

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GİZLİ ISI DEPOLAMALI TAVAN ISIL YALITIMININ DENEYSEL
OLARAK ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Fatih ÖRENGÜL

Anabilim Dalı: Makine Eğitimi
Programı: Enerji Eğitimi

EYLÜL - 2010

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezi olarak hazırlamış olduğum bu çalışma, gizli ısı depolamalı tavan ısı yalıtımının incelenmesi hakkında deneysel olarak yapılmış bir araştırmadır. Bu çalışma ile faz değiştiren maddelerle binalarda tavan 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.

Fatih ÖRENGÜL
ELAZIĞ - 2010

İÇİNDEKİLER

Sayfa No:

TEŞEKKÜR

ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET.....	V
SUMMARY.....	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
TABLOLAR LİSTESİ.....	IX
ÇİZELGE LİSTESİ.....	X
SEMBOLLER LİSTESİ.....	XI
1.GİRİŞ.....	1
1.1 Yalıtım.....	3
1.1.1 Dünya ve AB’de ısı yalıtımı.....	3
1.1.2 Türkiye’de ısı yalıtımı.....	6
1.1.3 Türkiye’deki Isı Yalıtımı Mevzuatları.....	10
1.2 Isıl Enerjinin Depolanmasını Gerektiren Faktörler.....	15
1.2.1.Enerji Kaynaklarının Zaman Bağımlılığı.....	15
1.2.2.Enerji Yükünün Zaman Bağımlılığı.....	16
1.2.3.Enerji Tüketim Maliyetinin Zaman Bağımlılığı.....	16
1.2.4 Termal Enerji Depolama Yöntemleri (TED)	18
1.2.5. Duyulur Isı Depolama.....	19
1.2.6. Sıvı Ortamda Isı Depolama.....	20
1.2.7. Katı Ortamda Isı Depolama.....	23
1.2.8. İkili Ortamda Isı Depolama.....	26
1.2.9. Gizli Isı Depolama.....	27
1.2.10. Termokimyasal Yöntemle IsıDepolama.....	28
1.2.11. Faz Değiştiren Maddeler (FDM)	29
1.2.12. Parafinler.....	30
1.2.13. Yağ asitleri.....	31
1.2.14. Tuz hidratları.....	32
1.2.15. Ötektik Karışımlar.....	32

1.2.16. Faz Değiştiren Madde Seçimindeki Önemli Konular.....	33
1.2.17. Faz Değişim Sıcaklığı.....	33
1.2.18. Faz Değişim Isısı.....	34
1.2.19. Faz Ayrımı ve Aşırı Soğuma.....	34
1.2.20. FDM nin Kimyasal Özellikleri.....	34
1.2.21. FDM nin Ekonomik Özellikleri.....	35
1.2.22. Soğutma Uygulamalarında FDM'ler.....	35
2. MATERYAL ve METOD.....	37
2.1. Test Odaları ve DeneySEL Çalışma.....	37
3.BULGULAR, SONUÇLAR ve TARTIşMA.....	41
4. ÖNERİLER.....	47
5. KAYNAKLAR.....	48
ÖZGEÇMİş	51

ÖZET

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

Bu amaçla iki adet özdeş test odası tasarlanıp yan yana inşa edildi. Test odalarının tavan üstlerinden biri FDM doldurulmuş delikli klasik tuğlalarla örtüldü. Tipik açık yaz günlerinde aynı anda güneş ışınlamına maruz bırakıldılar. Deneyler klasik delikli ısı yalıtım tuğlalarına FDM eklemenin tavan ısı karakteristiği üzerindeki etkilerini araştırmak için gerçekleştirildi. FDM eklenmiş tavan FDM eklenmemiş tavandan daha iyi bir günlük ısı yalıtım etkisi sergiledi. FDM eklenmiş tavan, 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 Rooftop Thermal-Insulation by Latent Heat Storage

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

For this purpose, two identical test rooms were designed, constructed, and located nearby in field. One of their rooftops was covered by PCM treated conventional hollow bricks. 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 rooftop. PCM-treated rooftop had a better daytime thermal insulation effect than one of PCM-untreated. PCM-treated rooftop 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. Dünya genelinde enerji tüketimi.....	4
Şekil 1.2. Dünya enerji tüketiminde çeşitli enerji kaynaklarının payı.....	5
Şekil 1.3. Avrupa’da enerji tüketiminin sektörlere göre dağılımı.....	6
Şekil 1.4. Yıllara Göre Birincil Enerji Tüketiminin Değişimi.....	7
Şekil 1.5. Yıllara Göre Üretim – Tüketim Oranları.....	8
Şekil 1.6. Enerji Tüketiminin Sektörel Dağılımı.....	8
Şekil 1.7. Yıllara Göre Enerji Tüketiminin Değişimi 2005 – Kullanılan Enerji Kaynakları 2003.....	9
Şekil 1.8. FDM uygulamaları (www.fskab.com/Annex17).....	30
Şekil 2.1. Deneyler için inşa edilen test odaları.....	37
Şekil 2.2. Faz değiştiren maddenin (FDM) doldurulacağı silindirik kapsüller.....	38
Şekil 2.3. Silindirik FDM kapsüllerinin yerleştirileceği delikli tuğlalar.....	39
Şekil 2.4. Silindirik FDM kapsülleri içeren delikli tuğlaların test odası üzerindeki görünüşü.....	39
Şekil 3.1. 18 Ağustos 2010’da tavanı ısı depolamalı ve ısı depolamasız test odalarının iç hava sıcaklıklarının, dış hava sıcaklığının ve güneş ışıınının zamanla değişimi.....	41
Şekil 3.2. 19 Ağustos 2010’da tavanı ısı depolamalı ve ısı depolamasız test odalarının iç hava sıcaklıklarının, dış hava sıcaklığının ve güneş ışıınının zamanla değişimi.....	42
Şekil 3.3. 20 Ağustos 2010’da tavanı ısı depolamalı ve ısı depolamasız test odalarının iç hava sıcaklıklarının, dış hava sıcaklığının ve güneş ışıınının zamanla değişimi.....	43
Şekil 3.4. 21 Ağustos 2010’da tavanı ısı depolamalı ve ısı depolamasız test odalarının iç hava sıcaklıklarının, dış hava sıcaklığının ve güneş ışıınının zamanla değişimi.....	44

Şekil 3.5. 22 Ağustos 2010’da tavanı ısı depolamalı ve ısı depolamasız test odalarının iç hava sıcaklıklarının, dış hava sıcaklığının ve güneş ışıınının zamanla değişimi.....	45
Şekil 3.6. 18-22 Ağustos 2010 tarihleri arasında tavanı ısı depolamalı ve ısı depolamasız test odalarının iç hava sıcaklıklarının, dış hava sıcaklığının ve güneş ışıınının zamanla değişimi.....	46

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No:

Tablo 1. Duyulur ısı depolama maddelerinden bazılarının özellikleri.....	19
Tablo 2. Duyulur ısı depolama için kullanılan bazı sıvı maddeler.....	22
Tablo 3. Duyulur ısı depolamada kullanılan bazı katı maddeler.....	25

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No:

Çizelge 1. Isı Depolama için Organik ve Anorganik Maddelerinin Karşılaştırılması...33

SEMBOLLER LİSTESİ

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

1.GİRİŞ.

Günümüzde enerji üretiminin çok büyük bir bölümünü sağlayan fosil yakıtların tükenme olasılığı, enerjinin stratejik önemini arttırmaktadır. 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. Güneş, rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından daha fazla yararlanmanın yolları aranırken, enerjinin etkin kullanımını sağlayarak, enerji tüketimini azaltacak yöntemler üzerinde çalışmalar da hızlandırılmıştır. Enerji verimliliği ile ilgili çalışmaları tetikleyen son büyük gelişme ise çevresel kaygılardan kaynaklanıyor. Enerji üretimi sonucu açığa çıkan karbondioksit ve diğer sera gazlarının yarattığı iklim değişikliği ve küresel ısınma, enerji verimliliği konusunda uluslararası çalışmalara ivme kazandırmıştır.

Üretilen enerjinin % 35-40'ının binalarda tüketilmesi ve bu oranın %85'inin ısıtmada kullanılması, yapılarda bina yalıtımına gereken önemin verilmeyişinden kaynaklanmaktadır. Bu da 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 tasarrufu sağlanmaktadır. 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 azalmakta (dolayısıyla elektrik enerjisi fosil yakıtlardan elde ediliyorsa zararlı emisyonlar azalmakta) ve elektriğe en çok ihtiyaç duyulan zamanlarda elektriğe aşırı yüklenme engellenebilmektedir.

Avrupa'da, ısı yalıtımı ile ilgili yasal mevzuatın sürekli daha sıkı hale gelmesi, Az Enerji Tüketen Yapılar (Low Energy Building) yaklaşımının giderek daha popüler olması, retrofit 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 retrofit/tesisat uygulamalarında olduğu gibi alan kısıtlaması nedeniyle imkânsızdır. Bu yüzden 1990'lı yıllardan itibaren binaların yalıtımı için daha etkin ve ucuz yöntemler üzerindeki çalışmalar önem kazanmıştır. Duvar, ısı köprüleri, zemin ve tavan yüzey sıcaklıklarının iç konfora olduğu kadar yapı kabuğu üzerinde de önemli etkileri vardır. Yeterli yalıtım yaşam kalitesine katkıda bulunur ve bina dokusunun korunmasına yardımcı olur. Sağlıklı ve rahat yaşam sadece uygun ısı ve nem şartlarına sahip olan mekânlarda mümkündür. Isı köprülerinde yoğuşma, rutubetli alanlar, küf oluşması ve çatlamlar doğru yalıtım çözümünün uygulanması ile etkili bir şekilde önlenabilir. Bina yalıtımı yapılırken ısı kaybına müsait geniş yüzeylerin (duvarlar, çatı, zemin) yanı sıra muhtemel ısı köprülerine de (subasman, kirişler, lento, radyatör muhafazaları, parapetler, donatılı beton sütunlar, pencere denizlikleri, pencereler arasındaki taşıyıcılar, duvar dış köşeleri, duvar birleşim yerleri) gereken önem verilmelidir. Isı köprülerinin yalıtılmaması ciddi miktarda ısı kaybına neden olmanın yanı sıra yoğuşma, küflenme, çatlak oluşmasına yol açar. 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.

Binalarda duvarlar ve pencerelerden sonra en fazla ısı kaybı/kazancı olan bölümler tavan/çatı ve döşemelerdir. 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 tavanı ısı yalıtımsız ve tavanı 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 YALITIM

Yalıtımının önemi, iki ana kavrama dayanır: Enerji ve çevre. Buna sağlıklı ve konforlu yaşam alanlarını da ekleyebiliriz. Enerji, sadece bizler için değil, dünya için de önemli, stratejik, makro bir kavramdır. Ülkemizin, enerji kaynakları açısından çok zengin olmadığı bir gerçektir. Bilinen enerji kaynakları açısından petrol, doğalgaz ve hatta zaman zaman kömürde %70'lere varan oranlarda dışa bağımlılığımız bulunmaktadır. Ülkemiz, ithal ettiği ve kendi öz kaynaklarından ürettiği enerjinin üçte birini, binaları ısıtma ve soğutma amacıyla kullanmaktadır. Ancak bu amaçla kullanılan enerjinin en az yarısı, binaların yalıtımsızlığı nedeniyle kaybedilmektedir.

Yalıtımsızlık nedeniyle israf edilen enerji kükürtdioksit, karbonmonoksit ve bunun gibi zehirli gazların yarattığı çevre ve hava kirliliğine yol açmaktadır. Bu da sadece ülkemiz açısından değil, dünyamız için de büyük ve tehlikeli bir problemdir. Ülkemiz atık gazların azaltılması amacıyla uluslararası sözleşmeler imzalamış ve taahhüt altına girmiştir. Isı yalıtımı uygulamalarının yaygınlaştırılması, bu sözleşmelerdeki gereklerin yerine getirilmesine de katkıda bulunacaktır.

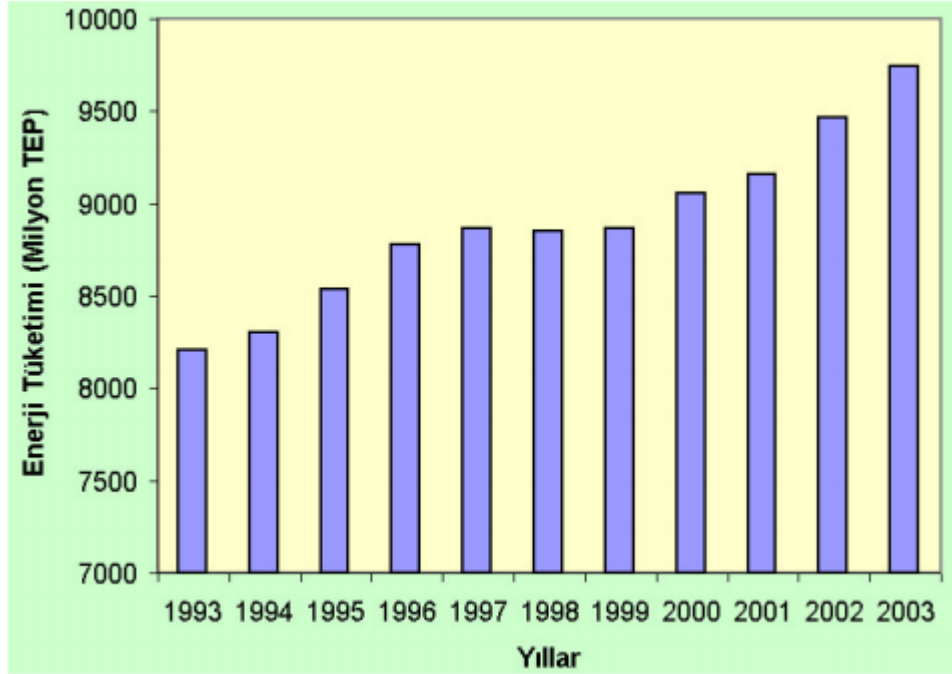
Dünyada, modern anlamda yalıtım ile ilgili çalışmalar, 20. yüzyılın başından itibaren başlamıştır. Ancak yalıtım uygulamaları açısından, 1970'li yıllardaki petrol krizi önemli bir dönüm noktası oluşturmuştur. Bu tarihten sonra, enerji tasarrufu önlemleri çerçevesinde ısı yalıtımı öne çıkmış ve bu konuda ciddi adımlar atılmıştır.

1.1.1 Dünya ve AB'de ısı yalıtımı

Ülkelerin enerji politikaları açısından 1973 yılı önemli bir tarihtir. Petrol ihraç eden ülkelerin önce petrol arzını kısıtlamaları, daha sonra da petrol fiyatlarını beklenmedik ölçüde artırmaları sonucu ortaya çıkan "Petrol Krizi"nin yol açtığı ekonomik çıkmaz, tüm dünya ülkelerini, enerji konusunda yeni arayışlara zorlamıştır. Ülkeler, bir yandan alternatif enerji kaynakları arayışına girerken, diğer yandan da enerji verimliliği konusunda acil önlemler alma yoluna gitmişlerdir. Petrol fiyatlarının, krizi izleyen yıllarda da sürekli artış eğiliminde olması enerji verimliliği ile ilgili önlemleri, ülkelerin ekonomi politikalarının vazgeçilmez bir parçası haline getirmiştir.

Çoğalan nüfus, sanayileşme ve yeni teknolojiler artan oranda enerji talebini de beraberinde getiriyor. Dünya üzerinde tüketilen enerji miktarındaki artış aşağıda verilen grafikte açıkça görülüyor. İstatistikî veriler incelendiğinde; dünya üzerinde tüketilen enerji miktarının 1993 ve 2003 yılları arasındaki 10 yıllık dönemde, yüzde 18,7 oranında arttığı anlaşıyor. Tüm dünya genelinde 2002 yılındaki enerji tüketimi, yüzde 2,9 oranında artarak 2003 yılında 9.741,1 milyon TEP seviyesine ulaşmıştır (Şekil 1.1).

2003 yılı verilerine göre dünyada kullanılan enerjinin yüzde 23,6'sı ABD'de tüketiliyor. ABD'yi yüzde 12,1 ile Çin Halk Cumhuriyeti, yüzde 6,9 ile Rusya Federasyonu ve yüzde 5,2 ile Japonya takip ediyor. AB'nin toplam enerji tüketimindeki payı ise yüzde 15,4.

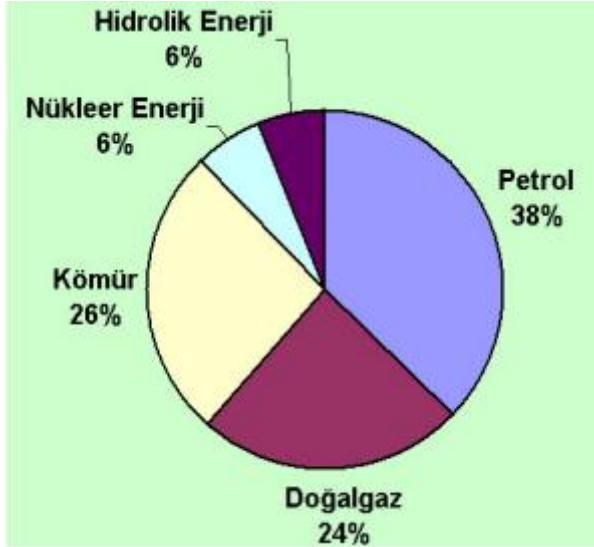


Sekil 1.1. Dünya genelinde enerji tüketimi.

Tüketilen enerjinin elde edildiği kaynaklar, genel olarak iki başlık altında toplanabilir. Bunlardan ilki kömür, petrol, doğalgaz gibi fosil yakıtları ve nükleer enerji kaynaklarını içerir. Bu gruptaki enerji kaynakları sınırlıdır ve “yenilenemeyen enerji kaynakları” olarak adlandırılır. “Yenilenebilir enerji kaynakları”ndan oluşan diğer grup ise, güneş, rüzgâr, su ve jeotermal enerji kaynaklarını içerir.

Dünyada kullanılan enerjinin büyük kısmı yenilenemeyen enerji kaynaklarından elde edilir. Dünya enerji tüketiminde, 2003 yılı verilerine göre, nükleer enerjinin payı yüzde 6, petrol, doğalgaz ve kömürün toplam payı ise yüzde 82 oranındadır. Buna

karşın, yenilenebilir enerji kaynaklarından ise, yalnızca hidrolik enerjinin payı ciddi oranda yüksektir. Hidrolik enerjinin, dünya enerji üretimindeki payı yaklaşık yüzde 6'dır. Diğer yenilenebilir enerjilerin payı ise yaklaşık yüzde 1'dir.(Şekil 1.2).



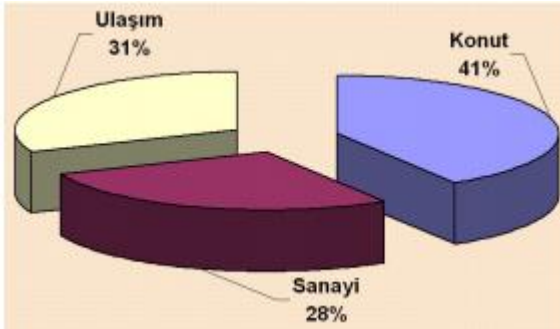
Sekil 1.2. Dünya enerji tüketiminde çeşitli enerji kaynaklarının payı.

Bu tablo, enerjiyle ilgili en büyük sorunu da ortaya koymaktadır. Öyle ki, dünya enerji ihtiyacının temelini oluşturan fosil yakıtlar giderek azalmaktadır. Bilinen rezervler göz önüne alındığında, dünyada en fazla rezerv taşkömürüne aittir. Taşkömürünü sırasıyla linyit, petrol ve doğalgaz rezervleri takip etmektedir. Yapılan hesaplamalar, rezervlerin yakın bir gelecekte tükeneceğini göstermektedir. Birleşmiş Milletlerin 1996 yılında yayınladığı Enerji Raporu'nda, petrol rezervlerinin 42 yıl, doğalgaz rezervlerinin 62 yıllık ömrünün kaldığı belirtilmiştir. Aynı raporda kömür rezervlerinin ömrü 220 yıl, nükleer enerji üretiminde yakıt olarak kullanılan uranyum için verilen rezerv ömrü ise 83 yıl olarak öngörülüyor. Birçok uzman bu tahminlere paralel sonuçlar elde etmiş, yeni rezervlerin bulunacağına dair beklentide olan uzmanlar bile, yeni enerji kaynaklarının hızla geliştirilememesi durumunda, bu yüzyılın sonunda insanlığı karanlığın beklediğini vurguluyor.

Günümüzde enerji üretiminin çok büyük bir bölümünü sağlayan fosil yakıtların tükenme olasılığı, enerjinin stratejik önemini artırıyor. Güneş, rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından daha fazla yararlanmanın yolları aranırken, enerjinin etkin kullanımını sağlayarak, enerji tüketimini azaltacak yöntemler üzerinde çalışmalar da

hızlandırılmıştır. Enerji verimliliği ile ilgili çalışmaları tetikleyen son büyük gelişme ise çevresel kaygılardan kaynaklanıyor. Enerji üretimi sonucu açığa çıkan karbondioksit ve diğer sera gazlarının yarattığı iklim değişikliği ve küresel ısınma, enerji verimliliği konusunda uluslararası girişimleri hareketlendirmiştir.

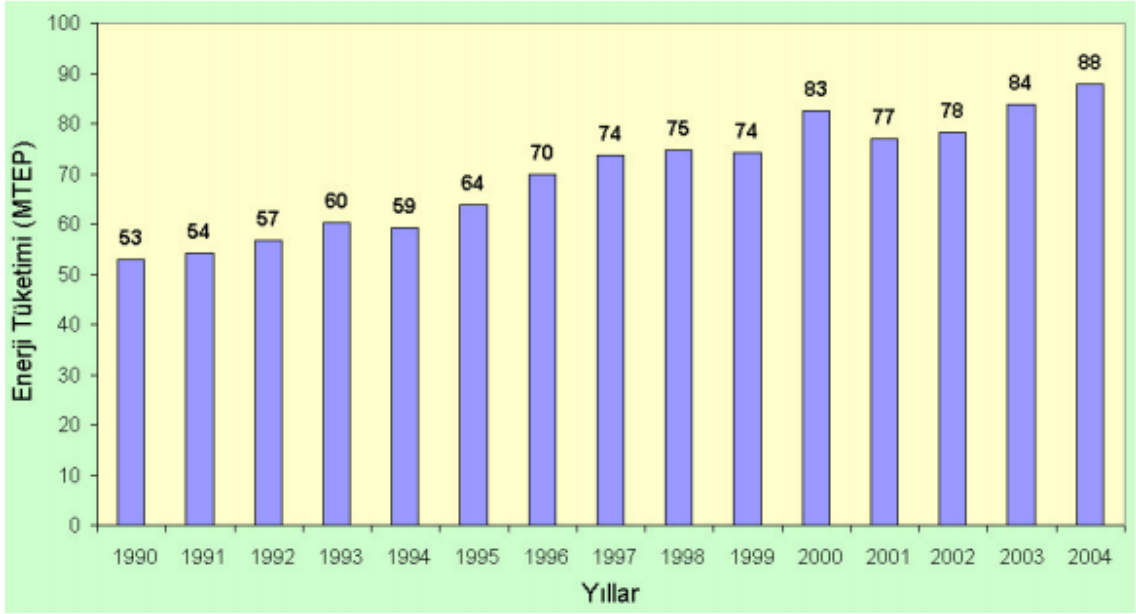
Isı yalıtımı, tüm dünyada enerji verimliliği kavramına bağlı olarak geliştirilen politikaların en önemli ayağını oluşturuyor. AB’de konut ve yapı sektörünün toplam enerjinin yaklaşık yüzde 40’ını tüketmesi ve büyük bir tasarruf potansiyeline sahip olması, bu sektöre yönelik ilgiyi artırmıştır (Şekil 1.3). Bu nedenle, enerji verimliliği ile ilgili çalışmalarda, inşaat sektörüne yönelik düzenlemeler önemli yer tutuyor. Birçok ülke 1970’li yıllardan başlayarak, yeni bina kodları ve standartları geliştirmiştir. Bu standartlar, gelişen yalıtım teknolojilerine bağlı olarak sürekli yenileniyor. Özellikle, Avrupa’nın soğuk iklim bölgesindeki Finlandiya, İsveç ve Norveç gibi ülkeler, 1970’li yıllardan itibaren, inşaatla ilgili yönetmeliklerinde, binalarda enerji verimliliği ve buna bağlı olarak ısı yalıtımı ile ilgili ayrıntılı düzenlemelere yer vermişlerdir.



Şekil 1.3. Avrupa’da enerji tüketiminin sektörlere göre dağılımı.

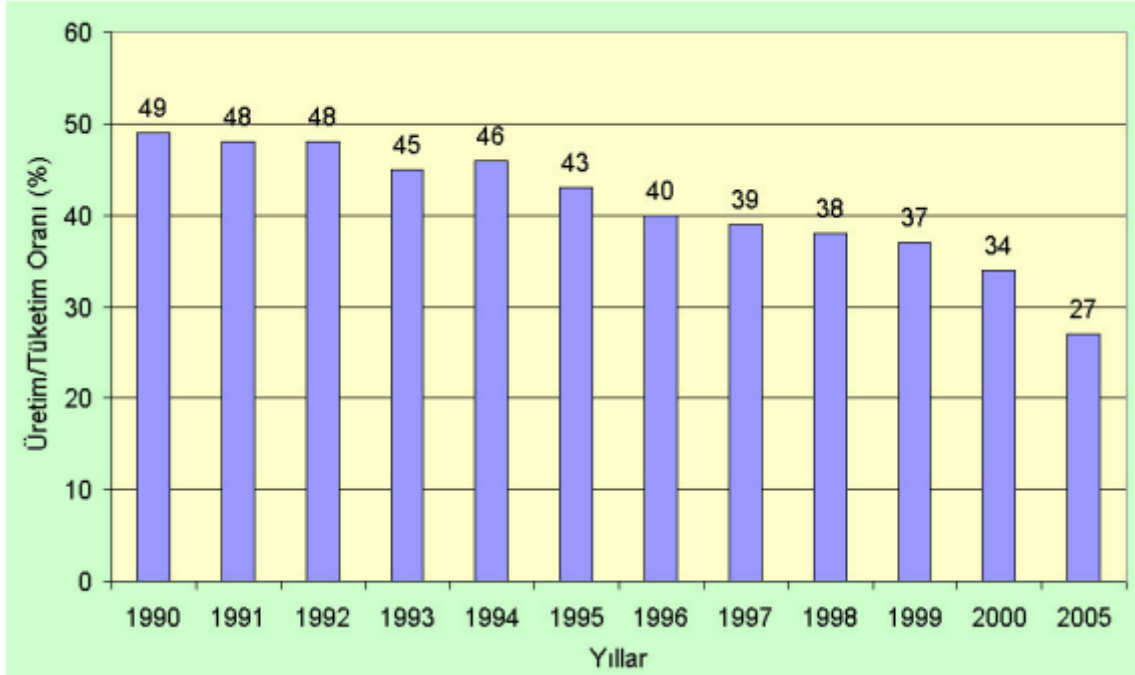
1.1.2 Türkiye’de ısı yalıtımı

Tüm dünyada olduğu gibi gelişmekte olan ülkemizin, nüfusundaki artış ve sanayide yapmış olduğu atılım nedeniyle enerji ihtiyacı her geçen gün artıyor. 1990 yılında birincil enerji tüketimimiz yaklaşık 53 milyon MTEP seviyesinde iken, 10 yıl gibi kısa bir zaman aralığında toplam enerji tüketimimiz yüzde 57 artarak 83 milyon MTEP seviyesine ulaşmıştır (Şekil 1.4). Ülkemizin sahip olduğu enerji kaynakları, sürekli artan enerji ihtiyaçlarına cevap veremiyor.



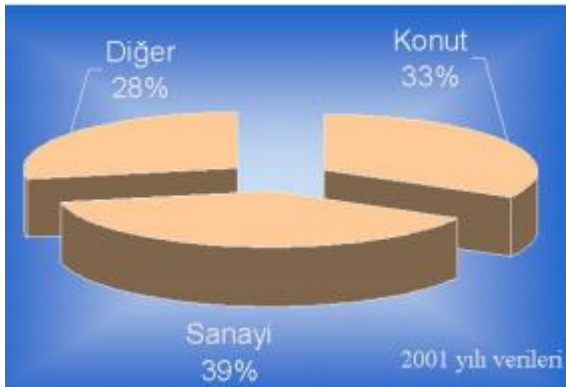
Şekil 1.4. Yıllara Göre Birincil Enerji Tüketiminin Değişimi

Türkiye'nin enerji ihtiyacı, sanayileşme ve büyüme sürecinde her geçen gün biraz daha artarken, enerji üretimi bu artışı karşılayacak orana ulaşamıyor. 1990 – 2000 yılları arasında Türkiye'nin enerji tüketimi yüzde 57 oranında artarken, enerji üretimindeki artış yüzde 9,4 oranında kalmıştır. 1990 yılında Türkiye, enerji ihtiyacının yüzde 49'unu, 1995 yılında yüzde 43'ünü kendi kaynaklarıyla karşılarlarken, 2000 yılında bu oran yüzde 34'e, 2005 yılında ise yüzde 27'ye gerilemiştir. Herhangi bir önlem alınmadığı takdirde, 2000 yılında yapılan hesaplamalarla, yakın gelecekte Türkiye'nin enerji ihtiyacının ancak yüzde 25'ini kendi kaynaklarıyla karşılayabileceği öne sürülüyor (Şekil 1.5). Yine yapılan tahminlere göre, 1999 yılında 29 milyon ton olan petrol ithalatının 2020 yılında 74 milyon tona, 12 milyar metreküp olan doğalgaz ithalatının ise 78.5 milyar metreküpe yükseleceği belirtiliyor.



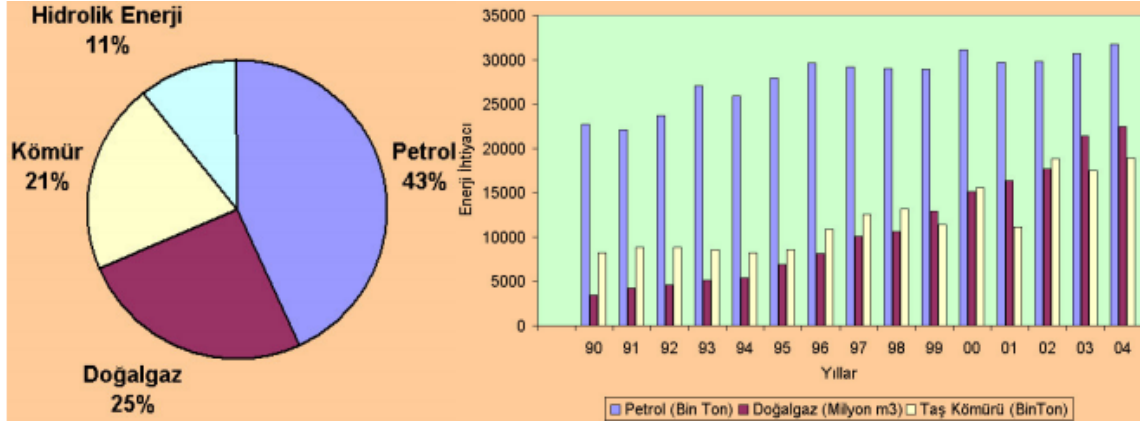
Şekil 1.5. Yıllara Göre Üretim – Tüketim Oranları

Nüfus artışı ve teknolojinin enerji bağımlı olarak gelişerek hayatımıza girmesi, bu enerji ihtiyaçlarının artmasına katkıda bulunuyor. Ülkemizdeki enerji tüketimi yönüyle bakıldığında “konut” sektörünün önemli bir payı olduğu görülür (Şekil 1.6). 1970–1998 yılları arasındaki “nihai enerji tüketimi”nin sektörlere göre dağılımı incelendiğinde; konutlarda ve sanayide kullanılan enerjinin, toplam enerji tüketiminin ortalama yüzde 70-75’i oranında olduğu görülüyor. Dolayısıyla bu sektörlerde enerji verimliliğine öncelikli olarak önem verilmeli ve gerekli düzenlemeler yapılarak hayata geçirilmelidir.



Şekil 1.6. Enerji Tüketiminin Sektörel Dağılımı

Konutlarda tüketilen enerjinin yaklaşık yüzde 80’lik bölümü ısıtma amaçlı kullanılıyor. Isıtmanın yanı sıra dört mevsimi yaşayan ülkemizde soğutma ihtiyacı da gün geçtikçe artıyor. Binalarda doğru malzemeler ve doğru tasarımla yapılacak ısı yalıtımı, oldukça büyük miktarda enerjinin tasarruf edilmesine olanak sağlar.



Şekil 1.7. Yıllara Göre Enerji Tüketiminin Değişimi 2005 – Kullanılan Enerji Kaynakları 2003

Türkiye’de de dünya genelinde olduğu gibi, enerjinin büyük kısmı fosil enerji kaynaklarından elde ediliyor. 2003 yılı verilerine göre, ülkemizde tüketilen toplam enerji miktarı göz önüne alındığında petrol yüzde 43’lük payı ile başı çekiyor. Diğer fosil enerji kaynaklarından olan kömür ve doğalgaz toplam tüketim içerisinde yüzde 46’lık bir paya sahipken, yenilenebilir enerji kaynaklarından hidrolik enerji ise yüzde 11’lik paya sahiptir (Şekil 1.7). Binalarda ısı yalıtımıyla elde edilecek tasarrufun, binalardan kaynaklanan karbondioksit emisyonunu yarı yarıya azaltacağı tahmin edilmektedir. 1980 yılında, atmosfere bırakılan karbondioksit miktarı 18 milyon ton iken, 2000 yılında bu miktar yüzde 305 oranında artış ile 55 milyon tona yükselmiştir.

Yalıtım ile sağlanan enerji tasarrufu, ev ekonomilerinde rahatlatma yaratırken; enerji ihtiyacını yurtdışından karşılayan ülkelere önemli miktarda döviz çıkışını da engelleyecektir. Bu durum, aynı zamanda ülkelerin enerji kaynaklarına bağımlılığını azaltacak ve ülkelere stratejik avantajlar getirecektir. Türkiye’nin konutlardaki enerji bilançosu ekonomik yönüyle incelendiğinde, verimsiz kullanılan enerji miktarının oldukça yüksek olduğu söylenebilir. 2000 yılında konutların ısıtılması için 20,4 milyon TEP enerji tüketilmiştir. Konutların ısıtılması için 3,5 milyar \$ değerinde finansal kaynak kullanılmıştır. Günümüzde konutların ısıtılması için gerekli olan enerjinin maliyetinin 9 milyar \$’dan fazla olduğu tahmin ediliyor. Enerji ithalatı için ödenen döviz, Türkiye’nin ödemeler dengesi üzerinde baskı oluşturuyor. Isı yalıtımı ile

yapılacak tasarruf bu baskıyı hafifletmek için, kısa dönemde yapılabilecek en iyi yol olarak görünüyor. Yapılan hesaplamalar tüm bina stoğunun mevcut standartlara göre yalıtılması durumunda enerji tasarrufunun parasal olarak yılda yaklaşık 5 milyar \$ olacağını gösteriyor. Isı yalıtımına yapılan harcamaların 2 ile 5 yıl arasında kendini geri ödeyeceği de göz önüne alındığında, çevresel ve iktisadi açıdan yalıtımın önemli bir yatırım olduğu ortaya çıkar.

1.1.3 Türkiye’deki Isı Yalıtımı Mevzuatları

İlk bakışta, Türk Standartları Enstitüsü’nün yayımlamış olduğu binlerce standarttan biri gibi görülen TS 825 “Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları” standardı, aslında yapılarımızda enerji tasarrufunu artırma hedefi ile inşaat sektörüne yön verir. Binalarda enerji tasarrufu ve enerji verimliliği gibi kavramları ele alması ile TS 825 Standardı diğerlerinden bir adım öndedir.

TS 825 “Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları” standardı;

- * Ülkemizdeki enerji tüketiminde önemli bir paya sahip olan binaların ısıtılmasında kullanılan enerji miktarlarını sınırlayarak enerji tasarrufu sağlamayı,
- * Enerji ihtiyacının hesaplanması sırasında kullanılacak standart hesap metodunu ve izin verilen limit enerji ihtiyacı değerlerini belirlemeyi, enerji-verimli konfor şartları yüksek binalar üretilmesini sağlamayı hedeflemektedir.

Standardın hedeflerinin güncel problemlerimize çözüm getiriyor olması, TS 825’in önemini ortaya koyuyor. Şu an yürürlükte olan TS 825 standardı; inşa edilecek binaların tümünü ve mevcut binalarda oturma alanının yüzde 15’i oranında ve üzerinde yapılacak tadilatları kapsıyor.

TS 825, binaları bir bütün olarak ele alarak; çatı, duvar, döşeme ve pencere sistemlerinin enerji verimli tasarlanmasını sağlar. Yeni yapılan binaların TS 825’de verilen hesap metoduna göre, birim alan veya birim hacim başına net ısıtma enerjisi ihtiyacı belirlenir. Hesaplanan değer, standartta verilen limit enerji ihtiyacı değerlerinin altında kalması gerekir. Standartta belirtilen hesap metoduyla binanın enerji ihtiyacının, bu standartta verilen sınır değerlerin altında kalmasını sağlayacak şekilde malzeme seçimi, eleman boyutlandırılması, yalıtım detaylarına ait çözümlerinin

projelendirilmesi ve raporlanması gerekir. Ayrıca dış ortam ile temas halinde bulunan tüm yapı bileşenlerinde meydana gelen buhar difüzyonunun analiz edilmesi ve her bir yapı elemanının standartta verilen koşulları sağlayacak şekilde tasarlanması gerekir. TS 825'e göre yoğuşan su miktarının, yoğuşmanın meydana geldiği ara kesitteki malzemelere zarar vermeyeceği kabul edilen belirli bir limit değerini aşmaması ve kuruma periyodunda tamamen buharlaşması gereklidir. Enerji limitleri içerisinde kalacak şekilde tasarlanan bir binada bulunan tüm yapı bileşenleri yoğuşma kriterlerini de sağlıyorsa yapılan tasarımın uygun olduğu raporlanır.

Yoğuşma veya enerji limitlerinden birini sağlayamayan tasarımlar standarda uygun olmayacağından, yapı ruhsatı alamaz. Türkiye'de 1981 yılında yayımlanmış olan TS 825 standardı, enerji tasarrufu sağlamak amacıyla 1998 yılında yeniden düzenlenerek yürürlüğe girmiştir. Yapılan bu revizyon çalışmasında hesaplama prosedürü güncel olan yerel ve yabancı standartlara göre tamamen yenilenmiştir.

Yapılan bazı değişiklikler aşağıda maddeler halinde verilmiştir;

1. 1981 yılında yayımlanan standart metninde ülkemiz 3 “derece-gün” bölgesine ayrılırken, 1998 yılında yapılan revizyon çalışmasında meteorolojik veriler ışığında 4 “derece-gün” bölgesine ayrılmıştır.
2. 1981 yılında yayımlanan TS 825 standardında; bölgelere göre yapı bileşenlerinin ısı geçirme katsayıları sınırlandırılırken, 1998 yılında yayımlanan standartta bina bir bütün olarak ele alınmış ve yapının şekline (Atop/Vbrüt oranı) ve binanın bulunduğu derece-gün bölgesine göre, binanın bir yılda kaybedeceği ısı miktarı sınırlandırılmıştır.
3. 1981 yılında yayımlanan standardın ön gördüğü hesaplama prosedüründe iç ısı kazançları ve pencerelerden sağlanan enerji kazançları dikkate alınmıyorken, 1998 yılında yapılan revizyonla oluşturulan hesap prosedüründe bu kazançlar dikkate alınmaya başlamıştır.
4. 1981 yılında yapı bileşenlerinde sadece iletimle meydana gelen enerji kayıpları hesaplanırken, 1998 yılında hazırlanan hesap prosedüründe, yapılarda meydana gelen havalandırma kayıpları da ele alınmıştır.
5. 1998 yılında hazırlanan hesap prosedüründe, enerji ile ilgili sınırlamanın yanı sıra; yapı elemanlarında meydana gelen buhar geçişi analiz edilerek, yoğuşma suyu kütlesi sınırlandırılmıştır.

Gerek yeni yerel ve/veya uluslararası standartların oluşturulması gerekse de 1998 yılından günümüze kazanılan tecrübeler; TS 825 standardının yeniden revize edilmesi gereğini ortaya koymuştur. Komisyonca yapılan revizyon çalışmaları neticesinde oluşturulan taslak metin; kamu kurumları ve özel sektör kuruluşlarının görüşüne sunulmuştur. Gelen görüşler doğrultusunda taslak metnine son hali verilmiştir. Bu revizyon çalışmalarında net ısı ihtiyacının hesaplanması prosedüründe değişiklik yapılmamış sadece açıklayıcı ilave hesap metodları ve tablolar ilave edilmiştir. Enerji ihtiyacı limitlerinde kayda değer bir iyileştirme yapılması hedeflenmemiştir.

Genel olarak yapılan revizyon çalışmasında;

1. Aylık ortalama dış sıcaklık değerleri meteorolojiden alınan son 20 yıllık veriler ışığında yenilenmiştir.
2. 1998 tarihinde yayımlanan standartta yapı elemanlarında meydana gelen buhar geçişinin tahkikinde Alman standartları (DIN 4108) esas alınmıştı. Revizyon çalışmalarında ise yeni oluşturulan TS EN ISO 13788 standardına göre buhar geçişi analiz edilmektedir. Eski hesap prosedüründe bulunan yıllık analizler ve Almanya koşullarına uygun sabit sıcaklık, bağıl nem, yoğunlaşma ve buharlaşma periyotları vb. şartlar kaldırılmıştır. Bunun yerine TS EN ISO 13788 standardında belirtildiği üzere ülkemizin iklim verilerinden elde edilen aylık ortalama dış sıcaklık ve bağıl nem değerleri kullanılmıştır. Sabit olan yoğunlaşma ve buharlaşma periyodu tanımları yeni metoda uygun olarak tamamen kaldırılmıştır. Böylece ülkemiz koşullarına uygun hesaplama yapılması imkânı sağlanmıştır.

Hesaplamalarda kullanılmak üzere illerin ve ilçelerin aylık ortalama bağıl nem değerlerine dair bir tablo ve yeni 3 adet hesap çizelgesi eklenmiştir. Örnek hesaplamalar yeni metoda göre tekrar oluşturulmuştur. Yeni metotta eski metottan farklı olarak sadece yapı bileşeni içerisindeki yoğunlaşma ele alınamamakta, yüzeyde küf oluşmasının önlenmesine yönelik bir analiz ile hesaplama prosedürü genişletilmektedir.

3. Gerek ısı konfor gerekse de iç yüzeyde küflenme oluşumunun önlenmesine yönelik olarak; dış ortam ile temas halinde olan tüm yapı elemanlarının iç yüzey sıcaklıklarının, iç ortam sıcaklığından en fazla 3°C düşük olacak şekilde tasarlanması zorunlu hale getirilmiştir.

4. Giydirme cepheler gibi çok büyük oranda cam içeren yapılar için özel enerji sınırlamaları getirilmiştir. Diğer yapılarda ise kaplamalı çift cam kullanımı; tüm derece gün bölgelerinde zorunlu hale getirilmiştir.
5. Merkezi ısıtma sistemi bulunmayan ve kat kaloriferi veya kombi ile ısıtmanın yapıldığı binalarda ara kat döşemelerinin ısıl direnci $0,80 \text{ m}^2\text{K/W}$ olacak şekilde tasarlanarak, yalıtılması zorunlu hale gelmiştir.
6. Yapı ve yalıtım malzemelerinin hesaplama değerlerini gösteren liste DIN 4108-4:2002 standardı esas alınarak dip notları ile birlikte standarda uyarlanmıştır. Buna karşılık; özellikle AB ülkeleri; iklim değişikliği sözleşmesine taraf olarak Kyoto Protokolü'nün imzalanmasıyla, küresel ısınma ve hava kirliliği ile mücadele edilmesi yönünde taahhütlerde bulunmuşlar ve kısa zaman aralıklarıyla standartlarında yer alan enerji limitlerini yenilemeye başlamışlardır. TS 825 standardında 1998 ve 2006 yılında önemli ölçüde iyileştirme yapılmış olsa da, bu standardın halen geliştirilmesi gereken bölümleri bulunuyor.

Diğer Avrupa ülkeleri ile Türkiye'deki binalarda kullanılan yapı kısımlarında izin verilen en büyük ısı geçirgenlik katsayıları mukayese edildiğinde, enerji limitlerinin iyileştirilmesi gereği bir kez daha ortaya çıkmaktadır.

Türkiye'nin iklim değişikliği sözleşmesini imzalamasıyla Kyoto Protokolü'ne taraf olunması için ilk adım atılmıştır. Diğer yandan AB'de yayımlanan 2002/91/EC sayılı "Binaların Enerji Performansına Dair Direktifi" ile ilgili uyumlaştırılma çalışmaları başladığından, müsaade edilen enerji kaybı limitlerinde bir iyileştirme yapılması gerekecektir. İlgili protokol, direktif vb. anlaşmalar neticesinde, TS 825 standardı mevcut binaları kapsayacak şekilde genişletilebilir. Yapılan bu tür revizyon çalışmaları, gelişmelere bağlı olarak gerektiğinde tekrarlanarak çok önemli fonksiyonlara sahip olan bu standardın güncel kalması sağlanmalıdır.

Binalarda enerji verimliliği ile ilgili olarak TS 825 "Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı", 29 Nisan 1998 tarihinde tavsiye niteliğinde yürürlüğe girmiştir. Bu standardın paralelinde hazırlanan 08 Mayıs 2000 tarihli "Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği"nin yürürlüğe girmesinin ardından, 14 Haziran 2000 tarihinde uygulanması zorunlu hale gelmiştir. Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği; binalardaki ısı kayıplarının azaltılması, enerji tasarrufu sağlanması ve uygulama esaslarının belirlenmesi amacıyla hazırlanmıştır. Bu yönetmelik hükümleri uyarınca; TS 825

“Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları” standardında belirtilen, hesap metoduna yetkili makine mühendisi tarafından hazırlanan “ısı yalıtım projesi”nin imara ilişkin mevzuat gereğince yapı ruhsatı verilmesi aşamasında tesisat projesi ile birlikte ilgili idarelerce istenmesi zorunludur. Bu yönetmelikte; inşaatın her aşamasında ısı yalıtımı ile ilgili denetimlerin belediyeler veya valiliklerce yapılması, yetkili kontrolün projede verilen detayların uygulandığını izleyerek belediye veya valiliklere rapor vermesi gereklidir.

Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği’nde ayrıca; yapının kullanılması sırasında göreceli olarak ihtiyaç duyacağı enerji miktarını, dolayısıyla yakıt faturasının yaklaşık bedelini gösteren “Isı İhtiyacı Kimlik Belgesi” hayata geçirilmiştir. Bu belge kiralama veya satın alma aşamasında kullanıcıların; yatırım bedelinin yanı sıra işletme bedellerini de göz önüne alabilmelerini sağlar. Isı ihtiyacı kimlik belgesi, aynı kira veya alım bedeline sahip iki yapıdan kullanım boyunca daha az enerji tüketecek olanının seçilmesine olanak vermesiyle, yalıtımlı bina taleplerinin ve arzının oluşmasında önemli role sahiptir.

Yönetmeliğe göre bu belge; yetkili ısı yalıtım projecisi ve uygulamayı yapan makine mühendisleri tarafından doldurulup imzalanacak ve daha sonra belediye veya valilikler tarafından onaylanarak yapı kullanım izin belgelerine eklenecektir. Isı ihtiyacı kimlik belgesinin; bina yöneticisinin dosyasında bulunması ve bir kopyasının bina girişinde görülebilir bir yere asılması zorunludur. 12 Ağustos 2001 tarihinde yayımlanan “Yapı Denetim Kuruluşlarının Çalışma Usul ve Esasları” yönetmeliği ile yalıtım projesi ve ısı yalıtımı uygulamalarının kontrolü yapı denetim kuruluşlarına verilmiştir.

Isı yalıtımı ile ilgili standart ve yönetmelikler olumlu birer adım olmalarına karşın, bazı yetersizlikler içeriyor. Isı yalıtımı ile ilgili bir başka eksiklik, soğutma yükünün hesaplanması ile ilgili bir standardın olmamasıdır. Özellikle, Türkiye’nin güney bölgelerinde sıcaklıklar yılın büyük bir bölümünde soğutma prosesi gerektiriyor. Bu durum, bu bölgelerde soğutma için yoğun miktarda enerji kullanımına neden oluyor. Bu nedenle, soğutma için harcanan enerjiye yönelik, TS 825 benzeri bir düzenlemenin hayata geçirilmesi gereklidir. Diğer bir eksiklik ise, tesisat ısı yalıtımının hiçbir düzenlemede ele alınmaması ve bu konuya herhangi bir düzenleme getirilmemesidir.

Arzulanan enerji verimliliği hedeflerine en aykırı durum ise, yayımlanan standartların 14 Haziran 2000 tarihinden sonra yapılan binalar için geçerli olması ve bu tarihten önce yapılmış binaları kapsamına almamasıdır. Bu nedenle, yaklaşık 8,5 milyon

binalık yapı stoğunun yaklaşık yüzde 95'i ısı yalıtımı ile ilgili mevzuatların kapsamı dışındadır. Bu durum mevcut binalara yönelik ısı yalıtım yönetmeliği hazırlanmasını gerektirir. Avrupa Birliği'ne uyum kapsamında ele alınan ve mevcut binalarda enerjinin verimli kullanılması ile ilgili esaslar içeren 2002/91/EC sayılı direktifin ülkemizin içtihatları arasında yer almasına yönelik çalışmaların başlatıldığı biliniyor.

Yönetmelik ve standartlarla ilgili bir diğer dikkat çekici nokta, uygulama aşamasında gerçekleşiyor. Yönetmeliğin inşaatlarda tam olarak uygulanması, denetimlerin yetersizliği ve yalıtım konusundaki uzman sayısının az olması nedeniyle aksıyor. Taşıdığı bu enerji tasarrufu potansiyeline rağmen, ısı yalıtımı, olması gereken düzeyin çok gerisindedir.

1.2 Isıl Enerjinin Depolanmasını Gerektiren Faktörler

Bu faktörler diğer enerji türleri için de benzer olmakla birlikte, temel olarak üç grupta toplanabilir:

1.2.1. Enerji Kaynaklarının Zaman Bağımlılığı

Güneş ve rüzgar enerjisi gibi alternatif enerji kaynakları zamana bağlı olarak değişen enerji akıları içerdiğinden, bu tür kaynakları kullanan sistemler, kaçınılmaz olarak, enerjinin depolandığı bileşenlere sahip olmak zorundadırlar. Benzer şekilde, bir ısı pompalı sistemde çalışma saatlerine bağlı olarak değişen dış ortam sıcaklığı performans katsayısının da zamana bağımlılığını doğurur. Hava sıcaklığının yüksek olduğu saatlerde performans katsayısı da yüksek olurken ilerleyen saatlerde bu değer sıcaklıktaki düşmeye bağlı olarak azalma gösterir. Sisteme entegre edilecek bir enerji deposu ise, istenilen ortalama performansın işletim boyunca eldesini sağlar.

1.2.2.Enerji Yükünün Zaman Bağımlılığı

Gerek konutlarda ve gerekse endüstriyel uygulamalarda enerji yükleri, ihtiya ve dolayısıyla da zamana bağımlılık gösterirler. Günün belirli saatlerinde soğu (veya ısı) yükü ihtiya maksimuma ulaşırken belirli saatlerde de çok düşük seviyelere iner. Örneğin soğutma sisteminin boyutları, çoğunlukla yılın en sıcak gününün azami yk koşulunu sağlayacak şekilde seçilir. Geri kalan saatlerde (ve diğer günlerde), sistemin kesikli çalışması veya devre dışı bırakılması ile işletme maliyetleri kontrol altına alınsa bile, gereğinden büyük bir sistemin kullanılmakta olduğu gerçeği değiştirilemez. Çok kısa süreli büyük soğu yüklerini karşılamaya yönelik sistemlerde (rneğin konser salonu, tiyatro vb.) ise sorun daha çarpıcıdır. Kısa bir süre için çok büyük bir sistem kullanma gerekliliği ve bu sistemin diğer srelerde atıl kalması problemi gibi. Enerji deposu içeren sistemlerde ise toplam soğutma yükü, soğutucu ve enerji deposu tarafından ortak olarak karşılanacağından, daha küçük bir soğutma sistemi ile istenilen toplam yüke cevap vermek mümkün olur. Soğutma talebinin sistemin karşıladığından küçük olduğu zamanlarda ise enerji fazlası depolama için kullanılır.

1.2.3.Enerji Tüketim Maliyetinin Zaman Bağımlılığı

Kimi gelişmiş ülkelerde (A. B. D. Fransa, vb.) elektrik enerėisi, talebin yoğun olduğu saatlerde daha pahalı, az olduğu saatlerde ise daha ucuzdur. Bu olayı bir avantaj haline dönüştürmek, soğutma ve iklimlendirme sistemlerine entegre edilecek bir enerji deposu ile mümkün olabilmektedir. Bu şekilde, elektriğin ucuz olduğu saatlerde soğutucu sistem kapasitesinin çoğu veya tamamı, enerjiyi depolama amacıyla kullanılır. Elektriğin pahalı olduğu saatlerde ise ihtiya, ağırlıklı olarak veya tamamen depodan sağlanır.

Gizli ısı enerji depolama sistemlerine olan ilgi, özellikle güneş enerėili evsel ısıtma ve soğutma uygulamalarının gündeme gelmesinden sonra artmıştır. Bunun da en önemli nedenleri; duyulur ısı depolamaya kıyasla, depolamanın dar bir sıcaklık bandında gerçekleşmesi, güneş enerėisi uygulamalarında gerekli kolektör sıcaklığının düşük ve depolanacak birim enerji başına gerekli hacmin nispeten küçük olmasıdır. Ancak burada kastedilen katı-sıvı faz değişimidir. Çünkü buharlaşma-yoğuşma faz değişiminde oluşan

buhar fazı, çok geniş hacim kaplaması nedeniyle, enerji depolama-geri kazanım çevrimini pratik olmaktan çıkarmaktadır.

Enerji depolama, enerjinin temini ve gereksinimi arasındaki zaman veya debi uyumsuzluğunu azaltabileceğinden enerji tasarrufunda önemli bir rol oynamaktadır. Enerji israf eden proseslerde enerji depolama önemli ölçüde yakıt tasarrufuna yol açacaktır. Yine enerji depolama işlemi sistemin performansını iyileştirebilecek ve güvenilirliğini artıracaktır. Örneğin, enerji depolama yük dengelemeleri vasıtasıyla güç santrallerinin performansını iyileştirebilecektir.

Güneş, bol, temiz ve güvenilir enerji kaynağı sağlar. Yeryüzüne düşen yıllık güneş ışıınımı miktarı 17×10^{17} kwh'dir. Karşılaştırma yaparsak, fosil yakıtlar ile su kaynaklarından elde edilen enerjinin yıllık toplam miktarı yaklaşık olarak 70×10^{12} kwh'dir. Bununla beraber, güneş enerjisinin etkili bir şekilde kullanımı, toplama, dönüştürme ve depolama veriminin düşüklüğü gibi önemli problemlerden dolayı mümkün olamamaktadır.

Yeryüzüne gelen güneş ışıınımı, gündüz-gece çevrimi ve güneş açısındaki mevsimlik değişimler nedeniyle sürekli olamamaktadır. Bununla birlikte yeryüzünün çoğu yerlerinde hareket halindeki bulutların güneşi kapatmasından dolayı önceden tahmin edilemeyen ışıınım değişimleri meydana gelmektedir. Böylece güneş enerjisini toplama sistemleri genelde enerjiyi sürekli olarak sağlayamazlar. Çünkü bu sistemlerin bağlı olduğu değişkenler (güneş ışıınımı, çevre sıcaklığı, rüzgar hızı vs.) düzensiz bir şekilde değişmektedir.

Diğer taraftan belirli bir zaman aralığında kullanılacak enerji miktarı önceden hesaplanabilir. Ancak enerjinin kullanım zamanı güneş ışıınımının toplandığı zamanlardan farklı olabilir. Bundan dolayı güneş enerjisinin depolanması, özellikle güneş enerjisi sistemlerinde güneşin etkin olduğu zaman ile enerji ihtiyacının olduğu zaman arasındaki uyumsuzluğu gidermekte ve depolanan enerji güneşin etkin olmadığı zamanlarda kullanılmaktadır.

Güneş enerjisi, fotoliz, absorpsiyon, ısıl dönüşüm ya da fotovoltaj cihazları yardımı ile direkt olarak kullanılabilen enerji şekline dönüştürülebilir. Böylece güneş enerjisi yakıt, ısı veya elektrik enerjisi şekline dönüştürülerek uygun amaçlar için kullanılır.

Güneş enerjisi günlük, haftalık ya da mevsimlik depolanarak gerek görüldüğünde kullanılabilir. Düşük sıcaklıkta ısıl dönüşüm (su ısıtma ve yüzey iklimlendirme) ya da

orta ve yüksek sıcaklık ısı dönüşümü (elektrik üretimi veya endüstriyel proseslerde ısı temini) veya direkt fotovoltaik enerji dönüşümü gibi güneş enerjisi uygulamalarının tümü için enerji depolama olayı, enerji temini ile ihtiyaç arasındaki debi ve zaman uyumsuzluğunu ortadan kaldırabilir. Ancak enerji depolama metodu teknik ve ekonomik yönden uygun ve güvenilir olmalıdır.

36° ve 42° kuzey enlemleri arasında bulunan ülkemizin hemen hemen tümünde güneş enerjisi değerleri, genelde güneşten ekonomik olarak yararlanmanın alt sınırı kabul edilen 1500 kW/m²-yıl değerinin üstündedir. Bundan dolayı son yıllarda güneş enerjisi, depolanması ve güneş destekli ısı pompaları üzerinde oldukça yoğun çalışmalar yapılmaktadır.

1.2.4 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. [1].

Termal enerji depolamak için üç yöntem bulunmaktadır. Bunlar; Duyulur, gizli ve termokimyasal ısı depolama yöntemleridir. Bu yöntemler birim hacimde depolayabildikleri enerji bakımından ayrılırlar [2]. 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 enerji depolama sistemlerinin faydaları şunlardır: [3].

- ✓ Yenilenebilir enerji kaynaklarının sürekli kullanılmasını sağlar (Güneş enerjisi, vs.).
- ✓ Elektriğin 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.

1.2.5. Duyulur Isı Depolama

Termal enerji depolama materyalinin sıcaklığındaki değişimden faydalanılarak yapılan depolamadır. Depolanabilecek ısı 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 [4]. 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 m³ su 1 °C ısıtıldığı zaman 4198 kJ lük enerji depolarken, 1m³ hacimdeki kaya ise suyun depoladığı enerjinin yarısı kadar enerji depolamaktadır.[5-6].

Tablo 1. Duyulur ısı depolama maddelerinden bazılarının özellikleri

Madde	Yoğunluk (kg/m ³)	Özgül ısı (kJ/kg.K)
Su	1000	4.19
Taş Parçası	2500 – 3500	0.88
Demir	7860	0.50
Beton	2250	0.65
Su-Etilen Glikol (50/50)	1050	3.47

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;

- a. Isı depolama sırasında depolama sıcaklığı sürekli arttığından ısı kayıpları fazladır.
- b. Sistemde yalıtıma ihtiyaç vardır, bu da maliyeti artırmaktadır.
- c. 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. Belirli bir zaman aralığında depolanan ya da depolanabilecek ısı aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilir:

$$Q = mC_p(T_2 - T_1) \quad (1)$$

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

$$T_1 = \text{İlk sıcaklık (°C)}$$

$$T_2 = \text{Son sıcaklık (°C)}$$

$$m = \text{Kütle (g)}$$

$$C_p = \text{Özgül ısı (J/g-°C)}$$

1.2.6. Sıvı Ortamda Isı Depolama

Su, ucuz ve bol olarak bulunabilen bir madde olduğundan duyulur ısı depolamada en çok kullanılan sıvı-ortam ısı depolama maddesidir. Tablo 2’de duyulur ısı depolama sistemlerinde depolama ortamı olarak kullanılan çeşitli sıvıların termofiziksel özellikleri verilmektedir.

Depolama ortamı olarak su kullanmanın bazı avantajları aşağıda özetlenmiştir:

- a. Ucuzdur, kolay taşınır, zehirleyici ve yanıcı değildir ve yeryüzünde bolca bulunmaktadır.
- b. Isı kapasitesi diğer sıvılardan büyüktür.
- c. Isı transferi ve akışkanlık özellikleri iyidir.
- d. Kollektörlerde ısı taşıyıcı akışkan olarak kullanıldığında ısı değiştirici kullanmaya gerek yoktur.

- e. Pompalama enerjisine gerek olmadığı zaman sistem zorlanmış konveksiyon yerine doğal konveksiyonla çalışabilir.
- f. Depolama tankının kendiliğinden doldurulup boşaltılması mümkündür.
- g. Kullanılırken kontrol, ölçüm ve ayarları kolaydır.
- h. Teknik, fiziksel, kimyasal ve ekonomik verileri en fazla bilinen maddedir.

Isı depolayıcı madde olarak su kullanmanın dezavantajları:

Su donabilir ya da kaynayabilir. Pek çok bölgelerde donmayı önleyici tedbir gereklidir. Bundan dolayı genelde kollektör döngüsünde bir ısı değiştirici ile birlikte antifriz maddesine ihtiyaç vardır.

Oldukça fazla korozyon özelliği sahip olduğundan korozyonu önlemek için sisteme kimyasal katkı maddeleri koymak gerekmektedir.

Depolama tankı için çelik, alüminyum, beton, fiberglas ile kaplanmış plastikler gibi pek çok malzeme kullanılabilir. Bu malzemelerin hepsinin avantajları ve dezavantajları vardır. Depolama tankında korozyonu önlemek için çelik tanklar galvanize edilir ya da plastik boyalarla veya neopren gibi kauçuk maddelerle kaplanırlar. Fiberglassdan yapılan veya fiberglas ile kaplanan tanklar korozyona karşı dayanıklı olduklarından oldukça avantajlıdır. Yine depolamada beton tanklar kullanılabilir, özellikle su depolama için yüksek sıcaklıklardaki genleşmeleri dikkate alarak iyi bir tasarımla bu tür tanklar kullanılabilir.

Büyük miktarlarda enerji yeraltında su vasıtasıyla depolanabilir. Bu tür depolamalarda depolama sıcaklığı 200 °C civarında olabilir. Ayrıca organik yağlar, erimiş tuzlar ve sıvı metaller sulu sistemde oluşacak buhar basıncı problemini önlerler, fakat taşıma, depolama, maliyet, depolama kapasiteleri, faydalı sıcaklık aralığı vs. gibi bazı sınırlamalardan dolayı bu tür maddeler bina ısıtma uygulamalarında depolama ortamı olarak pek kullanılmazlar.

Tablo 2. Duyulur ısı depolama için kullanılan bazı sıvı maddeler.

Ortam	Akış tipi	Sıcaklık aralığı (°C)	Yoğunluk (kg/m ³)	Isı kapasitesi (J/kg.K)	Isıl iletkenlik (W/m.K)
Su		0-100	1000	4190	0.63
Su-Etilen					
Glikol (50/50)			1050	3479	
Terminol 55	Yağ	-18÷315		2400	
Terminol 66	Yağ	-9÷343	750	2100	0.106
Etilen Glikol			1116	2382	0.249
Motor Yağı	Yağ	<160	888	1880	0.145
Lityum	Sıvı Tuz	180÷1300	510	4190	38.1
Sodyum	Sıvı Tuz	100÷760	960	1300	67.5
Etanol	Org. Sıvı	<78	790	2400	-
Propanol	"	<97	800	2500	-
Butanol	"	<118	809	2400	-
İzobutanol	"	<100	808	3000	-
İzopentanol	"	<148	831	2200	-
Oktan	"	<126	704	2400	-

Pratikte depolama tankındaki su sıcaklığı özellikle dikey boyutta uniform olmayacaktır. Soğuk su, deponun alt tarafında, sıcak su ise deponun üst tarafından olacağından bir ısıl tabakalaşma oluşacaktır.

Depolama tanklarında meydana gelen ısıl tabakalaşmanın üç avantajı vardır:

- 1- Depolama tankının üst tarafından ortalama depo sıcaklığından daha yüksek sıcaklıkta su alınabileceğinden ısıtma verimi artacaktır.
- 2- Kollektör giriş suyunun sıcaklığı ortalama depo sıcaklığından daha düşük olduğundan toplama verimi (kollektör verimi) daha iyidir.
- 3- Tabakalaşmalı depolama tankının sıcaklığı ısı yükünün sıcaklığına göre daha düşük bir ortalama sıcaklık değerinde olacağından depodan çevreye olan ısı kayıpları azalacaktır.

Güneş enerjisini depolama sistemlerindeki ısı tabakalaşma olayı bazı araştırmacılar tarafından incelenmiştir. Örneğin, Davis ve Bartera ve Brumleva , deneysel olarak yaptıkları araştırmada tabakalaşmadan dolayı güneş enerjisi ile su ısıtma sistemlerinin ısı performanslarında % 10 ‘luk bir artışın olduğunu gözlemlediler. Sharp ve Loehrke güneş enerjisi ile bina ısıtma uygulamasında tabakalaşmalı su depolama kullanıldığı zaman toplam ısıtma yükünün güneş enerjisi ile karşılanan miktarında % 5 – 15 ‘lik bir artmanın meydana geldiğini ölçtüler. Lavan ve Thomson sıcak su depolama tanklarında tankın yükseklik (uzunluk / çap) oranının ve su giriş – çıkış farklarının artması ile tabakalaşmanın arttığını ve depodan ısı çekme veriminin tasarım parametrelerine bağlı olarak % 40 – 95 arasında değiştiğini deneysel olarak göstermişlerdir.

1.2.7. Katı Ortamda Isı Depolama

Suyun yüksek buhar basıncı ve diğer sıvıların kullanılabilirliğinin sınırlı olması gibi sakıncalar ısı enerjisinin kayalar, metaller, beton, kum vs. gibi katılarda duyulur ısı şeklinde depolanması ile ortadan kaldırılabilir. Güneş enerjisi katılarda yüksek sıcaklıklarda olduğu gibi düşük sıcaklıklarda da depolanabilir. Ayrıca katıların donma, kaynama ve kendi kaplarının dışına sızma gibi problemleri de yoktur.

Duyulur ısı depolamada kullanılan katı maddelerin bazı fiziksel özellikleri Tablo 3 ‘de verilmiştir. Her ne kadar bu katıların ısı iletkenlikleri ve özgül ısıları oldukça düşük ise de, arzu edilen bazı fiziksel özelliklere sahiptirler. Bu fiziksel özellikler; yüksek sıcaklıklarda düşük buhar basıncı ve inert olma özellikleridir. Ayrıca ucuz ve bol miktarda olduklarından ısı depolayıcı madde olarak kullanılabilirler. Depolayıcı madde olarak çeşitli maddelerin seçilmesinde ısı kapasitesi önemli bir parametredir. Tablo 3’deki maddelerden ısı kapasitesi en büyük olan dökme (pik) demirdir, fakat pahalı olduğundan depolayıcı madde olarak pek kullanılmaz. Bunun yerine genelde çakıl taşları veya kaya parçaları hem ucuz ve hem de kolayca temin edilebilir olmaları nedeniyle tercih edilmektedir. Düşük sıcaklıklarda ısı taşıyıcı akışkan olarak genelde hava kullanılmaktadır. Kayalar (çakıl taşları), geniş yüzeyli olmaları ve dolgulu yatak boyunca kıvrıntılı hava akış yolu sağladıklarından direkt temasla havaya veya havadan ısıtma ortamında iyi bir ısı transferi sağlarlar. Buna ilaveten çakıl taşlarından meydana gelen dolgulu yataktaki ısı kayıpları hava akımı olmadığı zaman çok

düşüktür ve hava zayıf bir ısı ileticidir. Bunun için deponun etrafını çok fazla yalıtırmak gerekmez. Büyük kapasiteli depolar toprak altına uygun bir şekilde yerleştirilebilir. Dolgu yataklı bir depolama sisteminde depolanan enerji, maddenin termofiziksel özelliklerinden başka çakıl taşının boyutu ve şekli, yoğunluğu, ısı transfer akışkanı vb. bazı parametrelere bağlıdır.

Çakıl taşlı ısı depolamanın ana komponentleri; taşların bulunduğu bölüm (depo), çakıl taşlarını desteklemek için gözenekli yapı ve ısı depolama / boşaltma için hava kanallarından meydana gelmektedir. Kaya dolgulu bir depoya güneş enerjisini depolamak için, kollektörlerden gelen sıcak hava (bu tür sistemlerde genellikle havalı kollektörler kullanılmaktadır) çakıl taşlarının olduğu bölmeye gönderilerek burada depolanır. Depolanan bu enerjinin geri alınması (yani ısıtılacak ortama gönderilmesi) çakıl taşlarına hava akışının ters yönde gönderilmesiyle sağlanır. Genelde bu tür sistemlerin maliyetleri düşüktür. Bu tür depolama sistemlerinin kullanmanın avantajları:

- a-** Depolama malzemesi (çakıl taşı, kaya, kum vs.) bolca sağlanabilir, kolayca taşınır, zehirleyici ve yanıcı değildir ve ucuzdur.
- b-** Yüksek sıcaklıklarda ısı depolamak mümkündür.
- c-** Isı değiştiriciler gerekmez.
- d-** Isı taşıyıcı akışkan olarak hava kullanılırsa bu durumda donma, kaynama ve korozyon problemi olmaz.

Tablo 3. Duyulur ısı depolamada kullanılan bazı katı maddeler

Yoğunluk	Özgül	Isı kap.	Isıl	Isıl	
Depolama	(kg/m ³)	ısı	x10 ⁻⁶	ilet. yayılım	
Maddesi	(J/kg.K)	(J/m ³ .K)	(W/m.K)	a=λ/ρc	
Alüminyum	2707	896	2.4255	204 (20°C)	84.10
Alü.Oksit	3900	840	3.2760		
Alü. Sülfat	2710	750	2.0325		
Tuğla	1698	840	1.4263	0.69 (29 °C)	0.484
Beton	2240	1130	2.5310	0.9-1.3	0.35-0.51
Dök.Demir	7900	837	6.6123	29.3	4.431
Saf Demir	7897	452	3.5694	73 (20°C)	20.45
Kals. Klorür	2510	670	1.6817		
Bakır	8954	383	3.4294	385 (20°C)	112.3
Toprak(yaş)	1700	2093	3.5581	2.51	0.705
Top.(kuru)	1260	795	1.0017	0.25	0.250
Mağn. Oksit	3570	960	3.4272		
Potas. Klorür	1980	670	1.3266		
Potas.Sülfat	2660	920	2.4472		
Sod. Karbon.	2510	1090	2.7359		
Sod. Klorür	2170	920	1.9964		
Sod. Sülfat	2700	920	2.4840		
Granit	2640	820	2.1648	1.73-3.98	0.79-1.84
Kumtaşı	2200	710	1.5620	1.83	0.56-0.59
Kireç Taşı	2500	900	2.2500	1.26-1.33	0.99-1.41
Mermer	2600	800	2.0800	2.07-2.94	1.72

Dolgulu yataklar oldukça etkilidir ve bu da enerji depolama verimini artırmaktadır.

Bu sistemlerin dezavantajları:

- a-** Depolama maddesinin ısı depolama kapasitesi su ve kimyasal ısı depolayıcı maddelere göre daha düşük olduğundan depo hacmi büyüktür.
- b-** Özel düzenlemeler yapılmadıkça doğal sirkülasyon (yani sisteme kendiliğinden ısı yükleme ve boşaltma) mümkün değildir.
- c-** Dolgulu yataktaki basınç düşüşünün yüksek olmasından dolayı hava sirkülasyon maliyeti yüksek olabilir.
- d-** Bazı şartlarda yoğuşma, toz, küf ve haşarat problem olabilir.
- e-** Çakıl taşları yerleştirildikten sonra deponun temizliğini ve diğer bakımlarını yapmak çok zordur.

Pratikte ısı depolamak için, çapı 2 –5 cm arasında değişen boyutlarda çakıl taşları kullanılır. Tablo 3’de çeşitli ısı depolama maddeleri verilmektedir. Tabloya bakıldığında beton, tuğla, çakıl taşı, granit ve magnezyumlu tuğla bu amaç için uygun olan maddelerdir.

1.2.8. İkili Ortamda Isı Depolama

Katı ve sıvı duyulur ısı depolama maddeleri çeşitli şekillerde bir araya getirilip birleştirilebilirler. Bunlardan bir tanesi, kaya dolgu yatak ile su tankının bir araya getirilip birleştirildiği hibrid sistemdir. Kaya dolgu ile çevrilmiş su tanklı bu ikili depolama sistemleri güneş enerjisi ile yüzey ısıtma uygulamalarında kullanılmaktadır. Atomics International (A.B.D.) kuruluşu tarafından çalıştırılan üç çeşit hibrid sistem vardır. İki depolama maddesini birleştiren diğer bir yöntem, çakıl taşı (kaya) ve yağ’ın tek bir kap içerisinde bulunmasıdır.

1.2.9. Gizli Isı Depolama

Gizli ısı, maddenin faz değişimi sırasında aldığı ya da saldığı ısıdır. Depolama katı-sıvı, katı-katı, sıvı-buhar ve buhar-katı dđnüşümleri kullanılarak gerçekleştirilebilir. [7]. Ancak en fazla kullanılan sıvı-katı dđnüşümüdür. Ayrıca farklı kristal örgülere sahip katıların bir kristal örgü durumundan diğerine geçişte aldıkları ve saldıkları ısılar katı-katı dđnüşümüyle depolamada kullanılabilmektedir. Katı-gaz ve sıvı-gaz dđnüşümlerinin gizli ısıları yüksek olmasına rağmen, gazların hacim değişiminin çok fazla olduğundan enerji depolama için uygun değillerdir.[2, 6].

Gizli ısı depolama yöntemleri için gerekli depo hacmi, duyulur ısıya göre 4–5 kat daha küçüktür. Örneğin suyun gizli ısısının duyulur ısısına oranı 80’dir; bunun anlamı şudur: 1 kg buzun erimesi için gerekli enerji miktarı 1 kg suyun sıcaklığını 1⁰C artırmak için gerekli ısıdan 80 kat daha fazladır. Bu durum depo tasarımında önemli bir avantajdır. Depolama ya da enerji dđnüşümü 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 kullanılabirler.[6, 8].

Gizli ısı depolama aşağıdaki durumlarda uygulanmaktadır;

- a. Kısa süreli depolamada
- b. Yüksek enerji yoğunluğu veya yüksek enerji kapasitesi gerektiğinde,
- c. Depo hacminin küçük olması gereken yerlerde,
- d. Sabit veya küçük bir sıcaklık aralığında enerji depolamaya ihtiyaç duyulduğu zamanlarda, [9].

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

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

Gizli ısı depolama sistemleri;

- a. FDM olarak kullanılacak maddenin seçimi
- b. FDM de depolanan ısıнын uygulama ortamına aktarımı için ısı değiştirici tasarımıyla temelde iki aşamadır. [10].

1.2.10. Termokimyasal Yöntemle Isı Depolama

Kimyasal tepkime esnasında alınan veya verilen ısıнын 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.[3, 11].

1.2.11. 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 [12].

Faz değişimi sırasında maddeye verilen veya maddeden alınan ısı enerjisine ‘Gizli ısı veya faz değişim ısısı’ adı verilir. Katı-sıvı faz dnşmyle ısı depolama uygulamaları için birçok organik ve anorganik FDM’ler vardır.[6].

FDM lerin en çok kullanım alanları;

- a. Binaların ısıtma soğutma yükünün azaltılmasında çeşitli yapı malzemelerinde,
- b. Elektronik cihazların aşırı ısınmasının engellenmesinde,
- c. Tekstil endüstrisinde,
- d. Gıda taşınmasında,
- e. Medikal alanda (kan ve organ taşınması), şeklinde özetlenebilir [7].

şekil 1.8’de de görüldüğü gibi FDM ler farklı uygulama şekilleriyle, farklı alanlarda enerji tasarrufu amacıyla kullanılmaktadırlar.





Şekil 1.8 FDM uygulamaları (www.fskab.com/Annex17)

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

1. Parafinler,
2. Yağ asitleri,
3. Anorganik tuz hidratları
4. Ötektik karışımlar şeklinde sınıflandırılırlar.[9].

1.2.12. 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 kristallenmeleri esnasında büyük miktarda gizli ısı yayarlar. Parafinlerde zincir uzunluğu arttıkça erime ve donma sıcaklığı ile erime

ısıları da artar. Royal teknoloji enstitüsünde (İsveç) enerji grubu soğu 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. Korozyif ve toksik etkiye sahip değildirler. İleri düzeyde aşırı soğuma göstermezler, kendi kendilerine çekirdekleşebilirler. Parafinler kimyasal ve fiziksel özellikleri açısından çeşitli uygulamalar için uygundur. [3, 13, 14]. Parafinlerin FDM olarak kullanılmasındaki en temel sorun termal iletkenliklerinin düşük olmasıdır. Bu yüzden parafinlerin FDM olarak kullanılmasında ısı transferini iyileştirmek için bazı yöntemler geliştirilmektedir. [3, 6]. Bu yöntemlerden birisi, parafinin yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) gibi bir polimerin ağ yapısı içindeki gözeneklerde grafit ile birlikte tutuklanmasıdır [6]. Parafinin ısı özelliklerini geliştirmek ve kullanım esnekliği sağlanması için mikrokapsüllenme de yapılabilmektedir [11].

1.2.13. Yağ asitleri

Yağ asitlerinin kimyasal yapıları genel olarak $CH_3(CH_2)_{2n}COOH$ şeklindedir. Gizli ısıları parafinlerle karşılaştırılabilecek düzeyde organik bileşiklerdir. Düşük sıcaklıkta gizli ısı depolama uygulamaları için uygun özelliktedirler [9]. Hayvansal ve bitkisel yağlar FDM olarak kullanılmaya uygundur. Yemeklik ve soya yağları büyük oranda palmitik, stearik, oleik ve linoleik asit içerirler.[15]. Yağ asitleri organik ve anorganik FDM lere alternatif olarak kullanılabilirler [16].

1.2.14. Tuz hidratları

Anorganik sınıfa aittirler. Termal enerji depolama kapasiteleri yüksek olduğundan, FDM olarak önemli bir yere sahiptirler. 0–150 oC sıcaklık aralığında kullanılırlar. Erime donma sonucunda hacim değişimleri azdır ve termal enerji depolama kapasiteleri yüksektir. Isıl iletkenlikleri de organik FDM lere göre yüksektir. $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{NaSO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ örnek verilebilir [3].

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 çekirdekletme problemine dikkat çekilirken, düzgün kristal yapıda erimeme ve korozyon olmalarına da dikkat çekmişlerdir [14, 17].

1.2.15. 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. [1, 3, 6].

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 [2, 18]. Çizelge 1’de Organik ve anorganik FDM’lerin avantaj ve dezavantajları kısaca gösterilmiştir.

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.

Çizelge 1. Isı Depolama için Organik ve Anorganik Maddelerinin Karşılaştırılması [19].

1.2.16. 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.

1.2.17. 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.[2, 6]. Uygulama sıcaklığına yakın erime noktasına sahip FDM’ler literatürden veya ticari firmalardan sağlanabilir.

1.2.18. 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.[2].

1.2.19. 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 [3].

1.2.20. FDM nin Kimyasal Özellikleri

FDM'nin kimyasal yapısı kararlı olmalıdır. Tekrar tekrar kullanılacağı için kimyasal yapısı bozulmamalıdır. Kimyasal yapıda ki 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 [3, 17].

1.2.21. FDM nin Ekonomik Özellikleri

Geliştirilecek FDM ler çok farklı uygulamalarda ve ticarileştirilmiş ürünlerde kullanılacağı için pahalı bir ürün olmamalıdır. Ayrıca bol miktarda bulunmalıdır.[20]

1.2.22. 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. [21]. 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 [11]. 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 taşınma kutularında ve/veya frigorifik taşıtların soğutma sistemlerinde kullanılabilir. Buzdolapları ve derin dondurucularda FDM kullanarak daha yüksek evaporasyon sıcaklıklarında çalışması sağlanarak enerji tüketimi azaltılabilir.

Ayrıca buzdolabı kabini içinde kullanılacak FDM ile sıcaklık sınırlarının azaltılması sağlanarak gıdaların saklama koşulları iyileştirilerek daha hijyenik gıda korunması 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.

Bu soğutma uygulamalarında kullanılabilcek FDM'lerin erime sıcaklıklarının aşağıdaki aralılarda olması beklenir:

- a.** Bina yapı malzemeleri ve elemanları: 22 - 25°C [22].
- b.** Bina soğutma sistemleri: 5 – 10 °C [14].
- c.** Taşıma kutuları : -30 - +24 °C [22].
- d.** Frigorifik taşıtların soğutma sistemleri [23].
- e.** Buzdolapları ve derin dondurucu: -25 - +8°C [24].
- f.** Tarımda dondan korunma: -5 - +5 °C

2. MATERYAL ve METOD

2.1. Test Odaları ve Deneysel Çalışma

Binalarda duvarlar ve pencerelerden sonra en fazla ısı kaybı/kazancı olan bölümler tavan/çatı ve döşemelerdir. Yapılan bu çalışmada tavanı ısı yalıtımsız ve tavanı üstüne faz değiştiren madde içeren delikli tuğla dizilmiş gizli ısı depolamasıyla ısı yalıtımı yapılmış betonarme iki test odası aynı boyutlarda (eni-boyu-yüksekliği 2.5x3x2.5 m ve içten döşeme alanı 7.5 m²) inşa edilip (Şekil 2.1) deneysel olarak test edilmiş ve ısıl konfor yönünden karşılaştırılmıştır.



Şekil 2.1. Deneyler için inşa edilen test odaları.

Tavanı üstten yalıtılacak olanın ısı yalıtımı faz değiştiren madde (FDM) ile gizli ısı depolamalı yapılmıştır. Faz değiştiren madde olarak yaklaşık 28 °C’de eriyip katılaşan $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (kalsiyum klorür heksahidrat) kullanıldı. Deneylerde kullanılan kalsiyum klorür heksahidrat’ın katı ve sıvı fazındaki yoğunluğu, erime gizli ısısı, özgül ısısı ve ısı

iletim katsayısı sırasıyla 1710, 1527 kg/m³, 98, 98 kJ/kg, 3571, 4318 J/kgK, 1.013, 0.539 W/mK'dir.

Faz değiştiren maddenin içerisine doldurulması için 1 cm çapında ve 10 cm yüksekliğinde silindirik kapsüller (şekil 2.2) hazırlandı. Bu silindirik kapsülleri test odasının üstüne (tavanına) yerleştirmek için şekil 2.3'de görülen 20x10x8 cm boyutlarında delikli tuğlalardan yararlanıldı. Her biri 1 cm çaplı 10 adet dairesel kesitli eř delik boşluklar içeren bu tuğlalar daha sonra tavanı yalıtılacak test odasının üzerine şekil 2.4'deki gibi aralarında boşluk olmaksızın yan yana dizildi. Delikli tuğlaların dairesel kesitli eř delik boşluklarına yerleştirilen silindirik kapsüller daha sonra söz konusu FDM ile doldurulmuş ve üzerleri kapatılmıştır.

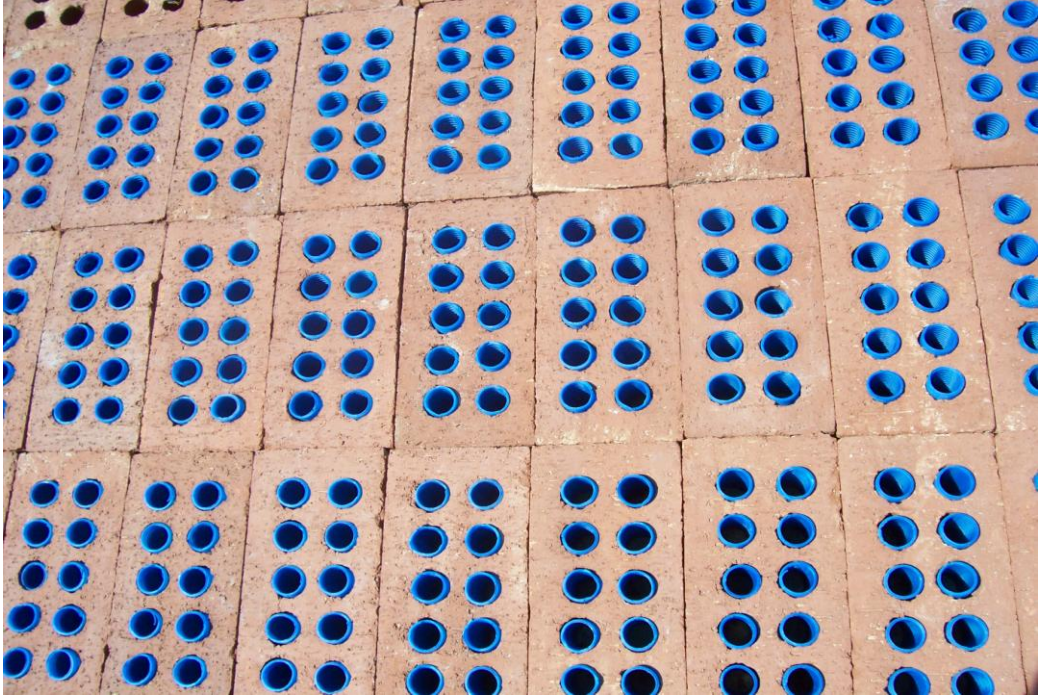


şekil 2.2. Faz değiştiren maddenin (FDM) doldurulacağı silindirik kapsüller.



Şekil 2.3. Silindirik FDM kapsüllerinin yerleştirileceği delikli tuğlalar.

Yazın gündüz oda tavanına üstten gelen güneş enerjisi FDM'nin erimesi ile gizli ısı şeklinde depolanmış 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 tavan ısı yalıtımı yapılmış test odası ve tavanı ısı yalıtımsız test odası ısı konfor bakımından karşılaştırılmıştır.

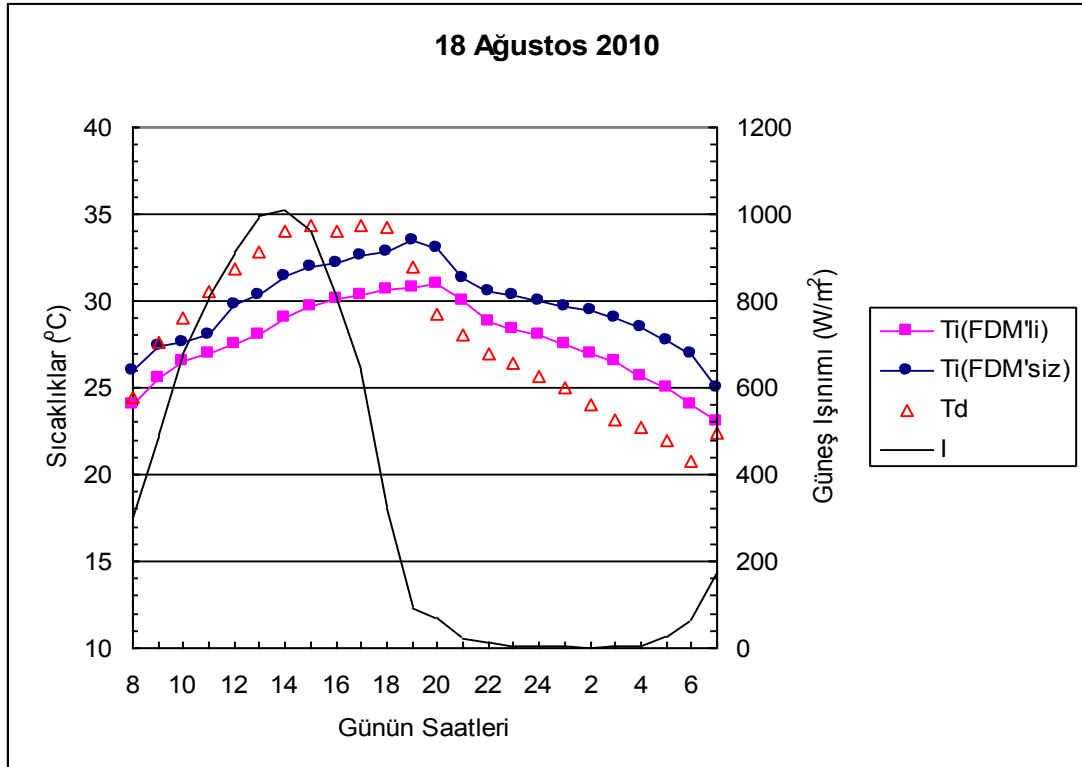


Şekil 2.4. Silindirik FDM kapsülleri içeren delikli tuğlaların test odası üzerindeki görünüşü.

Deneyler her iki test odası için 18-22 Ağustos 2010 tarihleri arasında ard arda 5 gün boyunca devam ettirilmiştir. Test odalarının iç ve dış (çevre) hava sıcaklıkları termometreler yardımıyla belirli zaman aralıklarıyla ölçölüp kaydedilmiştir. Güneş ışıını değeri bir solarimetre cihazı ile yine belirli zaman aralıklarıyla ölçölüp kaydedilmiştir. Ayrıca deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçların literatürdeki bulgularla uygunluğu araştırılmıştır.

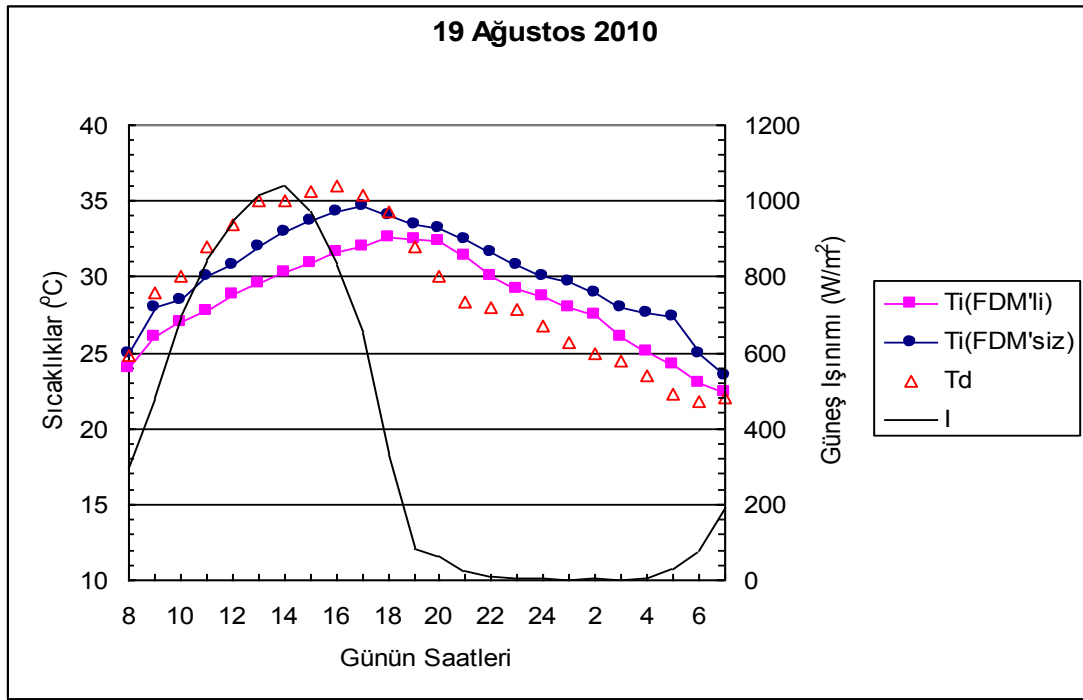
3.BULGULAR, SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Şekil 3.1.'de 18 Ağustos 2010'da tavanı 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 28.1 °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. Tavanı FDM ile ısıya karşı yalıtılmış test odasındaki iç ortam sıcaklığı bütün gün boyunca tavanı FDM'siz test odasının iç hava sıcaklığının altında kalmaktadır. Yalıtımsız ve yalıtımlı odaların günlük ortalama iç hava sıcaklık farkı $(29.8 - 28.14) = 1.66$ °C olmuştur.



Şekil 3.1. 18 Ağustos 2010'da tavanı ısı depolamalı ve ısı depolamasız test odalarının iç hava sıcaklıklarının, dış hava sıcaklığının ve güneş ışınımının zamanla değişimi.

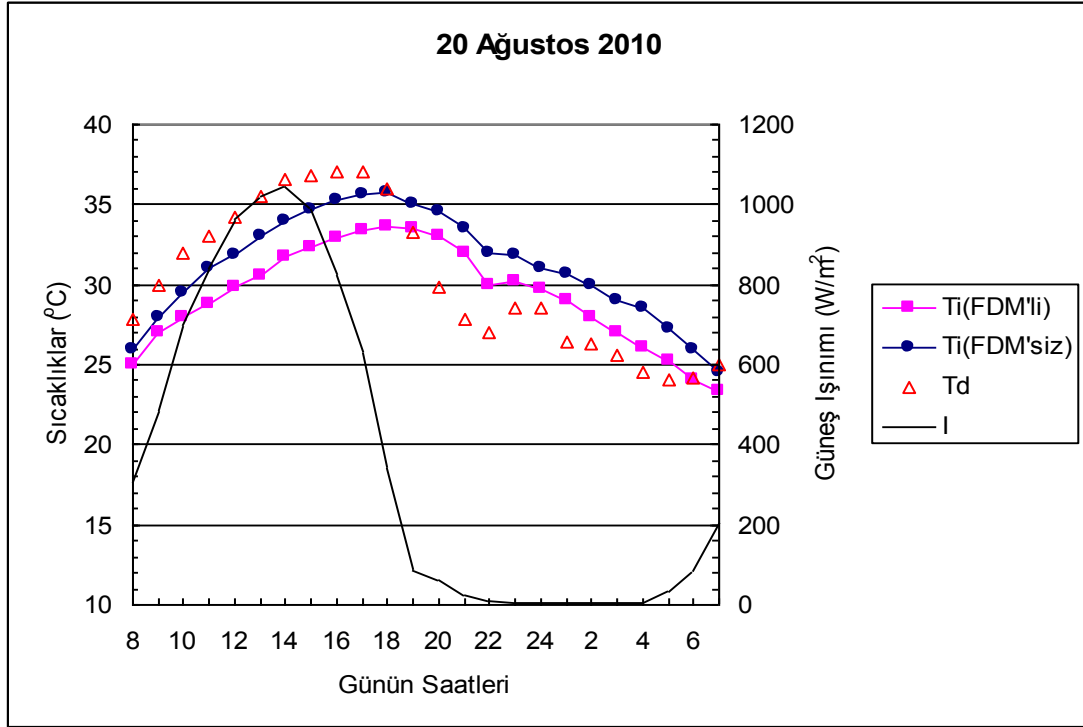
Şekil 3.2.'de 19 Ağustos 2010'da tavanı FDM'li ve FDM'siz test odaları için ölçülmüş iç hava sıcaklıklarının, dış hava sıcaklığının ve güneş ışıınının zamanla değişimi gösterilmiştir. Ortalama dış hava sıcaklığının 29.1 °C olduğu bu günde, dış hava sıcaklığı sabah saatlerinden itibaren gün batımına kadar odaların iç ortam hava sıcaklıklarından daha yüksek seyretmekte, daha sonra ise sabah saatlerine kadar odaların iç hava sıcaklıklarının altında seyretmektedir. Tavanı FDM ile ısıya karşı yalıtılmış test odasındaki iç ortam sıcaklığı bütün gün boyunca tavanı FDM'siz test odasının iç hava sıcaklığının altında kalmaktadır. Yalıtımsız ve yalıtımlı odaların günlük ortalama iç hava sıcaklık farkı $(30.24 - 28.37) = 1.87$ °C olmuştur.



Şekil 3.2. 19 Ağustos 2010'da tavanı ısı depolamalı ve ısı depolamasız test odalarının iç hava sıcaklıklarının, dış hava sıcaklığının ve güneş ışıınının zamanla değişimi.

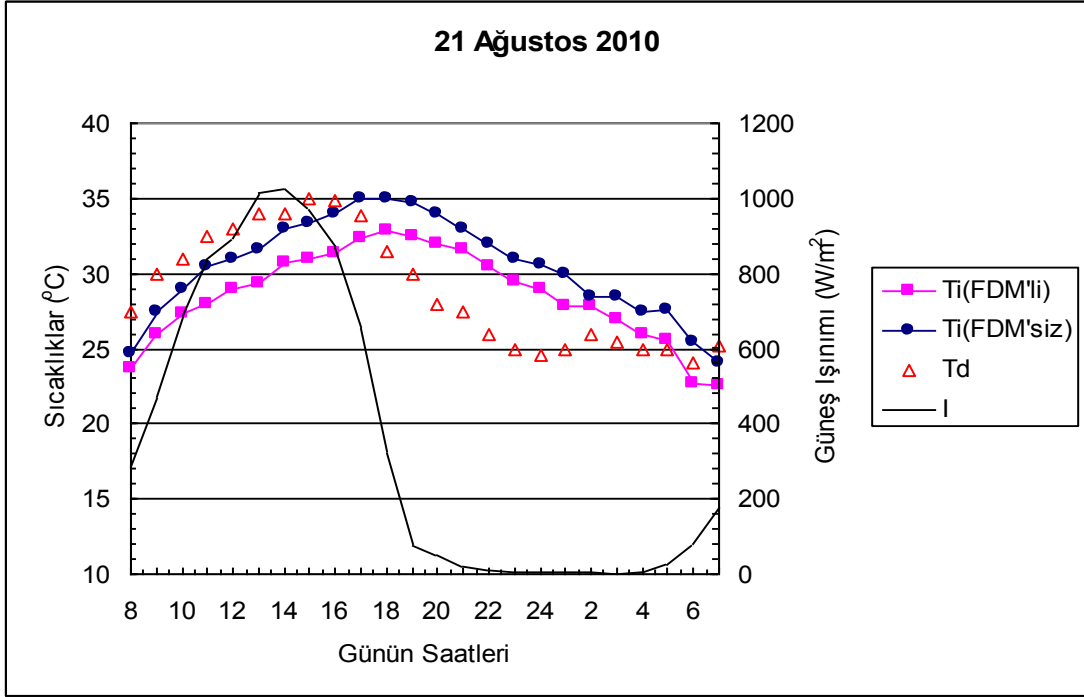
Şekil 3.3.'de 20 Ağustos 2010'da tavanı FDM'li ve FDM'siz test odaları için ölçülmüş iç hava sıcaklıklarının, dış hava sıcaklığının ve güneş ışıınının zamanla değişimi gösterilmiştir. Ortalama dış hava sıcaklığının 30.3 °C olduğu bu günde, dış hava sıcaklığı sabah saatlerinden itibaren gün batımına kadar odaların iç ortam hava sıcaklıklarından daha yüksek seyretmekte, daha sonra ise sabah saatlerine kadar odaların iç hava sıcaklıklarının altında seyretmektedir. Tavanı FDM ile ısıya karşı

yalıtılmış test odasındaki iç ortam sıcaklığı bütün gün boyunca tavanı FDM'siz test odasının iç hava sıcaklığının altında kalmaktadır. Yalıtımsız ve yalıtımlı odaların günlük ortalama iç hava sıcaklık farkı $(31.2 - 29.35) = 1.85$ °C olmuştur.



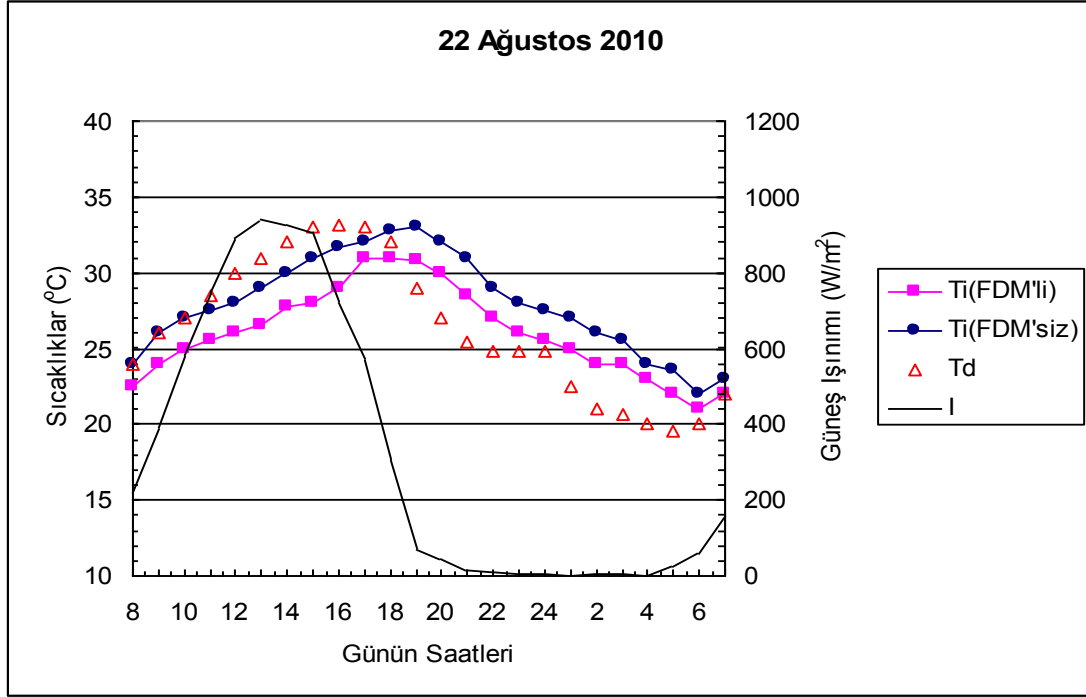
Şekil 3.3. 20 Ağustos 2010'da tavanı ısı depolamalı ve ısı depolamasız test odalarının iç hava sıcaklıklarının, dış hava sıcaklığının ve güneş ışınımının zamanla değişimi.

Şekil 3.4.'de 21 Ağustos 2010'da tavanı 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 29.1 °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. Tavanı FDM ile ısıya karşı yalıtılmış test odasındaki iç ortam sıcaklığı bütün gün boyunca tavanı FDM'siz test odasının iç hava sıcaklığının altında kalmaktadır. Yalıtımsız ve yalıtımlı odaların günlük ortalama iç hava sıcaklık farkı $(30.5 - 28.6) = 1.9$ °C olmuştur.



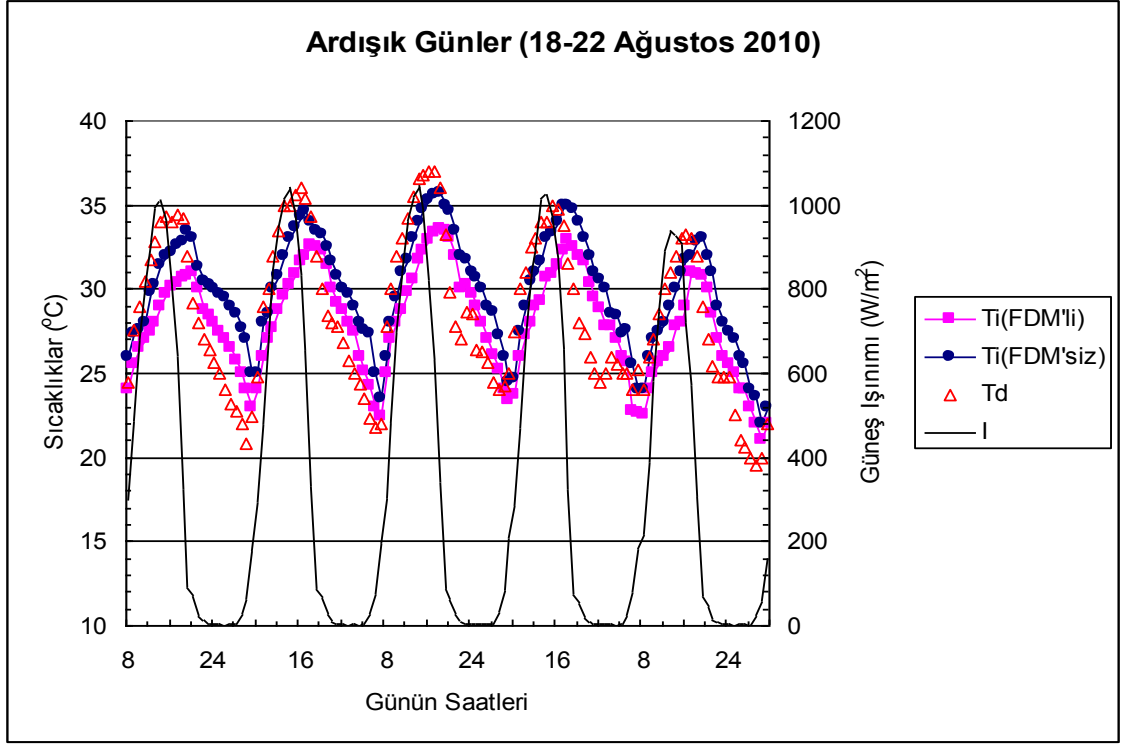
Şekil 3.4. 21 Ağustos 2010'da tavanı ısı depolamalı ve ısı depolamasız test odalarının iç hava sıcaklıklarının, dış hava sıcaklığının ve güneş ışınımının zamanla değişimi.

Şekil 3.5.'de 22 Ağustos 2010'da tavanı 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. Tavanı FDM ile ısıya karşı yalıtılmış test odasındaki iç ortam sıcaklığı bütün gün boyunca tavanı FDM'siz test odasının iç hava sıcaklığının altında kalmaktadır. Yalıtımsız ve yalıtımlı odaların günlük ortalama iç hava sıcaklık farkı $(27.95 - 26.05) = 1.9$ °C olmuştur.



Şekil 3.5. 22 Ağustos 2010'da tavanı ısı depolamalı ve ısı depolamasız test odalarının iç hava sıcaklıklarının, dış hava sıcaklığının ve güneş ışınımının zamanla değişimi.

Şekil 3.6.'da ise 18-22 Ağustos 2010 tarihleri arasında ardışık günler halinde tavanı FDM'li ve FDM'siz test odaları için ölçülmüş iç hava sıcaklıklarının, dış hava sıcaklığının ve güneş ışınımının zamanla değişimi gösterilmiştir. Bütün günlerde de görüldüğü gibi güneş ışınımı azaldıkça iç ortam sıcaklıkları da düşmektedir.



Şekil 3.6. 18-22 Ağustos 2010 tarihleri arasında tavanı 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 tavan ısı yalıtımı yapılmak suretiyle yalıtımsız odaya kıyasla 1.66 - 1.9 °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 anlaşılr.

4. ÖNERİLER

Konutların çatı ya da tavan ısı yalıtım kabiliyetini iyileştirme, düzlem çatı ya da tavanların en yüksek güneş ışımasını değerlerine maruz kaldığı özellikle sıcak ve nemli iklim bölgelerinde çok önemli bir konudur. Dolayısıyla tavan ve çatı ısı yalıtımı, tükettiği enerjinin büyük bir kısmını yurtdışından ithal eden ülkemiz açısından üzerinde çalışılması gereken çok önemli bir konudur. Çağımızda ısı 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 tavan veya çatı arası 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 tavanı gizli ısı depolamalı, öteki ise ısı depolamasız olarak ısı performanslarını karşılaştırmak amacıyla deneysel olarak incelendi.

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

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

5. KAYNAKLAR

- [1] Tokat SARIKAYA Y., Fizikokimya, Gazi kitabevi, 2000
- [2] LANE G. A., 1983, Solar energy latent heat material , Volume I, CRC Pres Inc. 53
Boca Raton /Florida, 450 LANE G.A., 1980, Low temperature heat storage with phase change materials, Int. J. Ambient Energy I, 155-168.
- [3] MAZMAN M., 2006, Gizli ısı depolaması ve uygulamaları, Doktora tezi, Ç.Ü. Fen Bil. Ens., Adana
- [4] 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
- [5] KOVACH, E.G., Thermal Energy Storage. The report of a NATO Science Committee Conference, 1-5 March, 1976, Scotland, Pergamon Pres, 76s.
- [6] SARI A., 2000, Bazı yağ asitleri ve ötektik karışımlarının enerji depolayıcı madde olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi, Doktora Tezi, Gaziosmanpaşa Ü. Fen Bil. Ens.,
- [7] ÖZONUR (KONUĞLU) Y., 2004, Düşük sıcaklıkta termal enerji depolamasına uygun faz değiştiren maddelerin mikrokapsüllenmesi, Yüksek lisans tezi, Ç.Ü. Fen Bil. Ens., Adana
- [8] FELDMAN D., SHAPIRO M. M. , BANU D., 1986, Organic phase change materials for thermal energy storage, Solar Energy Mater 13, 1-10
- [9] ABHAT A., 1983, Low temperature latent heat thermal energy storage materials, Solar Energy 30, 313-332
- [10] ÖZTÜRK H., 1997, Sera ısıtma için güneş enerjisinin faz değiştiren maddelerde depolanması üzerine bir araştırma, Doktora tezi, Ç.Ü. Fen Bil. Ens., Adana
- [11] ÖZONUR Y., 2007, Mikrokapsüllenmiş Faz Değiştiren Maddelerde Termal Enerji Depolama ile Binalarda Enerji Tasarrufu, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana
- [12] BÜYÜKBİÇAKCI E., 2006, Faz değiştirici maddelerin transformatörlerin soğutulmasında kullanılması, Marmara Üniv., Yüksek lisans tezi, İstanbul
- [13] GÖK Ö., 2005, Faz değiştiren maddelerin destekleyici maddelerde tutuklanması ve termal performansı, Yüksek lisans tezi, Ç.Ü. Fen Bil. Ens., Adana

- [14] 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.
- [15] 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
- [16] 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
- [17] 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
- [18] HASNAIN S.M., 1998, Review on sustainable thermal energy storage technologies, Part I: Heat storage materials and techniques, *Energy Conversion & Management* 39, 1127-1138.
- [19] ZALBA B., MARÍN 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
- [20] DİNÇER İ, ROSEN M.A., 2002, Thermal energy storage, Systems and applications, John Wiley & Sons. Chichester (England) 52
- [21] PAKSOY H.Ö., 2007. Thermal Energy Storage for Sustainable Energy Consumption – Fundamentals, Case Studies and Design, Editör,
- [22] MEHLİNG H. AND CABEZA L., 2007. Application of PCM For Heating And Cooling in Buildings, Thermal Energy Storage for Sustainable Energy Consumption – Fundamentals, Case Studies and Design, Editör, NATO Science Series, II. Mathematics, Physics and Chemistry – Vol 234, 257 -273
- [23] KATO Y., 2008. Material Development for Thermal Energy Storage Workshop, June 4-6, Bad Tölz, Germany
- [24] AZZOUZ K., LEDUCQ D., GOBİN D., 2007. Performance Enhancement of a Household Refrigerator by Addition of Latent Heat Storage, *International Journal of Refrigeration*
- [25] www.chem.mtu.edu/chem_eng/faculty/memullins/course

[26] www.tr.wikipedia.org

[27] www.uwsp.edu/physastr/kmenning

[28] www.fskab.com/Annex17/55

ÖZGEÇMİŞ

Fatih ÖRENGÜL 1980 yılında Afyonkarahisar’ da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Afyonkarahisar’ da tamamladı. 2003 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Burdur Meslek Yüksekokulu Otomotiv programından mezun oldu. 2008 yılında Dicle Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Öğretmenliği Bölümünden mezun oldu. Aynı yıl 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: fatihorengul@gmail.com