

**FAZ DEĞİŞTİREN MADDELERLE DUVAR ISIL
YALITIMININ DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI**

Murat ÇEVİK

Yüksek Lisans Tezi

**Makine Eğitimi Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Mehmet ESEN**

OCAK-2012

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FAZ DEĞİŞTİREN MADDELERLE DUVAR
ISIL YALITIMININ DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Murat ÇEVİK
Enstitü No: 08219103

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 17 Ocak 2012

Tezin Savunulduğu Tarih: 01 Şubat 2012

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mehmet ESEN (F.Ü)
Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Cengiz YILDIZ (F.Ü)
Yrd. Doç. Dr. Celal SARSILMAZ (F.Ü)

OCAK-2012

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezi olarak hazırlamış olduğum bu çalışma, gizli ısı depolamalı duvardan ısı yalıtımının incelenmesi hakkında deneysel olarak yapılmış bir araştırmadır. Bu çalışma ile faz değıştiren maddelerle binalarda duvardan ısı yalıtımının yapılabilme imkânının araştırılması hedeflenmiştir.

Bu çalışmada, beni yönlendiren ve yardımcı olan değerli danışman hocam Doç. Dr. Mehmet ESEN'e, deney setimin hazırlanmasında ve deneylerimin yapılışında yardımlarını esirgemeyen Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Araştırma Görevlilerine, teknisyenlerine ve de maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Murat ÇEVİK

ELAZIĞ – 2012

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
TABLolar LİSTESİ	VIII
ÇİZELGELER LİSTESİ	IX
SEMBOLLER LİSTESİ	X
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Termal Enerji Depolama Yöntemleri (TED).....	2
1.1.1. Duyulur Isı Depolama	4
1.1.1.1. Sıvı Bazlı Duyulur Isı Depolama Maddeleri	5
1.1.1.2. Katı Bazlı Duyulur Isı Depolama Maddeleri	5
1.1.2. Gizli Isı Depolama.....	6
1.1.3. Termokimyasal Yöntemle Isı Depolama.....	9
1.2. Faz Değiştiren Maddeler (FDM).....	10
1.2.1. Parafinler	11
1.2.2. Yağ Asitleri	13
1.2.3. Tuz Hidratları	13
1.2.4. Ötektik Karışımlar	14
1.3. Faz Değiştiren Madde Seçimindeki Önemli Konular	15
1.3.1. Faz Değişim Sıcaklığı.....	16
1.3.2. Faz Değişim Isısı	16
1.3.3. Faz Ayrımı ve Aşırı Soğuma	16
1.3.4. FDM nin Kimyasal Özellikleri	16
1.3.5. FDM'nin Ekonomik Özellikleri	17
1.4. Soğutma Uygulamalarında FDM'ler	17
1.5. Yalıtım.....	18
1.5.1. Isı Transferi ve Yalıtım	19
1.5.2. Isı Yalıtımını Gerekli Yapan Nedenler	20

1.5.3.	Isı Yalıtımının Teorik Esası	21
1.5.4.	Binalarda Isı Yalıtımı	23
1.5.5.	Türkiye Yalıtım Sektörünün Gelişimi ve Mevcut Durumu.....	24
1.5.6.	Sektördeki Yasal Düzenlemeler Ve Kanunlar.....	27
2.	MATERYAL ve METOD	28
2.1.	Test Odaları ve Deneysel Çalışma	28
3.	BULGULAR, SONUÇLAR ve TARTIŞMA	31
4.	ÖNERİLER	37
	KAYNAKLAR	38
	ÖZGEÇMİŞ	42

ÖZET

Bina duvarlarında ısı yalıtım kabiliyetinin artırılması, düzlem duvarların en büyük güneş ısı kazancını aldığı sıcak ve nemli iklimlerdeki binaların enerji dönüşümünde anahtar bir konudur. Çalışmanın amacı, Türkiye'nin güneydoğusundaki duvar konstrüksiyonunun ısı performansını iyileştirecek bir duvar ısı yalıtım alternatifi sağlamaktır. Bu konuda fazla bilgi bulunmamaktadır.

Bu amaçla iki adet özdeş test odası tasarlanıp yan yana inşa edildi. Test odalarının duvar üstlerinden biri FDM doldurulmuş polikarbonat şeffaf malzeme ile kaplanmış. Günün tipik açık yaz günlerinde aynı anda güneş ışınımına maruz bırakıldılar. Deneyler klasik tuğla ile örülmüş bir duvara FDM ile yapılan yalıtımın duvar ısı karakteristiği üzerindeki etkilerini araştırmak için gerçekleştirildi. FDM eklenmiş duvar FDM eklenmemiş duvardan daha iyi bir günlük ısı yalıtım etkisi sergiledi. FDM eklenmiş duvar, dış hava sıcaklığının düştüğü geceleyin daha efektif bir iç ısı koruma sağlayabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Isı yalıtımı, Pasif soğutma, Gizli ısı depolama, Faz değiştiren madde (FDM), Güneş enerjisi

SUMMARY

Experimental Investigation of Wall Thermal-Insulation by Phase Change Materials

The enhancement of wall thermal-insulation capability is a key issue in energy conservation for buildings in hot and humid climates, where wall receive the greatest solar heat gain. The objective of the study is to provide insights into a wall thermal-insulation alternative that will improve the thermal performance of wall construction in southeast Turkey.

For this purpose, two identical test rooms were designed, constructed, and located nearby in field. One of their walls was covered by PCM-filled polycarbonate covered with transparent material. They were exposed to solar radiation at the same time on typically clear summer days. Experiments have been performed to investigate the effects of adding PCM to conventional hollow thermal-insulation bricks on thermal characteristics of walls. PCM-treated wall had a better daytime thermal insulation effect than one of PCM-untreated. PCM-treated wall can provide more effective indoor heat preservation at night when temperatures fall outdoors.

Keywords: Thermal insulation, Passive cooling, Latent heat storage, Phase change material (PCM), Solar energy

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Isı depolamasında uygulanan yöntemler.....	3
Şekil 1.2a. FDM uygulamaları (www.fskab.com/Annex17).....	10
Şekil 1.2b. FDM uygulamaları (www.fskab.com/Annex17).....	11
Şekil 1.3. Yapıyı çevreleyen dış duvarların içinde, yalıtımlı ve yalıtımsız durumlar için oluşan sıcaklık profilleri.....	23
Şekil 2.1. Deneyler için inşa edilen test odaları (soldaki duvarları FDM ile ısı yalıtımlı odadır)	29
Şekil 2.2. Duvarları FDM ile ısı yalıtımlı test odası ile sıcaklıkları ölçüp kaydeden datalogger (veri kaydedici) ve güneş ışınlımını ölçen solarimetrenin görünüşü. 30	
Şekil 3.1. 27 Ağustos 2011’de duvarları ısı depolamalı ve ısı depolamasız test odalarının iç hava sıcaklıklarının, dış hava sıcaklığının ve güneş ışınlımının zamanla değişimi.	31
Şekil 3.2. 28 Ağustos 2011’de duvarları ısı depolamalı ve ısı depolamasız test odalarının iç hava sıcaklıklarının, dış hava sıcaklığının ve güneş ışınlımının zamanla değişimi.	32
Şekil 3.3. 29 Ağustos 2011’de duvarları ısı depolamalı ve ısı depolamasız test odalarının iç hava sıcaklıklarının, dış hava sıcaklığının ve güneş ışınlımının zamanla değişimi.	33
Şekil 3.4. 30 Ağustos 2011’de duvarları ısı depolamalı ve ısı depolamasız test odalarının iç hava sıcaklıklarının, dış hava sıcaklığının ve güneş ışınlımının zamanla değişimi.	34
Şekil 3.5. 31 Ağustos 2011’de duvarları ısı depolamalı ve ısı depolamasız test odalarının iç hava sıcaklıklarının, dış hava sıcaklığının ve güneş ışınlımının zamanla değişimi.	35
Şekil 3.6. 27-31 Ağustos 2011 tarihleri arasında duvarları ısı depolamalı ve ısı depolamasız test odalarının iç hava sıcaklıklarının, dış hava sıcaklığının ve güneş ışınlımının zamanla değişimi.....	36

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 1. Duyulur ısı depolama maddelerinin termofiziksel özellikleri	6
Tablo 2. Duyulur ve Gizli ısı depolama sistemlerinin enerji depolama kapasitesi bakımından karşılaştırılması	7
Tablo 3. FDM'lerin dönüşüm sıcaklıklarına göre kullanıldıkları bazı uygulamalar.	8
Tablo 4. Bazı parafinlerin termofiziksel özellikleri	12
Tablo 5. Bazı parafin olmayan organik bileşiklerin termofiziksel özellikleri	13
Tablo 6. Bazı hidrat tuzlarının termofiziksel özellikleri	14
Tablo 7. Bazı organik ötektik bileşiklerin termofiziksel özellikleri	15

ÇİZELGELER LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 1.1. Isı Depolama için Organik ve Anorganik Maddelerinin Karşılaştırılması....	15
Çizelge 1.2. Isı yalıtım malzemelerinin bağlı bulunduğu ürün standartları	24
Çizelge 1.3. Ülkelere göre kişi başına yalıtım malzemesi tüketimi	26
Çizelge 1.4. TS 825'in Sağladığı Enerji Tasarrufunun Ekonomik Büyüklüğü.....	27

SEMBOLLER LİSTESİ

C_p	: Özgöl ısı (j/g-°C)
m	: Kütle(g)
Q	: Depolanan toplam ısı (J)
T₁	: İlk sıcaklık (°C)
T₂	: Son sıcaklık(°C)

1. GİRİŞ

Enerji tüketiminin hızla artması, hem çevre kirliliğine hem de fosil yakıtların yanması sonucu atmosfere salınan CO₂ ve diğer gazların sera etkisi yaratması sonucu dünya ikliminin değişmeye başlamasına neden olmuştur. Özellikle çevre kirliliği ile ilgili problemler arttıkça dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmenin ve mevcut enerji kaynaklarını en verimli biçimde kullanmanın önemi daha da artmış ve bunlarla ilgili projeler de destek görmeye başlamıştır. Fosil esaslı enerji tüketiminden kaynaklanan çevre sorunlarını azaltmak, yenilenebilir temiz enerji kaynaklarını daha büyük ölçekte kullanmanın yanında, enerjiyi tasarruflu tüketmeye de bağlıdır. Enerjinin verimli kullanılması başka ülkelere bağımlı kalmamak bakımından da önemlidir. Çünkü bütün dünyada katlanarak artan enerji ihtiyacı ile birlikte enerji tüketim maliyetleri de yükselmektedir. Sınırlı miktardaki fosil yakıtları tasarruflu kullanmak ve çevre kirliliğine sebep olmamak gelecek yılların ana gündemini oluşturacaktır. Bu kriterler yerine getirilirken yaşam konforundan ödün vermemek diğer bir önemli konudur [1-4].

Ülkemizdeki enerji tüketiminin % 35-40'ının binalarda tüketilmesi ve bunun da büyük oranının ısıtma ve soğutmada kullanılması, yapılarda bina yalıtımına gereken önemi vermeyişimizden kaynaklanmaktadır. Bu durum ısı yalıtımının önemini daha da arttırmaktadır. Dünya ülkelerinin bina yalıtımı ile enerji tasarrufu sağlama çabası içinde Türkiye'nin de yerini alabilmesi için, ısı yalıtım sistemlerine gereken önemin verilmesi gerekmektedir.

Binalarda yapılan ısı yalıtımı, kışın soğuktan yazın ise sıcaktan korunmayı amaçlamaktadır. Yapılan ısı yalıtımı ile yaşam standartları artmakta ve ülkemiz için çok önemli bir konu olan enerji tasarrufunu sağlamaktadır. Bunların yanı sıra, ısınma amaçlı fosil yakıt tüketiminden kaynaklanan emisyonları azaltarak hava kirliliğini de önlemektedir. Soğutma için kullanılan elektrik tüketimi azaltılarak elektrik enerjisine duyulan gereksinim azaltılmakta ve elektriğe en çok ihtiyaç duyulan zamanlarda elektriğe aşırı yüklenme engellenebilmektedir.

Duvar yüzey sıcaklıklarının iç konfora olduğu kadar yapı kabuğu üzerinde de önemli etkileri vardır. Sağlıklı ve rahat yaşam sadece uygun ısı ve nem şartlarına sahip olan mekânlarda mümkündür. Isı köprülerinde yoğuşma, rutubetli alanlar, küf oluşması ve çatlama doğru yalıtım çözümünün uygulanması ile etkili bir şekilde önlenir. Eğer bir

fayda-maliyet karşılaştırması yapılırsa, ısı yalıtımı hem ekolojik hem de ekonomik açıdan yararlı ve çok kısa sürede geri kazanılan bir yatırımdır. Bununla birlikte inşaatın fiziksel ve teknik prensiplerinin incelenmesi ve yüksek kalitede uygun yalıtım malzemesinin kullanımı önemlidir.

Avrupa’da, ısı yalıtımı ile ilgili yasal mevzuatın sürekli daha sıkı hale gelmesi, “Az Enerji Tüketen Yapılar” yaklaşımının giderek daha popüler olması, donanım iyileştirme ve tesisat uygulamalarında alan kısıtlaması ile karşılaşılması, enstitü ve firmaları daha düşük ısı iletim katsayısına sahip yalıtım malzemeleri arayışına yöneltmiştir. Alışlagelmiş yalıtım malzemeleri ile yeni beklentileri karşılamak ya çok pahalı ya da artık pratik değildir. Bu yüzden günümüzde binaların yalıtımı için daha etkin ve ucuz yöntemler üzerindeki çalışmalar önem kazanmıştır.

Binalarda duvarlar ve pencereler en fazla ısı kaybı/kazancı olan bölümlerdir. Yapılacak olan bu çalışmada duvarları ısı yalıtımsız ve duvarları bir faz değiştiren madde (FDM) ile gizli ısı depolamalı ısı yalıtımlı betonarme iki test odası aynı boyutlarda inşa edilip deneysel olarak test edilmiş, ısı konfor ve ısıtma/soğutma enerji ihtiyaçları yönünden karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada, faz değiştiren maddeleri binalarda yapı malzemeleri veya elemanları ile beraber yalıtım elamanı olarak kullanarak termal enerji depolama ile binanın ısıtma soğutma yükünün azaltılması hedeflenmiştir. Önerilen faz değiştiren maddelerin binalarda uygulanması Avrupa Birliği (AB)’nin ”sürdürülebilir kalkınma” ve ”çevresel hususların dikkate alınması” konularındaki iki önemli amacına yönelik bir çalışmadır.

Binalarda duvarlar fazla ısı kaybı/kazancı olan bölümlerdir. Bu çalışmada, faz değiştiren maddelerin binalarda yapı malzemeleri veya elemanları ile beraber kullanarak termal enerji depolama ile binanın ısıtma soğutma yükünün azaltılması hedeflenmiştir. Bu amaçla duvarı ısı yalıtımsız ve duvarı faz değiştiren madde (FDM) ile ısı yalıtımlı betonarme iki test odası aynı boyutlarda inşa edilip deneysel olarak test edilmiş ve ısı konfor yönünden karşılaştırılmıştır.

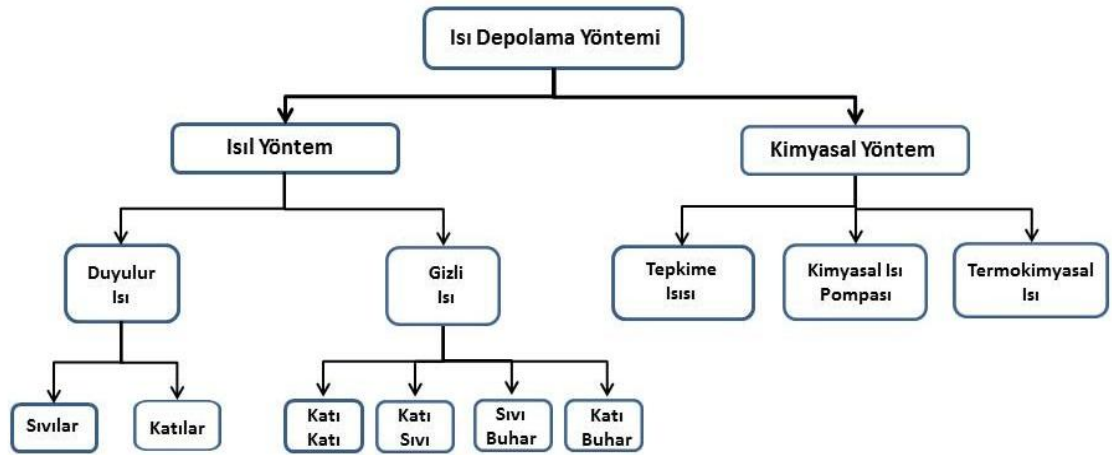
1.1. Termal Enerji Depolama Yöntemleri (TED)

Bir sistemin iş yapabilme kapasitesine enerji denir. Buna göre iş yapan sistemin enerjisi azalırken, iş alan bir sistemin enerjisi artar. Aynı şekilde ısı salan bir sistemin enerjisi azalır, ısı alan bir sistemin enerjisi artar. Sistem ile ortam arasındaki sıcaklık

farkından doğan enerji akışına ısı denir. Termal enerji ise bir maddeyi oluşturan atom veya moleküllerin kinetik ve potansiyel enerjilerinin toplamıdır [5].

Termal enerji depolamak için üç yöntem bulunmaktadır. Bunlar; Duyulur, gizli ve termokimyasal ısı depolama yöntemleridir. Bu yöntemler birim hacimde depolayabildikleri enerji bakımından ayrılırlar [6]. Isıyı depolayan materyalin iç enerjisindeki değişim duyulur ısı, gizli ısı ve bunların bileşimi şeklinde tanımlanır. Genel olarak, birim hacimdeki iç enerji değişiminin fazla olduğu termal enerji depolama materyali kullanılması durumunda, istenilen ısı miktarını depolamak için gereken hacim azalır.

Termal enerjinin depolanması için genel olarak kullanılan yöntemler şekil 1.1’de verilmiştir.



Şekil 1.1. Isı depolamasında uygulanan yöntemler [1]

Termal enerji depolama sistemlerinin faydaları şunlardır [7] :

- Yenilenebilir enerji kaynaklarının sürekli kullanılmasını sağlar (Güneş enerjisi, vs.).
- Elektrik ucuz olduğu zamanlarda depolama yapılabilir.
- Çok çeşitli sıcaklıklardaki atık ısıdan faydalanılmasına olanak sağlar.
- Enerji verimliliğini artırarak elektrik enerjisi tüketimini azaltır ve şebekeye destek olur
- Kojenerasyon santrallerinin daha etkin çalışmasını sağlar.
- Özellikle elektronik cihazların güvenliğini ve uzun ömürlülüğünü sağlar.

1.1.1. Duyulur Isı Depolama

Termal enerji depolama materyalinin sıcaklığındaki değişimden faydalanılarak yapılan depolamadır. Depolanabilecek ısıнын miktarı; ortamın ısı kapasitesine, sıcaklıktaki değişim miktarına ve depolama materyalinin miktarına bağlıdır. Duyulur ısı, katı veya sıvı materyalde depolanabilir. Duyulur ısı depolanmasında kullanılan sıvılar; su-etilen glikol (%50-%50), ötektik karışımlar ve bazı alkollerdir [8]. Duyulur ısıda yaygın olarak kullanılan sıvılar arasında; en ucuz ve bol miktarda bulunan ve ayrıca kullanıldığı alanda da sağlığı tehdit edecek bir yapıya sahip olmayan madde sudur. Su birim hacimde oldukça yüksek miktarda ısı depolayabilir. Örneğin 1 m^3 su 1°C ısıtıldığı zaman 4198 KJ lük enerji depolarken, 1 m^3 hacimdeki kaya ise suyun depoladığı enerjinin yarısı kadar enerji depolamaktadır [9-10].

Duyulur ısı depolamada ısı depolama ve geri kazanma işlemleri tersinirdir. Yani sistemin ekonomik ömrü boyunca bu maddelerin bu özellikleri değişmez. Duyulur ısı depolamada ortaya çıkabilecek sorunlar;

1. Isı depolama sırasında depolama sıcaklığı sürekli arttığından ısı kayıpları fazladır.
2. Sistemde yalıtıma ihtiyaç vardır, bu da maliyeti artırmaktadır.
3. Duyulur ısı depolamada sistemden ısı geri kazanılırken, depolama sıcaklığı sürekli düştüğünden ısı akış dağılımı gizli ısı depolamaya göre daha kararsız olacaktır.

Duyulur ısı depolama, depolama ortamına göre; sıvı ortamda depolama, katı ortamda depolama ve hibrid (katı + sıvı) ortamda depolama şeklinde sınıflandırılabilir [11].

Belirli bir zaman aralığında depolanan ya da depolanabilecek ısı aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilir:

$$Q = m C_p (T_2 - T_1) \quad (1)$$

$$Q = \text{Depolanan toplam ısı (J)}$$

$$T_1 = \text{İlk sıcaklık (}^\circ\text{C)}$$

$$T_2 = \text{Son sıcaklık (}^\circ\text{C)}$$

$$m = \text{Kütle (g)}$$

$$C_p = \text{Özgöl ısı (J/g-}^\circ\text{C)}$$

1.1.1.1. Sıvı Bazlı Duyulur Isı Depolama Maddeleri

Bu tür maddelere su, petrol bazlı yağlar ve erimiş tuzlar örnek olarak verilebilir. Su güneş enerjisi depolama sistemlerinde en yaygın olarak kullanılan maddedir. Suyun bir ısı depolama maddesi olarak avantajları şunlardır [2,3]:

- Yüksek ısı depolama kapasitesine sahiptir.
- Ucuzdur ve kolay temin edilir.
- Geniş bir sıcaklık aralığında kullanılabilir (25-90 °C).
- Enerji depolanmasından yararlanıldığı gibi enerji taşıyıcı akışkan olarak da kullanılabilir.
- Fiziksel, kimyasal ve termodinamik özellikleri çok iyi bilinmektedir.
- Zehirleyici ve yanıcı değildir.
- Korozyon etkisini azaltan teknolojiler geliştirilmiştir.

Suyun dezavantajları ise şunlardır:

- Yüksek sıcaklıklarda enerji depolamak zordur.
- Donduğu zaman genişlediğinden donmaya karşı önlem alınmalıdır.
- Depo içine korozyon önleyici madde konmalıdır.

1.1.1.2. Katı Bazlı Duyulur Isı Depolama Maddeleri

Başlıca katı bazlı duyulur ısı depolama maddeleri; kayalar, beton, kum, dökme demir ve metallerdir. Bu tür maddelerde donma ve kaynama meydana gelmediğinden düşük ve yüksek sıcaklıklarda enerji depolamaya elverişlidirler. Suda ve diğer sıvı bazlı depolama maddelerinde, yüksek buhar basınçları nedeniyle oluşan sınırlamalar bu tür maddelerde oluşmaz. Dökme demir bu gruptaki en yüksek ısı kapasiteye sahip madde olmakla birlikte diğer maddelere göre daha pahalıdır. Düşük maliyetleri nedeniyle kayalar ve çakıl taşları daha çok tercih edilir. Yüksek ısı iletkenliğinin gerekli olduğu ve maliyetin ikincil önem arz ettiği durumlarda alüminyum, magnezyum ve çinko gibi metaller tercih edilir [11]. Tablo 1’de bazı duyulur ısı depolama maddelerinin termofiziksel özellikleri verilmiştir.

Tablo 1. Duyulur ısı depolama maddelerinin termofiziksel özellikleri [12]

Madde	Yoğunluk ρ (kg/m ³)	Isı iletim katsayısı k (W/mK)	Özgül ısı, c (J/kgK)	Isı yayılım katsayısı, α (10 ⁻⁶ m-s)	Isı kapasitesi (10 ⁻⁶ J/m ³ K)
Odun	721	0,159	1260	0,17	0,91
Beton	1600	0,790	840	0,59	1,34
Ateş Tuğlası	1920	0,900	790	0,59	1,52
Cam	2710	0,760	837	0,33	2,27
Alüminyum	2702	237,0	903	97,13	2,44
Karbon Çeliği	7854	60,5	434	17,75	3,41
Saf Demir	7870	80,2	447	22,8	3,52
Çakıl Taşı	2050	1,73	1840	0,46	3,77
Su	996	0,615	4178	0,15	4,16

1.1.2. Gizli Isı Depolama

Gizli ısı, maddenin faz değişimi sırasında aldığı ya da saldıdığı ısıdır. Depolama katı-sıvı, katı-katı, sıvı-buhar ve buhar-katı dönüşümleri kullanılarak gerçekleştirilebilir [14]. Ancak en fazla kullanılan sıvı-katı dönüşümüdür. Ayrıca farklı kristal örgülere sahip katıların bir kristal örgü durumundan diğerine geçişte aldıkları ısılar katı-katı dönüşümüyle depolamada kullanılabilir.

Katı-gaz ve sıvı-gaz dönüşümlerinin gizli ısıları yüksek olmasına rağmen, gazların hacim değişiminin çok fazla olduğundan enerji depolama için uygun değildir [6] [10].

Gizli ısı depolama yöntemleri için gerekli depo hacmi, duyulur ısıya göre 4–5 kat daha küçüktür. Örneğin suyun gizli ısısının duyulur ısıya oranı 80’dir; bunun anlamı şudur: 1 kg buzun erimesi için gerekli enerji miktarı 1kg suyun sıcaklığını 1⁰C artırmak için gerekli ısıdan 80 kat daha fazladır. Bu durum depo tasarımında önemli bir avantajdır. Depolama ya da enerji dönüşümü için maliyeti de düşürür. Faz değiştiren maddeler (FDM) sabit bir sıcaklık aralığında depolama olanağı sağlar ve erime sıcaklığına bağlı olarak hem ısıtma hem de soğutma amaçlı kullanılabilirler [10] [13].

Gizli ısı depolama aşağıdaki durumlarda uygulanmaktadır;

- Kısa süreli depolamada
- Yüksek enerji yoğunluğu veya yüksek enerji kapasitesi gerektiğinde,
- Depo hacminin küçük olması gereken yerlerde,
- Sabit veya küçük bir sıcaklık aralığında enerji depolamaya ihtiyaç duyulduğu zamanlarda [1].

Gizli ısı depolamanın diğer termal enerji depolama tekniklerine göre üstün yönleri şu şekilde sıralanabilir:

- Duyulur ısı depolamaya göre termal enerji depolama kapasitesi yüksektir,
- Isı deposu hacmi daha küçüktür.
- FDM olarak kullanılan maddelerin birim kütlelerinin termal enerji depolama kapasiteleri daha yüksektir.
- Faz değiştirme sıcaklıkları, sabit sıcaklıkta depolama ve geri kazanma için uygundur.

Tablo 2. Duyulur ve Gizli ısı depolama sistemlerinin enerji depolama kapasitesi bakımından karşılaştırılması [11]

Termo Fiziksel Özellikler	Kaya	Su	Faz değiştiren maddeler	
			Organik	İnorganik
Yoğunluk (kg/m ³)	2240	1000	800	1600
Özgül Isı (kJ/kgK)	1,0	4,2	2,0	2,0
Gizli Isı (kJ/kg)	-	-	190	230
Gizli Isı (kJ/m ³)	-	-	152	365
10 J enerji depoamak için gerekli kütle (kg)	67	16	5,26	4,35
10 J enerji depoamak için gerekli hacim (m ³)	30	16	6,6	2,7
Bağıl Kütle	15	4	1,25	1,0
Bağıl Hacim	11	6	2,5	1,0

Tablo 2’de bazı duyulur ve gizli ısı depolama maddelerinin termofiziksel özellikleri verilerek 106 J’lük enerji depolamak için hacimsel ve kütleli olarak ne kadar madde gerektiği inorganik FDM referans alınarak oransal olarak gösterilmiştir. Kütleli olarak

karşılaştırma yapıldığında 1 kg inorganik FDM'nin depolayabildiği enerjiyi 4 kat daha fazla su veya 15 kat daha fazla kayanın depolayabileceği, hacimsel olarak karşılaştırma yapıldığında ise 1 m³ inorganik FDM'nin sağladığı enerjiyi 11 m³ kayanın veya 6 m³ suyun sağlayabildiği görülür.

Katı-katı, sıvı-gaz ve sıvı-katı olarak üç değişik şekilde faz değiştiren FDM'ler mevcuttur. Katıdan katıya faz değişimi geçiren FDM'lerin çok azı ısı enerjisi depolama uygulamaları için uygundur.

Sıvı-gaz faz değişimi geçiren FDM'ler yüksek ısı depolama kapasitelerine sahip olmakla birlikte faz değiştirme sırasında büyük hacim değişimlerine maruz kalırlar. Dolayısıyla pratik uygulamalar için uygun değildirler.

Sıvı-katı faz değiştiren FDM'ler oldukça yüksek ısı depolama kapasitelerine sahiptirler ve faz değişimi sırasında hacimlerinde büyük değişimler olmaz. Gizli ısı depolama sistemlerinde çoğunlukla bu tür FDM'ler kullanılır [11].

Bir mühendislik uygulaması için hangi FDM'nin seçileceğiyle ilgili en önemli parametre FDM'nin dönüşüm sıcaklığıdır. Tablo 3'te bazı FDM'lerin faz değiştirme sıcaklıklarına göre kullanıldıkları uygulamalar verilmiştir.

Tablo 3. FDM'lerin dönüşüm sıcaklıklarına göre kullanıldıkları bazı uygulamalar [2,15].

Faz değiştirme sıcaklığı (°C)	Uygulamalar
$5 \leq T_m \leq 25$	Binalarda iklimlendirme amacıyla kullanılırlar. Bu maddeler gece katılır ve gündüz ortamdan ısı çekerek ortamın soğutulmasını sağlarlar.
$25 \leq T_m \leq 30$	Binaların duvarlarına emdirilerek ortamın sıcaklığının gün içindeki çevre sıcaklığı değişimlerinden etkilenmemesi sağlanır. Bu tür maddeler ayrıca hava bazlı (ısı transfer akışkanı olarak havanın kullanıldığı) gizli ısı depolama sistemlerinde geceleyin ve gündüz erken saatlerde ortama ısı sağlamak amacıyla da kullanılabilirler
$40 \leq T_m \leq 60$	Hava bazlı ısı depolama sistemlerinde gece ve gündüz ortam ısıtma uygulamalarında kullanılırlar
$55 \leq T_m \leq 70$	Konutlarda kullanım suyunun önceden ısıtılmasında kullanılırlar

$60 \leq T_m \leq 95$	Isı transfer akışkanı olarak suyun kullanıldığı gizli ısı depolama sistemlerinde kullanılırlar
$25 < T_m$	Elektrik ihtiyacının düşük olduğu dönemlerde elektrik enerjisinden yararlanılarak faz değiştiren maddenin eritilerek daha sonra ortam ısıtılması uygulamalarında kullanılırlar.
$90 < T_m$	Soğurmalı soğutma sistemleri gibi endüstriyel uygulamalarda kullanılırlar.
$0 < T_m$	Süt ve gıda endüstrisi, şişeleme fabrikaları, mezbaha ve et endüstrisi, bira fabrikaları, laboratuvarlar, büyük mutfaklarda, ilaç sanayinde, kimya sanayisi ve rafinerilerde kullanılırlar.

Faz değiştiren maddelerin kaldırım ve köprülerde gece buzlanmasını minimize ederek yüzeyin daha az zarar görmesini sağlamak amacıyla kullanılması ve özellikle fazla efor gerektiren işlerde çalışan insanlara yönelik, vücudun ürettiği fazla ısıyı çeken soğutucu yelek ve kask üretimi gibi uygulamaları da mevcuttur.

1.1.3. Termokimyasal Yöntemle Isı Depolama

Kimyasal tepkime esnasında alınan veya verilen ısının daha sonra kullanılmak üzere depolanması ile termokimyasal enerji depolama gerçekleştirilir. Kimyasal bağların tersinir olarak ayrışma ve birleşmesi sırasında, ısı değeri yüksek olan kimyasal tepkimeler gerçekleştiğinden, ısı depolama kapasitesi genellikle yüksektir. Termokimyasal yöntemle ısı depolayan sistemler, gizli ısı depolama sistemlerinden daha karmaşıktır. Tepkimedeki bileşenlerin kendi aralarındaki olası etkileşimleri önemlidir. Yöntemin en önemli özelliği seçilen tepkimenin tersinir olmasıdır. Tersinir tepkimelerle ısı tepkimenin endotermik yönünde depolanır, ekzotermik yönünde geri kazanılabilir. Tepkime sıcaklığında oluşan tepkime ürünleri ayrı ayrı depolanır, ısı ürünlerin tekrar karıştırılması ve gerektiğinde katalizör eklenmesiyle geri kazanılabilir [7] [18].

1.2. Faz Değiştiren Maddeler (FDM)

FDM belirli miktarda ısıyı alarak faz değiştirir. Maddenin faz değiştirmesine neden olan ısıya gizli ısı denir. Bu süreç tersine çevrilirse, yani gaz fazından sıvıya ya da sıvı fazdan katı faza geçtiğinde, daha önce alınan ısı, madde saf ise izotermal olarak açığa çıkmaktadır. Maddelerin FDM olarak kullanılabilmesi için gerekli temel koşulların arasında, faz değiştirmedeki sabitlik ve maddenin hacminde az bir değişim meydana gelmesi yer alır [19].

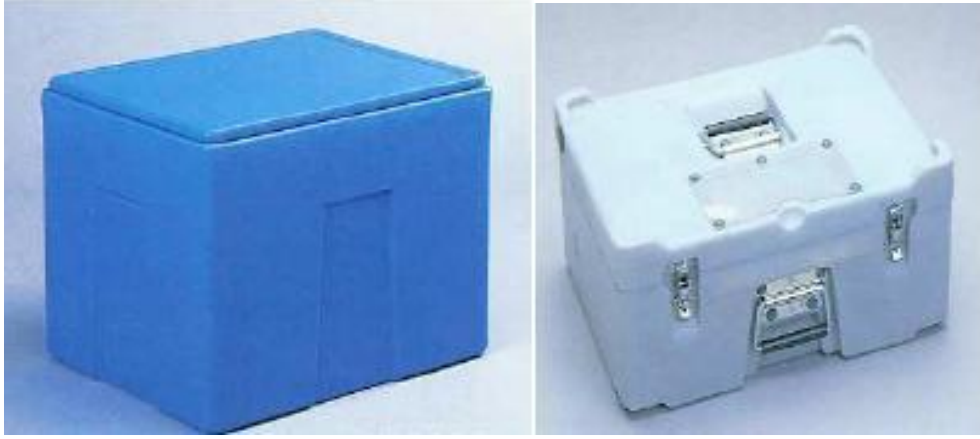
Faz değişimi sırasında maddeye verilen veya maddeden alınan ısı enerjisine ‘Gizli ısı veya faz değişim ısısı’ adı verilir. Katı-sıvı faz dönüşümüyle ısı depolama uygulamaları için birçok organik ve anorganik FDM’ ler vardır [10].

FDM’lerin en çok kullanım alanları; Binaların ısıtma soğutma yükünün azaltılmasında çeşitli yapı malzemelerinde, Elektronik cihazların aşırı ısınmasının engellenmesinde, Tekstil endüstrisinde, Gıda taşınmasında, Medikal alanda (kan ve organ taşınması), şeklinde özetlenebilir [20].

şekil 1.2a ve 1.2b de görüldüğü gibi FDM’ler farklı uygulama şekilleriyle, farklı alanlarda enerji tasarrufu amacıyla kullanılmaktadırlar.



şekil 1.2a. FDM uygulamaları (www.fskab.com/Annex17)



Şekil 1.2b. FDM uygulamaları (www.fskab.com/Annex17)

Faz değıştiren maddeler, temel olarak organik ve anorganik olmak üzere iki gruba ayrılırlar ve bu maddeler;

- Parafinler,
- Yağ asitleri,
- Anorganik tuz hidratlar
- Ötektik karışımlar şeklinde sınıflandırılırlar[1].

1.2.1. Parafinler

Organik FDM sınıfına aittirler. Ham petrolden elde edilen, çok sayıda alkandan oluşan doymuş hidrokarbon karışımlardır. Mumsu yapıdadırlar. Bunlar arıtma prosesinden sonra kokusuz, tatsız ve toksik olmayan maddelerdir. Parafinler düz zincirli ve dallanmış zincirli olmak üzere basit bir yapıda bulunurlar. Genellikle düz zincirli alkan karışımlarından oluşan parafinler kristalleşmeleri esnasında büyük miktarda gizli ısıyayarlar. Parafinlerde zincir uzunluğu arttıkça erime ve donma sıcaklığı ile erime ısıları da artar. Royal teknoloji enstitüsünde (İsveç) enerji grubu soğuk depolama ve bölgesel soğutma için parafin karışımları ve bunların ikili karışımlarını geliştirmiştir. Termal enerji depolama uygulamaları için, yüksek ısı depolama kapasitelerinden dolayı parafinler en çok kullanılan maddeler arasındadır. Geniş bir sıcaklık aralığında kullanılabilir. Parafinlerin belirli bir erime aralığında erimeleri TED uygulanacak alan içinde ayrıca bir avantajdır. Parafinler ucuz, bol ve kimyasal olarak kararlı olduklarından, genellikle ısı depolama için tercih edilirler. Korozyon ve toksik etkiye sahip değildirler. İleri

düzeyde aşırı soğuma göstermezler, kendi kendilerine çekirdekleşebilirler. Parafinler kimyasal ve fiziksel özellikleri açısından çeşitli uygulamalar için uygundur [7][21][22].

Parafinlerin FDM olarak kullanılmasındaki en temel sorun termal iletkenliklerinin olmasıdır. Bu yüzden parafinlerin FDM olarak kullanılmasında ısı transferini iyileştirmek için bazı yöntemler geliştirilmektedir [23-26].

Bu yöntemlerden birisi, parafinin yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) gibi bir polimerin ağ yapısı içindeki gözeneklerde grafit ile birlikte tutuklanmasıdır [26][33]. Parafinin ısı özelliklerini geliştirmek ve kullanım esnekliği sağlanması için mikrokapsüllenme de yapılabilmektedir [34]. Tablo 4'te bazı parafinlerin termofiziksel özellikleri verilmiştir. Bu tablodan da görüldüğü üzere parafinlerin ısı iletim katsayıları oldukça düşüktür.

Tablo 4. Bazı parafinlerin termofiziksel özellikleri [4,30,31].

Madde	Dönüşüm sıcaklığı, I_m ($^{\circ}\text{C}$)	Gizli ısı, λ (kJ/kg)	İletim katsayısı, K (W/mK)		Yoğunluk, ρ (kg/m ³)	
			Katı Faz	Sıvı Faz	Katı Faz	Sıvı Faz
Paratin wax	64	173,6	0,346	0,167	916	790
Paratin (C ₂₅ H ₃₈)	28	244	0,150	0,148	814	774
RT 27	28	179	0,2		810	
RT 35	35-36	157	0,2		820	
RT 32	52	167	0,2		835	
RT 80	80-81	173	0,2		845	
RT 100	99-102	168	0,2		855	

Burada RT Rubitherm firmasının üretmiş olduğu ticari parafinlerin kısaca gösterilişi olup yanlarındaki rakamlar bu parafinlerin ortalama dönüşüm sıcaklıklarıdır.

1.2.2. Yağ Asitleri

Yağ asitlerinin kimyasal yapıları genel olarak $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{2n}\text{COOH}$ şeklindedir. Gizli ısıları parafinlerle karşılaştırılabilecek düzeyde organik bileşiklerdir. Düşük sıcaklıkta gizli ısı depolama uygulamaları için uygun özelliktedirler [1]. Hayvansal ve bitkisel yağlar FDM olarak kullanılmaya uygundurlar. Yemeklik ve soya yağları büyük oranda palmitik, stearik, oleik ve linoleik asit içerirler [32]. Yağ asitleri organik ve anorganik FDM'lere alternatif olarak kullanılabilirler [33].

Tablo 5. Bazı parafin olmayan organik bileşiklerin termofiziksel özellikleri [4,30,31].

Madde	Dönüşüm sıcaklığı, I_m ($^{\circ}\text{C}$)	Gizli ısı, λ (kJ/kg)	İletim katsayısı, K (W/mK)		Yoğunluk, ρ (kg/m ³)	
			Katı Faz	Sıvı Faz	Katı Faz	Sıvı Faz
Palmitik Asit	64	185,4	-	0,162	989	850
Kaprik Asit	32	152,7	-	0,153	1004	878
Kaprilik Asit	16	148,5	-	0,149	981	901
Stearik Asit	69	202,5	-	0,172	965	848
Laurik Asit	44	177,4	-	0,147	1007	862
Poliglikol E400	8	99,6	-	0,187	1128	1125
Poliglikol E600	22	127,2	-	0,189	1232	1126
Naftalin	80	147,7	0,341	0,132	1145	976

1.2.3. Tuz Hidratları

Anorganik sınıfa aittirler. Termal enerji depolama kapasiteleri yüksek olduğundan, FDM olarak önemli bir yere sahiptirler. 0-150⁰C sıcaklık aralığında kullanılırlar. Erime donma sonucunda hacim değişimleri azdır ve termal enerji depolama kapasiteleri yüksektir. Isıl iletkenlikleri de organik FDM'lere göre yüksektir. $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ örnek verilebilir [7].

Ancak, pratik uygulamalarda faz değiştiren maddelerin bazı özelliklerinden dolayı zorluklar meydana gelir. Bu zorluklar, Farid ve arkadaşlarının 2004 yılında yayınlanan çalışmalarında şöyle açıklanmıştır: Tuz hidratları parafinlere göre daha fazla

enerji depolama kapasitesine ve daha yüksek termal iletkenliğe sahiptirler, ancak erime–donma sürecinde aşırı soğuma ve faz ayrışması meydana gelmektedir. Bu yüzden bazı çekirdekletirici maddelerin ve kalınlaştırıcı ajanların kullanımlarını gerektirmektedir. Bo He ve arkadaşlarının 1999 yılında yaptığı çalışmada da tuz hidratlarının çekirdekleşme problemlerine dikkat çekilirken, düzgün kristal yapıda erimeme ve korozyon olmalarına da dikkat çekmişlerdir [4] [19]. Tablo 6’de bazı hidrat tuzlarının termofiziksel özellikleri verilmiştir.

Tablo 6. Bazı hidrat tuzlarının termofiziksel özellikleri [4,30].

Madde	Dönüşüm Sıcaklığı $T_m(^{\circ}\text{C})$	Gizli Isı (kJ/Kg)	Isı İletim Katsayısı (W/mK)		Yoğunluk (Kg/m ³)	
			Katı	Sıvı	Katı	Sıvı
MgCl ₂ .6H ₂ O	117	168.6	0.694	0.570	1569	1450
Mg(NO ₃) ₂ .6H ₂ O	89	162.8	0.611	0.490	1636	1550
Ba(OH) ₂ .8H ₂ O	48	265.7	1.225	0.653	2070	1937
CaCl ₂ .6H ₂ O	29	190.8	1.088	0.540	1802	1562
Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O	32.4	254	0.544	0.544	1458	1458
Zn(NO ₃) ₂ .6H ₂ O	36	146.9	-	0.464	1937	1828

1.2.4. Ötektik Karışımlar

Ötektik karışımlar organik ve anorganik maddelerle hazırlanabilirler. Elde edilen ötektik karışımlar saf madde gibi sabit bir erime ve donma noktasına sahiptirler. Enerji depolama amacına uygun olarak iki veya daha fazla FDM karıştırılarak ötektik bileşime sahip karışımlar hazırlanabilir. İkili karışımlarda her iki bileşen ile de doygun olan ve en düşük donma sıcaklığına sahip olan bu çözeltiye ötektik sıvı, bu sıvının bileşimine ötektik bileşim ve bileşimi sabit kalarak bu sıvının tümünün donduğu sabit sıcaklığa ötektik sıcaklık denir [5] [10] [35].

Tablo 7. Bazı organik ötektik bileşiklerin termofiziksel özellikleri [30].

Madde	Dönüşüm Sıcaklığı $T_m(^{\circ}\text{C})$	Gizli Isı (kJ/Kg)	Isı İletim Katsayısı (W/mK)	
			Katı Faz	Sıvı Faz
%63.5 asetamit + %37.5 üre	63	-	-	-
% 67.1 naftalin + % 32.9 benzoik asit	57	123.4	0.282 (38 ⁰ C) 0.257 (52 ⁰ C)	0.136 (78.5 ⁰ C) 0.130 (100 ⁰ C)

Ötektik bileşimdeki bir karışım saf bir FDM'nin sahip olduğu ısıl özelliklere oldukça benzer bir davranış gösterir. Bu özelliğinden dolayı ötektik karışımlar termal enerji depolama uygulamaları için uygundur. Çok sayıda anorganik ve organik karışımların ötektikleri literatürde bulunmaktadır [6][31][32]. Çizelge 1.1 de Organik ve anorganik FDM'lerin avantaj ve dezavantajları kısaca gösterilmiştir.

Çizelge 1.1. Isı Depolama için Organik ve Anorganik Maddelerinin Karşılaştırılması

Organikler	Anorganikler
<u>Avantajlar</u> Korozif değildirler, Düşük veya hiç aşırı soğuma göstermezler, Kimyasal ve termal olarak kararlıdırlar.	<u>Avantajlar</u> Daha büyük faz değiştirme entalpisine sahiptirler.
<u>Dezavantajlar</u> Daha düşük faz değiştirme entalpisine sahiptirler, Düşük termal iletkenliğine sahiptirler, Yanıcıdırlar.	<u>Dezavantajlar</u> Aşırı soğuma gösterirler, Koroziftirler, Faz ayrışması meydana getirirler.

1.3. Faz Değiştiren Madde Seçimindeki Önemli Konular

Faz değiştiren maddelerin depolamada kullanılabilmesi için erime noktası, toksik etkiler, kimyasal kararlılık, korozif etki, yanıcılık, aşırı soğuma ve maliyete ilişkin özelliklerin uygun olması gerekmektedir.

1.3.1. Faz Değişim Sıcaklığı

Faz değiştiren maddenin depolama yapacağı sistem sıcaklığı ile maddenin erime sıcaklığı aynı veya yakın olmalıdır. Isıtma veya soğutma uygulamalarının çoğu için ısı depolama yapılabilir. Bu uygulamaların FDM seçiminde esas olan faz dönüşüm sıcaklığı ile sistem sıcaklığının karşılaştırılmasıdır [6][10]. Uygulama sıcaklığına yakın erime noktasına sahip FDM'ler literatürden veya ticari firmalardan sağlanabilir.

1.3.2. Faz Değişim Isısı

Faz değiştiren maddelerde aranan en önemli özellik yüksek faz dönüşüm ısısına sahip olmalarıdır. Tuz hidratları diğer faz değiştiren maddelere göre daha fazla faz değişim ısısına sahiptir. Ancak erime ve donma esnasında meydana gelebilecek faz ayrımı veya aşırı soğuma gibi dezavantajlardan dolayı düşük erime ısısına sahip fakat düzenli eriyen bir madde de tercih edilebilir [6].

1.3.3. Faz Ayrımı ve Aşırı Soğuma

Faz değiştiren maddenin erime esnasında düzgün erime göstermesi gerekir. Maddenin inkongruent erimesi durumunda, katı ve sıvı olarak iki faz oluşumu göstererek, farklı kristal yapıda çökme olur. Böylece madde farklı bir yapı ve sıcaklıkta donar. Bu olay da depolama için uygun değildir. Ayrıca madde donarken düzensiz kristalleşerek donma noktasından düşük bir sıcaklıkta donmaya başlar ki buna aşırı soğuma denir. Bu nedenle depolama yapılacak sıcaklık değişir. Aşırı soğuma sorununu giderebilmek için FDM ile benzer kristal örgüye sahip çekirdekletiriciler kullanılabilir [7].

1.3.4. FDM nin Kimyasal Özellikleri

FDM'nin kimyasal yapısı kararlı olmalıdır. Tekrar tekrar kullanılacağı için kimyasal yapısı bozulmamalıdır. Kimyasal yapıdaki bozulmalar termal kararlılık deneyleri sonunda, FTIR analizleri ile değerlendirilir. FDM korozyon etki göstermemelidir. Yanıcı, zehirli veya patlayıcı özellikte olmamalıdır. Isı depolama sistemlerinde kullanılacağı için FDM'nin ısı iletkenliği yüksek olmalıdır [4] [7].

1.3.5. FDM'nin Ekonomik Özellikleri

Geliştirilecek FDM'ler çok farklı uygulamalarda ve ticarileştirilmiş ürünlerde kullanılacağı için pahalı bir ürün olmamalıdır. Ayrıca bol miktarda bulunmalıdır [2].

1.4. Soğutma Uygulamalarında FDM'ler

Son yıllarda iklim değişikliğinin de etkileriyle yaşanan sıcak hava dalgaları binalarda konfor şartlarını sağlamak için soğutma ihtiyacını hızla artırmaktadır. Ayrıca sanayide üretkenliği artırmak için çalışma koşullarının iyileştirilmesinde soğutmaya önem verilmektedir. Soğutma ihtiyacının karşılanması elektrik enerjisinin özellikle yaz aylarında daha fazla tüketilmesine neden olmaktadır. Bu nedenle ülkemizde yaz aylarında sıkça elektrik kesintileri görülmektedir. Elektrik üretiminin %70'den fazlasını nükleer enerji ile karşılayan Fransa'da 2005 yılı yazında görülen sıcak hava dalgalarında yüzlerce kişi hayatını kaybetmiştir. Nükleer enerji santrallerini soğutmada kullanılan yüzey sularının ısınmış olması santralleri devre dışı bırakmıştır [38]. Bu nedenle, binalarda soğutma yükünü azaltarak elektrik enerjisi tüketimini azaltan çözümlere gereksinim vardır. FDM'lerin bina yapı elemanlarında ve malzemeleri kullanımında soğutma yükü önemli ölçüde azaltılabilmektedir [39]. FDM'ler cephe kaplama malzemelerine eklenerek veya bina soğutma sistemlerinde klima kanalları, asma tavan veya döşeme altında kullanılabilir.

FDM'lerin kullanıldığı soğutma amaçlı diğer bir uygulama sıcaklığa duyarlı malzemelerin (gıda, tıbbi ürünler, organ, vb.) taşınmasıdır. Hayati önem taşıyan bu ürünlerin sağlıklı bir şekilde sıcaklığının istenilen seviyede uzun süreli korunabilmesi için FDM'lere ihtiyaç vardır. FDM'ler taşıma kutularında ve/veya frigorifik taşıtların soğutma sistemlerinde kullanılabilir.

Buzdolapları ve derin dondurucularda FDM kullanarak daha yüksek evaporasyon sıcaklıklarında çalışılması sağlanarak enerji tüketimi azaltılabilir. Ayrıca buzdolabı kabini içinde kullanılacak FDM ile sıcaklık salınımlarının azaltılması sağlanarak gıdaların saklama koşulları iyileştirilerek daha hijyenik gıda koruması sağlanabilir.

FDM'ler elektrik kesintilerinde buzdolabı içerisindeki gıdaların daha uzun süre soğuk kalmasını da sağlayabilir. Tarımda özellikle narenciye'de dondan korunmak amacıyla da FDM'den yararlanılabilir.

Özellikle bina elemanlarındaki kullanımı söz konusu ise, FDM'lerin uygulamalarına yönelik araştırmalar son yıllarda üç alanda yoğunlaşmaktadır.

Birincisi Binaların ısı kütlesini arttırarak, bina elemanlarında sıcaklık granyatlerini düşürmektir. Bu FDM nin bina elemanlarına eklenmesiyle yapılmaktadır.

İkinci bir uygulama alanı ise, geceden gündüze veya diğer ucuz soğuk kaynaklarından, soğunun depolanması vasıtasıyla binaların soğutulmasıdır. Doğal soğu kaynaklarından elde edilen kullanılması ile bedava kaynaktan dolayı enerji tasarrufu konusunda umut vaat etmektedir.

Üçüncü uygulama sahası ise, ortam ısıtma sistemlerinde ısı depolamadır. Burada başlıca avantaj üç veya daha fazla faktörden biriyle depolama hacmini düşürmektir.

Bu işlemleri yaparken FDMlerin kullanımı ile iyi bir yalıtım elde edilir. Ayrıca duvar kalınlıkları artışı daha az olacaktır.

Bu ısıtma ve soğutma uygulamalarında kullanılabilecek FDM'lerin erime sıcaklıklarının aşağıdaki aralılarda olması beklenir:

- Bina yapı malzemeleri ve elemanları: 22 - 25°C
- Bina soğutma sistemleri: 5 - 10 °C
- Taşıma kutuları : -30 - +24 °C
- Frigorifik taşıtların soğutma sistemleri
- Buzdolapları ve derin dondurucu: -25 - +8°C
- Tarımda dondan korunma: -5 - +5 °C

1.5. Yalıtım

Yalıtım, herhangi bir yalıtım malzemesi kullanılarak, ortamdan dışarı veya dışarıdan ortama olan enerji akısının indirgenmesidir. Yalıtım malzemelerinin (yalıtkan) çeşitli tipleri vardır:

- Isı akısını indirmek için, ısı (termal) yalıtkanlar.
- Elektrik akısını önlemek için, elektrik yalıtkanlar.
- Ses dalgalarını indirmek için, akustik yalıtkanlar.

Bir malzeme her yönden yalıtkan olmayabilir. Örneğin, elmas mükemmel bir elektrik yalıtkanı iken, çok kötü bir ısı yalıtkanıdır. Sentetik haldeki saf elmas, ısıyı bakırdan daha iyi iletir ve oda sıcaklığında bilinen en iyi ısı iletkenlik katsayısına sahip katı

malzemelerden biridir. Yani oda sıcaklığında bilinen en kötü yalıtkanlardan biridir. Isı, doğal olarak yüksek sıcaklıktan, düşük sıcaklığa doğru akar ve direncin en az olduğu yol boyunca en fazla ısı akısı oluşur. Yüksek sıcaklık bölgesinin yanından, düşük sıcaklık bölgesine bir sıcaklık gradyenti oluşur. Isıl yalıtım, sıcaklık gradyenti içinden olan ısı akısını düşürerek, sıcaklık gradyentini korur. Büyük alet/araçların birçoğunda yalıtım yer alır. Örneğin, fırınlarda, soğutucularda, dondurucularda ve su ısıtıcılarında. Çoğu halde, yalıtım çevreye olan ısı kaybını engellemeye yarar. Diğer hallerde ise, çevreden gelen ısıya karşı koruma sağlar.

Çoğu ülkede, ısıtma ve soğutma ısı için oldukça büyük miktarda enerji yani para harcanmaktadır. Evler ve binalar verimli ve doğru bir şekilde yalıtıldığında:

- Enerji verimi artacak ve parasal olarak tasarruf sağlanacaktır.
- Yalıtımın korunması için, ekstra bir güç ve maliyete gerek yoktur, kalıcıdır ve genelde bakım gerektirmez.
- Konforu artırır. Bina boyunca, sıcaklık dağılımı daha homojen olur.
- Yalıtım, kısırdan gelen gürültüyü emdiği için, ses yalıtımı da sağlar.
- Genel bir kazanç olarak da, yalıtım sayesinde ısınma amacı ile yakılan yakıttan çevreye olan zararlı atık gaz geçişi azalmış olur.

Eğer bina kötü yalıtılmış ve kötü havalandırılıyorsa su işaretler görülür:

- Kış aylarında, taban altı ve tavan aralarında çiglenme ve donmuş yüzeyler oluşur.
- Yaz aylarında, tavan arası son derece sıcak ve bunaltıcı olur.

Yalıtımın mutlaka tüm bina ihtiyacı göz önünde bulundurularak yapılması gereklidir. Sadece yaşam mekânlarının yalıtımı, tavan ve taban yalıtımı olmadan doğru yalıtım sekli değildir. Bina ısısının sürekliliğini koruyabilmek için, mutlaka ısı kaybı olan tüm alanların saptanması ve yalıtımda göz önünde bulundurulması gereklidir [44].

1.5.1. Isı Transferi ve Yalıtım

Isı transferi üç yolla olur.

- Kondüksiyon ya da iletim, madde veya cismin bir tarafından diğer tarafına ısının iletilmesi ile oluşan ısı transferinin bir çeşididir. Isı transferi daima

yüksek sıcaklıktan, düşük sıcaklığa doğrudur. Yoğun maddeler genelde iyi iletkenlerdir; örneğin metaller çok iyi iletkenlerdir.

- Konveksiyon ya da tasınım, katı yüzey ile akışkan arasında gerçekleşen ısı transferinin bir çeşididir. Akışkan içindeki akımlar vasıtası ile ısı transfer edilir. Akışkan içindeki veya akışkanla sınır yüzey arasındaki sıcaklık farklarından ve bu farkın yoğunluk üzerinde oluşturduğu etkiden doğabilmektedir.
- Isınım yolu ile ısı transferi, fotonlar (elektromanyetik radyasyon) yolu ile olan ısı transferidir.

Yalıtkanlar, bu ısı transfer yöntemlerindeki ısı akışlarının düşürülmesi ile yalıtım sağlar. Örneğin; ince bir köpük (strafor) tabakası konveksiyon ve Kondüksiyon ile olan ısı geçişini düşürür. Yansıtıcı bir metalik film veya beyaz boya ısı yayını düşürür. Bazı malzemeler bir ısı transfer yöntemi için iyi bir yalıtandır, fakat diğeri için kötü olabilir. Örneğin, metal bir tabaka ısınım için iyi bir yalıtandır, fakat iletim için çok kötü bir yalıtandır [44].

1.5.2. Isı Yalıtımını Gerekli Yapan Nedenler

Yapılarda ısı yalıtımını gerekli yapan başlıca nedenler aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

- Yaz veya kış iklim şartlarında, gerekli konfor şartlarını sağlamak.
- Bina içinde ve iç duvar yüzeyinde ısıtma sürecinde soğuk noktaları, klima sürecinde sıcak noktaları önleyerek, homojen bir sıcaklık dağılımı elde etmek.
- Binaların dış kabuğunu ve yapı elemanlarını, yüksek ısı gerilimlerinden ve rutubetin tahribinden korumak.
- Gerek klima ve havalandırmada, gerekse ısıtmada, yakıt ve enerji giderlerini azaltmak ve işletme masraflarını en aza indirmek.
- Azalan ısı kazancı veya ısı kayıpları ile daha düşük kapasiteli soğutma veya ısıtma cihazları ve ekipmanları kullanarak, ilk yatırım maliyetini azaltmak.
- Fosil enerji kaynaklarının tüketiminin azaltılmasıyla, atmosferdeki CO₂ ve metan emisyonlarını düşürerek, ekstrem iklim değişikliklerini önlemek ve doğadaki ekolojik dengeyi korumak [46].

1.5.3. Isı Yalıtımının Teorik Esası

Yapıların iç ortam sıcaklığı, gerek ısıtma ve havalandırma, gerekse iklimlendirme ve klimada, önemli konfor koşullarından biridir. Çevre sıcaklığı, güneş ısınımı, rüzgâr hızı gibi atmosferik şartlara göre, yapıları çevreleyen duvarlar üzerinden, kışın ısı kaybı ve yazın ısı kazancı şeklinde bir ısı akımı söz konusudur.

Isı transferinden bilindiği gibi, belirli bir yüzey alanına sahip duvar ve bu duvarın ayırdığı iki ortam arasındaki sabit sıcaklık farkı altında, kendiliğinden oluşacak ısı geçişini azaltmak, duvarın ısı geçiş direncinin büyütülmesiyle sağlanabilir. İletim direncinin artırılması için, ya yapı elemanı çok kalın yapılmalı ya da ısı iletim kabiliyetinin çok küçük olması sağlanmalıdır. Yapı duvarlarının kalın yapılması, hacimlerin küçülmesi, büyük yük ve kütle artısına bağlı aşırı malzeme maliyeti ve yüksek işçilik gibi nedenlerden, doğru bir tercih değildir. Yapı duvarları için mümkün olduğunca düşük ısı iletim kabiliyetine sahip malzeme seçilmeli ve buna ek olarak ısı iletim kabiliyeti çok düşük yalıtım malzemeleri ile dışarıdan kaplanmalıdır. Belirli bir yüzey alanına sahip duvarın ayırdığı iki ortam arasındaki sabit sıcaklık farkı altında oluşan ısı geçişi aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$Q = k.A.(T_{iç}-T_{dış}) \quad (2)$$

Burada, A ısı geçişinde etkili yapı elemanın yüzey alanı, k ısı geçiş katsayısı, $T_{iç}$ gerekli konfor şartlarına göre alınan iç ortam sıcaklığı ve $T_{dış}$ iklim koşullarına göre oluşan dış ortam sıcaklığı anlamındadır. Duvarın ısı direncinin, ısı yalıtımı ile nasıl büyütüldüğü, ısı geçişi ifadesinin değişik formda yazılması ile aşağıdaki ifadeler elde edilebilir.

$$Q = A \frac{(T_{iç} - T_{dış})}{1/k} \quad (3)$$

$$\frac{1}{k} = R_{iç,iç} + R_{yal.} + R_{duv.} + R_{iç,dış}$$

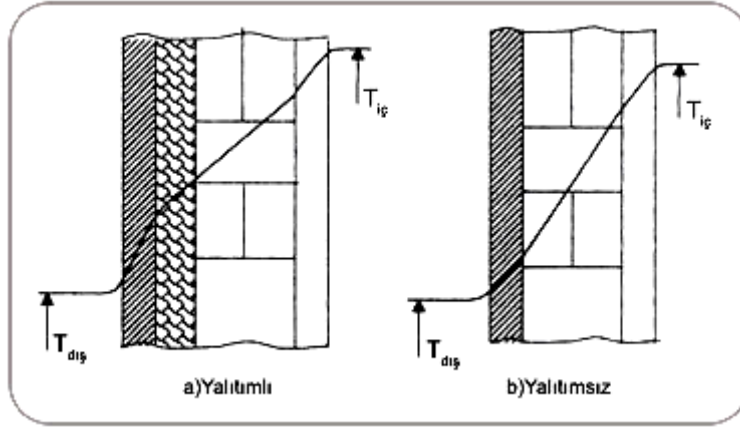
Ras, iç; iç tasınım direnci, R_{yat} ; yalıtımın iletim direnci, R_{duv} ; duvarın iletim direnci, R_{tas} , dış; dış tasınım direnci anlamındadır. Yapıların dış duvarlarındaki pencere oranının optimizasyonu, ihtiyaç duyulacak ısıtma enerjisini etkileyen diğer parametreler kadar önemlidir. Pencerelelerin çift camlı yapılması durumunda, ihtiyaç duyulacak ısıtma enerjisi önemli ölçüde azaltılabilir. İnfiltrasyon seklindeki ısı kayıpları sebebi ile pencere detayları, sızdırmazlığı en iyi şekilde seçilmeli, düzenli bakımı ve tamiri yapılmalıdır. Tuğla duvar + pencere seklindeki bir yapı grubunun ısı geçiş katsayısı K_{dd} aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$K_{dd} = k_d (1-E_p) + k_p E_p \quad (4)$$

Burada, k_d tuğla duvarın ve k_p pencerenin ısı geçiş sayıları, E_p pencere yüzeyinin dış duvar yüzeyine oranı, anlamındadır. Basit pencerelerde ısı geçiş katsayısı $5,25 \text{ W/m}^2\text{K}$, ısı camlı pencerelerde ise ısı geçiş katsayısı $2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ değerindedir.

Isıtma sürecinin sürekli gerçekleştirildiği yapılarda, dış duvarların kütesinin, ısıtma için gerekli enerji ihtiyacını fazla etkilemediği, ancak aralıklı olarak ısıtılan yapılarda, dış duvarların hafif yapı seklinde yapılması avantaj sağlayabilir. Çünkü hafif yapı elemanları, çok yüksek ısı depolama özelliğine sahip değildir. Bu sebeple, ısıtma sistemi daha kısa süre çalıştırılarak, gerekli konfor sıcaklığına ulaşılabilir.

Dış duvarlar ve çatıda yalıtımın dış yüzeye yapılması ve üzerinin sıva ile koruma altına alınması, binanın yapı elemanlarının ısı depolama yeteneği yönünden önemlidir. Bunun yanında, dış ortam sıcaklığının değişimlerinde, yapının iç hacimlerinde oluşturulması gerekli konfor sıcaklığındaki dalgalanmalar, düşük düzeyde olur. İç hacim ve dış ortam arasındaki sabit sıcaklık farkı altında, yapıyı çevreleyen dış duvarların içinde, yalıtımlı ve yalıtımsız durumlar için oluşan sıcaklık profilleri şekil 1.3 de şematik gösterilmiştir [40].



Sekil 1.3. Yapıyı çevreleyen dış duvarların içinde, yalıtımlı ve yalıtımsız durumlar için oluşan sıcaklık profilleri

Isı yalıtımı sağlarken duvar kalınlığı da yalıtımın değerine göre artmaktadır. FDM'lerden yararlanılarak yapılan yalıtım sistemlerinde daha az bir kalınlık ile aynı ısı miktarı depolanması sağlanmaktadır.

1.5.4. Binalarda Isı Yalıtımı

Dünya üzerindeki birincil enerji kaynaklarının hızla tükenmesi üzerine gelişmiş ülkeler basta olmak üzere tüm ülkeler enerji ihtiyaçlarını kontrol altına alma ve enerjiyi etkin kullanma yöntemleri geliştirmişlerdir. Ülkemizde de; basta sanayi ve konut sektörlerinde olmak üzere, enerji tüketimleri her geçen yıl artmaktadır. Konutlarda kullanılan enerjinin büyük bir kısmı ısıtma ve soğutma amaçlı olarak tüketilmektedir. Söz konusu bu enerjinin; etkin kullanılması, ısı yalıtımı ile sağlanabilir. Bina zarfı, binanın iç ortamını dış ortamdan ayıran yapı elemanlarını kapsar. Duvarlar, pencereler, kapılar, döşeme, tavan ve çatı, bina zarfını oluşturur. Sağlıklı yaşam koşullarının yaratılması, yakıt tüketimlerini azaltarak; kullanıcının düşük yakıt masrafları ile sistemini işletmesinin ve dolayısıyla hava kirliliğinin azaltılmasının sağlanması, binanın iç ve dış etkenlerden korunarak ömrünün uzatılması amacıyla; yapı bileşenleri üzerinden, farklı sıcaklıktaki iki ortam arasındaki ısı geçişini azaltmak için yapılan işlemlere ısı yalıtımı denir.

Çizelge 1.2'de binalarda kullanılan ısı yalıtım malzemeleri ve bu malzemelerin ürün standartları verilmiştir. Binalarda ısı yalıtımı uygulanması ile

- Çatı, duvar ve döşemelerde tekniğine uygun ısı yalıtımı malzemeleri kullanılması ile ısıtma ve soğutma amaçlı tüketilen yakıt miktarının azalması,
- Hava kirliliğinin azalması,
- Sağlıklı ve konforlu bir ortam oluşması sonucunda sağlık giderlerinin azalması,
- Yapı bileşenlerinin yogusma sonucu korozyona uğraması önlenerek binanın korunması sağlanır.

Çizelge 1.2. Isı yalıtım malzemelerinin bağlı bulunduğu ürün standartları

Isı Yalıtım Malzemeleri	Ürün Standardı
Camyünü	TS 901 EN 13162
Taşıyünü	TS 901 EN 13162
Ekspande Polistiren (EPS)	TS 7316 EN 13163
Ekstrude Polistiren (XPS)	TS 11989 EN 13164
Poliüretan (PUR)	TS EN 13165
Fenol Köpüğü	TS EN 13166
Cam Köpüğü	TS EN 13167
Ahşap Yünü Levhalar	TS EN 13168
Genleştirilmiş Perlit (EPB)	TS EN 13169
Ahşap Lifli Levhalar	TS EN 13171

Tasarımdan, uygulamaya kadar tüm yönleri ile bir uzmanlık dalı olan yalıtımın ana unsurları “doğru detay”, “nitelikli malzeme” ve “sağlıklı uygulama” dır

1.5.5. Türkiye Yalıtım Sektörünün Gelişimi ve Mevcut Durumu

Yalıtım sektörü 1993 yılından bu yana, kriz yılları da dâhil olmak üzere sürekli bir büyüme göstermiş, 2002 yılında 2,5 milyon m³ olan ısı yalıtım pazarı 2005 yılında 5 milyon m³ ile en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Ekonomik krizlerden en fazla etkilenen sektörlerin başında gelen inşaat sektörü, 2000 yılında başlayan kriz sonucunda 2001-2004 yılları arasında gerilerken, yalıtım sektörü sürekli bir büyüme göstermiştir. Bu farklılığa, inşaat sektörünün sadece yeni yapılacak olan yapılarla, yalıtım sektörünün ise hem yeni

yapılacak olan hem de mevcut yapılarla ilgili olması neden olarak gösterilebilir. Araştırmalar sonucunda ülkemizdeki 8 milyon binanın % 6-7'sinin yalıtımlı olduğunu öğrenmekteyiz. Bu düşük oran ve “mantoluma” kavramının gelişimi yalıtım sektörü adına bir potansiyel oluşturmaktadır.

Sürekli büyüme kaydedilen sektörde üretim yapan firmalar artmakta ve sektördeki potansiyel birçok yabancı yatırımcıyı ülkemize çekmektedir. Türkiye’de yalıtım sanayisi, AB’ye uyum çerçevesinde üretim ve uygulama teknolojisi alanında pek çok uluslar arası standardı yakalamış olup dünya pazarında sanayi için rekabet olanakları bulundurmaktadır. AB’de 1 Ocak 2006’dan itibaren tüm binalarda “Energiepass” ısı kimlik belgesi zorunlu hale getirilmiştir. Bu uygulamaların da en kısa zamanda tamamlanması ile sektörde standartlar tamamıyla yakalanacaktır.

Birbiri ardına yaşanan petrol krizleri nedeniyle oluşan enerji dar boğazlarından dersler çıkaran ve enerjinin verimli kullanılmasına yönelik olarak zamanında tedbirler alan ülkelerde yalıtım sektörü kayda değer büyüklüklere ulaşmıştır. Ülkelerin yalıtım sektörü verileri incelendiğinde; gelişmiş ülkelerin gelişmekte olan ülkelere göre daha büyük pazar kapasitesine sahip oldukları görülmektedir. Açıkça görülen bu farklılıkların gelişmiş ülkelerin gayri safi milli hâsıllarının yüksek olusuna bağlamak yeterli bir açıklama olmamakta, bu ülkelerin enerji verimliliğine verdikleri önem sayesinde gelişimlerine büyük katkılar sağladıklarını belirtmek daha doğru olmaktadır.

Yalıtım sektöründeki gelişmeler son 50 yılda meydana gelmiştir. Başlangıçta, hızlı bir gelişme gösteren sektör, son 20 yılda, gelişmiş ülkelerdeki inşaat yatırımlarının azalmasıyla yavaş bir seyir izlemiştir. Sektördeki büyüme hızının düşmesine paralel olarak teknolojik gelişmeler de yavaşlamıştır. Yeni ürünlerden çok, var olan ürünlerin verimliliğini ve uygulama kolaylığını artıran yenilikler yapılmaya başlamıştır.

Gelişmiş ülkelerin inşaat sektörlerinde, bizim konumuz kapsamına giren yalıtım malzemelerinin kullanımı, artan enerji fiyatları, enerji üretirken çevrenin kirlenmesi, konfor gereksinmesi, tüketici ve ülke ekonomisine tasarruf getirmesi nedeniyle ülkemize oranla çok artmıştır. Oysa ülkemizde kişi başına yalıtım malzemesi tüketimi çok azdır. Yalıtım uygulama düzeyi ise, ülkelerin gelişmişlik düzeyi ile yakından ilgili olup, sadece konut sahibi olabilme gereksinimi, yaşam standardının yükselmesiyle birlikte konforlu bir konut sahibi olabilme yönünde gelişmeye başlamıştır.

Türkiye’de yalıtım ürünleri pazarı ortalama 3,5 milyon metreküptür. Türkiye ile benzer iklim ve hava koşullarına sahip olan Fransa’da ise yalıtım sektörünün büyüklüğü 30

milyon metreküpe ulaşmakta, ABD'de 1 metreküp olan kişi başına yalıtım malzemesi tüketimi, Türkiye'de 0.05 metreküpte kalmaktadır. Bu eksiklik, İZODER verilerine göre, Türkiye'de yalıtım yapılmayan binalarda sadece ısı kaybı nedeniyle meydana gelen yıllık zararın 3 milyar dolar civarında olmasına sebep olmaktadır. Ülkemiz bazı büyük kent merkezlerindeki binaların yalıtım durumlarına ilksin 1990 yılında 15.543 binada yapılan araştırmaya göre, yönetmelik yürürlüğe girdikten sonra inşa edilmiş binaların İstanbul 'da % 53'ünde, Ankara 'da % 24'ünde, İzmir, Kocaeli ve Bursa'da % 84'ünde hiç ısı yalıtımı kullanılmamıştır. İsveç'in halen yürürlükte bulunan, bina dış kabuğundan bir ısıtma mevsiminde sarf edilecek ortalama ısı sarfiyatını, ülkemiz yönetmelikleri ile karşılaştırsak, İstanbul 'da bir binada 2.8, Ankara 'da 3.6, Erzurum 'da 6.0 kat daha fazla yakıt sarf edilerek aynı ısınmanın sağlandığını görüyoruz. Bazı kaynakları yetersiz olan ülkemiz, bir Avrupa ülkesine göre 6 kat daha fazla yakıtı ısınmak amacıyla harcamaktadır. Tüketilen fazla yakıt aynı oranda da ekonomiye ve doğal çevreye zarar vermektedir. Avrupa Birliği ülkeleriyle Türkiye'nin kişi başına kullanılan yalıtım malzemesi (Çizelge 1.3) karşılaştırıldığında, Almanya'nın yaklaşık on iki kat ve Fransa'nın da altı kat gerisinde bulunmaktayız. Bu durumun doğal bir sonucu olarak da, gelişmiş ülkelere göre, kişi başına tükettiğimiz enerji miktarının 1/3 oranında olmasına karşın, ısınma için sarf ettiğimiz enerji % 100 daha fazladır. Ülkemizde ısıtmak için harcanan enerji Fransa'dan yaklaşık % 50, İsveç'ten ise % 23 daha fazladır. Bu aşırı yakıt tüketimi, ısı yalıtımına gereken önemin verilmemesi ve yanlış yapılaşmanın en önemli göstergesidir [47].

Çizelge 1.3. Ülkelere göre kişi başına yalıtım malzemesi tüketimi

Ülke	Kişi Başına Yalıtım Malzemesi Tüketimi
Türkiye	0,07
İspanya	0,1
Amerika	1
Fransa	0,4
Avrupa	0,4
İtalya	0,2
Almanya	0,8
Portekiz	0,2

1.5.6. Sektördeki Yasal Düzenlemeler Ve Kanunlar

Türkiye’de ilk olarak 1970 yılında TSE tarafından “TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” hazırlanmış, ancak uygulaması konusunda bir zorunluluk getirilmemiştir. 1977 yılında Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından çıkarılan “Isıtma ve Buhar Tesislerinin Yakıt Tüketiminde Ekonomi Sağlanması ve Hava Kirliliğinin Azaltılması Yönetmeliği” ile bu konuda önemli bir adım atılmıştır. Ancak, bu yönetmelik ile mevcut imar yönetmeliği arasındaki kopukluklar nedeniyle başarılı olunamamıştır. Bu eksikliğin giderilmesi amacıyla, 30 Ekim 1981 yılında “Bazı Belediyelerin İmar Yönetmeliklerinde Değişiklik Yapılması ve Bu Yönetmeliklere Yeni Maddeler Eklenmesi Hakkındaki Yönetmelik” olarak da bilinen “Isı Yalıtım Yönetmeliği” ve bu yönetmeliğin 16 Ocak 1985 tarihli revizyonu olan yönetmelik yürürlüğe konmuş ve mevcut imar yönetmeliklerinde değişiklikler yapılmıştır. 1995 yılında Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığınca “TS 825 Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları” revize çalışmalarına başlanmış, 29 Nisan 1998 yılında TS Teknik Kurulu’na onaylanarak yürürlüğe girmiştir. 14 Haziran 1999 tarih ve 23725 sayılı Resmi Gazetede yeniden yayımlanan ve bu standardın paralelinde hazırlanan “Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği”nin 08 Mayıs 2000 tarih 24043 sayılı resmi gazetede yer alması ile 14 Haziran 2000 tarihinden itibaren uygulaması zorunlu hale getirilmiştir. Çizelge 1.4’de TS 825’in enerji tasarrufuna katkısı görülmektedir. 12 Ağustos 2001 tarih ve 24491 sayılı resmi gazete ile yayımlanan “Yapı Denetimi Uygulama Usul ve Esasları Yönetmeliği” ile ısı yalıtımı uygulamalarının denetimi, Yapı Denetim Kuruluşlarına verilmiştir.

Çizelge 1.4. TS 825’in Sağladığı Enerji Tasarrufunun Ekonomik Büyüklüğü

Yıllar	Bina Sayısı	Parasal Tasarruf (\$)
2000 (son 6 ay)	49,000	140,000,000
2001	125,000	340,000,000
2002	170,000	470,000,000
2003	220,000	625,000,000
2004 (ilk 6 ay)	250,000	720,000,000

2. MATERYAL ve METOD

2.1. Test Odaları ve Deneysel Çalışma

Bu çalışmada duvarları ısı yalıtımsız ve duvarları bir faz değiştiren madde (FDM) ile ısı yalıtımlı betonarme iki test odası aynı boyutlarda inşa edilip deneysel olarak ısıl konfor ve ısıtma/soğutma enerji ihtiyaçları bakımından test edilmiş ve karşılaştırılmıştır (Şekil 2.1). Duvarları dıştan yalıtılacak olan test odasının ısı yalıtımı faz değiştiren madde (FDM) ile gizli ısı depolamalı yapılmıştır. Faz değiştiren madde olarak yaklaşık 28 °C’de eriyip katılaşıp $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (kalsiyum klorür heksahidrat) kullanıldı. Deneylerde kullanılan kalsiyum klorür heksahidrat’ın katı ve sıvı fazındaki yoğunluğu, erime gizli ısı, özgül ısı ve ısı iletim katsayısı sırasıyla 1710, 1527 kg/m³, 98, 98 kJ/kg, 3571, 4318 J/kgK, 1.013, 0.539 W/mK’dir. İçi hava boşluklu sera camlarının bu hava hücrelerinin içerisine kullanılarak FDM doldurulmuş ve sonra, bu camlar ısı yalıtımı sağlamak üzere test odasının duvarlarına dış taraftan monte edilerek söz konusu test odasının ısı yalıtımı sağlanmıştır. Yaz aylarında gündüz oda duvarlarına dıştan gelen güneş enerjisi FDM’nin erimesi ile gizli ısı şeklinde depolanarak ve böylece oda içi sıcaklığının artması engellenerek soğuması sağlanmış, geceleyin ise FDM’nin gündüz depolamış olduğu ısıyı çevreye bırakması ile FDM tekrar katılaşmıştır. Neticede gizli ısı depolama ile duvar ısı yalıtımı yapılmış test odası ve duvarları ısı yalıtımsız test odası ısıl konfor ve soğutma enerji ihtiyaçları bakımından karşılaştırılmıştır. Kışın ise içi boşluklu sera camları içine başka tür bir FDM, yani faz değişim sıcaklığı yazın kullanılan FDM’ninkinden farklı bir FDM doldurulmuş ve bu camlar yine yalıtılacak test odasının duvarlarına dıştan monte edilmiştir. Böylece kışın FDM’nin depoladığı ısı enerjisi hem gündüz duvar sıcaklığını belli bir seviyede tutarak odanın dış havaya olan ısı kaybını azaltacak hem de gündüz depolanan bu ısı enerjisi FDM tarafından geceleyin oda içerisindeki havaya salınarak odanın ısınması sağlanmıştır.



Şekil 2.1. Deneyler için inşa edilen test odaları (soldaki duvarları FDM ile ısı yalıtımlı odadır)

Test odalarının iç hava ve dış (çevre hava) sıcaklıkları, duvarların iç ve dış yüzey sıcaklıkları ile cam boşlukları içindeki FDM'nin erime (ısı depolama) ve katılaşma (ısı salıverme) esnasındaki sıcaklığı buralara belirli aralıklarla yerleştirilen Cu-Co (bakır-konstant) ısı çiftler (termo elemanlar) yardımıyla tespit edilmiştir. Belirli zaman aralıklarıyla ölçülen sıcaklıklar bu termo elemanların diğer uçlarının bağlandığı bir veri kaydedici (datalogger) cihazında kaydedilmiştir. Güneş ışıınımı değerleri bir solarimetre cihazı ile belirli zaman aralıklarıyla ölçülmüştür. Şekil 2.2'de duvarları FDM ile ısı yalıtımlı test odası ile sıcaklıkları ölçüp kaydeden datalogger (veri kaydedici) ve güneş ışıınımını ölçen solarimetre görünmektedir.

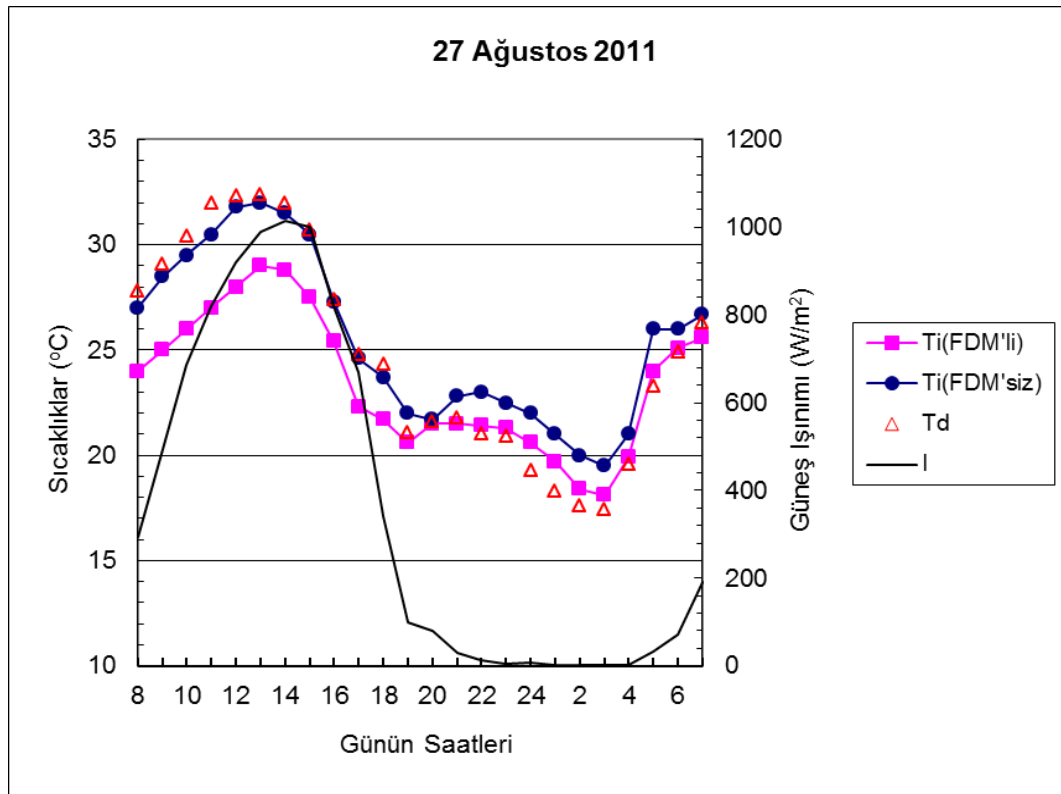


Şekil 2.2. Duvarları FDM ile ısı yalıtımlı test odası ile sıcaklıkları ölçüp kaydeden datalogger (veri kaydedici) ve güneş ışınlamını ölçen solarimetrenin görünüşü.

Isı yalıtımıyla elde edilecek tasarruf miktarı kış ve yaz mevsimleri için hem ısı hem de ekonomik yönden belirlenmiştir. Ayrıca deneysel çalışmalardan elde edilecek sonuçların literatürdeki bulgularla uygunluğu araştırılmıştır.

3. BULGULAR, SONUÇLAR ve TARTIŞMA

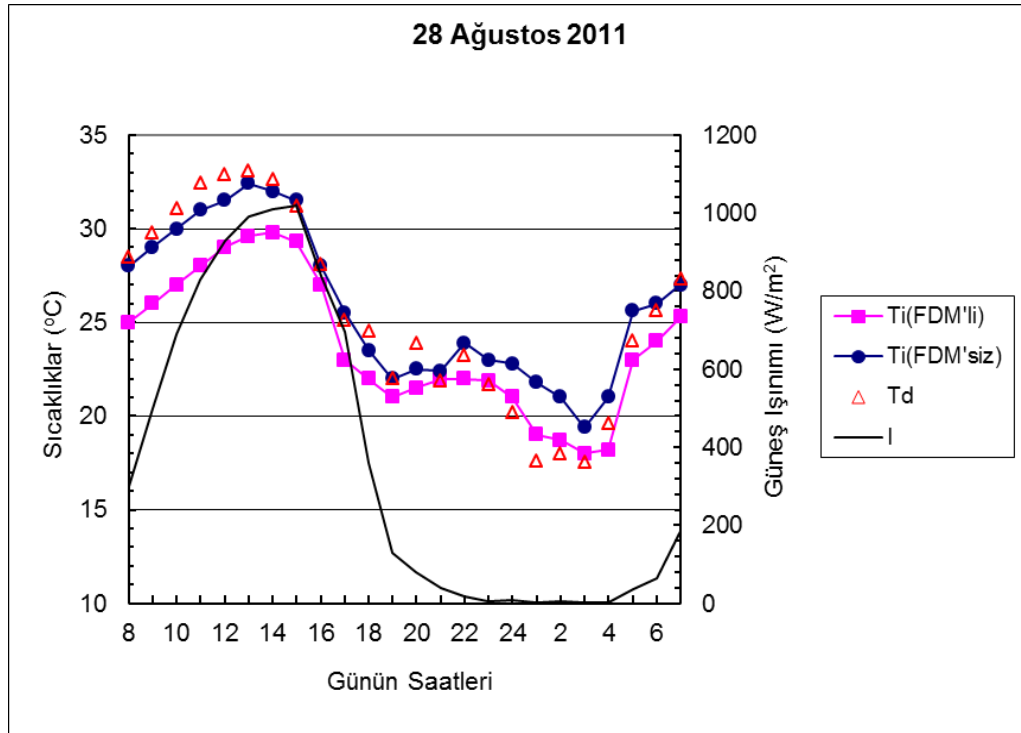
Şekil 3.1.'de 27 Ağustos 2011'de duvarları dıştan FDM'li ve FDM'siz test odaları için ölçülmüş iç hava sıcaklıklarının, dış hava sıcaklığının ve güneş ışınımının zamanla değişimi gösterilmiştir. Ortalama dış hava sıcaklığının 24.85 °C olduğu bu günde, dış hava sıcaklığı sabah saatlerinden itibaren gün batımına kadar odaların iç ortam hava sıcaklıklarından daha yüksek seyretmekte, daha sonra ise sabah saatlerine kadar odaların iç hava sıcaklıklarının altında seyretmektedir. Duvarları FDM ile ısıya karşı yalıtılmış test odasındaki iç ortam sıcaklığı bütün gün boyunca duvarları FDM'siz test odasının iç hava sıcaklığının altında kalmaktadır. Yalıtımsız ve yalıtımlı odaların günlük ortalama iç hava sıcaklık farkı $(25.46 - 23.43) = 2.03$ °C olmuştur.



Şekil 3.1. 27 Ağustos 2011'de duvarları ısı depolamalı ve ısı depolamasız test odalarının iç hava sıcaklıklarının, dış hava sıcaklığının ve güneş ışınımının zamanla değişimi.

Şekil 3.2.'de 28 Ağustos 2011'de duvarları dıştan FDM'li ve FDM'siz test odaları için ölçülmüş iç hava sıcaklıklarının, dış hava sıcaklığının ve güneş ışınımının zamanla

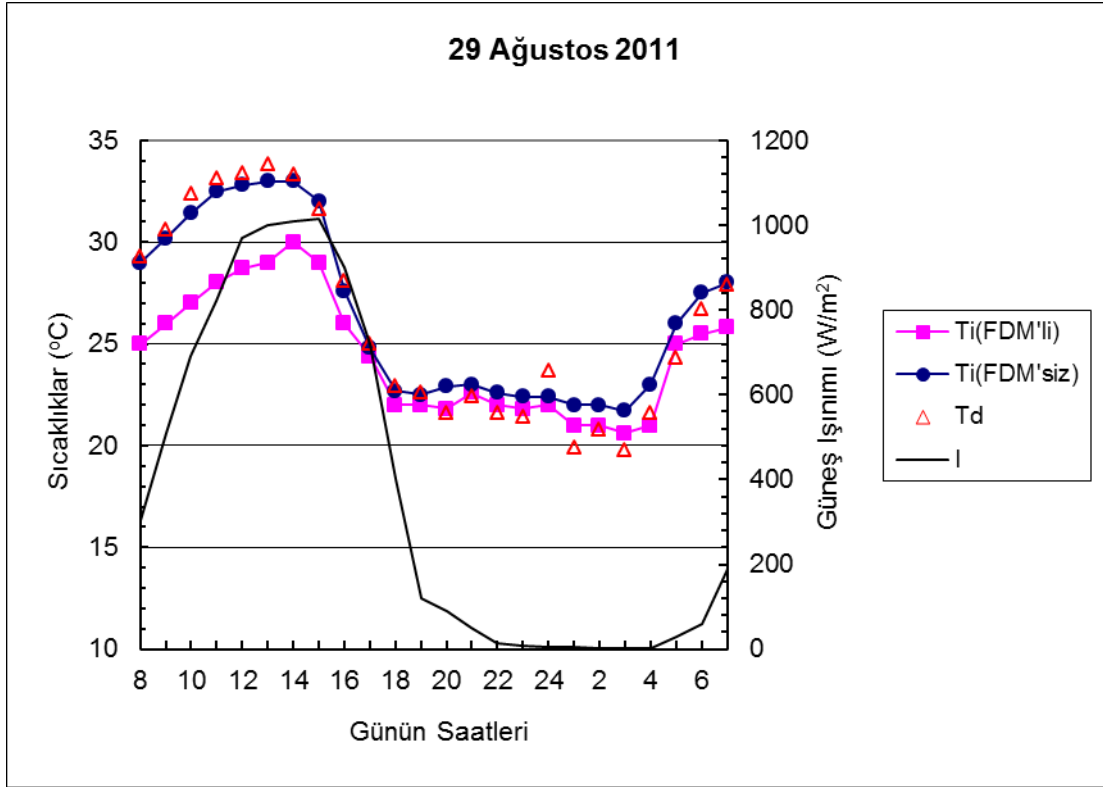
değişimi gösterilmiştir. Ortalama dış hava sıcaklığının 25.5 °C olduğu bu günde, dış hava sıcaklığı sabah saatlerinden itibaren gün batımına kadar odaların iç ortam hava sıcaklıklarından daha yüksek seyretmekte, daha sonra ise sabah saatlerine kadar odaların iç hava sıcaklıklarının altında seyretmektedir. Duvarları FDM ile ısıya karşı yalıtılmış test odasındaki iç ortam sıcaklığı bütün gün boyunca duvarları FDM'siz test odasının iç hava sıcaklığının altında kalmaktadır. Yalıtımsız ve yalıtımlı odaların günlük ortalama iç hava sıcaklık farkı $(25.86 - 23.80) = 2.06$ °C olmuştur.



Şekil 3.2. 28 Ağustos 2011'de duvarları ısı depolamalı ve ısı depolamamasız test odalarının iç hava sıcaklıklarının, dış hava sıcaklığının ve güneş ışınımının zamanla değişimi.

Şekil 3.3.'de 29 Ağustos 2011'de duvarları dıştan FDM'li ve FDM'siz test odaları için ölçülmüş iç hava sıcaklıklarının, dış hava sıcaklığının ve güneş ışınımının zamanla değişimi gösterilmiştir. Ortalama dış hava sıcaklığının 26.16 °C olduğu bu günde, dış hava sıcaklığı sabah saatlerinden itibaren gün batımına kadar odaların iç ortam hava sıcaklıklarından daha yüksek seyretmekte, daha sonra ise sabah saatlerine kadar odaların iç hava sıcaklıklarının altında seyretmektedir. Duvarları FDM ile ısıya karşı yalıtılmış test odasındaki iç ortam sıcaklığı bütün gün boyunca duvarları FDM'siz test odasının iç hava

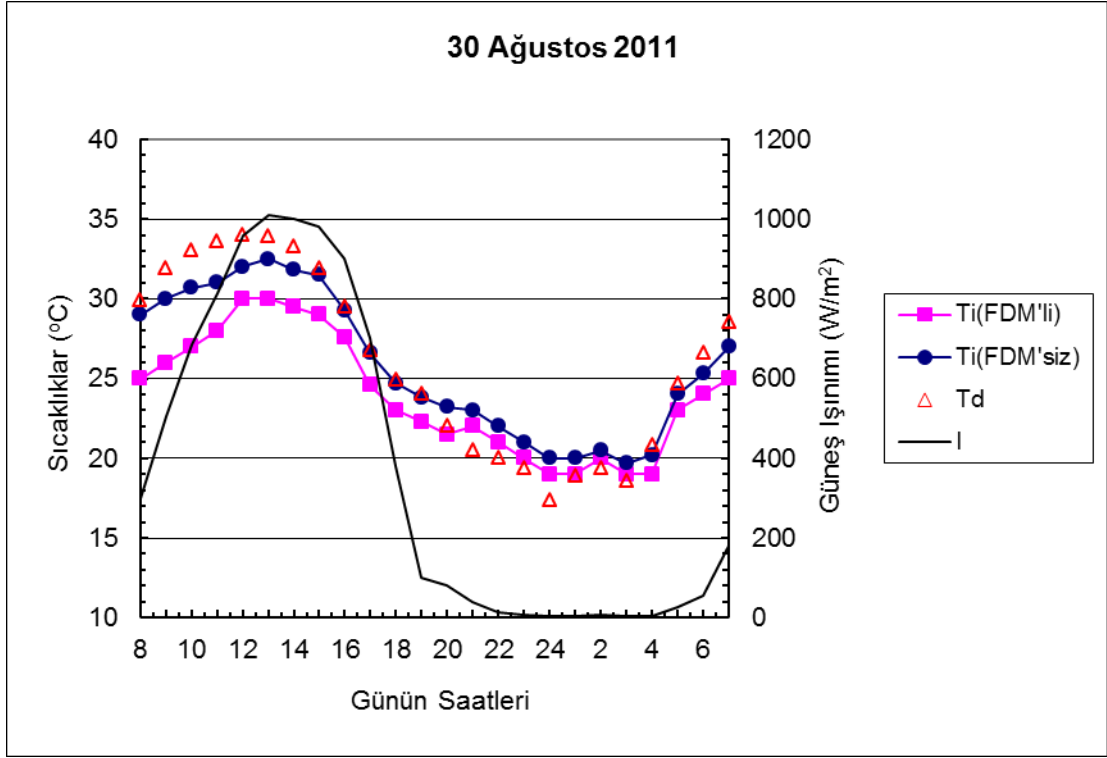
sıcaklığının altında kalmaktadır. Yalıtımsız ve yalıtımlı odaların günlük ortalama iç hava sıcaklık farkı $(26.46 - 24.46) = 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ olmuştur.



Şekil 3.3. 29 Ağustos 2011'de duvarları ısı depolamalı ve ısı depolamasız test odalarının iç hava sıcaklıklarının, dış hava sıcaklığının ve güneş ışınımının zamanla değişimi.

Şekil 3.4.'de 30 Ağustos 2011'de duvarları dıştan FDM'li ve FDM'siz test odaları için ölçülmüş iç hava sıcaklıklarının, dış hava sıcaklığının ve güneş ışınımının zamanla değişimi gösterilmiştir. Ortalama dış hava sıcaklığının $25.98\text{ }^{\circ}\text{C}$ olduğu bu günde, dış hava sıcaklığı sabah saatlerinden itibaren gün batımına kadar odaların iç ortam hava sıcaklıklarından daha yüksek seyretmekte, daha sonra ise sabah saatlerine kadar odaların iç hava sıcaklıklarının altında seyretmektedir.

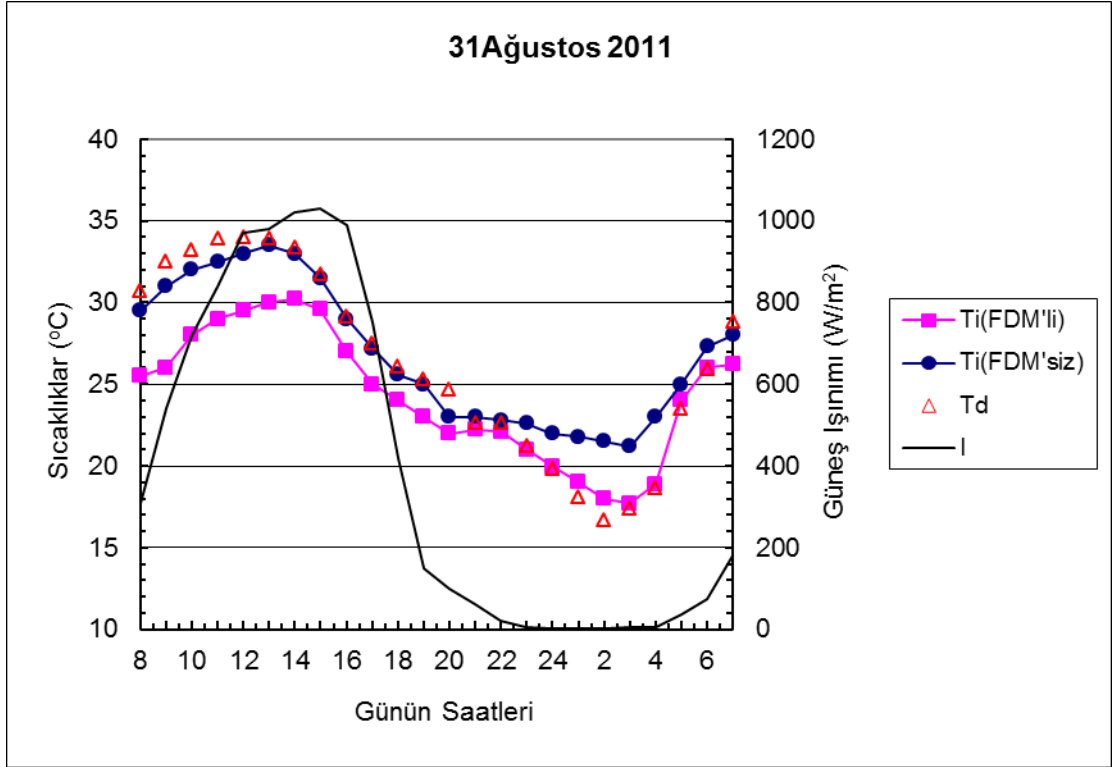
Duvarları FDM ile ısıya karşı yalıtılmış test odasındaki iç ortam sıcaklığı bütün gün boyunca duvarları FDM'siz test odasının iç hava sıcaklığının altında kalmaktadır. Yalıtımsız ve yalıtımlı odaların günlük ortalama iç hava sıcaklık farkı $(25.8 - 23.94) = 2.02\text{ }^{\circ}\text{C}$ olmuştur.



Şekil 3.4. 30 Ağustos 2011'de duvarları ısı depolamalı ve ısı depolamasız test odalarının iç hava sıcaklıklarının, dış hava sıcaklığının ve güneş ışınımının zamanla değişimi.

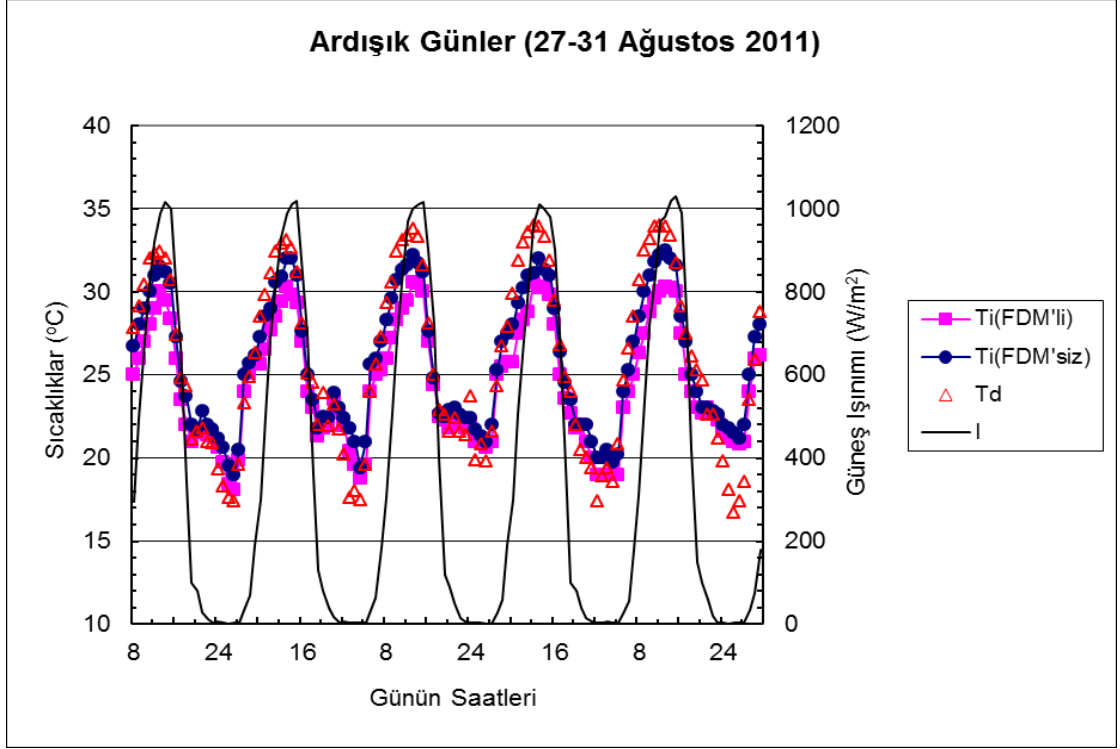
Şekil 3.5.'de 31 Ağustos 2011'de duvarları dıştan FDM'li ve FDM'siz test odaları için ölçülmüş iç hava sıcaklıklarının, dış hava sıcaklığının ve güneş ışınımının zamanla değişimi gösterilmiştir. Ortalama dış hava sıcaklığının 26.3 °C olduğu bu günde, dış hava sıcaklığı sabah saatlerinden itibaren gün batımına kadar odaların iç ortam hava sıcaklıklarından daha yüksek seyretmekte, daha sonra ise sabah saatlerine kadar odaların iç hava sıcaklıklarının altında seyretmektedir.

Duvarları FDM ile ısıya karşı yalıtılmış test odasındaki iç ortam sıcaklığı bütün gün boyunca duvarları FDM'siz test odasının iç hava sıcaklığının altında kalmaktadır. Yalıtımsız ve yalıtımlı odaların günlük ortalama iç hava sıcaklık farkı $(26.83 - 24.33) = 2.5$ °C olmuştur.



Şekil 3.5. 31 Ağustos 2011’de duvarları ısı depolamalı ve ısı depolamasız test odalarının iç hava sıcaklıklarının, dış hava sıcaklığının ve güneş ışıınının zamanla değişimi.

Şekil 3.6.’da ise 27-31 Ağustos 2011 tarihleri arasında ardışık günler halinde duvarları FDM’li ve FDM’siz test odaları için ölçülmüş iç hava sıcaklıklarının, dış hava sıcaklığının ve güneş ışıınının zamanla değişimi gösterilmiştir. Bütün günlerde de görüldüğü gibi güneş ışıını azaldıkça iç ortam sıcaklıkları da düşmektedir.



Şekil 3.6. 27-31 Ağustos 2011 tarihleri arasında duvarları ısı depolamalı ve ısı depolamasız test odalarının iç hava sıcaklıklarının, dış hava sıcaklığının ve güneş ışınımının zamanla değişimi.

Yukarıdaki bulgulardan da görüldüğü gibi FDM ile duvarları ısı yalıtımlı yapmak suretiyle yalıtımsız odaya kıyasla 2 - 2.5 °C daha düşük iç ortam hava sıcaklığı sağlanabilmektedir.

Günümüzde özellikle diğer ülkelere göre ülkemizdeki enerjinin daha pahalı ve çoğunluğunun dışardan döviz ödenerek alındığı düşünülürse, bu yöntemin ülkemiz açısından ne denli faydalı olacağı anlaşılır.

4. ÖNERİLER

Konutların duvar ısı yalıtım kabiliyetini iyileştirme, duvarların yüksek güneş ışımasını değerlerine maruz kaldığı özellikle sıcak iklim bölgelerinde çok önemli bir konudur. Dolayısıyla duvar ısı yalıtımı, tükettiği enerjinin büyük bir kısmını yurtdışından ithal eden ülkemiz açısından üzerinde çalışılması gereken çok önemli bir konudur. Çağımızda ısıl konfor amaçlı çalışmalar sadece konutların ısıtılması alanında değil, aynı zamanda konutların soğutulması alanında da yoğunlaşmaktadır. Konutların soğutulması için gerekli enerji miktarı özellikle dünyanın sıcak ve nemli iklimlere sahip ülkelerinde çok önemli bir değere ulaşmakta ve bu değer küresel ısınmanın gittikçe etkisini arttıracak önümüzdeki yıllarda daha da yüksek değerlere ulaşacağı tahmin edilmektedir. Çevreye zararsız ve performansı daha yüksek ısı yalıtım malzemeleri üzerine çalışmalar hız kazanmıştır. Bu çerçevede, faz değiştiren maddelerle ısı yalıtımı sağlanması tekniği üzerine çalışmalar çok yeni olup, az sayıda ve henüz araştırma safhasındadır. Konutların soğutulması için gerekli olan ve gün geçtikçe artan enerji maliyetini azaltmak ve ülkemizde gerek ısıtma ve gerekse soğutma amaçlı ısı yalıtımı alanlarında mevcut olan bilgi ve ilgi eksikliğini ortadan kaldırmak için yapılacak çalışmalarla insanlar aydınlatılmaya çalışılacak ve yol gösterici olunacaktır. Ülkemizde yapılan yeni binalarda dış duvarların değişik konstrüksiyon ve malzemelerle ısı yalıtımı uygulamaları son yıllarda yaygınlaşmaya devam etmektedir. Bu çalışmada aynı boyutlarda olmak üzere eni-boyu-yüksekliği 2.5x3x2.5 m ve içten döşeme alanı 7.5 m² olan iki adet test odası prototip olarak inşa edildi, bunlardan biri dış duvarları gizli ısı depolamalı, öteki ise ısı depolamasız olarak ısı performanslarını karşılaştırmak amacıyla deneysel olarak incelendi.

Bu konuda yapılacak ileriki çalışmalarda dış duvarları FDM ile gizli ısı depolamalı tip pasif soğutma sistemlerinin teorik olarak modellenmesi deneysel çalışmalar için faydalı olacaktır.

Ayrıca binaların dış duvarları FDM ile gizli ısı depolamalı ısı yalıtımı için daha farklı faz değiştiren maddeler ve farklı tasarımlar araştırılabilir ve kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **ABHAT, A.,1983.** Low temperature latent heat thermal energy storage materials, Solar Energy 30 (4) 313-332.
- [2] **DİNÇER, I., ROSEN, M.A.,2002.** Thermal Energy Storage, Systems and applications, John Wiley&Sons.Chicheser(England).
- [3] **ZALBA B., MARİN J. M., CABEZA L.F., MEHLİNG H., 2003,** Review on thermal energy storage with phase change materials, heat transfer analysis and applications, Applied Thermal Engineering,23,pp. 251-283
- [4] **FARİD M. M., KHUDHAİR A. M., RAZACK S. A. K., AL-HALLAJ S.,2004, A** review on phase change energy storage materials and applications, Energy Conversion & management, 45 pp. 1597-1615
- [5] **SARIKAYA Y,**Fizikokimya, Gazi kitabevi,2000
- [6] **LANE G. A., 1983a,** Solar energy latent heat material , Volume I, CRC Pres Inc. Boca Raton /Florida,450
- [7] **MAZMAN M., 2006,** Gizli ısı depolaması ve uygulamaları,Doktora tezi,Ç.Ü. Fen Bil. Ens.,Adana
- [8] **PAKSOY H. Ö.,1992,** Thermal analysis of heat storage materials and integrated heat pump and thermal energy storage,Doktora tezi.Ç.Ü.Fen Bil. Ens.,Adana
- [9] **KOVACH, E.G.,** Thermal Energy Storage.The report of a NATO Science Committee Conference,1-5 March,1976, Scotland,Pergamon Pres,76s.
- [10] **SARI A.,2000,**Bazı yağ asitleri ve ötektik karışımlarının enerji depolayıcı madde olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi,Doktora Tezi, Gaziosman Paşa Üni. Fen Bil.Ens Tokat
- [11] **ÖZKAN, K.,2001.** Yüksek performanslı ısı yalıtım malzemeleri, www.mmo.org.tr.
- [12] **HASNAIN S.M.,** Review on Sustainable Thermal Energy Storage Technologies, PartI: Heat Storage Materials and Techniques, Energy Conversion and Management,39, 11 (1998) 1127-1138.
- [13] **GÜNERHAN H.,** Duyulur Isı Depolama ve Bazalt Taşı, Mühendis ve Makina, 530 (2004) 12-17.
- [14] **ÖZONUR, Y., 2004.** Düşük Sıcaklıkta Termal Enerji Depolamasına Uygun Faz Degistiren Maddelerin Mikrokapsüllenmesi Ç.Ü. Fen Bilimleri Ens. Yüksek Lisans Tezi.

- [15] **LENOTRE C.**, Sub-Zero Thermal Energy Storage for Process Cooling, <http://www.irc.wisc.edu/ASHRAE-101/programs/Annual%202003%20Lenotre.pdf> 11 Şubat 2007.
- [16] **FELDMAN D., SHAPIRO M. M., BANU D.**, 1986, Organic phase change materials for thermal energy storage, Solar Energy Mater 13, 1-10
- [17] **ÖZTÜRK H.**, 1997, Sera ısıtma için güneş enerjisinin faz değıştiren maddelerde depolanması üzerine bir araştırma,Doktora tezi, Ç.Ü. Fen Bil. Ens.,Adana
- [18] **ÖZONUR, Y., MAZMAN M., PAKSOY H.Ö.**, 2003. Termal enerji depolaması için parafinin mikrokapsüllenmesi, Türkiye 9. Enerji Kongresi, İstanbul,Türkiye.
- [19] **BÜYÜKBIÇAKCI E.**, 2006, Faz değıştirici maddelerin transformatörlerin soğutulmasında kullanılması, Marmara Üni., Yüksek lisans tezi, İstanbul
- [20] **ÖZONUR (KONUKLU) Y.**, 2004, Düşük sıcaklıkta termal enerji depolamasına uygun faz değıştiren maddelerin mikrokapsüllenmesi,Yüksek lisans tezi,Ç.Ü. Fen Bil. Ens.,Adana
- [21] **GÖK Ö.**,2005, Faz değıştiren maddelerin destekleyici maddelerde tutuklanması ve termal performansı, Yüksek lisans tezi, Ç.Ü. Fen Bil. Ens.,Adana
- [22] **HE B., GUSTAFFSON M.E., SETTERWALL, F.**, 1999. Tetradecane and Hexadecane Binary Mixtures as Phase Change Materials (PCMs) for Cool Storage District Cooling Systems,Energy, 24, 1015-1028.
- [23] **SHILEI L., NENG Z., GUOHUI F.**, 2006. Eutectic mixtures of capric acid and lauric acid applied in Building wallboards for heat energy storage, Energy and Buildings, 38 s., 708–711.
- [24] **WATSON, D., LABS, K.**, 1983. Climatic Buildig Design, Mc Gram-Hill Book Company
- [25] **ZHANG, Y.P, LIN, K.P., YANG, R., DI, H.F., JIANG, Y.**, 2006. Preparation, thermal performence and application of shape stabilized PCM in energy efficient buildings, energy and buildings 38, s1262-1269.
- [26] **SARI A.**,2000,Bazı yağ asitleri ve ötektik karışımlarının enerji depolayıcı madde olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi,Doktora Tezi,Gaziosman Paşa Ü. Fen Bil. Ens.,Tokat
- [27] **ÖZONUR, Y., MAZMAN M., PAKSOY H.Ö.**, 2003. Termal enerji depolaması için parafinin mikrokapsüllenmesi, Türkiye 9. Enerji Kongresi, İstanbul,Türkiye.

- [28] **PY X., R. OLIVES, S. MAURAN,** 2001, Paraffin/Porous-Graphite-Matrix Composite as a High and Constant Power Thermal Storage Material, *Int. J. Heat and Mass Transfer* 44, 2727-2737
- [29] **ÖZONUR, Y., MAZMAN M., PAKSOY H.O., EVLIYA H.,**2006. Microencapsulation of coco fatty acid mixture for thermal energy storage with Phase change material”, *International Journal Of Energy Research*, 30 S.741–749.
- [30]. **ZALBA, B., MARİN, J.M., CABEZA, L.F. VE MEHLİNG, H.,** Review on Thermal Energy Storage with Phase Change: Materials, Heat Transfer Analysis and Applications, *Applied Thermal Engineering*, 23, 3 (2003) 251-283.
- [31] <http://www.rubitherm.com/english/index.htm>, Latent Heat Paraffins, 6 Şubat 2007.
- [32] **SHARMA, A., WON, L.D., BUDDHİ, D. VE PARK, J.U.,** Numerical Heat Transfer Studies of the Fatty Acids for Different Heat Exchanger Materials on the Performance of a Latent Heat Storage System, *Renewable Energy*, 30, 14 (2005) 2179-2187.
- [33] **CEDENO F.O.,PRIETO M.M.,ESPINA A., GARCIA J.R.,**2001, Measurement of Temperature and melting heat of some pure fatty acids and their binary and ternary mixtures by differential scanning calorimeter,*Thermochimica* 369, 39-50
- [34] **SUPPES G. J., GOFF M.J., LOPES S.,**2003, Latent heat characteristic of fatty acid derivatives pursuant Phase change material applications, *Chemical Engineering Science*, V.58,1751-1763
- [35] **MAZMAN M.,** 2006, Gizli ısı depolaması ve uygulamaları,Doktora tezi,Ç.Ü. Fen Bil. Ens.,Adana
- [36] **HASNAIN S.M.,** 1998, Review on sustainable thermal energy storage technologies, Part I:Heat storage materials and techniques, *Energy Conversion & Management* 39, 1127-1138.
- [37] **WANG F.,MAIDMENT G., MISSENDEN J.,TOZER R.,**The novel use of phase change materials in refrigeration plant. Part 1:Experimental investigation, *Applied Thermal Engineering*,2007,1-9
- [38] **PAKSOY H.Ö.,** 2007. Thermal Energy Storage for Sustainable Energy Consumption –Fundamentals, Case Studies and Design, Editör, NATO Science Series, II. Mathematics Physics and Chemistry – Vol 234, Springer, ISBN-10 1-4020-

5288-X (HB), 447 sayfa.

- [39] **ÖZONUR Y.**, 2007, Mikrokapsüllenmiş Faz Değiştiren Maddelerde Termal Enerji Depolama ile Binalarda Enerji Tasarrufu,.Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana
- [40] **ÖVEZ, B.** 1992. Mikrokapsül Yapımı, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi. İzmir.
- [41] **KIRBY, C.**, 1985, Microencapsulation and controlled delivery of food ingredients. Food Science and Technology Today 5.
- [42] **GUTCHO, M.H.**, 1976. Microcapsules and microencapsulation Techniques, Noyes Data Corporation.
- [43] **BAXTER, G.**, 1974. Microencapsulation Process and Applications, Edited by Vandegaer, J.E., Marcel Dekker Inc., New York.
- [44] **WIKIPEDIA**, 2008.[http:// wikipedia.org](http://wikipedia.org).
- [45] **CAN, A.**, 2008, Yapılarda Isı Yalıtımı Ve Türkiye'de Enerji İhtiyacının Azaltılması Yönünden Önemi, <http://www.mmoistanbul.org>.
- [46] **İZODER**, 2004. <http://www.izoder.org.tr>.
- [47] **KULAKSIZOĞLU, Z.**,2006. Isı Yalıtım Sektör Arastırması.
- [48] **SCHOSSIG, P., HENNING, H.M., HAUSSMAN, T., RAICU, A.**,2003. Encapsulated Phase-Change Materials integrated into construction materials, 5th Experts Meeting of Annex 17 to the Implementing Agreement on Energy Conservation through Energy Storage within International Energy Agency, Warsaw.
- [49] **KONDO, T., IBAMOTO, T.**, 2003. Research on using the PCM for ceiling board, 5th Experts Meeting of Annex 17 to the Implementing Agreement on Energy Conservation through Energy Storage within International Energy Agency, Warsaw.
- [50] **GHONEİM, AA., KLEIN, SA., DUFFIE, J.A.**,1991.Analysis of collector-storage building walls using phase-change materials,Solar Energy,47s.237-242.

ÖZGEÇMİŞ

Murat ÇEVİK 1980 yılında İzmir’de doğdu. İlk ve orta öğrenimini İzmir’de tamamladı. 2003 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi İzmir Meslek Yüksekokulu Makine programından mezun oldu. Aynı yıl Dicle Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Öğretmenliği Bölümüne Dikey geçiş sınavı geçiş hakkı kazanarak eğitime başladı. Aynı zaman diliminde Anadolu Üniversitesi İşletme bölümünden mezun oldu. 2008 yılında da Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Makine Eğitimi Bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı.

İletişim Bilgileri;

Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi

Makine Eğitimi Bölümü

ELAZIĞ

e-mail: muratcevik@hotmail.fr