

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MİMARLIK ANABİLİM DALI

**TÜRKİYE İKLİM BÖLGELERİNDE KULLANIMA UYGUN YENİ NESİL
HAFİF BİNA KABUĞU BİLEŞENİ ÖNERİSİ:
FAZ DEĞİŞTİREN MALZEME KATKILI POMZA BLOK**

DOKTORA TEZİ

Deniz SAYLAM CANIM

MART 2022

TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİMARLIK ANABİLİM DALI

**TÜRKİYE İKLİM BÖLGELERİNDE KULLANIMA UYGUN YENİ NESİL HAFİF BİNA
KABUĞU BİLEŞENİ ÖNERİSİ: FAZ DEĞİŞTİREN MALZEME KATKILI POMZA BLOK**

Deniz SAYLAM CANIM

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"DOKTOR (MİMARLIK)"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 12 / 01 / 2022

Tezin Savunma Tarihi : 04 / 03 / 2022

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Sibel MAÇKA KALFA

Trabzon 2022

ÖNSÖZ

"Türkiye İklim Bölgelerinde Kullanıma Uygun Yeni Nesil Hafif Bina Kabuğu Bileşeni Önerisi: Faz Değiştiren Malzeme Katkılı Pomza Blok" isimli bu araştırma, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalında Doktora Tezi olarak hazırlanmıştır.

Çalışma, hafif bina kabuklarının düşük termal kütlelerinde, yeni nesil pasif yaklaşım olarak da kabul edilen faz değiştiren malzeme (FDM) kullanımı ile bina enerji yüklerinde iyileşme sağlayacak bir yöntem geliştirilmesini, bu sayede bina kabuğu zaman geciktirmesinde artış, iç mekan sıcaklık dalgalanmalarında ise azalma elde edilmesini amaçlamıştır.

Tez çalışması süresince bilgi ve deneyimleriyle beni yönlendiren, çalışmamın her aşamasında tecrübesinden yararlandığım danışman hocam Doç. Dr. Sibel MAÇKA KALFA'ya, değerli katkıları ve önerileri için tez izleme komitemde yer alan Prof. Dr. Tülin BALİ hocama ve Doç. Dr. Murat TUTKUN hocama ve tezin sonuçlanmasındaki katkılarından dolayı Prof. Dr. Leyla Tanaçan ve Prof. Dr. İdil Ayçam'a teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca laboratuvar çalışmaları esnasındaki değerli katkılarından dolayı Araş.Gör. Mehmet SAĞLAM 'a ve çalışmamın her aşamasında maddi manevi desteğini, sabrını ve yardımını hiçbir zaman esirgemeyen değerli eşim Turgay CANIM 'a çok teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca olduğu gibi bu süreçte de varlıkları ve güzel temennileri ile bana her zaman güç veren babam Cevdet SAYLAM 'a, annem Songül SAYLAM 'a, kardeşlerim Hande SAYLAM 'a ve Serkan SAYLAM 'a, ayrıca varlıkları şükür sebebin olan çocuklarım Yağmur CANIM 'a ve Ahmet CANIM 'a sonsuz şükranlarımı sunarım.

Deniz SAYLAM CANIM

Trabzon 2022

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum "Türkiye İklim Bölgelerinde Kullanıma Uygun Yeni Nesil Hafif Bina Kabuğu Bileşeni Önerisi: Faz Değiştiren Malzeme Katkılı Pomza Blok" başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Sibel MAÇKA KALFA'nın sorumluluğuunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 04/03/2022

Deniz SAYLAM CANIM

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ	IV
İÇİNDEKİLER	V
ÖZET	IX
SUMMARY	X
ŞEKİLLER DİZİNİ	XI
TABLolar DİZİNİ	XIV
KISALTMALAR VE SEMBOLLER DİZİNİ	XVI
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı.....	5
1.3. Çalışmanın Kapsamı.....	7
1.4. Faz Değiştiren Malzemeler.....	8
1.4.1. Tarihçe.....	8
1.4.2. FDM Çeşitleri.....	10
1.4.3. FDM ile Birleştirme Teknikleri.....	12
1.4.3.1. Doğrudan Birleştirme Tekniği.....	12
1.4.3.2. Daldırma Tekniği.....	13
1.4.3.3. Kapsülleme Tekniği.....	13
1.4.3.3.1. Mikrokapsülleme.....	13
1.4.3.3.2. Makrokapsülleme.....	14
1.4.4. FDM'nin Kullanıldığı Simülasyon Programları.....	16
1.4.5. Laboratuar Ölçeğindeki FDM Termal Test Metotları.....	18
1.4.5.1. Diferansiyel Termal Analiz (DTA) Yöntemi.....	19
1.4.5.2. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Yöntemi.....	19
1.4.5.3. T- History Yöntemi.....	19
1.4.5.4. Dinamik Hot- Box Yöntemi.....	20
1.5. Bina Yapı Malzemesi Olarak Pomza.....	21

1.5.1.	Pomza Blok ve Özellikleri	25
1.5.2.	Pomza Bloğu Oluşturan Diğer Bileşenler.....	28
1.5.2.1.	Çimento	28
1.5.2.2.	Karma Suyu	28
1.5.3.	Pomza Blok Uygulama Örnekleri	29
1.6.	Literatür Araştırması	31
1.6.1.	Literatürde Yer Alan Çalışmaların Değerlendirilmesi	36
1.6.1.1.	FDM'nin Kullanıldığı Yapı Bileşeni.....	36
1.6.1.2.	FDM Çeşidi	37
1.6.1.3.	FDM ile Birleştirme Teknikleri	38
1.6.1.4.	Çalışma Tipleri ve Kullanılan Simülasyon Programları	38
1.6.2.	Çalışmanın Literatürdeki Yeri ve Önemi	41
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	43
2.1.	Yöntem.....	43
2.1.1.	Deneysel Çalışma.....	47
2.1.1.1.	Kullanılan Malzemeler.....	47
2.1.1.1.1.	Faz Değiştiren Malzemenin Seçimi.....	47
2.1.1.1.2.	Asidik Pomza Agregası.....	48
2.1.1.1.3.	Çimento.....	48
2.1.1.1.4.	Karma Suyu.....	48
2.1.1.2.	Atölye ve Ekipmanların Seçimi.....	49
2.1.1.2.1.	Vibrasyonlu Hidrolik Press Makinesi.....	49
2.1.1.2.2.	Harç Karıştırıcı.....	50
2.1.1.2.3.	Hassas Terazî.....	51
2.1.1.3.	Laboratuvar ve Termal Ölçüm Cihazlarının Seçimi.....	51
2.1.1.3.1.	Mahfazalı Sıcak Plaka Cihazı (Linseis HFM 300/3 Termal İletkenlik Analizörü).....	51
2.1.1.3.2.	Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (Hitachi DSC 7020).....	51
2.1.1.4.	Örnek Boyutlarının Belirlenmesi.....	52
2.1.1.5.	FDM-Pomza Oranlarının Belirlenmesi.....	52
2.1.1.6.	Örneklerin Hazırlanması.....	53
2.1.1.7.	Örneklerin Yoğunluklarının Hesaplanması.....	54
2.1.1.8.	Örneklerin Termal Analizlerinin Yapılması.....	56

2.1.1.8.1.	Örneklerin Isıl iletkenlik Katsayısı Ölçümleri.....	56
2.1.1.8.2.	Örneklerin Özgül Isı Kapasiteleri ve Gizli Isı Değeri Ölçümleri.....	58
2.1.2.	Enerji Simülasyonları.....	58
2.1.2.1.	Bina Kabuğuna Ait Bilgiler.....	59
2.1.2.2.	FDM'li Duvar Konstrüksiyonlarına Ait Senaryolar.....	60
2.1.3.	Deneyisel Uygulama.....	62
2.1.3.1.	Mini Kabinlerin Hazırlanması.....	63
2.1.3.2.	Deneyisel Uygulama Sınır Koşulları.....	66
2.1.3.3.	Güneş Işınım Değerlerinin Belirlenmesi.....	67
2.1.3.4.	Deneyisel Uygulama Sıcaklıklarının Belirlenmesi.....	67
2.1.3.5.	Deneyisel Uygulama Cihazları.....	68
2.1.3.5.1.	Kontrol Odası.....	68
2.1.3.5.2.	Endüstriyel Fırın.....	68
2.1.3.5.3.	Işınım Şiddeti Ölçümü.....	69
2.1.3.5.4.	Sıcaklıkların Ölçümü.....	70
2.1.3.5.5.	Veri Toplama Sistemi.....	71
2.1.3.5.6.	Termal Kamera.....	72
2.1.3.6.	Kontrol Odasında Yapılan Deneyisel Uygulamalar.....	72
2.1.3.7.	Fırın İçerisinde Yapılan Deneyisel Uygulama.....	74
3.	BULGULAR.....	75
3.1.	Deneyisel Çalışma Bulguları.....	75
3.1.1.	Pomza Blok Örneklerinin Isıl İletkenlik Katsayıları.....	75
3.1.2.	Pomza Blok Örneklerinin Özgül Isı Kapasiteleri.....	76
3.1.3.	Pomza Blok Örneklerinin Gizli Isı Değerleri.....	78
3.2.	Enerji Simülasyon Bulguları.....	82
3.2.1.	Ilıman-Nemli İklim Bölgesindeki Trabzon İline Ait Bulgular.....	83
3.2.2.	Ilıman-Kuru İklim Bölgesindeki Ankara İline Ait Bulgular.....	86
3.2.3.	Sıcak-Nemli İklim Bölgesindeki Antalya İline Ait Bulgular.....	89
3.2.4.	Sıcak-Kuru İklim Bölgesindeki Diyarbakır İline Ait Bulgular.....	92
3.2.5.	Soğuk İklim Bölgesindeki Erzurum İline Ait Bulgular.....	95
3.2.6.	Örneklerin Pilot İllerdeki Yıllık Isıtma, Soğutma ve Toplam Enerji Yüklerinin Karşılaştırılması.....	98

3.3.	Deneysel Uygulama Bulguları.....	100
3.3.1.	Kontrol Odasında Yapılan Deneysel Uygulama Bulguları.....	100
3.3.1.1.	600 W/m ² 'lik Güneş Işınım Değerinin Uygulanması ile Elde Edilen Bulgular.....	100
3.3.1.2.	800 W/m ² 'lik Güneş Işınım Değerinin Uygulanması ile Elde Edilen Bulgular.....	103
3.3.1.3.	Termal Kamera Görüntüleri.....	106
3.3.2.	Fırın İçerisinde Yapılan Deneysel Uygulama Bulguları.....	108
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	112
5.	KAYNAKLAR.....	115
6.	EKLER.....	122
ÖZGEÇMİŞ		

Doktora Tezi

ÖZET

TÜRKİYE İKLİM BÖLGELERİNDE KULLANIMA UYGUN YENİ NESİL HAFİF BİNA KABUĞU BİLEŞENİ ÖNERİSİ: FAZ DEĞİŞTİREN MALZEME KATKILI POMZA BLOK

Deniz SAYLAM CANIM

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Mimarlık Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Sibel MAÇKA KALFA
2022, 121 Sayfa, 56 Sayfa Ek

Binaların enerji tüketimini düşük maliyetler ve yüksek getiriler ile azaltma amacı ile alınan önlemlerden biri de hafif binalardır. Avrupa Birliği "Binalarda Enerji Performansı Direktifi" ile hafif binaları teşvik etmektedir. Fakat hafif binaların en büyük dezavantajı hafif bina kabuklarının düşük termal kütleleri nedeniyle büyük sıcaklık dalgalanmalarına meyilli olmalarıdır. Günümüzde güneş enerjisini bünyesinde termal enerji olarak depolayan faz değiştiren malzemeler, düşük ve sıfır enerjili hafif bina tasarımlarında oldukça güncel bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır.

Tez çalışmasında, hafif bina kabuklarının düşük termal kütlelerinde, yeni nesil pasif yaklaşım olarak da kabul edilen faz değiştiren malzeme (FDM) kullanımı ile iyileşme sağlayacak bir yöntem geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Yapılan çalışma; hafif bina malzemesi pomza agregası ile %5, %10 ve %15 oranlarında FDM karışımından elde edilen FDM'li ve FDM'siz pomza blok örneklerinin üretilmesini, örneklerin termal testlerinin laboratuvar ortamında yapılarak ısı iletkenliklerinin, özgül ısı kapasitelerinin ve gizli ısı değerlerinin belirlenmesini içermektedir. Deneysel uygulama çalışması ile de FDM'siz (referans) ve FDM'li pomza blok örnekleri ile oluşturulan hafif bina kabuğunun zaman geciktirmesi ve iç mekan sıcaklık dalgalanmalarına etkisinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

Çalışmada; FDM kullanımı ile bina kabuğunun termal kütlelerinin dolayısı ile de zaman geciktirmesinin arttırılabileceği, iç mekan sıcaklık dalgalanmalarında azalma elde edilebileceği ve bina enerji yüklerinde özellikle de soğutma yükünde iyileşme sağlanabileceği sonuçlarına ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hafif bina kabuğu bileşeni, Faz değiştiren malzeme, Gizli ısı, Pomza blok, İç mekan sıcaklık dalgalanmaları.

PhD. Thesis

SUMMARY

A NEW GENERATION LIGHTWEIGHT BUILDING SHELL COMPONENT PROPOSAL SUITABLE FOR USE IN TURKISH CLIMATE ZONES: PUMICE BLOCK WITH PHASE CHANGE MATERIAL

Deniz SAYLAM CANIM

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Architecture Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Sibel MAÇKA KALFA
2022, 121 Pages, 56 Pages Appendix

One of the measures taken to reduce the energy consumption of buildings with low costs and high returns is lightweight buildings. The European Union promotes lightweight buildings with the "Energy Performance of Buildings Directive". But the biggest disadvantage of lightweight buildings is that the lightweight building envelopes are prone to large temperature fluctuations due to their low thermal mass. Today, phase change materials, which store solar energy as thermal energy, appear as a very up-to-date method in low and zero energy lightweight building designs.

In the thesis study, it is aimed to develop a method that will improve the low thermal mass of lightweight building envelopes with the use of phase change materials, which is also accepted as a new generation passive approach.

The study includes the production of pumice block samples with PCM at rates of 5%, 10% and 15% and without PCM, and the determination of latent heat values and the change in thermal conductivity by conducting thermal tests of the samples in laboratories. In the experimental application study, the effect of time delay and indoor temperature fluctuations of lightweight building envelopes formed with pumice block samples without PCM and with PCM were determined.

In the study; It has been concluded that with the use of PCM, the thermal mass of the building envelope and thus the time delay can be increased, the indoor temperature fluctuations can be reduced, and the efficiency of the building energy loads, especially the cooling load, can be achieved.

KeyWords: Lightweight building envelope, Phase change material, Latent heat, Pumice block, Indoor temperature fluctuations.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Türkiye'deki enerji tüketiminin sektörel dağılımı	2
Şekil 2. Duyulur ve gizli ısı depolama	4
Şekil 3. Çalışmanın ana amacı ve alt amaçları	6
Şekil 4. FDM kullanan ilk yapı olan iglolar ve iglo montaj detayları	8
Şekil 5. Dr. Maria Telkes tarafından Amerika'da yapılan FDM konutu ve pasif ısıtma sisteminin şematik gösterimi	9
Şekil 6. (a) Alçı sıva içerisindeki mikro kapsüllerin SEM görünüşü, (b) %60 oranında mikro kapsüllenmiş parafinden oluşan FDM kompozit duvar panosu	14
Şekil 7. (a) Tuğla içerisine makro kapsül şeklinde paketlenmiş parafin uygulaması, (b) makro kapsüllerde BioPCM	14
Şekil 8. İzmir-Menderes yöresine ait bir pomza örneğinin taramalı elektron mikroskop görüntüsü	22
Şekil 9. Dünya'dan ve Türkiye'den pomza yapı malzemesi uygulama örnekleri	31
Şekil 10. FDM 'nin kullanıldığı yapı bileşenleri ve kullanım yoğunluğu	36
Şekil 11. Bina uygulamalarında kullanılan FDM çeşitleri ve kullanım yoğunluğu ...	37
Şekil 12. Çalışmalarda bina uygulamalarında kullanılan FDM birleştirme teknikleri ve kullanılma yoğunluğu	38
Şekil 13. Çalışma tipleri ve kullanım yoğunlukları	39
Şekil 14. Çalışmalarda kullanılan enerji simülasyon programları ve kullanım yoğunluğu	39
Şekil 15. Çalışma yöntemi iş akış şeması	46
Şekil 16. Deneysel çalışmanın yapıldığı atölye	49
Şekil 17. (a)Vibrasyonlu hidrolik press makinesi, (b) 30cmx30cmx5cm boyutlarındaki kalıp, (c) harç karıştırıcı, (d) elektronik hassas terazi	50
Şekil 18. (a) Pomza agregası ve çimentonun tartılması, (b) Karışımın su eklenerek karıştırılması, (c) FDM'nin tartılması, (d) Sacın yağlanması (e) Karışımın kalıba dökülmesi, (f) Press makinesinde basınç uygulanması (g) Karışımın kalıptan çıkarılması, (h) FDM'li örnekler ile FDM'siz örneğin kurumaya bırakılması	55

Şekil 19.	Hazırlanan örneklerin kuruduktan sonraki görünüşleri	56
Şekil 20.	(a) Örneklerin ısı iletkenlik katsayılarının belirlenmesi, (b) ve (c) Ölçümlerin bilgisayar programında grafiksel olarak takip edilmesi	57
Şekil 21.	(a) Diferansiyel taramalı kalorimetre cihazı, (b) DSC cihazında numunenin koyulduğu kısım	58
Şekil 22.	Referans örnek bina planı ve model görünüşü	59
Şekil 23.	Enerji simülasyonlarında ele alınan senaryolar	62
Şekil 24.	FDM'li ve FDM'siz pomza blok örneklerinin hazırlanma aşamaları	64
Şekil 25.	Hazırlanan mini kabinlerin plan ve kesiti	65
Şekil 26.	Mini kabinlerin yapılma aşamaları	66
Şekil 27.	(a) Kontrol odası, (b) kontrol odası soğutma ünitesi	68
Şekil 28.	Endüstriyel fırın dış görünüşü	69
Şekil 29.	(a) Halojen lambalar, (b) potansiyometre, (c) pironometre	69
Şekil 30.	Kontrol odasındaki uygulamada mini kabin içerisine ve dışına yerleştirilen ısı çiftleri	70
Şekil 31.	Fırın içi uygulamada ısı çiftlerinin mini kabinlere yerleştirilmiş hali	71
Şekil 32.	Kontrol odasında yapılan uygulama senaryoları	73
Şekil 33.	Kontrol odasında hazırlanan deney düzeneği	73
Şekil 34.	Endüstriyel fırın içerisinde hazırlanan deney düzeneği	74
Şekil 35.	Örneklerin ısı iletkenlik katsayılarındaki değişim	76
Şekil 36.	Özgül ısı kapasitelerinin karşılaştırılması	78
Şekil 37.	%5 FDM'li pomza bloğun DSC termogramı	79
Şekil 38.	%10 FDM'li pomza bloğun DSC termogramı	80
Şekil 39.	%15 FDM'li pomza bloğun DSC termogramı	81
Şekil 40.	Pomza blok örneklerinin gizli ısı değerlerindeki değişim	82
Şekil 41.	Trabzon ilinde %15 FDM' li örnek ile referans örneğin kullanılması durumunda elde edilen aylık ısıtma ve soğutma bina enerji yüklerinin karşılaştırılması	85
Şekil 42.	Ankara ilinde %15 FDM' li örnek ile referans örneğin kullanılması durumunda elde edilen aylık ısıtma ve soğutma bina enerji yüklerinin karşılaştırılması.....	88
Şekil 43.	Antalya ilinde %15 FDM' li örnek ile referans örneğin kullanılması durumunda elde edilen aylık ısıtma ve soğutma bina enerji yüklerinin karşılaştırılması	91
Şekil 44.	Diyarbakır ilinde %15 FDM' li örnek ile referans örneğin kullanılması durumunda elde edilen aylık ısıtma ve soğutma bina enerji yüklerinin karşılaştırılması	94

Şekil 45.	Erzurum ilinde %15 FDM' li örnek ile referans örneğin kullanılması durumunda elde edilen aylık ısıtma ve soğutma bina enerji yüklerinin karşılaştırılması	97
Şekil 46.	FDM'siz ve %5, %10 ve %15 FDM'li örneklerin pilot illerdeki yıllık ısıtma, soğutma ve toplam enerji yüklerinin karşılaştırılması	99
Şekil 47.	600W/m ² 'lik güneş ışıınım değeri uygulanması ile referans ve FDM'li kabinlerin duvar iç yüzey ve iç ortam sıcaklıklarındaki değişim	102
Şekil 48.	600W/m ² 'lik güneş ışıınım değeri uygulanarak yapılan uygulama bulgularının grafiksel gösterimi	103
Şekil 49.	800W/m ² 'lik güneş ışıınım değeri uygulanması ile referans ve FDM'li kabinlerin duvar iç yüzey ve iç ortam sıcaklıklarındaki değişim	105
Şekil 50.	800W/m ² 'lik güneş ışıınım değeri uygulanarak yapılan uygulama bulgularının grafiksel gösterimi	106
Şekil 51.	Fırın içerisinde yapılan uygulamada referans ve FDM'li kabinlerin duvar iç yüzey ve iç ortam sıcaklıklarındaki değişim	110
Şekil 52.	Fırın içerisinde yapılan uygulama bulgularının grafiksel gösterimi	111

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Bina enerji performansını etkileyen parametreler	3
Tablo 2. Faz değıştiren malzemelerin fiziksel, kimyasal ve ekonomik özellikleri ...	10
Tablo 3. Organik ve inorganik faz değıştiren malzemelerin karşılaştırılması	11
Tablo 4. FDM birleştirme tekniklerinin avantaj ve dezavantajlarının karşılaştırılması	15
Tablo 5. FDM entegre binaların simülasyonu için kullanılabilen simülasyon programları	17
Tablo 6. FDM entegre ürün ve sistemlerin ana termal karakterlerinin belirlenmesi için kullanılan test yöntemlerinin karşılaştırılması	20
Tablo 7. Ülkemizdeki pomza kayaçlarının genel fiziksel özellikleri	23
Tablo 8. Türkiye pomza rezervleri	24
Tablo 9. Pomzanın kullanım alanları dağılımı	25
Tablo 10. Pomza blok örnekleri ve fiziksel özellikleri	26
Tablo 11. Pomza blok genel özellikleri ve bina uygulamalarında sağladığı avantajlar	27
Tablo 12. TS EN 1008 'e göre karma suyuunda olması gereken özellikler	29
Tablo 13. İncelenen bilimsel yayınlardan elde edilen çıkarımlar	40
Tablo 14. MikroCapsPCM25-slurry malzemesinin termo-fiziksel özellikleri	47
Tablo 15. (a) Mahfazalı Sıcak Plaka Cihazı ve özellikleri, (b) Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) cihazı ve özellikleri	52
Tablo 16. Örneklerde kullanılan malzemeler ve kullanım miktarları	53
Tablo 17. Kullanılan malzemelerin yoğunluk ve hacimleri.....	54
Tablo 18. Örnek binanın, bina kabuğu bileşenlerinin fiziksel ve boyutsal özellikleri	59
Tablo 19. Enerji Simülasyon çalışmasında kullanılan parametreler	60
Tablo 20. FDM'li duvar modellerinin fiziksel ve boyutsal özellikleri	61
Tablo 21. 2011-2020 yılları arasında Türkiye'nin yıllık ortalama güneşlenme verileri	67
Tablo 22. Data Logger ve özellikleri	71
Tablo 23. Termal kamera ve özellikleri	72
Tablo 24. Pomza blok örneklerinin ısıl iletkenlik katsayılarının karşılaştırılması	75

Tablo 25.	Örneklerin 5-45 °C aralığındaki ölçüm sonuçları ve ortalama Cp değerleri	77
Tablo 26.	Örneklerin DSC termogramından elde edilen erime sıcaklığı ve gizli ısı değeri	81
Tablo 27.	Örneklerin ısı iletkenlik katsayıları, özgül ısı değerleri, yoğunlukları ve gizli ısı değerleri	82
Tablo 28.	Trabzon ilinde örnek binanın aylık ısıtma, soğutma ve toplam enerji yükleri	84
Tablo 29.	Ankara ilinde örnek binanın aylık ısıtma, soğutma ve toplam enerji yükleri	87
Tablo 30.	Antalya ilinde örnek binanın aylık ısıtma, soğutma ve toplam enerji yükleri	90
Tablo 31.	Diyarbakır ilinde örnek binanın aylık ısıtma, soğutma ve top. enerji yükleri	93
Tablo 32.	Erzurum ilinde örnek binanın aylık ısıtma, soğutma ve toplam enerji yükleri	96
Tablo 33.	%0, %5, %10 ve %15 FDM'li örneklerin pilot illerdeki yıllık ısıtma, soğutma ve toplam enerji yükleri ve elde edilen verim	98
Tablo 34.	600W/m ² 'lik güneş ışı nım değeri uygulanarak yapılan deneye ait bulgular	101
Tablo 35.	800W/m ² 'lik güneş ışı nım değeri uygulanarak yapılan deneye ait bulgular	104
Tablo 36.	Referans ve %15 FDM'li mini kabinlerin duvar yüzeyine 800W/m ² şiddetinde ısı uygulanması sırasında alınan termal kamera görüntüleri	107
Tablo 37.	Fırın içerisinde yapılan deneysel uygulama bulguları	109

KISALTMALAR VE SEMBOLLER DİZİNİ

AB	: Avrupa Birliği
ASTM	: Amerikan Test ve Malzeme Enstitüsü
BEP	: Bina Enerji Performansı
Bep-Tr	: Bina Enerji Performansı Yazılımı
BioPCM	: Organik FDM
cp	: Özgül ısı kapasitesi (J/g.derece)
DIN	: Alman Standartları Enstitüsü
DSC	: Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
DTA	: Diferansiyel Termal Analiz
EKB	: Enerji Kimlik Belgesi
EPBD	: Binalarda Enerji Performansı Direktifi
FDM	: Faz Değiştiren Malzeme
HVAC	: Isıtma, Havalandırma ve Soğutma
JIS	: Japon Standartları Enstitüsü
OECD	: İktisadi İşbirliği ve Kalkınma Teşkilatı
PVC	: Polivinil Karbon
Q	: Termal Enerji (j/g)
R	: Isıl direnç katsayısı ($m^2 K/W$)
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskopu
T	: Sıcaklık ($^{\circ}C$)
TS	: Türk Standartları
TS EN	: Avrupa normlarında Türk Standardı
U	: Isı geçirgenlik katsayısı (W/m^2K)
USGS	: Amerikan Jeoloji Araştırmaları Kurumu
λ	: Isıl iletkenlik katsayısı (W/mK)

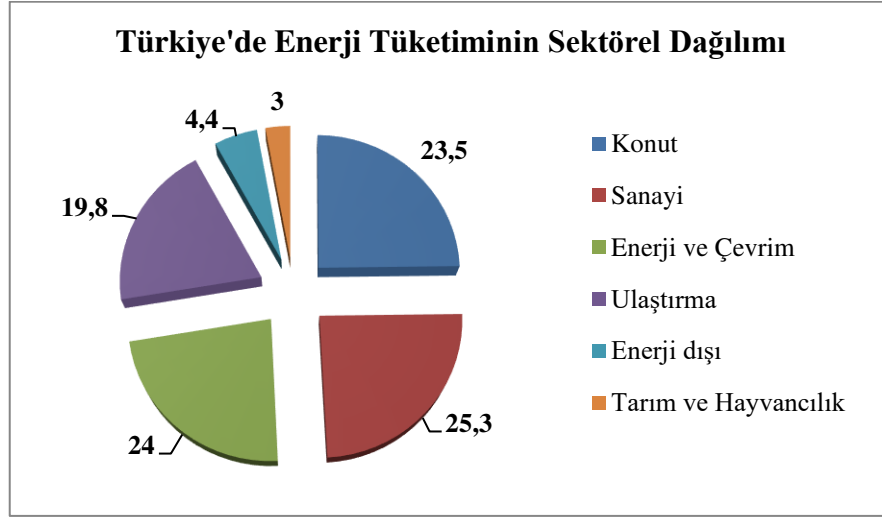
1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Teknolojik gelişmeler, ekonomideki büyüme, nüfus artışı ve yaşam standartlarının değişmesi dünya genelinde enerji talebinde ciddi bir artışa sebep olmuştur. Tüketilen enerjinin büyük oranda fosil kaynaklı yakıtlardan karşılanması, bu yakıtlardan kaynaklı çevresel sorunların oluşmasına yol açmıştır. Oluşan bu sorunlar yaşam kalitesini ve ülke ekonomilerini kötü etkilemektedir. Bundan kaynaklı olarak son yıllarda enerjiyi kullanan her sektörde enerjinin verimli kullanımı, sürdürülebilirlik ve yenilenebilir enerji kaynak kullanımına yönelik çalışmalar hız kazanmıştır.

Ülkemiz, İktisadi İşbirliği ve Kalkınma Teşkilatı (OECD) ülkeleri içerisinde geçtiğimiz 20 yıllık dönemde enerji talep artışının en hızlı gerçekleştiği ülkelerden biri durumuna gelmiştir [URL-1]. Türkiye'nin ekonomik büyüme ve tüketim kalıplarındaki gelişme ile birlikte artan enerji talebi, yerli kaynaklar yerine ağırlıklı olarak dış kaynaklardan karşılanmakta ve bu durum enerji arz güvenliği sorununun sürekli olarak gündemde kalmasına neden olmaktadır. Yakın gelecekte Türkiye'nin gelişmiş ülkelere kıyasla yüksek olan enerji yoğunluğunun düşürülerek enerjide arz-talep dengesinin sağlanması, enerji verimliliği alanında iyileştirmeler yapılması, dışa bağımlılık ve bunlara bağlı risklerin azaltılması sürdürülebilir kalkınma açısından büyük önem arz etmektedir. Bu amaçla Türkiye Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı hazırlanmış, bu plan kapsamında Türkiye'de de 2023'e kadar toplam enerji tüketiminin %20 oranında azaltılacağı ve bunda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasının önemli bir payı olacağı öngörülmüştür.

Türkiye'de enerji tüketiminin son yıllardaki sektörel dağılımı incelendiğinde, en yüksek tüketimin %25,3 ile sanayi sektöründe, %24 ile enerji ve çevrim sektöründe ve %23,5 ile konut sektöründe, daha sonra ise sırası ile %19,8 ile ulaştırma, %4,4 ile enerji dışı ve %3 ile tarım ve hayvancılık sektöründe gerçekleştiği görülmektedir [URL-2]. Şekil 1'de 2018 yılı verilerine göre Türkiye'deki enerji tüketiminin sektörel dağılımı görülmektedir



Şekil 1. Türkiye’deki enerji tüketiminin sektörel dağılımı [URL-2].

Şekil 1 'de de görüldüğü üzere binalarda tüketilen enerji toplam enerji tüketiminde önemli bir paya sahiptir. Bu nedenle Avrupa’da binaların enerji verimliliğini artırma ve karbon salınımını azaltma amacıyla 2002 yılında Binalarda Enerji Performansı Direktifi (2002/91/EC) yürürlüğe girmiştir. Direktif Avrupa’da hem mevcut hem de yeni yapılacak binalarda enerji performansı değerlendirmesine ilişkin belirli standartlar ve ortak bir yöntem getirmenin yanı sıra, düzenli bir denetim ve değerlendirme mekanizması kurarak, binalarda enerjinin daha verimli kullanılmasını sağlamayı amaçlamaktadır [54]. Daha sonra ihtiyaç duyulan ilave gereklilikler doğrultusunda, 2010 yılında Binalarda Enerji Performansı Direktifi revize edilerek EPBD- recast olarak yayımlanmıştır. EPBD 2010/31/EU kapsamında, 2020 yılında tüm Avrupa Birliğinin karbon salınımının 1990 yılındaki seviyelerin % 20 altına düşmesi, tüm enerji tüketiminin % 20 azaltılması, kullanılan enerjinin %20’sinin yenilenebilir kaynaklardan sağlanması ve tüm binaların neredeyse sıfır enerjili olması hedefleri belirlenmiştir.

Enerji verimliliği çalışmaları kapsamında enerji performansı yüksek binalar tasarlamak ve mevcutta var olan binaları enerji korunumlu olarak revize etmek bütün dünyada olduğu gibi enerji kaynaklarını sağlama bakımından yüksek oranda dışa bağımlı olan ülkemiz açısından da son yıllarda oldukça önem arz etmiştir. Bu amaçla ülkemizde 2008 yılında AB’nin 2002/91/EC sayılı "Binalarda Enerji Performansı Direktifi" (EPBD) baz alınarak "Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği" çıkarılmıştır. Bu yönetmeliğin amacı dış iklim şartlarını, iç mekan gereksinimlerini, mahalli şartları ve maliyet etkinliğini

de dikkate alarak, bir binanın bütün enerji kullanımlarının değerlendirilmesini sağlayacak hesaplama kurallarının ve önemli oranda tadilat yapılacak mevcut binalar için minimum enerji performans gereklerinin belirlenmesini düzenlemektir [55]. Binalarda Enerji Performansı yönetmeliğiyle beraber Avrupa Direktifi'nin öngördüğü gibi her binaya Enerji Kimlik Belgesi (EKB) alma zorunluluğu getirilmiştir. Yönetmelik kapsamına giren binaların yıllık m² başına düşen enerji tüketim miktarını ve buna bağlı CO₂ salınımını gösteren Enerji Kimlik Belgesinin çıkarılmasında kullanılan Bina Enerji Performansı Yazılımı (Bep-Tr) ise 2010 yılı sonu itibari ile kullanılmaya başlanmıştır.

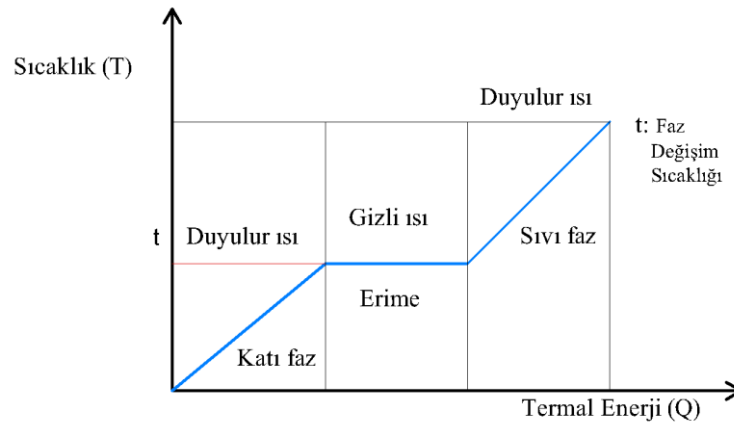
Binalarda enerji verimliliği, binalarda yaşam standardının düşüşüne yol açmadan, gerekli konfor koşullarının sağlanmasında kullanılan enerji miktarının azaltılmasıdır. Bina enerji performansını etkileyen parametrelerin dikkate alınması ile yapılan tasarımlar sayesinde pasif iklimlendirmeden maksimum düzeyde faydalanarak binalarda istenen konfor koşullarının önemli bir kısmı sağlanabilmekte ve böylece kullanım süresi boyunca, ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatmaya bağlı gereksinimler için gerekli ek enerji ihtiyacı minimuma indirilebilmektedir. Bina enerji performansını etkileyen parametreler Tablo 1 'de verilmiştir. Bu parametreler kullanıcıya, binaya ve iklime bağlı parametreler olmak üzere üç grupta incelenebilir.

Tablo 1. Bina enerji performansını etkileyen parametreler

Kullanıcıya İlişkin Parametreler	İklime İlişkin Parametreler	Binaya İlişkin Parametreler
- Metabolizmadüzeyi - Giysi türü - Kullanıcının mekandaki konum ve duruş şekli	Dış İklimsel Değişkenler - Güneş ışınlamı - Dış hava sıcaklığı - Dış hava nemliliği - Rüzgar İç İklimsel Değişkenler - İç hava sıcaklığı - İç hava nemi - İç hava hareketi - İç yüzey sıcaklığı	- Binanın bulunduğu yer - Binanın yönlendiriliş durumu - Binanın diğer binalara göre konumu - Bina formu - Bina kabuğunun optik ve fiziksel özellikleri - Güneş kontrol ve doğal havalandırma sistemleri

Bina enerji performansını etkileyen parametreler içerisinde binaya ilişkin parametreler grubunda yer alan bina kabuğu parametresi ısı kayıp ve kazanç miktarının optimize edilmesinde en önemli parametredir. İç yüzey sıcaklığı ve iç hava sıcaklığı bina kabuğunu oluşturan elemanların fiziksel ve boyutsal özelliklerine göre belirlenir. Bu nedenle son yıllarda binaların enerji tüketimini daha düşük maliyetler ve daha yüksek getiriler ile azaltma amacı ile bina kabuğunda alınan önlemler üzerine yapılan çalışmaların sayısı oldukça artmıştır. Bu önlemlerden biri de hafif binalardır. Avrupa Birliği "Binalarda Enerji Performansı Direktifi" ile hafif binaları teşvik etmektedir. Fakat hafif binaların en büyük dezavantajı hafif bina kabuklarının düşük termal kütleleri nedeniyle büyük sıcaklık dalgalanmalarına meyilli olmalarıdır. Bu nedenle hafif binaların termal kütlelerinde iyileşme sağlayacak önlemlerin geliştirilmesi büyük önem kazanmaktadır.

Bina kabuğunun termal kütlesinde enerji, duyulur ısı ve gizli ısı olmak üzere iki farklı şekilde depolanabilmektedir. Isının, bina kabuğunu oluşturan malzemenin sıcaklığındaki değişim yoluyla bina kabuğu kütlesinde depolanmasına "duyulur ısı depolama" denir. Beton, tuğla, ahşap ve cam yüksek ısı kapasiteleri ile ideal duyulur ısı depolama malzemeleridir. Isının, faz değişimi yoluyla bina kabuğu kütlesinde depolanmasına ise "gizli ısı depolama" denir. Faz değiştiren malzemeler (parafin, tuz hidrat, yağ asitleri v.b) gizli ısı depolayan malzemelerdir. Faz değişimi esnasında hacimsel olarak değişime uğrarlar ve belli bir miktar enerjiyi bünyelerinde depolarlar. Erime gizli ısı olarak adlandırılan bu enerji, katı-sıvı faz değişimine sahip malzemelerde, katı-katı faz değişimine sahip malzemelere oranla genellikle daha yüksek değerdedir. Şekil 2 'de duyulur ve gizli ısının grafiksel anlatımı verilmiştir.



Şekil 2. Duyulur ve gizli ısı depolama [56].

Günümüzde güneş enerjisini bünyesinde termal enerji olarak depolayan faz değıştiren malzemeler, düşük ve sıfır enerjili hafif bina tasarımlarında oldukça güncel bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yöntemin çalışma prensibi, güneşin var olduğu saatlerde enerjinin bina kabuğundaki faz değıştiren malzemede depolanması, kesintiye uğradığı akşam ve gece saatlerinde ise faz değıştiren malzemede depolanan enerjinin geri kazanılması şeklindedir.

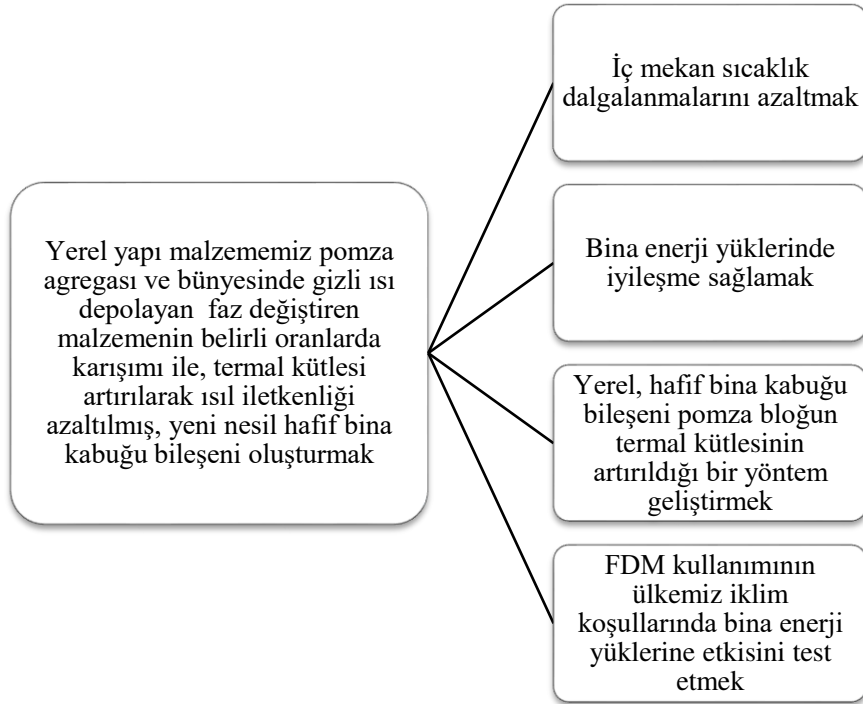
Bu çalışmada, yukarıda açıklanan önemine rağmen Türkiye’de henüz kapsamlı bir çalışmanın gerçekleştirilmediğı, hafif bina kabuklarının düşük termal kütlelerinde, yeni dönem pasif yaklaşım olarak da kabul edilen faz değıştiren malzeme kullanımı ile iyileşme sağlayacak bir yöntem geliştirilmiştir. Hafif bina kabuk bileleni pomza blok içerisine %5, %10 ve %15 oranlarında faz değıştiren malzeme karıştırılarak FDM’li pomza blok örnekleri oluşturulmuş, FDM’siz (referans) ve FDM’li örneklerin termal testleri yapılarak ısı iletkenlikleri, özgül ısı kapasiteleri ve gizli ısı değerleri belirlenmiştir. Daha sonra deneysel uygulama çalışması ile FDM’siz ve FDM’li pomza blok örnekleri ile oluşturulan hafif bina kabuğunun zaman geciktirmesi ve iç mekan sıcaklık dalgalanmalarına etkisi analiz edilmiştir. Faz değıştiren malzeme kullanımıyla bina kabuğu bileşeni pomza bloğun termal kütlelerinde artış, böylece iç mekan sıcaklık dalgalanmalarında azalma ve dolayısı ile de bina enerji yüklerinde iyileşme elde edilebileceğı belirlenmiştir.

1.2. Çalışmanın Amacı

Hafif bina kabuklarının termal kütlelerinin iyileştirilmesi ile binalardaki enerji tüketimleri azaltılabilmektedir. Bunu başarmak, bina kabuklarını oluşturan yapı elemanları olan çatı, duvar, döşeme ve pencere konstrüksiyonlarında kullanılan malzeme seçimlerinin doğru yapılmasına bağlıdır. Bir duvar konstrüksiyonu enerji etkin olabildiğı gibi ekonomik olarak da etkin olabilmelidir. Bu bağlamda, bu çalışmada kolay elde edilebilir, sağlıklı ve ekonomik özellikleri ile ön plana çıkan yerel yapı malzememiz pomza bloğun duvar konstrüksiyonu olarak kullanılmasına karar verilmiştir. Bu malzemenin enerji etkinliğini artırabilmek için üretim aşamasında karışımına gizli ısı depolayan FDM (faz değıştiren malzeme) belirli oranlarda karıştırılarak, termal kütlesi artırılmış ve ısı iletkenliği azaltılmıştır. Önerilen yeni FDM’li pomza blok ile bina kütlelerinin hafifletilmesi ve iç mekan sıcaklık dalgalanmalarının azaltılması amaçlanmıştır. Böylece mimarlara ve yapı sektörüne geleneksel konut örneklerindeki kalın taş duvarlar ile elde edilen zaman

geciktirmesi ve minimum sıcaklık dalgalanmaları etkisini hafif bina kabukları ile elde etme imkanı sunulmuştur. Ayrıca çalışma ile son yıllarda oldukça güncel bir malzeme olan faz değiştiren malzemenin ülkemiz iklim koşullarında kullanımı ve sonuçları incelenmiştir. Çalışmanın ana amacı ve alt amaçları Şekil 3 'te verilmiştir.

Günümüzde FDM üzerine yapılmış birçok araştırma olmasına rağmen, bu konudaki mühendislik literatürünün yetersiz olduğu ve gerçek koşullarda yapılmış deneysel çalışmalara ihtiyaç duyulduğu bilinmektedir. FDM' lerin her koşulda yapıda kullanıma uygun, düşük maliyetli ve sürdürülebilir bir malzeme olarak geliştirilmesi önem arz etmektedir. Literatür araştırması sonucunda ülkemizde FDM üzerine yapılan çalışma sayısının az olduğu görülmüştür. Diğer yandan tez çalışmasında kullandığımız ana malzeme pomzanın; sahip olduğu avantajları, yerel bir malzeme oluşu ve hafif duvar ve asmolon döşeme malzemesi olma özelliği bu malzemenin ülkemiz açısından geliştirilmesinin büyük fayda sağlayabileceğini göstermektedir. Dolayısıyla FDM ile yapılan çalışmaların az oluşu, deneysel çalışmalara olan ihtiyaç ve pomza gibi yerel, sağlıklı ve kolay elde edilebilir bir malzemenin performansının artırılma ihtiyacı bu çalışmanın özgün değerini ortaya koymaktadır.



Şekil 3. Çalışmanın ana amacı ve alt amaçları

1.3. Çalışmanın Kapsamı

Binalarda enerji verimliliği elde edebilmek için, hafif binaların termal kütlelerinin artırılması ve bu sayede iç mekan sıcaklık dalgalanmalarının azaltılması amacı ile yapılan bu çalışmada termal kütlesi arttırılacak yapı malzemesi olarak yerel ve hafif olması nedeni ile pomza blok tercih edilmiştir. Literatür araştırması sonucunda faz değiştiren malzeme olarak parafin bazlı malzemenin, birleştirme tekniği olarak ise mikro kapsülleme tekniğinin bina uygulamalarında çoğunlukla tercih edildiği görülmüştür. Bu nedenle Almanya'da Rubitherm firması tarafından üretilerek Slovenya'da mikrokapsüllenen parafin bazlı MikroCapsPCM25-slurry isimli malzeme çalışmada kullanılacak malzeme olarak seçilmiştir. Bu kapsamda yapılan deneysel çalışmalarda,

- İlk olarak asidik pomza agregası, çimento ve su karışımı ile referans pomza blok örneği üretilmiştir. Daha sonra üretilen pomza blok içerisine %5, %10 ve %15 oranlarında MikroCapsPCM25-slurry malzemesi katılarak FDM'li pomza blok örneklerinin 30cmx30cmx5cm boyutlarında atölye ortamında üretimi gerçekleştirilmiştir.

- FDM'siz (referans) pomza bloğun ve FDM'li blokların ısı iletkenlik katsayıları (λ) ve özgül ısı kapasiteleri (cp) ile FDM'li blokların gizli ısı değerleri laboratuvar ortamında yapılan ölçümler ile belirlenmiştir.

- FDM'siz ve FDM'li pomza blok örneklerinin bina enerji yüklerine etkisini öngörebilmek için, yapılan literatür incelemesi ile bina enerji simülasyon programları içerisinde kullanımı en fazla tercih edilen programlardan biri olduğu belirlenen Design Builder enerji simülasyon programı ile simülasyonlar yapılmıştır. Hazırlanan örnek pomza blokların ısı iletkenlik katsayıları, yoğunlukları, özgül ısı kapasiteleri ve gizli ısı değerleri ile Türkiye'deki beş iklim bölgesinden seçilen pilot illere ait iklim verileri Design Builder simülasyon programına girilmiştir. Programda oluşturulan model bina üzerinde yapılan simülasyonlar sonucunda, deneysel çalışma ile hazırlanan FDM'siz ve FDM'li pomza blok örneklerinin bina enerji yüklerine etkisi belirlenmiştir.

- Çalışmanın son aşaması olan deneysel uygulama aşamasında ise 3'er adet FDM'siz ve %15 FDM'li pomza blok örnekleri üretilmiş ve bu örnekler kullanılarak 40cmx35cmx40cm boyutlarında, üç cephesi opak ve saydam cephesi çift tabakalı camdan oluşturulmuş FDM'siz ve FDM'li 1'er adet mini kabin hazırlanmıştır. Daha sonra hazırlanan kabinler aracılığı ile örnek blokların iç mekan sıcaklık dalgalanmalarına etkisi

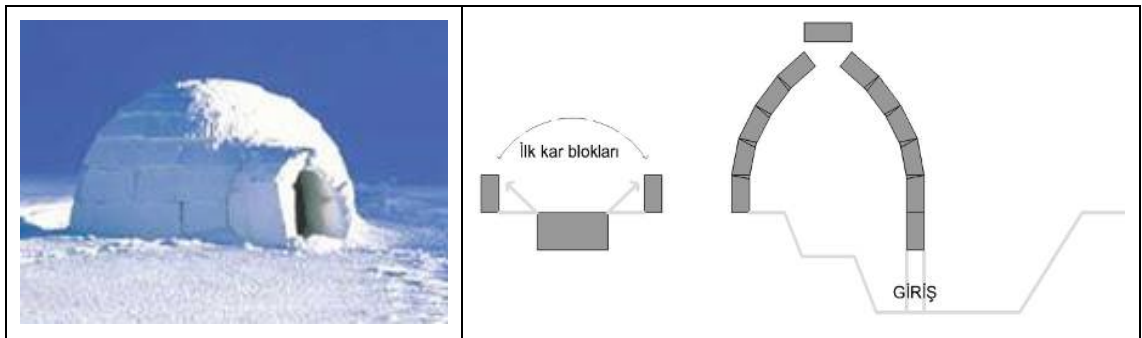
ve zaman geciktirmesi karşılaştırmalı olarak laboratuvar ortamında yapılan deneysel uygulamalarla analiz edilmiştir.

1.4. Faz Değiştiren Malzemeler (FDM)

Avrupa Birliği'nde "EPBD – Binalarda Enerji Performansı Direktifi" ile birlikte belirlenen hedeflere ulaşabilmek için yüksek ısı yalıtımı seviyeleri ve hafif binalar teşvik edilmektedir [34]. Hafif binaların en büyük dezavantajı düşük termal kütleleri nedeniyle büyük sıcaklık dalgalanmalarına meyilli olmalarıdır. Bina kabuğunda, enerjiyi gizli ısı olarak depolayan faz değiştiren malzeme (FDM) kullanımı ile duvar termal kütlesini arttırmak, sıcaklık dalgalanmalarını ve bina enerji yükünü azaltmak mümkündür.

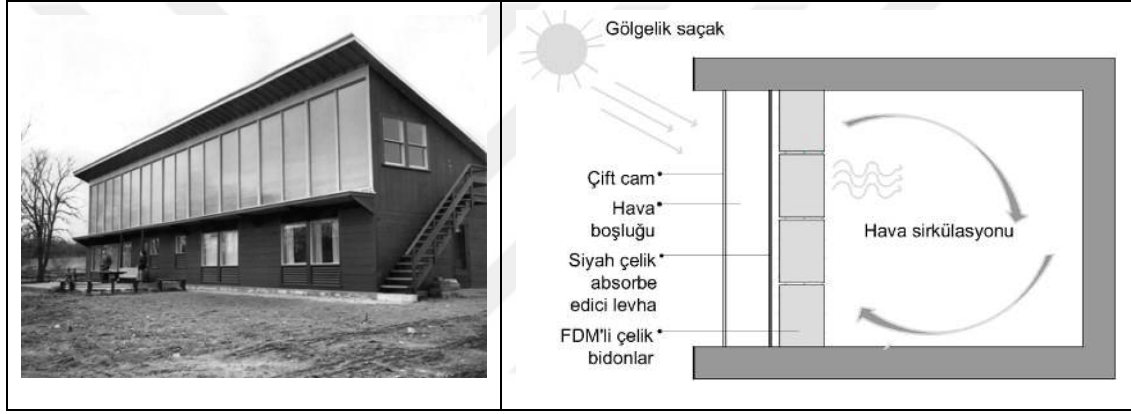
1.4.1. Tarihçe

Su/buz yaklaşık 330 kJ/kg'lık gizli ısı ile insan çevresinde terk edilmiş olarak bulunan en iyi bilinen FDM'dir. Bu nedenle kuzey kutup bölgelerinde yaşayan halk geleneksel yapıları olan igloların yapımında yüzyıllardır faz değişimi-gizli ısı konseptini kullanmaktadır. İglo yöre halkını soğuktan koruyan, oldukça efektif, yapımı kolay, malzeme olarak buz ve karın kullanıldığı, aynı anda hem ısı yalıtımı hem de enerji depolama görevi gören bir yapıdır. Gonzales-Espada'ya [57] göre dış hava sıcaklığının -45°C olduğu en sert kış dönemlerinde bile, igloların iç sıcaklığı 9°C - 15°C arasında değişim göstermektedir. Şekil 4 'te iglo ve montaj detayları görülmektedir.



Şekil 4. FDM kullanan ilk yapı olan iglolar ve iglo montaj detayları [51].

İğlolardan yola çıkarak araştırmaların hız kazandığı FDM'ler ilk kez 1948 yılında Massachusetts Enstitüsündeki Araştırmacı Dr. Maria Telkes tarafından Amerika'nın Massachusetts şehrinde bulunan bir konutta kullanılmıştır. Konutun güney cephesinde oluşturulan pasif ısıtma sisteminin bir parçası olarak tuz hidrat ile doldurulmuş siyah renkli metal bidonlar kullanılmıştır. Trombe duvarı mantığında oluşturulan sistemle, gündüz cam yüzey ile metal FDM'li bidonlar arasında kalan hava boşluğunda toplanan solar enerji, bidonlar içindeki FDM'lerde depolanarak ısıнын düştüğü akşam saatlerinde iç mekana aktarılmıştır [51]. Şekil 5 'te Dr. Maria Telkes tarafından yapılan FDM konutu ve pasif ısıtma sisteminin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 5. Dr. Maria Telkes tarafından Amerika'da yapılan FDM konutu [URL-3] ve pasif ısıtma sisteminin şematik gösterimi

Bu çalışma gerçek koşullarda FDM kullanılmış yapı bileşenine sahip binaların inşa edilmesi ile yapılan deneysel çalışmaların sayısının artması bakımından büyük öneme sahiptir. Maria Telkes konutu bu anlamda özellikle 1980'lerden günümüze kadar geçen sürede solar enerjinin FDM'de gizli ısı olarak depolandığı bir çok araştırma projesine örnek teşkil etmiştir. Trombe duvar termal kütlesi olarak kullanılan ilk çalışmaların ardından, FDM çeşidi olarak tuz hidrat, organik yağ asidi, ötektik karışımlar ve parafinin geleneksel yapı malzemelerine karıştırılarak kullanıldığı çalışmalar yapılmıştır. Hem Amerika'da hem de Avrupa'da yeni teknolojiler ile beraber araştırmalar devam etmektedir.

1.4.2. FDM Çeşitleri

Dar bir sıcaklık aralığında yüksek miktarda enerji depolamak zorunda olan faz değiştiren malzemeler, geleneksel yapı malzemeleri (beton, taş) ile kıyaslandığında çok daha hafif olmalarına rağmen geleneksel yapı malzemelerinden 15 kat daha fazla ısıyı birim hacimlerinde depolayabilmektedirler. Bu özelliklerinden kaynaklı olarak FDM'ler hafif ve yüksek termal kütleye sahip bina uygulamalarında kullanımı uygun bir malzeme olarak karşımıza çıkmaktadır [51]. FDM'nin fiziksel, kimyasal ve ekonomik özellikleri, bina kabuğunda kullanıma uygunluğu için önemlidir. Tablo 2 'de faz değiştiren malzemelerin fiziksel, kimyasal ve ekonomik özellikleri verilmiştir.

Tablo 2. Faz değiştiren malzemelerin fiziksel, kimyasal ve ekonomik özellikleri

Fiziksel Özellikler	Kimyasal Özellikler	Ekonomik Özellikler
- Faz değişim sıcaklığı; - Erime-katılaşma işlemleri için minimum sıcaklık aralığı; - Süper soğuma; - Yüksek gizli ısı depolama; - Hassas ısı emilimine ek olarak yüksek özgül ısı kapasitesi; - Isının kısa sürede depolanması ve serbest bırakılması için iyi ısı iletkenliği; - Faz değişimleri esnasında hacimde küçük değişiklikler; - Kararlı erime ve katılaşma döngüleri; - Yeterli kristalleşme hızı	- Birçok erime-katılaşma döngüsünden sonra bozunmama; - Diğer yapı malzemeleriyle iyi uyumluluk. - Yeterli mekanik stabilite - Yanmaya karşı dirençlilik	- Yaşam döngüsü sonunda tekrar kullanıma uygunluk; - Rekabetçi fiyat.

Faz değiştiren malzemeler organik ve inorganik bileşikler olmak üzere iki sınıfa ayrılır. Tablo 3 'te organik ve inorganik FDM'lerin karşılaştırılması yapılmıştır.

Tablo 3. Organik ve inorganik faz değiştiren malzemelerin karşılaştırılması [17,49,51].

Organik FDM'ler	Parafinler	Mineral balmumu ve yağa verilen isimdir. En yaygın kullanıma sahip FDM 19-24 °C faz değişim sıcaklık aralığına sahip Hammaddesi petrol olduğu için pahalı
	Yağ asitleri ve esterleri	Isı depolama yoğunluğu parafine benzer Faz değişim sıcaklığı parafinler gibi yüksek Asidik yapıları nedeniyle çevre ile reaksiyona girmeye meyilli
	şeker alkoller	Karbonhidratın D-sorbitol, ve xylitol gibi hidrojene edilmiş formudur. Parafin ve yağ asitlerinden daha yüksek gizli ısıya ve yoğunluğa sahiptirler. 90°C -200 °C arasındaki faz değişim sıcaklıkları nedeni ile bina uygulamaları için uygun değillerdir
	BioPCM'ler	Parafine alternatif olarak gıda endüstrisi atık ürünlerinin kullanımı ile geliştirilmiş yeni bir FDM çeşididir, Maliyeti daha düşük (Hammaddesi petrol değil), Parafin gibi yanıcı değil, Çevreci, Hayvan yağlarından ve soya, kakao ve palm yağı gibi bitkisel yağlardan meydana gelir, Bozulmaya uğramadan binlerce kere faz değişimi geçirebilen zehirli olmayan bir malzeme, Sürdürülebilir.
İnorganik FDM'ler	Tuz hidratlar	Binalarda en yaygın kullanılan inorganik FDM
	Metalikler	Çok yüksek faz değişim sıcaklığına sahip olduğu için binalarda kullanıma uygun değil
	Organik FDM	
	İnorganik FDM	
Avantaj	Aşındırıcı değil Kimyasal dayanımı iyi Süper soğuma az Yapı malzemeleri ile kullanıma uygun Düşük buhar basıncı Yüksek gizli ısıya sahip	Yüksek gizli ısıya sahip Yüksek ısı iletkenlik Ekonomik Yanıcı değil

Tablo 3 'ün devamı

Dezavantaj	Düşük ısı iletkenlik Faz değişimi esnasında oluşan hacimsel değişim Yanıcılık	Metallerle birlikte kullanıldığında aşındırıcı Ayrışabilir Süper soğumaya sahip
Faz değişim sıcaklık aralığı	19 - 28 °C	25 - 35 °C
Gizli ısı	120 - 280 kJ/kg	120 - 280 kJ/kg
Yoğunluk aralığı	700 - 900 kg/m ³	1300 - 1800 kg/m ³

Faz değiştiren malzemeler içerisinde bu gerekliliklerin hepsini birden karşılayabilen bir malzeme bulunması neredeyse imkansızdır [5]. FDM'nin bulunduğu ortamdaki sıcaklık düşüşü FDM katılaşma hızından daha hızlı gerçekleşirse sıvı FDM kendi donma noktasından daha soğuk olabilir. Bu sürece süper soğuma denir [51]. Süper soğuma FDM'de bozulmaya neden olarak verimini düşürür.

Çok çeşitli sıcaklıklarda eriyen ve katılaşan çok sayıda faz değiştiren malzeme mevcuttur. Fakat bina uygulamalarında kullanılan FDM'ler sınırlıdır. Bunun nedeni sadece insan konfor sıcaklığına (20°C-28°C) yakın sıcaklıklarda faz değişimine sahip FDM'lerin bina uygulamalarında kullanılabilmesidir.

1.4.3. FDM ile Birleştirme Teknikleri

FDM'ler geleneksel yapı malzemelerine doğrudan birleştirme, daldırma ve kapsülleme olmak üzere üç yöntem ile entegre edilir.

1.4.3.1. Doğrudan Birleştirme Tekniği

Doğrudan birleştirme en basit ve en ekonomik olan tekniktir. Sıvı veya toz halindeki FDM, üretim sırasında alçı, beton veya sıva gibi inşaat malzemeleriyle doğrudan karıştırılarak uygulanır. Fazla ekipman gerektirmeyen bu uygulamada, sızıntı problemleri ve bazı yapı malzemeleri ile uyumsuzluk sorunları ortaya çıkabilmektedir.

1.4.3.2. Daldırma Tekniği

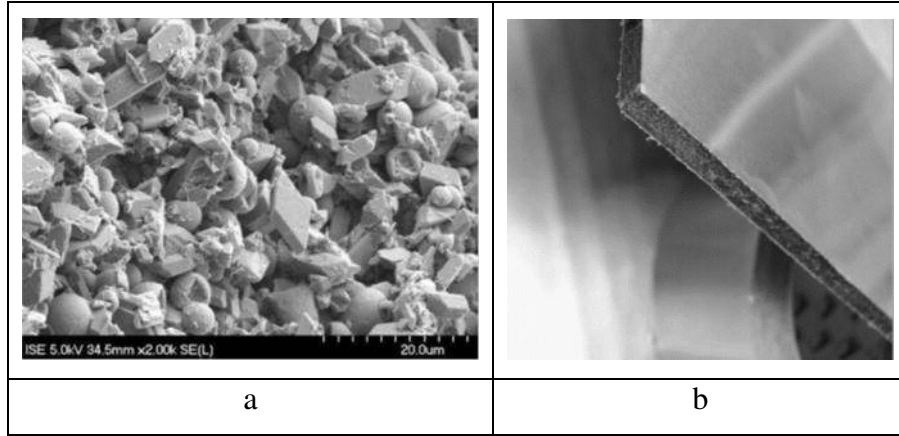
İkinci yöntem olan daldırma yöntemi, alçı levha, tuğla veya beton blok gibi gözenekli yapı malzemelerinin, erimiş FDM'nin içine daldırılarak uygulandığı tekniktir. Aynı uzun vadeli sızıntı problemleri ve bazı yapı malzemeleri ile etkileşime girme problemleri bu uygulamada da görülebilmektedir [11,50].

1.4.3.3. Kapsülleme Tekniği

Kapsülleme tekniği ise FDM' yi çevre ile zararlı etkileşimlerden korumak için bir engel görevi görerek, ısı transferi için yeterli yüzey alanı, yapısal dayanıklılık ve kolay kullanım imkanı sağlar. Mikrokapsülleme ve makrokapsülleme olmak üzere iki tip kapsülleme tekniği vardır.

1.4.3.3.1. Mikrokapsülleme

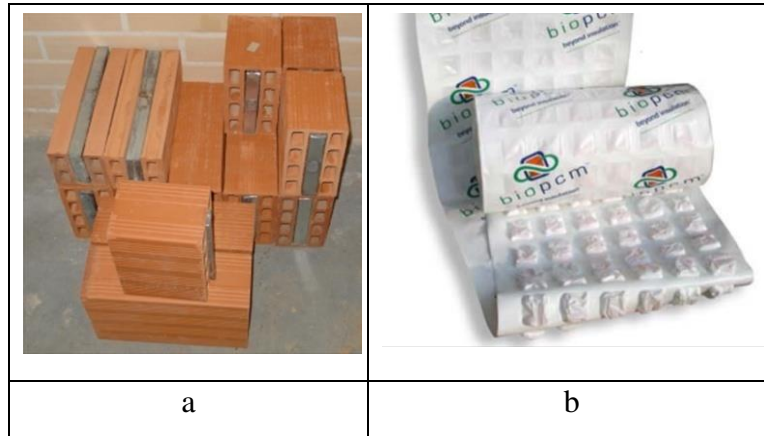
Mikrokapsülleme, mikrometre ile milimetre aralığında üretilen kapsüller ile katı veya sıvı madde damlacıklarının tek tek kaplandığı işlem olarak tanımlanmaktadır. Mikrokapsülleme tekniği FDM' lerin, çimento, kireç, beton, harç, suni mermer, dolgu macunları, boyalar, tekstil malzemeleri ve diğer kaplamalar gibi yapı malzemelerine entegrasyonuna büyük katkıda bulunmuş, faz değiştirme süreçlerinde sızıntının önlenmesini sağlamıştır. Mikrokapsülleme tekniği ile aynı zamanda, ısı değişim yüzeyi artırılarak faz değişimi sırasında FDM de meydana gelen hacim değişiminin kontrol altına alınabilmesi sağlanmıştır [49]. Şekil 6a 'da alçı sıvaya katılmış mikrokapsül FDM'lerin mikroskopik kamera (SEM) ile görünüşü, Şekil 6b 'de ise %60 oranında mikrokapsüllenmiş parafinden oluşan FDM kompozit duvar panosu görülmektedir.



Şekil 6. (a) Alçı sıva içerisindeki mikrokapsüllerin SEM görünüşü [50], (b) %60 oranında mikrokapsüllenmiş parafinden oluşan FDM kompozit duvar panosu [11].

1.4.3.3.2. Makrokapsülleme

Makrokapsülleme tekniği ise, mikrokapsülleme tekniğine kıyasla FDM'lerin kapsüllenmesi için daha düşük maliyetli bir çözümdür. Makrokapsüller alüminyum folyo gibi ısı iletkenliği yüksek bir malzeme içerisinde FDM' nin paketlenmesi ile oluşturulur. Oluşturulan makrokapsüller bina bileşen yüzeyine kaplanarak veya bileşen boşlukları doldurularak kullanılmaktadır.



Şekil 7. (a) Tuğla içerisine makrokapsül şeklinde paketlenmiş parafin uygulaması [11], (b) makrokapsüllerde BioPCM

Makrokapsüllerin amaçlanan uygulamaya iyi uyumlu şekilde tasarlanması önemlidir. Şekil 7 'de makrokapsül şeklinde paketlemelere örnekler görülmektedir. Belirli

bir FDM miktarı için gerekli olan kabın termal ve geometrik parametreleri, FDM' deki ısı transfer özellikleri üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Bu durum erime süresini ve FDM depolama elemanının performansını etkiler. Bu nedenle, Şekil 7(b)'de makrokapsüllerde paketlenmiş BioPCM ürününe olduğu gibi faz değişim işlemleri sırasında ısı transfer hızını artırmak ve hacim problemleri ve korozyonu önlemek için paketler optimize edilmelidir. Tablo 4 'te FDM birleştirme tekniklerinin avantaj ve dezavantajlarının karşılaştırılması verilmiştir.

Tablo 4. FDM birleştirme tekniklerinin avantaj ve dezavantajlarının karşılaştırılması [11, 15].

Doğrudan Birleştirme	Avantaj	Basit Ekonomik Ekipman ihtiyacı yok
	Dezavantaj	Sızıntı Yapı malzemelerine uyumsuzluk
Daldırma	Avantaj	
	Dezavantaj	Sızıntı Yapı malzemelerini uyumsuzluk
Mikrokapsülleme	Avantaj	Sızıntı yok Isı transfer yüzey alanı fazla Hacimsel değişim kontrolü Kullanım kolaylığı Yapısal dayanıklılık Duvar panosu üretimine imkan sağlama FDM' lerin dış çevreye karşı reaktivitesini azaltmak Yanıcılığı azaltma
	Dezavantaj	

Tablo 4 'ün devamı

Makrokapsülleme	Avantaj	Sızıntı yok Isı transfer yüzey alanı fazla Hacimsel değişim kontrolü Kullanım kolaylığı Yapısal dayanıklılık Mikrokapsüle göre daha ekonomik ve kullanımı yaygın Makro paketlerde alüminyum folyo kullanımı Duvar, tavan, çatı ve çatı arasında kullanıma uygun FDM' lerin dış çevreye karşı reaktivitesini azaltmak Yanıcılığı azaltma
	Dezavantaj	Zayıf termal iletkenlik Kenarlarda katılaşma eğilimi

1.4.4. FDM'nin Kullanıldığı Simülasyon Programları

Bina kabuğu uygulamalarında saf FDM'ler çok nadir kullanılmaktadır. Onun yerine Şekil 6. ve Şekil 7.'de de görüldüğü gibi karmaşık termal karakteristiklere sahip ve daha fazla girdi gerektiren FDM'ler, mikro veya makrokapsüllenmiş olarak kullanılmaktadır. Bu malzemeler ile oluşturulmuş yapı elemanlarından, ısı köprüleri de dikkate alındığında, hesaplaması oldukça karmaşık, üç boyutlu ısı geçişleri meydana gelmektedir. Hesaplamaların doğruluğu kullanılan gizli ısı verisinin güvenilirliği ile ilişkilidir. Sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ortaya çıkan gizli ısı, saf FDM'ler için çoğunlukla DSC ölçümlerinden elde edilir. Eğer bu veri bina kabuğunun termal analizi veya tüm bina enerji simülasyonlarında kullanılacaksa aşağıdaki nedenlerden ötürü önemli yanlışlıkların kaynağı olabilir.

- FDM'li bina malzemeleri homojen yapıda değildir. Bu durum termal simülasyonlarda kullanılan termal özelliklerin gelişimi için gerekli DSC verisini sınırlar.
- Mali sınırlandırmalardan dolayı, bina kabuğunda kullanılan organik FDM'ler nadiren yüksek kaliteli saf malzemelerdir. Genellikle geniş bir aralıkta farklı saflıklar ve bazen de farklı faz değişim sıcaklıklarına sahip ek FDM'ler içerebilir.
- FDM entegre bina kabukları, genellikle yangın direncini ve termal iletkenliği artırıcı karmaşık karışımlardan oluşabilmektedir.

- Bina kabuklarında kullanılan FDM'ler beton ve alçı gibi gözenekli yapı malzemelerine veya ısı yalıtımına karıştırılır. Bu durum sonuç ürünün orjinal FDM' den çok daha farklı termal karaktere sahip olmasına neden olur.

- Ayrıca bina kabuklarında FDM'ler yaygın olarak makrokapsülleme tekniği ile kullanılırlar. Bu durumda FDM kılıfının boyutu bir kabuk malzemenin termal iletkenliği ile beraber FDM 'nin faz değişim özelliklerini de etkileyebilir.

- Sonuç olarak her bir FDM paketleri veya kapsülleri arasındaki ısı alış veriş genel olarak üç boyutlu karaktere sahiptir [51].

Bina bütününe veya bina kabuğu bileşeninin termal ve enerji performans analizi için kullanılan DOE-2, EnergyPlus, BLAST, TRNSYS, ESP-r, MATLAB, RADCOOL, CLIM 2000, WUFI gibi farklı ticari programlar bulunmaktadır. Fakat sadece birkaç kapsamlı bir şekilde faz değişim sürecini ve tüm binayı simüle edebilme özelliğine sahiptir. FDM entegre binaların tüm bina ölçeğinde simülasyonunu yapabilen en yaygın kullanılan simülasyon programları Tablo 5 'te verilmiştir.

Tablo 5. FDM entegre binaların simülasyonu için kullanılabilen simülasyon programları [51].

Simülasyon Programları (Bina ölçeğinde)	Hesap Yöntemi	Ayrık Form	Isı Kapasitesi Hesaplamaları
ESP-r	Etkin ısı kapasitesi	Sonlu Hacim	Açık (Explicit)
TRNSYS Tip 204-Tip 56	Etkin ısı kapasitesi	Sonlu Eleman	Crank-Nicholson
TRNSYS Tip 222-Tip 56	Dolaylı Hesaplama	—	—
TRNSYS Tip 241-Tip 56	Entalpi metodu	Sonlu Fark	—
TRNSYS Tip 260-Tip 56	Etkin ısı kapasitesi	Sonlu Fark	Açık (Explicit)

Tablo 5 'in devamı

TRNSYS Tip 399-Tip 56	Isı kapasitesi yaklaşımına göre iki farklı metod	Sonlu Eleman	Crank-Nicholson
MATLAB	Entalpi metodu	Sonlu Hacim	Crank-Nicholson
EnergyPlus	Entalpi metodu	Sonlu Fark	Kapalı (İmplicit)

FDM entegre binaların tüm bina ölçeğinde simülasyonunu yapabilen en yaygın kullanılan simülasyon programları olan EnergyPlus, Esp-r ve TRNSYS programları;

- Isıtma ve soğutma yüklerini eş zamanlı olarak tahmin edebilme,
- Lineer olmayan iterasyona dayalı tahminlerde bulunabilme,
- Kısa süreli çözümleri temel alan dinamik değişkenleri dikkate alma,
- İç ortam için değişken zaman aralıklarına göre hesaplamalar yapılabilme,
- Mevcudun kullanılabilme ve kullanıcı tarafından oluşturulan iklimsel veri dosyalarının dışarıdan yüklenebilme,
- Güneşten yararlanma ve güneşe bağlı elde edilen ısı akışlarını hesaplayabilme özelliklerine aynı anda sahiptir [58].

1.4.5. Laboratuvar Ölçeğindeki FDM Termal Test Metotları

FDM kullanımının önündeki en önemli engel maliyetinin yüksek olmasıdır. Bina uygulamalarında FDM kullanımının maliyetini azaltmak için en etkili yöntem FDM'nin optimum konumu ve miktarının belirlenmesidir. Bu da FDM'nin termal performans özelliklerinin çok iyi bilinmesi ve anlaşılması ile mümkündür. Yapım sistemlerinin teorik ve deneysel analizleri üç boyutta gerçekleştirilebilmektedir.

- Malzeme ölçeğinde
- Sistem ölçeğinde
- Bina ölçeğinde

Laboratuvar ölçeğinde yapılan çalışmalarda FDM entegre bina ürünleri genellikle malzeme ve sistem ölçeğinde analizler ile sınırlıdır [51]. FDM bazlı malzeme ve

sistemlerin ana termal karakterlerinin belirlenmesi için kısmen ucuz ve kullanımı kolay test yöntemleri mevcuttur. Bu yöntemler;

- Diferansiyel termal analiz (DTA) yöntemi
- Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) yöntemi
- T-History yöntemi ve
- Dinamik Hot-Box yöntemleridir.

1.4.5.1. Diferansiyel Termal Analiz (DTA) Yöntemi

FDM 'nin malzeme ölçeğinde değerlendirildiği kolay bir yöntem olarak DTA yöntemi uzun zamandır kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde FDM' nin gizli ısını ölçmek için kısmen küçük ve standart malzeme örnekleri kullanılmaktadır. Bir DTA dalgası, cam geçişi, kristalleşme, erime-katılaşma ve yoğunlaşma gibi fiziko-kimyasal süreçlerin sayısı üzerine performans bilgisi sağlayabilmektedir.

1.4.5.2. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Yöntemi

DSC yöntemi de DTA yöntemi gibi gizli ısıyı ölçmek için kısmen küçük ve standart malzeme örneklerinin kullanıldığı bir yöntemdir. Bu yöntemle gizli ısı, cam geçiş sıcaklığı, kristalleşme sıcaklığı, faz değişim sıcaklığının yanı sıra oksidasyon ve termal kararlılık gibi diğer özellikler de ölçülebilmektedir. DSC aparatı enerjiyi direkt olarak ölçer ve termal iletkenlik ve ısı kapasitesinin kesin ölçülmesini sağlar. FDM'nin faz değişim sıcaklığını ve malzemenin gizli ısını belirlemeyi sağladığı için DSC, FDM' nin termofiziksel analizi için en yaygın kullanılan, en güçlü tekniklerden biridir. Fakat bazı sınırlamalar dahilinde kullanılabilir. Ayrıca DSC testi, iki malzeme arasındaki sıcaklık farkı 0 °C iken DTA yöntemine göre daha kesin sonuçlar vermektedir [51].

1.4.5.3. T- History Yöntemi

T-History yöntemi, DTA ve DSC yöntemlerine bir alternatif olarak, daha büyük ve heterojen FDM ürünlerinin test edilmesine olanak sağlayan bir yöntemdir. Bu yöntem FDM kompozit ve FDM karışımlarının termal özelliklerinin test edilmesinde kullanılır.

1.4.5.4. Dinamik Hot- Box Yöntemi

Dinamik Hot-Box Yöntemi yıllardır kullanılan ve iyi çalışan bir yöntemdir. Hot-Box ölçümleri genellikle duvar, zemin, çatı ve pencere gibi opak ve saydam bina kabuk bileşenlerinin termal performanslarını ölçmek için kullanılır. Hot-Box, strüktür aracılığıyla kaybedilen toplam ısı transfer değeri olan termal geçirgenliği (U değeri) veya strüktürün ısı akışı ile ilişkili olan ısı direncini (R değeri) ölçmek için kullanılmaktadır.

Yukarıdaki yöntemlerin özellikleri ve karşılaştırması Tablo 6 'da verilmiştir.

Tablo 6. FDM entegre ürün ve sistemlerin ana karakterlerinin belirlenmesi için kullanılan test yöntemlerinin karşılaştırılması [51].

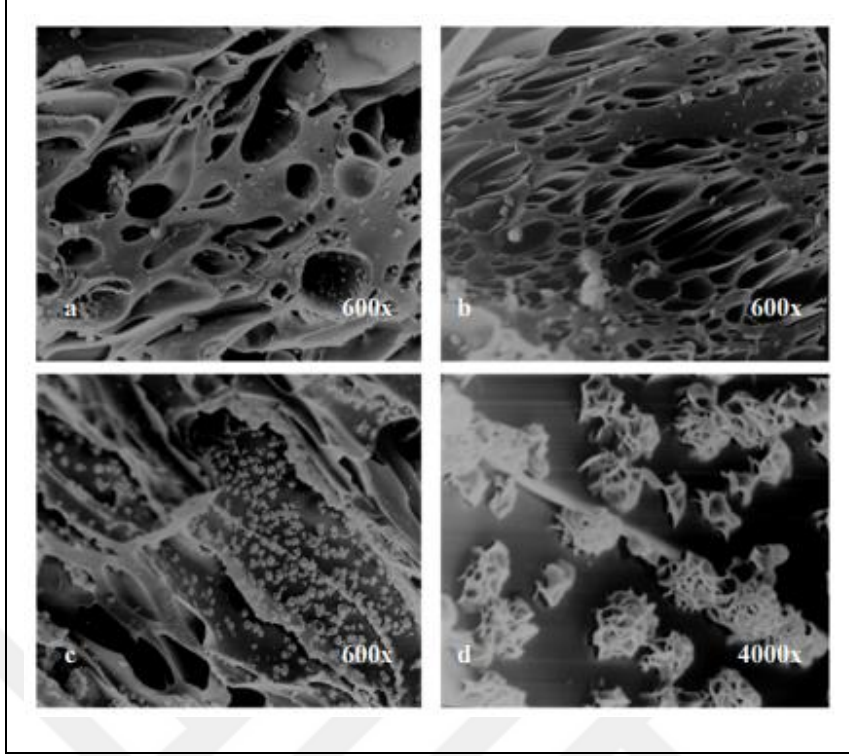
Yöntem	Ölçek	Girdi	Çıktı	Ekipman
DTA	Malzeme ölçeği	Küçük ve standart malzeme örnekleri	FDM gizli ısısı Cam geçiş sıcaklığı, kristalleşme sıcaklığı, faz değişim sıcaklığı, katılaşma ve yoğunlaşma özelliği	
DSC	Malzeme ölçeği	Küçük ve standart malzeme örnekleri	FDM gizli ısısı, Cam geçiş sıcaklığı, Kristalleşme sıcaklığı, faz değişim sıcaklığı, Katılaşma ve yoğunlaşma özelliği, Oksidasyon ve Termal kararlılık özellikleri, Enerji ölçümü, Isıl iletkenlik ve Isı kapasitesi	

Tablo 6 'nın devamı

T-History	Malzeme ölçeği	Daha büyük ve heterojen, FDM entegre bina bileşeni örnekleri	FDM kompozit ve FDM karışımlarının termal özelliklerini ölçer	
Dinamik Hot-Box	Sistem ölçeğinde	Yapı elemanı örnekleri	Duvar, zemin, çatı ve pencere gibi opak ve saydam bina kabuk bileşenlerinin termal performansları Isı geçirgenlik (U-değeri) ölçümü	
Güvenilirlik	DTA	DSC	T-History	Dinamik Hot-Box
	*	**	***	****

1.5. Bina Yapı Malzemesi Olarak Pomza

Pomza (bims, sünger taşı) gözenekli yapıda, sünger görünümlü, silikat esaslı, birim hacim ağırlığı genellikle $1\text{gr}/\text{cm}^3$ den küçük, camsı dokuda sertlik derecesi 6 olan volkanik bir maddedir. Pomza (Ponza) terimi İtalyanca bir sözcüktür. Fransızcada Ponce, İngilizcede pumice, Almandada bims adı ile ifade edilir. Türkçede ise süngertaşı, köpüktaşı, nasırtası gibi pek çok ad ile anılır. Oluşum sürecinden kaynaklı, gazların dışarıya doğru hareketi ve ani soğuması sonucu farklı ölçülerde gözeneklere sahip bir malzemedir. Bu gözenekler, hacmin yaklaşık %70–80’ini oluşturur. Gözenekler arası genelde bağlantısız boşluklar olduğundan, permabilitesi düşük, ısı ve ses yalıtımı oldukça yüksektir [URL-4]. Şekil 8 'de pomzanın gözenekli yapısı görülmektedir.



Şekil 8. İzmir-Menderes yöresine ait bir pomza örneğinin taramalı elektron mikroskop görüntüsü [59].

Pomza; rengi, gözenekliliği ve kristal suyunun olmaması özellikleri ile diğer volkanik kayalardan farklılık gösterir. Oluşumuna göre asidik ve bazik olmak üzere iki çeşit pomza vardır. Bazik pomza (skorya); koyu renkli, kahverengimsi, siyah veya kırmızımsı renklerde olup, yoğunluğu $1-2 \text{ gr/cm}^3$ dür. Alüminyum, demir, kalsiyum ve magnezyum bileşenleri daha yüksek oranda bulunması nedeniyle farklı endüstriyel alanlarda kullanılmaktadır. Pomzanın yeryüzünde en yaygın olarak bulunan ve kullanılan türü olan asidik pomza ise bazik pomzaya göre daha hafif olup, genel olarak tane yoğunluğu $1,0 \text{ g/cm}^3$ 'den azdır. Rengi, açık griden beyaza kadar değişebilir. Silis oranı daha yüksek olup, inşaat sektöründe yaygın kullanım alanı bulabilmektedir [URL-4]. Tablo 7 'de ülkemizdeki asidik ve bazik pomza kayalarının genel fiziksel özellikleri verilmiştir.

Tablo 7. Ülkemizdeki pomza kayaçlarının genel fiziksel özellikleri [URL-4].

	Asidik Pomza	Bazik Pomza
Görünüş		
Renk	Kirli Beyaz- Açık Gri	Kahverengi-Siyah
Birim hacim Ağırlığı (gr/cm ³)	< 1,0 g/cm ³	> 1,0 g/cm ³
Sertlik (MOHS)	5,5- 6	
Isı İletkenlik Katsayısı (W/mK)	0,08- 0,20	
Isınma Isısı (cal/gr ⁰ C)	0,24-0,28	
Ses Yalıtımı (dB)	40-55	
Su emme (Ağırlıkça %)	30- 70	
Buhar Difüzyon Katsayısı (μ)	5-10	
Kristal Suyu	yok	

Amerikan Jeoloji Araştırmaları Kurumunun (USGS), 2021 yılı raporunda; dünyadaki pomza rezervlerine ait kesin bilgi bulunmamakla beraber, dünyanın hemen her bölgesindeki birçok ülkede pomza yataklarının olduğu ve en büyük rezervin sırasıyla ABD, Türkiye, İtalya ve Yunanistan'da bulunduğu bilgisi verilmiştir. Raporda ayrıca dünya pomza üretim miktarının 2020 yılında 21 milyon ton civarında olduğu belirtilmiştir. 2019 yılının kesinleşmiş verilerine göre; Türkiye 7,8 milyon ton üretim miktarı ile ilk sırada yer almaktadır. Türkiye'yi sırasıyla; Ethopya (2,4 milyon ton), Yunanistan (1,02 milyon ton), Ürdün (900 bin ton), Cezayir (900 bin ton), Uganda (880 bin ton) ve Şili (800 bin ton) takip etmektedir [URL-5].

Ülkemizde birçok bölgede, çeşitli türlerde pomza rezervleri mevcuttur. Kullanılan ve işletilen pomza rezervleri açısından İç Anadolu bölgesinde yoğunlaşma görülmekte olup, Akdeniz ve Doğu Anadolu bölgelerinde de önemli derecelerde pomza rezervleri bulunmakta ve üretim çalışmaları yürütülmektedir. Tablo 8 'de Türkiye pomza rezervleri verilmiştir.

Tablo 8. Türkiye pomza rezervleri [URL-4].

Yer	Rezerv (ton)
Nevşehir	1.069.115.572
Manisa	398.267.172
Kayseri	136.329.518
Osmaniye	110.172.625
İzmir	79.473.342
Konya	72.253.259
Bitlis	40.570.132
Diyarbakır	39.744.197
Erzurum	37.665.019
Isparta	32.557.558
Van	30.553.860
Burdur	25.282.904
Iğdır	20.354.889
Mardin	19.800.149
Hatay	19.264.565
Ağrı	17.761.140
Elazığ	14.417.717
Kars	12.225.478
Aksaray	9.218.516
Ankara	2.658.576
Gaziantep	1.100.000
Niğde	752.468
Erzincan	550.747
Toplam	2.190.089.403

Pomza, Dünya'da elliden fazla endüstriyel alanda farklı amaçlarda kullanım imkânı bulmaktadır. Pomzanın kullanım alanlarına göre oransal dağılımı Tablo 9 'da verilmiştir.

Tablo 9. Pomzanın kullanım alanları dağılımı [URL-6].

Kullanım Alanı	Dünyadaki Kullanım (%)	Türkiye'deki Kullanım (%)
Hafif yapı elemanı blok üretiminde	48	80
Hafif beton üretiminde	12	2
Yalıtım malzeme türevlerinin üretiminde	9	4
Ziraat sektöründe	12	6
Tekstil sektöründe	4	3
Kimya sektöründe	8	1
Diğer sektörlerde	7	4

Tablo 9 'da görüldüğü gibi, Dünya ve Türkiye'de pomza tüketiminin büyük bir kısmını inşaat sektörü oluşturmakta, üretilen pomzanın küçük bir oranı ise tekstil, ziraat ve diğer endüstriyel sektörlerde kullanılmaktadır.

Son yıllarda enerji verimliliği kapsamında yapılan çalışmalar ve yasal düzenlemeler yapı sektörünü hafif bina uygulamalarına teşvik etmektedir. Pomza agregalar, normal kumun yaklaşık 1/3 ağırlığına eşittir [URL-6]. Pomzanın kuma göre daha hafif bir malzeme olması hafif beton, hafif sıva ve hafif yapı blokları yapımına olanak sağlamaktadır.

1.5.1. Pomza Blok ve Özellikleri

Pomza bloğun bina uygulamalarında kullanımı üç şekilde olmaktadır.

- Dış duvar
- İç duvar ve
- Asmolen döşeme elemanı.

Tablo 10 'da duvar ve asmolen blok örnekleri fiziksel özellikleri ile birlikte verilmiştir.

Tablo 10. Pomza blok örnekleri ve fiziksel özellikleri [URL-15].

	Dış Duvar	İç Duvar	Asmolen Döşeme
Ürünler			
Boyutlar (cm) (en-boy-yükseklik)	15x39x18,5 19x39x18,5 25x39x18,5	10x39x18,5 13,5x39x18,5	22x20x40 25x20x40 28x20x40 30x20x40 32x20x40
Ağırlık Sınıfı	600kg/m ³		
Isıl İletkenlik Değ.	0,18W/mK		
Mukavemet	45kgf/cm ²		
Elastisite Modülü	70kgk/cm ²		
Ses Yalıtımı	50Rw(db)		
Yangın Sınıfı	F180		

Pomzanın yapı malzemesi olarak bina uygulamalarında kullanılması bir çok avantaj sağlamaktadır. Pomza ile oluşturulmuş blokların genel özellikleri ve bina uygulamalarında sağladığı avantajlar Tablo 11 'de açıklamalarıyla birlikte verilmiştir.

Tablo 11. Pomza blok genel özellikleri ve bina uygulamalarında sağladığı avantajlar [URL-7].

Özellik	Açıklama
Isı ve ses yalıtımı yüksektir	Hafif yapı elemanı olarak kullanılan pomza blok doğal olarak ısı ve ses yalıtımı sağlamaktadır.
Rötre çatlağı yapmaz	Nem oranı yüksek ortamlarda bulunan malzemelerde rötre denilen hacimsel genleşme farklılıkları oluşarak rötre çatlakları meydana gelir. Zamanla bu çatlakların birleşmesi malzemenin dayanımını azaltan deformasyonlara sebep olur. Pomza blokların suni olarak üretilen benzer yapı elemanlarına karşı en önemli özelliklerinden biri de volkanik camsı lifli mineral yapısı sayesinde rötre çatlağı yapmamasıdır. Pomza Blokların (Bimsblok) 24 saat su içerisinde bekletilip kurutulduktan sonra boyutlarında meydana gelen değişim miktarı 0.005 mm'den daha küçüktür.
İyi bir sıva tutucudur	Pomza blokların gözenekli yapısı, agrega bağlayıcılarının çimento olması ve pomzanın kendisinin doğal çimentonun hammaddesi olan puzolan çimentosu olması gibi özellikleri onun iyi bir sıva tutucu eleman olmasını sağlamaktadır. Pomza blok yüzeyine uygulanan sıva prizlendikten sonra pomza bloklarla kaynaşarak bir bütünmüş gibi davranabilmektedir.
Depreme karşı dayanıklıdır	Pomza yüksek elastikiyete sahip bir malzeme olduğu için pomza blok diğer yapı elemanlarına göre daha fazla mukavemete sahiptir. Deprem dalgası nedeniyle kırılmaya karşı esneklik katsayısı: 70.000 kg/cm ² 'dir. Betona göre 6 kat daha esnek olduğu için şokları , kırılma ve çatlamaya uğramadan, daha kolay soğurabilir ve depreme karşı dayanıklılık sağlar.
Yangına dayanıklıdır	Erime sıcaklığı yüksek olan Pomza Blokların ateşe son derece dayanıklı olduğu DIN 4102 standartlarına göre onaylanmıştır. Erime sıcaklığı yüksek olan pomza, eridiğinde de çevreye zararlı herhangi bir gaz çıkartmadığından yangının zararlarını en aza indirir. 1100 C° yanma ısısında asgari 239 dakika alev almama, şekil ve boyut kaybetmeme, duman çıkarmama özelliğine sahiptir.
Doğaldır	Pomza bloklar sadece pomza ve çimentodan imal edildiği için doğal bir malzemedir.
Ortam nemini dengeler	Pomza bloklar ortamdaki nemi dengelerler. Bu durum buhar difüzyon kabiliyetinin iyi olduğunu gösterir.
Çevre Dostudur	Pomza bloklar yalnızca vibrasyon enerjisi ile üretildiğinden, ihtiyaç duyulan enerji çok düşüktür. Üretimde kesinlikle kimyasal veya biyolojik bir teknik kullanılmadığı için herhangi bir atık söz konusu değildir ve işçi sağlığını tehdit eden bir tehlike de yoktur.

Tablo 11 'in devamı

Hafiftir	Pomza bloğun en önemli avantajlarından biri de gözenekli yapısının etkisiyle hafif olmasıdır. Özgül ağırlığı $0,6 \text{ kg/dm}^3$ olan pomzalar diğer yapı ürünlerine göre daha hafif olduğundan bina temeline binen yükü azaltır.
Hassas boyutludur	Pomza blokların düzgün yüzeyli ve düzgün kenarlı olması duvar işçiliğinden ve sıvadan % 50 ye varan tasarruf edilmesini sağlamaktadır.

1.5.2. Pomza Bloğu Oluşturan Diğer Bileşenler

Pomza blok, pomza, çimento ve karma suyun belirli oranlarda karışımından elde edilmektedir [URL-16].

1.5.2.1. Çimento

Çimento, killi ve kalkerli malzemelerin uygun oranlarda karıştırılması ve özel fırınlarda yüksek sıcaklıkta pişirilmesi sonucu elde edilen klinkerin, uygun oranda alçı taşı ile birlikte öğütülmesi sonucu elde edilir. Çimento, yapı malzemeleri içinde hidrolik bağlayıcı özelliklere sahip, metalik olmayan, inorganik bir maddedir. Çimento su ile karıştırılıp hamur haline geldikten bir süre sonra mineral hidratlarının oluşması nedeniyle sertleşerek macun kıvamı oluşturur [URL-17].

1.5.2.2. Karma Suyu

Pomza blok yapımında kullanılan suyun görevi oluşan karışımın işlenebilirliğini ve çimento hidratasyonunu sağlamaktır. Karma suyu olarak kullanılacak suyun içerisinde bulunan yabancı maddeler hidratasyon ve kimyasal reaksiyonların hızını, sertleşmiş bloğun dayanımını ve durabilitesini etkilemektedir [60]. Kullanılacak karma suyunun olması gereken özellikler Tablo 12 'de verilmiştir.

Tablo 12. TS EN 1008 'e göre karma suyunda olması gereken özellikler [60].

	Kabul Şartı
Sıvı ve katı yağlar	Görünür lekelerden daha fazla olmamalıdır.
Deterjanlar	Herhangi bir köpük iki dakika içerisinde kaybolmalıdır.
Renk	Nitel olarak belirlenen renk açık sarı ve daha açık olmalıdır.
Askıda katı madde	Çökelti miktarı en fazla 4 ml olmalıdır.
Koku	İçilebilir suyun sahip olduğu koku haricinde koku olmamalıdır.
Asitler	$Ph \geq 4$ olmalıdır.
Organik madde	Sodyum hidroksit ilave edildikten sonra nitel olarak belirlenen renk sarıya dönük kahverengi veya daha açık olmalıdır.

İçme suyu şebekesinden alınan suyun TS EN 1008 standardında belirlenen özellikleri karşıladığı kabul edilir.

1.5.3. Pomza Blok Uygulama Örnekleri

Tablo 9 'da da görüldüğü gibi, ülkemizde üretilen pomzanın yaklaşık %82'si inşaat sektöründe;

- Hafif yapı blokları imalatında,
- Hafif beton üretiminde,
- Hafif hazır sıva ve harçların üretiminde ve
- Hafif dekoratif kaplama elemanları üretiminde

kullanılmaktadır.

Şekil 9 'da pomzanın hafif beton, hafif duvar ve döşeme blokları, hafif sıva ve dekoratif kaplama elemanları olarak kullanıldığı dünya'dan ve Türkiye'den bazı uygulama örnekleri verilmiştir.

	
Hafif beton Pantheon Tapınağı [URL-8]	Hafif duvar Sicilya'da pomza fabrikası [URL-9]
	
Hafif sıva Meksika'da bir ev [URL-10]	Hafif duvar Kaliforniya'da bir konut [URL-11]
	
Hafif duvar-Hafif beton Podium AVM [URL-12]	Hafif duvar Bulvar Konutları, İstanbul [URL-12]

Şekil 9. Dünya'dan ve Türkiye'den pomza yapı malzemesi uygulama örnekleri

Şekil 9'un devamı

	
Hafif duvar ve döşeme Kartal Doğu Oto Servisi [URL-12]	Hafif dekoratif kaplama elemanları Bahçe duvarı uygulaması [URL-13]

1.6. Literatür Araştırması

FDM üzerine yapılan ilk dönem çalışmalar tuz hidratlar üzerine yoğunlaşmıştır. Fakat bu malzemelerin süper soğuma ve faz ayrışması gibi termal davranışlar gösterdiği, tekrarlanan faz değişim döngüleri üzerinde rastgele değişime veya aşamalı olarak kaymaya neden olduğu tespit edilmiştir. Önemli ilerlemeler kaydedilmesine rağmen, bu durum güvenilir ve pratik depolama sistemlerinin geliştirilmesinde tuz hidratların kullanımının tercih edilmemesine neden olmuştur. İnorganik FDM'lerin yapısından kaynaklı sorunların bir kısmını minimize edebilmek için, yeni bir malzeme sınıfı olan parafinler, yağ asitleri ve polietilen glikol gibi susuz organik FDM'ler üzerine yoğunlaşmıştır. Bu malzemelerin ilk başlarda ikinci plana atılma sebebi; tuz hidratlara göre daha maliyetli ve birim hacim başına biraz daha düşük ısı depolama kapasitesine sahip olmalarıdır. Fakat daha sonra bu malzemelerin bazılarının fiziksel ve kimyasal stabilite, iyi termal davranış ve ayarlanabilir geçiş bölgesi gibi güçlü avantajlara sahip olduğu anlaşılmıştır [21].

Son yıllarda ise BioPCM ler dünya FDM pazarında gittikçe artan bir ilgiye sahiptir. Bunun nedeni BioPCM'lerin maliyetlerinin daha düşük olması ve petrol bazlı parafinde meydana gelen fiyat dalgalanmalarının BioPCM'lerde olmamasıdır. Ayrıca parafin gibi yanıcı özelliğe sahip değildir ve çevreye karşı olumsuz etkileri de yoktur. BioPCM'ler hayvan yağlarından ve soya, kakao ve palm yağı gibi bitkisel yağlardan meydana gelmektedir. Kimyasal olarak kararlı, hidrojene edilmiş hidrokarbonlardır. Herhangi bir

bozulmaya uğramadan binlerce kere faz değişimi geçirebilen zehirli olmayan malzemelerdir. Bu nedenle parafine göre daha sürdürülebilir bir malzemedir [51].

FDM'nin konumu, faz değişim sıcaklık aralığı ve kullanılan FDM miktarı bina kabuğunun oldukça uzun yaşam dönemine sahip olduğu düşünüldüğünde efektif ve dayanıklılığı için önemlidir. Düşük enerjili binalarda bina kabuğunu termal olarak optimize etmek için aşağıdaki tasarım adımları izlenmelidir.

- Yüksek ısı direnç değerine ($R\text{-m}^2\text{K/W}$) sahip ısı yalıtımı ve minimum ısı köprüleri
- Dağınık veya konsantre FDM termal kütle seçimi
- Bina kabuk bileşeninde termal kütle konumunun optimizasyonu
- Uygun FDM faz değişim sıcaklığının seçimi
- Son olarak, yüksek maliyetli ısı yalıtımı veya büyük klima sistemi eklemek yerine bina yapısının dinamik termal özelliklerinin daha geniş kullanımı sağlanmalıdır [51].

Birçok çalışmada termal enerjinin depolandığı pasif bir sistem olan trombe duvarının ağır termal kütlelerini hafifletmek ve kullanımını daha pratik hale getirmek için FDM'ler kullanılmıştır [1, 6, 7, 9, 41, 45, 52]. FDM ile oluşturulan trombe duvarın termal kapasitesini, klasik beton duvara göre, ortalama %50 artırmak mümkündür [6,7,9].

Gizli ısı termal deposundaki ısı transferini arttırmak için çeşitli yöntemler önerilmektedir. Faz değiştiren malzeme olarak kullanılan parafinlerin termal iletkenliğini arttırmak için metalik dolgular, metal matris yapılar, kanatlı borular ve alüminyum talaşlar kullanılmaktadır. Kullanılan metal arttırıcıların FDM asitleriyle temas halinde aşındırıcı olmamalarına binanın uzun ömürlü olması için dikkat edilmelidir [5, 49, 51, 52].

Knowles [52], çalışmasında trombe duvarın termal kütlelerinin verimini ve ısı toplayıcılığını arttırmak için metal talaş ve parafin karışımı kullanmıştır. Sayısal analizler kullanarak düşük kütleli yüksek verimli duvarların tasarımı için bir rehber geliştirmiş, çalışma sonucunda, parafin ve metal karışımli duvarın beton duvara göre ağırlığında %90 azalma, ısı verimliliğinde ise %20 artış elde edildiğini gözlemlemiştir.

Stritih ve Novak [53], faz değişim sıcaklığı 25-30 °C arasında olan siyah parafin balmumu emdirilmiş pasif güneş duvarı geliştirmişlerdir. Geliştirilen güneş duvarında depolanan enerji odanın ısıtma ihtiyacının yaklaşık %79 'unu karşılamıştır. Sayısal analizler, parafinli ısı depolama duvarının optimum kalınlığının 5cm, FDM faz değişim sıcaklığının ise oda ayar sıcaklığından birkaç derece yüksek olması gerektiğini göstermiştir [51, 53].

FDM kullanımı ile ince bir duvarda yoğun termal kütle elde etmek mümkün olmakla beraber elde edilen FDM'li duvarın zaman gecikmesi kalın beton duvara göre çok daha kısa olmaktadır. Bu durum sağlanan enerjinin odaya ortalama iki kat daha hızlı aktarılabilmesini sağlamaktadır. Fakat azalan zaman gecikmesi, gün boyunca kullanılan ofis, alışveriş merkezi, üniversite ve okul gibi yapılar için kışın bir avantaj olarak görülse de akşam kullanımı yoğun olan konut ve hastane gibi yapılar için bir dezavantaj olmaktadır.

Bina dış duvarlarının iç ve dış yüzeyinde farklı faz değişim sıcaklıklarına sahip FDM kullanımı ile hem soğutmaya katkı amacı ile sıcak mevsimde hem de ısıtmaya katkı amacı ile soğuk mevsimde aktif olması sağlanabilmektedir. Böyle bir sistemin yıllık enerji tasarrufunun ısıtma için ortalama %12, soğutma için ise %1 oranlarında olduğu, ısıtma-soğutma yüklerinin tepe değerini %35 oranında düşürdüğü tespit edilmiştir [10].

FDM ve ısı yalıtımının beraber kullanıldığı durumda bina enerji performansının analiz edildiği bir çalışmada yıllık enerji tüketiminin azaldığı gözlenmiştir. Yalıtım malzemesi eklemek, binanın ısı kaybını azaltıp ısı direnç değerini arttırırken, FDM eklemek binanın termal kütlesini yani termal enerji deposunu arttırmakta ve pasif soğutma-ısıtma sağlamaktadır. Bu nedenle FDM'nin tek başına kullanıldığı durumlarda yaz aylarında soğutma yüklerinde daha iyi performans elde edilmiştir. Yalıtımla beraber kullanıldığı durumda ise ısıtma mevsiminde verim artmıştır. Yaşam Döngüsü Maliyeti açısından değerlendirildiğinde FDM'nin tek başına kullanıldığı durumda geri ödeme süresi çok uzun (yaklaşık 14,5 yıl), ısı yalıtımı ile beraber kullanıldığında ise geri ödeme süresi daha kısa (ortalama 7,5 yıl) olabilmektedir [18].

Binalardaki FDM'lerde iki farklı ısı kaynağı kullanılır. Bunların birincisi doğal ısı ve soğuk kaynaklardır. Örnek olarak ısıtma için güneş enerjisinin, soğutma için ise gece soğuyan havanın kullanılması verilebilir. İkincisi ise yapay ısı veya soğuk kaynaklardır. Her iki durumda da, zaman ve güç bakımından uygunluk ve talebi eşleştirmek için sıcak veya soğukun depolanması gerekir. Temel olarak, binaların ısıtılması ve soğutulması için FDM'leri kullanmanın üç farklı yolu vardır:

- Bina Duvarlarında FDM'ler
- Duvarlardan başka bina bileşenlerinde FDM'ler
- Ayrı ısı veya soğuk hava depolarındaki FDM'ler

İlk ikisi, iç veya dış hava sıcaklıkları faz değişim sıcaklığının üzerine çıktığında veya düştüğünde, depolanan sıcak veya soğukun ortama otomatik olarak bırakıldığı pasif

sistemlerdir. Üçüncüsü ise sıcak ya da soğuk binadan yalıtım yoluyla ayrılmış termal bir depo içerisinde depolandığı aktif sistemlerdir. Bu nedenle, bu sistemlerde sıcak veya soğuk yalnızca talep üzerine kullanılır, otomatik olarak kullanılmaz [21].

Bina uygulamalarında soğutma amaçlı olarak faz değişim sıcaklığı 22-24 °C arası olan FDM'lerin kullanılması uygundur [7]. Doğrudan güneş ışıınımı ile ısıtmada, günlük ısı depolama için en uygun FDM faz değişim sıcaklığının ortalama oda sıcaklığının 1-3°C üzerinde olması gerekmektedir [12,13].

İklim bölgelerine göre değerlendirildiğinde, FDM'nin soğuk iklimlerde kullanımı ile gerçekleştirilen çalışmalarda, en soğuk aylarda çok etkili olmamakla birlikte yıl bazında değerlendirildiğinde FDM ile ortalama %20 verim elde edildiği görülmüştür. Gece ve gündüz sıcaklık farkının fazla olmadığı ılıman bölgelerde ise FDM'nin bina kabuğunun dışında değil de iç kısmında kullanılmasının iç mekan sıcaklık dalgalanmalarının azaltılması açısından daha uygun olduğu belirtilmiştir [14].

Yapılan bir çalışmada daha uygun bir tasarım ile duvarlara daha fazla FDM paneli eklenerek, soğutma yüklerinin neredeyse tamamen sıfırlanabilmesinin mümkün olduğu gösterilmiştir [30].

Gece ve gündüz sıcaklık farkının fazla olduğu iklim bölgelerinde ise FDM'nin kabuğun dış tarafında kullanımının etkili olduğu böylece gündüz FDM tarafından depolanan ısı soğuk gecelerde tüketilerek, bir sonraki gün aynı döngünün devam etmesi sağlanabilmiştir [2,5].

FDM'lerin soğutma amacı ile kullanıldığı sıcak iklimlerde gece havalandırması binalarda FDM'lerin etkinliğini en üst düzeye çıkarmak için önemli bir konudur. Gece havalandırması ile FDM'lerin ısı deşarjı desteklenerek, katılaşmaları sağlanmakta, böylece tam bir çalışma döngüsü elde edilebilmektedir [48].

Gizli enerji depolamayı kullanan konut sistemlerinin ilk deneysel çalışmaları çok umut verici performans özellikleri göstermiştir. Toplam soğutma yükünde aynı R değerine sahip yalıtımın kullanıldığı geleneksel çatıya oranla %30 verim elde edilmiştir [51].

Yapılan bir çalışma geleneksel veya hafif yapının her ikisinde de FDM'lerin tavanda düzenlenmesinin, dış veya iç duvara göre daha etkin sonuçlar verdiğini, soğutma enerjisinde %10 ila %68 oranında tasarruf sağlanabildiğini göstermiştir. Bunun nedeni, FDM'lerin bu pozisyonda sadece iç mekan havasıyla etkileşime girmesi ve böylece ısı enerjisini emme, saklama ve serbest bırakma yetenekleri ile sıcaklık dalgalanmalarına karşı direnç sağlamalarıdır [24].

FDM'ler iç mekan sıcaklık dalgalanmalarını azaltırken bina ataletini de artırdıkları için, kentsel ortamlarda karşılıklı gölgelendirme ve yansımalar ile ortaya çıkabilen binalar arasındaki olumsuz etkileri de en aza indirmeye yardımcı olmaktadır [23].

Teorik olarak çoğu FDM entegre bina kabuğu bileşeninin günde en az bir kere erime-katılaşma süreci geçirmesi beklenir. Bu nedenle mümkün olduğunca az FDM kullanarak FDM'nin depolama-bırakma kapasitesini arttırmak gerekir. Yani kullanılacak FDM' nin optimizasyonu yapılmalıdır. Tam bir günlük döngüde depolanan enerji FDM miktarı ile orantılıdır, FDM tamamen eridikten sonra, sadece hissedilir ısı emilir. FDM'lerin düşük ısıl iletkenliği nedeniyle, bu sistemlerin şarj etme ve boşaltma işlemleri sırasında doğal olarak yavaş bir ısı transferine sebep oldukları unutulmamalıdır. FDM kütlesi fazla tahmin edilirse, ısının FDM'ye nüfuz etmesi için gereken süre güneş ışığı süresinden daha büyük olabilir ve erime süreci tamamlanamaz. Benzer şekilde, iç mekanlarda da ısının serbest bırakılması için gereken süre, boşalma süresinden daha büyük olabileceği için katılaşma süreci tamamlanamaz. Böylece, FDM erimez ve de katılaşmazsa, yetersiz termal depolama elde edilir [11]. Fakat unutulmamalıdır ki, hidronik ısıtma ve soğutma sistemi ile entegre bir çok zemin ve tavan FDM uygulamaları 1 günde kolaylıkla 20 kez erime ve katılaşma sürecine ulaşabilmektedir [51].

FDM kapsülleme, büyük bir ısı transfer alanı sağlamak, FDM' lerin dış çevreye karşı reaktivitesini azaltmak ve faz değişimi meydana geldikçe depolama malzemelerinin hacmindeki değişimleri kontrol altına almak gibi önemli avantajlar sağlamaktadır [49]. Kapsülleme tekniği ayrıca bazı FDM' lerin yanıcılık problemlerinin üstesinden gelmeye yardımcı olabilmektedir. Bu avantajların yanında, zayıf termal iletkenlik ve kenarlarda katılaşma eğilimi gibi dezavantajları da mevcuttur [8].

FDM' nin mikrokapsüllenmiş şekilde sıva, beton içerisine veya alçı ve PVC plakalar içerisine katılması ile yapılan uygulamalarda gündüzleri iç ortam sıcaklığını düşürdüğü geceleri ise sıcaklığı arttırdığı tespit edilmiştir. FDM kullanımı sera gibi ısının önemli olduğu farklı fonksiyonlardaki binalar üzerinde de denenmiş, zemin döşemesi içerisindeki FDM oranı artırıldıkça enerji kazancının da arttığı görülmüştür [14].

Sıcak-nemli iklimde bina içerisinde kullanılan mikrokapsüllenmiş faz değiştiren malzemelerin termal enerji depolama özelliği ile yazın soğutma yüküne %5-10; kışın ısıtma yüküne % 10-20 arasında katkı sağladığı belirlenmiştir [3].

Mikrokapsüllenmiş FDM 'nin beton içerisine belirli bir oranda katılması ile oluşturulan iki katmanlı kompozit beton paneller kullanılarak bahar ve kış aylarında ısıtma

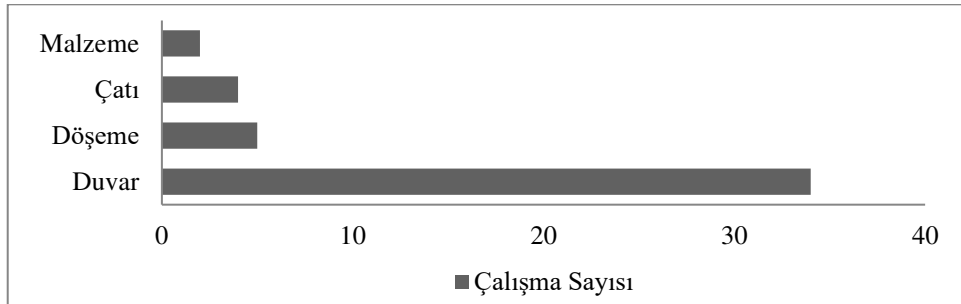
yükünün %4 ila %13 arasında azaltılabilmesi mümkündür. Böylece aktif ısıtma sisteminin kullanıldığı bir binada, doğal gazdan %14- %21 arasında, elektrikten ise %8- %19 arasında ekonomik kazanç elde edilebilmektedir [4].

1.6.1. Literatürde Yer Alan Çalışmaların Değerlendirilmesi

Faz değiştiren malzemeler üzerine yapılmış bir çok uluslararası, ulusal makale, tez, kitap ve araştırma projesi Karadeniz Teknik Üniversite Kütüphanesi veritabanları kullanılarak incelenmiştir. İncelenen bilimsel çalışmalar içerisinde bilimsel kalitesi yüksek olan (yayınevinin kuruluş yılı, atıf sayısı, etki faktörleri vb. gibi seçim kriterleri göz önünde bulundurularak) ve özellikle son yıllarda yapılmış olan 50'den fazla çalışma incelemeye alınmıştır. FDM üzerine yapılan çalışmalardan elde edilen bilgiler; FDM'nin kullanıldığı yapı bileşeni, FDM çeşitleri, FDM ile birleştirme teknikleri, çalışma tipleri ve kullanılan enerji simülasyon programları başlıkları altında gruplandırılmış, Ek Tablo 1 'de verilmiştir. Aşağıda FDM üzerine yapılan literatür çalışmasının aynı başlıklar altında değerlendirilmesi yapılmıştır.

1.6.1.1. FDM'nin Kullanıldığı Yapı Bileşeni

Bina kabuğunun uzun ömürlü olabilmesi için kullanılan FDM'nin konumu, faz değişim sıcaklık aralığı ve miktarı önemlidir. Yapılan literatür incelemesi sonucu faz değiştiren malzemelerin yapının hangi bileşeninde ne kadar yoğunlukta kullanıldığı Şekil 10 'da verilmiştir.

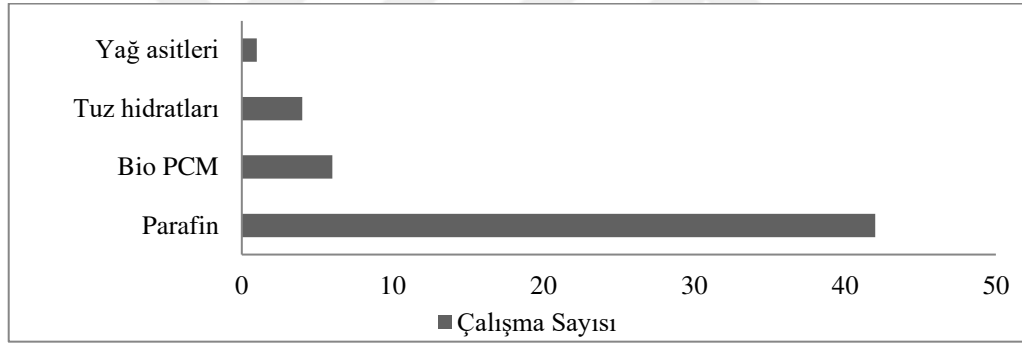


Şekil 10. FDM 'nin kullanıldığı yapı bileşenleri ve kullanım yoğunluğu

Şekil 10 'daki grafikte yapılan çalışmalarda FDM' nin en fazla dış duvar uygulamalarında kullanıldığı görülmektedir [1, 3, 6, 7, 9, 10, 13, 14, 16, 18, 20, 22, 23, 25, 30, 32, 33, 41, 47, 48, 50]. Bu durumun dış duvar termal kütle yüzey alanının çatı ve döşeme yüzey alanına göre daha fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca yapılan çalışmalar FDM'nin duvar iç yüzeyine uygulandığında iç mekan sıcaklık dalgalanmalarını azalttığını göstermiştir [8, 11, 13, 14, 16, 20, 24, 29, 31, 36, 38, 42, 43, 45, 46, 48, 50].

1.6.1.2. FDM Çeşidi

Literatür incelemesi sonucu bina uygulamalarında kullanılan FDM çeşitleri ve kullanım yoğunlukları Şekil 11 'de verilmiştir.

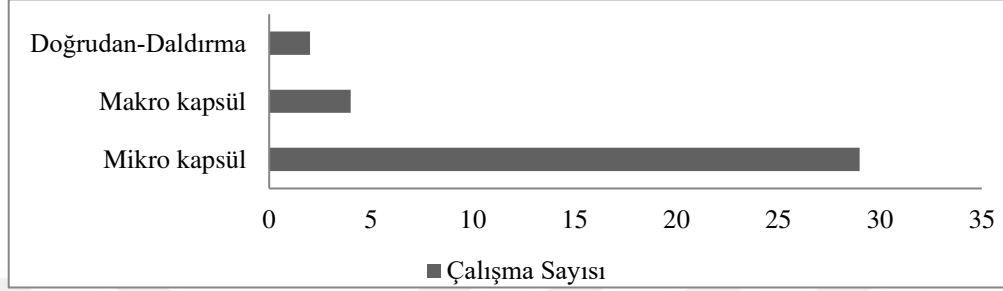


Şekil 11. Bina uygulamalarında kullanılan FDM çeşitleri ve kullanım yoğunluğu

Yapılan araştırma Şekil 11 'de de görüldüğü gibi bina uygulamalarında organik bazlı parafin malzemenin en yaygın kullanılan FDM olduğunu göstermiştir [1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 10, 13, 14, 16, 18, 19, 20, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 33, 35, 37, 39, 40, 42, 43, 45, 46, 48, 50]. Kullanımı yaygın olan diğer malzemeler sırasıyla parafine alternatif olarak son yıllarda geliştirilmiş yeni bir FDM çeşidi olan BioPCM'ler [18, 25, 31, 33, 38, 43] ve inorganik bileşiklerden tuz hidratlardır [5, 6, 37, 42]. Yağ asitlerinin [5] ise en az tercih edilen FDM olduğu görülmüştür.

1.6.1.3. FDM ile Birleştirme Teknikleri

Literatür incelemesi sonucu bina uygulamalarında kullanılan FDM ile birleştirme teknikleri ve kullanım yoğunlukları Şekil 12 'de verilmiştir.

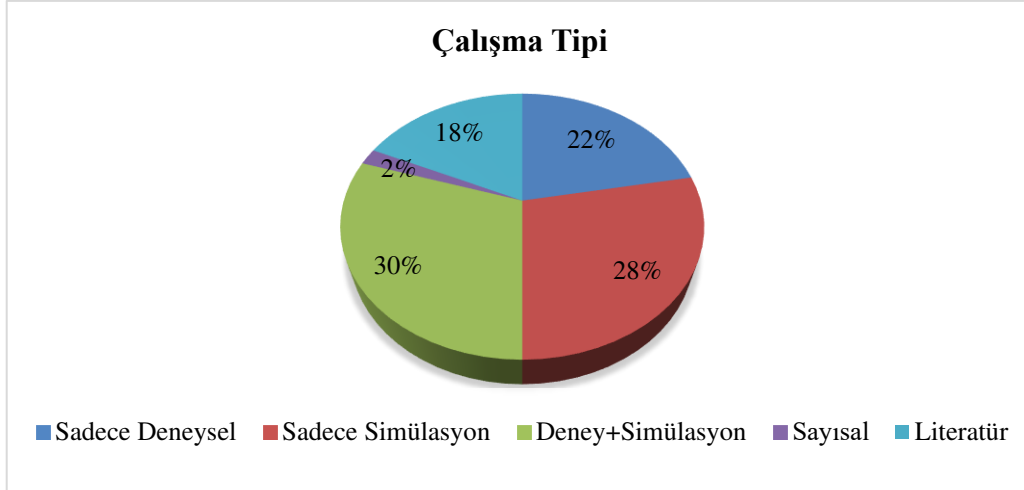


Şekil 12. Çalışmalarda bina uygulamalarında kullanılan FDM birleştirme teknikleri ve kullanılma yoğunluğu

Literatür incelemesi; Şekil 12 'de de görüldüğü gibi bina uygulamalarında FDM ile birleştirme tekniği olarak mikrokapsüllemenin en yaygın kullanılan teknik olduğunu göstermiştir [1, 3, 4, 5, 7, 9, 10, 13, 14, 16, 20, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 38, 39, 42, 43, 44, 48, 50]. En yaygın kullanılan ikinci teknik ise makrokapsülleme tekniğidir [6, 18, 35, 36]. Doğrudan ve daldırma tekniklerinin ise en az tercih edilen teknikler olduğu görülmüştür [4, 19].

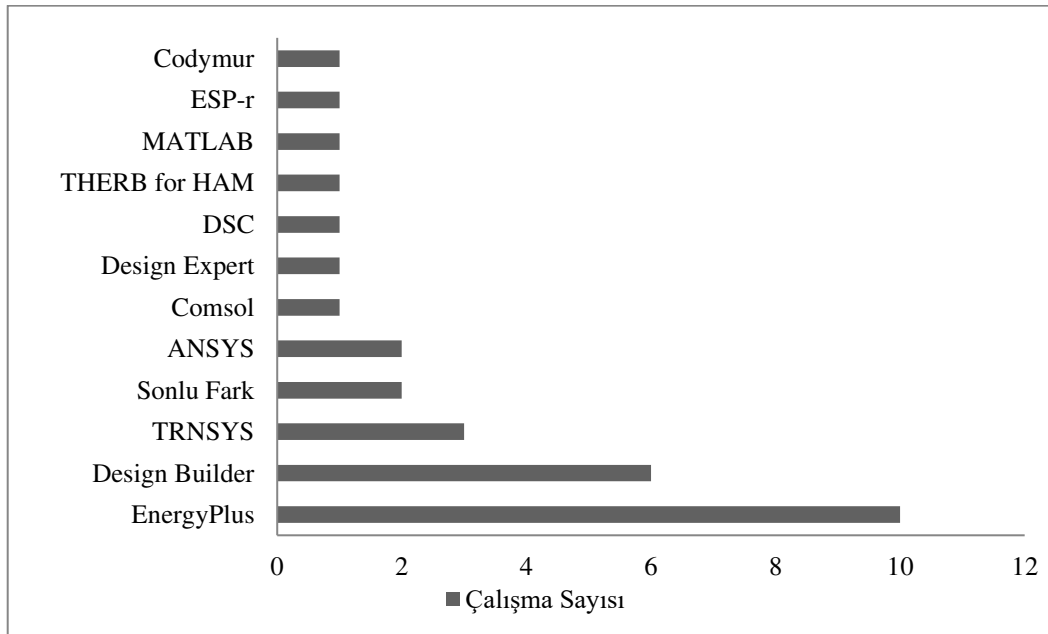
1.6.1.4. Çalışma Tipleri ve Kullanılan Enerji Simülasyon Programları

İncelenen bilimsel çalışmalarda çalışma tipi olarak Şekil 13 'te de görüldüğü gibi deney ve enerji simülasyon yöntemlerinin birlikte kullanıldığı çalışma tipinin çoğunlukla tercih edildiğini görmekteyiz [3, 9, 13, 14, 16, 19, 20, 22, 26, 32, 38, 41, 42, 43, 50]. Sadece enerji simülasyon yönteminin tercih edildiği çalışma tipi ikinci sırada yer alırken [18, 23, 24, 25, 27, 30, 31, 33, 40, 44, 45, 46, 48], sadece deneysel çalışma yönteminin tercih edildiği çalışma tipi ise üçüncü sırada yer almıştır [1, 2, 4, 6, 7, 28, 29, 35, 36, 39, 47].



Şekil 13. Çalışma tipleri ve kullanım yoğunlukları

Çalışmalarda kullanılan enerji simülasyon programları ve kullanım yoğunlukları incelendiğinde ise Şekil 14 'te de görüldüğü gibi FDM entegre bina simülasyonlarında EnergyPlus' ın en fazla kullanılan enerji simülasyon programı olduğu görülmüştür [9, 16, 22, 23, 30, 32, 38, 40, 43, 48]. İkinci sırada yine EnergyPlus tabanlı bir yazılım aracı olan DesignBuilder, [24, 25, 27, 31, 33, 46], üçüncü sırada ise TRNSYS [18, 42, 45] yer almaktadır.



Şekil 14. Çalışmalarda kullanılan enerji simülasyon programları ve kullanım yoğunluğu

EnergyPlus bina ısıtma, soğutma, aydınlatma, havalandırma ve diğer enerji akışlarını modellemek için Amerikan Enerji Bakanlığı tarafından geliştirilmiş ve sürekli geliştirilmekte olan kapsamlı bir bina enerji simülasyon programıdır. Binalardaki ısı transferinin modellenmesine olanak sağlarken aynı zamanda çok çeşitli HVAC ekipmanlarının da dikkate alınmasına imkan sağlar. Kapsamlı bina tasarım seçenekleri sayesinde bina enerji çalışmaları için güçlü ve ideal bir programdır. Çeşitli sistemlerden oluşan binaların ısıtılması ve soğutulması için gerekli enerji hesaplamalarını gerçekleştirmek için birlikte çalışan birçok program modülünün toplamından oluşmaktadır. Temelde BLAST ve DOE-2 gibi en popüler erken dönem bina enerji simülasyon araçlarının bir benzeri olmasının yanı sıra bir saatten daha az zaman dilimleri için hesaplama yapabilme özelliğine sahiptir. EnergyPlus ile modüler sistemler, ısıl denge amacı ile kullanılan yeşil kabuk sistemler, fotovoltaiik sistemler ve su bulunduran sistemler gibi birçok yeni sistemlerin simülasyonları yapılabilmektedir. Design Builder ise yapı tasarımlarının enerji, karbon, aydınlatma ve konfor açılarından performansını ölçmek ve kontrol etmek için geliştirilmiş EnergyPlus simülasyon motorunu kullanan bir yazılım aracıdır [URL-14].

İncelenen bilimsel yayınlarda faz değiştiren malzemelerle ilgili olarak en fazla tercih edilen FDM'nin kullandığı yapı bileşeni, FDM çeşidi, FDM birleştirme tekniği, çalışma tipi ve enerji simülasyon programı Tablo 13 'te verilmiştir.

Tablo 13. İncelenen bilimsel yayınlardan elde edilen çıkarımlar

FDM'nin kullanıldığı yapı bileşeni	FDM çeşidi	FDM Birleştirme tekniki	FDM faz değişim sıcaklık aralığı	Çalışma tipi	Kullanılan program
Duvarlar	Parafin	Mikrokapsülleme	Oda sıcaklığı + 1-3 °C	DeneySEL ve Enerji simülasyonu	EnergyPlus ve DesignBuilder

Tablo 13 'te de görüldüğü gibi incelenen bilimsel çalışmalarda bina termal kütlesini artırmak amacı ile faz değiştiren malzemeler en çok duvar bileşeninde kullanılmıştır. Parafinin en fazla tercih edilen ve üzerinde çalışmalar yapılan faz değiştiren malzeme çeşidi olduğu görülmüştür. Faz değiştiren malzemeleri bina bileşeni ile birleştirme tekniği

olarak ise çoğunlukla mikrokapsülleme tekniği tercih edilmiştir. Ayrıca yapılan incelemelerde deneysel çalışma ve simülasyonun birlikte kullanıldığı çalışma tipinin en fazla tercih edilen çalışma tipi olduğu görülmüştür. EnergyPlus ve DesignBuilder ise çalışmalarda en fazla kullanılan simülasyon programlarıdır.

1.6.2. Çalışmanın Literatürdeki Yeri ve Önemi

Son yıllarda enerji verimliliği kapsamında alınan önlemler neticesinde daha fazla tercih edilen hafif binalar termal açıdan dezavantajlara sahiptir. Bu dezavantajları bina kabuğunun termal kütlesinde yapılan iyileştirmeler ile azaltmak mümkündür. Bu iyileştirme yöntemlerinden biri de, son yıllarda yurtdışında oldukça güncel bir konu olarak birçok bilimsel çalışmaya konu olan faz değiştiren malzeme kullanımıdır. Yapılan literatür incelemesi bina kabuğunda FDM kullanımı ile hafif binaların termal kütlelerinde iyileşme sağlanabileceğini göstermiştir. Bu kapsamda yapılan çalışmada, pomza agregası ve içerisinde enerjiyi gizli ısı olarak depolayan faz değiştiren malzemenin (FDM) bir arada kullanımı ile bina enerji yüklerinin azaltılmasına olanak sağlayacak yeni ve hafif bir bina kabuğu bileşeni geliştirilmiştir.

Yapılan bu çalışmada, bina dış duvar ve döşeme malzemesi olarak kullanılan pomza agregası ile pomza agregasının %5, %10 ve %15'i oranlarında MikroCapsPCM25-slurry malzemesi karıştırılarak FDM'siz (referans) ve FDM'li pomza blok örnekleri üretilmiştir. Daha sonra üretilen pomza blokların ısı iletkenlik katsayıları, özgül ısı kapasiteleri ve FDM'li örneklerin gizli ısı değerleri laboratuvar ortamında hesaplanarak belirlenmiş, elde edilen veriler, Türkiye'deki beş iklim bölgesi olan ılıman-nemli, ılıman-kuru, sıcak-nemli, sıcak-kuru ve soğuk iklim bölgesinden seçilen sırasıyla Trabzon, Ankara, Antalya, Diyarbakır ve Erzurum illerine ait iklim verileri ile birlikte Design Builder enerji simülasyon programına girilmiştir. Programda oluşturulan model bina üzerinde yapılan simülasyonlar sonucunda, deneysel çalışma ile geliştirilen FDM'siz ve FDM'li pomza blok örneklerinin bina enerji yüklerine etkisi beş iklim bölgesi için belirlenmiştir. Çalışmanın deneysel uygulama aşamasında ise 3'er adet FDM'siz ve %15 FDM'li pomza blok örnekleri üretilmiş ve bu örnekler kullanılarak 40cmx35cmx40cm boyutlarında, üç cephesi opak ve saydam cephesi çift tabakalı camdan oluşturulmuş FDM'siz ve FDM'li 1'er adet mini kabin hazırlanmıştır. Daha sonra hazırlanan kabinler aracılığı ile örnek blokların iç mekan sıcaklık dalgalanmalarına etkisi ve zaman

geciktirmesi karşılaştırmalı olarak laboratuvar ortamında yapılan deneysel uygulamalarla analiz edilmiştir.

Literatür aşaması, deneysel aşama, enerji simülasyonları ve deneysel uygulama aşaması olmak üzere dört aşamada gerçekleştirilen bu çalışmanın literatüre katkıları aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- Son yıllarda yurtdışında oldukça güncel bir konu olarak birçok bilimsel çalışmaya konu olan FDM'nin ülkemiz iklim koşullarında bina uygulamalarında kullanımının iç mekan sıcaklık dalgalanmalarına, dış duvar termal kütlesine ve bina enerji yüklerine etkisi belirlenmiştir.

- Çalışma ile dış duvar termal kütlesinde iyileşme sağlayarak, binalarda tüketilen enerji miktarını azaltmaya yardımcı olabilecek, hem ülkemizde hem de dünya genelinde kullanılabilme imkanına sahip, yeni ve yerel bir malzeme geliştirilmiştir.

- Hafif binaların düşük termal kütlelerini artırmak için kullanılan ve pasif bir yöntem olarak kabul edilen FDM'nin yerel hafif yapı malzemesi olan pomza agregası ile birlikte kullanımı ile geliştirilen FDM'li pomza blok örneklerinin iç mekan sıcaklık dalgalanmalarında, dış duvar zaman geciktirmesinde ve bina toplam enerji yüklerinde iyileşme sağladığı görülmüştür. Bu kapsamda yapılan çalışma diğer yerel malzemelerin de geliştirilebilmesi için örnek teşkil edecektir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu bölümde yöntem açıklanmış, deneysel çalışmada kullanılacak FDM ve diğer malzeme ve ekipmanların seçimi, pomza blok örneklerinin oluşturulması, termal analizler, enerji simülasyonları ve deneysel uygulama başlıkları altında yapılan çalışmalar detaylı olarak ele alınmıştır.

2.1. Yöntem

Bu çalışma; literatür araştırması, deneysel çalışma, enerji simülasyonu ve deneysel uygulama olmak üzere 4 aşamada gerçekleştirilmiştir. Her bir aşamada izlenen yol, sınırlamalar ve kullanılan araçlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

Literatür araştırma aşaması;

- Konu ile ilgili ulusal ve uluslararası alanda yapılmış doktora tezleri, makaleler, bildiriler, araştırma raporları ve projeler incelenerek FDM' nin tarihçesi, çeşitleri, özellikleri, avantaj ve dezavantajları, kullanıldığı yapı elemanları, yapı elemanı ile birleştirme teknikleri, kullanılan simülasyon programları ve laboratuvar ölçeğindeki termal test metotları belirlenmiştir.

- Pomza hafif yapı malzemesinin fiziksel özellikleri, pomza blok olarak yapıda kullanım şekilleri, pomza blokların avantaj-dezavantajları ve uygulama örnekleri araştırılmıştır.

Deneysel çalışma aşaması;

- Literatür araştırması sonucu FDM üretimi yapan sınırlı sayıdaki firmalar içerisinde, Alman Rubitherm firması tarafından üretilen FDM'lerin yapı uygulamalarında oldukça fazla tercih edildiği görülmüştür. Bu doğrultuda firma ile bağlantıya geçilerek çalışmada kullanmak üzere bina iç konfor koşullarına uygun faz değişim sıcaklık aralığına sahip faz değiştiren malzemenin (FDM) temini sağlanmıştır.

- Termal testler, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi (AYBÜ) Merkez Laboratuvarında yapılmıştır. Laboratuvardaki termal ölçüm cihazlarına göre örnek numunelerin gerekli boyutsal ölçüleri belirlenmiştir.

- FDM'li pomza blok örneklerinde faz değıştiren malzeme karışım oranı, maliyet faktörü ve hazırlanacak yeni karışımın mekanik dayanımı göz önünde tutularak %5, %10 ve %15 olarak belirlenmiştir.

- Deneysel çalışma için gerekli ekipmanlara sahip, aynı zamanda pomza blok üretimi yapılan bir atölye çalışma alanı olarak belirlenmiştir.

- FDM'siz (Referans) pomza blok ve FDM'li pomza blok örnekleri atölye ortamında hazırlanmıştır.

- Hazırlanan örneklerin termal testleri AYBU Merkez Laboratuvarında yapılarak, ısı iletkenlik katsayıları, özgül ısı kapasiteleri ve FDM'li örneklerin gizli ısı değerleri belirlenmiştir.

Enerji simülasyonu aşaması;

- FDM'siz ve FDM'li pomza blok örneklerinin bina enerji yüklerine etkisini öngörebilmek amacıyla enerji simülasyonları yapılmıştır. Bunun için Türkiye'deki beş iklim bölgesi olan ılıman-nemli, ılıman-kuru, sıcak-nemli, sıcak-kuru ve soğuk iklim bölgelerinden seçilen sırasıyla Trabzon, Ankara, Antalya, Diyarbakır ve Erzurum illerine ait iklimsel veri dosyaları epw dosya formatında Design Builder simülasyon programına yüklenmiştir.

- Simülasyonlarda kullanılan bina modeli tek katlı, teras çatılı bir konut binası olarak varsayılmıştır.

- Bina dış kabuğunda kullanılacak FDM'siz (referans) ve FDM'li pomza blok örneklerine ait, deneysel çalışma aşamasında laboratuvar analizleri ile belirlenen, termal bilgiler Design Builder programına girilerek, örnek bloklar programa tanımlanmıştır.

- Model binanın referans durumdaki döşeme, duvar ve çatı katmanları programda oluşturulmuş, bina kabuğu saydamlık oranı ve saydam bileşen bilgileri programa girilmiştir. Mekanik havalandırma kullanılmadığı varsayılmıştır.

- Trabzon, Ankara, Antalya, Diyarbakır ve Erzurum illeri için Design Builder simülasyon programı kullanılarak önce FDM'siz (referans) durumdaki aylık ve yıllık ısıtma-soğutma ve toplam enerji yükleri hesaplanmıştır. Daha sonra bütün veriler referans durum ile aynı kabul edilerek sadece dış duvar gövde elemanı olarak kullanılan pomza bloklardaki değışim ile FDM'li durumların her birinin aylık ve yıllık ısıtma-soğutma ve toplam enerji yükü hesaplamaları yapılmıştır.

Deneysel Uygulama Aşaması

- Uygulama çalışmasında kullanılmak üzere 3 adet FDM'siz (referans) ve enerji simülasyonlarından elde edilen verimin daha fazla olması nedeni ile 3 adet %15 FDM'li pomza blok örnekleri 30x30x5cm boyutlarında üretilmiştir.

- FDM'siz ve %15 FDM'li pomza blok örnekleri kullanılarak 40cmx35cmx40cm boyutlarında, üç cephesi opak, bir cephesi saydam ve 4mmx12mmx4mm kalınlıkta çift tabakalı camlı, iki mini kabin inşa edilmiştir. Kabinlerin zemin ve çatıları ise aynı özellikteki yalıtımlı ahşap paneller ile kapatılmıştır.

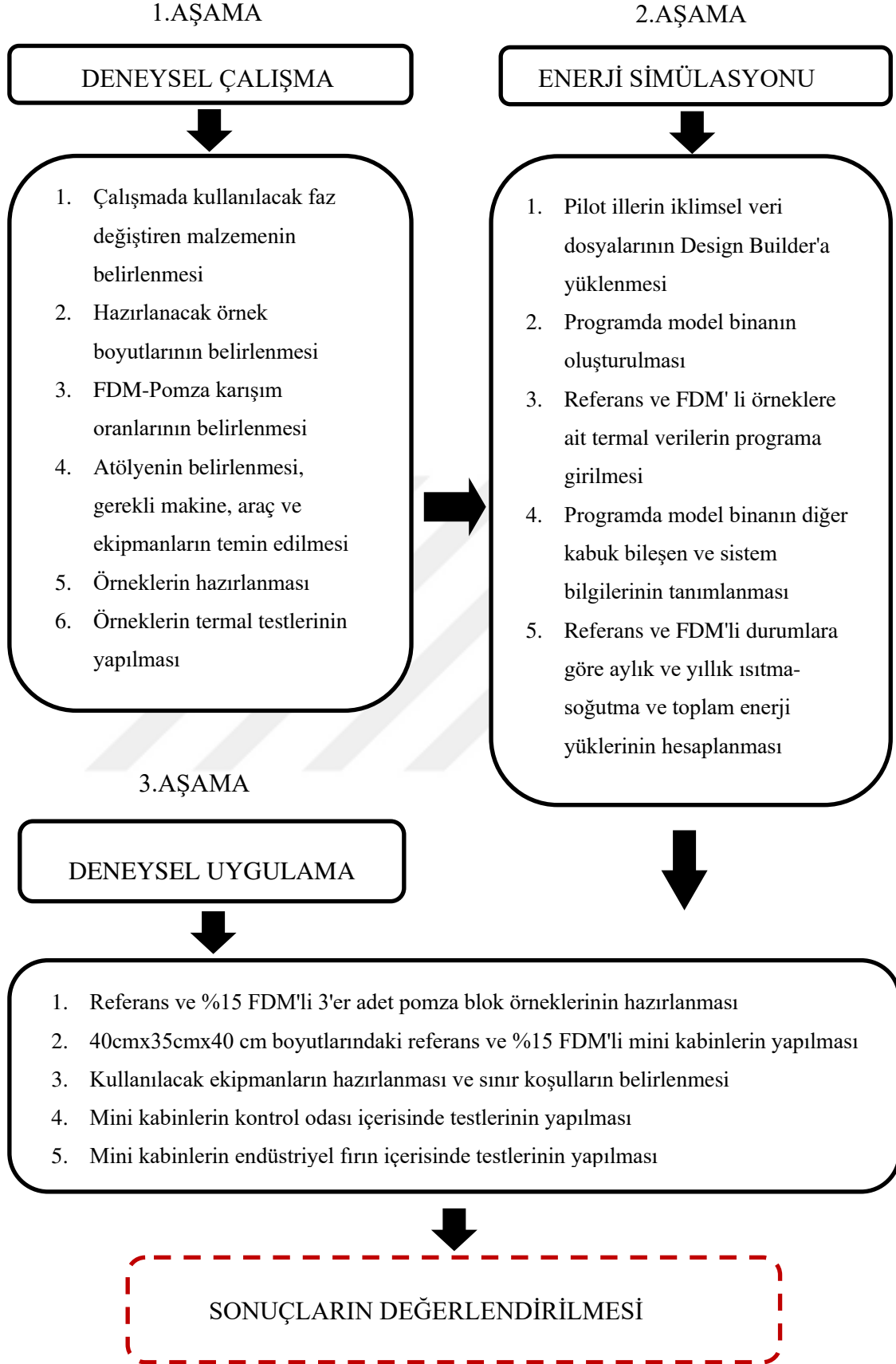
- Kullanılan FDM'nin faz değişim sıcaklık aralığı ve Meteoroloji Genel Müdürlüğünden elde edilen Türkiye için ortalama güneş ışıınım değerleri baz alınarak deneysel uygulama sınır koşulları belirlenmiştir.

- Laboratuvar ortamında yapılan birinci uygulamada, belirlenen iki farklı güneş ışıınım değeri yapay aydınlatma sistemi ile oluşturularak, iklimlendirme sistemli kontrol odası içerisinde önce FDM'siz (referans), sonra %15 FDM'li mini kabinin bir duvar yüzeyine, yüzeye dik doğrultuda uygulanmıştır. Uygulamanın yapıldığı duvar iç yüzey sıcaklığı istenen düzeye ulaşınca lambalar kapatılmış ve kabin soğumaya bırakılmıştır.

- Laboratuvar ortamında yapılan ikinci uygulamada ise, FDM'siz ve %15 FDM'li mini kabinlerin ikisi aynı anda, endüstriyel fırın içerisinde, belirlenen sabit sıcaklıkta bekletilmiştir. Duvar iç yüzey sıcaklıkları istenen düzeye ulaşınca fırın kapatılmış ve kabinler soğumaya bırakılmıştır.

- Her iki uygulama sonunda da FDM'siz ve %15 FDM'li kabin duvarlarının zaman geciktirmesi ve kabinlerin iç mekan sıcaklık dalgalanmaları deneysel olarak test edilmiştir.

Şekil 15 'te çalışma yönteminin akış şeması verilmiştir.



Şekil 15. Çalışma yöntemi iş akış şeması

2.1.1. Deneysel Çalışma

Bu bölümde; yapılan deneysel çalışmada kullanılan malzemeler, atölye ve ekipmanlar, laboratuvar ve termal ölçüm cihazları, örnek boyutları ve FDM oranları ayrıntılı bir şekilde açıklanmış, örneklerin hazırlanması ve termal testlerin yapılması aşamaları detaylı olarak verilmiştir.

2.1.1.1. Kullanılan Malzemeler

Çalışmada FDM (faz değiştiren malzeme), asidik pomza, çimento ve karma suyu olmak üzere dört yapı malzemesi kullanılmıştır.

2.1.1.1.1. Faz Değiştiren Malzemenin Seçimi

İç mekan konfor koşullarının sağlanabilmesi için, çalışmada kullanılacak FDM faz değişim sıcaklığının 21-28°C aralığında olması gerekmektedir. Literatür incelemesi sonucu 21-28°C aralığında eriyen, parafin bazlı ve mikrokapsüllü bir faz değiştiren malzeme seçilmiştir. Bu malzeme Almanya'da Rubitherm firması tarafından üretilerek Slovenya'daki MikroCaps firması tarafından mikrokapsüllenmesi yapılan MikroCapsPCM25-slurry malzemesidir. MikroCapsPCM25-slurry malzemesinin ambalajlı resmi ve termo-fiziksel özellikleri Tablo 14 'te verilmiştir.

Tablo 14. MikroCapsPCM25-slurry malzemesinin termo-fiziksel özellikleri



Tablo 14 'ün devamı

FDM çeşidi	Parafin mumu
Membran çeşidi	Melamin-Formaldehit
Faz değişim sıcaklık aralığı	22-26 °C
Gizli ısı değeri	174 J/g
pH	6,9
Yoğunluk	900-970 g/ cm ³
Ortalama parça boyutu	1-20 µm (mikrometre)
Görünüm	Beyaz akışkan

2.1.1.1.2. Asidik Pomza Agregası

Çalışmada, yapı sektöründe kullanımının daha yaygın olması sebebiyle, Doğu Anadolu Bölgesinden temin edilen, 0,4mm-0,7mm arasında değişen tane boyutlarına sahip asidik pomza agregası kullanılmıştır. Asidik pomzaya ait fiziksel özellikler ve yapıda kullanılmalarının avantaj ve dezavantajları bölüm 1.5 'te ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

2.1.1.1.3. Çimento

Deneysel çalışmada çimento olarak, TS EN 197-1:2012 standartlarına uygun olarak Trabzon Çimento'dan tedarik edilen CEM I 42,5 R Portland çimentosu kullanılmıştır. Kullanılacak çimentonun nemli veya topaklanmamış, uzun süre bekletilmemiş olmasına dikkat edilmiştir.

2.1.1.1.4. Karma Suyu

Çalışmada kullanılan karma suyu, TS EN 1008'e uygun olarak, şehir şebekesinden elde edilen içme suyundan temin edilmiştir.

2.1.1.2. Atölye ve Ekipmanların Seçimi

Deneysel çalışma Trabzon Yıldızlı Beldesinde konumlanan, pomza blok, yer karoları, tretuvar ve dış cephe kaplama taşları üretimi yapılan bir atölyede gerçekleştirilmiştir. Çalışma esnasında vibrasyonlu hidrolik press makinesi, kuru sistem harç karıştırıcı ve elektronik hassas terazi kullanılmıştır. Kullanılan ekipmanlar atölye ortamından temin edilmiştir. Şekil 16 'da deneysel çalışmanın yapıldığı atölye ortamı görülmektedir.



Şekil 16. Deneysel çalışmanın yapıldığı atölye

2.1.1.2.1. Vibrasyonlu Hidrolik Press Makinesi

Çalışmada 200 bar basınç kapasiteli vibrasyonlu hidrolik press makinesi kullanılmıştır. Press makinesi harç halinde hazırlanan karışımın kalıplanarak, uygulanan titreşim ve basınç ile pürüzsüz şekil almasını sağlamaktadır. Press makinesinin ve içerisindeki 30cmx30cmx5cm boyutlarında hazırlanan kalıbın görünüşü Şekil 17a ve Şekil 17b 'de sırasıyla verilmiştir.

2.1.1.2.2. Harç Karıştırıcı

Karıştırıcı olarak 1600W gücünde, 0-400/0-800 devirli harç karıştırıcı kullanılmıştır. Şekil 17c 'de harç karıştırıcının görünüşü verilmiştir.



Şekil 17. (a)Vibrasyonlu hidrolik press makinesi, (b) 30cmx30cmx5cm boyutlarında hazırlanan kalıp, (c) harç karıştırıcı ve (d) elektronik hassas terazi görünüşü

2.1.1.2.3. Hassas Terazi

Hassas terazi olarak 40 kg ölçme kapasiteli, ± 2 g hata payı olan elektronik hassas terazi kullanılmıştır. Şekil 17d 'de hassas terazinin görünüşü verilmiştir.

2.1.1.3. Laboratuvar ve Termal Ölçüm Cihazlarının Seçimi

Yapılan çalışmada Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi (AYBÜ) Merkez Laboratuvarı bünyesindeki Termal Analiz Laboratuvarı ile çalışılmıştır. Hazırlanan örneklerin ısı iletim katsayısı analizlerinde mahfazalı sıcak plaka cihazı (Linseis HFM 300/3 Termal İletkenlik Analizörü), özgül ısı kapasitesi ve entalpi değeri ölçümlerinde ise Diferansiyel Taramalı Kalorimetre cihazı (Hitachi DSC 7020) kullanılmıştır.

2.1.1.3.1. Mahfazalı Sıcak Plaka Cihazı (Linseis HFM 300/3 Termal İletkenlik Analizörü)

Düşük ısı iletim katsayısına sahip yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayısını yüksek bir doğruluk ve kesinlik ile belirlemek için kullanılır. ASTM C518, JIS A1412, ISO 8301 ve DIN12667 standartlarında belirtilen şartlara uygun olarak ölçüm yapmaktadır. Tablo 15a 'da ısı iletkenlik ölçüm cihazının görünüşü ve özellikleri verilmiştir.

2.1.1.3.2. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (Hitachi DSC 7020)

Polimerlerin camsı geçiş sıcaklığı (T_g), polimerlerin oksijen indüksiyon (OIT) süresi, entalpi değeri, erime, kristalleşme, bozulma sıcaklığı belirlemede kullanılır. Örneklerin hava, azot veya argon atmosfer altında ısıtılması, soğutulması veya sabit bir sıcaklıkta tutulması sırasında örnek tarafından soğrulan veya salıverilen enerji miktarındaki değişimi, zamanın sıcaklığa bağlı fonksiyonu olarak hesaplamaktadır. Tablo 15b 'de DSC ölçüm cihazının görünüşü ve özellikleri verilmiştir.

Tablo 15. (a) Mahfazalı Sıcak Plaka Cihazı ve özellikleri, (b) Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) cihazı ve özellikleri.

			
a		b	
Sıcaklık aralığı	-30°C - + 90 °C	Sıcaklık aralığı	-70°C – 550°C
Ölçüm aralığı	0.001 - 1.0 W/(m·K)	Hassasiyet	0.2 µW
Isı direnç ölçüm aralığı	0.1 - 8.0 m2 K/W	Isıtma hızı:	0,01 C/dk.- 100 C/dk.
Isıl iletkenlik doğruluğu	±1% - ±3%	Atmosfer	Azot, Argon, Hava
Isıl iletkenlik kesinliği	±0.25%		
Sıcaklık çözünürlüğü	±0.01 °C		

2.1.1.4. Örnek Boyutlarının Belirlenmesi

Örnek boyutları belirlenirken termal analizlerde kullanılan mahfazalı sıcak plaka cihazı için uygun maksimum boyut olan 30x30x5cm'lik boyut dikkate alınmış, örneklerin bu boyutta hazırlanmasına karar verilmiştir.

2.1.1.5. FDM-Pomza Oranlarının Belirlenmesi

FDM-Pomza karışım oranları belirlenirken, literatürde Beton- FDM ve Alçı-FDM karışımları üzerine yapılan çalışmalar [1, 4, 6, 7, 9, 14, 41, 45, 52] baz alınmıştır.

Hazırlanacak yeni karışımın mekanik dayanımı ve maliyet faktörü de göz önünde bulundurularak karışım oranları %5, %10 ve %15 olarak belirlenmiştir.

2.1.1.6. Örneklerin Hazırlanması

Çalışmada, FDM olarak kullanılan parafin bazlı MikroCaps-PCM25-Slurry malzemesi belirlenen pomza agrega miktarının %5, %10 ve %15'i oranlarında karışıma eklenerek FDM'li ve FDM'siz pomza blok örnekleri oluşturulmuştur. Bu amaçla ilk olarak FDM'siz pomza blok örneği için gerekli pomza agregası, çimento ve karma suyu miktarı belirlenmiş, bunun için hali hazırda 15 yıldır pomza blok üretimi yapan imalathanenin kullandığı oran ve miktarlar baz alınmıştır. Daha sonra FDM'li örneklerin karışım oranları, yoğunluk da göz önünde bulundurularak, sadece kullanılan pomza agrega miktarının %5, %10 ve %15'i oranında FDM eklenmesi ile yapılmış, karışımdaki çimento miktarı sabit tutulmuştur. Hazırlanan örneklerde kullanılan malzemeler ve kullanım miktarları Tablo 16'da verilmiştir.

Tablo 16. Örneklerde kullanılan malzemeler ve kullanım miktarları

Malzemeler (g)	FDM'siz (Referans)	%5 FDM'li	%10 FDM'li	%15 FDM'li
FDM (MikroCapsPCM25)	-	175	350	525
Pomza Agrega	3500	3325	3150	2975
Çimento	500	500	500	500
Su	175	175	175	175
Toplam Ağırlık	4175	4175	4175	4175
Kuru Ağırlık	2850	2850	2850	2850

FDM'li karışımlar hazırlanırken ilk olarak pomza agregası hazırlanmış, bütün karışımlarda aynı kurulukta kullanılmasına dikkat edilmiştir. Hazırlanan pomza agregası üzerine çimento ilave edilerek, kuru bileşenler 5 dakika karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi harç karıştırıcı ile düşük devirde yapılmıştır. Karıştırma işlemi devam ederken sırasıyla suyun 2/3'lük kısmı, FDM ve kalan su miktarı da karışıma eklenmiştir. FDM' nin homojen

dağılımını sağlamak için karıştırma işlemi 5 dakika daha sürdürülerek sonlandırılmıştır. Daha sonra vibrasyonlu hidrolik press makinesinin içerisindeki 300mmx300mmx60mm boyutlarında hazırlanan kalıba, önce yapışmaması için yağlanan 300mmx300mmx5mm'lik sac yerleştirilmiş, sacın üzerine karışım dökülmüştür. Makinenin uyguladığı titreşimle kalıba iyice yerleşmesi sağlanan karışımın üzerine daha sonra 300mmx300mmx5mm boyutlarındaki ikinci sac yerleştirilmiş ve kalıp makinenin press bölümüne aktarılmıştır. Bu bölümde ise kalıp üzerine uygulanan basınç ile karışımların pürüzsüz düzgün şeklini alması sağlanmıştır. Şekil 18 'de örneklerin hazırlanma aşamaları sırasıyla verilmiştir.

2.1.1.7. Örneklerin Yoğunluklarının Hesaplanması

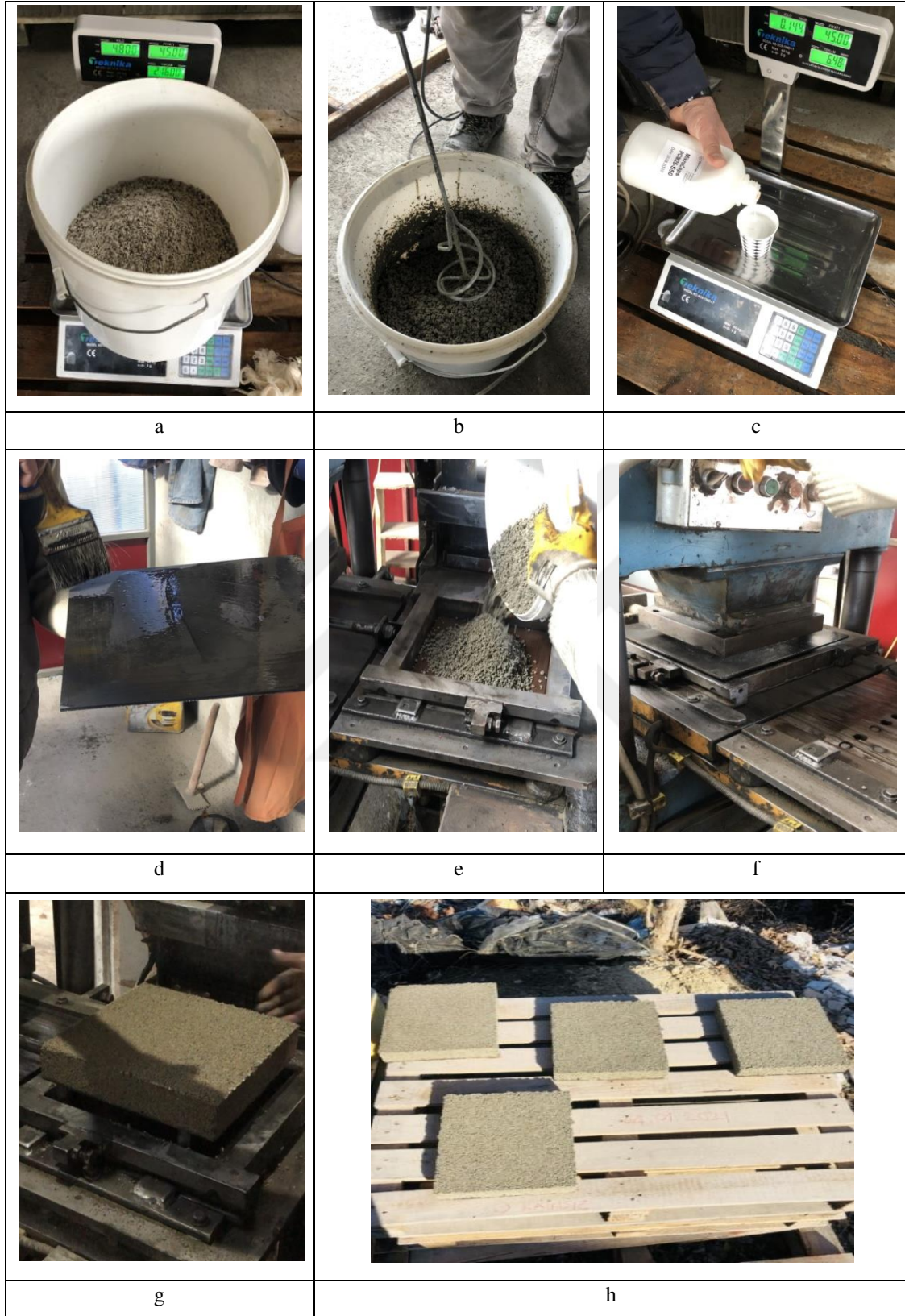
Çalışmada hazırlanan FDM'siz ve FDM'li pomza blok örneklerinin yoğunlukları Tablo 16'da verilen malzemelerin karışım miktarları ve Tablo 17'de verilen her bir malzemenin yoğunluk ve hacim verilerine göre Eşitlik 1 yardımı ile hesaplanmıştır.

$$d = (m_1 + m_2 + m_3 + \dots) / (V_1 + V_2 + V_3 + \dots) \quad (1)$$

d , yoğunluğu; m kütleyi; V hacmi ifade etmektedir. Eşitlik 1'den de anlaşıldığı üzere karışımın yoğunluğu, karışımı oluşturan malzemelerin kütleleri toplamının karışımı oluşturan malzemelerin hacimleri toplamına oranı ile hesaplanmaktadır.

Tablo 17. Kullanılan malzemelerin yoğunluk ve hacim bilgileri

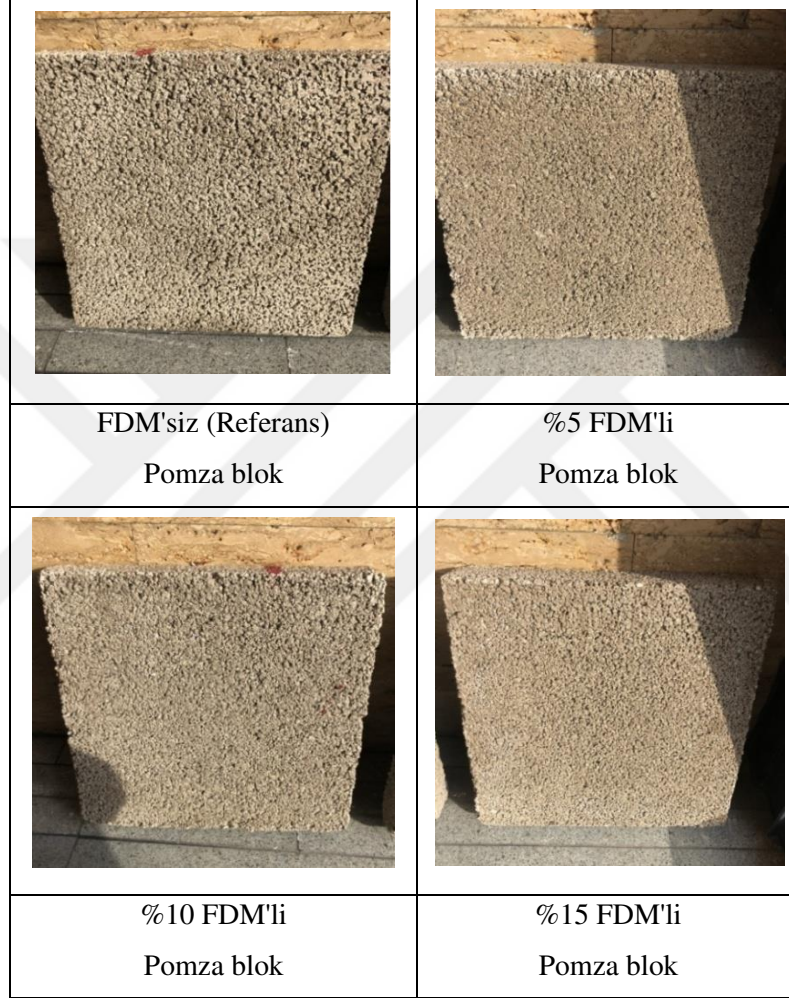
Kullanılan malzemeler	Yoğunluk d (g/cm ³)	Hacim V (cm ³)			
		FDM'siz	%5 FDM'li	%10 FDM'li	%15 FDM'li
FDM (MicroCapsPCM25)	900	-	0,2	0,4	0,6
Pomza agregası	0,6	5830	5541	5250	4958
Çimento	0,97	515	515	515	515
Karma suyu	1	175	175	175	175



Şekil 18. (a) Pomza agregası ve çimentonun tartılması, (b) Karışımın su eklenerek karıştırılması, (c) FDM'nin tartılması, (d) Sacın yağlanması, (e) Karışımın kalıba dökülmesi, (f) Press makinesinde basınç uygulanması (g) Karışımın kalıptan çıkarılması, (h) FDM'li örnekler ile FDM'siz örneğin kurumaya bırakılması

2.1.1.8. Örneklerin Termal Analizlerinin Yapılması

Deneysel çalışma ile hazırlanan örnekler 28 günlük kurutulma periyodundan sonra termal testlerinin yapılması için AYBÜ (Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi) Termal Laboratuvarına gönderilmiştir. Şekil 19 'da kuruyan örneklerin son hali verilmiştir.



Şekil 19. Hazırlanan örneklerin kuruduktan sonraki görünüşleri

2.1.1.8.1. Örneklerin Isıl iletkenlik Katsayısı Ölçümleri

Örneklerin ısı iletkenlik değeri, “Plaka metodu ile Isıl İletkenliğinin Tayini” (TS ISO 8302) standardında ön görülen prensiplere göre yapılmıştır. Ölçme hatalarını en aza indirmek için ölçüm sırasında kullanılan sıcaklık farkının çok düşük olması gerekmektedir.

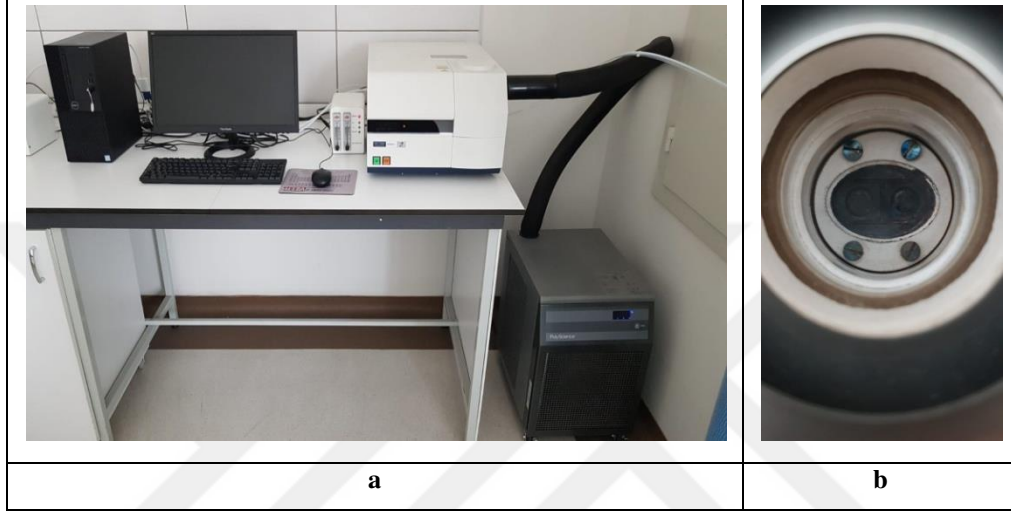


Şekil 20. (a) Örneklerin ısı iletkenlik katsayılarının belirlenmesi, (b) ve (c) Ölçümlerin bilgisayar programında grafiksel olarak takip edilmesi

Deneyisel çalışma kapsamında ısı iletkenlik katsayılarının belirlenmesi için Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Merkez Laboratuvarı bünyesindeki termal laboratuvarında bulunan mahfazalı sıcak plaka cihazı (Şekil 15a) kullanılmıştır. %5, %10 ve %15 FDM içeren $30 \times 30 \times 5$ cm boyutlarındaki örnekler ile aynı boyutlardaki FDM'siz örnek 28 günlük kurutulma kürünün ardından ısı iletkenlik katsayılarının belirleneceği cihaza yerleştirilmiştir (Şekil 20a). Sisteme verilen enerjiye ait göstergede, sıcaklıkların kararlı hale geldiği görüldükten ve sistemdeki sıcaklık farkı istenilen değerlere ulaştıktan sonra ölçme işlemine geçilmiştir. Mahfazalı sıcak plaka cihazına yerleştirilen numunelerin kalınlığı yaklaşık olarak 0,050m girildikten sonra ısı iletim katsayısının ölçümüne geçilmiştir. Isı iletim katsayısı değerleri bilgisayar programından grafiksel olarak takip edilmiştir (Şekil 20c).

2.1.1.8.2. Örneklerin Özgül Isı Kapasiteleri ve Gizli Isı Değeri Ölçümleri

Örneklerin özgül ısı kapasiteleri ve gizli ısı değerleri Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Merkez Laboratuvarında bulunan Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) cihazı ile belirlenmiştir. Cihaza ait teknik özellikler Tablo 15b 'de verilmiştir.

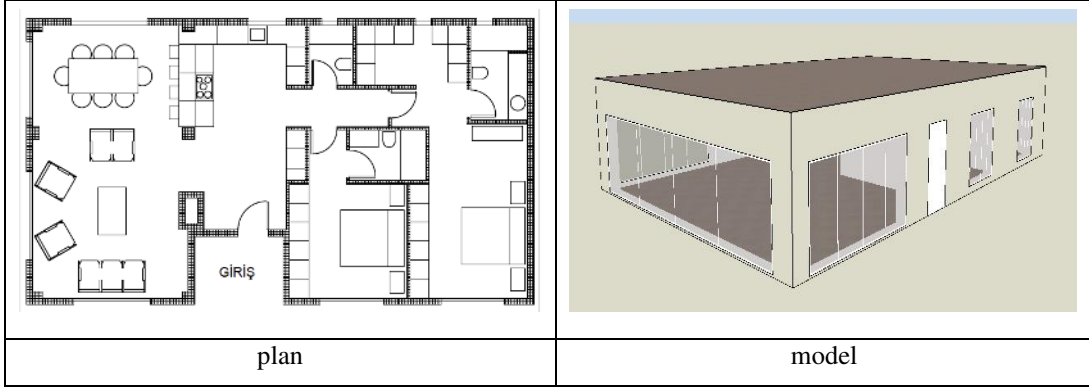


Şekil 21. (a) Diferansiyel taramalı kalorimetre cihazı, (b) DSC cihazında numunenin koyulduğu kısım

DSC analizleri tek kullanımlık alüminyum numune kapları içerisinde yaklaşık 10 mg numune kullanılarak, inert azot gazı atmosferi altında, 1 °C/dk tarama hızında gerçekleştirilmiştir. Kullanılan DSC cihazı ve 10 mg'lık numunenin koyulduğu kısım Şekil 21a ve Şekil 21b 'de verilmiştir. Cihaza soğutucu ünite olarak intracooler bağlanmıştır.

2.1.2. Enerji Simülasyonları

Çalışmada Design Builder simülasyon programında örnek bir varsayımsal konut binası oluşturulmuştur. Oluşturulan tek katlı, teras çatılı örnek konuta ait boyutsal ölçüler 15mx10m olup, taban alanı 150 m² olarak tasarlanmıştır. 2+1 olarak düşünülen örnek konutta; salon, açık mutfak ve iki yatak odası bulunmaktadır. Konutta mekanik havalandırma kullanılmadığı varsayılmıştır. Şekil 22 'de oluşturulan konutun planı ve Design Builder programı ile oluşturulan model görünüşü verilmiştir.



Şekil 22. Örnek bina planı ve model görünüşü

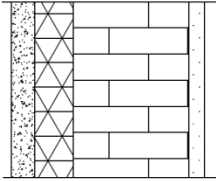
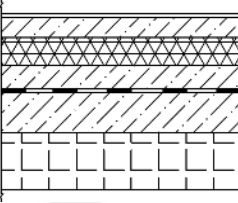
2.1.2.1. Bina Kabuğuna Ait Bilgiler

Bina kabuğu bileşenlerinin U değerleri belirlenirken TS 825 standardında belirtilen aralıklarda olmasına dikkat edilmiştir. Dış duvar gövde malzemesi olarak deneysel çalışma ile hazırlanmış olan FDM'siz ve FDM'li pomza blok örnekleri kullanılmıştır. Isı yalıtım malzemesi olarak ise yaygın kullanımından dolayı Ekstrüde Polistiren (XPS) tercih edilmiştir. Bina kabuğu saydamlık oranı TS 825'in konutlar için uygun görüldüğü aralıklar dikkate alınarak %30 olarak varsayılmıştır [61]. Çift tabaka camlı, ahşap doğramalı bir pencere sistemi tercih edilmiştir. Pencerelelerde kullanılan cam sistemi argon gaz dolguludur ve kalınlıkları 6mm x 13mm x 6mm'dir. Örnek konut binasına ait kabuk bileşenlerinin fiziksel ve boyutsal özellikleri Tablo 18'de verilmiştir.

Tablo 18. Örnek binanın, bina kabuğu bileşenlerinin fiziksel ve boyutsal özellikleri

Eleman		Katman	Isıl iletkenlik, λ (W/mK)	Kalınlık, d (mm)	Isı geçirgenlik, U (W/m ² K)
Çatı		Çakıl	0,36	50	0,335
		Keçe	0,05	10	
		Su yalıtımı	0,027	13	
		Eğim betonu	0,16	50	
		XPS ısı yalıtımı	0,034	70	
		B.A Döşeme	2,5	120	
		Alçı sıva	0,25	20	

Tablo 18 'in devamı

D1 Referans		Dış sıva	0,3	30	0,360
		XPS ısı yalıtımı	0,034	50	
		Referans Pomza blok	0,153	150	
		Alçı sıva	0,25	20	
Zemin Döşemesi		Ahşap parke	0,14	20	0,202
		Koruma betonu	0,16	50	
		XPS ısı yalıtımı	0,034	70	
		Eğim betonu	0,16	50	
		Su yalıtımı	0,027	13	
		Grobeton	0,16	100	
		Blokaj	0,36	150	
Pencere	Doğrama	Ahşap	0,13	50	2,270
	Cam sistemi	Berrak cam+argon+ berrak cam	-	6+13+6 mm	2,665

2.1.2.2. FDM'li Duvar Konstrüksiyonlarına Ait Senaryolar

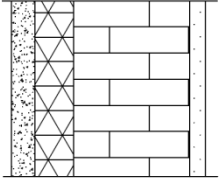
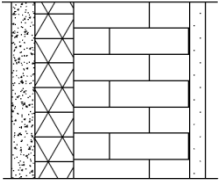
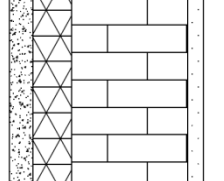
Deneysel çalışma ile oluşturulan FDM'li pomza blok örneklerinin bina enerji performansı üzerine etkisini belirlemek amacıyla yapılan enerji simülasyon çalışmasında kullanılan parametreler Tablo 19 'da verilmiştir.

Tablo 19. Enerji Simülasyon çalışmasında kullanılan parametreler

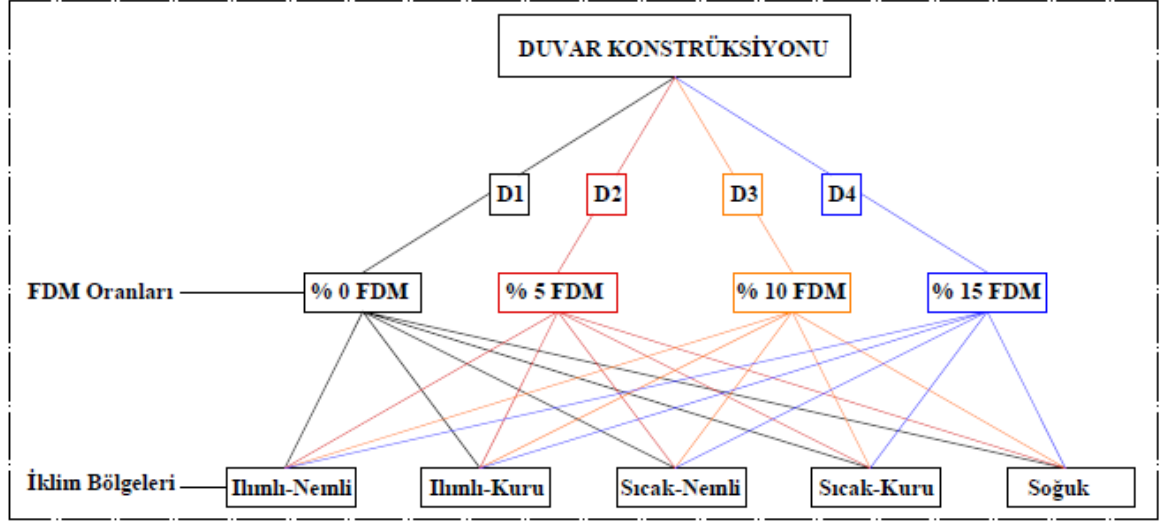
FDM'li pomza blokların kullanıldığı bileşen	FDM çeşidi	FDM birleştirme teknigi	FDM faz değişim sıcaklık aralığı	Kullanılan simülasyon programı
Dış Duvarlar	MikroCaps PCM-25	Mikro kapsülleme	22-26 °C	Design Builder

Tablo 19 'daki parametreler doğrultusunda pomza içerisine 22-26 °C'lik faz değişim sıcaklık aralığına sahip MikroCapsPCM-25 Slurry malzemesinin %5, %10 ve %15 oranlarında karıştırılmasından elde edilen FDM'li pomza blok örnekleri dış duvar gövde malzemesi olarak kullanılmıştır. FDM'li yeni duvar modellerinin katman ve kalınlıkları Tablo 20 'de verilmiştir.

Tablo 20. FDM'li duvar modellerinin fiziksel ve boyutsal özellikleri

Eleman		Katman	Isıl iletkenlik λ (W/mK)	Kalınlık d (mm)	Isı geçirgenlik U (W/m ² K)
D2 %5 FDM'li		Dış sıva	0,3	30	0,364
		XPS ısı yalıtımı	0,034	50	
		%5 FDM'Lİ Pomza blok	0,159	150	
		Alçı sıva	0,25	20	
D3 %10 FDM'li		Dış sıva	0,3	30	0,359
		XPS ısı yalıtımı	0,034	50	
		%10 FDM'Lİ Pomza blok	0,152	150	
		Alçı sıva	0,25	20	
D4 %15 FDM'li		Dış sıva	0,3	30	0,352
		XPS ısı yalıtımı	0,034	50	
		%15 FDM'Lİ Pomza blok	0,144	150	
		Alçı sıva	0,25	20	

Şekil 23'te enerji simülasyonlarında ele alınan senaryolar görülmektedir. 5 referans senaryo olmak üzere toplam 20 senaryonun enerji simülasyonu gerçekleştirilmiştir.



Şekil 23. Enerji simülasyonlarında ele alınan senaryolar

Yapılan deneysel çalışma ile hafif yapı malzemesi pomza ve 22-26 °C'lik faz değişim sıcaklık aralığına sahip %5, %10 ve %15 oranlarındaki MikroCapsPCM25-slurry malzemesinin karışımından elde edilen FDM'li pomza blokların ve FDM'siz pomza bloğun termal laboratuvar ölçümleri ile elde edilen ısı iletkenlik katsayıları, özgül ısı kapasiteleri, gizli ısı değerleri ve yoğunlukları DesignBuilder simülasyon programına girilmiştir. Türkiye'deki beş iklim bölgesi: Ilımlı-Nemli, Ilımlı-Kuru, Sıcak-Nemli, Sıcak-Kuru ve Soğuk iklim bölgesinden sırasıyla Trabzon, Ankara, Antalya, Diyarbakır ve Erzurum illeri pilot iller olarak belirlenmiştir. Belirlenen pilot illerin simülasyonlarda kullanılacak iklimsel veri dosyaları epw dosya formatında DesignBuilder'a yüklenmiştir. Veri girişleri tamamlandıktan sonra örnek konut binasının FDM'siz (referans) durum ve FDM'li durumlardaki enerji simülasyonları DesignBuilder enerji simülasyon programında yapılmış, her bir pomza blok örneği için Türkiye'deki beş iklim bölgesinde gerçekleşen aylık ve yıllık ısıtma-soğutma ve toplam enerji yükleri hesaplanmıştır.

2.1.3. Deneysel Uygulama

%15 FDM'li pomza blok örneğinin zaman geciktirmesi ve iç mekan sıcaklık dalgalanmalarına etkisini belirlemek amacıyla, belirli koşullar altında, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümündeki Isıtma-İklimlendirme Laboratuvarında uygulama çalışması yapılmasına karar verilmiştir. Uygulamada kullanılacak FDM oranı,

Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Termal Laboratuvarında yapılan test sonuçları doğrultusunda belirlenmiştir. Bu amaçla 40cmx35cmx40cm boyutlarında, üç cephesi opak, bir cephesi saydam, zemin ve çatısı yalıtımlı, FDM'siz (referans) ve %15 FDM'li iki adet mini kabin hazırlanmıştır.

Yapılan deneysel uygulamalarda sınır koşullar belirlenirken Türkiye'deki yıllık ortalama güneş ışıınım değerleri ve kullanılan FDM'nin faz değişim sıcaklık aralığı baz alınmıştır. Laboratuvar ortamında kontrol odası ve endüstriyel fırın olmak üzere iki farklı ortamda gerçekleştirilen uygulamalarda, mini kabinlerin duvar dış ve iç yüzeylerine ve iç mekanlarında farklı noktalarına yerleştirilen ısıl çiftler aracılığı ile buralarda zamana bağlı olarak gerçekleşen sıcaklık değişimleri belirlenmiştir. Deneysel uygulamalar sonucunda elde edilen veriler ile %15 FDM'li pomza blok örneğinin FDM'siz pomza bloğa göre zaman geciktirmesi ve iç mekan sıcaklık dalgalanmalarına etkisi analiz edilmiştir.

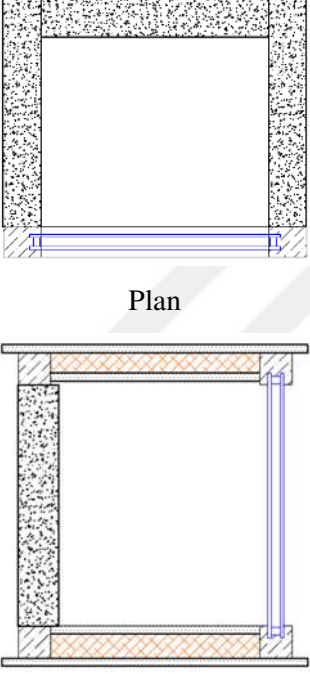
2.1.3.1. Mini Kabinlerin Hazırlanması

Kabinlerin opak cephelerinde kullanılmak üzere, deneysel çalışmada hazırlanan pomza blok örnekleri ile aynı şartlarda, aynı oranlarda ve 30cmx30cmx5cm olmak üzere aynı boyutlarda, her birinden 3'er adet olacak şekilde FDM'siz (referans) ve %15 FDM'li pomza blok örnekleri hazırlanmıştır. Şekil 24 'te deneysel uygulama için hazırlanan pomza blok örneklerinin hazırlık aşamalarına ait görseller verilmiştir.



Şekil 24. FDM'li ve FDM'siz pomza blok örneklerinin hazırlanma aşamaları
 (a) pomza agrega ve çimento karışımlarının hazırlanması, (b) FDM'nin eklenmesi, (c) karışımın karıştırılması, (d) kalıba dökülmesi, (e) vibrasyonlu hidrolik press makinesinde şeklinin verilmesi, (f) örneklerin kurumaya bırakılması

Hazırlanan pomza blok örnekleri 28 günlük kurutulma periyodunun ardından kullanıma hazır hale gelmiştir. Kabinlerin saydam cephelerinde, 4cmx4cm boyutlarında ahşap çerçeveli, 4mmx12mmx4mm boyutlarında içi hava dolgulu çift tabakalı cam kullanılmıştır. Kabinlerin zemin ve çatısı, içerisine 10 cm'lik folyolu taş yününün sıkıştırılması ile elde edilen yalıtımlı ahşap paneller ile oluşturulmuştur. Şekil 25 'te hazırlanan kabinlerin plan ve kesiti verilmiştir.

Mini Kabin	Eleman	Katman	Kalınlık <i>d (mm)</i>
 Plan Kesit	Dış duvar	%15 FDM'Lİ Pomza blok	50
	Zemin döşemesi	Ahşap plaka	10
		Folyolu taş yünü	100
		Ahşap plaka	10
	Çatı döşemesi	Ahşap plaka	10
		Folyolu taş yünü	100
		Ahşap plaka	10
	Pencere sistemi	Ahşap çerçeve	40X40
		Çift tabakalı cam	4 X 12 X 4 Hava dolgulu

Şekil 25. Hazırlanan mini kabinlerin plan ve kesiti

Mini kabinlerin hazırlanma aşamaları ise Şekil 26 'da görülmektedir.



Şekil 26. Mini kabinlerin yapılma aşamaları (a) zemin ve çatı paneline yalıtımın yerleştirilmesi, (b) pomza blokların zemine sabitlenmesi, (c) ahşap çerçevenin takılması, (d) çatının yapıştırılması, (e) hazırlanan referans ve FDM'li kabinlerin görünüşü

2.1.3.2. Deneysel Uygulama Sınır Koşulları

Deneysel uygulama sınır koşulları, Türkiye'deki yıllık ortalama güneş ışınlam değerleri ve kullanılan FDM'nin faz değişim sıcaklık aralığı baz alınarak belirlenmiştir.

2.1.3.3. Güneş Işınım Değerlerinin Belirlenmesi

Türkiye'de 2011-2020 yılları arasında yıllık ortalama güneş radyasyonu 1560,4 kWh/m²'dir [URL-18]. 2012-2020 yılları arasında Türkiye ortalama günlük güneşlenme süresi ise 6,5 saattir [URL-19]. Bu veriler doğrultusunda Türkiye'deki günlük ortalama güneş ışıınım değerinin 667W/m² civarında gerçekleştiği görülmektedir. Tablo 21 'de Türkiye'ye ait yıllık ortalama güneşlenme verileri verilmiştir.

Tablo 21. 2011-2020 yılları arasında Türkiye'nin yıllık ortalama güneşlenme verileri [URL-18, URL-19].

Türkiye Ortalama Güneş Radyasyonu (kWh/m ²)	1560,4
Türkiye'deki Ortalama Günlük Güneşlenme Süresi (h)	6,5
Türkiye'deki Ortalama Günlük Güneş Işınım Değeri (W/m ²)	667

Kontrol odası içerisinde gerçekleştirilen uygulamalarda, kabin duvarına uygulanacak güneş ışıınım değerleri Tablo 20 'deki verilerden yararlanılarak, maksimum 800W/m², ortalama olarak da 600W/m² olarak belirlenmiştir.

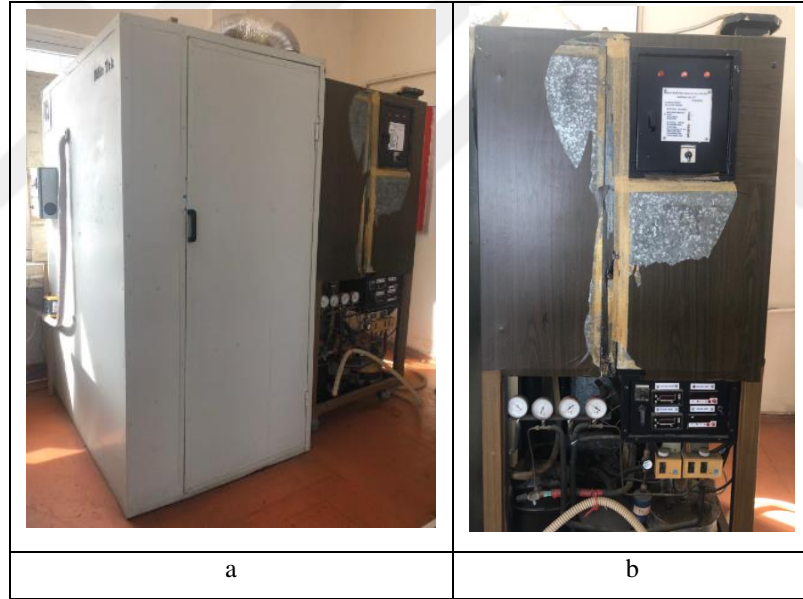
2.1.3.4. Deneysel Uygulama Sıcaklıklarının Belirlenmesi

Deneysel uygulamanın hangi sıcaklıklarda yapıldığı, FDM'nin faz değişim sürecini tamamlayabilmesi açısından önemlidir. Çalışmada kullanılan FDM'nin faz değişim sıcaklık aralığı olan 22-26 °C aralığı dikkate alınarak, deneysel uygulama sistem denge sıcaklığı 20-21 °C, kabin duvarı maksimum iç yüzey sıcaklığı ise 28 °C olarak belirlenmiştir.

2.1.3.5. Deneyisel Uygulama Cihazları

2.1.3.5.1. Kontrol Odası

Yapılan uygulama çalışmalarının bir kısmı, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümündeki Isıtma-İklimlendirme Laboratuvarında bulunan, iklimlendirme sistemli bir kontrol odası içerisinde gerçekleştirilmiştir. Kontrol odası 100cmx150cmx200cm boyutlarında ve 2cm kalınlığında iki adet plywood levha arasına 1cm kalınlığında cam yünü kullanılması ile yapılmıştır. Kontrol odası içinde ve dışında iki ayrı soğutma ünitesi bulunmaktadır. Bu üniteler sayesinde ortam sıcaklığı istenilen sabit sıcaklıkta tutulabilmektedir. Şekil 27 'de kontrol odası ve soğutma ünitesinin görünüşü verilmiştir.



Şekil 27. (a) Kontrol odası, (b) kontrol odası soğutma ünitesi

2.1.3.5.2. Endüstriyel Fırın

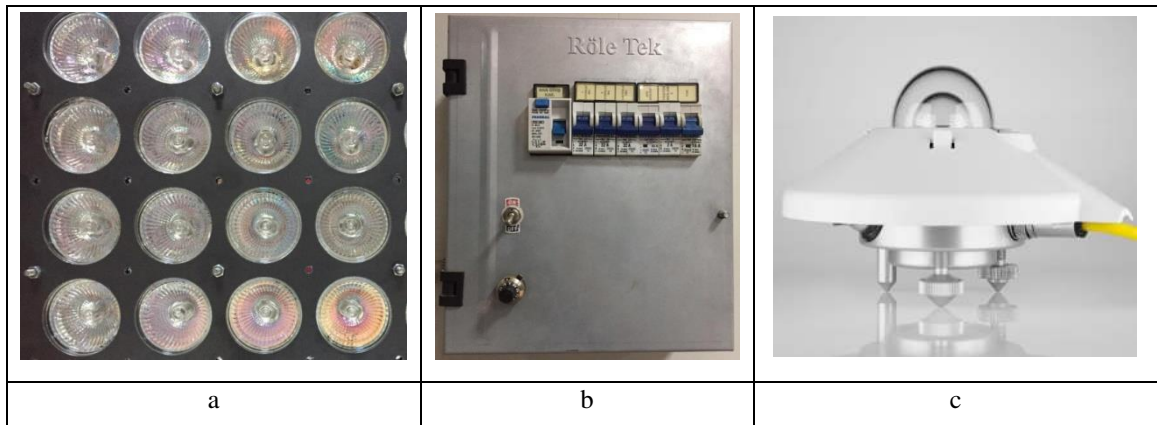
Yapılan uygulama çalışmalarının bir bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümündeki Isıtma-İklimlendirme Laboratuvarında bulunan, endüstriyel fırın içerisinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 28 'de fırının dış görünüşü verilmiştir.



Şekil 28. Endüstriyel fırın dış görünüşü

2.1.3.5.3. Işınım Şiddeti Ölçümü

Uygulamada güneşi modellemek amacı ile 48 adet 50W'lık halojen lamba bir düzeneğe bir araya getirilmiş ve sisteme bağlanan potansiyometre aracılığı ile ışıınım şiddeti ayarlanabilmiştir. Şekil 29 'da uygulamalarda kullanılan halojen lamba düzeneği ve potansiyometreye ait görseller verilmiştir.



Şekil 29. (a) Halojen lambalar, (b) potansiyometre, (c) pironometre

Mini kabin duvar yüzeyine uygulanan ışıınım şiddeti ölçümü ise Kipp and Zonen CMP11 marka, $7-14 \mu V/W/m^2$ hassasiyete sahip pironometre ile yapılmıştır. Şekil 29c 'de pironometreye ait görsel verilmiştir.

2.1.3.5.4. Sıcaklıkların Ölçümü

Kontrol odası içerisinde yapılan uygulamada mini kabinlere:

- Isıtılan duvar dış yüzeyinde merkez noktaya,
- Isıtılan duvar iç yüzeyinin köşeleri ve orta noktası olmak üzere 5 farklı noktaya,
- Oda zemininin köşegeni boyunca, eşit aralıklarla zeminden 17cm yükseklikte 3

noktaya ve

- Kontrol odası içerisinde bir noktaya

olmak üzere toplam 10 adet T tipi ısıl çiftler yerleştirilmiştir. Şekil 30 'da kontrol odasındaki uygulamada ısıl çiftlerin mini kabin içerisine yerleştirilmiş hali görülmektedir.



Şekil 30. Kontrol odasındaki uygulamada mini kabin içerisine ve dışına yerleştirilen ısıl çiftler

Endüstriyel fırın içerisinde yapılan uygulamada mini kabinler aynı anda fırın içerisine yerleştirildiği için ısıl çiftler mini kabinlere eşit olarak paylaştırılmış ve

- Mini kabin duvarı dış yüzeyinde merkez noktaya,
- Aynı kabin duvarı iç yüzey köşegeni üzerinde eşit aralıklarla üç noktaya,
- Zemin köşegeninin orta noktasında 17cm yükseklikte bir noktaya ve
- Fırın içerisinde orta noktaya

olmak üzere toplam 11 adet T tipi ısıl çift yerleştirilmiştir. Şekil 31 'de fırın içerisindeki uygulamada ısıl çiftlerin mini kabin içerisine yerleştirilmiş hali görülmektedir.



Şekil 31. Fırın içi uygulamada ısı çiftlerinin mini kabinlere yerleştirilmiş hali

2.1.3.5.5. Veri Toplama Sistemi

Mini kabinlerin içerisinde farklı noktalara yerleştirilmiş ısı çiftleri aracılığı ile alınan sıcaklıklar, PCE-T 1200 marka 12 kanallı data logger aracılığı ile 10 saniye aralıklarla kaydedilmiştir. Tablo 22 'de kullanılan data logger'a ait görsel ve özellikler verilmiştir.

Tablo 22. Data Logger ve özellikleri

	
Kanal sayısı	12
Çözünürlük	0,1 °C
Hassasiyet	± % 0,4 veya 1 °C
Veri kayıt aralığı	1-3600 saniye

2.1.3.5.6. Termal Kamera

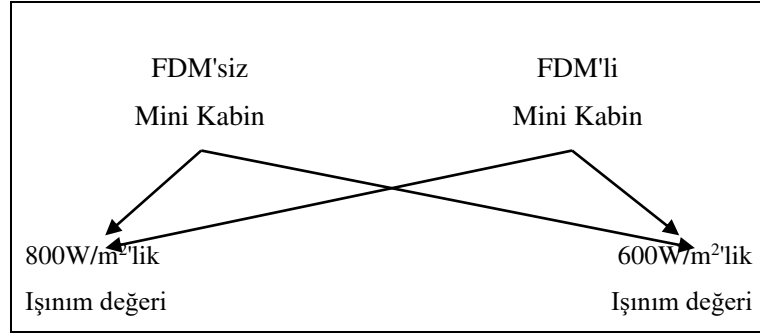
Mini kabinlerin ısı depolama özelliklerinin ve duvar yüzeylerindeki ısı dağılımlarının incelenmesi amacıyla, Infrared termografi yöntemi kullanılarak, Fluke TIS60+ marka termal kamera ile 1 dakikalık aralıklarla ısı uygulanan duvar yüzeyinden radyometrik görüntüler elde edilmiştir. Termal kameranın çalışma prensibi maddeden yayılan infrared enerjisinin ölçülerek bu verilerin sıcaklığa dönüştürülmesi temeline dayanmaktadır. Kabinlerin genel termal görüntüleri, yaklaşık 0,8m mesafeden çekilmiştir. Emisivite değeri beton yüzeyler için olan 0,92 değerine ayarlanmıştır. Elde edilen termogramlar ve gerçek görüntüler Fluke Smart View yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. Tablo 23 'de kullanılan termal kameranın görünüşü ve özellikleri verilmiştir.

Tablo 23. Termal kamera ve özellikleri

	
Çözünürlük	320x240 (76.800 piksel)
Görüş alanı	34,1 °Y x 25,6 °D
Minimum odak mesafesi	46cm
IFOV (uzamsal çözünürlük)	1,86 mRad, D:S 532:1

2.1.3.6. Kontrol Odasında Yapılan Deneysel Uygulamalar

Kontrol odası içerisindeki kabine, belirlenen sınır koşullar altında, 600 ve 800W/m²'lik ısıtım değerlerinin uygulanması ile toplam 4 deney gerçekleştirilmiştir. Şekil 32 'de uygulama senaryoları görülmektedir.



Şekil 32. Kontrol odasında yapılan uygulama senaryoları

Uygulamada, FDM'siz ve %15 FDM'li mini kabinler kontrol odasına tek tek alınmıştır. Şekil 33 'de kontrol odasında hazırlanan deney düzeneğinden görüntü verilmiştir.



Şekil 33. Kontrol odasında hazırlanan deney düzeneği

Kontrol odasına mini kabin yerleştirildikten sonra yaklaşık 5 saatlik süre boyunca, oda iç ortamının ve yerleştirilen mini kabin duvar iç yüzey sıcaklığının 20-21 °C' arasında dengeye gelmesi beklenmiştir. Sistem dengeye geldikten sonra deneye başlanmıştır. Yerleştirilen kabinin bir duvar yüzeyine, yüzeye dik doğrultuda, 48 adet halojen lambadan oluşturulan düzenek ile 600W/m² ve 800W/m² değerindeki ısıtım şiddetleri ayrı ayrı uygulanmıştır. Uygulama başlangıcında 20-21 °C aralığında olan kontrol odası iç ortam sıcaklığı, uygulama esnasında hızla yükselmiş ve soğutma ünitesi yardımı ile yaklaşık 30 °C' de sabitlenmiştir. Mini kabin duvar iç yüzey sıcaklığı 30-31 °C' ye ulaşınca, halojen

lambalarla ısı uygulaması sonlandırılmış, soğutma ünitesi çalışmaya devam etmiştir. Mini kabin duvar iç yüzey sıcaklığı başlangıç sıcaklığı olan 20-21 °C' aralığına kadar soğuyunca deneyler sonlandırılmıştır.

2.1.3.7. Fırın İçerisinde Yapılan Deneysel Uygulama

Endüstriyel fırın içerisinde yapılan uygulamanın kontrol odasında yapılan diğer uygulamalardan farkı;

- Güneş ışınlam değeri kullanılmadan sadece ortam sıcaklığının kullanılması ve
- FDM'siz ve %15 FDM'li mini kabinlerin aynı anda deneylerinin yapılabilmiş olmasıdır.



Şekil 34. Endüstriyel fırın içerisinde hazırlanan deney düzeneği

Deneysel uygulamada, FDM'siz ve %15 FDM'li mini kabinler fırın içerisine yerleştirildikten sonra yaklaşık 6 saatlik süre boyunca, fırın iç ortamının ve yerleştirilen mini kabin duvar iç yüzey sıcaklığının 20-21 °C' aralığında dengeye gelmesi beklenmiştir. Sistem dengeye geldikten sonra deneye başlanmıştır. Fırın iç sıcaklığı 28 °C'ye kadar yükseltilerek o sıcaklıkta sabitlenmiştir. Her iki kabinin duvar iç yüzey sıcaklığı 28 °C' ye ulaşınca fırın kapatılmış ve içerisindeki mini kabinlerle birlikte soğumaya bırakılmıştır. Mini kabinlerin duvar iç yüzey sıcaklığı başlangıç sıcaklıkları olan 20-21 °C aralığına kadar soğuyunca deney sonlandırılmıştır. Şekil 34 'te endüstriyel fırın içerisinde hazırlanan deney düzeneğinden görüntüler verilmiştir.

3. BULGULAR

Bu bölümde, Yapılan Çalışmalar bölümünde açıklanan deneysel çalışma, enerji simülasyonu ve deneysel uygulama çalışmaları ile elde edilen bulgular özetlenerek, konuyla ilgili değerlendirmeler yapılmıştır.

3.1. Deneysel Çalışma Bulguları

Deneysel çalışma ile oluşturulan Referans (FDM'siz) ve FDM'li pomza blok örneklerinin termal laboratuvarlarda yapılan ölçümler ile ısı iletkenlik katsayıları hesaplanmış; DSC ölçümleri ile de özgül ısı kapasiteleri ve gizli ısı değerleri belirlenmiştir.

3.1.1. Pomza Blok Örneklerinin Isıl İletkenlik Katsayıları

FDM'siz ve %5, %10 ve %15 oranlarında FDM içeren pomza blok örneklerinin ısı iletkenlik katsayıları, TS ISO 8302 “Plaka Metodu ile Isıl İletkenliğinin Tayini” standardında belirtilen şartlar altında, 30cmx30cmx5cm boyutlarında örnekler ile belirlenmiş, örneklerinin ısı iletkenlik katsayılarının karşılaştırılması Tablo 24 'te verilmiştir.

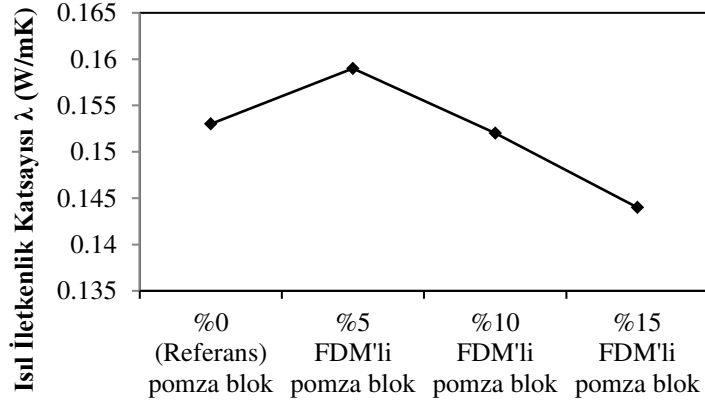
Tablo 24. Pomza blok örneklerinin ısı iletkenlik katsayılarının karşılaştırılması

Örnek	Isıl İletkenlik Katsayısı λ (W/mK)	FDM'siz Duruma Göre
FDM'siz pomza blok	0,153	-
%5 FDM'li pomza blok	0,159	%4 artmış
%10 FDM'li pomza blok	0,152	%0,65 azalmış
%15 FDM'li pomza blok	0,144	%6 azalmış

%5 oranda katılan FDM'nin, ısı iletkenlik katsayısını %4 oranında arttırdığı görülmüştür. Yapılan literatür incelemesinde beton ile yapılan benzer bir çalışmada da

%1-5 arasında farklı oranlarda yağ asiti bazlı FDM'lerin betona katılmasının Beton-FDM karışımının ısı iletkenlik katsayısını arttırdığı görülmüştür [4]. Bu durumun, pomza agregasının kütlesinde yapılan eksiltme miktarının sağladığı yalıtım miktarının, eklenen FDM miktarındaki gizli ısının sağladığı yalıtım miktarından daha fazla olmasından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.

%10 FDM içeren pomza blok örneğinin ısı iletkenlik katsayısına bakıldığında FDM'siz pomza blok ısı iletkenlik katsayısı ile benzer sonuç elde edildiği ve FDM'siz blok örneğine oranla %0,65 azalma olduğu görülmüştür. Aynı şekilde %15 FDM içeren pomza blok örneğinin ısı iletkenlik katsayısında ise, FDM'siz pomza blok örneğine oranla yaklaşık %6 azalma ile en optimum sonucun elde edildiği görülmüştür. Sonuç olarak karışıma eklenen FDM oranı arttıkça karışımın ısı iletkenlik katsayısında iyileşme elde edildiği belirlenmiştir. Bu duruma karışıma eklenen FDM içerisinde bulunan gizli ısı depolama miktarındaki artışın sebep olduğu düşünülmektedir. Şekil 35 'teki grafikte ısı iletkenlik katsayılarındaki değişim görülmektedir.



Şekil 35. Örneklerin ısı iletkenlik katsayılarındaki değişim

3.1.2. Pomza Blok Örneklerinin Özgül Isı Kapasiteleri (Cp-J/g.derece)

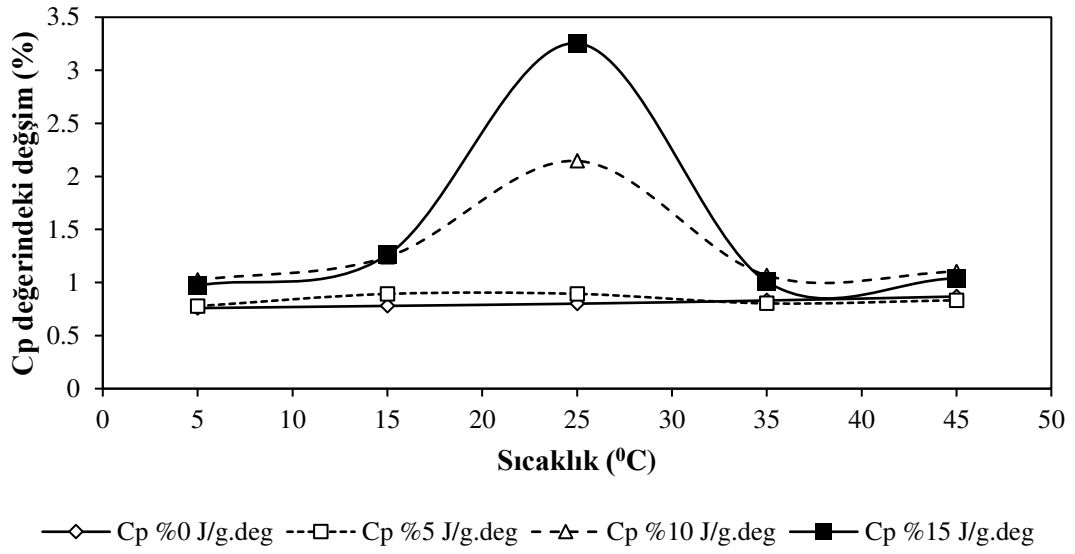
FDM'siz pomza bloğun ve %5, %10 ve %15 FDM içeren pomza blok örneklerinin özgül ısı kapasiteleri, her bir örnekten homojen olarak alınan 10mg'lık numunelerin DSC

analizleri ile belirlenmiştir. Örneklerin 5-45⁰C aralığındaki ölçüm sonuçları ve ortalama Cp değerleri Tablo 25 'te verilmiştir.

Tablo 25. Örneklerin 5-45 ⁰C aralığındaki ölçüm sonuçları ve ortalama Cp değerleri

Sıcaklık ⁰ C	FDM'siz Pomza Blok Cp (J/g.derece)	%5 FDM'li Pomza Blok Cp (J/g.derece)	%10 FDM'li Pomza Blok Cp (J/g.derece)	%15 FDM'li Pomza Blok Cp (J/g.derece)
5	0,761412	0,7775306	1,024029	0,971741
15	0,779641	0,892521	1,241685	1,260226
25	0,800621	0,8930618	2,14558	3,254608
35	0,830383	0,8033609	1,066386	1,008525
45	0,868174	0,8329769	1,102376	1,039294
Ort.	0,80	0,82	1,256	1,405

DSC ölçümleri sonucunda, %5 oranda katılan FDM'nin, özgül ısı kapasitesini %2,5 oranında arttırdığı gözlenmiştir. %10 FDM içeren pomza blok örneğinin özgül ısı kapasitesi FDM'siz pomza blok özgül ısı kapasitesine oranla %57 artış göstermiştir. %15 FDM içeren pomza blok örneğinin özgül ısı kapasitesi ise, FDM'siz pomza blok örneğine oranla yaklaşık %75 artarak en optimum sonuç elde edilmiştir. Şekil 36 'daki grafikte özgül ısı kapasitelerindeki değişim görülmektedir. Grafik incelendiğinde, FDM'siz örneğe göre, %5 FDM'li örneğin özgül ısı kapasitesindeki değişimin çok az olduğu, neredeyse FDM'siz örnek ile benzer sonuç elde edildiği görülmektedir. Bu durum ısı iletkenlik katsayısında elde edilen sonuca paralel olarak %5 FDM'li örneğin bünyesindeki gizli ısı değerinin az olmasından kaynaklanmaktadır. %10 ve %15 FDM'li örneklerin özgül ısı kapasitelerinde ise kullanılan FDM'nin faz değişim sıcaklık aralığı olan 22-26 ⁰C aralığında artış olduğu ve yaklaşık 25 ⁰C sıcaklığında pik değerlere ulaştığı görülmektedir. Bu durum %10 ve %15 FDM'li örneklerin faz değişim sıcaklık aralığı olan 22-26 ⁰C aralığında bünyelerindeki FDMlerin faz değişimi yolu ile gizli ısı depolamalarından kaynaklanmaktadır. Elde edilen sonuçlar FDM kullanımının belirli oranlardan sonra malzemelerin hem ısı iletkenlik katsayılarında hem de özgül ısı kapasitelerinde iyileşme sağladığını göstermiştir.

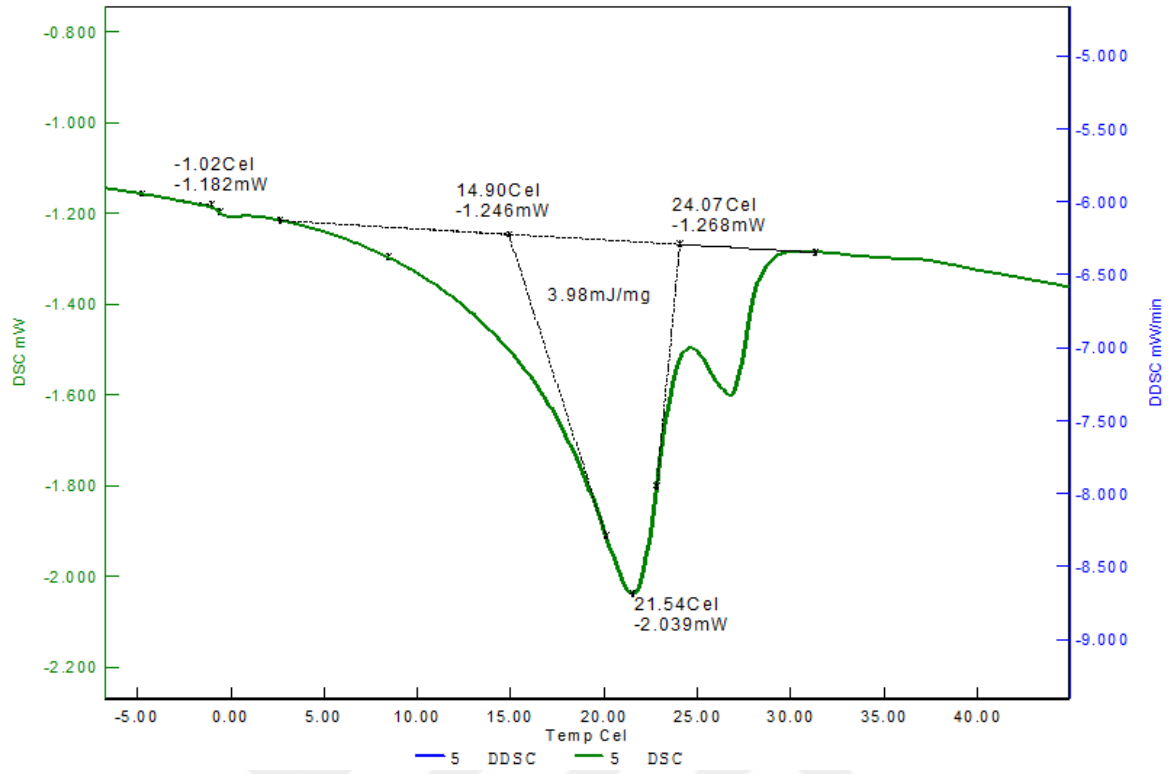


Şekil 36. Özgül ısı kapasitelerinin karşılaştırılması

3.1.3. Pomza Blok Örneklerinin Gizli Isı Değerleri

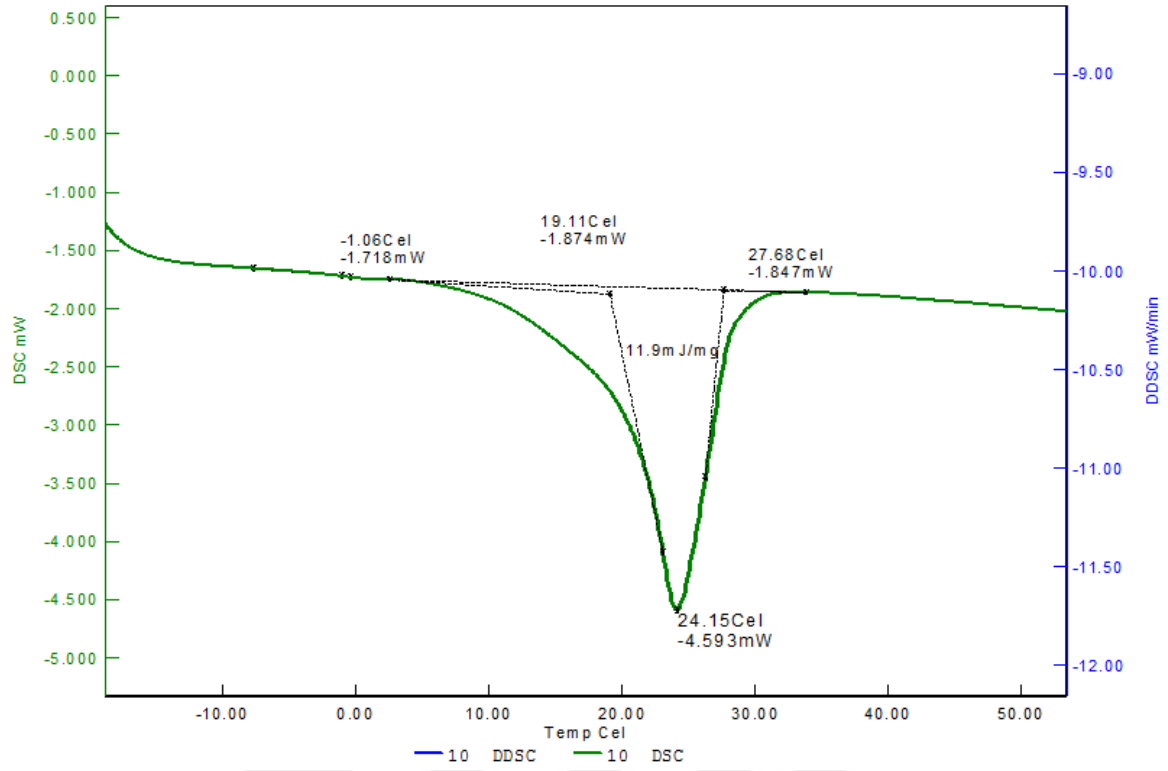
FDM'li pomza blokların gizli ısıları ve erime sıcaklığını belirlemek için DSC analizleri yapılmıştır. FDM'li pomza bloklara ait DSC termogramları ise aşağıda gösterilmiştir. DSC termogramının erimeye ait pik sıcaklıkları kullanılan FDM'nin faz değişim sıcaklık aralığı olan 22-26 °C aralığında gerçekleşmiştir.

%5 FDM'li pomza blok örneğine ait DSC termogramı Şekil 37 'de gösterilmiştir. Buna göre, kullanılan FDM düzgün erime ve donma davranışına sahip olup, aşırı soğuma göstermemiştir. %5 FDM'li örneğin erime noktası ve gizli ısı depolama miktarı (entalpisi), sırasıyla 21,5 °C ve 3,98 J/g olarak ölçülmüştür.



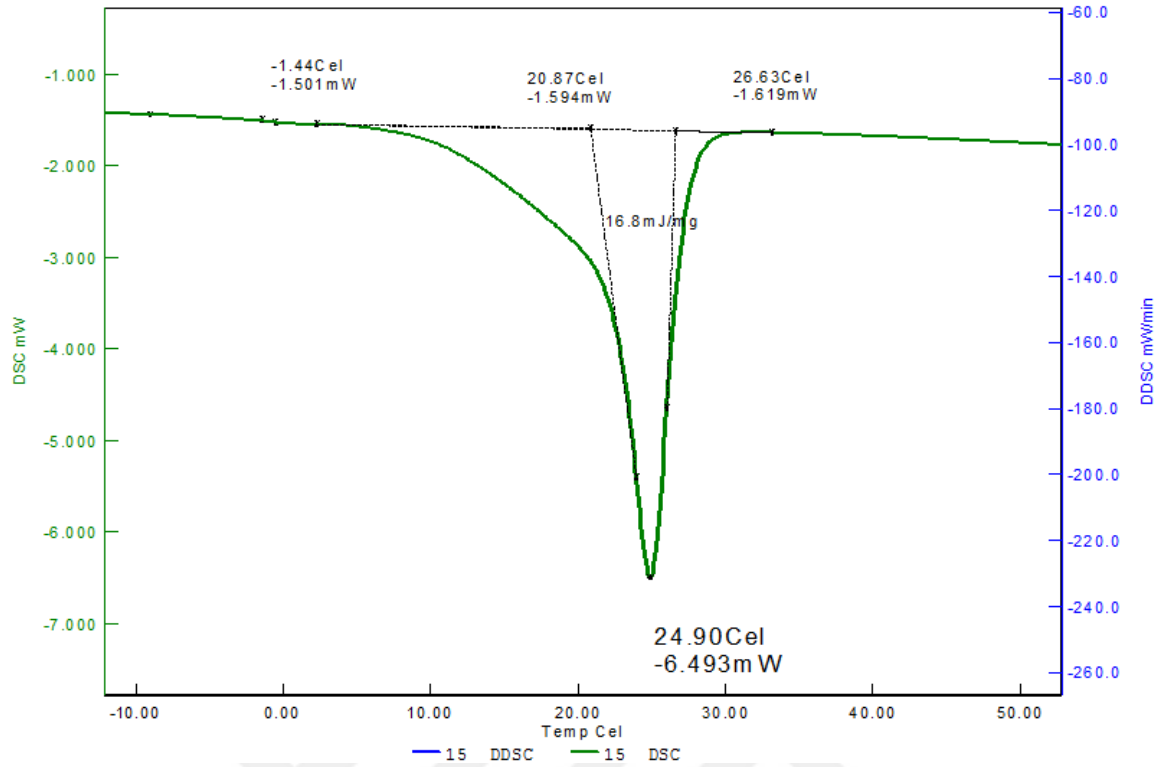
Şekil 37. %5 FDM'li pomza bloğun DSC termogramı

%10 FDM'li pomza blok örneğine ait DSC termogramı Şekil 38 'de gösterilmiştir. Buna göre, kullanılan FDM düzgün erime ve donma davranışına sahip olup, aşırı soğuma göstermemiştir. %10 FDM'li pomza bloğun erime noktası ve gizli ısı depolama miktarı, sırasıyla 24,1 °C ve 11,9 J/g olarak ölçülmüştür.



Şekil 38. %10 FDM'li pomza bloğun DSC termogramı

%15 FDM'li pomza blok örneğine ait DSC termogramı ise Şekil 39 'da gösterilmiştir. Buna göre, kullanılan FDM düzgün erime ve donma davranışına sahip olup, aşırı soğuma göstermemiştir. %15 FDM'li pomza bloğun erime noktası ve gizli ısı depolama miktarı, sırasıyla 24,9 °C ve 16,8 J/g olarak ölçülmüştür.



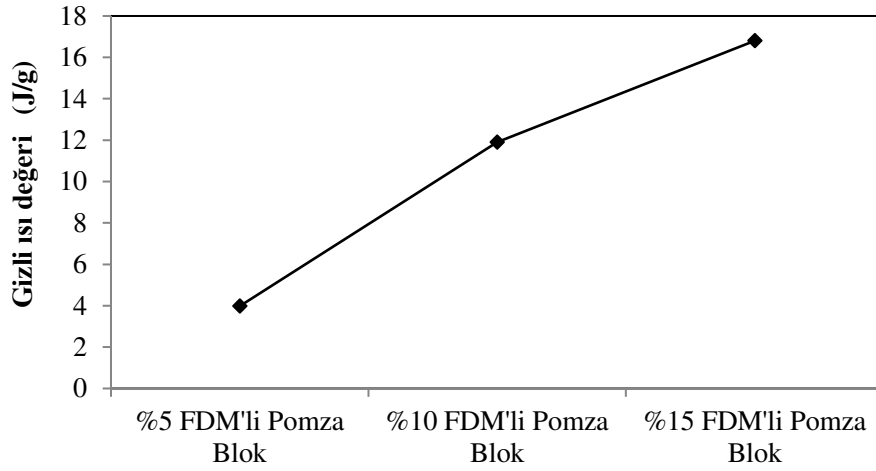
Şekil 39. %15 FDM'li pomza bloğun DSC termogramı

FDM 'li örneklerin DSC termogramlarından elde edilen faz değişim sıcaklığı ve gizli ısı değeri sonuçları Tablo 26 'da toplu olarak gösterilmiştir.

Tablo 26. Örneklerin DSC termogramından elde edilen faz değişim sıcaklığı ve gizli ısı değeri

FDM'li Örnek	Faz değişim Sıcaklığı (°C)	Gizli Isı Değeri (J/g)
%5 FDM'li Pomza Blok	21,5 °C	3,98
%10 FDM'li Pomza Blok	24,1 °C	11,9
%15 FDM'li Pomza Blok	24,9 °C	16,8

DSC ölçümleri sonucunda, %10 FDM içeren pomza blok örneğinin gizli ısı değeri %5 FDM içeren pomza blok örneğine göre yaklaşık %199 artış göstermiştir. %15 FDM içeren pomza blok örneğinin gizli ısı değeri ise, %5 FDM'li blok örneğine oranla yaklaşık %322 artarak en optimum sonuç elde edilmiştir. Şekil 40 'daki grafikte örneklerin gizli ısı değerlerindeki değişim görülmektedir.



Şekil 40. Pomza blok örneklerinin gizli ısı değerlerindeki değişim

Deneysel çalışma ile elde edilen pomza blok örneklerinin ısı iletkenlik katsayıları, özgül ısı kapasiteleri, yoğunlukları ve gizli ısı değerleri Tablo 27 'de toplu olarak verilmiştir.

Tablo 27. Örneklerin ısı iletkenlik katsayıları, özgül ısı kapasiteleri, yoğunlukları ve gizli ısı değerleri

Pomza blok örnekleri	Isıl iletkenlik katsayısı- λ (W/mK)	Özgül ısı kapasitesi-C _p (J/kg°C)	Yoğunluk (kg/m ³)	Gizli ısı değeri (J/kg)
FDM'siz Pomza blok	0,153	800	640	-
% 5 FDM'li Pomza blok	0,159	820	670	3980
%10 FDM'li Pomza blok	0,152	1256	702	11900
%15 FDM'li Pomza blok	0,144	1405	739	16800

3.2. Enerji Simülasyon Bulguları

Deneysel çalışma ile elde edilen FDM'siz (referans), %5, %10 ve %15 FDM'li pomza blok örneklerine ait Tablo 27' de toplu olarak verilen termal veriler, çalışmanın enerji simülasyon aşamasında kullanılmak üzere Design Builder programına girilmiştir.

Türkiye'deki ılıman-nemli, ılıman-kuru, sıcak-nemli, sıcak-kuru ve soğuk iklim bölgelerinden sırasıyla Trabzon, Ankara, Antalya, Diyarbakır ve Erzurum illeri pilot il olarak belirlenmiş, illere ait epw formatındaki iklim dosyaları Design Builder programına yüklenmiştir. Veri girişleri tamamlandıktan sonra program içerisinde oluşturulan model bina üzerinde simülasyonlar yapılarak pomza blok örneklerinin bina ısıtma-soğutma enerji yüklerine etkisi simüle edilmiştir. Aşağıda her bir iklim bölgesi için elde edilen aylık ve yıllık, ısıtma-soğutma ve toplam enerji yükleri verilmiştir.

3.2.1. Ilıman-Nemli İklim Bölgesindeki Trabzon İline Ait Bulgular

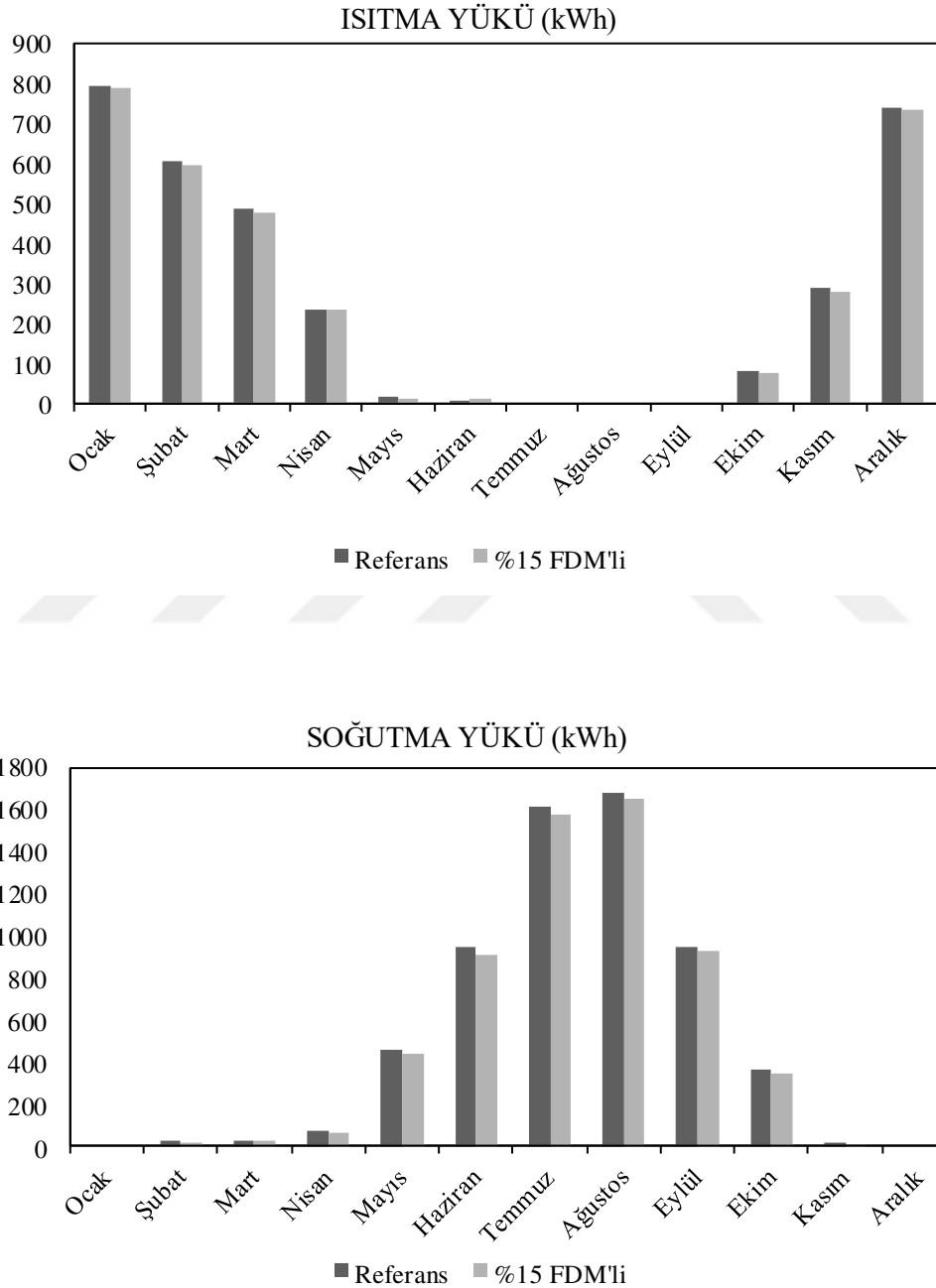
Ilıman-nemli iklim bölgesinde yer alan Trabzon ilinin iklim verileri kullanılarak, FDM'siz (referans) ve %5, %10 ve %15 FDM'li pomza blok örneklerinin bina dış kabuğunda kullanılması durumundaki bina enerji yükleri simülasyonlar ile belirlenmiş ve sonuçlar Tablo 28 'de verilmiştir.

Design Builder programında yapılan simülasyonlar 22-26 °C faz değişim sıcaklık aralığındaki FDM lerin daha çok soğutma yükü üzerinde etki ettiğini göstermiştir. Bu nedenle Tablo 28 'de de görüldüğü gibi faz değiştiren malzeme kullanımı; ısıtma yükünün görüldüğü Aralık ve Ocak aylarında bina enerji yüklerinde etkili olmamış, Şubat ve Mart aylarında toplam bina enerji yükünde yaklaşık %2 verim, Kasım ayında ise %3,3 verim elde edilmesini sağlamıştır. Bu durum, hava sıcaklıklarının faz değişim sıcaklık aralığı olan 22-26 °C seviyelerinden çok düşük olduğu Aralık ve Ocak gibi en soğuk aylarda FDM'nin erime ve katılaşma döngüsünü tamamlayamamasından kaynaklanmaktadır. Soğutma yükünün görüldüğü Nisan, Mayıs, Haziran, Eylül ve Ekim aylarında %15 FDM'li örneğin kullanımı ile referans duruma göre soğutma yükünde ortalama %3- %5 aralığında değişen verimler elde edilmiştir. Bu durum, Ilıman-nemli Trabzon ikliminde özellikle bu aylarda gece ve gündüz sıcaklık farklarının fazla olması sebebiyle FDM'nin faz değişim döngüsünü tamamlayabilmesinden kaynaklanmaktadır. En sıcak aylar olan Temmuz ve Ağustos aylarında ise FDM faz değişim döngüsünü tamamlayamamış, bu nedenle verim yaklaşık %2'de kalmıştır. Sonuçlar yıl bazında değerlendirildiğinde, ılıman-nemli iklim bölgesinde yapılan simülasyonlar ile 22-26 °C faz değişim sıcaklık aralığında FDM kullanımının toplamda on ay boyunca bina enerji yüklerinde ortalama %3 oranında verim sağlayabileceği görülmüştür.

Tablo 28. Trabzon ilinde örnek binanın aylık ısıtma, soğutma ve toplam enerji yükleri

TRABZON		FDM'siz	%5 FDM'li	%10 FDM'li	%15 FDM'li	Verim
Ocak	Isıtma yükü (kWh)	795	798	793	788	% 0,8
	Soğutma yükü (kWh)	-	-	-	-	
	Toplam yük (kWh)	795	798	793	788	
Şubat	Isıtma yükü (kWh)	606	608	603	598	% 1,9
	Soğutma yükü (kWh)	-23	-21	-20	-19	
	Toplam yük (kWh)	629	629	623	617	
Mart	Isıtma yükü (kWh)	488	491	484	479	% 1,8
	Soğutma yükü (kWh)	-31	-28	-27	-26	
	Toplam yük (kWh)	519	519	511	505	
Nisan	Isıtma yükü (kWh)	235	239	237	235	% 2,9
	Soğutma yükü (kWh)	-71	-64	-62	-60	
	Toplam yük (kWh)	306	303	299	295	
Mayıs	Isıtma yükü (kWh)	14	13	12	12	% 4,2
	Soğutma yükü (kWh)	-459	-448	-443	-441	
	Toplam yük (kWh)	473	461	455	453	
Haziran	Isıtma yükü (kWh)	8	9	9	9	% 3,9
	Soğutma yükü (kWh)	-950	-917	-914	-912	
	Toplam yük (kWh)	958	926	923	921	
Temmuz	Isıtma yükü (kWh)	-	-	-	-	% 2
	Soğutma yükü (kWh)	-1609	-1576	-1576	-1576	
	Toplam yük (kWh)	1609	1576	1576	1576	
Ağustos	Isıtma yükü (kWh)	-	-	-	-	% 1,5
	Soğutma yükü (kWh)	-1679	-1654	-1654	-1654	
	Toplam yük (kWh)	1679	1654	1654	1654	
Eylül	Isıtma yükü (kWh)	-	-	-	-	% 2,5
	Soğutma yükü (kWh)	-949	-922	-924	-925	
	Toplam yük (kWh)	949	922	924	925	
Ekim	Isıtma yükü (kWh)	78	79	75	73	% 5
	Soğutma yükü (kWh)	-361	-349	-346	-344	
	Toplam yük (kWh)	439	428	421	417	
Kasım	Isıtma yükü (kWh)	288	290	285	280	% 3,3
	Soğutma yükü (kWh)	-14	-13	-12	-12	
	Toplam yük (kWh)	302	303	297	292	
Aralık	Isıtma yükü (kWh)	742	744	739	735	% 0,9
	Soğutma yükü (kWh)	-	-	-	-	
	Toplam yük (kWh)	742	744	739	735	

Yapılan simülasyonlarda en optimum sonuç %15 FDM'li pomza blok örneğinin kullanımı ile elde edilmiştir. %15 FDM' li örnek ile referans örneğin kullanılması durumunda elde edilen aylık ısıtma ve soğutma bina enerji yüklerinin karşılaştırılması ise Şekil 41 'de verilmiştir.



Şekil 41. Trabzon ilinde %15 FDM' li örnek ile referans örneğin kullanılması durumunda elde edilen aylık ısıtma ve soğutma bina enerji yüklerinin karşılaştırılması

3.2.2. Ilıman-Kuru İklim Bölgesindeki Ankara İline Ait Bulgular

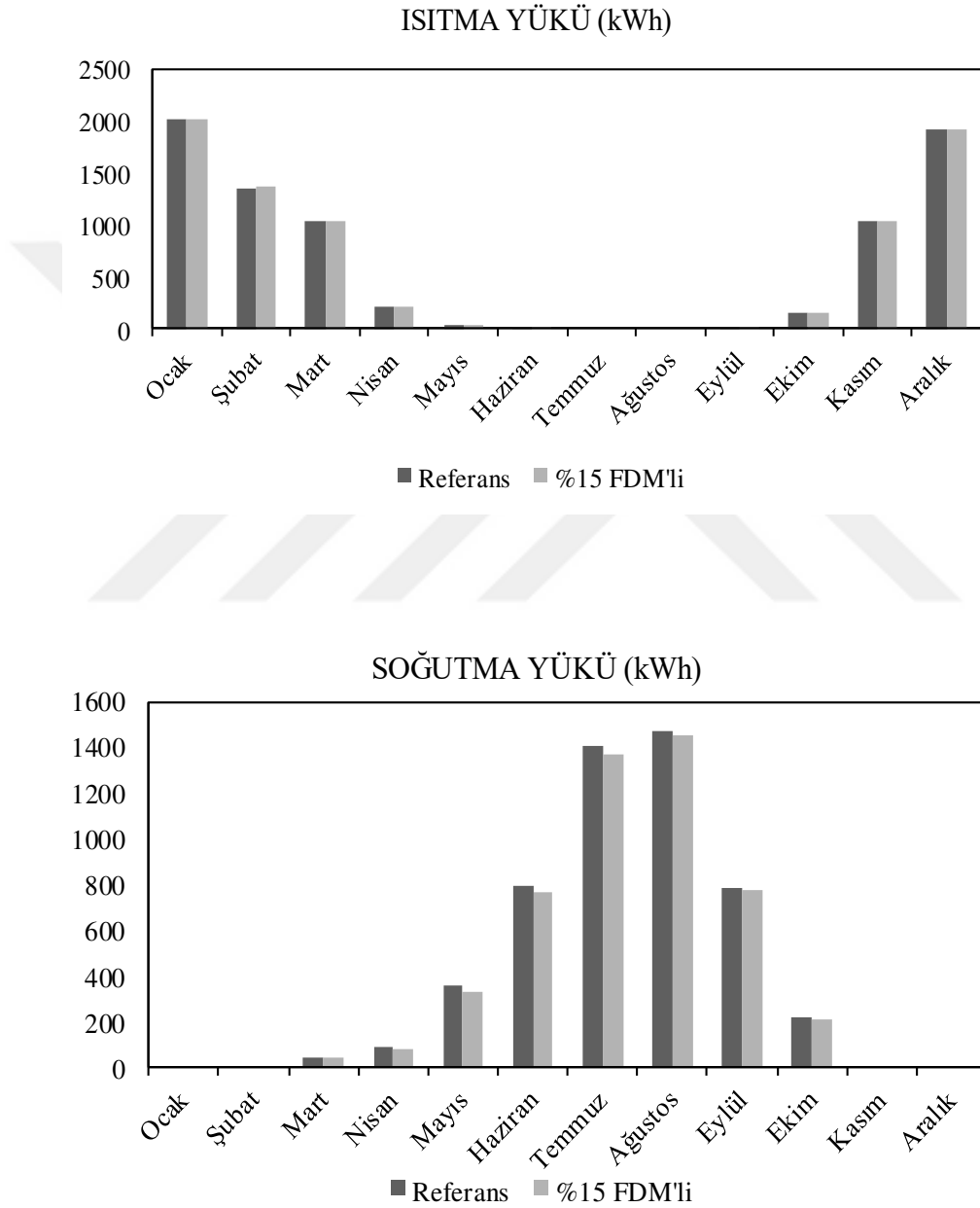
Ilıman-kuru iklim bölgesinde yer alan Ankara ilinin iklim verileri kullanılarak, FDM'siz (referans) ve %5, %10 ve %15 FDM'li pomza blok örneklerinin bina dış kabuğunda kullanılması durumundaki bina enerji yükleri simülasyonlar ile belirlenmiş ve Tablo 29 'da verilmiştir.

Trabzon ilinde elde edilen sonuçlara benzer olarak, Ilıman-kuru Ankara ili iklim verileri kullanılarak Design Builder programında yapılan simülasyonlar 22-26 °C faz değişim sıcaklık aralığındaki FDM lerin daha çok soğutma yükü üzerinde etki ettiğini göstermiştir. Bu nedenle Tablo 29 "dan da anlaşıldığı üzere faz değiştiren malzemenin ısıtma yükünün görüldüğü Ocak, Şubat, Mart, Kasım ve Aralık aylarında bina enerji yüklerine etkisi yok sayılabilecek seviyelerde olmuş, toplam bina enerji yükünde referans durum ile benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bu durum, hava sıcaklıklarının faz değişim sıcaklık aralığı olan 22-26 °C seviyelerinden çok düşük olması nedeni ile FDM'nin soğuk aylarda erime ve katılaşma döngüsünü tamamlayamamasından kaynaklanmaktadır. Hem ısıtma hem de soğutma yükünün görüldüğü Nisan ve Ekim ayları ile soğutma yükünün görüldüğü Mayıs ve Haziran aylarında FDM kullanımı ile bina toplam enerji yükünde ortalama %5 verim elde edilmiştir. Bu durumun; ılıman nemli iklim bölgesinde bu aylarda gece ve gündüz sıcaklık farkının fazla olması dolayısı ile FDM'nin faz değişim döngüsünü tamamladığı gün sayısının da fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yine soğutma yükünün görüldüğü Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında ise %15 FDM'li örneğin kullanımı ile referans duruma göre sadece %1 - %2,5 aralığında değişen verimler elde edilmiştir. Bu durum, Ilıman-kuru Ankara ikliminde özellikle bu aylarda gece gündüz sıcaklık farkının FDM'nin faz değişim döngüsünü tamamlayabileceği düzeylerde olmamasından kaynaklanmaktadır. Yıl bazında değerlendirildiğinde ise ılıman-kuru iklim bölgesinde yapılan simülasyonlar ile 22-26 °C faz değişim sıcaklık aralığında FDM kullanımının toplamda yedi ay boyunca bina enerji yüklerinde ortalama %3,5 oranında verim sağlayabileceği görülmüştür.

Tablo 29. Ankara ilinde örnek binanın aylık ısıtma, soğutma ve toplam enerji yükleri

ANKARA		FDM'siz	%5 FDM'li	%10 FDM'li	%15 FDM'li	Verim
Ocak	Isıtma yükü (kWh)	2023	2032	2028	2022	-
	Soğutma yükü (kWh)	-	-	-	-	
	Toplam yük (kWh)	2023	2032	2028	2022	
Şubat	Isıtma yükü (kWh)	1361	1372	1370	1365	-% 0,3
	Soğutma yükü (kWh)	-	-	-	-	
	Toplam yük (kWh)	1361	1372	1370	1365	
Mart	Isıtma yükü (kWh)	1039	1048	1047	1044	-
	Soğutma yükü (kWh)	-42	-38	-37	-36	
	Toplam yük (kWh)	1081	1086	1084	1080	
Nisan	Isıtma yükü (kWh)	219	221	216	212	% 5
	Soğutma yükü (kWh)	-88	-82	-80	-79	
	Toplam yük (kWh)	307	303	296	291	
Mayıs	Isıtma yükü (kWh)	30	29	28	27	% 6
	Soğutma yükü (kWh)	-352	-338	-334	-332	
	Toplam yük (kWh)	382	367	362	359	
Haziran	Isıtma yükü (kWh)	5	5	5	4	% 4
	Soğutma yükü (kWh)	-794	-768	-766	-766	
	Toplam yük (kWh)	799	773	771	770	
Temmuz	Isıtma yükü (kWh)	-	-	-	-	% 2,5
	Soğutma yükü (kWh)	-1405	-1370	-1370	-1371	
	Toplam yük (kWh)	1405	1370	1370	1371	
Ağustos	Isıtma yükü (kWh)	-	-	-	-	% 1
	Soğutma yükü (kWh)	-1469	-1451	-1452	-1453	
	Toplam yük (kWh)	1469	1451	1452	1453	
Eylül	Isıtma yükü (kWh)	5	5	4	3	% 2
	Soğutma yükü (kWh)	-783	-767	-769	-770	
	Toplam yük (kWh)	788	772	773	773	
Ekim	Isıtma yükü (kWh)	162	160	156	153	% 5
	Soğutma yükü (kWh)	-219	-210	-209	-209	
	Toplam yük (kWh)	381	370	365	362	
Kasım	Isıtma yükü (kWh)	1032	1042	1037	1032	-
	Soğutma yükü (kWh)	-	-	-	-	
	Toplam yük (kWh)	1032	1042	1037	1032	
Aralık	Isıtma yükü (kWh)	1922	1937	1930	1924	-
	Soğutma yükü (kWh)	-	-	-	-	
	Toplam yük (kWh)	1922	1937	1930	1924	

Ilıman-kuru iklime sahip Ankara ili iklim verileri kullanılarak yapılan simülasyonlarda en optimum sonuç %15 FDM'li pomza blok örneğinin kullanımı ile elde edilmiştir. %15 FDM' li örnek ile referans örneğin kullanılması durumunda elde edilen aylık ısıtma ve soğutma bina enerji yüklerinin karşılaştırılması Şekil 42 'de verilmiştir.



Şekil 42. Ankara ilinde %15 FDM' li örnek ile referans örneğin kullanılması durumunda elde edilen aylık ısıtma ve soğutma bina enerji yüklerinin karşılaştırılması

3.2.3. Sıcak-Nemli İklim Bölgesindeki Antalya İline Ait Bulgular

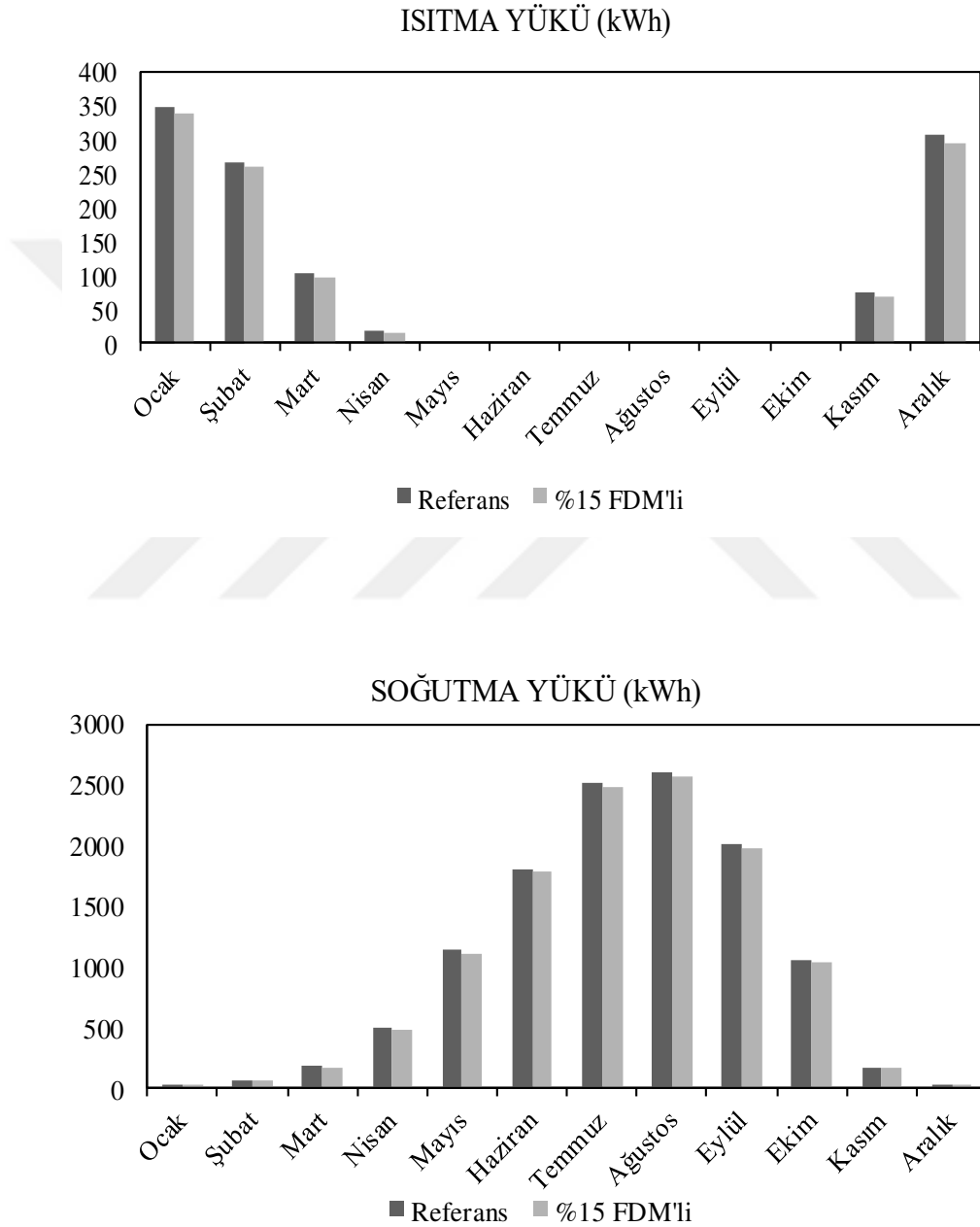
Sıcak-nemli iklim bölgesinde yer alan Antalya ilinin iklim verileri kullanılarak, FDM'siz (referans) ve %5, %10 ve %15 FDM'li pomza blok örneklerinin bina dış kabuğunda kullanılması durumundaki bina enerji yükleri simülasyonlar ile belirlenmiş ve Tablo 30 'da verilmiştir.

Sıcak- nemli Antalya ili iklim verileri kullanılarak Design Builder programında yapılan simülasyonlar, 22-26 °C faz değişim sıcaklık aralığındaki FDM lerin hem ısıtma hem de soğutma yükü üzerinde etkili olduğunu göstermiştir. Tablo 30 'dan da anlaşıldığı üzere sıcak-nemli iklim bölgesinde 22-26 °C faz değişim sıcaklık aralığındaki faz değiştiren malzemenin kullanımı, ısıtma yükünün görüldüğü Ocak ve Aralık aylarında bina toplam enerji yüklerinde sırasıyla %3 ve %4 oranlarında verim sağlamıştır. Verimin bu aylarda ılıman-nemli ve ılıman-kuru iklim bölgesine göre daha fazla olmasının sebebi hava sıcaklıklarının faz değişim sıcaklık aralığı olan 22-26 °C seviyelerine daha yakın seyretmesi ve bu nedenle FDM'nin faz değişim döngüsünü tamamlayabildiği gün sayısının daha fazla olmasıdır. Isıtma ve soğutma yükünün her ikisinin de görüldüğü Şubat, Mart ve Kasım aylarında ise FDM kullanımı ile yapılan simülasyonlarda bina toplam enerji yükünde sırasıyla %4,5, %7 ve %6,4 oranlarında verim elde edilmiştir. Bu aylarda verimin Aralık ve Ocak aylarına göre daha fazla olma sebebi ise yine mevsim sıcaklıklarının FDM faz değişim sıcaklık aralığına yakın seyretmesi ve gece ve gündüz sıcaklık farkının fazla olduğu gün sayısının daha fazla olmasından dolayıdır. Sadece soğutma yükünün görüldüğü Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında ise FDM'li örneğin kullanımı ile referans duruma göre %1,2- %4 aralığında değişen oranlarda verimler elde edilmiştir. Yılın sıcak ayları olarak kabul edilen bu aylarda FDM faz değişim döngüsünü tamamlayamamış ve bu nedenle verim ortalama %2 civarında seyretmiştir. Yıl bazında değerlendirildiğinde ise sıcak-nemli iklim bölgesinde yapılan simülasyonlar ile 22-26 °C faz değişim sıcaklık aralığında FDM kullanımının toplamda on iki ay boyunca bina ısıtma ve soğutma yüklerinde etkili olduğu ve ortalama %3,2 oranında verim sağlayabileceği görülmüştür.

Tablo 30. Antalya ilinde örnek binanın aylık ısıtma, soğutma ve toplam enerji yükleri

ANTALYA		FDM'siz	%5 FDM'li	%10 FDM'li	%15 FDM'li	Verim
Ocak	Isıtma yükü (kWh)	348	345	341	339	% 3
	Soğutma yükü (kWh)	-16	-15	-14	-14	
	Toplam yük (kWh)	364	360	355	353	
Şubat	Isıtma yükü (kWh)	268	269	265	261	% 4,5
	Soğutma yükü (kWh)	-63	-58	-56	-55	
	Toplam yük (kWh)	331	327	321	316	
Mart	Isıtma yükü (kWh)	103	102	98	96	% 7
	Soğutma yükü (kWh)	-178	-170	-167	-166	
	Toplam yük (kWh)	281	272	265	262	
Nisan	Isıtma yükü (kWh)	18	16	15	15	% 4
	Soğutma yükü (kWh)	-485	-471	-468	-466	
	Toplam yük (kWh)	503	487	483	481	
Mayıs	Isıtma yükü (kWh)	-	-	-	-	% 2,5
	Soğutma yükü (kWh)	-1133	-1103	-1103	-1103	
	Toplam yük (kWh)	1133	1103	1103	1103	
Haziran	Isıtma yükü (kWh)	-	-	-	-	% 1,5
	Soğutma yükü (kWh)	-1803	-1781	-1778	-1776	
	Toplam yük (kWh)	1803	1781	1778	1776	
Temmuz	Isıtma yükü (kWh)	-	-	-	-	% 1,2
	Soğutma yükü (kWh)	-2517	-2488	-2487	-2486	
	Toplam yük (kWh)	2517	2488	2487	2486	
Ağustos	Isıtma yükü (kWh)	-	-	-	-	% 1,2
	Soğutma yükü (kWh)	-2600	-2570	-2570	-2569	
	Toplam yük (kWh)	2600	2570	2570	2569	
Eylül	Isıtma yükü (kWh)	-	-	-	-	% 1,2
	Soğutma yükü (kWh)	-2001	-1974	-1977	-1977	
	Toplam yük (kWh)	2001	1974	1977	1977	
Ekim	Isıtma yükü (kWh)	-	-	-	-	% 2,2
	Soğutma yükü (kWh)	-1058	-1028	-1033	-1035	
	Toplam yük (kWh)	1058	1028	1033	1035	
Kasım	Isıtma yükü (kWh)	75	73	70	68	% 6,4
	Soğutma yükü (kWh)	-161	-153	-153	-153	
	Toplam yük (kWh)	236	226	223	221	
Aralık	Isıtma yükü (kWh)	307	303	299	296	% 4
	Soğutma yükü (kWh)	-15	-14	-13	-13	
	Toplam yük (kWh)	322	317	312	309	

Sıcak-nemli iklime sahip Antalya ili iklim verileri kullanılarak yapılan simülasyonlarda da optimum sonuç %15 FDM'li pomza blok örneğinin kullanımı ile elde edilmiştir. %15 FDM' li örnek ile referans örneğin kullanılması durumunda elde edilen aylık ısıtma ve soğutma bina enerji yüklerinin karşılaştırılması ise Şekil 43 'te verilmiştir.



Şekil 43. Antalya ilinde %15 FDM' li örnek ile referans örneğin kullanılması durumunda elde edilen aylık ısıtma ve soğutma bina enerji yüklerinin karşılaştırılması

3.2.4. Sıcak-Kuru İklim Bölgesindeki Diyarbakır İline Ait Bulgular

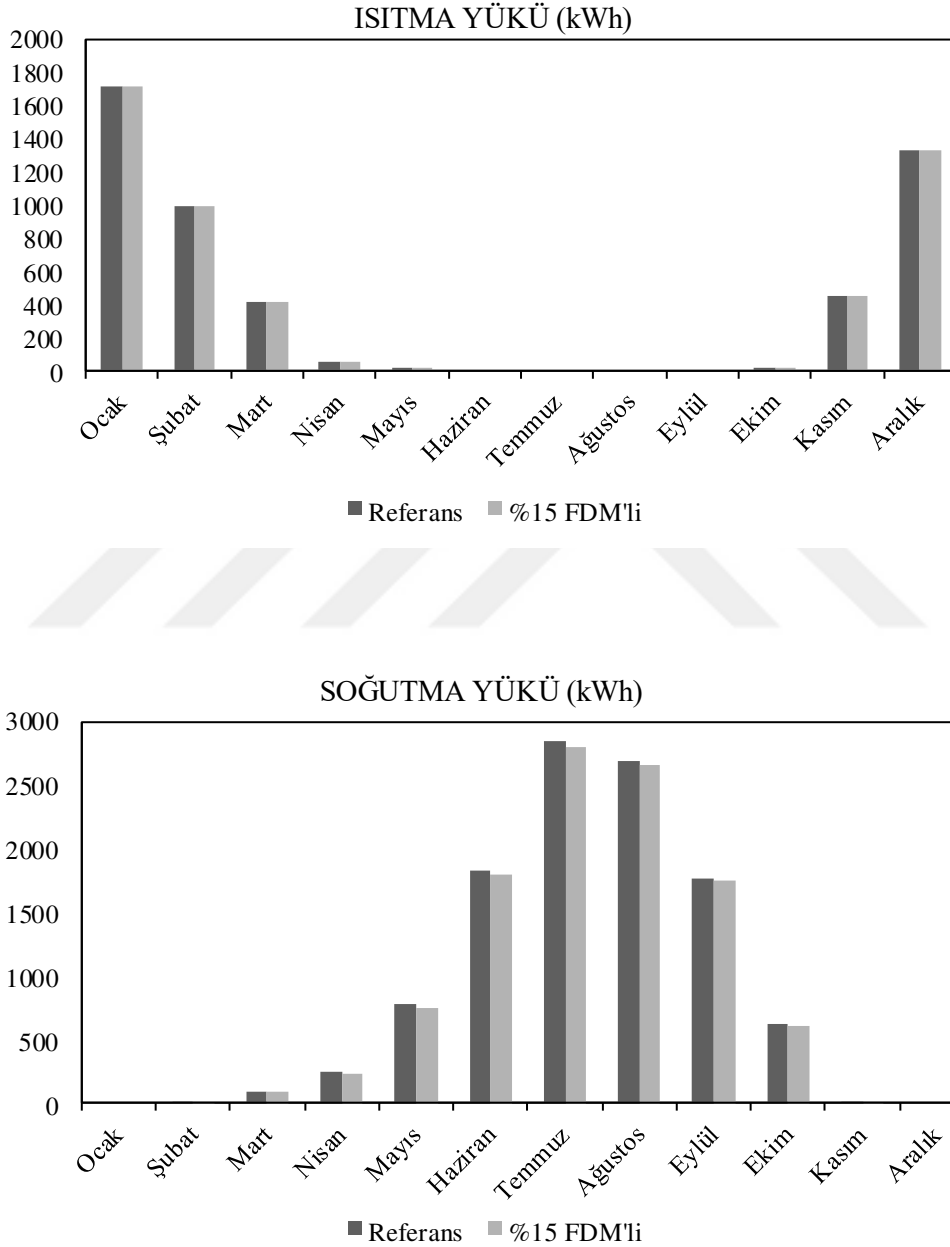
Sıcak-kuru iklim bölgesinde yer alan Diyarbakır ilinin iklim verileri kullanılarak, FDM'siz (referans) ve %5, %10 ve %15 FDM'li pomza blok örneklerinin bina dış kabuğunda kullanılması durumundaki bina enerji yükleri simülasyonlar ile belirlenmiş ve Tablo 31 'de verilmiştir.

Diyarbakır iklim verileri kullanılarak Design Builder enerji simülasyon programında yapılan hesaplamalarda 22-26 °C faz değişim sıcaklık aralığına sahip FDM kullanımı Tablo 31 'den de anlaşıldığı üzere, ısıtma yükünün görüldüğü Aralık, Ocak ve Şubat aylarında bina enerji yüklerinde referans bina ile benzer sonuçlar vermiştir. Bu durum; bu aylarda hava sıcaklıklarının faz değişim sıcaklık aralığı olan 22-26 °C seviyelerinden düşük olması sebebi ile FDM'nin faz değişim döngüsünü tamamlayamadığını ve dolayısı ile gizli ısıdan yararlanılamadığını göstermektedir. Mart ayı itibariyle hava sıcaklıklarının yükselmeye başlaması ile birlikte FDM'nin faz değişim döngüsünü tamamlayabildiği gün sayısının artması sonucu özellikle Nisan ve Mayıs aylarında bina toplam enerji yükünde sırasıyla %8 ve %4,4 oranlarında verim elde edildiği görülmüştür. Hava sıcaklıklarının faz değişim sıcaklık aralığına göre daha yüksek seyrettiği Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında ise FDM kullanımı ile referans duruma göre %1,2 ile %1,7 aralığında değişen verimler elde edilmiştir. Hava sıcaklıklarının tekrar düşmeye başladığı Ekim ayı ile Kasım ayında ise verim sırasıyla %2,6 ve %1,7 olarak belirlenmiştir. Yapılan simülasyonlar sıcak-kuru Diyarbakır ikliminde özellikle Nisan, Mayıs ve Ekim aylarında gece ve gündüz sıcaklık farklarının fazla olması sebebiyle FDM'nin faz değişim döngüsünü tamamlayabildiği gün sayısının fazla olduğunu ve dolayısıyla en yüksek verimin bu aylarda elde edilebileceğini göstermiştir. Yıl bazında değerlendirildiğinde ise sıcak-kuru iklim bölgesinde yapılan simülasyonlar ile 22-26 °C faz değişim sıcaklık aralığında FDM kullanımının toplamda dokuz ay boyunca bina enerji yüklerinde ortalama %2,7 oranında verim sağlayabileceği görülmüştür.

Tablo 31. Diyarbakır ilinde örnek binanın aylık ısıtma, soğutma ve toplam enerji yükleri

DİYARBAKIR		FDM'siz	%5 FDM'li	%10 FDM'li	%15 FDM'li	Verim
Ocak	Isıtma yükü (kWh)	1720	1728	1724	1719	-
	Soğutma yükü (kWh)	-	-	-	-	
	Toplam yük (kWh)	1720	1728	1724	1719	
Şubat	Isıtma yükü (kWh)	996	1007	1004	999	-
	Soğutma yükü (kWh)	-3	-2	-2	-2	
	Toplam yük (kWh)	999	1009	1006	1001	
Mart	Isıtma yükü (kWh)	420	427	422	418	% 2
	Soğutma yükü (kWh)	-96	-90	-88	-87	
	Toplam yük (kWh)	516	517	510	505	
Nisan	Isıtma yükü (kWh)	58	56	54	52	% 8
	Soğutma yükü (kWh)	-255	-243	-239	-236	
	Toplam yük (kWh)	313	299	293	288	
Mayıs	Isıtma yükü (kWh)	2	2	2	2	% 4,4
	Soğutma yükü (kWh)	783	-754	-750	-748	
	Toplam yük (kWh)	785	756	752	750	
Haziran	Isıtma yükü (kWh)	-	-	-	-	% 1,7
	Soğutma yükü (kWh)	-1825	-1798	-1796	-1794	
	Toplam yük (kWh)	1825	1798	1796	1794	
Temmuz	Isıtma yükü (kWh)	-	-	-	-	% 1,2
	Soğutma yükü (kWh)	-2838	-2806	-2806	-2805	
	Toplam yük (kWh)	2838	2806	2806	2805	
Ağustos	Isıtma yükü (kWh)	-	-	-	-	% 1,3
	Soğutma yükü (kWh)	-2694	-2660	-2660	-2659	
	Toplam yük (kWh)	2694	-2660	2660	2659	
Eylül	Isıtma yükü (kWh)	-	-	-	-	% 1,3
	Soğutma yükü (kWh)	-1767	-1743	-1745	-1745	
	Toplam yük (kWh)	1767	1743	1745	1745	
Ekim	Isıtma yükü (kWh)	17	16	15	15	% 2,6
	Soğutma yükü (kWh)	-629	-610	-612	-614	
	Toplam yük (kWh)	646	626	627	629	
Kasım	Isıtma yükü (kWh)	454	457	452	448	% 1,7
	Soğutma yükü (kWh)	-16	-15	-14	-14	
	Toplam yük (kWh)	470	472	466	462	
Aralık	Isıtma yükü (kWh)	1329	1343	1336	1330	-
	Soğutma yükü (kWh)	-	-	-	-	
	Toplam yük (kWh)	1329	1343	1336	1330	

Sıcak-kuru iklime sahip Diyarbakır ili iklim verileri kullanılarak yapılan simülasyonlarda en optimum sonuç %15 FDM'li pomza blok örneğinin kullanımı ile elde edilmiştir. %15 FDM' li örnek ile referans örneğin kullanılması durumunda elde edilen aylık ısıtma ve soğutma bina enerji yüklerinin karşılaştırılması ise Şekil 44 'te verilmiştir.



Şekil 44. Diyarbakır ilinde %15 FDM' li örnek ile referans örneğin kullanılması durumunda elde edilen aylık ısıtma ve soğutma bina enerji yüklerinin karşılaştırılması

3.2.5. Soğuk İklim Bölgesindeki Erzurum İline Ait Bulgular

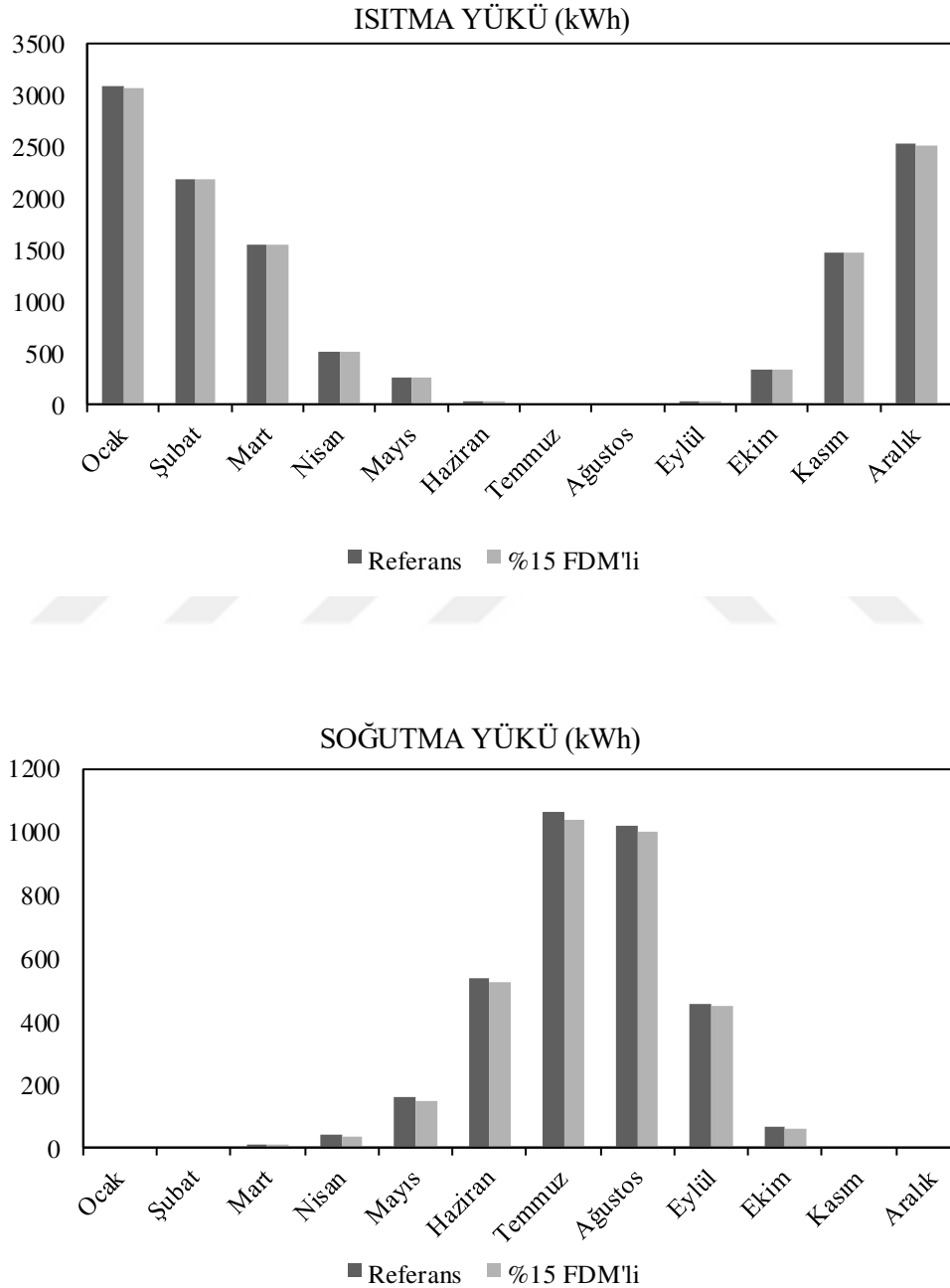
Soğuk iklim bölgesinde yer alan Erzurum ilinin iklim verileri kullanılarak, FDM'siz (referans), %5, %10 ve %15 FDM'li pompa blok örneklerinin bina dış kabuğunda kullanılması durumundaki bina enerji yükleri simülasyonlar ile belirlenmiş ve Tablo 32 'de verilmiştir.

Erzurum ili iklim verileri kullanılarak Design Builder enerji simülasyon programında yapılan hesaplamalarda 22-26 °C faz değişim sıcaklık aralığına sahip FDM kullanımı Tablo 32 'den de anlaşıldığı üzere, ısıtma yükünün görüldüğü Kasım, Aralık, Ocak, Şubat ve Mart aylarında bina enerji yüklerinde referans bina ile benzer sonuçlar vermiştir. Bu durum, hava sıcaklıklarının faz değişim sıcaklık aralığı olan 22-26 °C seviyelerinden oldukça düşük olması nedeni ile FDM'nin faz değişim döngüsünü tamamlayamamasından kaynaklanmaktadır. Nisan ayı itibariyle hava sıcaklıklarının yükselmeye başlaması ile birlikte FDM'nin faz değişim döngüsünü tamamlayabildiği gün sayısının artması sonucu özellikle ısıtma ve soğutma yükünün bir arada görüldüğü Mayıs, Haziran ve Ekim aylarında yapılan simülasyon sonuçları bina toplam enerji yükünde sırasıyla %3,2, %2,4 ve %2,5 oranlarında verim elde edilebileceğini göstermiştir. Mevsim geçiş aylarında dış hava sıcaklıkları düşük olsa bile günlük güneşlenme süresi kış aylarına göre daha fazladır. Bu nedenle bu mevsimlerde verimde görülen artışın, gündüz güneşten elde edilen ısı kazanımlarının FDM lerde depolanarak güneşin olmadığı akşam saatlerinde depolanan enerjinin oda içerisine aktarılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Sadece soğutma yükünün görüldüğü Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında yapılan simülasyonlarda ise bina toplam enerji yükünde verim ortalama %2 olarak belirlenmiştir. Yıl bazında değerlendirildiğinde, soğuk Erzurum ikliminde 22-26 °C faz değişim sıcaklık aralığına sahip FDM kullanımı ile yapılan simülasyonlar toplamda yedi ay boyunca bina enerji yüklerinde ortalama %2,2 oranında verim elde edilebileceğini göstermiştir.

Tablo 32. Erzurum ilinde örnek binanın aylık ısıtma, soğutma ve toplam enerji yükleri

ERZURUM		FDM'siz	%5 FDM'li	%10 FDM'li	%15 FDM'li	Verim
Ocak	Isıtma yükü (kWh)	3083	3090	3083	3073	% 0,3
	Soğutma yükü (kWh)	-	-	-	-	
	Toplam yük (kWh)	3083	3090	3083	3073	
Şubat	Isıtma yükü (kWh)	2193	2197	2190	2181	% 0,6
	Soğutma yükü (kWh)	-	-	-	-	
	Toplam yük (kWh)	2193	2197	2190	2181	
Mart	Isıtma yükü (kWh)	1549	1557	1555	1551	-
	Soğutma yükü (kWh)	-2	-1	-1	-1	
	Toplam yük (kWh)	1551	1558	1556	1552	
Nisan	Isıtma yükü (kWh)	498	506	501	496	% 1,3
	Soğutma yükü (kWh)	-40	-37	-36	-35	
	Toplam yük (kWh)	538	543	537	531	
Mayıs	Isıtma yükü (kWh)	248	254	250	247	% 3,2
	Soğutma yükü (kWh)	-158	-151	-148	-146	
	Toplam yük (kWh)	406	405	398	393	
Haziran	Isıtma yükü (kWh)	3	2	2	2	% 2,4
	Soğutma yükü (kWh)	-534	-523	-522	-522	
	Toplam yük (kWh)	537	525	524	524	
Temmuz	Isıtma yükü (kWh)	-	-	-	-	% 1,8
	Soğutma yükü (kWh)	-1059	-1042	-1040	-1040	
	Toplam yük (kWh)	1059	1042	1040	1040	
Ağustos	Isıtma yükü (kWh)	-	-	-	-	% 2
	Soğutma yükü (kWh)	-1019	-1000	-999	-999	
	Toplam yük (kWh)	1019	1000	999	999	
Eylül	Isıtma yükü (kWh)	18	17	15	14	% 2,1
	Soğutma yükü (kWh)	-451	-444	-445	-445	
	Toplam yük (kWh)	469	461	460	459	
Ekim	Isıtma yükü (kWh)	333	339	332	327	% 2,5
	Soğutma yükü (kWh)	-62	-59	-58	-58	
	Toplam yük (kWh)	395	398	390	385	
Kasım	Isıtma yükü (kWh)	1474	1483	1475	1467	% 0,5
	Soğutma yükü (kWh)	-	-	-	-	
	Toplam yük (kWh)	1474	1483	1475	1467	
Aralık	Isıtma yükü (kWh)	2522	2529	2522	2514	% 0,3
	Soğutma yükü (kWh)	-	-	-	-	
	Toplam yük (kWh)	2522	2529	2522	2514	

Soğuk iklime sahip Erzurum iklim verileri kullanılarak yapılan simülasyonlarda en optimum sonuç %15 FDM'li pomza blok örneğinin kullanımı ile elde edilmiştir. %15 FDM' li örnek ile FDM'siz (referans) örneğin kullanılması durumunda elde edilen aylık ısıtma ve soğutma bina enerji yüklerinin karşılaştırılması Şekil 45 'te verilmiştir.



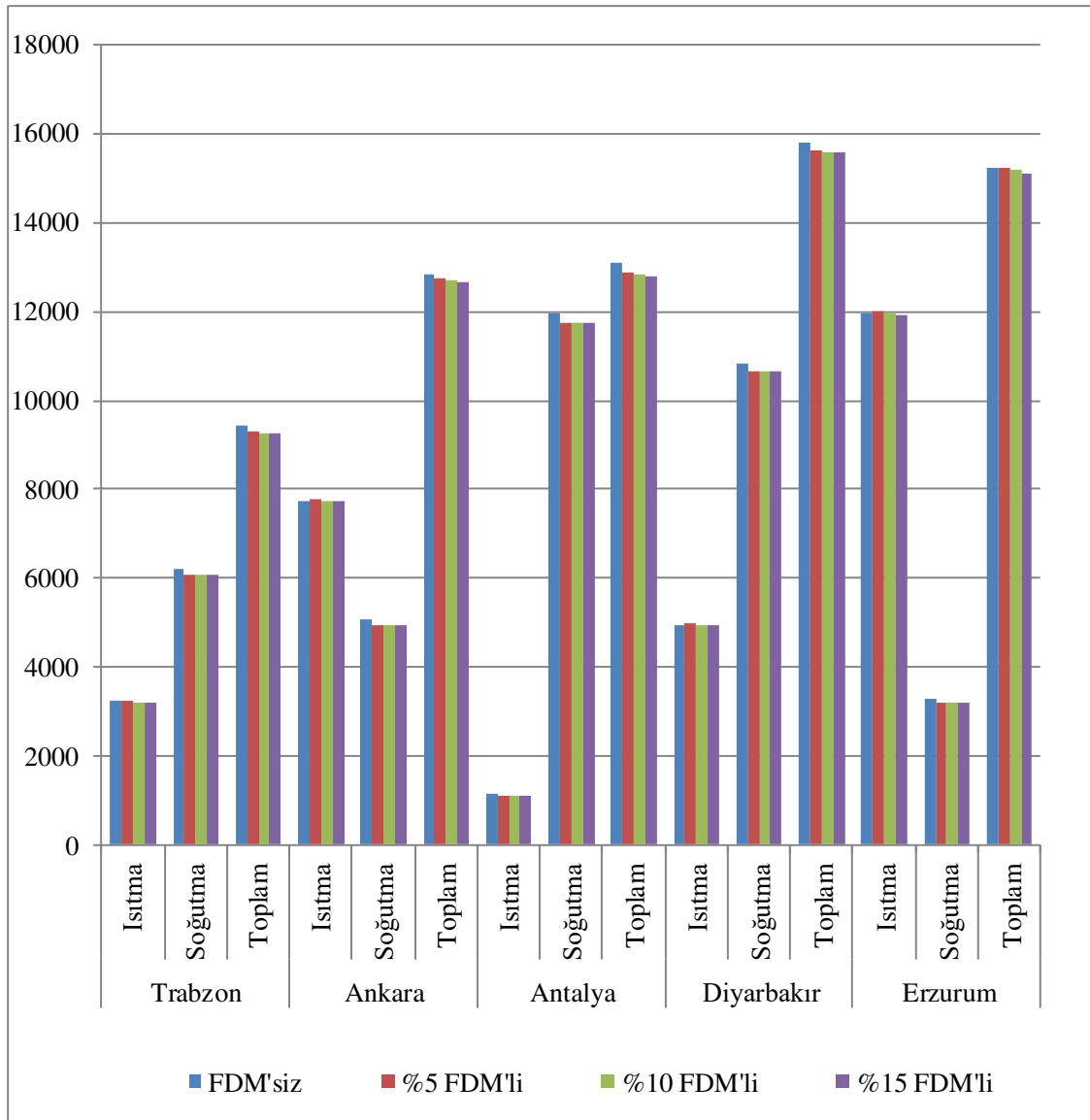
Şekil 45. Soğuk iklim bölgesinde %15 FDM' li örnek ile referans örneğin kullanılması durumunda elde edilen aylık ısıtma ve soğutma bina enerji yüklerinin karşılaştırılması

3.2.6. Örneklerin Pilot İllerdeki Yıllık Isıtma, Soğutma ve Toplam Enerji Yüklerinin Karşılaştırılması

Design Builder enerji simülasyon programında oluşturulan ve Türkiye'deki beş iklim bölgesinden seçilen pilot illerde konumlandığı varsayılan model bina üzerinde yapılan hesaplamalar ile elde edilen yıllık ısıtma, soğutma ve toplam enerji yükleri Tablo 33 'de verilmiştir. Sonuçların karşılaştırılması ise Şekil 46 'da görülmektedir.

Tablo 33. FDM'siz ve %5, %10 ve %15 FDM'li örneklerin pilot illerdeki yıllık ısıtma,soğutma ve toplam enerji yükleri ve elde edilen verim

		FDM'siz	%5 FDM'li	% 10 FDM'li	%15 FDM'li
Trabzon	Isıtma	3224	3241	3211	3186
	Soğutma	-6226	-6068	-6060	-6055
	Toplam	9450	9309	9271	9241
	Verim	-	% 1,5	% 1,9	% 2,2
Ankara	Isıtma	7733	7787	7754	7718
	Soğutma	-5086	-4952	-4943	-4939
	Toplam	12819	12739	12697	12657
	Verim	-	% 0,6	% 1	% 1,3
Antalya	Isıtma	1122	1115	1095	1082
	Soğutma	-11960	-11750	-11740	-11731
	Toplam	13082	12865	12835	12813
	Verim	-	% 1,7	% 1,9	% 2
Diyarbakır	Isıtma	4943	4985	4958	4930
	Soğutma	-10852	-10663	-10652	-10643
	Toplam	15795	15648	15610	15573
	Verim	-	% 0,9	% 1,2	% 1,4
Erzurum	Isıtma	11972	12024	11976	11925
	Soğutma	-3283	-3213	-3205	-3202
	Toplam	15255	15237	15181	15127
	Verim	-	-	% 0,5	% 0,8



Şekil 46. FDM'siz ve %5, %10 ve %15 FDM'li örneklerin pilot illerdeki yıllık ısıtma, soğutma ve toplam enerji yüklerinin karşılaştırılması

Şekil 46'da da görüldüğü gibi Türkiye'deki beş iklim bölgesini temsilen seçilen Trabzon, Ankara, Antalya, Diyarbakır ve Erzurum illerinin iklim verileri kullanılarak Design Builder programında yapılan enerji simülasyon bulguları: 22-26 °C faz değişim sıcaklık aralığına sahip faz değiştiren malzeme kullanımının daha çok soğutma yükleri üzerinde etkili olduğunu göstermiştir. Bu nedenle ılıman-nemli iklim bölgesi ile sıcak-nemli iklim bölgesinde bina enerji yükleri üzerinde daha fazla etkili olmuştur. Ilıman-kuru ve sıcak-kuru iklim bölgelerinde benzer verim elde edilmiş, soğuk iklim bölgesinde ise verim en az olmuştur. Sonuçlar faz değiştiren malzemenin faz değişim sıcaklık aralığı ile

doğrudan ilişkili olarak gelişmiş, ve FDM'nin faz değişim döngüsünü tamamlayabildiği gün sayısının ılıman-nemli ve sıcak-nemli iklim bölgelerinde daha fazla olduğunu göstermiştir.

3.3. Deneyisel Uygulama Bulguları

Türkiye'deki yıllık ortalama güneş ışıınım değerleri ve kullanılan FDM'nin erime sıcaklık aralığı baz alınarak laboratuvar ortamında kontrol odası ve endüstriyel fırın olmak üzere iki farklı ortamda gerçekleştirilen deneyisel uygulamalar sonucu elde edilen bulgular kontrol odasındaki uygulama bulguları ve fırın içerisindeki uygulama bulguları olmak üzere iki başlık altında grafikler ile verilmiştir.

3.3.1. Kontrol Odasında Yapılan Deneyisel Uygulama Bulguları

3.3.1.1. 600 W/m²'lik Güneş Işınım Değerinin Uygulanması ile Elde Edilen Bulgular

Kontrol odası içerisinde halojen lambalar ile mini kabinin tek duvar yüzeyine 600W/m²'lik güneş ışıınım değeri uygulanması ile yapılan deneyisel uygulamalarda; kontrol odası iç ortam sıcaklığı ve referans ve %15 FDM'li mini kabinlerin duvar dış yüzey, duvar iç yüzey ve iç ortam sıcaklıkları yerleştirilen ısı çiftleri aracılığı ile 10 saniyelik aralıklarla kaydedilerek belirlenmiştir.

Referans ve %15 FDM'li mini kabin duvar iç yüzey sıcaklığı yaklaşık 21 °C'de iken deneye başlanmış, duvar iç yüzey sıcaklıkları yaklaşık 30 °C'ye kadar yükselmiş ve duvarlar tekrar başlangıç sıcaklıkları olan 21 °C'ye kadar soğuyunca deney sonlandırılmıştır. Referans kabin deney sonuçları Ek Tablo 2 'de, FDM'li kabin deney sonuçları ise Ek Tablo 3 'te verilmiştir. 600W/m²'lik güneş ışıınım değeri uygulanarak yapılan deneye ait bulgular Tablo 34 'te verilmiştir.

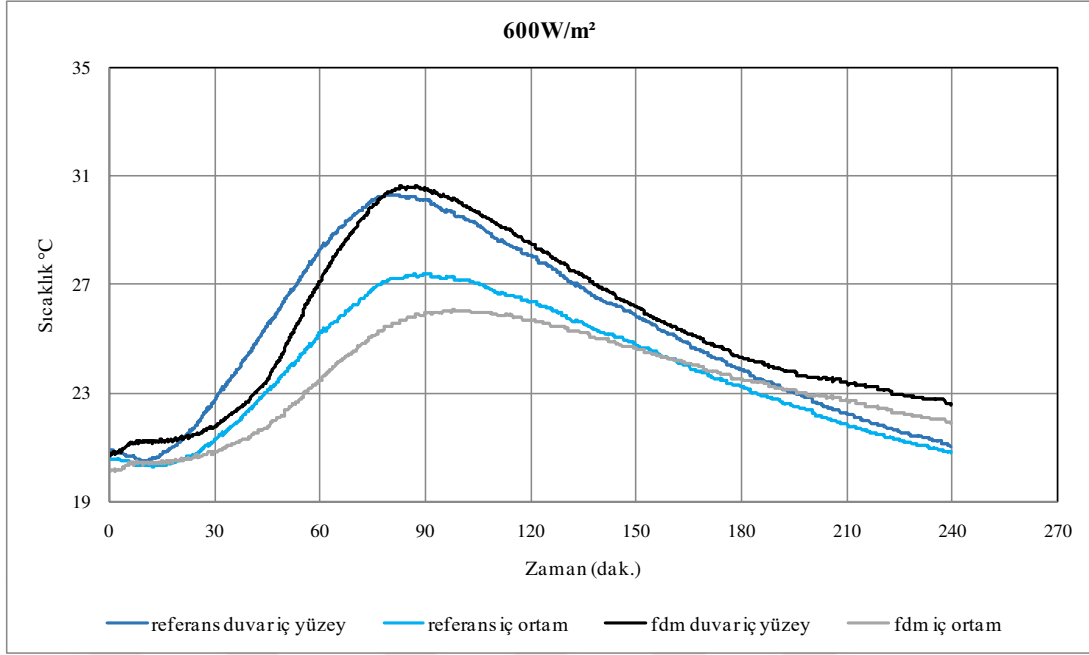
Tablo 34. 600W/m²'lik güneş ışınlam değeri uygulanarak yapılan deneye ait bulgular

		FDM'siz Durum	FDM'li Durum
Duvar iç yüzey	Max. sıcaklık (°C)	30,3	30,6
	Isınma süresi (dak.)	79,8	87,2
	Soğuma süresi (dak.)	159,7	225,6
	Toplam süre (dak.)	239,5	312,8
Duvar dış yüzey	Max. sıcaklık (°C)	65,8	61,5
	Isınma süresi (dak.)	59,8	65,8
İç ortam	Max. sıcaklık (°C)	27,4	26,06
	Isınma süresi (dak.)	87,0	97,8
	Soğuma süresi (dak.)	151,7	196,0
	Toplam süre (dak.)	238,7	293,8
Dış ortam	Max. sıcaklık (°C)	33,9	33,2

Tablo 34 'ten de anlaşıldığı üzere yapılan uygulama sonunda FDM'siz pomza bloğun ısınması ve tekrar soğuması toplam 239,5 dakika, FDM'li pomza bloğun ısınması ve tekrar soğuması ise toplam 312,8 dakika sürmüştür. Sonuçlar FDM'li pomza bloğun FDM'siz bloğa göre zaman geciktirmesinde %30 verim sağladığını göstermiştir.

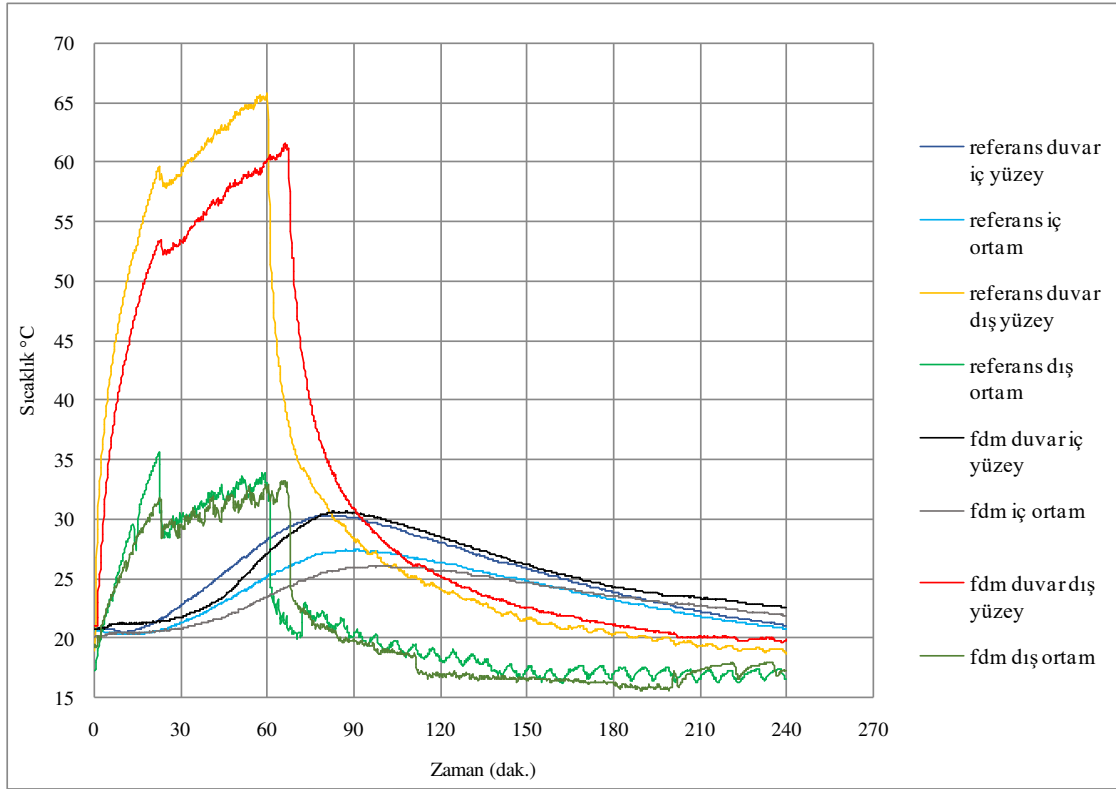
FDM'siz ve %15 FDM'li mini kabinlerin maksimum iç ortam sıcaklıkları sırasıyla 27,4 °C ve 26,06 °C olarak gerçekleşmiş, FDM'li kabin iç ortam sıcaklığı, FDM'siz kabin iç ortam sıcaklığına göre 1,34 °C daha düşük olmuştur.

Ayrıca uygulama sırasında FDM'siz ve FDM'li mini kabinlerin iç ortam sıcaklıklarının yükselmesi ve tekrar başlangıç sıcaklıklarına kadar soğuması sırasıyla 238,7 ve 293,8 dakika sürmüştür. Elde edilen sonuçlar FDM'li kabinin FDM'siz kabine göre iç ortam sıcaklığı zaman geciktirmesinde %23 verim sağladığını göstermiştir. Şekil 47 'de FDM'siz ve FDM'li kabinlere 600W/m²'lik güneş ışınlam değeri uygulanarak yapılan uygulamada duvar iç yüzey ve iç ortam sıcaklıklarındaki değişimi gösteren grafik verilmiştir.



Şekil 47. 600W/m²'lik güneş ışınlam değeri uygulanması ile FDM'siz ve FDM'li kabinlerin duvar iç yüzey ve iç ortam sıcaklıklarındaki değişim

Kontrol odası iç ortam sıcaklığı ile FDM'siz ve %15 FDM'li mini kabinlerin duvar dış yüzey, duvar iç yüzey ve iç ortam sıcaklıklarının zamana bağlı değişimini gösteren grafik ise Şekil 48 'de verilmiştir.



Şekil 48. 600W/m²'lik güneş ışınlam değeri uygulanarak yapılan uygulama bulgularının grafiksel gösterimi

3.3.1.2. 800 W/m²'lik Güneş Işınım Değerinin Uygulanması ile Elde Edilen Bulgular

Kontrol odası içerisinde halojen lambalar ile mini kabinin tek duvar yüzeyine 800W/m²'lik güneş ışınlam değeri uygulanması ile yapılan deneysel uygulamalarda; kontrol odası iç ortam sıcaklığı ve FDM'siz ve %15 FDM'li mini kabinlerin duvar dış yüzey, duvar iç yüzey ve iç ortam sıcaklıkları yerleştirilen ısı çiftleri aracılığı ile 10 saniyelik aralıklarla kaydedilerek belirlenmiştir.

FDM'siz ve %15 FDM'li mini kabin duvar iç yüzey sıcaklığı yaklaşık 21 °C'de iken deneye başlanmış, duvar iç yüzey sıcaklıkları yaklaşık 31 °C'ye kadar yükselmiş ve duvarlar tekrar başlangıç sıcaklıkları olan 21 °C'ye kadar soğuyunca deney sonlandırılmıştır. FDM'siz kabin deney sonuçları Ek Tablo 4 'te, FDM'li kabin deney sonuçları ise Ek Tablo 5 'te verilmiştir. 800W/m²'lik güneş ışınlam değeri uygulanarak yapılan deneye ait bulgular Tablo 35 'te verilmiştir.

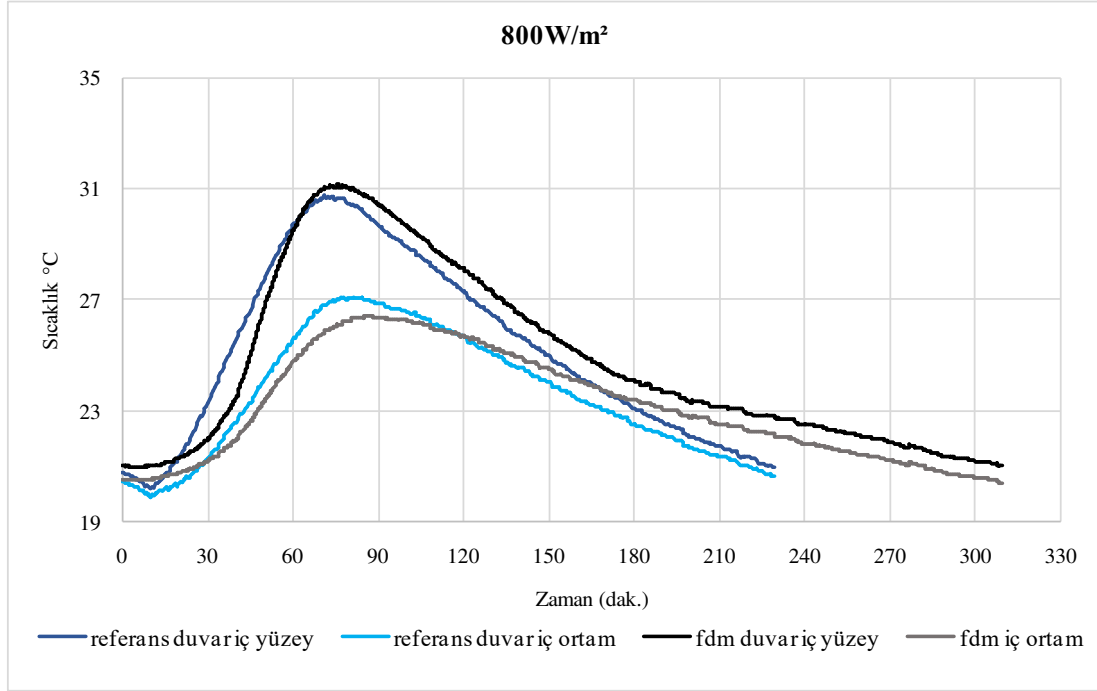
Tablo 35. 800W/m²'lik güneş ışınlam değeri uygulanarak yapılan deneye ait bulgular

		FDM'siz Durum	FDM'li Durum
Duvar iç yüzey	Max. sıcaklık (°C)	31,2	31,1
	Isınma süresi (dak.)	64,2	73,0
	Soğuma süresi (dak.)	168,0	235,2
	Toplam süre (dak.)	232,2	308,2
Duvar dış yüzey	Max. sıcaklık (°C)	72,3	62,2
	Isınma süresi (dak.)	41,5	54,3
İç ortam	Max. sıcaklık (°C)	28,2	26,4
	Isınma süresi (dak.)	71,7	85,0
	Soğuma süresi (dak.)	162,1	205,2
	Toplam süre (dak.)	233,8	290,2
Dış ortam	Max. sıcaklık (°C)	34,3	36,5

Tablo 35 'ten de anlaşıldığı üzere yapılan uygulama sonunda FDM'siz pomza bloğun ısınması ve tekrar soğuması toplam 232,2 dakika, FDM'li pomza bloğun ısınması ve tekrar soğuması ise toplam 308,2 dakika sürmüştür. Sonuçlar FDM'li pomza bloğun FDM'siz bloğa göre zaman geciktirmesinde yaklaşık %33 verim sağladığını göstermiştir.

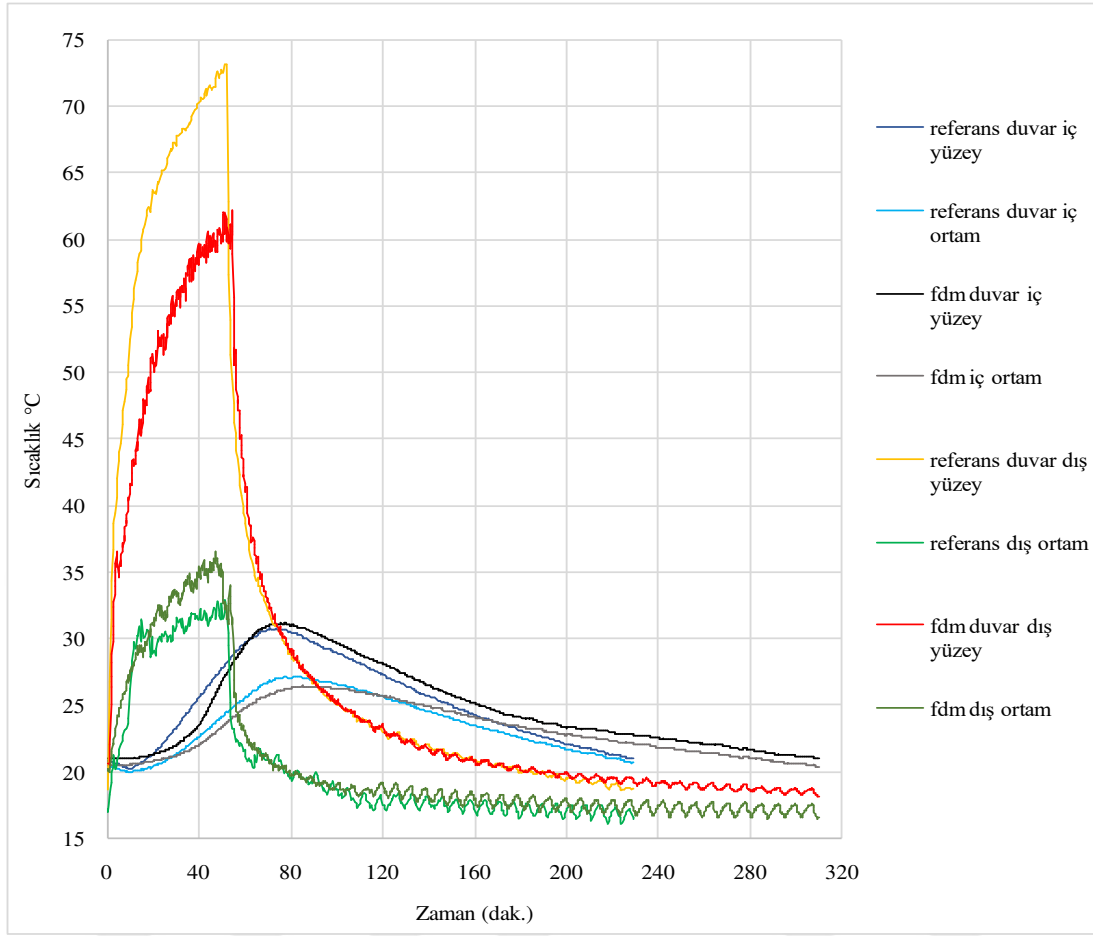
FDM'siz ve %15 FDM'li mini kabinlerin maksimum iç ortam sıcaklıkları sırasıyla 28,2 °C ve 26,4 °C olarak gerçekleşmiş, FDM'li kabin iç ortam sıcaklığı , FDM'siz kabin iç ortam sıcaklığına göre 1,8 °C daha düşük olmuştur.

Ayrıca uygulama sırasında FDM'siz ve FDM'li mini kabinlerin iç ortam sıcaklıklarının yükselmesi ve tekrar başlangıç sıcaklıklarına kadar soğuması sırasıyla 233,8 ve 290,2 dakika sürmüştür. Elde edilen sonuçlar FDM'li kabinin FDM'siz kabine göre iç ortam sıcaklığı zaman geciktirmesinde %24 verim sağladığını göstermiştir. Şekil 49 'da FDM'siz ve FDM'li kabinlere 800W/m²'lik güneş ışınlam değeri uygulanarak yapılan uygulamada duvar iç yüzey ve iç ortam sıcaklıklarındaki değişimi gösteren grafik verilmiştir.



Şekil 49. 800W/m²'lik güneş ışıınım değeri uygulanması ile FDM'siz ve FDM'li kabinlerin duvar iç yüzey ve iç ortam sıcaklıklarındaki değışim

Kontrol odası iç ortam sıcaklığı ile FDM'siz ve %15 FDM'li mini kabinlerin duvar dış yüzey, duvar iç yüzey ve iç ortam sıcaklıklarının zamana bağıl değışimini gösteren grafik ise Şekil 50 'de verilmiştir.

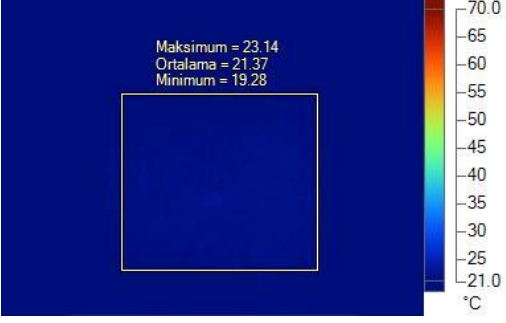
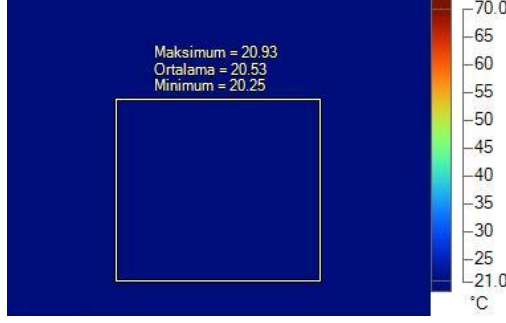
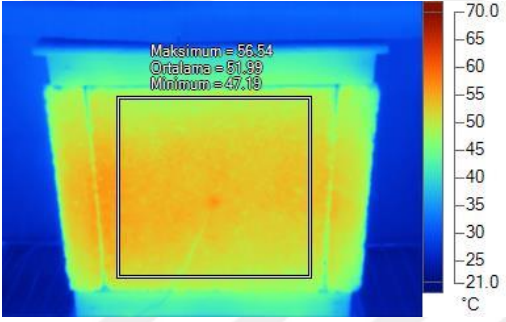
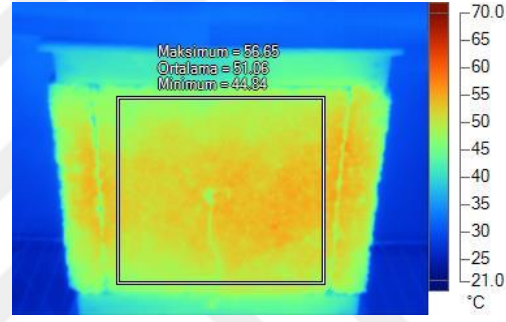
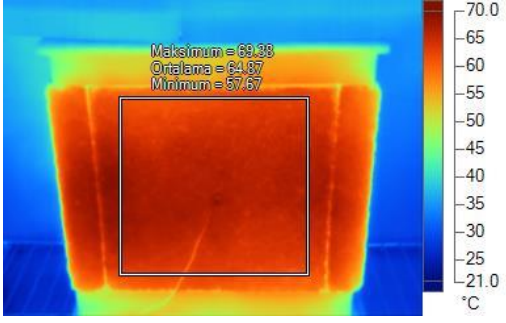
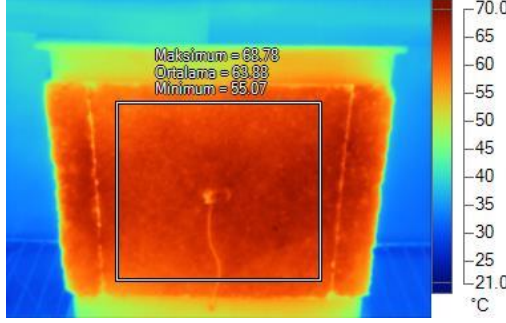
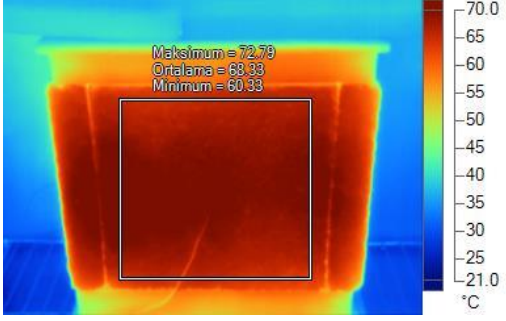
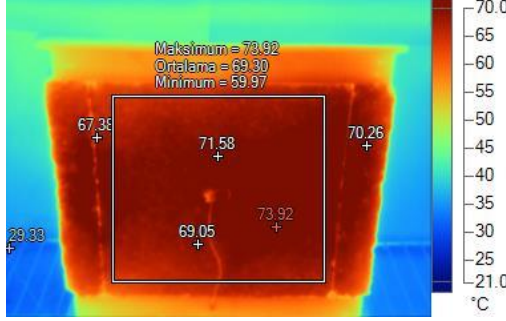


Şekil 50. 800W/m²'lik güneş ışınlam değeri uygulanarak yapılan uygulama bulgularının grafiksel gösterimi

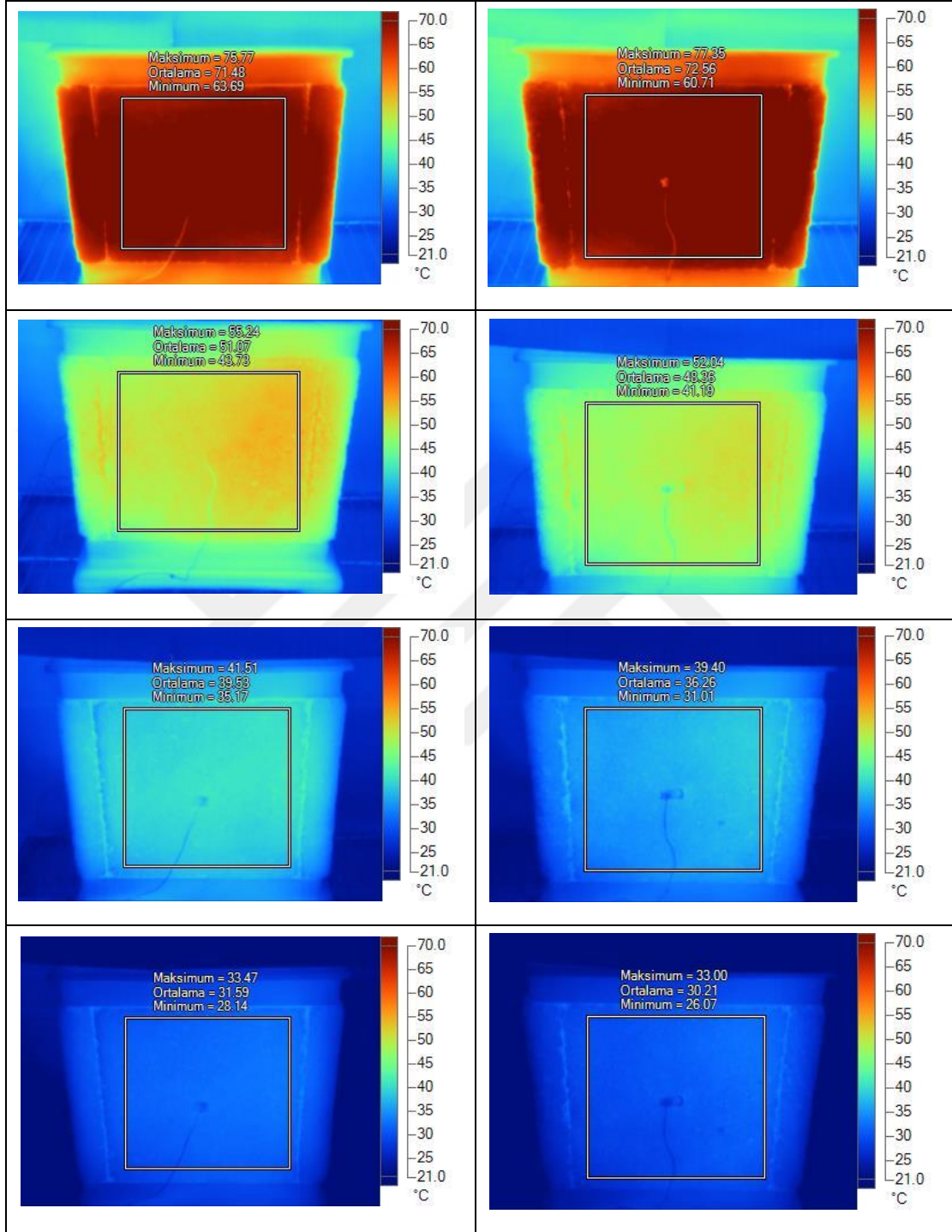
3.3.1.3. Termal Kamera Görüntüleri

Kontrol odasında yapılan deneylerde halojen lambalar ile ısı uygulaması yapılan mini kabin duvar yüzeyindeki sıcaklık dağılımını görüntülemek amacıyla Fluke TIS60+ marka termal kamera ile 1 dakikalık aralıklarla radyometrik görüntüler elde edilmiştir. Tablo 36' da FDM'siz ve %15 FDM'li mini kabinlerin duvar yüzeyine 800W/m² şiddetinde ısı uygulanması sırasında alınan termal kamera görüntüleri verilmiştir. Görüntülerden de anlaşıldığı üzere FDM'siz pomza bloktan oluşan duvarda sıcaklık artışı %15 FDM'li pomza bloktan oluşan duvara göre daha homojen olmuştur. Bu durum, duvar içerisinde FDM'nin olduğu bölgelerde sabit sıcaklıkta gizli ısı depolanmasından kaynaklanmaktadır.

Tablo 36. FDM'siz ve %15 FDM'li mini kabinlerin duvar yüzeyine 800W/m^2 şiddetinde ısı uygulanması sırasında alınan termal kamera görüntüleri

FDM'siz Pomza Blok (800W/m^2)	%15 FDM'li Pomza Blok (800W/m^2)
 Maksimum = 23.14 Ortalama = 21.37 Minimum = 19.28	 Maksimum = 20.93 Ortalama = 20.53 Minimum = 20.25
 Maksimum = 56.54 Ortalama = 51.39 Minimum = 47.19	 Maksimum = 56.65 Ortalama = 51.03 Minimum = 44.84
 Maksimum = 68.38 Ortalama = 64.87 Minimum = 57.67	 Maksimum = 68.78 Ortalama = 63.88 Minimum = 55.07
 Maksimum = 72.79 Ortalama = 68.33 Minimum = 60.33	 Maksimum = 70.92 Ortalama = 69.30 Minimum = 59.97 67.38 71.58 70.26 73.92 69.05 29.33

Tablo 36 'nın devamı



3.3.2. Fırın İçerisinde Yapılan Deneysel Uygulama Bulguları

Laboratuvar ortamında endüstriyel fırın içerisine FDM'siz ve %15 FDM'li mini kabinler aynı anda yerleştirilmiş; yapılan uygulama ile fırın iç ortam sıcaklığı ve FDM'siz

ve %15 FDM'li mini kabinlerin duvar dış yüzey, duvar iç yüzey ve iç ortam sıcaklıkları yerleştirilen ısıtıcı çiftler aracılığı ile 10 saniyelik aralıklarla kaydedilerek belirlenmiştir. Ölçüm sonuçları Ek Tablo 6 'da verilmiştir.

Deneyisel uygulamada; 28⁰C ayar sıcaklığındaki fırın içerisine yerleştirilen FDM'siz ve FDM'li mini kabinlerin duvar iç yüzey sıcaklıkları yaklaşık 6 saatlik süre sonunda 20 ⁰C'de dengeye gelince deneye başlanmıştır. Her iki kabinin duvar iç yüzey sıcaklıkları yaklaşık 28 ⁰C' ye yükselince fırın kapatılarak kabinler soğumaya bırakılmıştır. Yapılan uygulamaya ait bulgular Tablo 37 'de verilmiştir.

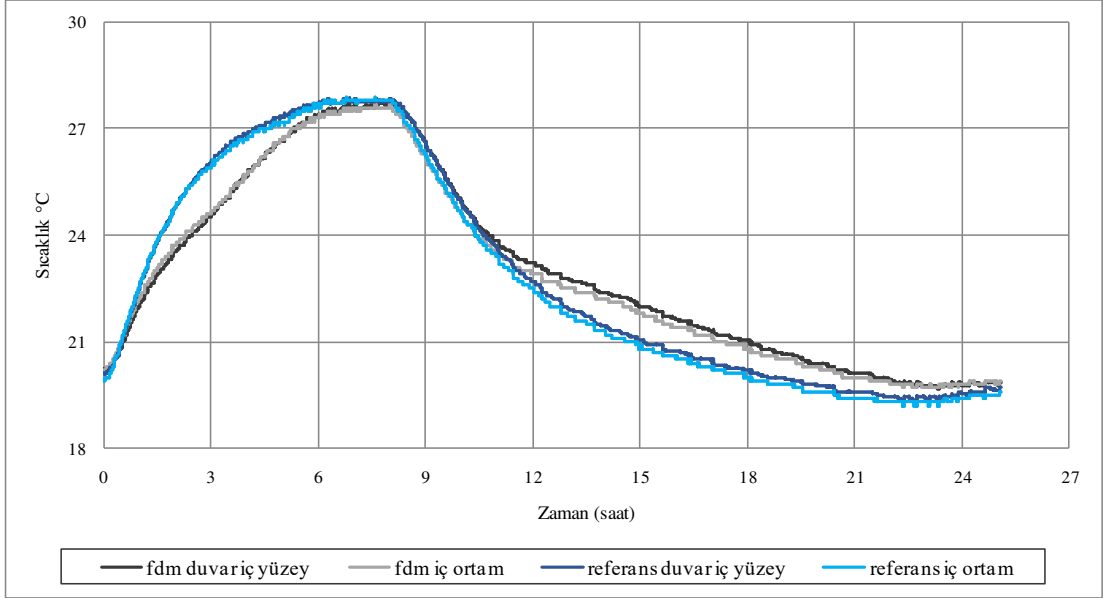
Tablo 37. Fırın içerisinde yapılan deneyisel uygulama bulguları

		FDM'siz Durum	FDM'li Durum
Duvar iç yüzey	Max. sıcaklık (°C)	27,7	27,7
	Isınma süresi (saat)	5,95	7,6
	Soğuma süresi (saat)	10,5	13,6
	Toplam süre (saat)	16,45	21,2
Duvar dış yüzey	Max. sıcaklık (°C)	28,1	28,3
	Isınma süresi (saat)	5,4	6,4
İç ortam	Max. sıcaklık (°C)	27,8	27,7
	Isınma süresi (saat)	6,4	7,8
	Soğuma süresi (saat)	9,9	12,7
	Toplam süre (saat)	16,3	20,5
Dış ortam (°C)	Max. sıcaklık (°C)	28,5	

Tablo 37 'den de anlaşıldığı üzere fırın içerisinde yapılan uygulamada FDM'siz pomza bloğun ısınması ve tekrar soğuması toplam 16,45 saat, FDM'li pomza bloğun ısınması ve tekrar soğuması ise toplam 21,2 saat sürmüştür. Sonuçlar FDM'li pomza bloğun FDM'siz bloğa göre zaman geciktirmesinde yaklaşık %29 verim sağladığını göstermiştir.

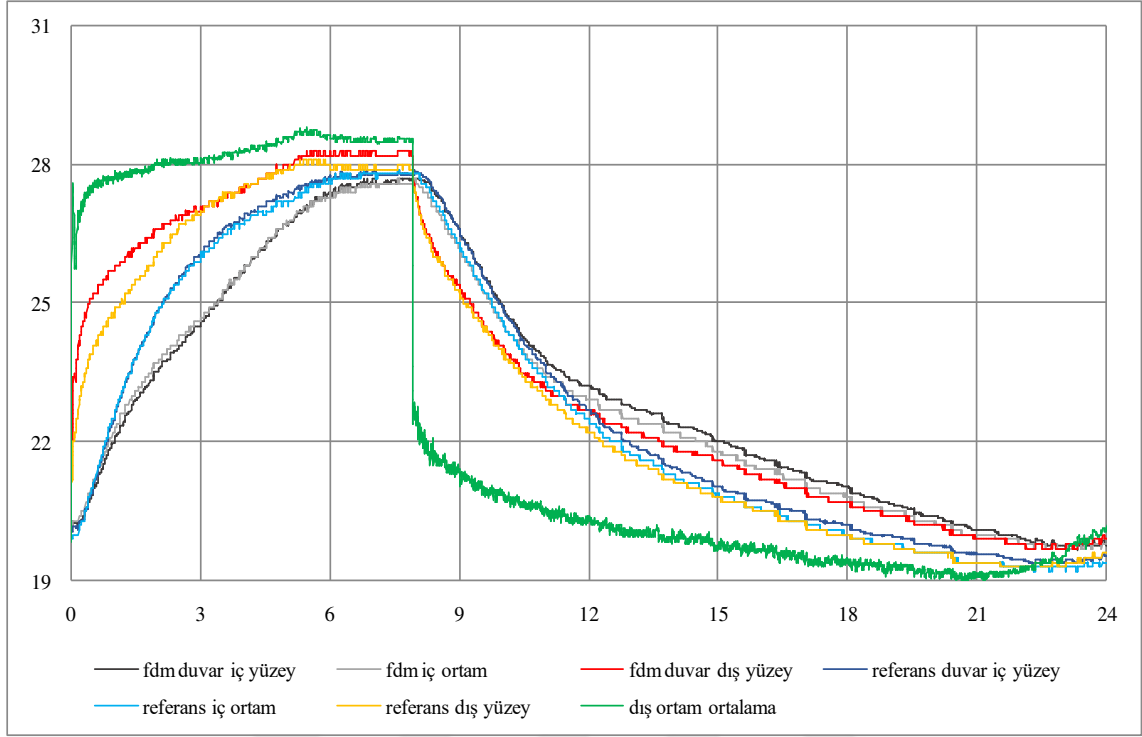
FDM'siz ve %15 FDM'li mini kabinlerin maksimum iç ortam sıcaklıkları sırasıyla 27,8 ⁰C ve 27,7 ⁰C olarak gerçekleşmiş ve fırın içerisinde yapılan uygulamada FDM'siz ve FDM'li mini kabin max. iç ortam sıcaklıkları arasında fark görülmemiştir. Bu durumun sebebi; iki kabinin deneylerinin aynı anda yapılması ve deney sürecinde yaklaşık 28 ⁰C'lik sabit sıcaklıktaki bir ortamda tutulan her iki kabinin, duvar iç yüzey sıcaklıklarının 28

$^{\circ}\text{C}$ 'ye gelmesi için beklenilmesidir. Fakat istenilen ortam sıcaklığına ulaşılma süreleri incelendiğinde, FDM'siz ve FDM'li kabinler için sırasıyla 6,4 ve 7,8 saat olduğu ve FDM'li durumda FDM'siz duruma göre 1,4 saatlik bir gecikme farkı olduğu görülmektedir. Ayrıca FDM'siz ve FDM'li kabinlerin iç ortam sıcaklıklarının deneysel uygulama esnasında ısınması ve tekrar başlangıç sıcaklıklarına soğuması esnasında geçen süreler bakıldığında sırasıyla 16,3 ve 20,5 saat olarak gerçekleştiği görülmüştür. Elde edilen sonuçlar FDM'li kabinin FDM'siz kabine göre iç ortam sıcaklığı zaman geciktirmesinde yaklaşık %26 verim sağladığını göstermiştir. Şekil 51 'de fırın içerisinde yapılan uygulamada FDM'siz ve FDM'li mini kabinlerin duvar iç yüzey ve iç ortam sıcaklıklarındaki değişimi gösteren grafik verilmiştir.



Şekil 51. Fırın içerisinde yapılan uygulamada FDM'siz ve FDM'li kabinlerin duvar iç yüzey ve iç ortam sıcaklıklarındaki değişim

Fırın iç ortam sıcaklığı ile FDM'siz ve %15 FDM'li mini kabinlerin duvar dış yüzey, duvar iç yüzey ve iç ortam sıcaklıklarının zamana bağlı değişimini gösteren grafik ise Şekil 52 'de verilmiştir.



Şekil 52. Fırın içerisinde yapılan uygulama bulgularının grafiksel gösterimi

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Binalarda enerji verimliliği elde edebilmek için, termal kütlesi arttırılarak ısı iletkenliği azaltılmış hafif yapı bileşeni geliştirmek amacıyla yapılan bu çalışmada, pomza agregası ve bünyesinde gizli ısı depolayan faz değıştiren malzemenin belirli oranlarda karışımı ile FDM'li pomza bloklar oluşturulmuş, blokların termal testleri ve deneysel uygulamaları laboratuvar ortamında belirli sınır koşullar altında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar iç konfor sıcaklıklarında faz değışim sıcaklık aralığına sahip FDM kullanımının hafif yapı bileşeni pomza bloğun termal kütlesini arttırdığını, dolayısı ile dış duvar zaman geciktirmesini ve iç mekan sıcaklık dalgalanmalarını olumlu yönde iyileştirdiğini göstermiştir. Gerçekleştirilen bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- Pomza blok içerisine belirlenen oranlarda FDM eklenmesi ile;

Isıl iletkenlik katsayısı değeri:

- % 5 FDM'li pomza blokta %4 oranında artmış,
- %10 FDM'li pomza blokta %0,65 azalmış,
- %15 FDM'li pomza blokta ise %6 azalmıştır.

%5 FDM'li pomza bloğun ısı iletkenlik katsayısında artış görülmesinin sebebi; eklenen FDM miktarındaki gizli ısının sağladığı yalıtım miktarının, pomza agregasının kütlesinde yapılan eksiltme miktarının sağladığı yalıtım miktarından daha az olmasıdır.

Özgöl ısı kapasitesindeki değışimlere bakıldığında:

- % 5 FDM'li pomza blokta özgül ısı değeri %2,5 oranında artmış,
- %10 FDM'li pomza blokta %57 artmış,
- %15 FDM'li pomza blokta ise %75 artmıştır.

Gizli ısı değeri ise:

- % 5 FDM'li pomza blokta 3,98 J/g,
- %10 FDM'li pomza blokta 11,9 J/g,
- %15 FDM'li pomza blokta ise 16,8 J/g olarak belirlenmiştir.

- Yapılan simülasyonlar yıl bazında değerlendirildiğinde FDM kullanımı Türkiye iklim bölgelerinden;

- Ilıman-nemli iklim bölgesinde: yılın on ayında ortalama %3
- Ilıman kuru iklim bölgesinde: yılın yedi ayında ortalama %3,5
- Sıcak-nemli iklim bölgesinde: yılın on iki ayında ortalama %3,2
- Sıcak-kuru iklim bölgesinde: yılın dokuz ayında ortalama %2,7 ve
- Soğuk iklim bölgesinde ise: yılın yedi ayında ortalama %2,2

verim elde edilebileceğini göstermiştir. Elde edilen simülasyon sonuçları FDM kullanımının bina enerji yüklerinde ve özellikle de soğutma yükünde iyileşme sağlayabileceğini göstermiş olsa da, verim beklenen boyutlarda olamamıştır. Bu durum hem seçilen FDM'nin erime sıcaklık aralığıyla hem de simülasyon programında yapılan hesaplamaların doğruluk oranıyla ilişkilidir.

- Design Builder programı ile yapılan enerji simülasyonları, iç konfor sıcaklıkları olan 22-26 °C faz değişim sıcaklık aralığına sahip FDM'lerin bina soğutma yükü üzerinde daha fazla etkili olabileceğini göstermiştir. Bunun nedeni ısıtma öncelikli mevsimlerdeki dış hava sıcaklıklarının iç konfor sıcaklığında faz değiştiren FDM'lerin faz değişim döngüsünü tamamlayabilmesi için elverişli olmamasıdır.

- İç mekan konforunun sağlanmasında ani sıcaklık değişimlerinin önlenmesi yani iç mekan sıcaklık dalgalanmalarının minimum olması önemli bir parametredir. Bunun sağlanabilmesinde ise bina kabuğunun termal kütlesine dayalı zaman geciktirme faktörü en önemli etkenlerden biridir. Laboratuvar ortamında belirli sınır koşullar altında yapılan deneysel uygulamalar, iç konfor sıcaklıklarında faz değişim sıcaklık aralığına sahip FDM kullanımı ile oluşturulan hafif pomza blokların;

- Zaman geciktirmesinde yaklaşık %30 verim sağlayabileceğini,
- İç mekan sıcaklığı zaman geciktirmesinde %23 ile %26 aralığında verim sağlayabileceğini,
- Böylece iç mekan sıcaklık dalgalanmalarını önemli ölçüde azaltabileceğini ve
- İç ortam maksimum sıcaklığında ortalama 1,5 °C düşüş sağlayabileceğini göstermiştir.

- FDM'ler faz değişim döngülerini tamamlayabildiği günlerde gündüz depoladıkları güneş enerjisini gece serinliğinde iç mekana vererek iç mekan sıcaklık dalgalanmalarını azaltabilmektedir. Bu özelliklerinden dolayı özellikle gece kullanımı yoğun olan binalarda

ısıtma sisteminin kapalı olduğu zaman peryodunda iç mekan sıcaklıklarının hemen düşmesini engelleyerek enerji verimliliği sağlayan pasif bir yöntem olarak değerlendirilmelidir.

- FDM'li pomza blokların kullanımı ile zaman geciktirmelerinde elde edilen verimler özellikle gün içerisinde aralıklı çalıştırılan ısıtma ve soğutma sistemlerinin çalışma süresini azaltarak enerji tüketimlerinde önemli ölçüde iyileşme sağlayacaktır.

- Çalışma, yeni dönem pasif yaklaşım olarak kabul edilen faz değiştiren malzeme kullanımı ile bina enerji yüklerinde elde edilebilecek verim hakkında bir sonraki çalışmalar için önemli bir referans olacaktır. Çalışma ile geliştirilen FDM'li pomza bloklar maliyet etkin bir şekilde üretilebilirse bina enerji verimliliğine katkısı ile önemli bir yapı malzemesi olabilecek potansiyele sahiptir.

- Çalışmanın deneysel uygulama kısmı, laboratuvar ortamında FDM'nin faz değişim sıcaklık aralığı baz alınarak belirlenmiş sınır koşullar altında gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle çalışmanın bir sonraki aşaması olarak gerçek atmosfer koşullarında gerçekleştirilmesi planlanmaktadır. Böylece çalışmanın simülasyon aşamasından elde edilen sonuçların yanılma payı da belirlenebilecektir.

İleriki çalışmalarda FDM'nin başka yapı malzemeleri ile karıştırılmasından elde edilebilecek yeni yapı malzemeleri hatta kompozit malzemeler üzerine araştırmalar yapılabilir. Özellikle seracılıkta kullanılabilecek bir malzeme geliştirilebilir. Diğer taraftan gerçekleştirilen çalışmada kullanılan FDM çeşidi ve oranlarından yola çıkılarak farklı FDM'ler farklı oranlarda kullanılarak elde edilen malzemelerin bina enerji yüklerine etkisi araştırılabilir. Ayrıca yapılacak çalışmalarda mikro kapsüllerin boyutları da bir parametre olarak dikkate alınabilir.

5. KAYNAKLAR

1. Çırakman, A.K., Faz Değiştiren Madde İçeren Bina Güney Duvarının Deneysel Olarak İncelenmesi", Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2010.
2. Tokuç, A., Faz Değişim Malzemelerinin Isıl Enerji Depolama Amacıyla Yapı Elemanlarında Kullanılması, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2013.
3. Konuklu, Y., Mikro Kapsüllenmiş Faz Değiştiren Maddelerde Termal Enerji Depolama ile Binalarda Enerji Tasarrufu, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2008.
4. Cellat, K., Binalarda Enerji Tasarrufu için Güneş Enerjisini Faz Değiştiren Maddede Pasif Depolayan Yeni Beton Karışımların Geliştirilmesi ve Uygulanması, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2017.
5. Kancane, L., Vanaga, R. ve Blumberga, A., Modeling of Building Envelope's Thermal Properties by Applying Phase Change Materials, Energy Procedia, 95 (2016) 175-180.
6. Zalewski, L., Joulin, A., Lassue, S., Dutil Y. ve Rousse, D., Experimental Study of Small-Scale Solar Wall Integrating Phase Change Material, Solar Energy, 86,1 (2012) 208-219.
7. Leang, E., Tittlein, P., Zalewski L. ve Lassue, S., Numerical Study of A Composite Trombe Solar Wall Integrating Microencapsulated (FDM), Energy Procedia, 122 (2017) 1009-1014.
8. Zhou, D., Zhao, C.Y. ve Tian, Y., Review on Thermal Energy Storage with Phase Change Materials in Building Applications, Applied Energy, 92 (2012) 593-605.
9. Fiorito, F., Trombe Walls for Lightweight Buildings in Temperate and Hot Climates Exploring The Use of Phase Change Materials for Performances Improvement, Energy Procedia, 30 (2012) 1110-1119.
10. Diaconu, B.M. ve Cruceru, M., Novel Concept of Composite Phase Change Material Wall System for Year-Round Thermal Energy Savings, Energy and Buildings, 42,10 (2010) 1759-1772.
11. Soares, N., Costa, J.J., Gaspar, A.R. ve Santos, P., Review of Passive PCM Latent Heat Thermal Energy Storage Systems Towards Buildings, Energy and Buildings, 59 (2013) 82-103.
12. Graciaa, A. ve Cabeza, L.F., Phase Change Materials and Thermal Energy Storage for Buildings, Energy and Buildings, 103, 15 (2015) 414-419

13. Kuznik, F., Virgone, J. ve Noel, J., Optimization of A Phase Change Material Wallboard for Building Use, Applied Thermal Engineering, 28, 11–12 (2008) 1291–1298.
14. Kuznik, F., Virgone, J. ve Roux, J.J., Energetic Efficiency of Room Wall Containing PCM Wallboard: A Full-Scale Experimental Investigation, Energy and Buildings, 40, 2 (2008) 148–156.
15. Farid, M.M., Siddique, A.M.K., Razack, A.K. ve Al-Hallaj, S., A Review on Phase Change Energy Storage: Materials and Applications, Energy Conversion and Management, 45 (2004) 1597–1615.
16. Guarino, F., Dermardiros, V., Chen, Y., Rao, J., Athienitis, A., Cellura, M. ve Mistretta, M., PCM Thermal Energy Storage in Buildings: Experimental Study and Applications, Energy Procedia, 70 (2015) 219 – 228.
17. Cui, Y., Xie, J., Liu, J. ve Pan, S., Review of Phase Change Materials Integrated in Building Walls for Energy Saving, Procedia Engineering, 121 (2015) 763 – 770.
18. Panayiotou, G.P., Kalogirou, S.A. ve Tassou, S.A., Evaluation of The Application of Phase Change Materials (FDM) on The Envelope of A Typical Dwelling in The Mediterranean Regio, Renewable Energy, 97 (2016) 24-32.
19. Laaouatni, A., Martaj, N., Bennacer, R., El Omari, M. ve El Ganaoui, M., Phase Change Materials for Improving The Building Thermal Inertia, Energy Procedia, 139 (2017) 744–749.
20. Wu, Z., Qin, M. ve Chen, Z., Phase Change Humidity Control Material and Its Application in Buildings, Procedia Engineering, 205 (2017) 1011–1018.
21. Velraj, R. ve Pasupathy, A., Phase Change Material Based Thermal Storage for Energy Conservation in Building Architecture, International Energy Journal, 7,2 (2006) 147-159.
22. Ramakrishnan, S., Wang, X., Sanjayan, J. ve Wilson, J., Experimental and Numerical Study on Energy Performance of Buildings Integrated with Phase Change Materials, Energy Procedia, 105 (2016) 2214 – 2219.
23. Han, Y. ve Taylor, J.E., Simulating The Impact of Phase Change Material Embedded Building Envelopes on The Inter-Building Effect in Non-Tropical Cities, Procedia Engineering, 118 (2015) 760 – 765.
24. Karaoulis, A., Investigation of Energy Performance in Conventional and Lightweight Building Components with The Use of Phase Change Materials: Energy Savings in Summer Season, Procedia Environmental Sciences, 38 (2017) 796 – 803.

25. Nazi, W.I.W.M., Wang, Y., Chen, H., Zhang, X. ve Roskilly, A.P., Passive Cooling Using Phase Change Material and Insulation for High-rise Office Building in Tropical Climate, Energy Procedia, 142 (2017) 2295–2302.
26. Li, Y., Darkw, J. ve Su, W., Investigation on Thermal Performance of an Integrated Phase Change Material Blind System for Double Skin Façade Buildings, Energy Procedia, 158 (2019) 5116–5123.
27. Auzeby, M., Wei, S., Underwood, C., Chen, C., Ling, H., Pan, S., Ng, B., Tindall, J. ve Buswell, R., Using Phase Change Materials to Reduce Overheating Issues in UK Residential Buildings, Energy Procedia, 105 (2017) 4072 – 4077.
28. Mols, T., Dzene, K.P., Vanaga, R., Freimanis, R. ve Blumberga, A., Experimental Study of Small-Scale Passive Solar Wall Module with Phase Change Material and Fresnel Lens, Energy Procedia, 147 (2018) 467–473.
29. Li, Y., Liang, W., Zhou, J. ve Long, E., Experimental Study on Thermal Performance Improvement of Building Envelopes Integrated With Phase Change Materials in an Air-Conditioned Room, Procedia Engineering, 205 (2017) 190–197.
30. Guarino, F., Cellura, S.L.M., Mistretta, M. ve La Rocca, V., Phase Change Materials Applications to Optimize Cooling Performance of Buildings in The Mediterranean Area: A Parametric Analysis, Energy Procedia, 78 (2015) 1708 – 1713.
31. Köse, E. ve Manioğlu G., Evaluation of the Performance of Phase Change Materials in relation to Balanced Distribution of Heating Energy Cost in Residential Buildings, Rehva Journal, 02 (2018) 52-57.
32. Li, Y., Wang, Y., Meng, X., Wang, M. ve Long, E., Research on Indoor Thermal Environment Improvement of Lightweight Building Integrated with Phase Change Material Under Different Climate Conditions, Procedia Engineering, 121 (2015) 1628 – 1634.
33. Bejan, A.S. ve Catalina, T., The Implementation of Phase Changing Materials in Energy Efficient Buildings Case Study: Efden Project, Energy Procedia, 85 (2016) 52– 59.
34. Madessa, H.B., A Review of The Performance of Buildings Integrated with Phase Change Material: Opportunities for Application in Cold Climate, Energy Procedia, 62 (2014) 318 – 328.
35. Navarro, L., Garcia, A., Sole, C., Castell, A. ve Cabeza, L.F., Thermal Loads Inside Buildings with Phase Change Materials: Experimental Results, Energy Procedia, 30 (2012) 342 – 349.
36. Mays, A.E., Ammar, R., Hawa, M., Akroush, M.A., Hachem, F., Khaled, M. ve Ramadan, M., Using Phase Change Material in Under Floor Heating, Energy Procedia, 119 (2017) 806–811.

37. Hanchi, N., Hamza, H., Lahjomri, J. ve Oubarra, A., Thermal Behavior in Dynamic Regime of A Multilayer Roof Provided with Two Phase Change Materials in The Case of A Local Conditioned, Energy Procedia, 139 (2017) 92–97.
38. Alama, M., Sanjayan, J., Zou, P.X.W., Ramakrishnan S. ve Wilson, J., A Comparative Study on The Effectiveness of Passive and Free Cooling Application Methods of Phase Change Materials for Energy Efficient Retrofitting in Residential Buildings, Procedia Engineering, 180 (2016) 993 – 1002.
39. Cao, V.D., Pilehvar, S., Bringas, C.S., Szczotok, A.M., Rodriguez, J.F., Carmona, M., Al-Manasir, N. ve Kjøniksen, A.L., Microencapsulated Phase Change Materials for Enhancing The Thermal Performance of Portland Cement Concrete and Geopolymer Concrete for Passive Building Applications, Energy Conversion and Management, 133 (2017) 56–66.
40. Pisello, A.L., Castaldo, V.L. ve Cotana, F., Dynamic Thermal-Energy Performance Analysis of A Prototype Building with Integrated Phase Change Materials, Energy Procedia, 81 (2015) 82 – 88.
41. Ma, Q., Fukuda, H., Wei, X. ve Hariyadi, A., Optimizing Energy Performance of A Ventilated Composite Trombe Wall in An Office Building, Renewable Energy, 134 (2018) 1285-1294.
42. Meng, E., Yu, H. ve Zhou, B., Study Of The Thermal Behavior of The Composite Phase Change Material (FDM) Room in Summer and Winter, Applied Thermal Engineering, 126 (2017) 212–225.
43. Soudian, S. ve Berardi, U., Experimental Investigation of Latent Thermal Energy Storage in Highrise Residential Buildings in Toronto, Energy Procedia, 132 (2017) 249–254.
44. Xie, J., Wang, W., Liu, J. ve Pan, S., Thermal Performance Analysis of PCM Wallboards for Building Application Based on Numerical Simulation, Solar Energy, 162 (2018) 533–540.
45. Li, S., Zhu, N., Hu, P., Lei, F. ve Deng, R., Numerical Study on Thermal Performance of PCM Trombe Wall, Energy Procedia, 158 (2019) 2441–2447.
46. Sajjadian S.M., Lewis J. ve Sharples S., The Potential of Phase Change Materials to Reduce Domestic Cooling Energy Loads for Current and Future UK Climates, Energy and Buildings, 93 (2015) 83–89.
47. Principi, P., Perna C.D., Borrelli, G. ve Carbonari, A., Experimental Energetic Evaluation of Changeable Thermal Inertia PCM Containing Walls, 482 International Conference “Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment”, Mayıs 2005, Santorini, Greece, 481-486.

48. Evola G., Marletta L. ve Sicurella F., A Methodology for Investigating The Effectiveness of FDM Wallboards for Summer Thermal Comfort in Buildings, Building Environment, 59 (2013) 517–527.
49. Farid, M.M., Khudhai A.M., Ali S. ve Razack K., A Review on Phase Change Energy Storage: Materials and Applications, Energy Conversion and Management, 45 (2004) 1597–1615.
50. Schossig, P., Henning, H.M., Gschwander, S. ve Haussmann, T., Microencapsulated Phase Change Materials Integrated into Construction Materials, Solar Energy Materials and Solar Cells, 89,2-3 (2005) 297–306.
51. Kosny, J., PCM Enhanced Building Components, Springer International Publishing, İsveç, 2015.
52. Knowles, T., Proportioning Composites for Efficient Thermal Storage Walls, Solar Energy, 31,3 (1983) 319-326.
53. Stritih, U. ve Novak, P., Solar Heat Storage Wall for Building Ventilation, Renew Energy, 8, 1-4 (1996) 268-271.
54. EPBD-recast, The Energy Performance of Buildings Directive, EU, Brüksel, 2010.
55. BEP, Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 5 Aralık 2008.
56. Muruganantham, K., Application of Phase Change Material in Buildings: Field Data vs. Energyplus Simulation, PhD Thesis, Arizona State University, Arizona, 2010.
57. Gonzales-Espada, W.J., Bryan, L.A. ve Kang N.H., The Intriguing Physics Inside An Igloo, Physics Education, 36,4 (2001) 290-298.
58. Kalfa, S., M., Türkiye İklim Bölgelerinde Konut Binaları İçin Isıtma ve Soğutma Yüklerinin Belirlenmesinde Kullanılabilecek Bir Yaklaşım, Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2014.
59. Kılınç, E., A., İzmir-Menderes Yöresi Pomza Cevherinin Kullanımına Yönelik Teknolojik Özelliklerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2005.
60. TS EN 1008, Beton-Karma suyu-Numune alma, Deneyler ve Beton Endüstrisindeki İşlemlerden Geri Kazanılan Su Dahil, Suyun, Beton Karma Suyu Olarak Uygunluğunun Tayini Kuralları, T.S.E., Ankara, Nisan 2003.
61. TS 825, Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, T.S.E., Ankara, 2010.

- URL-1, https://www.mfa.gov.tr/turkiye_nin-enerji-stratejisi.tr.mfa Türkiye'nin Uluslararası Enerji Stratejisi. 12 Aralık 2021.
- URL-2, <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/sektorlere-gore-toplam-enerji-tuketimi-i-85800> Sektörlere Göre Toplam Enerji Tüketimi. 01 Aralık 2021.
- URL-3, <http://architectuul.com/architecture/dover-sun-house> Dover Sun House. 02 Eylül 2021.
- URL-4, <https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/maden-serisi/pomza.pdf> Dünyada ve Türkiye'de Pomza. 10 Eylül 2021.
- URL-5, <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021.pdf> Mineral Commodity Summaries. 25 Ekim 2021.
- URL-6, <https://ahika.gov.tr/assets/ilgilidosyalar/Pomza-Arastirma-ve-Uygulama-Merkezi-Fizibilite-Raporu.pdf> Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezi Fizibilite Raporu. 12 Ekim 2021.
- URL-7, <http://www.pomza.net/pomza-blok-ozellikleri> Pomza Blok Özellikleri. 02 Ekim 2021.
- URL-8, <https://geology.com/rocks/pumice.shtml> Pumice. 04 Ekim 2021.
- URL-9, <https://www.volcanodiscovery.com/photos.html> Photo archive on Volcano Discovery. 04 Ekim 2021.
- URL-10, <https://www.pumicecrete.com> Pumice-Crete Building Systems in NM. 04 Ekim 2021.
- URL-11, <https://glassmountainpumice.com/> Natures Lightweight Aggregate. 04 Ekim 2021.
- URL-12, <https://saraybims.com/referanslar.aspx> Referanslar 05 Ekim 2021.
- URL-13, <http://yapibims.com> YapıBims Dekoratif Duvar ve Zemin Sistemleri. 05 Ekim 2021.
- URL-14, <https://www.altensis.com/hizmetler/designbuilder-software/> Designbuilder Yazılımı. 05 Eylül 2021.
- URL-15, http://www.pomzablok.com.tr/pomza_ekatalog/ Pomza blok. 07 Ekim 2021.
- URL-16, <http://bimsblok.com/bimsblok-uretimi/> Bims blok üretimi. 07 Ekim 2021.
- URL-17, <https://webdosya.csb.gov.tr/db/sanayihavarehberi/icerikler/c-mento-uret-m--20200110113349.pdf> Çimento Üretimi Sektörel Uygulama Klavuzu. 14 Ekim 2021.

URL-18, <https://mgm.gov.tr/FILES/resmi-istatistikler/parametreAnalizi/Turkiye-Yillik-G%C3%BCnes-Radyasyonu-2020.pdf> Türkiye Yıllık Güneş Radyasyonu. 02 Aralık 2021.

URL-19, <https://mgm.gov.tr/FILES/resmi-istatistikler/parametreAnalizi/Turkiye-Gunluk-Guneslenme-Suresi-2020.pdf> Türkiye Günlük Güneşlenme Süreleri. 02 Aralık 2021.



6. EKLER

Ek 1. Farklı Yapı Elemanlarına Entegre Edilmiş FDM'ler ve Bulgular Üzerine Yapılan Literatür Taraması

Ek Tablo 1. Farklı yapı elemanlarına entegre edilmiş FDM'ler ve bulgular üzerine yapılan literatür taraması

Bina Bileşeni	Yapılan Çalışma	Kullanılan FDM	Birleştirme Tekniği	Yöntem	Simülasyon	Önemli Bulgular	Ref.
Duvar	FDM 'li Trombe duvarı tasarımı	Parafin	Mikrokapsül	Doğal şartlarda Deneysel	—	FDM 'li duvarın test odasının ısıtma ihtiyacını karşılama oranı 2008 yılının Ekim, Kasım, Aralık aylarında sırasıyla %70,4, %40,8 ve %14,2, 2009 yılının Ocak, Şubat ve Mart aylarında sırasıyla %9,4, %11,3, %4,3 olarak belirlenmiştir.	1
	FDM 'li duvarın bina enerji yüklerine etkisi	Parafin (Micronal 5001 -5008)	Mikrokapsül	Doğal şartlarda Deneysel	Design Expert	FDM'nin yazın soğutma yüküne %5-10; kışın ısıtma yükünde % 10-20 arası katkı sağladığı belirlenmiştir.	3
	FDM'li Trombe güneş duvarının deneysel bir çalışması	Tuz hidrat	Makropaketler	Deneysel	—	2,5 cm'lik FDM'li duvarın (tuz hidratlı), 15 cm'lik beton duvar performansını gösterdiği görülmüştür. Sağlanan enerji odaya iki kat daha hızlı aktarılmıştır. Fakat bu azalan zaman gecikmesi, gün boyu kullanılan ofis gibi yapılar için bir avantaj olsa da akşam kullanımı yoğun olan konut için bir dezavantaj olabilir.	6
	%15 FDM'li Trombe kompozit güneş duvarının deneysel bir çalışması	Parafin, (Micronal DS 5001 X)	Mikrokapsül	Deneysel	—	Beton duvara göre FDM'li duvarın termal kapasitesi %50 artmıştır. 4 cm'lik bir FDM'li duvar ile, 15 cm beton duvara göre 4 kat daha kısa bir zaman gecikmesi elde edilmiştir.	7

Ek Tablo 1' in devamı

Hafif yapılar entegre edilmiş Trombe duvarlarının ısı performanslarının değerlendirilmesi	Parafin RT21, RT27, RT31, RT42	Mikrokapsül	Deneysel	EnergyPlus	İlman iklimlerde, FDM'lerin bir Trombe duvarının ara bölümünün dış yüzeyine entegrasyonu, iç sıcaklıklardaki dalgalanmanın optimum şekilde azaltılmasını sağlar. Orta sıcak ve subtropikal iklimlerde FDM'lerin bir Trombe Duvarının orta bölümünün iç yüzeyine entegrasyonu, yüzeyel sıcaklığın değişkenliğini azaltmaya yardımcı olur.	9
Duvar iç ve dış yüzeyinde farklı erime noktasına sahip FDM kullanımı ile yeni bir kompozit FDM duvar sistemi tasarımı	Parafin	Mikrokapsül	—	Sonlu Fark Yöntemi	Yıllık enerji tasarrufuna ısıtma için % 12,8, soğutma için % 1 oranlarında katkıda bulunduğu ve ısıtma-soğutma yüklerinin tepe değerini %35,4 oranında düşürdüğü bulunmuştur.	10
Duvar iç yüzeyinde kullanılan FDM malzemesinin optimum kalınlık değerinin incelenmesi.	Parafin, Dupont de Nemours)	Mikrokapsül	Deneysel	Codymur	Sonuçlar, optimum kalınlığın 1 cm olduğunu göstermiştir. Bu 1 cm'lik duvar paneli, binanın termal ataletinin iki katına çıkmasına izin verir. Genel olarak, FDM oda içindeki sıcaklık dalgalanmalarında azalma sağlar.	13
PCM duvar levhasının iç mekan ısı dalgalanmalarına etkisinin performans değerlendirilmesi	Parafin, Dupont de Nemours	Mikrokapsül	Deneysel	Sonlu farklar metodu	Duvar iç yüzeyinde FDM duvar panosunun kullanılması odadaki hava sıcaklığı dalgalanmalarını azaltır. 5 mm'lik FDM duvar panosu depolama enerjisi yaklaşık olarak 8 cm'lik bir eşdeğer beton katmana karşılık gelmiştir.	14

Ek Tablo 1' in devamı

	FDM'in bina iç duvarlarında kullanılması ile elde edilecek enerji tasarrufu potansiyeli araştırılmıştır.	Parafin (DuPont, Energain)	Mikrokapsül	Deneysel	EnergyPlus	FDM kullanımının en soğuk aylarda çok etkili olmadığı ortaya çıktı. Bununla birlikte çözüm, tüm yıl bazında değerlendirildiğinde yaklaşık % 20 enerji tasarrufu sağlamıştır.	16
	Bu çalışmada, makro kapsüllenmiş FDM'nin Kıbrıs'taki bir test hücresinin zarfına uygulanması teorik olarak değerlendirildi.	Parafin, BioPCM M91	Makrokapsül	—	TRNSYS	Çalışma Kıbrıs ikliminde FDM'nin dış duvardaki optimum konumunun, tuğla dış yüzeyi olduğunu göstermiştir. Bu durumda % 28,6 oranında enerji tasarrufu sağlanmıştır. Optimum FDM daha sonra Kıbrıs'ta kullanılan bir ısı yalıtım topolojisi ile birleştirildi (ısı yalıtım sıvası) ve sonuçlar % 67,6'lık bir enerji tasarrufu sağlanabileceğini gösterdi. Sadece yalıtımlı durum ile kombine durum arasındaki fark % 2,7 ile 6,6 arasında değişmektedir.	18
	Yapı duvarlarının ısısal ataletini arttırmak için bir yapı malzemesi "beton blok" üzerinde faz değişim malzemesinin havalandırma tüpleri ile birleştirilmesine dayanan bir çözüm önerilmiştir.	Parafin ve Stiren tipi Polimer karışımı	Erimiş halde doğrudan kullanım, sızıntı problemi yok	Deneysel	COMSOL Multiphysics	FDM ve havalandırma tüpleriyle beton bloktan yapılmış optimum duvarı elde etmek amacı ile yapılan çalışmada Parafinin tüplerle yerleştirilmesinin, faz değişim sıcaklığı etrafında bir sıcaklık seviyesine sahip olmasını ve dolayısıyla uygulanan termal gerilmelerin sönümlenmesini mümkün kıldığını doğrulamaktadır.	19

Ek Tablo 1' in devamı

Kompozit mikrokapsüllenmiş FDM (MPCM) ve higroskopik malzeme kullanılarak gerçekleştirilen PCHCM'nin iç mekan hidrotermal çevresi ve bina enerji tüketimi üzerindeki etkisi incelenmiştir.	Parafin	Mikrokapsül	Deneysel	DSC	PCHCM kompoziti, hem ısıyı hem de nemi emerek veya salarak iç mekanda yüksek sıcaklıkta meydana gelen dalgalanmaları hafifletebilmiştir. Sonuçlar, PCHCM'nin iç ortam sıcaklığını ve bağıl nemi etkili bir şekilde düzenleyebildiğini, böylece araştırmadaki test binasının % 18'lik bir enerji tasarrufu oranına sahip olduğunu göstermektedir.	20
Ticari binalarda (TESC)duvar, zemin ve tavanda kullanılan Termal enerji depolu çimento kompozitin enerji tasarrufu potansiyeli değerlendirilmiştir.	Parafin / EP kompozit	Panel	Deneysel	EnergyPlus	Laboratuvar ölçeğinde test odasında yapılan termal performans testleri, yaklaşık 1.5 saatlik bir tepe gecikmesi ile TESC'nin kapalı alandaki en yüksek sıcaklık seviyesini 5.6 ° C'ye kadar azaltabileceğini ortaya koymaktadır. FDM'nin bina zarflarına dahil edilmesinin, Melbourne ve Sidney'in iklim bölgeleri için yıllık sırasıyla % 16-25 enerji tasarrufu sağlayabileceği gösterilmiştir.	22
FDM'li bina kabağunun kent ölçeğinde (Inter-Building Effect) 'ye etkisi incelenmiştir.	Belirtilmemiş	Mikrokapsül	—	EnergyPlus	PCM'ler bina ataletini artırarak, kentsel ortamlarda karşılıklı gölgelendirme ve yansımalar ile ortaya çıkan binalar arasındaki olumsuz (Inter-Building Effect) IBE etkisini en aza indirmeye yardımcı olmuş, tropikal olmayan iklimde, yıllık HVAC enerji tüketiminde % 12'ye kadar verim göstermiştir.	23

Ek Tablo 1' in devamı

Bir yazılım simülasyonuna dayanarak tropikal bir ortamda yalıtım malzemesi, faz değişim malzemesi ve her iki malzemenin bir ofis binasında eklenmesinin etkililiğini karşılaştırmaktadır.	Parafin, BioPCM (M182 / Q29)	Mikrokapsül	—	Gün boyu klima kullanmayan yerler için tamamen yalıtılmış bir odaya kıyasla FDM daha etkilidir. FDM yalıtımla birleştirildiğinde, kendi başına havalandırma ve izolasyon içeren FDM kadar etkili değildir. Gece havalandırması, FDM'nin boşalması ve verimliliğinin sağlanması için gereklidir. Ofis binalarında tüm gün soğutma kullanan bir oda için FDM kullanımı, FDM'nin dolmuş ve boşalması için gerekli ortamı sağlayamayacağından verimli olmayacaktır.	25
Entegre bir FDM kör sisteminin termal performansını teorik ve deneysel olarak değerlendirdi.	Parafin, (Rubitherm PX35)	Mikrokapsül	Deneysel	ANSYS FLUENT	26
Bina kabağında gizli enerji birikimini değerlendirmek için ısı akümülatörü olarak FDM ve güneş enerjisi yoğunlaştırıcısı olarak Fresnel lens ile deneysel olarak küçük ölçekli pasif solar duvar modülünün çalışması	Parafin (RT21 HC)	Mikrokapsül	Deneysel	Testlerin sonuçları, Fresnel lensli ve PMMA akrilik camlı test modüllerinin hemen hemen aynı sonuçları gösterdiğini, dolayısıyla Fresnel lensin güneş yoğunlaştırıcı olarak kullanılmasının bu teknik çözümde herhangi bir ısıl iyileştirme yapmadığını ortaya koymuştur.	28

Ek Tablo 1' in devamı

	Klimanın sürekli ve aralıklı çalıştırılması ile FDM duvarının ve referans duvarın iç yüzey sıcaklığı ve ısı akışının deneysel bir çalışma ile değerlendirilmesi	Parafin	Mikrokapsül	Deneysel	—	Sonuçlar FDM'lerin iç yüzey sıcaklığını 1 ° C azaltabildiğini ve FDM duvarının soğuk bırakma süresinin referans duvardan 2 saat daha uzun olduğunu göstermiştir.	29
	FDM'nin doğal havalandırma stratejileriyle bağlantılı olarak enerji verimliliği potansiyelinin değerlendirilmesi.	Parafin	Mikrokapsül	—	Energy Plus	Simülasyon sonuçları ile her durumda, FDM kullanımıyla soğutma tüketiminde en az % 40 tasarrufa ulaşılmıştır. Yaz aylarında FDM, havalandırma ve daha düşük pencere duvar ortamı kombinasyonu ile en iyi performansı göstermiş, yoğun saatlerde hava sıcaklığı 7-8 ° C'den daha fazla azaltılabilmektedir.	30
	FDM ile entegre hafif binaların, farklı iklim koşulları altında iç mekan termal koşullarının iyileştirilmesinin karşılaştırılması olarak analizi	Belirtilmemiş	Mikrokapsül	Deneysel	Energy Plus	FDM'yi duvar özellikleri ve iklim özellikleri ile rasyonel olarak seçmek önemlidir. Bu çalışmada FDM'nin faz geçiş sıcaklığı 18 -26 ° C olan etkisi geçiş mevsiminde belirgindir, ancak kış ve yaz aylarında daha kötüdür.	32
	EFDEN projesinde faz değiştiren malzemelerin uygulanmasının, Bina termal yüklerine etkisinin Bükreş şehri için analiz edilmesi	Parafin, BioPCM (M27/Q23)	Mikrokapsül	—	Design Builder	EFDEN projesi durumunda, 23 ° C civarında faz değişim sıcaklığına sahip bir malzemenin soğutma enerjisi % 16,72 civarında azalttığı görülmüştür. Ayrıca, 25 ° C civarında bir faz değişim sıcaklığına sahip bir FDM'nin daha iyi performans göstereceği ve enerji tasarruflarının %22.23'e ulaşabileceği sonucuna varılmıştır.	33

Ek Tablo 1' in devamı

	Bir ofis binasının kış ısıtması için tasarlanmış havalandırılmalı bir kompozit Trombe duvar modelinin enerji tasarruf potansiyelinin değerlendirilmesi	—	—	Deneysel	THERB for HAM	Çalışma havalandırılmış kompozit Trombe duvarlı binanın güneş enerjisi kullanarak havalandırılmamış kompozit Trombe duvarlı binaya kıyasla ısıtma sırasında enerji maliyetinin yaklaşık % 3.7'sini koruyabildiğini ortaya koydu.	41
	Bir odada hem yaz hem de kış için farklı erime sıcaklığına sahip iki FDM'nin yerleştirilmesi ile oluşturulan kompozit FDM odası konseptinin değerlendirilmesi	Tuz hidrat (SP 29) ve Parafin (RT 18)	Mikrokapsül	Deneysel	TRNSYS	Yaz aylarında, sıradan odaya kıyasla, FDM odası gün içinde yaklaşık 4.28-7.7 C sıcaklık düşüşü getirebilir ve güneşli havalarda iç ortam hava sıcaklığı dalgalanmasını % 28.8-67.8'e kadar düşürebilir .	42
	Erime sıcaklıkları 21.7 °C ve 25 °C olan iki ticari FDM ürününden oluşan yeni bir kompozit FDM'in küçük ölçekli test hücreleri kullanılarak deneysel olarak incelenmesi	Parafin-DuPont Energain™ BioPCM™ mat	Mikrokapsül	Deneysel	Energy Plus	Toronto'da % 80 WWR bulunan birimlerde aşırı ısınma ve günlük sıcaklık değişimlerinde belirgin bir azalma olduğunu göstermiştir.	43

Ek Tablo 1' in devamı

	Pekin'de bir klima odasının dış duvarında oluşturulan FDM duvar tahtalarının ısı performans analizinin, sayısal simülasyon kullanılarak yapılması ve Çin'in farklı bölgeleri için FDM'in etkin olduğu ayarların belirlenmesi	Belirtilmemiş	Panel	—	MATLAB	Bazı mevsimlerde iyi termal performans gösteren FDM duvar panosu, diğer mevsimlerde ortalama ısı performans gösterebilir. Bütün bir yıl boyunca analiz gereklidir, FDM duvarları tek başına binaların enerji verimliliği için tasarım standardını karşılamıyor. Yalıtım katmanı kalınlığı 4.5 cm'ye yükseltildikten sonra tasarım standardı karşılanabilir.	44
	Trombe duvarının ısı performansını iyileştirmek ve bir yıl boyunca aktif hale getirmek için, FDM Trombe duvarı adlı çift katmanlı faz değişim malzemesi (FDM) ile entegre yeni bir Trombe duvarı önerisi	Parafin	Belirtilmemiş	—	TRNSYS	Yazın FDM odasındaki ortalama sıcaklık referans odadakinden 3.25 ° C daha düşüktü ve aşırı ısınma düzeldi. Sonuç olarak FDM Trombe duvarı, düşük sıcaklıktaki artık ısıyı odaya koyabilir, oda çok soğukken ısıyı serbest bırakabilir ve iç mekan termal konforunu iyileştirebilir.	45
	Mevcut 2020, 2050 ve 2080 hava durumu senaryoları dikkate alınarak FDM'lerin enerji tüketimi üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir.	Parafin	Belirtilmemiş	—	Design Builder	Bina kabuğunda FDM'leri hava boşluklarıyla entegre etmek için bir mekanizma önerilmiştir. Sistem hem yeni hem de mevcut binalarda kullanılabilir. Sağlanan hava boşluğu, FDM panelleri için hava sirkülasyonu ve bina için ekstra yalıtım katmanı avantajı sunmaktadır. Sıcaklık 2080 yılı seviyelerine yükseldikçe FDM daha etkili hale gelmektedir.	46

Ek Tablo 1' in devamı

	İtalya'da FDM ve havalandırma tabakasının bir arada kullanıldığı dış duvar ve sadece FDM kullanılan dış duvar, FDM'siz referans duvar ile karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir.	Belirtilmemiş	Belirtilmemiş	DeneySEL	—	Sonuçlar, FDM içeren duvarlardaki maksimum termal akının % 50'den fazla azaltıldığını ve bu nedenle iklimlendirme amaçlı enerji tüketiminin azaltılmasına katkıda bulunduğunu gösterdi.	47
	İngiltere'deki konut uygulamalarında aşırı ısınma sorunlarını azaltmak için FDM'lerin kullanılmasının etkinliği değerlendirilmiştir.	Parafin	Mikrokapsül	—	Design Builder	FDM'lerin duvar bileşeninde kullanılması daha etkin sonuçlar vermiş, İngiltere'deki konut binalarında aşırı ısınma sorunlarını çözmek için FDM'in etkin bir pasif çözüm olarak kullanılabileceği ortaya konmuştur. Ayrıca FDM'nin 2050 yılına kadar Aberdeen'deki aşırı ısınma sorununu çözmeye yardımcı olabileceği sonucuna varılmıştır.	27
	Hafif bir ofis binasının bölme duvarlarına organik FDM içeren yeni geliştirilen duvar panellerinin uygulanmasını içeren simülasyonlara dayalı bir çalışma	Parafin	FDM duvar paneli	—	Energy Plus	FDM duvar panoları, Güney Fransa iklimindeki hafif binalar için yaz aylarında uygun görülmüştür. Bazı geliştirmeler, gerçek sıcaklıktan yaklaşık 1 C e civarında biraz daha düşük bir pik erime sıcaklığı kullanılarak elde edilebilir. Bununla birlikte, FDM performansının iklim koşullarına yüksek bağımlılığı nedeniyle, kurulacak FDM türü ve miktarı da tercih etmek istediğiniz mevsime göre değerlendirilmelidir.	48

Ek Tablo 1' in devamı

	FDM nin dış duvarın iç yüzeyine alçı levhaya mikro kapsül şeklinde katılmış olarak uygulamasının bina termal yüklerine etkisinin değerlendirilmesi	Parafin 24 -26 °C.	FDM duvar paneli	Deneyssel	ESP-r	Ölçülen veriler, FDM ürünlerinin soğutma talebini azaltma ve hafif binalarda konforu artırma potansiyelini göstermektedir. FDM alanlarının beklenen yüklerle ve mevcut gölgeleme cihazlarına göre boyutlandırılması önemlidir. Depolanan ısının gece boyunca yeterli havalandırma ile dışarı edilmemesini sağlamak gerekir. Havalandırma, mekanik havalandırma ile veya örneğin ilişkili bir atriylum ile yapısal tasarımlarla gerçekleştirilebilir.	50
Dış ve İç duvar, Tavan, Döşeme	FDM'nin bir zonun iç duvarlarında, dış duvarlarında, zemin ve çatısında uygulanması modelleme ve simülasyon kullanılarak değerlendirilmiştir.	Parafin, BioPCM (M51/Q21)	Mikrokapsül	—	Design Builder	FDM iç katlarda ve iç duvarlarda uygulandığında ortaya çıkan ısı kaybı her bölge için özel olarak değerlendirilirse, bölgelerin konumlarına ve dış duvarlarına bağlı olarak bölgeye özgü iyileştirme alternatifleri oluşturulabilir.	31
	İç termal yüklerle sahip binalarda kullanılan konvansiyonel yapıcı sisteme makro kapsüllemiş FDM eklenmesinin etkisi	Parafin (RT-27)	Makrokapsül	Deneyssel	—	Deneylerden elde edilen sonuçlar, FDM'yi gece boyunca boşaltmak için gece havalandırması ihtiyacını göstermektedir, aksi takdirde enerji tüketimi artmaktadır.	35

Ek Tablo 1' in devamı

Zemin	Yalıtılmış bir evin zemininde FDM ile entegre elektrikli yerden ısıtma sisteminin termal yükler etkisi	Beyaz petrolyum jel	Alüminyum kap içerisinde	DeneySEL	—	Elektrikli yerden ısıtma sistemi kapatıldığında zeminde alüminyum kap içinde yerleştirilen jel halindeki FDM pasif ısıtıcı olarak evin ısıtının bir süre daha korunmasını sağlayarak elektrik tüketiminde tasarruf sağlamıştır.	36
Tavan	Geleneksel ve hafif yapıdaki ofis binalarının, faz değişim malzemelerinin (FDM) kullanıldığı ve kullanılmadığı duruma göre performansın karşılaştırılması olarak incelenmesi	Parafin -29	Belirtilmemiş	—	Desing Builder	Geleneksel veya hafif yapının her ikisinde de FDM'lerin tavanda düzenlenmesi, dış veya iç duvara göre daha etkin sonucu vermiş, soğutma enerjisinde % 10 ila% 68 oranında tasarruf sağlamıştır. Bunun nedeni, FDM'lerin bu pozisyonda sadece iç mekan havasıyla etkileşime girmeleri ve böylece ısı enerjisini emme, saklama ve serbest bırakma yetenekleri ile sıcaklık dalgalanmalarına karşı direnç sağlamalarıdır.	24
	TES sistemine dahil bir FDM'nin pasif ve serbest soğutma uygulama yöntemi ile bir konut binasının iç ortam sıcaklığını düşürme potansiyeli analizi	BioPCM	Mikrokapsül	DeneySEL	Energy Plus ve ANSYS	Sonuçlar, FDM nin iç ortam hava sıcaklığının azaltılmasında daha etkili olduğunu göstermiştir. İncelenen tipik yaz döneminde, serbest soğutma uygulaması ile, iç ortam sıcaklığında 1.8 ° C'ye kadar düşme gözlenmesine rağmen, pasif uygulama durumunda sadece 0.5 ° C'ye kadar düşüş gözlenmiştir.	38
	FDM'li bir düz çatının bina soğutma yüküne etkisi	Parafin (RT27)	Mikrokapsül	Yapay şartlarda DeneySEL	—	FDM çoğunlukla katı halde kaldığı için sistemin gizli ısı etkisi istenildiği gibi kullanılamamakta, daha çok duyulur ısıdan kaynaklanan etki görülmektedir. Burada hareketle RT27'nin geçiş aylarında daha başarılı olduğu söylenebilir.	2

Ek Tablo 1' in devamı

Çatı	Geleneksel ve çatı kaplama membranlarıyla birleştirilmiş FDM'lerin, değişen iklim koşullarında enerji gereksinimi üzerindeki etkisi	Parafin	Belirtilmemiş	—	Energy Plus	Sonuçlar, FDM'lerin soğuk poliüretan esaslı zara entegrasyonunun, soğutma için enerji talebini basit soğuk zara göre %10'a ve geleneksel bitümlü zara göre %23 azaltılabildiğini göstermiştir.	40
	Geleneksel ve FDM'li iki çatının termal performansının analizi	Tuz hidrat (S19, S23) Clim Sel (C21-C24) Parafin (RT25-RT30)	Belirtilmemiş	Sayısal Hesaplama	—	20 ve 18 ° C'deki birden fazla FDM kullanılması durumunda FDM'in optimum eşleri belirlenmiştir.	37
	(FDM) içeren yeni beton karışımları geliştirilmesi	Parafin	Doğrudan ve Mikrokapşül	DeneySEL	—	FDM kullanımı ile bahar ve kış aylarında ısıtma yükünün %4 ila %13 arasında azaltılabileceği görülmüştür.	4
Malzeme	MPCM'nin Portland ve jeopolimer ile betonları entegrasyonunun incelenmesi	Parafin (RT27)	Mikrokapşül	DeneySEL	—	Mikrokapşüllerin eklenmesi, beton basınç dayanımında önemli bir kayıpla sonuçlanmıştır. Basınç dayanımı kaybı önemli olsa da, MPCM betonunun basınç dayanımı yapısal uygulamalar için mekanik özellik talebini karşılamaktadır.	39
	FDM çeşitlerinin avantaj ve dezavantajları, metal ısı artırıncılar ile kullanımları	Parafin (RT21HC), Yağ asitleri ve Tuz hidratı (SP21E)	Mikrokapşül ve Metal artırıncılar	Literatür Araştırması	—	Alüminyum ve paslanmaz çeliğin yağ asitleri için termal ısı artırıcı olarak kullanılabileceği, tuz hidratların alüminyum ve karbon çeliği ile uyumlu olmadığı, paslanmaz çelik 304 ve 316'nın tuz hidrat ile uzun süreli kullanım için uygun olduğu belirtilmiştir.	5

Ek Tablo 1' in devamı

Gözen Geçirme	FDM'lerin, empenye yöntemlerinin, mevcut bina uygulamalarının ve bu uygulamaların termal performans analizlerinin yapıldığı önceki çalışmaların gözden geçirilmesi	Parafin, Tuz hidrat ve Ötektikler	Doğrudan, Daldırma, Mikro kapsülleme ve Makro kapsülleme	Literatür Araştırması	—	8
	Pasif Gizli Isı Termik Enerji Depolama (LHTES) sistemlerinin FDM ile optimizasyonu, ve bina enerji performans değerlendirilmesi ile ilgili önceki çalışmalar.	Parafin, Yağ asitleri ve Tuz hidratlar	Doğrudan, Daldırma, Microcapsül ve Metal arttırıcılar	Literatür Araştırması	—	11
	Duyarlı, gizli ısı ve termik enerji depolaması kullanan binalardaki TES'in incelenmesi.	Parafin, Yağ asitleri ve Tuzhidratlar	Doğrudan, Daldırma ve Kapsülleme	Literatür Araştırması	—	12

Binalarda kullanılacak FDM'lerin faz değişim sıcaklığı 18 °C- 30 °C arasında olmalıdır. Ayrıca, kimyasal kararlılık, yangına karşı dayanım ve yapısal malzemelerle uyumluluk gibi özelliklerin de FDM seçimlerinde dikkate alınması gerekir. FDM'lerle gizli ısı depolamanın, duvarlarda, tavanlarda ve zeminlerde pasif olarak güneş enerjisini depolayarak sıcaklık dalgalanmalarını azaltmada önemli bir etki gösterdiği açıktır. Ayrıca, havalandırma ve soğutma için de yararlıdır.

FDM duvar panellerinin hava sıcaklığı ve duvarların ısıtım etkileri nedeniyle kullanıcıların termal konforunu arttırdığı yapılan gözden geçirme ile gösterilmiştir.

FDM kullanılarak sıcaklığın faz değişim aralığının altına yeterli bir sürede düşmediği belirli iklimlerde veya yaz aylarında FDM'nin katılaşmasını sağlama zorluğu, termal stabilize ve sızıntı gibi pasif soğutma için önemli tasarım hususları dikkate alınmalıdır.

Ek Tablo 1' in devamı

	Gizli ısı depolama konusundaki önceki çalışmaların gözden geçirilmesi ve enerji depolarında kullanılmak üzere geliştirilen yeni FDM'ler hakkında bilgi	Parafin ve Tuzhidratları	Mikrokapsül	Literatür Araştırması	—	FDM'lerin uygulama alanları, binalardaki sıcak ve soğuk depolardan uydulardaki termal depolamaya ve koruyucu giysilere kadar çok çeşitlidir.	15
	FDM termofiziksel özellikleri, FDM tipleri, FDM duvarları için uygun FDM birleştirme yöntemleri ve FDM duvarlarının spesifik uygulamaya yöntemleri ele alınmıştır.	Parafin ve Tuz hidratları	Doğrudan, Daldırma ve Şekil stabilize kapsülleme	Literatür Araştırması	—	Erime sıcaklığı aralığı organik FDM'ler için 19 ila 28 ° C ve inorganik FDM'ler için 25 ila 35 ° C arasında, füzyonun ısı, hangi FDM türü olursa olsun, neredeyse 120 ila 280 kJ / kg arasındadır. Yoğunluk aralığı organik FDM'ler için 700 ila 900 kg / m ³ ve inorganik FDM'ler için 1300 ila 1800 kg / m ³ tür. Ek olarak, uygulama coğrafi konumları temel olarak 25 ila 60 derece arasında kuzey enleminde ve 35 ila 40 derece arasında güney enleminde dört alana yoğunlaşmıştır. Parafin kullanımı en yaygındır ve maksimum kullanım sıklığı %87,5'e kadar çıkmaktadır.	17
	Konutlarda termal performans arttıracak, farklı FDM'ler ve sistemler ile entegre, gizli ısı depolamaya dayanan olası yöntemler ele alınmıştır.	Parafin, Yağ asitleri ve Tuzhidratlar	Mikrokapsül Makrokapsül	Literatür Araştırması	—	FDM'lerin dahil edilmesinden dolayı bir binadaki termal gelişmeler: FDM'nin erime sıcaklığına, tipine, geleneksel malzemeyle karıştırılma yüzdesine, iklim, tasarım ve oryantasyona bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Gelecekteki araştırmaların, FDM'yi yapıya entegre eden aktif tabanlı FDM sistemlerinin geliştirilmesi üzerine olmalıdır.	21

Ek Tablo 1' in devamı

Farklı tipteki ısıtıl ve binalara entegre etmenin farklı yöntemleriyle ilgili literatür gözden geçirilmiştir.	Parafin, Yağ asitleri, Tuz hidratlar ve BioPCM	Mikrokapsül, Makrokapsül ve Emdirme	Literatür Araştırması	—	Sonuçlar FDM'lerin pasif ev standartlarına uygun olduğunu, hem konut hem de konut dışı binalar için büyük bir potansiyele sahip olduğunu açıkça göstermiştir.	34
Enerji depolamada kullanılmak üzere yeni faz değişim malzemesi geliştirme çabalarına ilişkin bir fikir verme amacı ile önceki çalışmaların gözden geçirilmesi	Parafin, Tuz hidratlar ve Ötektikler	Mikrokapsül	Literatür Araştırması	—	Çok çeşitli sıcaklıklarda eriyen ve katılaşan çok sayıda FDM vardır. Parafin balmumları ucuzdur ve orta termal enerji depolama yoğunluğuna sahiptir, ancak düşük ısı iletkenliği vardır ve bu nedenle geniş yüzey alanı gerektirir. Tuz hidratlar daha büyük enerji depolama yoğunluğuna ve daha yüksek termal iletkenliğe sahiptir, ancak süper soğutma ve faz ayrımı yaşarlar ve bu nedenle bunların uygulanması bazı çekirdekleştirici ve koyulaştırıcı maddelerin kullanılmasını gerektirir.	49

Ek 2. Referans Kabine 600 W/m²' lik Işınım Değeri Uygulanarak Yapılan Deneysel Uygulama Sonuçları

Kontrol odası içerisinde halojen lambalar ile referans mini kabinin tek duvar yüzeyine 600W/m²'lik güneş ışınlam değeri uygulanması ile yapılan deneysel uygulamada; referans mini kabin duvarı iç yüzey ve dış yüzey sıcaklığı, mini kabin ve kontrol odası iç ortam sıcaklığı yerleştirilen ısıtıcı çiftler aracılığı ile 10 saniyelik aralıklarla kaydedilerek belirlenmiştir. Deneye ait bulgular 1 dakikalık aralıklarla Ek Tablo 2 'de verilmiştir.

Ek Tablo 2. Referans Kabine 600 W/m²' lik Işınım Değeri Uygulanarak Yapılan Deneysel Uygulama Sonuçları

Zaman (dk)	Referans duvar ortalama iç yüzey sıcaklığı °C	Referans mini kabin ortalama iç ortam sıcaklık °C	Referans duvar dış yüzey sıcaklığı °C	Kontrol odası iç ortam sıcaklığı °C
0	20,875	20,56666667	18,9	17,2
1	20,875	20,56666667	29,2	18,7
2	20,775	20,56666667	33,7	19,9
3	20,775	20,53333333	36,7	21
4	20,725	20,5	39,1	22
5	20,675	20,5	41,3	22,7
6	20,675	20,43333333	42,9	23,2
7	20,675	20,43333333	44,6	24,3
8	20,55	20,33333333	46	25,4
9	20,5	20,33333333	47,4	26,2
10	20,5	20,33333333	48,6	27,1
11	20,5	20,3	49,8	28
12	20,55	20,3	50,8	28,7
13	20,575	20,3	51,9	29,5
14	20,625	20,33333333	52,6	28,1
15	20,725	20,33333333	53,3	29,5
16	20,8	20,33333333	54,5	31,3
17	20,925	20,36666667	55,4	32,1
18	20,975	20,4	56,2	32,9
19	21,075	20,43333333	57,1	33,5
20	21,175	20,46666667	57,8	34,1
21	21,325	20,53333333	58,6	34,7
22	21,45	20,63333333	59,4	35,4
23	21,625	20,66666667	58,7	30,5
24	21,675	20,66666667	58	28,5

Ek Tablo 2' nin devamı

25	21,825	20,76666667	58	28,7
26	22,025	20,86666667	58,5	28,5
27	22,225	20,96666667	58,3	29,6
28	22,45	21,13333333	58,6	29,4
29	22,525	21,13333333	58,9	29,3
30	22,725	21,26666667	58,9	29,9
31	22,925	21,36666667	59,6	30,1
32	23,15	21,53333333	59,9	30,3
33	23,225	21,53333333	60,2	30,4
34	23,425	21,66666667	60,3	30,4
35	23,6	21,76666667	60,5	31
36	23,75	21,86666667	60,7	31,1
37	23,9	21,96666667	61,2	31,2
38	24,175	22,13333333	61,3	31,1
39	24,3	22,26666667	61,8	31,6
40	24,475	22,4	61,9	32
42	24,9	22,66666667	62,7	31,7
43	25,1	22,8	62,7	32,1
44	25,275	22,93333333	63	32,6
45	25,5	23,1	63	31,7
46	25,625	23,1	63	31,6
47	25,8	23,3	63,4	31,8
48	26,025	23,4	63,6	32
49	26,225	23,6	64,1	32,3
50	26,45	23,73333333	64,2	32,8
51	26,625	23,9	64,4	33
52	26,825	24,1	64,6	33,2
53	26,925	24,1	64,5	32,2
54	27,15	24,3	64,6	32,9
55	27,375	24,46666667	64,9	32,6
56	27,525	24,6	65,2	33,3
57	27,725	24,8	65,4	33
58	27,875	24,8	65,4	33,7
59	28,075	25	65,3	33,9
60	28,275	25,2	65,6	32,8
61	28,45	25,33333333	53,2	25,3
62	28,525	25,36666667	48,2	23,5
63	28,725	25,56666667	45,1	22
64	28,85	25,6	42,9	22,4
65	28,95	25,66666667	40,8	21,8
66	29,125	25,86666667	39,8	21,2

Ek Tablo 2' nin devamı

67	29,225	25,9	38,4	20,9
68	29,4	26,03333333	37,1	21
69	29,45	26,13333333	36,1	20,3
70	29,6	26,26666667	35,3	20,3
71	29,725	26,36666667	34,7	20,4
72	29,775	26,46666667	34,2	21,3
73	29,825	26,56666667	34	22,8
74	30	26,7	33,6	22,2
75	30,1	26,8	33	21,8
76	30,15	26,93333333	32,6	21,8
77	30,225	27	32,2	21,8
78	30,25	27,1	32,1	21,9
79	30,275	27,1	31,7	22,3
80	30,3	27,2	31,3	21,6
81	30,275	27,23333333	30,8	21,2
82	30,275	27,23333333	30,5	21,1
83	30,25	27,23333333	30,1	20,8
84	30,225	27,26666667	29,8	21,1
85	30,2	27,33333333	29,7	21,2
86	30,225	27,33333333	29,5	21,4
87	30,225	27,4	29,3	20,7
88	30,125	27,3	28,8	20,5
89	30,1	27,33333333	28,6	20,2
90	30,125	27,36666667	28,3	20,4
91	30,1	27,4	28,2	20,7
92	29,975	27,3	28	20,1
93	29,9	27,3	27,7	19,9
94	29,85	27,26666667	27,4	19,7
95	29,725	27,2	27,1	19,5
96	29,75	27,3	27,1	19,8
97	29,7	27,3	27,2	20,2
98	29,65	27,26666667	27	19,9
99	29,525	27,16666667	26,7	19,4
100	29,475	27,13333333	26,3	19,1
101	29,45	27,13333333	26,2	19
102	29,4	27,13333333	26,1	19,1
103	29,325	27,1	26,1	19,6
104	29,275	27,06666667	26,2	19,7
105	29,175	27,03333333	25,9	19,7
106	29,1	27	25,8	19
107	29	26,93333333	25,5	18,9

Ek Tablo 2' nin devamı

108	28,925	26,86666667	25,3	18,4
109	28,775	26,8	25,1	19
110	28,7	26,7	25,2	19,2
111	28,6	26,66666667	25,1	19,4
112	28,6	26,7	25	18,9
113	28,5	26,6	24,9	18,5
114	28,425	26,6	24,8	18,4
115	28,375	26,56666667	24,4	18,4
116	28,325	26,53333333	24,5	18,7
117	28,275	26,53333333	24,5	19,2
118	28,15	26,4	24,4	18,8
119	28,1	26,4	24,2	18,5
120	28,05	26,33333333	24,1	18,1
121	28	26,33333333	24	18,1
122	27,875	26,23333333	23,8	18,1
123	27,8	26,2	23,7	18,5
124	27,775	26,16666667	23,9	18,8
125	27,7	26,13333333	23,8	18,7
126	27,625	26,1	23,6	18,3
127	27,55	26,03333333	23,4	18,1
128	27,45	25,93333333	23,3	17,7
129	27,325	25,86666667	23,3	18,1
130	27,225	25,83333333	23,3	18,4
131	27,125	25,73333333	23,3	18,6
132	27,025	25,63333333	23,2	18,3
133	27,05	25,66666667	23,1	18,2
134	26,95	25,6	22,8	17,8
135	26,875	25,53333333	22,8	17,9
136	26,775	25,5	22,9	18,2
137	26,675	25,43333333	22,6	17,8
138	26,575	25,33333333	22,5	17,2
139	26,5	25,3	22,3	17,2
140	26,425	25,23333333	22,2	17
141	26,35	25,2	21,9	16,9
142	26,325	25,13333333	22	17,2
143	26,275	25,13333333	22,1	17,5
144	26,225	25,06666667	22,1	17,8
145	26,175	25,03333333	22	17,3
146	26,15	25,03333333	22	17,1
147	26,025	24,93333333	21,6	16,8
148	26	24,9	21,5	16,6

Ek Tablo 2' nin devamı

149	25,925	24,86666667	21,6	17
150	25,8	24,73333333	21,6	17,3
151	25,775	24,7	21,6	17,5
152	25,7	24,66666667	21,6	17,2
153	25,625	24,63333333	21,5	16,9
154	25,575	24,56666667	21,3	16,7
155	25,525	24,53333333	21,2	16,4
156	25,45	24,5	21,2	16,7
157	25,3	24,36666667	21,2	17,2
158	25,25	24,33333333	21,3	17,3
159	25,175	24,3	21,1	17
160	25,15	24,26666667	21	16,7
161	25,125	24,23333333	20,9	16,5
162	24,975	24,1	20,7	16,4
163	24,95	24,06666667	20,7	16,7
164	24,875	24,03333333	20,8	16,9
165	24,825	24	20,9	17,3
166	24,675	23,86666667	20,9	17,4
167	24,625	23,83333333	20,9	17,4
168	24,575	23,76666667	21	17,6
169	24,525	23,73333333	21	17,6
170	24,5	23,73333333	20,8	17,1
171	24,35	23,63333333	20,6	16,6
172	24,325	23,56666667	20,5	16,9
173	24,25	23,53333333	20,6	17,1
174	24,225	23,53333333	20,6	17,4
175	24,175	23,46666667	20,7	17,5
176	24,025	23,33333333	20,7	17,5
177	24,025	23,33333333	20,6	17,3
178	23,975	23,26666667	20,4	17
179	23,925	23,26666667	20,3	16,5
180	23,85	23,23333333	20,3	16,9
181	23,8	23,16666667	20,4	17,2
182	23,725	23,13333333	20,4	17,5
183	23,6	22,96666667	20,4	17,4
184	23,525	22,96666667	20,4	17,5
185	23,5	22,93333333	20,2	17
186	23,475	22,86666667	20,1	16,4
187	23,4	22,86666667	20	16,6
188	23,375	22,83333333	20,1	17,1
189	23,35	22,76666667	20,2	17,3

Ek Tablo 2' nin devamı

190	23,3	22,76666667	20,2	17,5
191	23,25	22,73333333	20,2	17,5
192	23,125	22,6	20	17,2
193	23,1	22,56666667	20	16,8
194	23,05	22,53333333	19,8	16,5
195	23	22,5	19,8	16,9
196	22,95	22,46666667	19,9	17,1
197	22,925	22,43333333	20	17,3
198	22,85	22,43333333	20	17,4
199	22,85	22,36666667	20	17,5
200	22,75	22,36666667	19,8	16,8
201	22,65	22,2	19,5	16,5
202	22,6	22,16666667	19,5	16,6
203	22,55	22,1	19,6	16,8
204	22,5	22,06666667	19,6	17,1
205	22,45	22,03333333	19,6	17,2
206	22,375	21,96666667	19,7	17,3
207	22,375	21,96666667	19,6	17
208	22,275	21,9	19,5	16,7
209	22,275	21,86666667	19,2	16,3
210	22,225	21,83333333	19,3	16,6
211	22,175	21,76666667	19,4	16,9
212	22,15	21,76666667	19,5	17,2
213	22,075	21,66666667	19,5	17,3
214	22,025	21,66666667	19,5	17,1
215	21,975	21,6	19,3	16,7
216	21,95	21,56666667	19,1	16,2
217	21,875	21,53333333	19,1	16,5
218	21,85	21,5	19,2	16,9
219	21,8	21,46666667	19,3	17
220	21,775	21,43333333	19,3	17,2
221	21,725	21,36666667	19,3	17,2
222	21,7	21,36666667	19,1	16,7
223	21,675	21,33333333	18,9	16,2
224	21,625	21,26666667	18,9	16,4
225	21,55	21,26666667	19	16,7
226	21,525	21,2	19	16,9
227	21,525	21,16666667	19,1	17,1
228	21,45	21,16666667	19,1	17,2
229	21,425	21,13333333	19,1	17,3
230	21,425	21,06666667	19,2	17,4

Ek Tablo 2' nin devamı

231	21,4	21,06666667	19,1	16,9
232	21,325	21,06666667	18,9	16,6
233	21,325	21	18,9	16,7
234	21,275	20,96666667	18,9	16,9
235	21,225	20,96666667	19	17,1
236	21,2	20,9	19	17,2
237	21,15	20,86666667	19,1	17,4
238	21,1	20,83333333	19,1	17,4
239	21,075	20,8	18,9	16,9
240	21,025	20,76666667	18,7	16,5

Ek 3. FDM'li Kabine 600 W/m²' lik Işınım Değeri Uygulanarak Yapılan Deneysel Uygulama Sonuçları

Kontrol odası içerisinde halojen lambalar ile FDM'li mini kabinin tek duvar yüzeyine 600W/m²'lik güneş ışıınım değeri uygulanması ile yapılan deneysel uygulamada; FDM'li mini kabin duvarı iç yüzey ve dış yüzey sıcaklığı, mini kabin ve kontrol odası iç ortam sıcaklığı yerleştirilen ısıl çiftler aracılığı ile 10 saniyelik aralıklarla kaydedilerek belirlenmiştir. Deneye ait bulgular 1 dakikalık aralıklarla Ek Tablo 3 'te verilmiştir.

Ek Tablo 3. FDM'li Kabine 600 W/m²' lik Işınım Değeri Uygulanarak Yapılan Deneysel Uygulama Sonuçları

Zaman (dk)	FDM'li duvar ortalama iç yüzey sıcaklığı °C	FDM'li mini kabin ortalama iç ortam sıcaklığı °C	FDM'li duvar dış yüzey sıcaklığı °C	Kontrol odası iç ortam sıcaklığı °C
0	20,68	20,1	21	19,2
1	20,78	20,13333333	21,7	19,7
2	20,76	20,13333333	25,8	20
3	20,86	20,16666667	29,5	21,5
4	20,94	20,26666667	32,7	22,3
5	21,04	20,33333333	35	22,9
6	21,1	20,36666667	36,9	23,6
7	21,14	20,4	38,6	24,2
8	21,14	20,4	40,1	24,8
9	21,16	20,4	41,5	25,1
10	21,24	20,43333333	42,9	25,9
11	21,2	20,4	43,8	25,7
12	21,24	20,43333333	45	27
13	21,16	20,36666667	46,1	27,1
14	21,18	20,4	47	27,9
15	21,2	20,43333333	48	28,7
16	21,22	20,43333333	48,9	28,9
17	21,24	20,46666667	49,8	29,2
18	21,24	20,46666667	50,5	29,8
19	21,32	20,53333333	51,2	30,1
20	21,32	20,53333333	51,9	30,4
21	21,3	20,46666667	52,5	31,3
22	21,38	20,56666667	53,1	31,3
23	21,38	20,56666667	53,5	31,6
24	21,46	20,6	52,2	29,2
25	21,44	20,6	52,3	29,5

Ek Tablo 3' ün devamı

26	21,5	20,66666667	52,6	29,6
27	21,6	20,7	52,7	29,7
28	21,68	20,8	52,9	29,1
29	21,74	20,8	52,9	29,5
30	21,74	20,8	53,4	29,5
31	21,84	20,83333333	53,7	29,1
32	21,94	20,9	53,8	30
33	22,04	21	54,5	30,1
34	22,16	21,03333333	54,6	30,5
35	22,24	21,1	55	30,3
36	22,32	21,16666667	55,1	29,8
37	22,42	21,16666667	55,3	29,9
38	22,56	21,26666667	55,7	29,9
39	22,64	21,3	55,9	30,7
40	22,76	21,36666667	56,4	31,6
41	22,96	21,5	56,6	31,9
42	23,04	21,53333333	56,4	30,2
43	23,2	21,6	56,5	30,5
44	23,34	21,66666667	56,9	30,7
45	23,48	21,73333333	57,3	31,4
46	23,76	21,9	57,9	31,7
47	23,96	21,96666667	58,3	31,9
48	24,14	22,06666667	58	31,9
49	24,34	22,16666667	58,3	31,5
50	24,66	22,36666667	58,2	30,6
51	24,92	22,43333333	58,4	31,3
52	25,16	22,53333333	58,9	32
53	25,4	22,56666667	58,7	32,4
54	25,64	22,7	58,8	31,9
55	25,86	22,83333333	59	31,8
56	26,24	23,06666667	59,2	31,2
57	26,48	23,16666667	59	31,2
58	26,7	23,26666667	59,2	31,7
59	26,9	23,33333333	60	32,6
60	27,08	23,43333333	60,2	32,3
61	27,38	23,63333333	60,2	31,5
62	27,56	23,73333333	60,5	31,3
63	27,8	23,83333333	60,3	31,6
64	28	23,96666667	60,6	32,5
65	28,2	24,1	61	33,1
66	28,38	24,16666667	61,6	33,2

Ek Tablo 3' ün devamı

67	28,58	24,3	61,1	32,4
68	28,74	24,4	55,6	25
69	28,92	24,46666667	50,8	23,1
70	29,06	24,53333333	48,2	22,9
71	29,3	24,73333333	45,6	22,7
72	29,44	24,83333333	43,8	22,3
73	29,54	24,9	42,4	22,1
74	29,76	25,03333333	40,8	22
75	29,9	25,1	39,6	21,6
76	30	25,16666667	38,5	21,4
77	30,16	25,26666667	37,5	21
78	30,22	25,3	36,7	20,9
79	30,38	25,43333333	36	20,9
80	30,4	25,43333333	35,4	20,7
81	30,48	25,56666667	34,9	20,9
82	30,52	25,56666667	34,2	20,6
83	30,62	25,66666667	33,7	20,5
84	30,58	25,66666667	33,1	20,2
85	30,6	25,8	32,7	20
86	30,58	25,8	32,2	19,7
87	30,56	25,8	31,8	20
88	30,6	25,9	31,5	19,7
89	30,54	25,86666667	31,1	19,7
90	30,54	25,96666667	30,9	19,7
91	30,48	25,93333333	30,6	19,6
92	30,38	25,9	30,2	19,5
93	30,38	25,96666667	29,9	19,6
94	30,28	25,93333333	29,6	19,5
95	30,32	26,03333333	29,5	19,5
96	30,22	26,03333333	29,2	19,3
97	30,16	26	28,9	19,2
98	30,18	26,06666667	28,7	18,8
99	30,1	26,03333333	28,4	18,6
100	30,02	26,03333333	28,2	19
101	29,92	26,03333333	28	18,8
102	29,84	26,03333333	27,8	18,9
103	29,76	25,96666667	27,6	18,9
104	29,7	25,96666667	27,3	18,9
105	29,64	25,96666667	27,2	18,8
106	29,56	25,96666667	27	18,9
107	29,52	25,96666667	26,8	18,7

Ek Tablo 3' ün devamı

108	29,42	25,96666667	26,5	18,6
109	29,34	25,9	26,4	18,5
110	29,26	25,9	26,2	18,4
111	29,16	25,86666667	26	18,6
112	29,12	25,86666667	26,1	17,3
113	29,04	25,9	26,1	17,1
114	29,02	25,9	26	17
115	28,88	25,76666667	25,8	17,1
116	28,8	25,76666667	25,7	16,9
117	28,76	25,76666667	25,6	16,7
118	28,6	25,7	25,4	17
119	28,58	25,7	25,2	17
120	28,5	25,7	25,2	16,9
121	28,46	25,7	25,1	16,9
122	28,3	25,6	24,9	16,8
123	28,26	25,6	24,8	17
124	28,2	25,56666667	24,7	16,8
125	28,12	25,56666667	24,6	16,9
126	28	25,46666667	24,4	16,8
127	27,92	25,46666667	24,4	16,8
128	27,86	25,46666667	24,3	16,9
129	27,78	25,43333333	24,2	16,9
130	27,72	25,36666667	24,1	16,8
132	27,52	25,26666667	23,9	16,6
133	27,42	25,26666667	23,7	16,5
134	27,36	25,23333333	23,7	16,8
135	27,3	25,2	23,6	16,5
136	27,26	25,2	23,5	16,8
137	27,1	25,06666667	23,4	16,5
138	27	25,06666667	23,3	16,7
139	26,98	25	23,3	16,7
140	26,9	25	23,2	16,7
141	26,82	25	23,1	16,7
142	26,74	24,96666667	23,1	16,6
143	26,72	24,9	23	16,5
144	26,62	24,9	22,9	16,7
145	26,46	24,8	22,8	16,5
146	26,4	24,73333333	22,7	16,5
147	26,36	24,7	22,7	16,6
148	26,28	24,7	22,6	16,5
149	26,24	24,7	22,6	16,5

Ek Tablo 3' ün devamı

150	26,18	24,66666667	22,5	16,5
151	26,12	24,6	22,5	16,6
152	26,06	24,6	22,5	16,7
153	25,88	24,5	22,4	16,6
154	25,82	24,46666667	22,3	16,5
155	25,76	24,4	22,2	16,5
156	25,7	24,36666667	22,2	16,5
157	25,64	24,36666667	22,2	16,4
158	25,6	24,3	22,1	16,4
159	25,52	24,26666667	22	16,4
160	25,46	24,26666667	22	16,4
161	25,42	24,2	21,9	16,4
162	25,32	24,16666667	21,9	16,4
163	25,32	24,16666667	21,9	16,4
164	25,22	24,1	21,8	16,5
165	25,18	24,06666667	21,8	16,4
166	25,14	24,03333333	21,8	16,4
167	25,08	24	21,7	16,4
168	25,04	23,96666667	21,7	16,4
169	24,98	23,96666667	21,6	16,3
170	24,84	23,83333333	21,5	16,4
171	24,8	23,8	21,4	16,2
172	24,76	23,76666667	21,3	16,3
173	24,7	23,76666667	21,4	16,2
174	24,68	23,7	21,4	16,2
175	24,6	23,7	21,3	16,2
176	24,58	23,66666667	21,3	16,2
177	24,44	23,56666667	21,2	16,3
178	24,38	23,53333333	21,2	16,2
179	24,34	23,5	21,1	16,3
180	24,3	23,5	21	16,1
181	24,26	23,46666667	21	16,1
182	24,22	23,43333333	21	15,9
183	24,18	23,4	21	16,1
184	24,16	23,4	20,9	15,8
185	24,14	23,36666667	21	15,9
186	24,1	23,36666667	20,9	16,1
187	24,04	23,33333333	20,9	15,9
188	23,94	23,2	20,7	15,7
189	23,94	23,2	20,7	15,8
190	23,9	23,16666667	20,7	15,8

Ek Tablo 3' ün devamı

191	23,88	23,16666667	20,6	15,7
192	23,84	23,16666667	20,6	15,9
193	23,8	23,13333333	20,6	15,9
194	23,8	23,1	20,6	15,8
195	23,78	23,1	20,6	15,9
196	23,64	22,96666667	20,4	15,9
197	23,62	22,96666667	20,4	15,7
198	23,6	22,96666667	20,4	15,8
199	23,58	22,9	20,4	15,7
200	23,58	22,9	20,3	15,8
201	23,58	22,9	20,4	17,1
202	23,58	22,93333333	20,2	16,4
203	23,52	22,86666667	20	16,1
204	23,58	22,9	20,1	16,5
205	23,5	22,83333333	20	16,7
206	23,54	22,9	20,1	17
207	23,48	22,8	20,1	17,1
208	23,48	22,8	20,1	17,2
209	23,4	22,7	20,1	17,3
210	23,4	22,73333333	20,2	17,4
211	23,32	22,7	20,1	17,4
212	23,36	22,7	20,1	17,5
213	23,26	22,6	20,1	17,4
214	23,3	22,6	20,1	17,6
215	23,3	22,6	20,2	17,6
216	23,2	22,5	20,1	17,6
217	23,2	22,5	20,1	17,7
218	23,2	22,5	20,2	17,8
219	23,1	22,4	20,1	17,8
220	23,1	22,4	20,1	17,8
221	23,08	22,4	20,1	17,8
222	23,08	22,36666667	20,1	17,7
223	22,96	22,26666667	19,8	16,8
224	22,94	22,23333333	19,8	16,8
225	22,94	22,23333333	19,8	17,1
226	22,92	22,23333333	19,8	17,4
227	22,88	22,2	19,9	17,5
228	22,86	22,2	19,9	17,6
229	22,86	22,16666667	19,9	17,6
230	22,82	22,13333333	19,9	17,7
231	22,8	22,13333333	20	17,8

Ek Tablo 3' ün devamı

232	22,76	22,1	19,9	17,8
233	22,76	22,06666667	19,9	17,8
234	22,76	22,03333333	20	17,9
235	22,76	22,03333333	19,9	17,9
236	22,74	22,03333333	19,8	17,3
237	22,74	22,03333333	19,7	16,8
238	22,7	22,03333333	19,7	17,2
239	22,6	21,9	19,6	17,3
240	22,56	21,9	19,9	17,2
241	22,54	21,86666667	19,9	17,1
242	22,54	21,83333333	19,9	17,1
243	22,54	21,83333333	19,9	17,1
244	22,54	21,83333333	19,9	17,1
245	22,54	21,8	19,9	17,1
246	22,44	21,8	19,9	17,1
247	22,44	21,73333333	19,9	17,1
248	22,44	21,73333333	19,9	17,1
249	22,44	21,73333333	19,9	17,1
250	22,42	21,73333333	19,9	17,1
251	22,42	21,73333333	19,9	17,1
252	22,4	21,7	19,9	17,1
253	22,38	21,7	19,9	17,1
254	22,26	21,56666667	19,8	17
255	22,24	21,53333333	19,8	17
256	22,22	21,53333333	19,8	17
257	22,22	21,53333333	19,8	17
258	22,22	21,53333333	19,7	17
259	22,2	21,5	19,8	17
260	22,2	21,5	19,8	17
261	22,16	21,46666667	19,8	17
262	22,16	21,46666667	19,8	17
263	22,16	21,43333333	19,8	17
264	22,12	21,43333333	19,7	17
265	22,08	21,4	19,7	17
266	22,08	21,4	19,7	17
267	22,04	21,36666667	19,7	17
268	22,04	21,33333333	19,7	16,9
269	22,02	21,33333333	19,7	17
270	21,98	21,33333333	19,7	17
271	21,96	21,3	19,7	17
272	21,92	21,26666667	19,6	17

Ek Tablo 3' ün devamı

273	21,92	21,26666667	19,7	17
274	21,88	21,23333333	19,6	17
275	21,88	21,23333333	19,7	16,9
276	21,86	21,2	19,6	17
277	21,84	21,2	19,6	17
278	21,82	21,2	19,6	17
279	21,8	21,16666667	19,6	17
280	21,78	21,13333333	19,6	16,9
281	21,76	21,13333333	19,6	16,9
282	21,76	21,13333333	19,6	17
283	21,7	21,13333333	19,6	16,9
284	21,68	21,1	19,6	16,9
285	21,66	21,03333333	19,6	16,9
286	21,6	21,03333333	19,5	16,9
287	21,58	21	19,5	16,9
288	21,56	20,93333333	19,5	16,9
289	21,54	20,93333333	19,5	16,9
290	21,5	20,93333333	19,4	16,9
291	21,5	20,93333333	19,4	16,9
292	21,48	20,9	19,4	16,9
293	21,46	20,9	19,4	16,9
294	21,42	20,83333333	19,4	16,9
295	21,4	20,83333333	19,4	16,8
296	21,4	20,83333333	19,4	16,9
297	21,38	20,8	19,3	16,9
298	21,36	20,8	19,3	16,8
299	21,32	20,73333333	19,3	16,8
300	21,3	20,73333333	19,3	16,8
301	21,3	20,73333333	19,3	16,8
302	21,28	20,7	19,3	16,8
303	21,22	20,7	19,3	16,8
304	21,2	20,63333333	19,3	16,8
305	21,2	20,63333333	19,2	16,8
306	21,18	20,63333333	19,2	16,8
307	21,18	20,6	19,2	16,8
308	21,12	20,6	19,2	16,8
309	21,1	20,53333333	19,2	16,7
310	21,1	20,53333333	19,2	16,8
311	21,08	20,53333333	19,2	16,8
312	21,08	20,5	19,2	16,8
313	21,04	20,5	19,1	16,8

Ek Tablo 3' ün devamı

314	21,02	20,5	19,2	16,8
315	21,02	20,46666667	19,2	16,8
316	21	20,43333333	19,2	16,8
317	21	20,43333333	19,1	16,8

Ek 4. Referans Kabine 800 W/m²' lik Işınım Değeri Uygulanarak Yapılan Deneysel Uygulama Sonuçları

Kontrol odası içerisinde halojen lambalar ile referans mini kabinin tek duvar yüzeyine 800W/m²'lik güneş ışıınım değeri uygulanması ile yapılan deneysel uygulamada; referans mini kabin duvarı iç yüzey ve dış yüzey sıcaklığı, mini kabin ve kontrol odası iç ortam sıcaklığı yerleştirilen ısıtıcı çiftler aracılığı ile 10 saniyelik aralıklarla kaydedilerek belirlenmiştir. Deneye ait sonuçlar 1 dakikalık aralıklarla Ek Tablo 4 'te verilmiştir.

Ek Tablo 4. Referans Kabine 800 W/m²' lik Işınım Değeri Uygulanarak Yapılan Deneysel Uygulama Sonuçları

Zaman (dk)	Referans duvar ortalama iç yüzey sıcaklığı °C	Referans mini kabin ortalama iç ortam sıcaklığı °C	Referans duvar dış yüzey sıcaklığı °C	Kontrol odası iç ortam sıcaklığı °C
0	20,8	20,43333	18,6	17,2
1	20,74	20,4	26,8	18,3
2	20,7	20,36667	34,3	19,9
3	20,66	20,33333	38,6	21,2
4	20,58	20,26667	40,6	20,6
5	20,58	20,26667	43,3	21,2
6	20,44	20,13333	44,7	22
7	20,38	20,1	47,1	22,7
8	20,28	20	48,7	23,2
9	20,24	19,93333	49,8	23,6
10	20,2	19,9	52,5	26,2
11	20,24	19,93333	54,5	28,3
12	20,38	20,03333	56,3	29,7
13	20,46	20,1	57,6	30,2
14	20,56	20,1	58,9	30,9
15	20,68	20,16667	60	31,4
16	20,76	20,13333	60,8	30,1
17	20,94	20,23333	61,8	30,6
18	21,1	20,3	62,5	30,5
19	21,16	20,26667	62,3	28,6
20	21,32	20,36667	63,7	28,9
21	21,52	20,43333	63,7	28,7
22	21,7	20,53333	64,3	29,9
23	21,82	20,56667	64,6	30,1
24	22	20,66667	65,2	30,3
25	22,24	20,76667	65,3	30,5

Ek Tablo 4' ün devamı

26	22,48	20,86667	65,7	30,2
27	22,7	20,96667	66,4	30,1
28	22,82	21,03333	66,7	29,8
29	23,06	21,16667	67,3	30,9
30	23,28	21,26667	67,1	31
31	23,52	21,4	67,8	31,2
32	23,72	21,53333	68	31,3
33	23,98	21,63333	68,3	31,5
34	24,22	21,8	68,2	30,9
35	24,46	21,93333	68,5	31
36	24,7	22,1	68,7	31
37	24,92	22,23333	69,3	31,9
38	25,14	22,4	69,8	31,8
39	25,34	22,5	69,9	31,7
40	25,58	22,6	70,3	31,4
41	25,82	22,76667	70,7	31,4
42	26	22,9	70,7	32
43	26,24	23,06667	71,4	31,4
44	26,44	23,16667	71,4	31
45	26,62	23,3	71,5	31,3
46	26,82	23,46667	71,3	31,6
47	27,14	23,66667	71,5	32,1
48	27,32	23,86667	72,7	32,8
49	27,56	23,96667	72,4	31,7
50	27,76	24,16667	72,8	32,6
51	27,98	24,26667	73,2	32
52	28,2	24,46667	73,2	32
53	28,36	24,56667	57,3	29,5
54	28,58	24,7	51,4	24,2
55	28,82	24,93333	47,7	23,2
56	29	25,03333	45,4	22,3
57	29,16	25,13333	43,5	22,3
58	29,38	25,3	41,5	22,1
59	29,48	25,36667	40	21,7
60	29,7	25,53333	39,1	21,6
61	29,78	25,63333	37,8	20,8
62	29,96	25,8	36,7	20,8
63	30,02	25,9	36	20,8
64	30,18	26,06667	35	20,3
65	30,2	26,13333	34,3	20,7
66	30,38	26,33333	34	21,8

Ek Tablo 4' ün devamı

67	30,5	26,43333	33,6	21,7
68	30,58	26,6	33,2	21,3
69	30,58	26,63333	32,6	20,9
70	30,66	26,76667	32,1	21,1
71	30,76	26,83333	31,9	20,9
72	30,68	26,83333	31,1	20,6
73	30,68	26,93333	31,1	21
74	30,74	27,03333	30,9	21,2
75	30,62	26,96667	30,5	20,8
76	30,64	27,03333	30,2	20,4
77	30,64	27,1	29,8	19,9
78	30,64	27,1	29,5	20
79	30,48	27,03333	28,9	19,7
80	30,46	27,06667	28,8	19,6
81	30,44	27,1	28,5	19,6
82	30,38	27,1	28,4	20
83	30,32	27,1	28,2	20,1
84	30,28	27,1	28	19,7
85	30,12	27	27,6	19,6
86	30,02	27	27,4	19,4
87	30	27	27,3	19,5
88	29,9	26,96667	27,2	19
89	29,8	26,9	26,8	19,3
90	29,7	26,86667	26,6	19,6
91	29,66	26,9	26,6	19,9
92	29,54	26,86667	26,5	19,6
93	29,42	26,76667	26,2	19,1
94	29,34	26,76667	26,1	18,6
95	29,26	26,7	25,7	18,5
96	29,22	26,7	25,6	18,3
97	29,18	26,7	25,3	18,9
98	29,12	26,63333	25,4	19,1
99	29	26,6	25,2	18,8
100	28,92	26,56667	25,1	18,7
101	28,86	26,53333	25	18,2
102	28,8	26,5	24,8	18,4
103	28,76	26,53333	24,6	18,1
104	28,62	26,43333	24,5	18,6
105	28,54	26,36667	24,6	18,6
106	28,48	26,33333	24,5	18
107	28,4	26,3	24,4	18

Ek Tablo 4' ün devamı

108	28,34	26,26667	24,1	17,7
109	28,2	26,13333	23,8	17,3
110	28,14	26,13333	23,9	17,6
111	28,06	26,13333	23,9	18,1
112	28	26,03333	23,9	18,4
113	27,92	26,03333	23,9	17,9
114	27,76	25,93333	23,5	17,6
115	27,72	25,9	23,4	17,4
116	27,66	25,83333	23,2	17,1
117	27,56	25,8	23,2	17,5
118	27,48	25,76667	23,3	17,9
119	27,42	25,73333	23,3	18,3
120	27,34	25,66667	23	17,5
121	27,26	25,63333	22,9	17,2
122	27,06	25,46667	22,7	17,1
123	27	25,43333	22,6	17,5
124	26,94	25,4	22,8	17,9
125	26,84	25,33333	22,8	18,2
126	26,76	25,3	22,8	18,1
127	26,72	25,23333	22,9	18,4
128	26,62	25,23333	22,6	17,6
129	26,56	25,13333	22,5	17,4
130	26,46	25,13333	22,4	17,5
131	26,4	25,03333	22,3	17,8
132	26,34	25,03333	22,4	18
133	26,26	24,93333	22,5	18,3
134	26,08	24,83333	22,2	17,8
135	26	24,73333	22,1	17,5
136	25,9	24,66667	21,8	17,1
137	25,82	24,63333	21,9	17,4
138	25,8	24,6	21,9	17,8
139	25,72	24,53333	22	18,1
140	25,7	24,53333	22	17,9
141	25,62	24,53333	21,8	17,5
142	25,58	24,43333	21,6	17,4
143	25,52	24,43333	21,6	17,4
144	25,36	24,3	21,7	17,7
145	25,32	24,23333	21,7	17,8
146	25,24	24,23333	21,7	18,1
147	25,18	24,13333	21,5	17,4
148	25,12	24,13333	21,4	17,2

Ek Tablo 4' ün devamı

149	25,04	24,1	21,3	17,1
150	25	24,03333	21,3	17,5
151	24,84	23,93333	21,4	17,6
152	24,78	23,83333	21,4	17,9
153	24,72	23,83333	21,3	17,5
154	24,68	23,8	21,1	17,2
155	24,62	23,73333	20,9	16,8
156	24,54	23,7	21	17,3
157	24,48	23,63333	21	17,6
158	24,4	23,53333	21,1	17,8
159	24,34	23,53333	21	17,7
160	24,24	23,43333	20,9	17,2
161	24,18	23,4	20,7	16,7
162	24,12	23,33333	20,7	17,2
163	24,06	23,33333	20,7	17,5
164	24,02	23,26667	20,8	17,7
165	23,96	23,23333	20,9	17,7
166	23,94	23,23333	20,7	17,2
167	23,86	23,13333	20,5	16,8
168	23,78	23,13333	20,4	17
169	23,74	23,03333	20,5	17,3
170	23,66	23,03333	20,5	17,6
171	23,6	22,93333	20,6	17,7
172	23,56	22,93333	20,4	17,1
173	23,52	22,93333	20,3	16,8
174	23,46	22,83333	20,2	16,8
175	23,4	22,83333	20,3	17,3
176	23,36	22,73333	20,3	17,5
177	23,3	22,73333	20,4	17,8
178	23,28	22,63333	20,3	17,2
179	23,12	22,53333	20,1	17
180	23,1	22,53333	19,9	16,6
181	23,04	22,46667	20	17
182	23	22,43333	20,1	17,4
183	22,94	22,43333	20,1	17,6
184	22,9	22,33333	20,1	17,4
185	22,84	22,33333	20	16,9
186	22,8	22,3	19,8	16,7
187	22,74	22,23333	19,8	17
188	22,7	22,23333	19,9	17,3
189	22,66	22,2	19,9	17,5

Ek Tablo 4' ün devamı

190	22,62	22,13333	20	17,6
191	22,54	22,13333	19,7	17
192	22,54	22,06667	19,6	16,5
193	22,46	22,03333	19,7	16,9
194	22,44	21,96667	19,7	17,2
195	22,36	21,93333	19,8	17,5
196	22,36	21,93333	19,8	17,6
197	22,34	21,86667	19,7	17
198	22,18	21,73333	19,4	16,8
199	22,1	21,73333	19,3	16,6
200	22,08	21,66667	19,5	17,1
201	22,04	21,63333	19,5	17,3
202	21,98	21,63333	19,5	17,5
203	21,98	21,56667	19,5	17,1
204	21,92	21,53333	19,3	16,7
205	21,88	21,53333	19,1	16,5
206	21,84	21,5	19,3	16,9
207	21,82	21,43333	19,3	17,3
208	21,78	21,43333	19,4	17,5
209	21,76	21,4	19,4	17,4
210	21,72	21,33333	19,2	17
211	21,7	21,33333	19,1	16,3
212	21,64	21,33333	19,1	16,8
213	21,62	21,26667	19,2	17,2
214	21,58	21,23333	19,3	17,4
215	21,52	21,23333	19,3	17,5
216	21,52	21,16667	19,2	17,1
217	21,38	21,06667	19	16,6
218	21,34	21,03333	18,8	16,1
219	21,32	21,03333	18,8	16,5
220	21,32	21,03333	19	16,9
221	21,3	20,96667	19	17,2
222	21,28	20,93333	19,1	17,1
223	21,24	20,93333	18,9	16,7
224	21,12	20,83333	18,6	16,1
225	21,1	20,83333	18,6	16,4
226	21,08	20,76667	18,8	16,8
227	21	20,73333	18,8	17,1
228	21	20,73333	18,8	17,1
229	20,96	20,66667	18,7	16,6

Ek 5. FDM'li Kabine 800 W/m²' lik Işınım Değeri Uygulanarak Yapılan DeneySEL Uygulama Sonuçları

Kontrol odası içerisinde halojen lambalar ile FDM'li mini kabinin tek duvar yüzeyine 800W/m²'lik güneş ışınlm değeri uygulanması ile yapılan deneySEL uygulamada; FDM'li mini kabin duvarı iç yüzey ve dış yüzey sıcaklığı, mini kabin ve kontrol odası iç ortam sıcaklığı yerleştirilen ısıt çiftler aracılığı ile 10 saniyelik aralıklarla kaydedilerek belirlenmiştir. Deneye ait sonuçlar 1 dakikalık aralıklarla Ek Tablo 5 'te verilmiştir.

Ek Tablo 5. FDM'li kabine 800 W/m²' lik ışınlm değeri uygulanarak yapılan deneySEL uygulama bulguları

Zaman (dk)	FDM'li duvar ortalama iç yüzey sıcaklığı °C	FDM'li mini kabin ortalama iç ortam sıcaklığı °C	FDM'li duvar dış yüzey sıcaklığı °C	Kontrol odası iç ortam sıcaklığı °C
0	21,04	20,53333333	20,6	20,1
1	21	20,53333333	20,6	20
2	21	20,53333333	28,2	21,5
3	20,98	20,53333333	32,8	22,4
4	20,96	20,53333333	36,3	23,6
5	20,96	20,53333333	34,6	24,2
6	20,98	20,53333333	35,6	25
7	20,98	20,53333333	37	25,8
8	20,98	20,53333333	38,5	26,1
9	21	20,53333333	39,6	27,1
10	21,02	20,53333333	41,3	27,4
11	21,02	20,53333333	42,4	27,7
12	21,06	20,6	43,2	28,2
13	21,06	20,6	44,2	28,9
14	21,08	20,63333333	45,8	29
15	21,12	20,63333333	46,5	29
16	21,14	20,63333333	48	29,3
17	21,18	20,7	47,6	29,5
18	21,18	20,73333333	49,6	30,3
19	21,28	20,73333333	50,1	30,7
20	21,28	20,76666667	51,2	31,1
21	21,38	20,83333333	50,5	31,4
22	21,4	20,83333333	53,1	32,1
23	21,48	20,86666667	52	31,7
24	21,54	20,93333333	52,6	32,1
25	21,56	20,96666667	51,8	32

Ek Tablo 5' in devamı

26	21,64	20,96666667	53,7	31,6
27	21,72	21,03333333	53,6	33
28	21,78	21,06666667	53,7	33
29	21,9	21,13333333	55,3	33,5
30	22,02	21,2	55	33,4
31	22,12	21,26666667	56,1	32,7
32	22,2	21,3	54,9	32,8
33	22,34	21,36666667	56	33,2
34	22,52	21,46666667	56,2	34,4
35	22,66	21,56666667	57,3	34,1
36	22,8	21,66666667	57,9	34,9
37	22,96	21,73333333	56,9	34,3
38	23,1	21,76666667	58,1	34,3
39	23,32	21,86666667	58,3	34,4
40	23,46	21,96666667	58,4	35,1
41	23,78	22,13333333	59,1	35,3
42	24,08	22,26666667	58,7	35,9
43	24,36	22,36666667	58,3	35,2
44	24,68	22,46666667	59,2	34,8
45	25,02	22,63333333	60	35,1
46	25,38	22,76666667	60,1	35,2
47	25,74	22,96666667	59,1	35,9
48	26,1	23,06666667	59,8	35,6
49	26,44	23,23333333	60,8	35
50	26,74	23,36666667	60,2	35,3
51	27,08	23,5	61,5	32,8
52	27,34	23,63333333	60	31,9
53	27,62	23,76666667	60,4	32,7
54	27,92	23,93333333	59,7	32,1
55	28,24	24,13333333	55,7	29
56	28,5	24,23333333	51,5	25,3
57	28,68	24,3	47,9	23,8
58	29	24,5	45	23,5
59	29,18	24,6	43,5	23,4
60	29,5	24,76666667	41,6	23
61	29,68	24,83333333	40	22,4
62	29,92	25	38,9	22
63	30,08	25,03333333	37,2	21,9
64	30,28	25,23333333	37,1	22
65	30,38	25,26666667	35,7	21,8
66	30,6	25,4	35,3	21,4

Ek Tablo 5' in devamı

67	30,74	25,6	34,5	21,2
68	30,8	25,6	33,9	21,2
69	30,92	25,73333333	33,5	21,3
70	30,98	25,73333333	33	21,1
71	31,08	25,9	32,4	20,7
72	31,04	25,9	31,6	20,5
73	31,14	26	31,7	20,6
74	31,1	26	31	20,3
75	31,06	26,03333333	30,7	20,1
76	31,12	26,13333333	30,3	20,2
77	31,06	26,13333333	30,2	20,3
78	31,12	26,23333333	29,6	20,2
79	31,04	26,23333333	29,4	20
80	30,96	26,23333333	29,2	19,7
81	31,02	26,33333333	28,8	19,7
82	30,94	26,33333333	28,5	19,8
83	30,86	26,33333333	28,3	20
84	30,82	26,33333333	27,8	19,6
85	30,82	26,43333333	28	19,4
86	30,76	26,4	27,7	19,4
87	30,68	26,4	27,5	19,3
88	30,62	26,36666667	27,1	19,4
89	30,52	26,36666667	27	19,6
90	30,44	26,36666667	26,7	19,2
91	30,38	26,36666667	26,6	19
92	30,32	26,36666667	26,3	19,1
93	30,22	26,36666667	26,2	19
94	30,16	26,3	26,2	19,1
95	30,08	26,3	26,1	19,3
96	29,98	26,3	25,7	19
97	29,88	26,3	25,4	18,7
98	29,82	26,26666667	25,4	18,8
99	29,74	26,26666667	25,4	18,7
100	29,66	26,26666667	25,1	19
101	29,58	26,23333333	25,2	19
102	29,5	26,23333333	24,8	18,7
103	29,44	26,2	24,6	18,6
104	29,34	26,2	24,7	18,6
105	29,26	26,2	24,5	18,6
106	29,2	26,13333333	24,6	18,8
107	29,12	26,1	24,5	18,9

Ek Tablo 5' in devamı

108	29,02	26,1	24,3	18,7
109	28,9	26	24,2	18,3
110	28,8	25,93333333	23,9	18,2
111	28,74	25,93333333	23,8	18,4
112	28,66	25,93333333	23,9	18,7
113	28,58	25,9	23,8	18,7
114	28,5	25,83333333	23,8	18,6
115	28,44	25,83333333	23,5	18,6
116	28,34	25,76666667	23,1	18,2
117	28,34	25,8	23,2	18,5
118	28,24	25,76666667	23,3	18,8
119	28,14	25,7	23,3	19,1
120	28,14	25,73333333	23,4	19,1
121	28,02	25,63333333	22,9	18,4
122	27,92	25,56666667	22,7	18,2
123	27,9	25,63333333	22,7	18,2
124	27,78	25,56666667	22,8	18,5
125	27,76	25,56666667	22,8	18,9
126	27,62	25,46666667	22,8	19
127	27,54	25,46666667	22,7	18,5
128	27,44	25,33333333	22,2	18,1
129	27,36	25,33333333	22,2	18
130	27,32	25,33333333	22,2	18,4
131	27,18	25,23333333	22,3	18,7
132	27,1	25,2	22,3	18,9
133	27,08	25,2	22,2	18,6
134	27,02	25,16666667	21,9	18,2
135	26,86	25,06666667	21,8	17,7
136	26,82	25,06666667	21,7	18
137	26,76	25,03333333	21,9	18,4
138	26,64	24,96666667	21,9	18,7
139	26,54	24,93333333	21,9	18,7
140	26,48	24,93333333	21,7	18,1
141	26,44	24,9	21,4	17,8
142	26,28	24,73333333	21,3	17,7
143	26,24	24,73333333	21,5	18,2
144	26,2	24,73333333	21,5	18,5
145	26,16	24,73333333	21,6	18,7
146	26,08	24,7	21,5	18,4
147	25,94	24,53333333	21,3	17,9
148	25,9	24,53333333	20,9	17,5

Ek Tablo 5' in devamı

149	25,84	24,53333333	21	17,8
150	25,8	24,53333333	21,2	18,3
151	25,74	24,5	21,2	18,4
152	25,6	24,36666667	21,3	18,5
153	25,56	24,33333333	21	17,9
154	25,5	24,33333333	20,8	17,7
155	25,44	24,26666667	20,8	17,5
156	25,38	24,23333333	20,9	17,9
157	25,32	24,23333333	20,9	18,1
158	25,28	24,13333333	21	18,3
159	25,22	24,13333333	21	18,5
160	25,16	24,1	20,7	17,9
161	25,1	24,06666667	20,6	17,5
162	25,02	24,03333333	20,5	17,5
163	24,94	23,96666667	20,7	17,8
164	24,88	23,93333333	20,8	18,3
165	24,82	23,93333333	20,8	18,4
166	24,78	23,86666667	20,8	18,2
167	24,7	23,83333333	20,6	17,7
168	24,66	23,76666667	20,3	17,2
169	24,6	23,73333333	20,3	17,5
170	24,52	23,73333333	20,5	17,9
171	24,46	23,63333333	20,6	18,2
172	24,4	23,63333333	20,6	18,3
173	24,32	23,56666667	20,4	17,8
174	24,32	23,53333333	20,3	17,4
175	24,24	23,53333333	20,2	17,3
176	24,24	23,5	20,1	17,6
177	24,18	23,43333333	20,3	17,9
178	24,14	23,43333333	20,3	18,1
179	24,14	23,43333333	20,5	18,3
180	24,1	23,4	20,2	17,7
181	24,04	23,4	20,1	17,4
182	24,04	23,36666667	20,1	17,2
183	23,94	23,26666667	20	17,5
184	23,94	23,26666667	20,2	17,9
185	23,96	23,26666667	20,3	18,1
186	23,84	23,2	20,2	18,1
187	23,82	23,2	20	17,4
188	23,78	23,16666667	20	17,3
189	23,78	23,16666667	19,8	17,1

Ek Tablo 5' in devamı

190	23,66	23,06666667	19,9	17,4
191	23,64	23,03333333	20	17,8
192	23,64	23	20	17,9
193	23,64	23	20	18,1
194	23,64	23	19,9	17,4
195	23,6	23	19,8	17,2
196	23,56	22,93333333	19,7	17,3
197	23,44	22,83333333	19,7	17,4
198	23,4	22,83333333	19,8	17,7
199	23,36	22,8	19,8	17,8
200	23,3	22,73333333	19,9	18
201	23,36	22,83333333	19,7	17,4
202	23,34	22,76666667	19,5	17
203	23,32	22,73333333	19,5	17,1
204	23,32	22,73333333	19,6	17,5
205	23,26	22,73333333	19,7	17,7
206	23,26	22,73333333	19,8	17,9
207	23,16	22,6	19,7	17,9
208	23,16	22,56666667	19,6	17,3
209	23,16	22,53333333	19,3	16,9
210	23,16	22,53333333	19,4	17
211	23,16	22,53333333	19,6	17,4
212	23,16	22,53333333	19,6	17,6
213	23,06	22,46666667	19,7	17,8
214	23,06	22,46666667	19,7	17,9
215	23,06	22,43333333	19,5	17,3
216	23,06	22,43333333	19,4	16,9
217	23,06	22,43333333	19,3	17
218	23,06	22,43333333	19,4	17,3
219	22,96	22,33333333	19,5	17,6
220	22,92	22,3	19,6	17,8
221	22,9	22,26666667	19,6	17,9
222	22,86	22,26666667	19,4	17,2
223	22,86	22,23333333	19,1	16,9
224	22,86	22,23333333	19,1	16,9
225	22,86	22,23333333	19,3	17,3
226	22,86	22,23333333	19,4	17,6
227	22,84	22,16666667	19,5	17,8
228	22,84	22,16666667	19,6	17,9
229	22,84	22,16666667	19,4	17,3
230	22,72	22,03333333	19,1	17

Ek Tablo 5' in devamı

231	22,74	22,03333333	19	16,7
232	22,7	22,03333333	19,2	17,2
233	22,7	22,03333333	19,2	17,5
234	22,7	22,03333333	19,3	17,6
235	22,7	22,03333333	19,4	17,8
236	22,68	22	19,4	17,5
237	22,56	21,9	19,2	17,1
238	22,54	21,86666667	18,9	16,8
239	22,54	21,83333333	19	17,1
240	22,54	21,83333333	19,1	17,4
241	22,5	21,83333333	19,2	17,5
242	22,5	21,83333333	19,3	17,7
243	22,5	21,83333333	19,3	17,6
244	22,44	21,8	19	17,1
245	22,44	21,76666667	18,8	16,6
246	22,42	21,73333333	19	16,9
247	22,4	21,73333333	19	17,3
248	22,32	21,7	19,2	17,5
249	22,32	21,66666667	19,2	17,7
250	22,32	21,63333333	19,2	17,6
251	22,3	21,63333333	18,9	17
252	22,28	21,6	18,7	16,6
253	22,24	21,56666667	18,8	16,9
254	22,22	21,53333333	19	17,3
255	22,2	21,53333333	19	17,4
256	22,18	21,53333333	19,1	17,6
257	22,18	21,46666667	19,1	17,5
258	22,14	21,46666667	18,9	17
259	22,12	21,43333333	18,7	16,6
260	22,08	21,43333333	18,7	16,8
261	22,08	21,43333333	18,9	17,2
262	22,08	21,4	19	17,4
263	22,08	21,36666667	19,1	17,6
264	22,02	21,36666667	19,1	17,6
265	22	21,33333333	18,8	17
266	21,98	21,33333333	18,6	16,6
267	21,98	21,3	18,6	16,8
268	21,96	21,26666667	18,7	17,1
269	21,9	21,23333333	18,9	17,4
270	21,88	21,23333333	19	17,6
271	21,88	21,2	19	17,6

Ek Tablo 5' in devamı

272	21,82	21,13333333	18,7	17,1
273	21,78	21,13333333	18,6	16,7
274	21,76	21,13333333	18,5	16,7
275	21,72	21,1	18,6	17
276	21,68	21,03333333	18,7	17,3
277	21,78	21,13333333	19	17,5
278	21,74	21,1	19	17,7
279	21,7	21,1	18,8	17,1
280	21,68	21,03333333	18,6	16,9
281	21,66	21,03333333	18,5	16,6
282	21,58	21,03333333	18,6	17
283	21,56	20,93333333	18,7	17,2
284	21,52	20,93333333	18,8	17,4
285	21,48	20,9	18,8	17,6
286	21,46	20,83333333	18,7	17,2
287	21,42	20,83333333	18,5	16,9
288	21,42	20,83333333	18,4	16,4
289	21,38	20,8	18,5	16,8
290	21,36	20,76666667	18,6	17,1
291	21,36	20,73333333	18,7	17,3
292	21,32	20,73333333	18,8	17,5
293	21,28	20,73333333	18,8	17,4
294	21,28	20,7	18,5	16,8
295	21,28	20,66666667	18,3	16,5
296	21,28	20,66666667	18,4	16,8
297	21,26	20,63333333	18,5	17,1
298	21,24	20,63333333	18,6	17,3
299	21,2	20,63333333	18,7	17,5
300	21,18	20,6	18,8	17,5
301	21,18	20,6	18,5	16,9
302	21,18	20,6	18,3	16,7
303	21,18	20,56666667	18,3	16,7
304	21,16	20,56666667	18,5	17,1
305	21,14	20,53333333	18,5	17,2
306	21,12	20,53333333	18,6	17,5
307	21,12	20,53333333	18,8	17,6
308	21,02	20,43333333	18,5	17,1
309	21	20,4	18,3	16,7
310	21	20,4	18,1	16,5

Ek 6. Fırın İçerisinde Yapılan Deneysel Uygulama Sonuçları

Laboratuvar ortamında endüstriyel fırın içerisine referans ve %15 FDM'li mini kabinlerin aynı anda yerleştirilmesi ile yapılan uygulamada fırın iç ortam sıcaklığı ve referans ve %15 FDM'li mini kabinlerin duvar dış yüzey, duvar iç yüzey ve iç ortam sıcaklıkları yerleştirilen ısıtıcılar aracılığı ile 10 saniyelik aralıklarla kaydedilerek belirlenmiştir. Deneye ait sonuçlar 6 dakikalık aralıklarla Ek Tablo 6 'da verilmiştir.

Ek Tablo 6. Referans ve %15 FDM'li kabinler ile fırın içerisinde yapılan deneysel uygulama sonuçları

Zaman (Saat)	FDM'li duvar iç yüzey sıcaklığı	FDM'li kabin iç ortam sıcaklığı	FDM'li dış yüzey sıcaklığı	Referans duvar iç yüzey sıcaklığı	Referans duvar yüzey sıcaklığı	Referans kabin iç ortam sıcaklığı	Referans dış yüzey sıcaklığı	Fırın iç ortam sıcaklığı
0	20,23333333	20,2	20,2	20,1	20	20	20	19,9
0,1	20,23333333	20,3	23,4	20,16666667	20	20	22,2	26
0,2	20,3	20,4	24,2	20,23333333	20,2	20,2	22,9	26,75
0,3	20,4	20,5	24,6	20,33333333	20,3	20,3	23,3	27,2
0,4	20,6	20,7	24,9	20,63333333	20,6	20,6	23,6	27,3
0,5	20,83333333	21	25,1	20,9	21	21	23,9	27,5
0,6	21,1	21,3	25,2	21,23333333	21,3	21,3	24,2	27,5
0,7	21,33333333	21,5	25,4	21,56666667	21,6	21,6	24,3	27,65
0,8	21,6	21,8	25,5	21,93333333	22	22	24,5	27,7
0,9	21,86666667	22,1	25,7	22,26666667	22,3	22,3	24,7	27,7
1	21,96666667	22,2	25,7	22,46666667	22,5	22,5	24,7	27,6
1,1	22,16666667	22,4	25,8	22,76666667	22,8	22,8	24,9	27,8
1,2	22,36666667	22,6	25,9	23,06666667	23,1	23,1	25,1	27,65
1,3	22,56666667	22,8	26	23,36666667	23,4	23,4	25,2	27,8

Ek Tablo 6' nin devamı

1,4	22,7	22,9	26	23,53333333	23,6	25,3	27,8
1,5	22,86666667	23,1	26,2	23,8	23,8	25,5	27,8
1,6	23,03333333	23,2	26,3	24	24	25,5	27,85
1,7	23,13333333	23,3	26,3	24,16666667	24,2	25,6	27,9
1,8	23,23333333	23,4	26,4	24,36666667	24,4	25,7	27,9
1,9	23,33333333	23,6	26,5	24,53333333	24,5	25,8	27,9
2	23,53333333	23,7	26,6	24,8	24,8	26,1	28,05
2,1	23,63333333	23,8	26,6	24,9	24,9	26,1	28
2,2	23,73333333	23,9	26,7	25,1	25,1	26,3	28,05
2,3	23,83333333	24	26,7	25,23333333	25,2	26,3	28,1
2,4	23,93333333	24,1	26,8	25,36666667	25,4	26,5	28,1
2,5	24,1	24,3	26,9	25,56666667	25,5	26,7	28,1
2,6	24,13333333	24,3	26,9	25,63333333	25,6	26,7	28,1
2,7	24,26666667	24,4	26,9	25,76666667	25,7	26,8	28,1
2,8	24,33333333	24,5	27	25,86666667	25,8	26,8	28,05
2,9	24,5	24,6	27,1	26	25,9	27	28,15
3	24,5	24,6	27	26,03333333	25,9	26,9	28,05
3,1	24,7	24,8	27,1	26,23333333	26,1	27,1	28,1
3,2	24,76666667	24,8	27,1	26,23333333	26,1	27,1	28,1
3,3	24,86666667	24,9	27,1	26,33333333	26,2	27,2	28,15
3,4	24,96666667	25	27,2	26,43333333	26,3	27,2	28,15
3,5	25,06666667	25,1	27,2	26,5	26,4	27,2	28,15
3,6	25,23333333	25,3	27,3	26,66666667	26,5	27,3	28,25
3,7	25,43333333	25,5	27,4	26,73333333	26,6	27,4	28,25
3,8	25,53333333	25,5	27,4	26,76666667	26,7	27,4	28,25

Ek Tablo 6' nin devamı

3,9	25,56666667	25,5	27,4	26,76666667	26,6	27,4	28,25
4	25,66666667	25,7	27,4	26,83333333	26,7	27,5	28,25
4,1	25,83333333	25,8	27,5	26,93333333	26,8	27,6	28,3
4,2	25,93333333	26	27,6	27	26,9	27,6	28,4
4,3	26	26	27,6	27	26,9	27,6	28,35
4,4	26,16666667	26,2	27,7	27,1	27	27,7	28,4
4,5	26,2	26,2	27,7	27,1	26,9	27,7	28,35
4,6	26,33333333	26,4	27,8	27,2	27	27,7	28,45
4,7	26,43333333	26,4	27,8	27,2	27,1	27,7	28,4
4,8	26,56666667	26,6	27,9	27,33333333	27,2	27,9	28,55
4,9	26,6	26,6	27,9	27,3	27,1	27,8	28,5
5	26,7	26,7	28	27,36666667	27,2	27,9	28,55
5,1	26,76666667	26,8	28	27,4	27,2	27,9	28,6
5,2	26,86666667	26,9	28,1	27,46666667	27,3	28	28,7
5,3	26,96666667	27	28,2	27,53333333	27,4	28	28,7
5,4	27,03333333	27,1	28,2	27,53333333	27,4	28,1	28,7
5,5	27,06666667	27	28,2	27,53333333	27,4	28	28,65
5,6	27,13333333	27,1	28,2	27,56666667	27,5	28	28,65
5,7	27,2	27,2	28,2	27,6	27,5	28	28,65
5,8	27,2	27,2	28,2	27,6	27,6	28	28,6
5,9	27,3	27,3	28,2	27,63333333	27,6	28	28,55
6	27,4	27,3	28,2	27,73333333	27,7	28	28,65
6,1	27,4	27,4	28,2	27,73333333	27,7	28	28,6
6,2	27,43333333	27,4	28,2	27,73333333	27,7	28	28,55
6,3	27,5	27,4	28,2	27,73333333	27,7	27,9	28,55

Ek Tablo 6' nin devamı

6,4	27,6	27,5	28,3	27,8	27,8	27,8	28	28,6
6,5	27,5	27,4	28,2	27,73333333	27,73333333	27,7	27,9	28,5
6,6	27,5	27,4	28,2	27,73333333	27,73333333	27,7	27,9	28,55
6,7	27,6	27,5	28,3	27,8	27,8	27,8	28	28,5
6,8	27,6	27,6	28,3	27,86666667	27,86666667	27,8	28	28,6
6,9	27,6	27,5	28,2	27,76666667	27,76666667	27,8	27,9	28,5
7	27,63333333	27,6	28,3	27,8	27,8	27,8	27,9	28,55
7,1	27,6	27,6	28,2	27,76666667	27,76666667	27,8	27,9	28,5
7,2	27,6	27,6	28,2	27,76666667	27,76666667	27,8	27,9	28,5
7,3	27,6	27,6	28,2	27,76666667	27,76666667	27,8	27,9	28,55
7,4	27,6	27,6	28,2	27,76666667	27,76666667	27,8	27,9	28,5
7,6	27,7	27,6	28,3	27,86666667	27,86666667	27,8	28	28,6
7,8	27,7	27,6	28,3	27,8	27,8	27,8	28	28,55
7,9	27,66666667	27,6	28,2	27,76666667	27,76666667	27,8	27,9	28,5
8	27,7	27,7	27,4	27,83333333	27,83333333	27,8	27,3	22,6
8,1	27,7	27,5	27	27,8	27,8	27,7	26,9	22,1
8,2	27,66666667	27,4	26,6	27,73333333	27,73333333	27,6	26,6	21,9
8,3	27,63333333	27,3	26,5	27,7	27,7	27,5	26,4	21,75
8,4	27,43333333	27,1	26,2	27,5	27,5	27,3	26,1	21,7
8,5	27,33333333	27	26	27,36666667	27,36666667	27,1	25,9	21,5
8,6	27,26666667	26,9	25,9	27,26666667	27,26666667	27	25,9	21,55
8,7	27	26,6	25,7	27,03333333	27,03333333	26,7	25,6	21,45
8,8	26,9	26,5	25,6	26,9	26,9	26,6	25,5	21,45
8,9	26,76666667	26,3	25,5	26,76666667	26,76666667	26,4	25,4	21,3
9	26,63333333	26,2	25,4	26,6	26,6	26,3	25,3	21,5

Ek Tablo 6' nin devamı

9,1	26,36666667	26	25,2	26,36666667	26,1	25	21,25
9,2	26,3	25,9	25,1	26,26666667	25,9	25	21,2
9,3	26,1	25,7	25	26,1	25,8	24,9	21,25
9,4	25,9	25,5	24,8	25,86666667	25,6	24,7	21
9,5	25,76666667	25,4	24,7	25,76666667	25,4	24,6	21,05
9,6	25,56666667	25,2	24,5	25,53333333	25,2	24,5	20,95
9,7	25,46666667	25,1	24,4	25,4	25,1	24,3	20,95
9,8	25,23333333	24,9	24,3	25,2	24,9	24,2	20,85
9,9	25,1	24,7	24,2	25,06666667	24,8	24,1	20,95
10	24,96666667	24,6	24,1	24,9	24,6	23,9	20,9
10,1	24,76666667	24,4	23,9	24,73333333	24,4	23,8	20,75
10,2	24,66666667	24,3	23,9	24,6	24,3	23,7	20,75
10,3	24,56666667	24,2	23,7	24,5	24,2	23,6	20,7
10,4	24,36666667	24	23,6	24,3	24	23,5	20,7
10,5	24,26666667	23,9	23,5	24,16666667	23,9	23,4	20,7
10,6	24,16666667	23,8	23,5	24,06666667	23,8	23,3	20,65
10,7	24,06666667	23,8	23,4	23,9	23,7	23,2	20,55
10,8	23,96666667	23,7	23,3	23,83333333	23,6	23,2	20,6
10,9	23,86666667	23,6	23,2	23,76666667	23,5	23,1	20,55
11	23,83333333	23,5	23,2	23,66666667	23,4	23	20,5
11,1	23,66666667	23,4	23,1	23,46666667	23,2	22,9	20,35
11,2	23,63333333	23,4	23	23,4	23,1	22,8	20,3
11,3	23,56666667	23,3	23	23,3	23,1	22,7	20,35
11,4	23,53333333	23,3	23	23,2	23	22,7	20,55
11,5	23,4	23,1	22,8	23,06666667	22,8	22,5	20,4

Ek Tablo 6' nin devamı

11,6	23,33333333	23,1	22,8	23	22,7	22,5	20,3
11,7	23,33333333	23	22,8	22,9	22,7	22,4	20,3
11,8	23,26666667	23	22,7	22,83333333	22,6	22,3	20,3
11,9	23,23333333	23	22,7	22,8	22,6	22,3	20,3
12	23,23333333	22,9	22,7	22,7	22,5	22,2	20,4
12,1	23,13333333	22,9	22,7	22,6	22,4	22,2	20,3
12,2	23,13333333	22,9	22,6	22,53333333	22,3	22,1	20,25
12,3	23,03333333	22,7	22,5	22,4	22,2	22	20,2
12,4	23	22,7	22,4	22,3	22,1	21,9	20,3
12,5	22,93333333	22,7	22,4	22,26666667	22	21,9	20
12,6	22,93333333	22,7	22,4	22,2	22	21,8	20,1
12,7	22,93333333	22,7	22,4	22,2	22	21,8	20,2
12,8	22,8	22,5	22,3	22,06666667	21,8	21,7	20
12,9	22,8	22,5	22,3	22	21,8	21,6	20
13	22,76666667	22,5	22,2	21,93333333	21,7	21,6	20,1
13,1	22,7	22,5	22,2	21,9	21,7	21,6	20,05
13,2	22,7	22,4	22,2	21,83333333	21,6	21,5	20
13,3	22,7	22,4	22,1	21,83333333	21,6	21,5	20
13,4	22,66666667	22,4	22,1	21,76666667	21,6	21,4	20,05
13,5	22,6	22,4	22,1	21,73333333	21,6	21,4	20,05
13,6	22,6	22,4	22,1	21,7	21,5	21,4	20,15
13,7	22,6	22,4	22	21,63333333	21,5	21,3	19,9
13,8	22,43333333	22,2	21,9	21,5	21,3	21,2	19,85
13,9	22,4	22,2	21,9	21,46666667	21,3	21,2	19,9
14	22,4	22,2	21,9	21,43333333	21,3	21,1	19,95

Ek Tablo 6' nin devamı

14,1	22,36666667	22,2	21,8	21,4	21,2	21,1	20
14,2	22,3	22,1	21,8	21,33333333	21,2	21,1	19,95
14,3	22,3	22,1	21,8	21,33333333	21,1	21	19,85
14,4	22,3	22,1	21,8	21,3	21,1	21	19,9
14,5	22,26666667	22	21,8	21,23333333	21,1	21	19,85
14,6	22,23333333	22	21,7	21,23333333	21	21	19,9
14,7	22,2	22	21,7	21,16666667	21	20,9	19,85
14,8	22,16666667	21,9	21,7	21,13333333	21	20,9	19,85
14,9	22,03333333	21,8	21,6	21,03333333	20,9	20,8	19,7
15	22	21,8	21,6	21,03333333	20,9	20,8	19,7
15,1	22	21,7	21,6	21	20,8	20,8	19,8
15,2	21,96666667	21,7	21,5	20,93333333	20,8	20,7	19,7
15,3	21,93333333	21,7	21,5	20,93333333	20,8	20,7	19,75
15,4	21,9	21,7	21,5	20,93333333	20,7	20,7	19,8
15,5	21,86666667	21,6	21,4	20,9	20,7	20,7	19,75
15,6	21,86666667	21,6	21,4	20,9	20,7	20,7	19,7
15,7	21,7	21,5	21,3	20,76666667	20,6	20,6	19,65
15,8	21,7	21,5	21,3	20,73333333	20,6	20,6	19,7
15,9	21,66666667	21,4	21,3	20,73333333	20,6	20,5	19,65
16	21,63333333	21,4	21,2	20,73333333	20,5	20,5	19,6
16,1	21,6	21,4	21,2	20,73333333	20,5	20,5	19,65
16,2	21,6	21,4	21,2	20,7	20,5	20,5	19,7
16,3	21,6	21,4	21,2	20,66666667	20,5	20,5	19,55
16,4	21,5	21,3	21,1	20,6	20,4	20,4	19,55
16,5	21,43333333	21,3	21,1	20,53333333	20,4	20,3	19,6

Ek Tablo 6' nin devamı

16,6	21,43333333	21,2	21	20,53333333	20,4	20,3	19,6
16,7	21,4	21,2	21	20,5	20,3	20,3	19,45
16,8	21,36666667	21,2	21	20,5	20,3	20,3	19,5
16,9	21,36666667	21,2	21	20,5	20,3	20,3	19,5
17	21,33333333	21,2	21	20,5	20,3	20,3	19,55
17,1	21,23333333	21	20,8	20,33333333	20,2	20,1	19,4
17,2	21,2	21	20,8	20,33333333	20,2	20,1	19,4
17,3	21,16666667	21	20,8	20,33333333	20,2	20,1	19,4
17,4	21,16666667	20,9	20,8	20,3	20,1	20,1	19,35
17,5	21,13333333	20,9	20,8	20,23333333	20,1	20,1	19,5
17,6	21,1	20,9	20,7	20,23333333	20,1	20	19,35
17,7	21,1	20,9	20,7	20,23333333	20,1	20	19,5
17,8	21,06666667	20,9	20,7	20,23333333	20,1	20	19,4
17,9	21,06666667	20,9	20,7	20,23333333	20	20	19,45
18	21,03333333	20,8	20,7	20,2	20	20	19,45
18,1	21	20,8	20,7	20,2	20	20	19,3
18,2	20,9	20,7	20,6	20,1	19,9	19,9	19,3
18,3	20,9	20,7	20,6	20,1	19,9	19,9	19,35
18,4	20,83333333	20,6	20,6	20,03333333	19,9	19,8	19,35
18,5	20,8	20,6	20,5	20,03333333	19,9	19,8	19,35
18,6	20,8	20,6	20,5	20	19,8	19,8	19,35
18,7	20,76666667	20,6	20,5	20	19,8	19,8	19,25
18,8	20,7	20,6	20,5	20	19,8	19,8	19,3
18,9	20,7	20,5	20,4	19,96666667	19,8	19,8	19,25
19	20,66666667	20,5	20,4	19,96666667	19,8	19,8	19,3

Ek Tablo 6' nin devamı

19,1	20,63333333	20,5	20,4	19,93333333	19,8	19,7	19,35
19,2	20,63333333	20,5	20,4	19,93333333	19,8	19,7	19,25
19,3	20,6	20,5	20,4	19,9	19,8	19,7	19,25
19,4	20,56666667	20,4	20,4	19,9	19,7	19,7	19,25
19,5	20,53333333	20,4	20,3	19,9	19,7	19,7	19,25
19,6	20,46666667	20,3	20,2	19,8	19,6	19,6	19,2
19,7	20,43333333	20,3	20,2	19,8	19,6	19,6	19,2
19,8	20,4	20,3	20,2	19,8	19,6	19,6	19,2
19,9	20,4	20,3	20,2	19,8	19,6	19,6	19,1
20	20,4	20,3	20,2	19,76666667	19,6	19,6	19,15
20,1	20,36666667	20,2	20,2	19,76666667	19,6	19,6	19,15
20,2	20,36666667	20,2	20,2	19,76666667	19,6	19,6	19,1
20,3	20,3	20,2	20,1	19,73333333	19,6	19,6	19,25
20,4	20,3	20,2	20,1	19,73333333	19,6	19,6	19,25
20,5	20,2	20,1	20	19,6	19,5	19,4	19,1
20,6	20,2	20,1	20	19,6	19,4	19,4	19,1
20,7	20,2	20	20	19,6	19,4	19,4	19
20,8	20,16666667	20	20	19,6	19,4	19,4	19,05
20,9	20,1	20	20	19,56666667	19,4	19,4	19,1
21	20,1	20	19,9	19,6	19,4	19,4	19,15
21,1	20,1	20	19,9	19,56666667	19,4	19,4	19,15
21,2	20,1	20	19,9	19,56666667	19,4	19,4	19,15
21,3	20,1	20	19,9	19,56666667	19,4	19,4	19,2
21,4	20,1	20	19,9	19,56666667	19,4	19,4	19,2
21,5	20,03333333	19,9	19,9	19,53333333	19,4	19,4	19,1

Ek Tablo 6' nin devamı

21,6	20	19,9	19,9	19,9	19,53333333	19,3	19,3	19,3	19,15
21,7	20	19,9	19,9	19,8	19,5	19,3	19,3	19,3	19,2
21,8	19,96666667	19,9	19,9	19,8	19,5	19,3	19,3	19,3	19,15
21,9	19,96666667	19,9	19,9	19,8	19,46666667	19,3	19,3	19,3	19,2
22	19,93333333	19,8	19,8	19,8	19,46666667	19,3	19,3	19,3	19,25
22,1	19,9	19,8	19,8	19,8	19,46666667	19,3	19,3	19,3	19,3
22,2	19,86666667	19,8	19,8	19,7	19,43333333	19,3	19,3	19,3	19,3
22,3	19,83333333	19,8	19,8	19,7	19,36666667	19,3	19,3	19,3	19,3
22,4	19,9	19,8	19,8	19,8	19,46666667	19,3	19,4	19,4	19,4
22,5	19,86666667	19,8	19,8	19,8	19,46666667	19,3	19,3	19,3	19,4
22,6	19,8	19,7	19,7	19,7	19,36666667	19,3	19,3	19,3	19,4
22,7	19,76666667	19,7	19,7	19,7	19,36666667	19,2	19,3	19,3	19,4
22,8	19,83333333	19,8	19,8	19,8	19,46666667	19,3	19,4	19,4	19,6
22,9	19,76666667	19,7	19,7	19,7	19,46666667	19,3	19,4	19,4	19,4
23	19,76666667	19,7	19,7	19,7	19,4	19,3	19,3	19,3	19,55
23,1	19,76666667	19,8	19,8	19,8	19,46666667	19,3	19,4	19,4	19,65
23,2	19,76666667	19,7	19,7	19,8	19,46666667	19,3	19,4	19,4	19,75
23,3	19,66666667	19,7	19,7	19,7	19,4	19,3	19,4	19,4	19,85
23,4	19,76666667	19,8	19,8	19,8	19,46666667	19,3	19,5	19,5	19,85
23,5	19,8	19,8	19,8	19,9	19,5	19,4	19,5	19,5	19,8
23,6	19,76666667	19,8	19,8	19,8	19,46666667	19,3	19,5	19,5	19,85
23,7	19,86666667	19,8	19,8	19,9	19,53333333	19,4	19,6	19,6	20
23,8	19,76666667	19,8	19,8	19,9	19,5	19,4	19,5	19,5	20
23,9	19,76666667	19,7	19,7	19,8	19,46666667	19,3	19,5	19,5	20
24	19,76666667	19,8	19,8	19,9	19,53333333	19,4	19,6	19,6	20,05

Ek Tablo 6' nin devamı

24,1	19,76666667	19,8	19,9	19,53333333	19,4	19,6	20,15
24,2	19,76666667	19,8	19,8	19,53333333	19,4	19,5	19,75
24,3	19,86666667	19,9	19,9	19,6	19,5	19,6	19,9
24,4	19,83333333	19,8	19,9	19,6	19,5	19,6	20,05
24,5	19,76666667	19,8	19,9	19,6	19,5	19,5	20,05
24,6	19,76666667	19,8	19,8	19,6	19,5	19,5	20,05
24,7	19,86666667	19,9	19,9	19,7	19,5	19,6	20,1
24,8	19,83333333	19,9	19,9	19,66666667	19,5	19,5	20,15
24,9	19,83333333	19,9	19,8	19,66666667	19,5	19,5	20,15
25	19,8	19,8	19,8	19,63333333	19,5	19,5	20,15
25,08333	19,86666667	19,9	19,9	19,7	19,6	19,6	20,2

ÖZGEÇMİŞ

1998 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü'nden mezun oldu. 2000-2007 yılları arasında İstanbul'da aile şirketinde yönetici olarak ticaretle uğraştı. 2012 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü Yapı Bilgisi Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. “Binalarda Enerji Performansı Hesaplama Yöntemi (Bep-Tr)’ nin Enerji Performans Değerlendirmesi ve Kullanılabilirliğine Yönelik Bir Uygulama” adlı yüksek lisans tezini tamamlayarak 2015 yılında yüksek mimar ünvanı aldı. 2017 yılında başladığı doktora öğrenimine 2018 bahar döneminde İstanbul Teknik Üniversitesi'nden de doktora dersleri alarak devam etti.

2007 yılından beri aile şirketi Canım İnşaat firmasında tasarımcı mimar olarak görev almaktadır. Bina enerji performansı, yeşil çatı, enerji etkin bina tasarımları ve faz değiştiren malzemeler üzerine çalışan Deniz SAYLAM CANIM iyi derecede İngilizce bilmektedir. Evli ve iki çocuk annesidir.