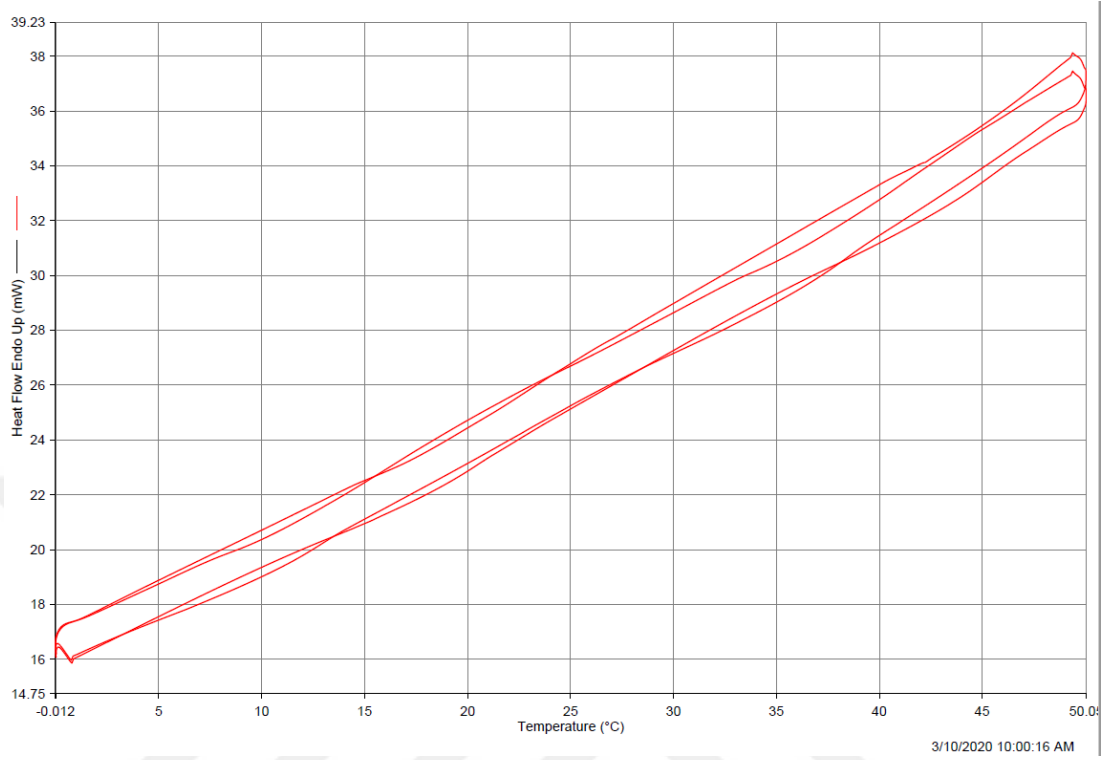
Şekil A.20 %40 FDM₁-P karışımı DSC analizi (birinci ısıtma) grafiği

EK-21



Şekil A.21 %40 FDM₁-P karışımı DSC analizi (ikinci ısıtma) grafiği

EK-22



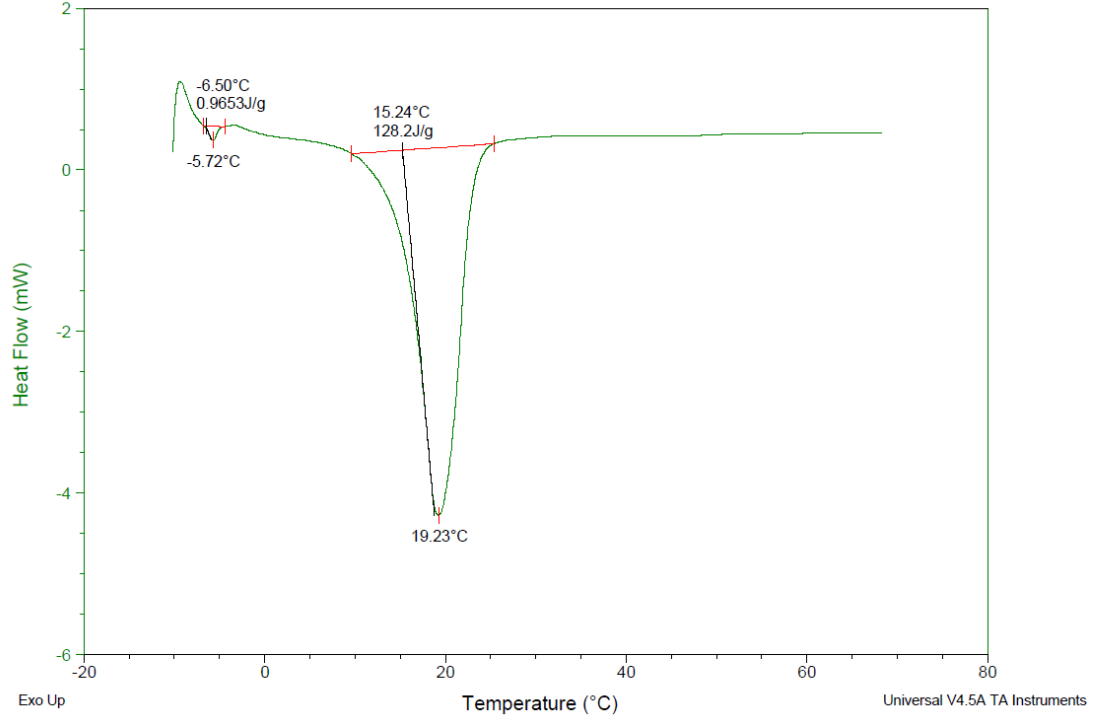
Şekil A.22 %40 FDM₁-P karışımı DSC analizi tam döngü grafiği

EK-23

Sample: 2
Size: 2.3200 mg

DSC

File: C:\TA\Data\DSC\SEVAL BAYRAM\2.002
Operator: Servis
Run Date: 06-Apr-2021 14:05
Instrument: DSC Q20 V24.11 Build 124



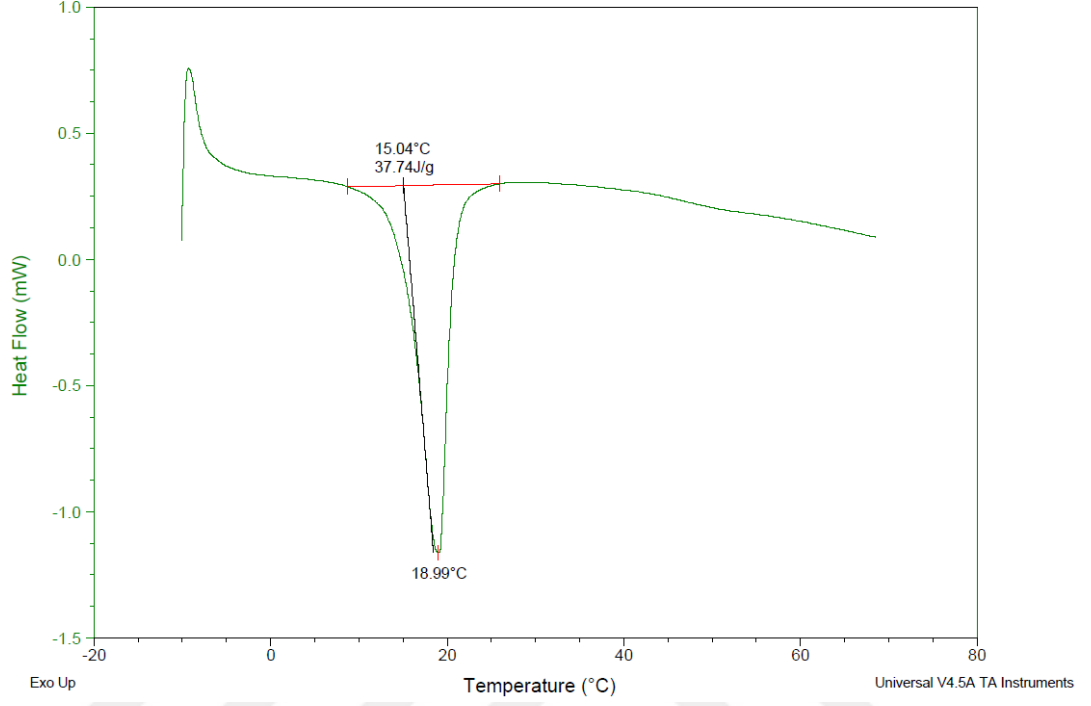
Şekil A.23 FDM₂ DSC analizi grafiği

EK-24

Sample: -2-
Size: 1.9300 mg

DSC

File: C:\TA\Data\DSC\SEVAL BAYRAMI-2-.001
Operator: Servis
Run Date: 06-Apr-2021 14:31
Instrument: DSC Q20 V24.11 Build 124



Şekil A.24 %25 FDM₂-P karışımı DSC analizi

EK-25: Data Logger C Programı Verileri

' ELITE A.S.

' www.elite.com.tr

' 9 Eylul Proje 01

' 27.11.2019

' MB

' CR1000

Public PTemp, Batt_volt

Public AirTemp : Units AirTemp = $^{\circ}\text{C}$

Public RH : Units RH = %

Public PT100(10) : Units PT100 = $^{\circ}\text{C}$

DataTable (MeasurementData,1,-1)

 DataInterval (0,5,Min,10)

 Average (1,AirTemp,FP2,False)

 Average (1,RH,FP2,False)

 Average (1,PT100(1),FP2,False)

 Average (1,PT100(2),FP2,False)

 Average (1,PT100(3),FP2,False)

 Average (1,PT100(4),FP2,False)

 Average (1,PT100(5),FP2,False)

 Average (1,PT100(6),FP2,False)

 Average (1,PT100(7),FP2,False)

 Average (1,PT100(8),FP2,False)

 Average (1,PT100(9),FP2,False)

Average (1,PT100(10),FP2,False)

EndTable

BeginProg

Scan (10,Sec,0,0)

PanelTemp (PTemp,60)

Battery (Batt_volt)

Therm107 (PT100(1),1,3,Vx1,0,250,1.0,0)

Therm107 (PT100(2),1,4,Vx2,0,250,1.0,0)

Therm107 (PT100(3),1,5,Vx3,0,250,1.0,0)

Therm107 (PT100(4),1,6,Vx1,0,250,1.0,0)

Therm107 (PT100(5),1,7,Vx2,0,250,1.0,0)

Therm107 (PT100(6),1,8,Vx3,0,250,1.0,0)

Therm107 (PT100(7),1,9,Vx1,0,250,1.0,0)

Therm107 (PT100(8),1,10,Vx2,0,250,1.0,0)

Therm107 (PT100(9),1,11,Vx3,0,250,1.0,0)

Therm107 (PT100(10),1,12,Vx1,0,250,1.0,0)

PortSet(9,1)

Delay(0,2,Sec)

VoltSe(AirTemp,1,mV2500,1,0,0,_60Hz,0.1,-40)

VoltSe(RH,1,mV2500,2,0,0,_60Hz,0.1,0)

PortSet(9,0)

CallTable MeasurementData

NextScan