

T.C.
ADYAMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**FAZ DEĞİŞTİRİCİ MALZEMELERİN KIŞ ŞARTLARINDA BİNALARDA
YALITIM AMAÇLI KULLANIMININ ISIL ANALİZİ**

Yunus ERTEN

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADYAMAN, 2021

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FAZ DEĞİŞTİRİCİ MALZEMELERİN KIŞ ŞARTLARINDA BİNALARDA YALITIM AMAÇLI KULLANIMININ ISIL ANALİZİ

Yunus ERTEN

Adıyaman Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Refet KARADAĞ

Yıl : 2021, Sayfa sayısı: 61

Jüri : Prof. Dr. Refet KARADAĞ
Prof. Dr. Hüsamettin BULUT
Doç. Dr. İsmail BOZKURT

Bu çalışmada son yıllarda bilim insanlarının ilgisini çeken ve birçok araştırmaya konu olan Faz Değiştirici Malzemelerin (FDM), binalarda yalıtım malzemesi olarak kullanılması ısıl yönden analiz edilmiştir. Çalışmada deneysel yöntem kullanılmıştır. Boyutları 110x50x50 cm olan ahşap malzemeden yapılmış bir düzenek oluşturulmuştur. Bu düzeneğin ortasına 50x50x10 cm boyutlarında FDM' li ve FDM' siz duvarlar yerleştirilerek bitişik iki oda oluşturulmuştur. Çalışmada Adıyaman ili iklim koşullarına göre seçilen faz değiştirici malzemelerden yapılmış %1 FDM' li, %3 FDM' li ve FDM' siz duvarların ısıl özellikleri incelenmiştir. İç ve dış ortam sıcaklıkları istenilen bir sabit değerde tutulacak şekilde bir deney düzeneği oluşturulmuştur. Çalışmada iç ortam sıcaklığı 23 °C olarak sabit tutulmuştur. Dış ortam sıcaklığı ise Adıyaman ili kış şartları göz önünde bulundurularak 0 °C, 4 °C, 8 °C ve 12 °C olacak şekilde farklı sıcaklık durumlarında her duvar için ayrı ayrı çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada sonuçların karşılaştırılmasında toplam ısı transfer katsayısı ve belirli zaman diliminde tüketilen enerji miktarı kullanılmıştır. Belirli zaman diliminde tüketilen enerji miktarının belirlenmesi için elektrik sayacı kullanılmıştır. Çalışmada elde edilen toplam ısı transfer katsayısının FDM' li duvarda FDM' siz duvara göre daha düşük olduğu, en düşük U (W/m²K) değerinin %3 FDM' li duvarda 12 °C ile 23 °C arasındaki durum için tespit edilmiştir. Faz değiştirici malzemenin artırılmasının da toplam ısı transfer katsayısını düşürdüğü tespit edilmiştir. FDM' siz duvara göre FDM' li duvardaki iç yüzey sıcaklığının 1.36 °C daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Tükettikleri enerjiler karşılaştırıldığında en

düşük enerji tüketiminin %3 FDM' li duvarda gerçekleştiği ve yapılarda FDM kullanımının ısıtma yüküne %15-40 arasında bir katkı sağladığı tespit edilmiştir.



Anahtar Kelimeler: Faz Değiştirici Malzemeler, Isı Transfer Katsayısı, Enerji Tasarrufu

ABSTRACT

MSc Thesis

THERMAL ANALYSIS OF THE USING OF PHASE EXCHANGING MATERIALS FOR INSULATION IN WINTER CONDITIONS

Yunus ERTEN

Adiyaman University
Graduate Education Institute
Department of Mechanical Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Refet KARADAG

Year : 2021, Number of pages: 61

Jury : Prof. Dr. Refet KARADAG
Prof. Dr. Husamettin BULUT
Assoc. Prof. Dr. Ismail BOZKURT

In this study, the use of Phase Changing Materials (PCM), which has attracted the attention of scientists in recent years and has been the subject of many researches, as insulation material in buildings has been analyzed in terms of thermal. Experimental method was used in the study. A mechanism made of wooden material with dimensions 110x50x50 cm was created. Two adjacent rooms were created by placing 50x50x10 cm PCM and non PCM walls in the middle of this mechanism. In this study thermal properties of phase change materials of 1% PCM, 3% PCM and non PCM walls that selected for Adiyaman climatic conditions have been researched. An experimental setup was established to keep the indoor and outdoor temperatures at a desired constant value. In the study, the indoor temperature was kept constant at 23 °C. The outdoor temperature, on the other hand, taking into account the winter conditions of Adiyaman province, was carried out separately for each wall at different temperature conditions such as 0 °C, 4 °C, 8 °C and 12 °C. In this study, the total heat transfer coefficient and the amount of energy consumed in a specific time period were used to compare the results. Electricity meter is used for specify the amount of energy consumed in a specific time period. It was determined that the total heat transfer coefficient obtained in the study was lower in the wall with PCM than in the wall without PCM, and the lowest U (W/m²K) value was determined for the case between 12 °C and 23 °C in the wall with 3% PCM. It has been determined that increasing the Phase Change Material also decreases the heat transfer coefficient. It has been determined that the internal surface temperature of the wall with PCM is 1.36 degrees higher than the wall without PCM. When the energy they consume are compared, it has been determined that the lowest energy consumption is at

the wall with 3% PCM and the use of PCM in buildings contributes 15-40% to the heating load.



Key Words: Phase Changing Materials, Heat Transfer Coefficient, Energy Conservation

BEYAN

“Faz Değiştirici Malzemelerin Kış Şartlarında Binalarda Yalıtım Amaçlı Kullanımının Isıl Analizi” başlıklı tezimde çalışmaların tamamen akademik kurallara ve etik değerlere sadık kalınarak yürütüldüğünü ve yazımda yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden olduğunu ayrıca alıntılardan bilimsel etiğe uygun atıf yaparak yararlanmış olduğumu beyan ederim.

Yunus ERTEN

İmza

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın her aşamasında benden desteklerini esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Refet KARADAĞ' a, teknik anlamda desteğini aldığım Sayın İbrahim SANCAR hocama, değerli çalışma arkadaşlarıma, manevi anlamda desteklerini her zaman hissettiğim, bu sÜreçte beni yalnız bırakmayan aynı fedakarlığı gösteren canım aileme,

Sonsuz teőekkürlerimle...



İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	II
BEYAN.....	III
TEŞEKKÜR.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	VIII
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Binalarda Isı Yalıtımının Önemi.....	3
1.1.1 Binalarda Kullanılan Isı Yalıtım Malzemeleri ve Özellikleri.....	4
1.1.2 İklim Şartlarının Bina Isı Yalıtım Kalınlığına Etkisi.....	5
1.1.3 Adıyaman İlinde Kullanılan Isı Yalıtım Malzemeleri Ve Kış Şartları.....	6
1.2. Termal Enerji Depolama Yöntemleri.....	7
1.2.1 Duyulur Isı.....	8
1.2.2 Gizli Isı.....	8
1.2.2.1 Faz Değiştirici Malzemeler.....	9
1.2.2.2 FDM' lerde Isı Alırken veya Verirken Meydana Gelen Değişiklikler.....	10
1.2.2.3 FDM' lerin Kullanım Alanları, Avantajları, Dezavantajları.....	10
1.2.2.4 Faz Değiştirici Malzemelerin Sınıflandırılması.....	11
1.3 Binalarda Kullanılacak Faz Değiştirici Malzeme Seçiminde Nelere Dikkat Edilmelidir.....	12
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	14
3.MATERYAL ve YÖNTEM.....	24
3.1 Deney Düzenğinde Kullanılan Materyaller ve Özellikleri.....	28
3.2 Hesaplamalar.....	33
4.BULGULAR ve TARTIŞMA.....	36
4.1 FDM' siz Duvarda Yapılan Ölçümlere Ait Veriler.....	36

4.2 % 1 FDM' li Duvarda Yapılan Ölçümlere Ait Veriler.....	38
4.3 %3 FDM' li Duvarda Yapılan Ölçümlere Ait Veriler.....	40
5.SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	45
KAYNAKLAR	47
KİŞİSEL BİLGİLER.....	53



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1 Adıyaman'ın kış şartları için son 10 yıla ait ortalama sıcaklık değerleri .	7
Çizelge 2.1 FDM' li ve FDM' siz durumlarda tüketilen yıllık enerji miktarı	14
Çizelge 2.2 İstanbul' da bir mekanı soğutmak için harcanan enerji miktarı (Wh/ay)	15
Çizelge 2.3 İstanbul' da mekan soğutmasına FDM' nin getirdiği yarar (%).....	15
Çizelge 3.1 Rubitherm RT18HC Faz değiştirici malzemenin termofiziksel özellikleri	26
Çizelge 4.1 0 °C dış sıcaklık için FDM' siz duvarda elde edilen veriler	36
Çizelge 4.2 4 °C dış sıcaklık için FDM' siz duvarda elde edilen veriler	37
Çizelge 4.3 8 °C dış sıcaklık için FDM' siz duvarda elde edilen veriler	37
Çizelge 4.4 12 °C dış sıcaklık için FDM' siz duvarda elde edilen veriler	37
Çizelge 4.5 FDM' siz duvara ait sıcaklık verileri ve elde edilen değerler.....	38
Çizelge 4.6 0 °C dış sıcaklık için % 1 FDM' li duvarda elde edilen veriler.....	38
Çizelge 4.7 4 °C dış sıcaklık için % 1 FDM' li duvarda elde edilen veriler.....	39
Çizelge 4.8 8 °C dış sıcaklık için % 1 FDM' li duvarda elde edilen veriler.....	39
Çizelge 4.9 12 °C dış sıcaklık için % 1 FDM' li duvarda elde edilen veriler.....	39
Çizelge 4.10 % 1 FDM'li duvara ait sıcaklık verileri ve elde edilen değerler.....	40
Çizelge 4.11 0 °C dış sıcaklık için % 3 FDM' li duvarda elde edilen veriler.....	40
Çizelge 4.12 4 °C dış sıcaklık için % 3 FDM' li duvarda elde edilen veriler.....	41
Çizelge 4.13 8 °C dış sıcaklık için % 3 FDM' li duvarda elde edilen veriler.....	41
Çizelge 4.14 12 °C dış sıcaklık için % 3 FDM' li duvarda elde edilen veriler.....	41
Çizelge 4.15 % 3 FDM' li duvara ait sıcaklık verileri ve elde edilen değerler.....	42
Çizelge 4.16 Isıtılan iç ortam için harcanan enerji miktarları (Wh)	42
Çizelge 4.17 FDM' li ve FDM' siz duvarlara ait U (W/m ² K) değerleri	43



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 2019 yılı doğalgaz tüketim miktarının sektörlere göre dağılımı.....	2
Şekil 1.2 Çok ve tek katlı binalardaki ısı kayıpları	4
Şekil 1.3 Enerji depolama yöntemleri.....	7
Şekil 1.4 Homojen Malzemelerin Faz Değişim Eğrisi.....	9
Şekil 1.5 Faz değiştiren malzemelerin ısı alırken veya verirken değişimleri	10
Şekil 2.1 FDM' li ve FDM' siz Duvarların Sıcaklık Değişim Grafiği	15
Şekil 2.2 TED sistemlerinde kullanılan iç içe borulu ısı değiştiricisinin iki boyutlu fiziksel modeli.....	17
Şekil 2.3 TED sistemlerinde kullanılan iç içe borulu ısı değiştiricisinin iki boyutlu kanatçıklı fiziksel modelleri. (a) 6 kanatçık, (b) 9 kanatçık, (c) 12 kanatçık, (d) 15 kanatçık	17
Şekil 2.4 FDM' li ve FDM' siz iç sıva performansı için hazırlanan deney düzenekleri	18
Şekil 2.5 FDM' li ve FDM' siz durumlardaki sıcaklık simülasyon durumları	19
Şekil 3.1 Deney düzeneğinin dıştan görünümü	27
Şekil 3.2 Deney düzeneğinin içten görünümü	27
Şekil 3.3 Rezistansa ait görüntüler	28
Şekil 3.4 Dijital termostatların görüntüsü	28
Şekil 3.5 Özel olarak imal edilmiş Evaporatöre ait görsel	29
Şekil 3.6 Kompresör ve kondensere ait görseller.....	30
Şekil 3.7 Elektrik sayacına ait görseller	31
Şekil 3.8 Veri depolayıcıya ait görseller	31
Şekil 3.9 Deney düzeneğimizin soğuk hava deposundaki görselleri	32
Şekil 3.10 FDM' li ve FDM' siz duvarlara ait görseller	32
Şekil 3.11 Deney düzeneğinin şematik gösterimi ve termokoplların yerleşimi.....	33
Şekil 3.12 Deney düzeneğinin basit bir görünümü	34
Şekil 4.1 FDM' li ve FDM' siz duvarlara ait U değerleri	43
Şekil 4.2 FDM' li ve FDM' siz duvarlara ait duvar iç yüzey sıcaklık değişimleri	44



SİMGELER ve KISALTMALAR

Simgeler

A	: Yüzeylerin Alanı (m^2)
β	: Isıl genleşme katsayısı ($1/K$)
g	: Yerçekimi ivmesi (m/s^2)
Gr	: Grasshof sayısı
h	: Isı taşınım katsayısı (W/m^2K)
k	: İletim katsayısı (W/mk)
L	: Dikey uzunluk (m)
Nu	: Nusselt sayısı
Pr	: Prandtl sayısı
Q	: Toplam ısı (W)
Ra	: Rayleigh sayısı
T	: Sıcaklık ($^{\circ}C$ veya K)
T_i	: İç ortam sıcaklığı (K)
T_d	: Dış ortam sıcaklığı (K)
T_f	: Film sıcaklığı (K)
T_{ort}	: Ortalama sıcaklık (K)
T_s	: Yan yüzey sıcaklıkları (K)
T_{sd}	: Duvar dış yüzey sıcaklığı (K)
T_{si}	: Duvar iç yüzey sıcaklığı (K)
U	: Isı transfer katsayısı (W/m^2K)
ν	: Kinematik viskozite (m^2/s)

1. GİRİŞ

Enerji insanlık için olmazsa olmaz ihtiyaçlardan biridir. Fosil yakıtların giderek tükendiği ve kaynakların sınırlı olduğu ülkemizde artan nüfus, çok katlı binaların inşası ve sanayileşme beraberinde enerjiye olan ihtiyacı artırmış ve paralelinde enerji tüketimini de artırmıştır. Fosil yakıt tüketimindeki bu artış gün geçtikçe insanlığın geleceğini de tehdit eder hale gelmektedir. Bu durumun önüne geçilebilmesi için yenilenebilir enerji kaynakları yatırımlarına daha çok önem vermemiz gerekmektedir. Ülkemizde enerji tüketiminin önemli bir kısmını şehir tüketimleri adı altında konutlar oluşturmaktadır [1]. Konutlarda ise tüketilen enerjinin % 85' i ısıtma amaçlı kullanılmaktadır [2]. Sektörler ve kullanım alanlarına göre toplam enerji tüketim oranları incelendiğinde meskenlerdeki enerji tüketiminin ikinci sırada yer aldığı görülmektedir [3]. Bu nedenle özellikle binalarda yenilenebilir enerji kullanımı, enerji verimliliği ve tasarrufu konuları önem kazanmaktadır. Bina sektöründe yaklaşık %30 düzeyinde bir enerji tasarruf potansiyeli olduğu saptanmıştır [4].

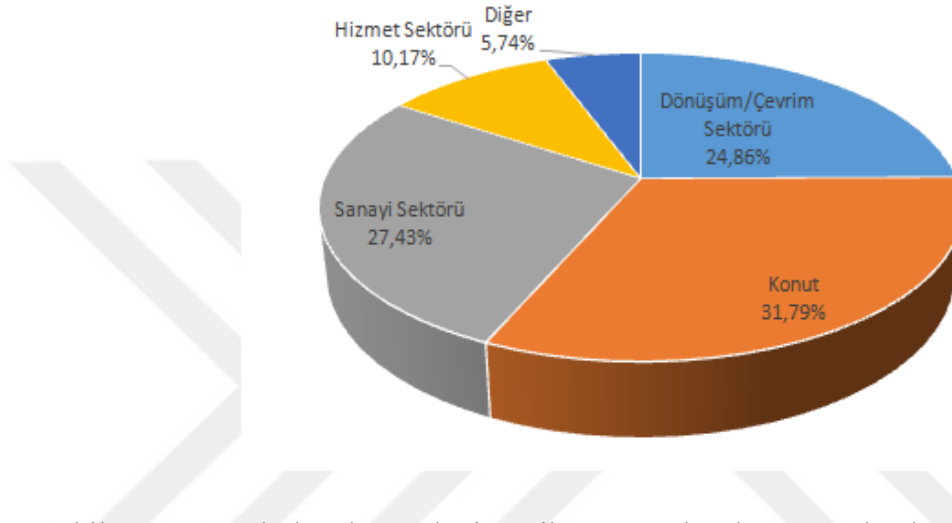
Bina ve sanayi sektöründe yeterli termal enerji depolama (TED) sistemlerinin kullanılmasının, enerji tasarrufu konusunda yüksek potansiyel sağladığı iyi bilinmektedir [5].

TED kullanımı, enerji arzı ve talebi arasındaki dalgalanmanın üstesinden gelebilir; aktif ve pasif sistemlerde kullanılması atık enerjinin kullanımına ve termal enerjinin rasyonel kullanımına izin verir [6].

Bir enerji sisteminde TED kullanmanın güvenilir olması, enerji verimliliğini artırması aynı zamanda ekonomik olarak, yatırım ve işletme maliyetlerinin azaltılmasına ve daha az çevre kirliliğine ve daha az CO2 emisyonuna yol açabilir [7].

Ülkemizde, enerji tüketiminin önemli bir kısmını konutlar oluşturmaktadır. Binaların ısı yalıtım malzemesiyle kaplanmasıyla ve günümüzde hala üzerinde

çalışmaların devam ettiği gelecek vaat eden TED yöntemleriyle enerji tasarrufu sağlanmakta ve bina içi ısı konfor oluşmaktadır. Isı yalıtımı sayesinde her türlü nem ya da küf gibi olumsuz durumların olmadığı sağlıklı ve konforlu binalar oluşturulabilmektedir.



Şekil 1.1 2019 yılı doğalgaz tüketim miktarının sektörlere göre dağılımı [8]

2019 yılında gerçekleşen doğalgaz tüketim miktarının sektörlere göre dağılımı yukarıda şekilde görülmektedir. Türkiye de 2018 yılında toplam 49.2 milyar m³, 2019 yılında 45 milyar m³ doğalgaz tüketimi gerçekleşmiştir. Konutlarda kullanılan toplam doğalgaz miktarı ise 2018 yılında 12.7 milyar m³, 2019 yılında 14.4 milyar m³ olarak gerçekleşmiştir [8].

Adıyaman'da Ocak 2018 yılında sektör olarak sadece konutlara satışı yapılan toplam doğalgaz miktarı 12.6 milyon m³' tür. Ocak 2019 yılında sektör olarak sadece konutlara satışı yapılan toplam doğalgaz miktarı 18.7 milyon m³' tür [9].

Ülkemizde konutlarda kullanılan bu miktarın %85' inin ısıtmaya harcandığı düşünüldüğünde ortaya çok ciddi rakamlar çıkmaktadır. Ayrıca yalıtım ve TED sistemlerinin kullanılması kış şartlarında binaların ısıtılması için gerekli enerji tüketim miktarını azaltacağı yapılmış olan çalışmalarda da görülmüştür.

Binalarda enerji tüketiminin azaltılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılması için son yıllarda TED yöntemlerinden olan gizli ısı depolamalarında kullanılan FDM' ler de termal enerjinin depolaması konuları araştırılmaktadır. Amaç enerji kullanımının verimliliğini artırarak enerji talebini azaltmaktır.

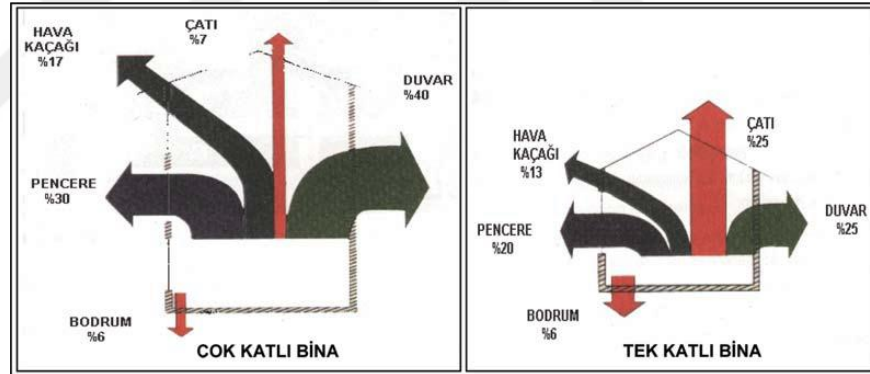
Bu çalışmamızda faz değiştirici malzemelerin, kışın binaların ısıtma yüklerine katkı sağlayıp sağlamayacağı araştırılmıştır. Bununla ilgili bir deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. FDM' li ve FDM' siz olmak üzere oluşturulan ve farklı oranlarda FDM içeren duvarlar üzerinden veriler alınarak, bu duvarlarda gerçekleşen ısı yükü, ısı enerji tüketimi ve toplam ısı transfer katsayıları belirlenerek karşılaştırılmıştır.

1.1 Binalarda Isı Yalıtımının Önemi

Bir ülkenin kalkınması, gelişmesi ve güçlü ekonomiye sahip olmasında enerjinin çok büyük etkisi vardır. Bu nedenle enerji tüketimi alışkanlıkları ve bu tüketilen enerjinin etkin bir şekilde kullanılmasının önemi artmaktadır. Tüketilen enerjinin etkin bir şekilde kullanılabilmesi için tüketilen enerjinin türü, işleme cihazları ve kullanılan alan önemlidir. Bu parametrelerden kullanılacak alan incelendiğinde, özellikle alan ısıtmalarındaki enerji kayıpları göze çarpmaktadır. Bu enerji kayıplarını azaltmak için çeşitli ısı yalıtım teknikleri uygulanmaktadır. Isı yalıtımı ile gelişmiş ülkelerde 1975-2005 yılları arasında geçen sürede tüketilen enerjide %55 gibi çok büyük tasarruf sağlanmıştır [10]. Bu nedenle ülke ekonomisine katkı sağlayacak olan en önemli uygulamalardan biride ısı yalıtımı uygulamasıdır. Ülkeler için enerji tasarrufu ile oluşan ekonomik kalkınma ve sağlıklı bir çevre, kişiler için ise yakıt tasarrufu ve artan bütçe ve daha iyi bir gelecek, daha iyi konfor şartları örnek gösterilebilir. Bununla birlikte son yıllarda ülkemizin enerji tüketimini azaltmaya yönelik bilinçlenme ve uygulamalar hız kazanmıştır. Binalarda kullanılan enerjinin büyük bir kısmı duvarlardan kaybedilmektedir. Binalara yapılan ısı yalıtımı kışın soğuk etkisinden, yazın ise sıcaklığın etkisinden korunmayı amaçlamaktadır. Yapılan bu ısı yalıtımı ile hem tasarruf sağlanmakta hem de fosil yakıt kullanımını azaltarak çevreyi daha az kirleten çözümler sunmaktadır. Bu nedenle yaygın olarak kullanılan ve zorunlu hale gelen dış cephe ısı yalıtım uygulamaları kendini göstermektedir.

Kaya ve ark. Erzincan ilinde seçilen ısı yalıtımlı ve yalıtımsız binalardan gerçekleşen ısı kayıplarını belirleyerek bir ekonomik analiz çalışması yapmışlardır. Binaların %31.36' sının yalıtımlı, %68.64' ünün yalıtımsız olduğu tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda yalıtımsız binaların 4 cm kalınlığında Extrüde Polistiren (XPS) malzemesi ile yalıtılması durumunda ısıtma maliyetinin %44.8 oranında bir düşüş gösterdiği gözlemlenmiştir [11].

Isı yalıtımının en önemli kısmını oluşturan dış cephe ısı yalıtımı gelişmiş ülkelerde 1970'li yıllarda uygulamaya başlanmış, Türkiye ise 1991 yılında ithal ürünlerle dış cephe ısı yalıtım malzemelerini tanımıştır [10]. Binalarda duvardan, tabandan, tavandan, pencerelerden gerçekleşen ısı kayıplarını gösteren şekil aşağıda verilmiştir ve yalıtımın enerji tasarrufu bakımından önemi bir kez daha ortaya çıkmıştır.



Şekil 1.2 Çok ve tek katlı binalardaki ısı kayıpları [12]

1.1.1 Binalarda Kullanılan Isı Yalıtım Malzemeleri ve Özellikleri

Binalara uygulanacak yalıtım malzemeleri, kullanım amacı ve yapının bulunduğu bölgeye göre farklılıklar göstermektedir. Bu amaçla kullanılan başlıca ısı yalıtım malzemeleri Cam Yünü, Taş Yünü, Genleştirilmiş Polistren Levhalar (EPS), Ekstrüde Polistren Levhalar (XPS), Polietilen Köpük, Poliüretan Köpük, Fenol Köpüğü, Cam Köpüğü olarak sıralanabilir.

TS 825 standardına göre ısı iletim katsayısı 0.065 W/mK değerinin altında olan malzemeler ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Isı yalıtımı malzemesinin seçiminde; malzemenin ısıl iletkenliği küçük olmalı, çürümeye, küflenmeye ve korozyona karşı dirençli olmalı, basınca ve çekmeye karşı dayanıklı olmalı, yangına karşı dayanıklı olmalı, kolay tutuşmamalı ve alev yaymamalıdır.

Ülkemizin enerji bakımından dışa bağımlı olması ve bazen yaptırım aracı olarak kullanılmasının önüne geçilebilmesi için yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim ve binalarda enerji tasarrufu konusunda yapılacak en ufak değişiklikler yıllara yayıldığında çok büyük katkılar sağlayacaktır.

1.1.2 İklim Şartlarının Bina Isı Yalıtım Kalınlığına Etkisi

İklim şartlarının özellikle doğuda ve yüksek kesimlerde kışın ağır geçtiği ısınmaya duyulan ihtiyacının yüksek olduğu bunun yanında harcanan enerjinin de yüksek olması nedeniyle ısı yalıtımı bu bölgeler için olmazsa olmaz bir durumdur. Literatürde birçok çalışmada farklı iklim şartlarına sahip bölgelerde olması gereken optimum ısı yalıtım kalınlıkları ve maliyet hesabı yapılarak geri dönüş süresi hesaplamaları verilmiştir. Bunlardan birkaçını inceleyecek olursak; Denizlide binaların ısıtılması için yapılan bir çalışmada farklı ısıtma kaynakları kullanılarak dış duvarlara uygulanması gereken optimum yalıtım kalınlıkları ve maliyet ömür analizi yapılmıştır. Bu çalışmada ithal kömür ve fuel-oil kullanıldığında 10 yıllık ömür süresi için yalıtım kalınlıkları ithal kömür için 0.048 m, fuel-oil için 0.082 m olarak belirlenmiş, yıllık tasarruf oranı ise sırasıyla 12 YTL/m², 38.91 YTL/m² olarak hesaplanmıştır [13].

Özel ve ark. tarafından Adana, Elazığ, Erzurum, İstanbul, İzmir illeri için ısıtma ve soğutma derece gün değerleri kullanılarak dış duvarlara uygulanan optimum yalıtım kalınlığı, yıllık tasarruf ve geri ödeme süresi hesabı yapılmıştır. Sonuç olarak, incelenen illere göre optimum yalıtım kalınlığının 0.04 ile 0.084 m

arasında değiştiği, yıllık tasarrufun 21.94 ile 97.12 YTL/m² arasında değiştiği ve geri ödeme süresinin ise 1.45 ile 2.05 yıl arasında değiştiği görölmüştür [14].

1.1.3 Adıyaman İlinde Kullanılan Isı Yalıtım Malzemeleri Ve Kış Şartları

Türkiye de binalarda ısı yalıtımı ve uygulamaları bakımından dört bölgeye ayrılan il ve ilçelerden Adıyaman 2. Bölgede yer almaktadır. 1. Bölge ısıtma adına enerji ihtiyacının en az olduğu illeri kapsarken 4. Bölge ise en fazla enerji ihtiyacının olduğu bölgeleri kapsamaktadır. Buradan yalıtım yapılacak bölgenin iklim şartlarının ve ısıtma enerjisine olan ihtiyacının yalıtım kalınlığını belirlerken önemli olduğu sonucuna varabiliriz [1].

Malzeme türü olarak Adıyaman'da binalarda çoğunlukla dış yalıtım malzemeleri olarak Ekstrüde Polistren Köpük (XPS) ve Expande Polistren Köpük (EPS) kullanılmaktadır. Kalınlıkları ise TS-825 standardında bina durumuna göre yapılan hesaplamalara göre minimum 4 cm veya 5 cm kalınlığında ısı yalıtım malzemesi kullanılmaktadır.

İllere göre tavsiye edilen minimum ısı yalıtım levhası kalınlıkları Adıyaman için beyaz EPS 6 cm, karbonlu EPS 5 cm, XPS 5 cm ve üzeridir [15].

Adıyaman da kış şartlarını düşündüğümüzde kışın sıcaklığın sıfırın altına fazla inmediği bazı yıllarda yılın en düşük sıcaklıkları -10 °C ile -2 °C arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Kış ayı en düşük sıcaklık ortalamaları ise 0 °C ile 12 °C arasında değişmektedir. Son on yılın sıcaklık verilerine bakıldığında ise Kasım, Aralık, Ocak, Şubat ve Mart ayları için en düşük sıcaklığın Ocak ayı ortalaması olan 3.9 °C olduğu, en yüksek sıcaklığın ise Kasım ayı ortalaması olan 11.8 °C olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 1. 1 Adıyaman'ın kış şartları için son 10 yıla ait ortalama sıcaklık değerleri [16]

Aylar	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart
Ort. Sıcaklık Değerleri (°C)	11.8	6.2	3.9	5.8	9.8
En Yüksek (°C)	28.2	20.8	19.9	21.7	24.7
En Düşük (°C)	-3.2	-6.4	-14.6	-8.5	-6

1.2. Termal Enerji Depolama Yöntemleri

Artan nüfus ve sanayileşmeyle birlikte artan fosil yakıt tüketimi, çevre kirliliği, enerji talebinin artması bilim insanlarını enerjinin verimli kullanılması ve çevresel etkilerinin azaltılması yönünde çalışmalar yapmaya zorlamıştır. Bu çalışmalarda yenilenebilir enerji kaynakları ve yenilikçi malzemeler kullanılarak enerjinin verimliliğinin artırılması ve enerji tasarrufu sağlanması amaçlanmaktadır. Bu yöntemlerden biride ısı enerji depolanarak enerji verimliliği ve tasarrufun artırılmasıdır. Şekil 1.5 te görüldüğü üzere, ısı enerji depolama sistemleri kendi içerisinde duyulur ısı depolama ve gizli ısı depolama şeklinde farklı gruplara ayrılmaktadır.



Şekil 1.3 Enerji depolama yöntemleri [17]

1.2.1 Duyulur Isı

Bir maddenin faz değişimi olmadan sıcaklık değişimi sırasında emilen veya dışarı verilen ısıdır. Duyulur ısının depolama sürecinde ortamın sıcaklığı değişir. Depo edilen ısı enerji miktarı ortamın özgül ısısına (C_p), sıcaklık değişimine ΔT ve depolanan maddenin kütesine(m) bağlıdır.

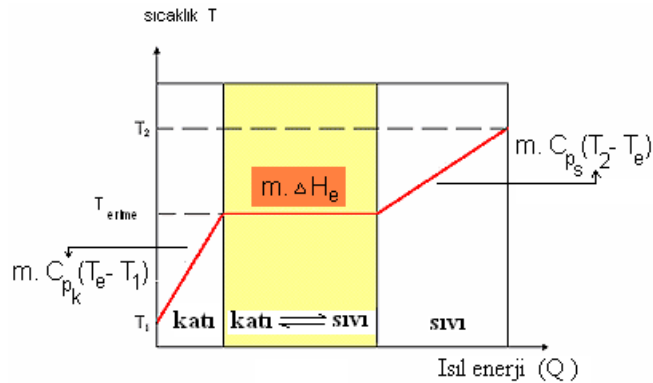
$$Q = \int_{T_i}^{T_s} m C_p dT = m \cdot C_p (T_s - T_i) \quad 1.1$$

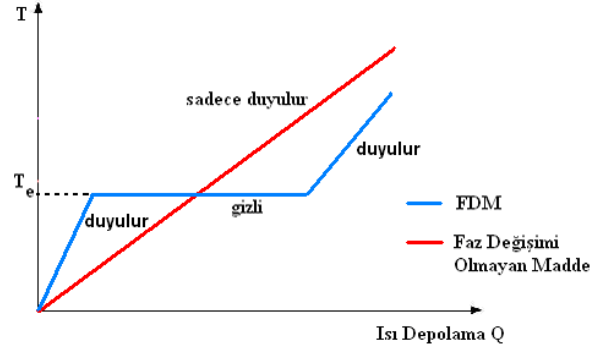
1.2.2 Gizli Isı

Bir malzeme hal değişimine uğrarken sıcaklık sabit kalacak şekilde iç enerjisinde bir değişim gerçekleşir. Bu değişim faz değişimi olarak adlandırılır ve malzemenin termodinamik özelliklerine göre kendi içerisinde bir enerji depolanması gerçekleşir. Depolamaya uygun sıcaklık aralığında seçilen malzemenin faz değiştirmesiyle ortaya çıkan gizli ısı belirlenir [18]. Gizli ısı; malzemede sabit bir faz sıcaklığında fiziksel hal değişimi meydana gelirken malzeme tarafından absorbe edilen veya yayılan tipik enerji miktarı olarak adlandırılır. Bu gizli ısının depolandığı malzemeler de faz değiştirici malzemeler olarak adlandırılır.

$$q = m \Delta H_L \quad 1.2$$

Depo edilen ısı enerjisi miktarı depolama malzemesi olarak kullanılan malzemenin kütesine (m) ve entalpisine (H) bağlı olarak değişir.



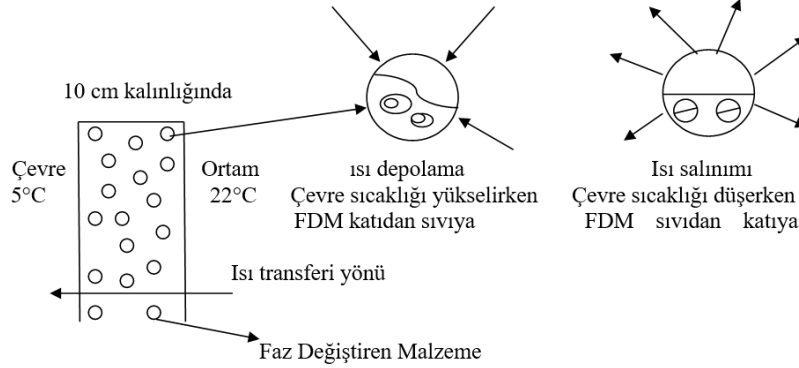


Şekil 1.4 Homojen Malzemelerin Faz Değişim Eğrisi [17]

1.2.2.1 Faz Değiştirici Malzemeler

Faz Değiştirici Malzemeler (FDM); sabit sıcaklıkta hal değişimi sırasında iç enerjideki değişimden dolayı ortaya çıkan enerjinin bir kısmını kendi içinde depolayan yani termal enerjiyi gizli ısı şeklinde depolayan malzemelerdir [19]. Bu malzemeler termal enerji depolama başlığı altında duyulur ısı depolama, gizli ısı depolama, kimyasal depolama olarak 3 bölüme ayrılır. Bunları birbirinden farklı kılan durum ise birim hacimde depolanan enerji miktarlarıdır [20]. Bizi daha çok ilgilendiren, yaygın kullanıma sahip olan ve en çok ısı depolama özelliğine sahip olan gizli ısı depolama yapan FDM' lerdir. Bu malzemeler katı-katı, katı-sıvı, katı-gaz, sıvı-sıvı şeklinde hal değişimine uğrayıp depolanabilirler [21]. Katı halden sıvı hale geçen FDM' ler yaygın olarak kullanılan en çok gizli ısı depolamanın yapılabildiği haldir. Nedeni ise küçük hal değişimleri olması ve sınırlı sıcaklık aralığında depolama yapılabilmesidir [22]. Katı-katı hal değişimlerinde madde içerisindeki moleküllerin hal değiştirerek başka bir katı faza dönüşmesidir. Bu dönüşüm sonucunda depolanan enerji miktarı oldukça azdır. Sıvı-sıvı hal değişimlerinde ise yine depolanan enerji miktarı katı-katı hal değişimine nazaran daha fazla olsada oldukça azdır. Katı-gaz ve sıvı-gaz dönüşümlerinde de büyük hacimlere ihtiyaç duyulduğu, buhar fazının muhafaza edilebilmesi için basınçlı depolama kaplarına ihtiyaç duyulduğu için depolama sistemlerinin karmaşık ve uygulanabilirliğinin kısıtlı olmasına neden olur [23].

1.2.2.2 FDM' lerde Isı Alırken veya Verirken Meydana Gelen Değişiklikler



Şekil 1.5 Faz değiştiren malzemelerin ısı alırken veya verirken değişimleri

Bu sistemler; şartlara göre kullanılacak faz değiştirici malzemelerin ısı depolama özelliği ile yaz aylarında yüzeydeki ısı yükü iç ortama daha az aktararak, kış aylarında ise ısı miktarının iç ortamdan dış ortama gerçekleşen ısı transferini azaltarak, binalarda ısıtma ve soğutmaya harcanan enerjilerinden tasarruf edilmesini sağlamaktadır [24].

Maddelerin erime-donmaları esnasında açığa çıkan yüksek miktarlarda ısıyı kolayca depolayabilen faz değiştirici malzemeler, termal enerji depolama sistemlerinde sıklıkla kullanılır. Çevre sıcaklığı yükselirken FDM katı halden sıvı hale geçer ve yakın çevresinin sıcaklığı sabit kalır. Çevre sıcaklığı düşerken FDM sıvı halden katı hale geçer ve yakın çevresinin sıcaklığı sabit kalır. Enerjinin depolanmasının amacı enerji talebi olduğu zamanlarda bu enerjinin kullanılması ve fosil yakıtların kullanımını azaltmaktır.

Küresel enerji talebinin artması ve en çok enerji tüketilen yerlerin başında gelen konut sektöründe, tüketimi azaltmak için yenilenebilir enerji kaynakları araştırmaları ve çalışmalar devam etmektedir. Bu alternatiflerden biri de Faz değiştirici malzemelerdir. Binalarda FDM' lerin kullanılmasının amacı ise ısıtma ve soğutmaya harcanan enerji miktarını ve bina üzerindeki termal yükü azaltmaktır.

1.2.2.3 FDM' lerin Kullanım Alanları, Avantajları, Dezavantajları

Literatürde FDM' ler ile ilgili birçok kullanım alanı mevcuttur. Bunlardan bazıları

- Daha Ar-Ge aşamasında olan ve binalarda ısıtma/soğutma yükünü azaltmak amacıyla kullanımı söz konusudur.
- Medikal alanda kullanımı yaygındır.
- Birçok teknolojik üründe elektronik cihazların ısınmasını önlemek amacıyla soğutucu olarak kullanılmaktadır.
- Tekstil endüstrisinde kullanımı yaygındır.(Akıllı tekstil ürünlerinin üretiminde)
- Gıda ambalajlarında [19]

Termal enerji depolama sistemlerinde kullanılacak olan FDM'lerin avantajları ve seçimi hakkında bilgi verecek olursak ;

- İstenilen sıcaklık aralığında faz değişimi gerçekleştirilebilir.
- Birim hacimde depolanan enerji miktarı fazladır.
- Isıl iletkenliği yüksek malzemelerdir.
- Düzenli erime katılaşma özelliği gösterirler.
- Kimyasal olarak kararlı olmalı, çabuk bozulmamalıdır.
- Korozif, yanıcı, zehirleyici ve patlayıcı özellik göstermemelidirler.
- Ekonomik olmalı ve kolay temin edilebilir olmalıdır.
- Çok defa faz değişim döngüsü geçirerek kimyasal kararlılık göstermeli ve uzun ömürlü olmalıdırlar [19].

1.2.2.4 Faz Değiştirici Malzemelerin Sınıflandırılması

Faz değiştirici malzemeler kendi aralarında 3 kısma ayrılırlar.

- 1) Organik FDM
- 2) İnorganik FDM
- 3) Ötektik FDM

Organik faz değiştirici malzemeler iyi ısıl kararlılık, düşük hacim değişiklikleri, geleneksel yapı malzemeleri ile uyumluluk, geniş çalışma sıcaklığı

aralığına sahip olma avantaj sağlayan özellikleri yanında düşük termal özellik, sıvı faz değiştirici malzeme' nin sızması ve yanıcı olması nedeniyle de dezavantaj sağlar [25].

İnorganik faz değiştirici malzemeler yüksek hacimli gizli ısı depolama kapasitesi, yanıcı olmaması, düzgün faz değişimi, yüksek termal iletkenlik avantaj sağlayan özellikleri yanında; aşırı soğumaya eğilimli, uyumlu eriyememe, metalle temas durumunda korozyon olabileme durumlarından dolayı dezavantaj özellik gösterirler [26].

Ötektik faz değiştirici malzemeler keskin erime noktaları ve özellikleri özel isteklere göre yapılabilmesi avantaj sağlasa da yüksek maliyetli olması dezavantaj sağlayabilir [27].

1.3 Binalarda Kullanılacak Faz Değiştirici Malzeme Seçiminde Nelere Dikkat Edilmelidir

Binalarda kullanım amacıyla FDM seçiminde FDM' nin faz değişim sıcaklığı önemlidir. İklim şartlarına göre seçilen faz değiştirici malzeme, kış şartları için mi yoksa yaz şartları için mi kullanılacak önce buna karar verilmesi gerekiyor. Bu şartlarına göre uygulanacak alan için bir konfor sıcaklığı belirlenmelidir. Normalde önerilen oda sıcaklığı yazın 23.5-25.5 °C, kışın ise 21-23 °C' dir. Bina uygulamalarında 18-30 °C arasında faz değişim sıcaklığına sahip FDM' ler termal konfor ihtiyacını karşılamak için tercih edilir [28]. Adıyaman kış şartları düşünüldüğünde sıcaklığın sıfırın altına indiği zamanların az olduğu iç ortam sıcaklığının ise 21-23 °C arası olduğu düşünüldüğünde erime noktası 17-19 °C arasında olan faz değiştirici malzeme seçimi mantıklı olacaktır. Eğer faz değişim sıcaklığı çok yüksekse, FDM tarafından depolanan güneş enerjisi gündüz saatlerinde daha az olmaktadır. Eğer faz değişim sıcaklığı çok düşükse, gece boyunca iç mekan sıcaklığını sağlamak zorlaşmaktadır. Faz değişim sıcaklığı; yapı elemanının kullanılacağı yapı tipi ve iklim göz önünde bulundurularak seçilmelidir [29].

Ayrıca faz değiştirici malzemenin konumlandırılması da önemlidir. Literatürde incelediğimiz birçok çalışmada faz değiştirici malzemenin iç yüzeyde, duvarın ortasında ve dış yüzeyde olması durumları incelenmiş en uygun konumlandırmanın kiş şartları için duvarın iç yüzeyine yerleştirilmesi bunun yanında duvarın dış yüzeyinin de geleneksel yalıtım malzemeleriyle kaplanması durumunun en uygun kullanım olduğu sonucuna varılmıştır.

Binalarda kullanılan depolama maddelerinin termofiziksel özelliklerinin iyi bilinmesi, kristalizasyon, aşırı soğuma vb. istenmeyen etkilerin sistem tasarımı ve işletmesinde etkisi büyüktür ve ömür analizi yapılarak karar verilmelidir [30]. Faz değiştirici malzemelerin ısı depolama özellikleri yanında maliyet, binalara dahil edilme yöntemleri ve yangına karşı dayanım durumları da göz ardı edilmemelidir. Bu konularında ısı performans yanında araştırılması gereken bir konu olduğu unutulmamalıdır [31].

Ülkemizde ve dünyada en verimli ve en ideal depolama maddeleri üzerine araştırmalar devam etmektedir. En yoğun kullanım yapılarında enerji yükünün, ısıtmaya ve soğutmaya harcanan enerjinin düşürülmesi için faz değiştirici malzemelerin kullanımınıdır. Faz değiştirici malzemelerin ticari olarak üretiminin yapıldığı Rubitherm GmbH (Almanya), Cristopia (Fransa), TEAP Energy (Avustralya), EPS Ltd. (İngiltere), PCM Thermal Solutions (ABD), Climator (İsveç), Mitsubishi Chemical (Japonya)'dır [32]. Ülkemizde ticari olarak üretimi yapılmadığı için faz değiştirici malzemeleri kullanılarak enerji etkin bir bina tasarlamak yüksek maliyetli olacağı fakat enerji tasarrufu konusunda sağladığı katkı açısından önümüzdeki yıllarda kullanımının yaygınlaşması durumunda yenilikçi bir malzeme olarak yapı sektöründe yerini alacaktır.

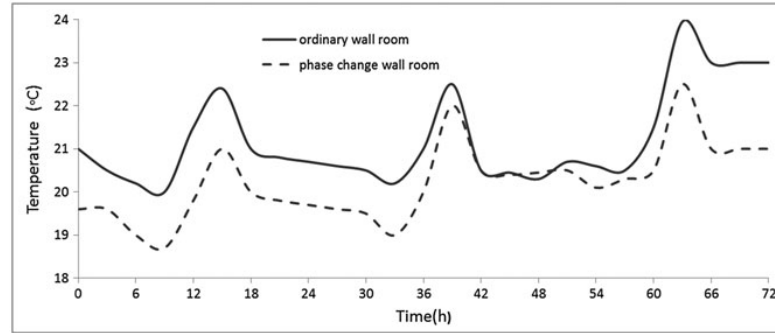
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Farkas ve ark. tarafından, faz değiştirici malzemeleri bir duvar yapısının farklı katmanlarına yerleştirilerek (iç yüzeyine, dış yüzeyine, FDM' siz) bir yüzeyin ısıtma/soğutma analizi yapılmıştır. Energy Plus yazılımı ile faz değiştirici malzemelerin en iyi konumunu, boyutunu ve şeklini belirlemiştirler. En düşük yıllık enerji kullanımının ısıtma için 19-23 °C ve soğutma için 21-25 °C sıcaklık aralığında gerçekleştiği belirlenmiştir. Seçilen sıcaklık aralığında FDM' nin dış yüzeyde olması durumunda FDM' siz duvara göre enerji kullanımını %85' e, FDM' nin iç yüzeyde olması durumunda ise enerji kullanımının %81.5' e düştüğü gözlemlenmiştir [33].

Çizelge 2.1 FDM' li ve FDM' siz durumlarda tüketilen yıllık enerji miktarı [33]

	Tüketim (W-kWh)	FDM' siz	FDM'nin Dış Yüzeyde Olması	FDM'nin İç Yüzeyde Olması	FDM + Yüzey Isıtma
Soğutma	Uç Tüketim Değeri (W)	2687	2520	2391	1740
	Yıllık Tüketim Miktarı (kWh)	2932,17	2647	2470	2842
Isıtma	Uç Tüketim Değeri (W)	4698	3827	3825	2832
	Yıllık Tüketim Miktarı (kWh)	9048	7539	7292	5181
Toplam	Yıllık Tüketim Miktarı (kWh)	11980,17	10186	9762	8023
Referans Oranı		1	0,85	0,815	0,67

Shilei ve ark. faz değiştirici malzemelerin modern kullanım için büyük potansiyele sahip olduğunu, yapı malzemelerine entegre edilerek binalarda sıcaklık dalgalanmalarını dengelemede kullanılabileceğini, enerji tüketimini artırmadan termal konforun artırılabilceğini bildirmişlerdir. Bunun için kaprik asit ve laurik asitlerin bir karışımı olan FDM kullanılarak, 5m x 3.3m x 2.8m boyutlarında oda 2040 W kapasiteli ısıtıcıyla ısıtılarak, 3 gün boyunca duvarlara ait sıcaklık verileri kaydedildi. FDM' li olan duvar, olmayan duvara göre sıcaklık değişimi 1.15 °C daha düşük olduğu tespit edilmiştir [34].



Şekil 2.1 FDM' li ve FDM' siz Duvarların Sıcaklık Değişim Grafiği [37]

Tokuç tarafından yapılan bir çalışmada faz değiştirici malzemelerin ısı depolama amacıyla yapı bileşeni üretiminde ve dolayısıyla yapı mimarisinde kullanımının getirebileceği olası enerji kazanımını irdeleyebilecek bir yöntem geliştirilmesi amaçlanmıştır. FDM' li olan ve olmayan yapılar arasında ve yapıda kullanılacak FDM' lerin kalınlığına göre 1 m² alanın soğutulması sırasında harcanan enerji miktarları hesaplanmıştır. FDM' nin kalınlığının artırılmasının enerji tüketimini azalttığı, en düşük enerji tüketiminin 5 cm kalınlığında FDM kullanılması durumunda gerçekleştiği tespit edilmiştir [35].

Çizelge 2.2 İstanbul' da bir mekanı soğutmak için harcanan enerji miktarı (Wh/ay) [35]

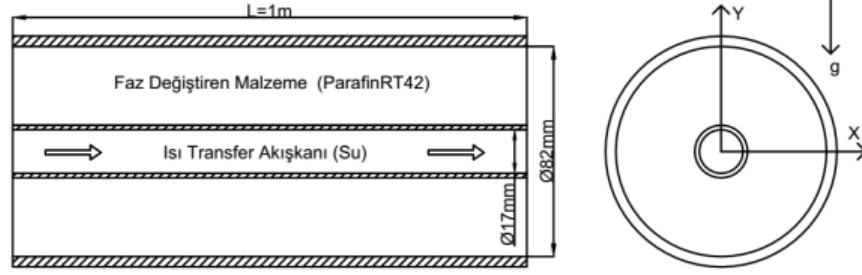
	FDM'siz	1 cm	2 cm	3 cm	4 cm	5 cm
Mayıs	834,99	686,68	533,56	474,26	419,72	362,56
Haziran	1927,88	1829,19	1758,01	1710,02	1671,76	1635,04
Temmuz	2898,05	2838,15	2777,07	2719,70	2664,23	2610,71
Ağustos	2576,64	2523,15	2473,06	2424,65	2378,03	2333,09
Eylül	801,15	713,23	654,88	668,42	693,01	714,61
Toplam	9038,71	8590,51	8196,58	7997,04	7826,75	7656,02

Çizelge 2.3 İstanbul' da mekan soğutmasına FDM' nin getirdiği yarar (%) [35]

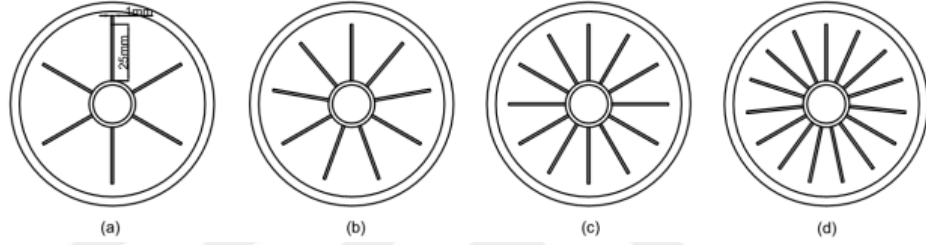
	FDM'siz	1 cm	2 cm	3 cm	4 cm	5 cm
Mayıs	-	17,76	36,10	43,20	49,73	56,58
Haziran	-	5,12	8,81	11,30	13,29	15,19
Temmuz	-	2,07	4,17	6,15	8,07	9,91
Ağustos	-	2,07	4,02	5,90	7,71	9,45
Eylül	-	10,97	18,26	16,57	13,50	10,80
Ortalama	-	4,96	9,32	11,52	13,41	15,30

Paksoy ve ark. tarafından yapılan çalışmada mikrokapsüllenmiş faz değıştiren maddeler, Adana ilindeki bir test odasının ısıtma soğutma yükünü azaltmak amacı ile kullanılmıştır. Adana ilindeki 4 m²'lik prefabrik bir kulübeye 35x30 cm boyutlarında 3 cm kalınlığında alüminyum folyo makro paketler içinde faz değışim sıcaklığı 23 °C olan Micronal 5008 ve faz değışim sıcaklığı 26 °C olan Micronal 5001 yerleştirilmiştir. Temmuz ayı boyunca hücrenin FDM' siz ve FDM' li olarak ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler, bina içerisinde kullanılan faz değıştiren maddelerin erime noktası ve ergime ısısının termal enerji depolama özelliği ile enerji tasarrufuna katkıda bulunduğunu göstermektedir. Boş test odası ile karşılaştırıldığında, mikrokapsüllenmiş FDM' lerin yazın soğutma yükünün %5–10; kışın ısıtma yükünün %10–20 oranında azaltılmasına katkı sağlayabileceği belirlenmiştir [36].

Aktaş ve ark. yaptıkları çalışmada termal enerji depolama (TED) sistemlerinde kullanılan bir iç içe borulu ısı değıştiricisinde faz değıştiren malzemenin (FDM) erime sürecindeki ısıl davranışı, kanatçıklı ve kanatçiksız modeller ile sayısal analizi yapılarak incelenmiştir. Sayısal analizler, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yaklaşımı ve ANSYS Fluent ticari programı ile iki boyutlu ve zamana bağlı olarak gerçekleştirilmiştir. Bu modelde ısı transfer akışkanı (ITA)'nın sıcaklıkları 50 °C, 60 °C ve 70 °C alınarak ITA sıcaklığının FDM erime süresine etkisi değerlendirilmiştir. Daha sonra bu modele 6, 9, 12 ve 15 adet kanatçıklar eklenip, kanatçık sayısının da FDM' nin erime süresine etkisi araştırılmıştır. Yapılan sayısal çalışmada elde edilen sonuçlar, ITA sıcaklığı ve kanat sayısı arttıkça FDM' nin erime süresinin azaldığını, böylece FDM' nin daha hızlı bir şekilde ITA' dan ısıyı depoladığını göstermektedir. Kanat etkenlikleri sırasıyla 2.66, 3.49, 4.32 ve 5.15 olan 6, 9, 12 ve 15 kanatçıklı modellerin kanatçiksız modele göre erime süresini %72.5, %76.7, %78.4 ve %80 azalttığı belirlenmiştir. Basitliği, kolay üretilmesi ve düşük maliyetli olmasından dolayı FDM' deki ısı transferini artırmanın en iyi yolu kanatçık kullanımıdır [38].



Şekil 2.2 TED sistemlerinde kullanılan iç içe borulu ısı değiştiricisinin iki boyutlu fiziksel modeli [38]



Şekil 2.3 TED sistemlerinde kullanılan iç içe borulu ısı değiştiricisinin iki boyutlu kanatçıklı fiziksel modelleri. (a) 6 kanatçık, (b) 9 kanatçık, (c) 12 kanatçık, (d) 15 kanatçık [38]

Küçükaltun tarafından yapılan bir çalışmada faz değiştiren maddelerin paketlenmesinde de kullanılacak, ısı değişimlere hızlı cevap verebilmesi için ısı iletkenliği artırılmış Polietilen Tereftalat (PET) sentezlenmesi amaçlanmıştır. Faz değişiminin kontrollü olarak yapılabilmesi, kolay taşınması ve saklanması için paketlenme malzemesi içerisinde muhafaza edilirler. Paketlenme malzemesinin korozif ve toksik olmaması, kolay bulunur ve ucuz olması gereklidir. PET, paketlenme endüstrisinde sıkça kullanılan bir malzemedir. Mevcut kullanım alanlarına yeni bir alan daha eklenmesi, büyümekte olan PET endüstrisine katkıda bulunacaktır. Ayrıca FDM'lerin paketlenmesinde kullanılabilir malzemelerin çeşitliliğinin artırılması ile yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım kolaylığı sağlanarak enerji verimliliğinin artırılması amaçlanmıştır [39].

Zamalloa ve ark. yaptıkları bir çalışmada bileşiminde FDM içeren bir sıva geliştirmişlerdir. Sıvanın ısı özelliklerini belirlemek için faz değişim entalpisi ile faz değişim sıcaklığı ölçülmüştür. Ayrıca "Energy Plus" programı kullanılarak gerçekleştirilen ısı modelleme sonuçları doğrultusunda 2,5x2,5x 2,5 m boyutlarında

biri referans olarak kullanılacak iki test hücresi Vitoria’ da inşa edilerek bir yıl boyunca gözlemlenmiştir. Sonuçta, duvardaki ısı atalet artışı ile sıcaklığın en yüksek olduğu zamanın 2 saat kaydığı, FDM’ li sıvanın yapı içindeki ufak ısı dalgalanmalarını yok ettiği ve hücrenin enerji gereksinimini ısıtma için %10-15, soğutma için ise %30 azalttığı gözlemlenmiştir [40].

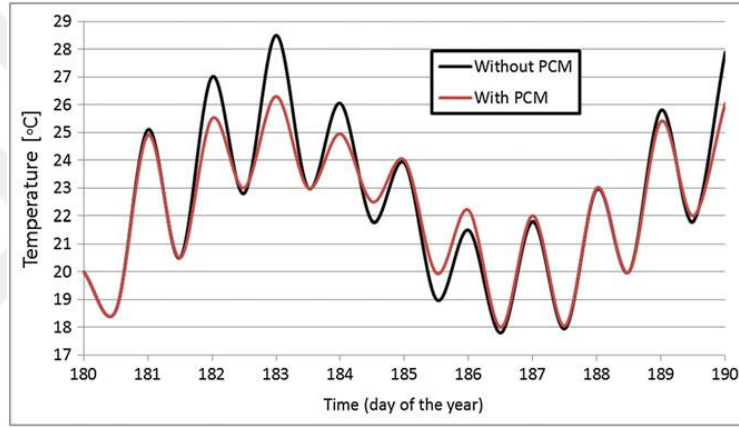


Şekil 2.4 FDM’ li ve FDM’ siz iç siva performansı için hazırlanan deney düzenekleri [40]

Cabeza ve ark. yaptıkları bir çalışmada, beton duvarın mekanik mukavemetini etkilemeyecek bir ürün geliştirmek için içerisine FDM eklenerek yenilikçi bir beton tasarladılar. Beton içerisinde mikrokapsüllü FDM kullanarak iki adet gerçek boyutlu beton kabinleri kuruldu. Betonun 25 MPa’ nın üzerinde sıkıştırma mukavemetine ulaştığını ve 6 MPa’ nın üzerinde bir çekme mukavemetine ulaştığını ve 6 aylık çalışmadan sonra FDM’ nin etkilerinde herhangi bir fark oluşmadığını buldular [41].

Zhou ve ark. tarafından yapılan bir çalışmada, bir binada kullanılacak faz değiştiren malzemelerin o yerin iklimsel koşullarıyla ilgili olduğunu ve o binada kullanılacak FDM’ lerin termal konfor kriterlerini karşılaması gerektiği ve FDM’ lerin faz değişim sıcaklığı 18 °C ile 30 °C arasında olması gerektiği vurgulanmıştır. Buna ek olarak, kimyasal stabilite, yangın özellikleri ve inşaat malzemeleri ile uyumluluk gibi özellikleri de FDM seçimlerinde dikkate alınması gerekir. FDM’ lerin mevcut yapılara, uzun vadeli stabilitelere ve termal yapının güvenliğini, güvenilirliğini ve pratikliğini etkileyebilecek diğer sorunlara çözüm sağlaması için dahil etme yöntemleri üzerinde daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir [28].

Schossig ve ark. yapılar da gelecek vaat eden uygulama alanlarını belirlemek için bir bina simülasyon programı ile parametrik bir çalışma yürüttüler. Bu amaçla, inşaat malzemelerinin doğrusal olmayan termal özelliklerini hesaplamak için açık kaynak yapı simülasyon aracı ESP-R de bir model uyguladılar. Aşırı ısınmayı önlemek için iç duvar malzemelerinin FDM' li olması ile ilgili uygulamalar üzerinde duruldu. Simülasyon sonuçlarını doğrulamak için 50×50 cm' lik duvar örnekleri için bir test tesisi inşa ettiler. Simüle edilen sonuçlar, FDM' li bir odanın hava sıcaklığının aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi 3 °C' ye kadar FDM' siz bir odanın sıcaklığından daha az olduğunu göstermiştir [42].



Şekil 2.5 FDM' li ve FDM' siz durumlardaki sıcaklık simülasyon durumları [42]

Daloğlu tarafından yapılan çalışmada yalıtım için kullanılan FDM hem duvarın ortasında iki tuğla arasına hem de hemen 3 cm sıvadan sonra yerleştirilerek yalıtım malzemesinin duvar içerisindeki konumunun etkisi incelenmiştir. Ergime sıcaklığı 25 °C ve 27 °C olan iki farklı FDM için elde edilen sonuçlar incelenmiştir. FDM dış kısma yerleştirilmesiyle duvar içerisindeki sıcaklık gradyanı azalmaktadır. Duvar iç yüzey sıcaklığı da düşerek ortamın ısı kazancı düşmektedir. FDM dış yüzeye yakın yerleştirildiğinde ısı akısı daha da azalmaktadır. Beklendiği gibi duvarlarda yalıtım yapılması ısı kazancını (soğutma yükünü) büyük oranda azaltmaktadır. Çalışmada yalıtım için kullanılan FDM iyi bir yalıtıcı olup duvar içerisinde uygulandığı konum ısı kazancını önemli miktarda etkilemekte ve dış yüzeye yakın olduğunda daha etkili olmaktadır. Faz değiştiren malzemenin yalıtım malzemesi olarak kullanılması durumunda duvarın iç yüzey sıcaklığının

yükselmesini önlediği ve soğutma yükünü önemli miktarda düşürdüğü görülmüştür [37].

Ascione ve ark. yaptıkları bir çalışmada, bazı bölgelerin (Sevilla, Napoli, Marsilya, Atina, Ankara) iklimsel özelliklerini baz alarak yaz aylarında soğutma ihtiyacının yüksek olduğu zamanlarda binanın dış kısmına FDM' li malzeme yerleştirilerek enerji tasarrufu ve iç mekan konforu üzerine etkisi araştırılmıştır. FDM' nin faz değişim sıcaklığı, duvar kalınlığı ve FDM' nin konumlarını değiştirilerek bir simülasyon gerçekleştirilmiştir. Farklı faz değişim sıcaklıklarına sahip malzemeler (26 °C den 29 °C dereceye kadar) test edildi. 29 °C derecelik erime sıcaklığında en yüksek enerji tasarrufu sağlandı ve bina iç konfor sıcaklığı süresi uzadı. Ancak Sevilla ve Napoliyi simüle eden iklimlerde enerji tasarrufu için ulaşılabilir fayda %3'ten fazla olmazken, Marsilya ve Atina sırasıyla %4,1 ve %3,5'lik bir avantaj elde etti. En yüksek enerji tasarrufu etkisi %7,2 ile Ankara'da yaşandı [43].

Shi ve ark. tarafından yapılan bir çalışmada, makro boyutlarda FDM kullanılan beton elemanların iç mekan konforuna olan etkisi incelenmiştir. 545x545x560 mm boyutlarında model hacimler üretilmiş, 20 mm kalınlığındaki paslanmaz çelikten yapılmış kutu içine hapsedilmiş FDM küreleri beton elemanlara üç farklı şekilde uygulanmıştır. FDM olarak 25 °C faz değişim sıcaklığına sahip katı halde parafin kullanılmıştır. Birincisinde FDM içeren paslanmaz çelik kutular, duvarların dışına sabitlenmiş, birinde iki beton eleman arasına yerleştirilmiş ve diğerinde ise içeriden sabitlenmiştir. Toplam beton kalınlığı tüm numunelerde eşit olup 40 mm'dir. Çalışmada FDM olmayan hacimlerin günlük sıcaklık değişimlerinde daha dalgalı değişim gösterdikleri tespit edilmiştir. Yaz şartlarında FDM' nin dış yüzeyde olması durumunda iç ortam sıcaklığının FDM' siz duvarlara göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir [44].

Ouni ve ark. yaptıkları bir çalışmada, FDM' li beton elemanların ısı özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmada toplam numune hacminin %1, %3, ve %5'i oranlarında FDM kullanılmış, ısı iletim katsayılarında dikkate değer bir değişim gözlenmezken, numunelerin termal depolama kapasitelerinin 17.06 kJ/kg'den 36.64 kJ/kg değerine arttığı rapor edilmiştir. Isıl iletim katsayıları etkilenmese dahi, ısı

akışının gerçekleştiği malzemede ısıyı depolayabilme özelliği de yalıtım anlamında son derece dikkate değer bir husus olarak göze çarpmaktadır [45].

Şimdiye kadar yapılmış olan literatür taramaları binalarda yalıtım amaçlı kullanılan FDM'lerin iç ortam konfor sıcaklığına ve enerji tasarrufuna katkısı yönündeydi. Bundan sonraki yapılan literatür taramaları ise düşey duvarlar için elde edilmiş olan Nusselt korelasyonları ve çeşitli ısı taşınım katsayısı bağıntıları yardımıyla deney çalışmalarına ait yatay ve düşey yüzeylerden gerçekleşen ısı kaybını hesaplamaktır.

Açıkgöz tarafından binalarda ısı konforu geliştirmek, enerji tüketimini azaltmak ve enerjinin verimli kullanılması için deneysel bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada duvardan ısıtma panelleriyle yaşanılan alanların ısıtılması ve bu durumda oluşan doğal taşınım incelenmiştir. Kurulan deney düzeneğiyle de bir odada oluşacak ortalama taşınım katsayıları hesaplanmıştır.[46]

ASHRAE [47] tarafından türetilen korelasyonlar, belirtilen Ra aralıkları ve dikey duvarlar için aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$h = 1,33 \left(\frac{\Delta T}{H}\right)^{1/4} \quad 10^5 < Ra < 10^9 \quad (2.1)$$

$$h = 1,26(\Delta T)^{1/3} \quad Ra < 10^9 \quad (2.2)$$

Fohanno ve ark. bir binanın iç kısımlarındaki ısı akışını modellemek için doğru yüzey ısı taşınım katsayılarının belirlenmesi, taşınımın bir binanın termal konforu ve toplam enerji tüketimi üzerindeki etkisi nedeniyle birincil öneme sahiptir. Dikey yüzeyler boyunca kaldırma kuvvetine bağlı akışların konvektif ısı değişimini modellemeyi amaçlayan çok sayıda teorik ve deneysel ifade önerilmiştir. Bu makale homojen olarak ısıtılan iç dikey bina yüzeylerinde (duvarlar, pencereler) laminar ve türbülanslı ısı transferi modellenmesi ile ilgilidir. Çalışmanın amacı homojen bir ısıtmaya maruz kalan bir yüzeyin iki temel parametresi konvektif ısı akısı ve dikey yüzeyin yüksekliği açısından ilişkiler sağlamaktır. Bu çalışmada ele alınan ısı akısı yoğunlukları ($0 \leq q \leq 200 \text{ W/m}^2$) aralığı için ortalama 1.258 değerinde % 1.2' den daha az değişim gözlemlenmiştir. Bina simülasyonu için ortalama konvektif ısı transfer

katsayısının basit bir ifadesi gereklidir. $Ra \leq 6,3 \times 10^9$ değerleri için laminer rejimdeki ifadesi aşağıdaki gibidir [48].

$$Nu = 0,595 (Ra)^{1/5} \quad (2.3)$$

$$h_c = 0,595 (Ra)^{1/5} \left(\frac{q_c}{H}\right)^{1/5} \quad (2.4)$$

$$h_c = 1,258 \left(\frac{q_c}{H}\right)^{1/5}, \quad Ra \leq 6,3 \times 10^9 \quad (2.5)$$

Yüncü ve ark. yaptıkları bir çalışmada, sabit sıcaklıkta bulunan düşey yüzeyler için tüm Rayleigh sayılarında geçerli olan aşağıdaki korelasyonu türetmişlerdir [49].

$$Nu = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 Ra_L^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{Pr}\right)^{9/16}\right]^{8/27}} \right\}^2 \quad (2.6)$$

Tsuji ve ark. yaptıkları bir çalışmada, laminer akış için düşey levhalarda oluşturulan ortalama Nu sayısı aşağıda ifade edilmiştir [54].

$$Nu = 0,59(Ra)^{1/4}, \quad 10^4 < Ra < 10^9 \quad (2.7)$$

Fusegi ve ark. tarafından yapılan bir çalışmada, havanın doğal taşınımını $10^3 < Ra < 10^9$ aralıkları için elde edilen ısı geçiş korelasyonu şu formülle ifade edilmiştir [50].

$$Nu = 0,163 Ra_L^{0,282} \quad (2.8)$$

Bairi yaptığı bir çalışmada, kare boşluklarda havanın doğal taşınımını sayısal ve deneysel olarak incelemiştir. Boşluğun sıcak ve soğuk duvarları sırasıyla T_h ve T_c sıcaklıklarında izotermal olarak tutulmuş ve boşluğun taban ve tavanı adyabatiktir. Çeşitli geometrik ve termal konfigürasyonlar için ölçümler ve simülasyonlar yapılmıştır. Bu çalışmada $10 < Ra < 10^{10}$ aralığını kapsayan Rayleigh değerleri ve

0° ile 360° arasındaki açı değerlerindeki veriler literatürdeki veriler ile karşılaştırılmıştır. Dik yüzeyler için elde edilen korelasyonlar aşağıda ifade edilmiştir [51].

$$Nu_L = 0,15 Ra_L^{0,29}, \quad 10^3 < Ra < 10^{10} \quad (2.9)$$

Markatos ve ark. kapalı bir hacim içerisinde gerçekleştirdikleri çalışmada $10^3 < Ra < 10^{16}$ arasında çeşitli Rayleigh sayıları için ısı geçişi korelasyonları sunmuşlar ve tüm rayleigh aralıkları için aşağıdaki ifade elde edilmiştir [52].

$$Nu = 0,06(Ra_L)^{1/3} \quad (2.10)$$

Doğal taşınımında yatay yüzeyler (sıcak bir plakanın üst yüzeyi ve alt yüzeyi) üzerinde ortalama Nusselt sayıları için oluşturulan ampirik bağıntılar aşağıdaki gibi ifade edilmiştir [55].

$$Nu = 0.54 (Ra)^{1/4} \quad 10^4 < Ra < 10^7 \quad (2.11)$$

$$Nu = 0.27 (Ra)^{1/4} \quad 10^5 < Ra < 10^{11} \quad (2.12)$$

Karadağ ve ark. tarafından yapılan bir çalışmada, tabandan ısıtmalı sistemde duvar ısı şartlarının taban Nusselt sayısına etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Tavanı yalıtılmış $1 \times 1 \times 1$ m boyutlarındaki odada duvar sıcaklığı sabit tutularak taban sıcaklık değerleri $10-15-20-25^\circ\text{C}$ değerlerinde ısı transferi incelendi. Daha sonra farklı duvar yüksekliklerinde ve farklı kare taban boyutlarında Nusselt sayısı ve Rayleigh sayısı arasındaki ilişki incelendi. Sonuç olarak literatürdeki korelasyonlarla yapılan karşılaştırmalar sonucunda taban Nusselt sayısının hesaplanmasında taban ısı şartlarının yanında duvar ısı şartlarında göz önünde bulundurulması gerektiği ifade edilmiştir [53].

3.MATERYAL ve YÖNTEM

İçten içe ölçüsü 50x50x110 cm olan ısı iletkenlik değeri 0.2802 W/mK olan ahşap malzemedan yapılmış bir düzenek, bu düzeneğin bir tarafına ısıtma sistemi (iç ortam), diğer tarafına da soğutma sistemi (dış ortam, çevre) olacak şekilde tasarlanmıştır. Burada iç ortam olarak adlandırdığımız bir evin iç kısmı ve dış ortam olarak adlandırdığımız çevredir. Deney düzeneğimiz bir soğuk hava deposuna konularak ayrıca dış ortam şartları da kontrollü hale getirilerek çalışma yapılmıştır. Bu iki ortam arasına 50x50x10 cm ölçülerinde FDM' li ve FDM' siz duvarlar yerleştirilmiştir. FDM' siz beton duvar oluşturulurken kalıp olarak içten içe ölçüleri 50x50x10 cm olan ahşap kalıp kullanıldı. Bu hacme göre hesap yapılarak 18 kg kum, 18 kg çimento, 12 kg orta agrega, 6 kg su olacak şekilde karışım sağlanarak 1 adet FDM' siz beton duvar oluşturuldu. Aynı yöntemle 50x50x9cm ölçülerinde 2 adet beton duvar oluşturuldu. Bu duvarların ağırlıkları yaklaşık 50 kg, kalınlıkları 9 cm dir. Toplam duvar kalınlığı değişmeyecek şekilde (10 cm olacak şekilde), 9 cm kalınlığında birinci duvar yüzeyine, duvar ağırlığının %1' i oranında, 0.5 kg FDM sıva harcına eklenerek karışım oluşturuldu. İkinci duvar yüzeyine duvar ağırlığının %3' ü oranında, 1.5 kg FDM sıva harcına eklenerek karışım oluşturuldu. Daha sonra 50x50x9 cm kalınlığındaki duvarların yüzeylerine 1 cm kalınlığında sıva işlemi yapıldı. Birinci duvar %1 FDM' li, ikinci duvar %3 FDM' li olarak adlandırıldı. Referans aldığımız duvarların FDM' li yüzeyleri iç ortama gelecek şekilde konumlandırıldı. Daha sonra ayrı ayrı deney düzeneğine yerleştirilerek çalışmalar yapıldı. FDM' li ve FDM' siz duvarlardaki veriler alınarak ayrı ayrı toplam ısı transfer katsayısı (U) değerleri hesaplandı. Elektrik sayacı yardımıyla belirli bir süre zarfında sadece ısıtmaya harcanan enerji tüketimi hesaplandı. Kullanılan faz değiştirici malzemenin kış şartları için avantaj sağlayıp sağlamadığı ayrıca oda ısı konforuna katkısı değerlendirildi. Bizi ilgilendiren kısım iç ortam olduğundan dolayı elektrik sayacımız sadece ısıttığımız iç ortama verilen enerji miktarını ölçmektedir. Soğutulan kısmın enerjisi ise şehir şebekesinden sağlanmaktadır.

Çalışma yapacağımız sıcaklık değerleri kış şartları için 4 ayrı durum oluşturularak yapıldı. İç ortam sıcaklığı 23 °C, dış ortam sıcaklığı ise; **1.durum** için 0 °C, **2.durum** için 4 °C, **3.durum** için 8 °C, **4.durum** için 12 °C şeklinde oluşturulmuştur. Çalışılacak sıcaklık değerleri belirlendikten sonra düzeneğin içindeki (iç ortam ve dış ortam) termostat ayarları çalışılacak sıcaklık değerlerine göre ayarlandı. Ayrıca düzeneğin koyduğumuz soğuk hava deposu sıcaklığı da deney düzeneğindeki dış ortam sıcaklığına ayarlanarak çalışma başlatıldı. Her bir durum için ayrı ayrı çalışma yapıldı. Isıl denge şartları, sürekli rejim şartları oluştuktan sonra 24 saat boyunca iki saniyede bir olmak üzere belirlenmiş noktalara yerleştirilen K tipi termokupullar yardımıyla sıcaklık değerleri veri kaydedici tarafından kayıt altına alındı. Düzenekte kullandığımız sayaç yalnızca iç ortam dediğimiz yani rezistansın bulunduğu, ısıtmanın yapıldığı ortama giren enerji miktarını kWh cinsinden ölçmektedir. Başlangıç ve bitiş sayaç değerleri alınarak ortama giren enerji miktarı kWh cinsinden bulundu. Çalışmamızda amacımız; ısı transferinin sadece bir yüzeyden yani FDM' li ve FDM' siz duvar yüzeylerinden gerçekleşmesini sağlamaktır. Isı transferi hesabı yapılırken iç ortamda, taşınım ve ışınlama ısı transferi gerçekleşecektir. Işınlama olan ısı transferini ihmal etmek için de iç ortam olarak adlandırdığımız yüzeyleri (duvar yüzeyleri hariç) alüminyum folyo ile kaplandı. Yukarıda ifade edilen şartların bütünü FDM' li ve FDM' siz duvarlara uygulandı. Deney düzeneğinde ölçümü yapılacak olan veriler; İç ve dış ortam sıcaklığı, duvar iç ve dış yüzey sıcaklığı, iç ortam yan yüzeylerin sıcaklığı, elektrik sayacından okunan değer ve çalışma süresi olarak belirlenmiştir. Bu veriler ışığında hesaplamalar kısmında kullanılacak bağıntılar yardımıyla çeşitli hesaplamalar yapıp tablo ve grafik halinde sunuldu. Yine yukarıda ifade edilen kış şartları için oluşturulan 4 durumda alınan veriler ayrı ayrı çizelgeler oluşturularak sunuldu. Tüm dış yüzeyleri yalıtılmış olan kapalı hacim içerisinde gerçekleştirdiğimiz çalışmamızda, laminar rejimde ve dik yüzeyler için literatürde var olan bizimde referans olarak aldığımız çeşitli bağıntılar yardımıyla hesaplamalar yapıldı. Belirli sıcaklık değerlerinde boyutları 50x50x10 cm olan FDM' li ve FDM' siz duvarlara ait ısı transfer katsayısı ve enerji tüketim miktarları hesaplandı. Ekspande Polistren (EPS) yalıtım malzemesi kullanılarak düzeneğin tüm dış yüzeyleri kaplanmıştır.

Yalıtım malzemesinin ısı iletkenlik değeri 0,033W/mK, ısı ı direnç değeri (R) 1,51 m²K/W, yoğunluğu 14 kg/m³ tür. Isı transferinin sadece incelenmekte olan 50x50x10 cm' lik duvardan gerçekleşmesi amaçlanmaktadır. Her ne kadar diğer duvarlardan gerçekleşen ısı kaybını önlemek için dış yüzeyler yalıtımlı olsada rezistans aracılığıyla ısıtılan ortamdan bir miktar ısı kaybı olmuştur. Isı kayıpları yalnızca yan yüzeylerden gerçekleşmiştir.

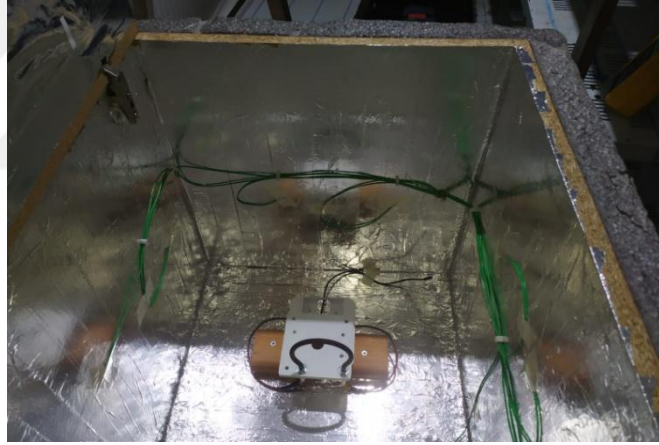
Faz değıştirici malzeme olarak RUBITHERM ürünü RT18HC kullanılmıştır. Faz değıştirici malzemenin termofiziksel özellikleri üretici firmanın belirlemiş olduğu değerler baz alınarak aşağıda tabloda gösterilmiştir. Önceki bölümlerde FDM' nin seçim kriterleri, özellikleri ile ilgili detaylı bilgiler verilmiştir. Burada sadece deneyde kullanılan FDM' ye ait değerler verilmiştir.

Çizelge 3.1 Rubitherm RT18HC Faz değıştirici malzemenin termofiziksel özellikleri [56]

FDM' nin Termofiziksel Özellikleri	
Erime Noktası	17-19 °C
Isı Depolama Kapasitesi	260 kJ/kg
15 °C Katı Yoğunluğu	0.88 kg/l
25 °C Sıvı Yoğunluğu	0.77 kg/l
Özgül Isı Kapasitesi	2 kJ/kg*K
Isıl İletkenlik Değeri	0.2 W/m*K
Alevlenme Noktası	135 °C



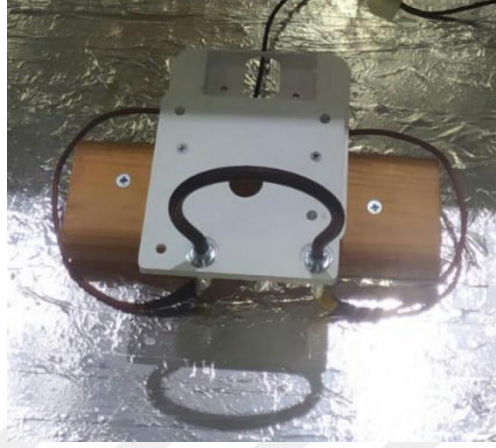
Şekil 3.1 Deney düzeneğinin dıştan görünümü



Şekil 3.2 Deney düzeneğinin içten görünümü

3.1 Deney Düzenğinde Kullanılan Materyaller ve Özellikleri

- 1 adet Rezistans Cr-Ni, Q:6.5mm, 220V, 50W değerinde



Şekil 3.3 Rezistansa ait görüntüler

- 2 adet Dijital termostat,



Şekil 3.4 Dijital termostatların görüntüsü

Deney düzenğinde pano içerisine yerleştirilmiş; 75x33x59mm boyutlarında, 220 V ile çalışan, ölçüm aralığı -50/130 °C arasında olan kompresörü ve rezistansı durdurarak defrost yönetimi sağlayan EVCO ve DRC marka dijital termostat kullanılmıştır.

- 3 adet Tekli şartel (Tekli şartel, 25A)

Isıtma ve soğutma kısmı için 25A değerinde 2 adet SİEMENS marka tekli şartel, ayrıca sistemi korumak adına herhangi bir kaçak akımda sistemin enerjisini kesecek olan yine 25A değerinde SCHİNER marka kaçak akım rölesi kullanılmıştır.

- 2 adet Kontaktör

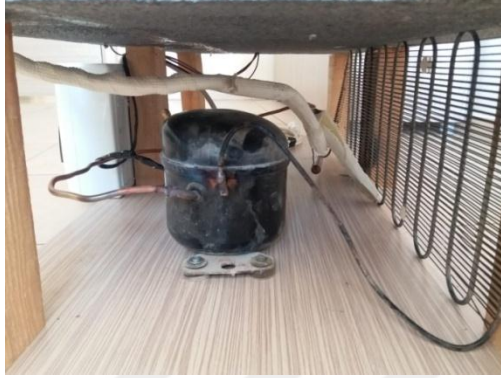
Deneyde kullanmış olduğumuz termostatlara girilen sıcaklık değerine ulaşıldığında kontaktörler aracılığıyla rezistansın veya evaporatörün enerjisini keser, sıcaklık azaldığında tekrar devreye girerek enerji akışı sağlar. Ayrıca termostatları elektrik dalgalanmalarına karşı korur.

- 1 adet Evaporatör 23,5x18x2 cm



Şekil 3.5 Özel olarak imal edilmiş Evaporatöre ait görsel

- 1 adet Kondenser 72x25 cm
- 1 adet Kompresör R-134a gazlı 1/9 HP, Kapasite 112W, $COP_{SM}:1.1$



Şekil 3.6 Kompresör ve kondensere ait görseller

- 5 cm kalınlığında Karbonlu EPS

Ekspande Polistren yalıtım malzemesi kullanılarak düzeneğin tüm dış yüzeyleri kaplanmıştır. Yalıtım malzemesinin ısı iletkenlik değeri 0.033W/mK , ısı direnç değeri (R) $1.51\text{ m}^2\text{K/W}$, yoğunluğu 14 kg/m^3 tür. Isı transferinin sadece incelenmekte olan duvardan gerçekleşmesi amaçlanmaktadır.

- 18 mm kalınlığında Ahşap Malzeme (Sunta)
- 12 adet K tipi Termokopl

Deney düzeneğinden veri almak için 12 kanallı Dataloger ve duvar yüzeylerine yerleştirilen termokopllar kullanılmıştır. Tüm yüzeylerden belli noktalardan sıcaklık ölçümleri yapacağımız için ve deney düzeneğimizin çalışma sıcaklık aralığı minimum $0\text{ }^\circ\text{C}$ ile maksimum $60\text{ }^\circ\text{C}$ arasında olacağından dolayı sıcaklık hassasiyet değeri $0\text{ }^\circ\text{C}$ ile $80\text{ }^\circ\text{C}$ olan özel üretim K tipi termokopl siparişi verildi. Bizim için önemli olan ısıtmanın gerçekleştiği ortamdaki çevre yüzeyler ve duvar iç yüzey sıcaklık verileridir. Bu yüzden soğutmanın olduğu tarafta sadece duvar dış yüzeyinin sıcaklık verileri alınmıştır.

➤ Elektrik Sayacı



Şekil 3.7 Elektrik sayacına ait görseller

➤ Veri Depolayıcı (Dataloger)



Şekil 3.8 Veri depolayıcıya ait görseller

12 Kanallı veri depolama cihazı; 6 farklı termokupl tipi ile uyumlu ve 12 noktadan sıcaklık ölçümü yapabilen, aydınlatmalı dijital ekrana sahip, 1GB ile 16

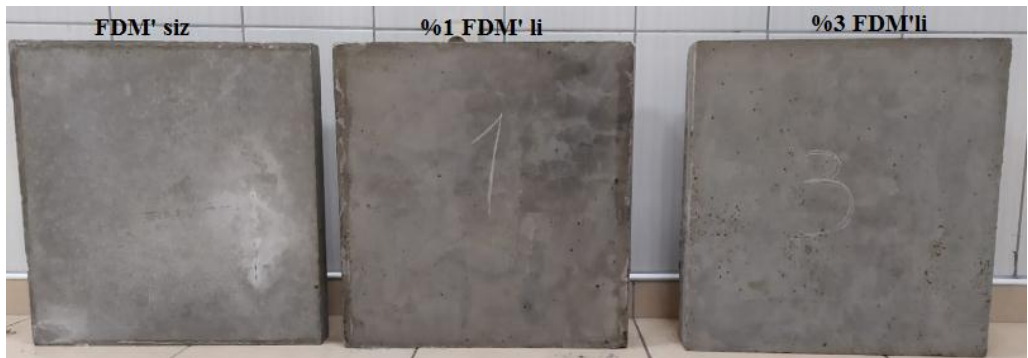
GB arasındaki hafıza kartları ile kullanıma uygun, verileri Excel formatında kaydeden, ölçümlerin süresini programlayabilen 1 saniye ile 3600 saniye arasında değiştirerek veri depolanmasını sağlayan bir cihazdır.

➤ Soğuk Hava Deposu

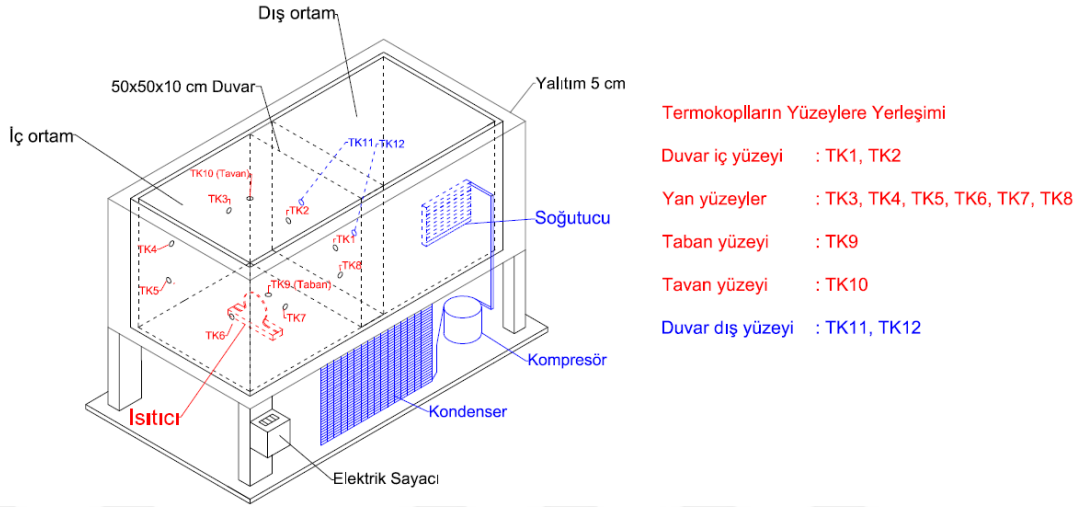


Şekil 3.9 Deney düzeneğimizin soğuk hava deposundaki görselleri

➤ 50x50x10 cm kalınlığında FDM' li ve FDM' siz duvarlar



Şekil 3.10 FDM' li ve FDM' siz duvarlara ait görseller

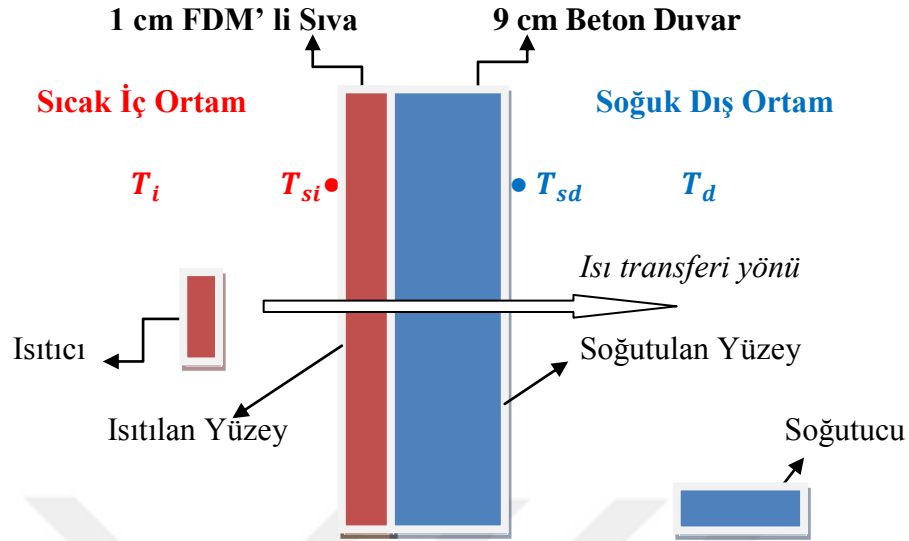


Şekil 3.11 Deney düzeneğinin şematik gösterimi ve termokoplların yerleşimi

Duvar iç yüzeyine; TK1, TK2 olarak kodlanan termokopllar şekilde gösterildiği gibi yerleştirildi. Yan yüzeylere; TK3, TK4, TK5, TK6, TK7, TK8 olarak kodlanan termokopllar, taban yüzeyine TK9, tavana TK10 olarak kodlanan termokopllar yerleştirildi. Dış yüzeyine ise TK11 ve TK12 olarak kodlanan termokopllar yerleştirildi. Ölçümler yapılarak veriler tabloya döküldü.

3.2 Hesaplamalar

Deney düzeneğinin basit görünümü şekil 3.12 de görülmektedir. Isıtıcı rezistanstan sağlanan ısının tamamının duvardan geçmesi için dış yüzeyler yalıtılmıştır. Deney düzeneğini koyduğumuz soğuk hava deposu laboratuvar ortamı olarak adlandırılmıştır. Isıtıcı rezistanstan sağlanan toplam ısı elektrik sayacı kullanılarak bağıntı 3.1 yardımıyla belirlenebilmektedir. Her ne kadar dış yüzeyler yalıtımlı olsada yatay ve düşey yüzeylerden bir miktar ısı kaybı gerçekleşmiştir. Bu ısı kaybı bağıntı 3.2 ve 3.3 yardımıyla belirlenebilmektedir. Her bir durum için ısıl denge sağlandıktan sonra 24 saat süreyle dataloger yardımıyla veriler alınmakta ve belirli süre boyunca harcanan ısı elektrik sayacı tarafından kaydedilmektedir. Buna göre; bağıntı 3.1, 3.2, 3.3 ve 3.4 kullanılarak duvar ısı yükü ve toplam ısı transfer katsayısı belirlenebilir.



Şekil 3.12 Deney düzeneğinin basit bir görünümü

$$q_{toplam} = \frac{Q}{t(\text{saat})} \times 1000 \text{ (W)} \quad (3.1)$$

$$q_{kayıp} = \frac{(T_{si} - T_{ortam})}{\Sigma R} \quad (3.2)$$

$$R_{ahşap} = \frac{L_1}{k_1 A}, R_{yalıtım} = \frac{L_2}{k_2 A}, R_{ortam} = \frac{1}{h_1 A} \quad (3.3)$$

$$q_{net} = U \cdot A \cdot (T_i - T_d) \quad (3.4)$$

q (W) sisteme giren ısı miktarı, U (W/m²K) ısı transfer katsayısı, A (m²) ısının transferinin gerçekleştiği yüzey alanı, T_i (K) iç ortam sıcaklığı, T_{si} (K) duvar iç yüzey sıcaklığı, T_{sd} (K) duvar dış yüzey sıcaklığı, T_d (K) dış ortam sıcaklığı, T_{ortam} (K) laboratuvar ortamı sıcaklığını, k_1 ahşap malzemenin iletim katsayısını, k_2 yalıtım malzemesinin iletim katsayısını, L_1 ve L_2 düşey yüksekliği, h_1 laboratuvar ortamı ısı taşınım katsayısını ifade etmektedir. h_1 değerinin hesaplanması için bağıntı 3.5, 3.6, 3.7 ve 3.8 kullanılmıştır. Isıtılan ortamın duvar iç yüzeyleri alüminyum folyo ile kaplandığından ışıyım göz önüne alınmamıştır. İç ortama giren net ısı miktarı belirlendikten sonra bu ısının tamamı FDM' li ve FDM' siz duvar yüzeylerinden geçtiği kabul edilmiştir.

Literatürde genel olarak Rayleigh sayısının 10^9 ' dan küçük olması durumunda akışın laminar olduğu kabul edilir.

$$Ra = Gr \times Pr \quad (3.5)$$

$$Gr = \frac{g \times \beta \times (T_{si} - T_{ortam}) \times L^3}{\nu^2} \quad (3.6)$$

Bizim çalışmamızda 3.5 ve 3.6 bağıntıları kullanılarak elde edilen Rayleigh değeri 10^9 ' dan daha küçük olduğu için akışın laminar olduğu belirlendi.

Burada L (m) ısı transferinin gerçekleştiği duvarın yüksekliğini ifade etmektedir. β ($\frac{1}{K}$), ısı genleşme katsayısıdır. T_f , dış ortam ile dış yüzeyin sıcaklık ortalamasıdır. g (m/s^2), yerçekimi ivmesidir. Bulunan bu T_f değerine göre hava'nın 1 atm basınçtaki özelliklerine bakılarak, Prandtl sayısı (Pr), iletim katsayısı k (W/mK), kinematik viskozite ν (m^2/s) değerleri elde edildi.

$$\beta = \frac{1}{T_f}, \quad T_f = \frac{T_{ds} + T_{ortam}}{2} \quad (3.7)$$

Yatay ve düşey yüzeylerde elde edilen Rayleigh değerleri bağıntı 2.6, 2.11, 2.12' de yerlerine yazılarak Nusselt değerleri belirlendi. Daha sonra bağıntı 3.8 yardımıyla ısı taşınım katsayısı belirlenerek bağıntı 3.2 ve 3.3 yardımıyla yatay ve düşey yüzeylerdeki kayıp ısı miktarı hesaplandı.

$$Nu = \frac{h_c \times L}{k} = c \cdot Ra^m \quad (3.8)$$

4.BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu bölümde FDM' li ve FDM' siz duvarlara ait veriler, hesaplamalar sonucu elde ettiğimiz sayısal değerler, bu değerlere bağlı olarak oluşturulmuş şekiller ve çizelgeler yorumlanmıştır.

4.1 FDM' siz Duvarda Yapılan Ölçümlere Ait Veriler

İlk olarak FDM' siz duvar, yukarıda bahsettiğimiz 4 farklı durum için deney düzeneğinde bitişik iki oda arasına yerleştirilerek veriler alınmaya başlandı. Elde edilen veriler tablo haline getirilerek sırasıyla aşağıda sunulmuştur. Daha sonra sırasıyla %1 FDM' li duvar ve %3 FDM' li duvara ait veriler alınacaktır.

Çizelge 4.1 0 °C dış sıcaklık için FDM' siz duvarda elde edilen veriler

İç Ortam Sıcaklığı	23 °C
Dış Ortam Sıcaklığı	0 °C
Duvar İç Yüzey sıcaklığı	16.83 °C
Duvar Dış Yüzeyi Sıcaklığı	11.71 °C
Yan Yüzeyler Sıcaklık Ortalamaları	22.87 °C
Sayaçtan Okunan Değer	0.275 kWh
Çalışma Süresi	24 saat

Çizelge 4.2 4 °C dış sıcaklık için FDM' siz duvarda elde edilen veriler

İç Ortam Sıcaklığı	23 °C
Dış Ortam Sıcaklığı	4 °C
Duvar İç Yüzey sıcaklığı	17.02 °C
Duvar Dış Yüzeyi Sıcaklığı	13.00 °C
Yan Yüzeyler Sıcaklık Ortalamaları	22.00 °C
Sayaçtan Okunan Değer	0.21 kWh
Çalışma Süresi	24 saat

Çizelge 4.3 8 °C dış sıcaklık için FDM' siz duvarda elde edilen veriler

İç Ortam Sıcaklığı	23 °C
Dış Ortam Sıcaklığı	8 °C
Duvar İç Yüzey sıcaklığı	17.28 °C
Duvar Dış Yüzeyi Sıcaklığı	14.48 °C
Yan Yüzeyler Sıcaklık Ortalamaları	21.02 °C
Sayaçtan Okunan Değer	0.14 kWh
Çalışma Süresi	24 saat

Çizelge 4.4 12 °C dış sıcaklık için FDM' siz duvarda elde edilen veriler

İç Ortam Sıcaklığı	23 °C
Dış Ortam Sıcaklığı	12 °C
Duvar İç Yüzey sıcaklığı	17.76 °C
Duvar Dış Yüzeyi Sıcaklığı	16.24 °C
Yan Yüzeyler Sıcaklık Ortalamaları	19.82 °C
Sayaçtan Okunan Değer	0.07 kWh
Çalışma Süresi	24 saat

Çizelge 4.5 FDM' siz duvara ait sıcaklık verileri ve elde edilen değerler

Ölçülen Veriler		1.Durum	2.Durum	3.Durum	4.Durum
FDM' siz Duvara Ait Veriler	İç Ortam	23 °C			
	Dış Ortam	0 °C	4 °C	8 °C	12 °C
	Duvar İç Yüzey	16.83 °C	17.02 °C	17.28 °C	17.76 °C
	Duvar Dış Yüzey	11.71 °C	13.00 °C	14.48 °C	16.24 °C
	Yan Yüzeyler	22.87 °C	22.00 °C	21.02 °C	19.82 °C
	Giren Enerji	0.275 kWh	0.21 kWh	0.14 kWh	0.07 kWh
	Çalışma Süresi	24 saat			

4.2 % 1 FDM' li Duvarda Yapılan Ölçümlere Ait Veriler

Çizelge 4.6 0 °C dış sıcaklık için % 1 FDM' li duvarda elde edilen veriler

İç Ortam Sıcaklığı	23 °C
Dış Ortam Sıcaklığı	0 °C
Duvar İç Yüzey sıcaklığı	17.56 °C
Duvar Dış Yüzeyi Sıcaklığı	12.35 °C
Yan Yüzeyler Sıcaklık Ortalamaları	21.9 °C
Sayaçtan Okunan Değer	0.23 kWh
Çalışma Süresi	24 saat

Çizelge 4.7 4 °C dış sıcaklık için % 1 FDM' li duvarda elde edilen veriler

İç Ortam Sıcaklığı	23 °C
Dış Ortam Sıcaklığı	4 °C
Duvar İç Yüzey sıcaklığı	17.82 °C
Duvar Dış Yüzeyi Sıcaklığı	13.34 °C
Yan Yüzeyler Sıcaklık Ortalamaları	21.43 °C
Sayaçtan Okunan Değer	0.17 kWh
Çalışma Süresi	24 saat

Çizelge 4.8 8 °C dış sıcaklık için % 1 FDM' li duvarda elde edilen veriler

İç Ortam Sıcaklığı	23 °C
Dış Ortam Sıcaklığı	8 °C
Duvar İç Yüzey sıcaklığı	18.02 °C
Duvar Dış Yüzeyi Sıcaklığı	15.09 °C
Yan Yüzeyler Sıcaklık Ortalamaları	20.65 °C
Sayaçtan Okunan Değer	0.11 kWh
Çalışma Süresi	24 saat

Çizelge 4.9 12 °C dış sıcaklık için % 1 FDM' li duvarda elde edilen veriler

İç Ortam Sıcaklığı	23 °C
Dış Ortam Sıcaklığı	12 °C
Duvar İç Yüzey sıcaklığı	18.25 °C
Duvar Dış Yüzeyi Sıcaklığı	16.51 °C
Yan Yüzeyler Sıcaklık Ortalamaları	19.57 °C
Sayaçtan Okunan Değer	0.05 kWh
Çalışma Süresi	24 saat

Çizelge 4.10 % 1 FDM'li duvara ait sıcaklık verileri ve elde edilen değerler

Ölçülen Veriler		1.Durum	2.Durum	3.Durum	4.Durum
% 1 FDM' li Duvara Ait Veriler	İç Ortam	23 °C			
	Dış Ortam	0 °C	4 °C	8 °C	12 °C
	Duvar İç Yüzey	17.56 °C	17.82 °C	18.02 °C	18.25 °C
	Duvar Dış Yüzey	12.35 °C	13.34 °C	15.08 °C	16.51 °C
	İç Ortam Yan Yüzeyler	21.9 °C	21.43 °C	20.65 °C	19.57 °C
	Giren Enerji	0.23 kWh	0.17 kWh	0.11 kWh	0.05 kWh
	Çalışma Süresi	24 saat			

4.3 %3 FDM' li Duvarda Yapılan Ölçümlere Ait Veriler

Çizelge 4.11 0 °C dış sıcaklık için % 3 FDM' li duvarda elde edilen veriler

İç Ortam Sıcaklığı	23 °C
Dış Ortam Sıcaklığı	0 °C
Duvar İç Yüzey sıcaklığı	18.12 °C
Duvar Dış Yüzeyi Sıcaklığı	11.79 °C
Yan Yüzeyler Sıcaklık Ortalamaları	21.95 °C
Sayaçtan Okunan Değer	0.20 kWh
Çalışma Süresi	24 saat

Çizelge 4.12 4 °C dış sıcaklık için % 3 FDM' li duvarda elde edilen veriler

İç Ortam Sıcaklığı	23 °C
Dış Ortam Sıcaklığı	4 °C
Duvar İç Yüzey sıcaklığı	18.38 °C
Duvar Dış Yüzeyi Sıcaklığı	13.51 °C
Yan Yüzeyler Sıcaklık Ortalamaları	21.25 °C
Sayaçtan Okunan Değer	0.15 kWh
Çalışma Süresi	24 saat

Çizelge 4.13 8 °C dış sıcaklık için % 3 FDM' li duvarda elde edilen veriler

İç Ortam Sıcaklığı	23 °C
Dış Ortam Sıcaklığı	8 °C
Duvar İç Yüzey sıcaklığı	18.49 °C
Duvar Dış Yüzeyi Sıcaklığı	15.07 °C
Yan Yüzeyler Sıcaklık Ortalamaları	20.62 °C
Sayaçtan Okunan Değer	0.09 kWh
Çalışma Süresi	24 saat

Çizelge 4.14 12 °C dış sıcaklık için % 3 FDM' li duvarda elde edilen veriler

İç Ortam Sıcaklığı	23 °C
Dış Ortam Sıcaklığı	12 °C
Duvar İç Yüzey sıcaklığı	18.52 °C
Duvar Dış Yüzeyi Sıcaklığı	16.71 °C
Yan Yüzeyler Sıcaklık Ortalamaları	19.62 °C
Sayaçtan Okunan Değer	0.042 kWh
Çalışma Süresi	24 saat

Çizelge 4.15 % 3 FDM' li duvara ait sıcaklık verileri ve elde edilen değerler

Ölçülen Veriler		1.Durum	2.Durum	3.Durum	4.Durum
% 3 FDM' li Duvara Ait Veriler	İç Ortam	23 °C			
	Dış Ortam	0 °C	4 °C	8 °C	12 °C
	Duvar İç Yüzey	18.12 °C	18.38 °C	18.49 °C	18.52 °C
	Duvar Dış Yüzey	11.79 °C	13.51 °C	15.07 °C	16.71 °C
	İç Ortam Yan Yüzeyler	21.95 °C	21.25 °C	20.62 °C	19.62 °C
	Giren Enerji	0.2 kWh	0.15 kWh	0.09 kWh	0.042 kWh
	Çalışma Süresi	24 saat			

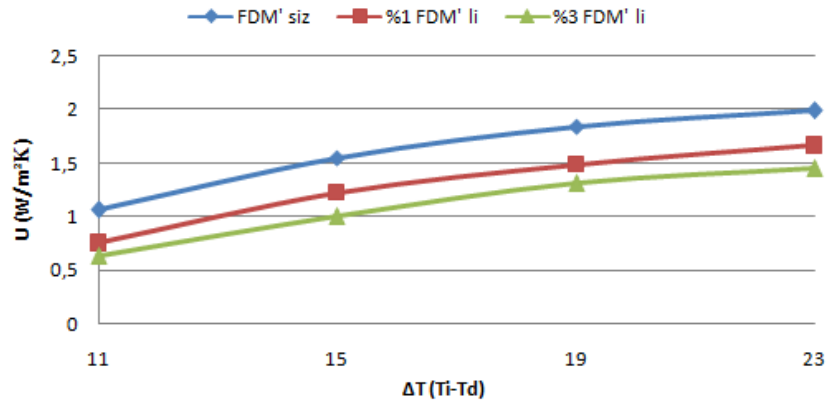
FDM' lerin ısı depolama amacıyla yapı malzemelerinde kullanılmasının getirdiği avantajlar ve FDM' li, FDM' siz duvarların 0.25 m² alan için günlük ısıtma yüküne sağladığı katkı çizelge 4.16' da gösterilmiştir. FDM' nin iç yüzeyde olması durumundaki çalışmada en düşük enerji kullanımının 4. durumda gerçekleştiği, FDM' nin arttırılmasının enerji tüketim miktarını düşürdüğü gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.16 Isıtılan iç ortam için harcanan enerji miktarları (Wh)

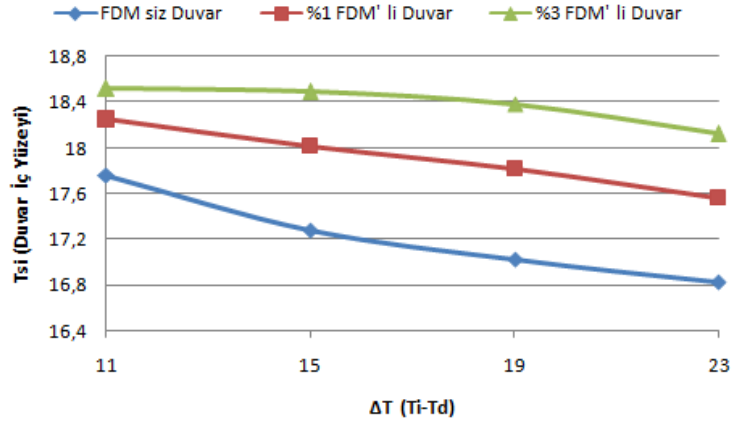
	İç Ortam Sıcaklığı	Dış Ortam Sıcaklığı	FDM' siz	%1 FDM' li	%3 FDM' li
1. Durum	23 °C	0 °C	275	230	200
2. Durum	23 °C	4 °C	210	170	150
3. Durum	23 °C	8 °C	140	110	90
4. Durum	23 °C	12 °C	70	50	42

Çizelge 4.17 FDM' li ve FDM' siz duvarlara ait U (W/m²K) değerleri

	Sıcaklık Değerleri	FDM' siz	%1 FDM' li	%3 FDM' li
1. Durum	$\Delta T = 23 \text{ }^{\circ}\text{C}$	1.99	1.66	1.45
2. Durum	$\Delta T = 19 \text{ }^{\circ}\text{C}$	1.84	1.49	1.31
3. Durum	$\Delta T = 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$	1.55	1.22	1
4. Durum	$\Delta T = 11 \text{ }^{\circ}\text{C}$	1,06	0.75	0.63

Şekil 4.1 FDM' li ve FDM' siz duvarlara ait U (W/m²K) değerleri

Toplam ısı transfer katsayı değerlerine ait verileri inceleyecek olursak, FDM' siz duvardaki U (W/m²K) değerinin FDM' li duvarlara kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. FDM oranının artırılması U (W/m²K) değerinin daha da düşmesini sağlamıştır. 4. durum için % 3 FDM' li duvarın en düşük U (W/m²K) değerine sahip olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.2 FDM' li ve FDM' siz duvarlara ait duvar iç yüzey sıcaklık değişimleri

İç ve dış ortam sıcaklık farkına bağlı olarak duvar iç yüzey sıcaklığının FDM miktarının artmasıyla artış gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca FDM miktarının arttırılması iç ortam sıcaklık dalgalanmasını azaltıcı yönde etkisi olmuştur. FDM' siz duvara göre FDM' li duvardaki iç yüzey sıcaklığının 1.36 °C daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

5.SONUÇLAR ve ÖNERİLER

110x50x50 cm boyutlarındaki deney düzeneğimizi 10 cm kalınlığında FDM' li ve FDM' siz duvarlar ile ikiye ayırarak ısıtılan iç ortam, soğutulan dış ortam şeklinde iki ayrı oda oluşturulmuştur. 4 farklı sıcaklık durumu için Adıyaman' ın son on yıldaki kış şartlarındaki sıcaklık değerlerinin ortalaması alınarak belirli sıcaklık aralıkları oluşturulmuş, bu sıcaklık aralıklarında FDM' siz, % 1 FDM' li, % 3 FDM' li duvarlar ayrı ayrı test edilmiştir. Elde edilen verilerden yola çıkarak çeşitli bağıntılar yardımıyla hesaplamalar yapılmıştır. Sonuç olarak FDM' lerin ısı depolama amacıyla yapı malzemelerinde kullanılmasının avantaj sağladığı, alan ısıtılmasında tüketilen enerji miktarını olumlu yönde etkilediği, FDM' nin miktarı artırıldığında da tüketilen enerji miktarının azaldığı, toplam ısı transfer katsayısının düştüğü, FDM' siz duvara göre FDM' li duvar iç yüzey sıcaklık değerinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

FDM' siz duvar için toplam ısı transfer katsayısı, U (W/m^2K) değerinin iç ve dış ortam sıcaklık farkına bağlı olarak 1.06 ile 1.99 değerleri aralığında ΔT ' nin artmasıyla doğru orantılı bir şekilde arttığı görülmüştür.

%1 FDM' li duvar için toplam ısı transfer katsayısı, U (W/m^2K) değerinin iç ve dış ortam sıcaklık farkına bağlı olarak 0.75 ile 1.66 değerleri aralığında ΔT ' nin artmasıyla doğru orantılı bir şekilde arttığı görülmüştür.

%3 FDM' li duvar için toplam ısı transfer katsayısı, U (W/m^2K) değerinin iç ve dış ortam sıcaklık farkına bağlı olarak 0.63 ile 1.45 değerleri aralığında ΔT ' nin artmasıyla doğru orantılı bir şekilde arttığı görülmüştür.

Görüldüğü gibi FDM' li duvarda U (W/m^2K) değerinin daha düşük olduğu, buradaki değişim dış ortam sıcaklığına bağlı olarak incelendiğinde FDM' siz duvara göre, %1 FDM' li duvarda %16 ile %29 arasında, %3 FDM' li duvarda %27 ile %40.5 arasında U (W/m^2K) değerinde bir düşüş olduğu görülmüştür. Kış şartlarının ılıman geçtiği, sıcaklığın sıfırın altına fazla inmediği bölgelerde toplam ısı transfer

katsayısının, U (W/m^2K) değerindeki düşüşün daha yüksek olduğu, soğuk olan bölgelerde ise U (W/m^2K) değerindeki düşüşün daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Kış şartlarının ağır geçtiği bölgelerde nispeten daha az avantaj sağlayacağı tespit edilmiştir.

Dış ortam sıcaklığına bağlı olarak enerji tüketim miktarları incelendiğinde; FDM' siz duvarın enerji tüketimi 70 ile 275 Wh arasında değiştiği, %1 FDM' li duvarın 50 ile 230 Wh arasında değiştiği, %3 FDM' li duvarın 42 ile 200 Wh arasında değiştiği görülmüştür. FDM' siz duvara göre %1 FDM' li duvarda %16.3 ile %28.6 arasında, %3 FDM' li duvarda %27 ile %40 arasında enerji tüketiminde bir düşüş olduğu görülmüştür.

FDM oranının artmasıyla tüketilen enerji miktarının azaldığı gözlemlenmiştir. En düşük enerji tüketiminin %3 FDM' li duvarda gerçekleştiği, en düşük toplam ısı transfer katsayısının %3 FDM' li duvarda gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Duvar iç yüzey sıcaklıkları incelendiğinde, FDM' siz duvara göre %1 FDM' li duvarın iç yüzey sıcaklığının 0.8 °C daha yüksek olduğu, %3 FDM' li duvarın iç yüzey sıcaklığının 1.36 °C daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Faz değiştirici malzemelerin yapılarda kullanılırken duvardan sızma, duvarın nemlenmesi ve toksik etki yaratmasının önüne geçebilmek için kapsüllenmiş şekilde faz değiştirici malzemelerin kullanımını uygundur.

Bu çalışmada küçük boyutlu bir deney düzeneği oluşturularak çalışma yapılmıştır. Tam ölçekli gerçek bir binada FDM' lerin kullanılmasının da katkı sağlayacağı muhtemeldir. Gerçek ölçekli binalarda uygulanmasının ciddi oranda maliyete neden olacağı düşünülmektedir. Yapılarda kullanıma uygun halde FDM üretimi yapan firmaların birçoğunun yurt dışı kaynaklı olması malzeme maliyetinin yanında lojistik kaynaklı maliyetlere de neden olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] V. Bektaş, A.E. Çerçevik, S.Y. Kandemir, “Binalarda Isı Yalıtımının Önemi ve Isı Yalıtım Malzemesi Kalınlığının Yalıtıma Etkisi”, *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 4, no. 1, pp. 36-42, 2017.
- [2] D.B. Özkan, C. Onan, S. Erdem, “Effect of Insulation Material Thickness on Thermal Insulation”, *Journal of Engineering and Natural Sciences, Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi Sigma* vol. 27, pp. 190-196, 2009.
- [3] “Ülkemizin Enerji İstatistikleri”, <http://www.tuik.gov.tr/>, [ErişimTarihi: 17-Haziran-2019].
- [4] H.Doğan, N. Yılankırkan “Türkiyenin enerji verimliliği potansiyeli ve projeksiyonu” *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Tasarım Ve Teknoloji*, vol. 3, no. 1, pp. 375-383, 2015.
- [5] P. Arce, M. Medrano, A. Gil, E. Oró, L.F. Cabeza, “Overview of thermal energy storage (TES) potential energy savings and climate change mitigation in Spain and Europe”, *Applied Energy*, vol. 88, pp. 2764-2774, 2011.
- [6] J. Heier, C. Bales, V. Martin “Combining thermal energy storage with buildings a review” *Renewable Sustainable Energy Reviews*, vol. 42, pp. 1305-1325, 2015.
- [7] I. Dincer, M.A. Rosen, “Thermal Energy Storage, Systems and Application”, *John Wiley & Sons*, Chichester, United Kingdom, 2002.
- [8] “Doğal Gaz Piyasası 2019 Yılı Sektör Raporu”, *EPDK*, www.epdk.gov.tr. [Erişim tarihi: 29-Mayıs-2019].
- [9] “Doğalgaz Piyasası Sektör Raporu”, *EPDK*, <https://www.etpd.org.tr>. [Erişim tarihi: 26-Mayıs-2019].

- [10] Ö. Yaman, Ö. Şengül, H. Selçuk, O. Çalikuş, İ. Kara, Ş. Erdem, D. Özgür, “Binalarda Isı Yalıtımı Ve Isı Yalıtım Malzemeleri”, *İMO yapı malzemeleri komisyonu*, pp. 62-75, TMH-487, 2015.
- [11] M. Kaya, İ. Fırat, Ö. Çomaklı “Erzincan İlindeki Binalarda Isı Yalıtımının Enerji Tasarrufuna Etkisinin Ekonomik Analizi”, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, vol. 36, no. 1, pp. 47-55, 2016.
- [12] A.K. Dağsöz, *Türkiye’de Yapıların Yalıtımı ve Yalıtım Sanayinin Durumu*. İstanbul: İTO Yayınları, 1999.
- [13] M. Gölcü, Ö.A. Dombaycı, S. Abalı “Denizli İçin Optimum Yalıtım Kalınlığının Enerji Tasarrufuna Etkisi ve Sonuçları” *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Der.* vol. 21, no. 4, pp. 639-644, 2006.
- [14] M. Özel, K. Pıhtılı “Determination of Optimum Insulation Thickness By Using Heating and Cooling Degree-Day Values”, *Journal of Engineering and Natural Sciences*, vol. 26, pp. 191-197, 2008.
- [15] “İllere göre ısı yalıtım kalınlığı”, *GN yapı*, <https://www.gnyapi.com.tr/illere-gore-isi-yalitim-kalinliklari/>, [Erişim tarihi: 29-Mayıs-2019].
- [16] “Adıyaman İl Özel İdaresi”, <http://www.adiyamanozelidare.gov.tr/cografı-yapı>, [Erişim tarihi: 29-Mayıs-2020].
- [17] A.Sarı “Faz Değişimi Yoluyla Isıl Enerjinin Depolanması ve Bu Alanda Yapılan Çalışmalar” *Kimya Çalıştayı*, Çanakkale, 2011, pp. 1-68.
- [18] M. Kozak, Ş. Kozak, “Enerji depolama Yöntemleri”, *SDÜ International Technologic Science*, vol. 4, no 2, pp. 17-29, 2012.
- [19] Y. Konuklu, “Mikrokapsüllenmiş Faz Değiştiren Maddelerde Termal Enerji Depolama ile Binalarda Enerji Tasarrufu”, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, 2008.

- [20] S.A. Şeyma, “Faz Değiştirici Maddeler ve Uygulamaları”, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, 2014.
- [21] Y. Özönur, “Düşük sıcaklıkta termal enerji depolamasına uygun faz değiştiren maddelerin mikro kapsüllenmesi”, Yüksek lisans tezi, Çukurova Üniversitesi, 2004.
- [22] H. Öztürk, “Sera ısıtma için güneş enerjisinin faz değiştiren maddelerde depolanması üzerine bir araştırma”, Doktora tezi, Çukurova Üniversitesi, 1997.
- [23] Y. Sarıkaya, *Fizikokimya*. Ankara: Gazi kitapevi, 2000.
- [24] İ. Ayçam, M. Kınalı, “Ofis Binalarında Yeşil Çatıların Isıtma ve Soğutma Yüklerine Olan Etkilerinin Analizi”, *Tesisat Mühendisliği*, vol. 135, pp. 26-34, 2013.
- [25] M. Iten, S. Liu, “A workprocedure of utilising PCMs as thermal storage systems based on air-TES systems”, *Energy Conversion and Management*, vol. 77, pp. 608-627, 2014.
- [26] T. Khadiran, M.Z. Hussein, Z. Zainal, R. Rusli, “Advanced energy storage materials for building applications and their thermal performance characterization: A review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 57, pp. 916-928, 2016.
- [27] M.K. Rathod, J. Banerjee, “Thermal stability of phase change materials used in latent heat energy storage systems: A review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 18, pp. 246-258, 2013.
- [28] D.Zhou, C.Y. Zhao, Y.Tian “Review on thermal energy storage with phase change materials (PCMs) in building applications”, *Applied Energy* vol. 92, pp. 593-605, 2012.
- [29] Y. Zhang, G. Zhou, K. Lin, Q. Zhang, ve H. Di, Application of latent heat thermal energy storage in buildings: state-of-the-art and outlook. *Building and Environment*, vol. 42, pp. 2197-2209, 2007.
- [30] M. Z. Yılmazoğlu, “Isıl Enerji Depolama Yöntemleri ve Binalarda Uygulanması”, *Politeknik Dergisi*, vol. 13, no. 1, pp.33-42, 2010.

- [31] A. Sharma, V.V. Tyagi, C.R. Chen, D. Buddhi, "Review on thermal energy storage with phase change materials and applications", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 13, pp. 318-345, 2009.
- [32] A.A. Aydın "Faz Değişim Malzemeleri ve Isı Enerjisinin Depolanması", Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2010.
- [33] R. Farkas, Z. Andrassy, "Using of Phase Change Materials in Building Energy Systems", MSc. Student, BME, 2015, pp. 1-8.
- [34] L. Shilei, Z. Neng, F. Guohui, "Impact of phase change wall room on indoor thermal environment in winter", *Energy and Buildings*, vol. 38, no. 1, pp. 18-24, 2006.
- [35] Ayça Tokuç, "Faz Değişim Malzemelerinin Isıl Enerji Depolama Amacıyla Yapı Elemanlarında Kullanılması", Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, 2013.
- [36] Y. Konuklu, H.Ö. Paksoy, "Faz Değiştiren Maddeler ile Binalarda Enerji Verimliliği", *10. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, 2011, pp. 919-930.
- [37] A. Daloğlu, "Isı Yalıtımında Faz Değiştiren Malzeme Kullanımı", *10. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, 2011, pp. 933-940.
- [38] M. Koşan ve M. Aktaş, "Faz değiştiren malzemelerle termal enerji depolayan bir ısı değiştiricisinin sayısal analizi", *Politeknik Dergisi*, vol. 21, pp. 403-409, 2018.
- [39] E. Küçükaltun, "Faz Değiştiren Malzemelerin Paketlenmesinde Kullanılmak Üzere Geliştirilmiş Yüksek Isıl İletkenlikli Polietilen terefitalat Polimeri Sentezi", Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, 2016.
- [40] A. Zamalloa, M. J. Embil, J. Zuniga, O. Zubillaga, F. Cano, I. Flores, "PCM containing indoor plaster for thermal comfort and energy saving in buildings", *EFFSTOCK 2009 Proceedings of 10th International Conference on Thermal Energy Storage*, Stockholm, İsveç, 2009.

- [41] L.F. Cabeza, C. Castellon, M. Nogues, M. Medrano, R. Leppers, O. Zubillaga “Use of microencapsulated PCM in concrete walls for energy savings”, *Energy and Buildings*, vol. 39, pp:113–119, 2007.
- [42] P. Schossig, H.M. Henning, S. Gschwander, T. Hausmann, “Micro-encapsulated phase-change materials integrated into construction materials” *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 89, no. 2-3, pp. 297-306, 2004.
- [43] F. Ascione, N. Bianco, R.F. De Masi, F. de’ Rossi, G.P. Vanoli, “Energy refurbish-ment of existing buildings through the use of phase change materials: energysavings and indoor comfort in the cooling season”, *Applied Energy*, vol. 113 pp. 990–1007, 2014.
- [44] X. Shi, S.A. Memon, W. Tang, H. Cui, F. Xing, “Experimental assessment of position of macro encapsulated phase change material in concrete walls on indoor temperatures and humidity levels”, *Energy and Buildings*, vol. 71, pp. 80–87, 2014.
- [45] A. E. Ouni, S. Drissi, J. Colin, J. Neji, S. Care, “Experimental and multi-scale analysis of the thermal properties of Portland cement concretes embedded with microencapsulated Phase Change Materials (PCMs)”, *Applied Thermal Engineering*, vol. 64, no. 1–2, pp. 32–39, 2014.
- [46] Ö. Açıkgöz, “Duvarlarından Isıtılan ve Soğutulan Kapalı Hacimlerde Doğal Taşımının İncelenmesi”, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2013.
- [47] ASHRAE Handbook Fundamentals, ISBN 978-1-61583-170-8, American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers Inc., Atlanta, 2009.
- [48] Fohanno Stephane, Guillaume Polidori, “Modelling of natural convective heat transfer at an internal surface”, *Energy and Buildings*, vol. 38, no. 5, pp. 548-553, 2006.
- [49] H. Yüncü ve S. Kakaç, *Temel Isı Transferi*. Ankara: Bilim Kitapevi, 1999.

- [50] T. Fusegi, J.M. Hyun, K. Kuwahara, “Three-dimensional simulations of natural convection in a sidewall-heated cube”, *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, vol. 13, pp. 857-867, 1991.
- [51] A. Bairy, “Nusselt–Rayleigh correlations for design of industrial elements: experimental and numerical investigation of natural convection in tilted square air filled enclosures”, *Energy Conversion and Management*, vol. 49, pp. 771–782, 2008.
- [52] N.C. Markatos, K.A. Pericleous, “Laminar and turbulent natural convection in an enclosed cavity”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 27, pp. 755-772, 1984.
- [53] R. Karadağ, İ. Teke, “ Tabandan Isıtmada Duvar Isıl Şartlarının Taban Nusselt Sayısına Etkisi”, *Journal of Engineering and Natural Science*, vol. 3, pp. 84-93, 2004.
- [54] T. Tsuji, Y. Nagano, “Characteristics of a turbulent natural convection boundary layer along a vertical flat plate”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 31, pp. 1723–1734, 1988.
- [55] Y.A. Çengel, *Heat Transfer*. McGraw-Hill, 2003.
- [56] “Phase Change Material”, Rubitherm.eu, <https://www.rubitherm.eu>, [Erişim Tarihi: 04-04-2021].