

FAZ DEĞİŞTİREN MADDELER İLE BİNALARDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Yeliz KONUKLU
Halime Ö. PAKSOY

Enerji üretimi ve kullanımında yabancı kaynaklara bağımlılık ve çevre üzerindeki olumsuz etkiler enerji verimliliği ve tasarrufu konularını öne çıkarmıştır. Binalarda ısıtma ve soğutma uygulamalarının verimliliğinin artırılmasında faz değiştiren maddelerde (FDM) termal enerji depolamadan yararlanılmaktadır. Bu çalışmada mikrokapsüllenmiş faz değiştiren maddeler, Adana ilindeki bir test odasının ısıtma soğutma yükünü azaltmak amacı ile kullanılmıştır. Yapılan analizler, bina içerisinde kullanılan faz değiştiren maddelerin erime noktası ve ergime ısısının termal enerji depolama özelliği ile enerji tasarrufuna katkıda bulunduğunu göstermektedir. Boş test odası ile karşılaştırıldığında, mikrokapsüllenmiş FDM'lerin yazın soğutma yükünün %5–10; kışın ısıtma yükünün % 10–20 oranında azaltılmasına katkı sağlayabileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Faz Değiştiren Madde, Enerji Tasarrufu, Termal Enerji Depolama, Mikrokapsül.

ABSTRACT

Dependence on foreign energy resources for energy production and consumption and adverse environmental effects has made energy efficiency and conservation more important than ever. Many heating and cooling applications benefit from using thermal energy storage in phase change materials (PCM). In this study, thermal energy storage in microencapsulated PCMs was used to decrease heating and cooling load of a test building in Adana, Turkey. The results of application of microencapsulated PCMs with building elements showed that the melting temperature and latent heat of microencapsulated PCMs can be used for latent heat storage in buildings to save energy cost and electric power. Compared with an ordinary room, it was found that usage of Microencapsulated PCM in building applications has reduced the energy consumption by 5–10% compared to a conventional climate control solution during summer and 10–20% during winter.

Keywords: Phase change materials, Energy Conservation, Thermal Energy Storage Microcapsule

GİRİŞ

Endüstriyel ve teknolojik alandaki yenilikler, artan nüfus ve neden olduğu hızlı kentleşme süreci enerji tüketimini hızla artırmaktadır. Enerji insanlar için temel bir ihtiyaç haline gelmiştir. Enerji üretimi ve kullanımında yabancı kaynaklara bağımlılık ve çevre üzerindeki olumsuz etkiler enerji verimliliği ve tasarrufu konularını öne çıkarmıştır.

Enerji tüketimimizin % 35-40'ının binalarda tüketilmesi ve bu oranın % 85'inin ısıtmada kullanılması, yapılarda bina yalıtımına gereken önemin verilmeyişinden kaynaklanmaktadır [1]. Bu da ısı yalıtımının önemini daha da artırmaktadır. 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 yanısıra, ısınma amaçlı fosil yakıt tüketiminden kaynaklanan emisyonları azaltarak hava kirliliğini de önlemektedir. Soğutma için kullanılan elektrik tüketimi azaltılarak elektrik enerjisine duyulan gereksinim azalmakta ve elektriğe en çok ihtiyaç duyulan zamanlarda elektriğe aşırı yüklenme engellenebilmektedir.

Termal enerji depolama sistemleriyle ozon tabakasına zarar veren kloroflorokarbonlara (CFC) gereksinim duymadan doğrudan soğutma-ısıtma yapılabilir. Elektrik enerjisine duyulan gereksinim azalmakta ve elektriğe en çok ihtiyaç duyulan zamanlarda elektriğe aşırı yüklenme engellenebilmektedir. Böylece enerji santrallerine duyulan gereksinimi ve fosil yakıt kullanımını azaltarak çevreyi daha az kirleten çözümler sunulmaktadır.

Termal (ısı) Enerji Depolama yöntemleri ısıl yöntem ve kimyasal yöntem olmak üzere ikiye ayrılır. Isıl yöntem duyulur ısı ve gizli ısıdan oluşurken, kimyasal yöntem tepkime ısı, kimyasal ısı pompası ve termokimyasal ısı pompasından oluşur.

Gizli ısı, maddenin faz değişimi sırasında çevreden aldığı veya verdiği ısıdır. Gizli ısı depolama yöntemleri için gerekli depo hacmi, duyulur ısıya göre daha küçüktür.

Faz Değiştiren Maddeler (FDM, Phase Change Material) termal enerjiyi gizli ısı şeklinde depolayan maddelerdir.

Bina uygulamalarında FDM kullanımı tuz hidratlarının bir binada kullanılması ile 1970 yılında başlamıştır [2].

Uygulamalarda kullanılan FDM'lerin ideal olabilmesi için, yüksek bir gizli ısı, yüksek ısıl iletkenlik, yüksek özgül ısı kapasitesi ve küçük hacim değişimine sahip olmalıdır. Ayrıca korozif ve toksik olmamalıdır ve aşırı soğuma özelliği göstermemelidir [3]. Bina uygulamalarında kullanılacak FDM'lerin 20°C dolaylarında erimeleri gerekmektedir. Tablo 1'de görülen tuz hidratları ve organik FDM'ler bina uygulamaları için uygun değerlere sahiptirler.

Tablo 1. Tuz Hidratları ve Organik FDM'ler

FDM	Erime Sıcaklığı (°C)	Ergime Isısı(kJ/kg)
KF.4H ₂ O Potasyum florür tetrahidrat	18,5–19	231
CaCl ₂ .6H ₂ O Kalsiyum klorür hekza hidrat	29.7	171
CH ₃ (CH ₂) ₁₆ COO(CH ₂) ₃ CH ₃ Bütül stearat	18–23	140
CH ₃ (CH ₂) ₁₆ OH Dodekanol	17,5–23,3	188.8
CH ₃ (CH ₂) ₁₂ CH ₃ Oktadekan (teknik saflıkta)	22,5–26,2	205.1
CH ₃ (CH ₂) ₈ COOC ₃ H ₇ Propil palmitat	16–19	186
%45 CH ₃ (CH ₂) ₈ COOH %55 CH ₃ (CH ₂) ₁₀ COOH 45/55 Kaprik-Laurik asit	17–21	143

Almanya'da ZAE Bayern tarafından yürütülen bir çalışmada binaların ısıtması ve soğutması için kullanılan FDM'lerin uygulamalarındaki gelişmeler tanıtılmıştır. Bu çalışmada, bina duvarlarında ve binanın diğer yapı elemanlarında kullanılan FDM'ler araştırılmıştır. Binalardaki FDM'ler de iki farklı ısı kaynağı kullanır. Bunların birincisi doğal ısı ve soğuk kaynakları, örneğin ısıtma için güneş enerjisi veya soğutma için gecenin soğuk havası kullanılır. İkincisi ise yapay ısı veya soğuk kaynaklardır.

Soğutma amaçlı kullanılan FDM'ler 5°C – 30°C erime noktasına sahip olan maddelerdir. Bina uygulamalarında erime sıcaklığı 22 – 24°C olanlar kullanılmaktadır [4].

Oak Ridge National Laboratory tarafından yapılan bir çalışmada geleneksel yapıdaki duvarlar içerisine % 10, % 20, % 30 oranlarında FDM'ler yerleştirilerek termofiziksel özellikleri (Tablo 2) incelenmiştir [5].

Tablo 2.Yapı Malzemesi İçerisindeki FDM'lerin Termofiziksel Özellikleri

Yapı malzemesi	Yoğunluk [kg/ m ³]	Özgül ısı [kJ/kg K]	İletkenlik W/m K	Gizli ısı [kJ/kg]
Geleneksel	696	1089	0,173	0
% 10 FDM	720	1215	0,187	19,3
% 16 FDM	760	1299	0,192	31,0
% 20 FDM	800	1341	0,204	38,9
% 30 FDM	998	1467	0,232	58,3

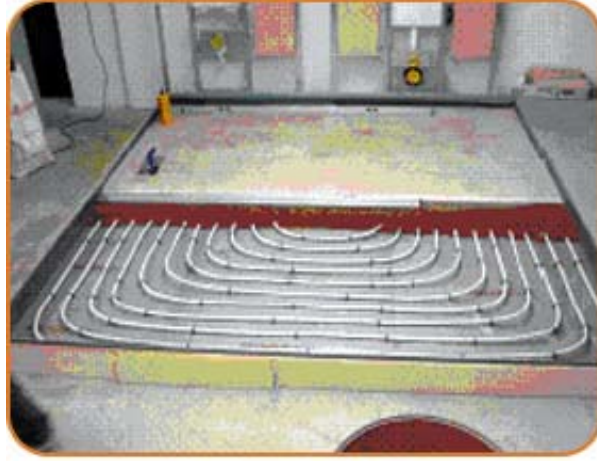
Huang ve arkadaşları 2006 yılında bina uygulamalarında erime noktası 43°C ve 28°C olan ticari olarak üretilen 2 adet faz değiştiren madde üzerinde öncelikle teorik olarak çalışmışlardır. Teorik olarak yapılan çalışmalar sonucunda erime noktası 28°C olan FDM Haziran ve Ocak aylarında test edildiğinde her iki iklimde iç ortam sıcaklığında iklime göre pozitif bir katkı sağladığı belirlenmiştir [6].

Kissock ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada (1998) duvarlara %30'luk ticari bir FDM olan parafin (K18) emdirilerek sonuçlar gözlemlenmiştir. 14 gün boyunca güneş ışınımı, dış hava sıcaklığı FDM'li ve FDM'siz test edilen duvarların arasındaki sıcaklık değerleri ölçülerek kaydedilmiştir. Sonuçlar FDM'li bölgenin FDM'siz bölgeden 10°C daha az olduğu gözlemlenmiştir [7].

Faz değiştiren maddelerin bazıları dezavantajlara sahiptirler. Örneğin tuz hidratları nemli bölgelerde akarlar ve oluşan nem değişikliği ile hidrat sayısında değişiklikler olabilir. Hidrokarbonlar eridiğinde viskozitesi azalabilir ve böylece binanın duvarları içerisinden akabilirler. Buharlaşma ile de havanın uçucu organik bileşimini sınır değerlerinin üstüne yükseltebilirler. Bu yüzden faz değiştiren maddeler bir kap, yani kendilerini saran bir mikro-kapsül içerisinde kullanılmalıdır. Mikrokapsüller sıvı materyallerin katı bir şekilde kullanılmalarını sağlarlar ve faz değişimi sırasında gerçekleşecek hacim değişimine izin verirler. Mikrokapsüllenmiş faz değiştiren maddelerin binalarda enerji tasarrufu sağlamak amacıyla yönelik çalışmalar 1990'lı yılların sonlarında başlamıştır. Bu çalışmalar uygun mikrokapsül üretimi, termal özelliklerinin belirlenmesi ve binalarda çeşitli yapı malzemelerinde uygulanmasının denenmesi ile ilgilidir.

Schossig ve arkadaşlarının mikrokapsüllenmiş FDM'leri bina yapı maddelerine eklendiği bir uygulamada (2005) öncelikle teorik olarak bir modelleme yapılmış bu modellemeye göre bina uygulamalarına uygun olarak erime noktası 25°C FDM'in kullanılmasına karar verilmiştir. FDM sıva içerisine karıştırılarak ofis uygulamasında denendiğinde, gündüzleri iç ortam sıcaklığını düşürdüğü geceleri ise sıcaklığı arttırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca bu çalışma mikrokapsüllerin bina uygulamalarındaki kullanım kolaylığı üzerinde duruyor [8].

Rubitherm tarafından yaptırılan bir araştırmada FDM'ler zemine yerleştirilerek (Şekil 1) bina yalıtımı sağlanmaya çalışılmıştır. Kullanılan sistem konvansiyonel ısıtma sistemleri ile karşılaştırıldığında, enerji tüketiminde % 35 azalma sağladığı belirlenmiştir [9].



Şekil 0. Rubitherm 'in Zeminde FDM Uygulaması

Neeper tarafından yapılan çalışmada, duvarlara emdirilen yağ asitleri karışımları, oda sıcaklığının istenilen sıcaklıkta kalmasını sağlamışlardır [10].

Özonur ve ark. [11] termal enerji depolama için kompleks koaservasyon yöntemleri ile parafinin mikrokapsülleri hazırlamışlardır. Bu çalışmada, mikrokapsülleme verimini etkileyen parametreler üzerinde durulmuştur. Kapsül boyutunu etkileyici parametrelerin, karıştırma hızı, süresi ve dış duvar materyallerinin sıcaklığı olduğu gözlemlenmiştir. Hazırlanan mikrokapsüllerin erime-donma çevrimi sırasında fiziksel olarak bozulmadığı gözlemlenmiştir. Şekil 2 ve Şekil 3'te bu çalışmada kullanılan parafinin ve çalışmalar sonucu elde edilen parafin mikrokapsülünün mikroskop altındaki görüntüleri gösterilmektedir.

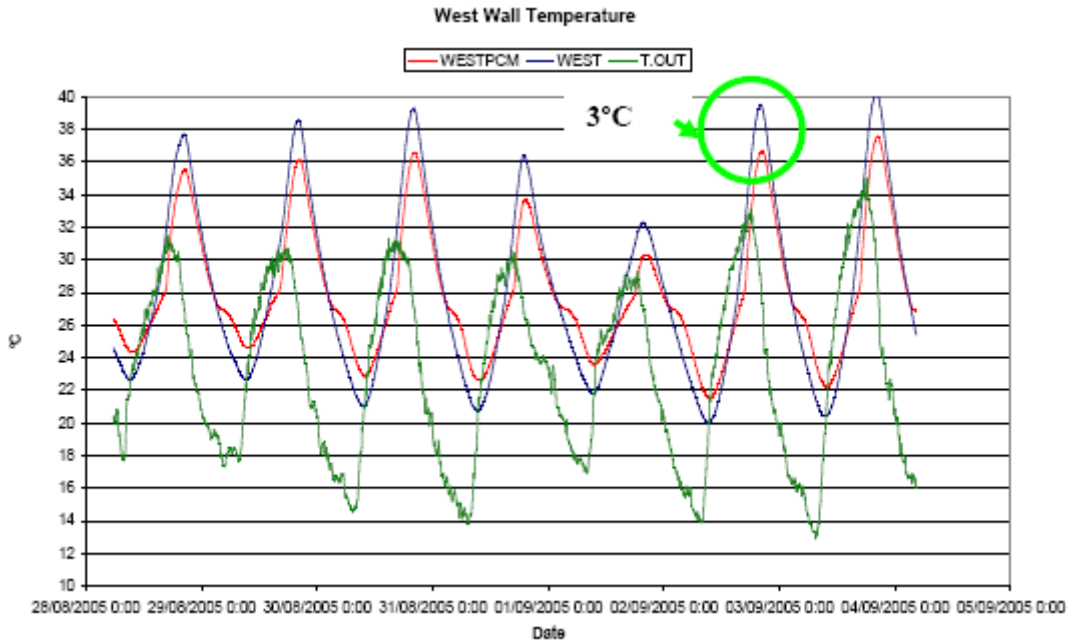


Şekil 2. Kapsüllenmemiş Parafin



Şekil 3. Jelâtin- Arap Zamkı ile Kapsülennmiş Parafin

İspanya'da 2005 yazında, Lleida Üniversitesinde Castellon ve arkadaşlarının FDM'lerin bina uygulamalarında kullanımına yönelik yapılan bir çalışmada, erime noktası 26°C olan mikrokapsülennmiş FDM kullanılmıştır. Kullanılan FDM yapı malzemesinin beton hazırlama sürecinde beton içerisine karıştırılmıştır. Dış ortam sıcaklığı maksimum 32°C olan dönemde, FDM'siz iç ortam sıcaklığı 39°C FDM'li iç ortam sıcaklığı ise maksimum 36°C 'ye ulaşmıştır (Şekil 4). Kullanılan FDM yardımı ile 3°C 'lik bir yalıtım sağlanmıştır[12].



Şekil 4. Lleida Üniversitesi'ndeki Pilot Çalışma Sonuçları [12]

Özonur (2004) "Düşük sıcaklıkta termal enerji depolamasına uygun faz değıştiren maddelerin mikrokapsülennmesi" adlı bir araştırma yapmıştır. Bu çalışmada FDM olarak parafin ve koko yağ asidi karışımları kullanılmıştır. Hazırlanan koko yağ asidi kapsüllerinin 50 erime donma döngüsü sonucunda, erime ve donma noktası aralıklarının değışmediğı ve kapsül yapısının bozulmadığı belirlenmiştir. Erime aralığı $22-24^{\circ}\text{C}$ olan koko yağ asidi, bina yalıtımında kullanılabilecek uygun bir materyal olarak önerilmiştir. Özonur ve arkadaşları 2006 yılında termal enerji depolamasında

kullanılması amacı ile koko yağ asidinin kompleks koaservasyon yöntemi ile mikrokapsüllenmesine yönelik bir çalışma yapmıştır. Yapılan analizlerle hazırlanan mikrokapsüllerin termal ve kimyasal yönden kararlı olduklarına karar verilmiştir[13].

Bu çalışmada mikrokapsüllenmiş faz değiştiren maddeler, Adana ilindeki bir test odasının ısıtma soğutma yükünü azaltmak amacı ile kullanılmıştır.

DENEYSEL DÜZENEK

Faz Değiştiren Madde

Bu çalışmada Termal Enerji Depolama yaparak yalıtıma katkıda bulunan iki adet BASF ürünü mikrokapsüllenmiş faz değiştiren materyal kullanılmıştır (Tablo 3).

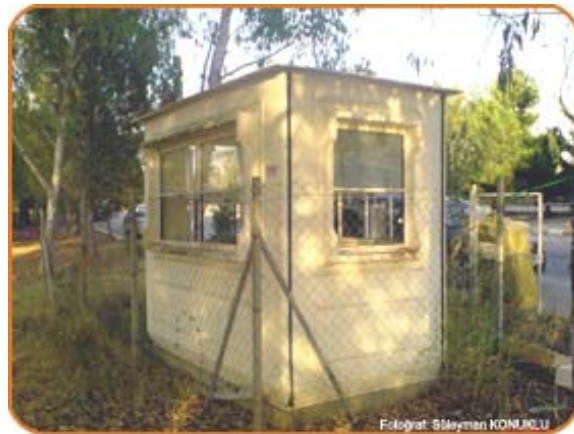
Tablo 3. Micronal FDM'lerin Özellikleri

Mikrokapsüllenmiş FDM	Görüntü	Erime sıcaklığı	Gizli ısı (yaklaşık)
Micronal FDM 5001	Beyaz Toz	26 ⁰ C	110 kJ/kg
Micronal FDM 5008	Beyaz Toz	23 ⁰ C	110 kJ/kg

Mikrokapsüllenmiş Faz Değiştiren Maddelerin termal analizleri Perkin Elmer Diamond Diferensiyel Taramalı Kalorimetre ile 10°C–50°C sıcaklık aralığında 10°C/dakika ısıtma hızı ile gerçekleştirilmiştir. DSC analizleri sonuçlarına göre Micronal 5001 ve 5008'in erime sıcaklığı ve gizli ısı depolamaları 25.96°C, 102,4 kJ/kg ve 22.60°C, 92,9 kJ/kg olarak belirlenmiştir. Erime noktası üretici firmanın belirttiği değerden 0.5 – 1,0°C daha yüksek ve gizli ısı miktarlarında %10 daha az çıkmıştır.

Prefabrik Test Kulübesi

Mikrokapsüllenmiş FDM'lerin ve yalıtım malzemelerinin yalıtıma katkısını inceleme amacı ile bir adet test kulübesi kullanılmıştır. Deneyler sırasında kullanılan test kulübesi 4 cephesi açık olan Çukurova Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi arka bahçesinde bulunmaktadır. Şekil 5'de test kulübesinin iki farklı cepheden görünümü, Tablo 4'te prefabrik kulübenin teknik özellikleri verilmiştir.



Şekil 5. Test Kulübesinin Kuzey-Batı Cephesi

Tablo 4. Prefabrik kulübe, teknik özellikler, (Konak Prefabrik)

Kulübe malzemesi ısı iletim katsayısı	0,615 W/m ² K
Pencere malzemesi ısı iletim katsayısı	5,23 W/m ² K

Mikrokapsülennmiş FDM'lerin Makro paketlenmesi

Alüminyum folyo yardımı ile her bir paket içerisinde yaklaşık 100 g olacak şekilde 0,30*0,40*0,03 m boyutlarında 35 adet plaka hazırlanmıştır (Şekil 6a ve 6b).

**Şekil 6.** (a) Alüminyum Folyo Üzerinde Toz Mikrokapsülennmiş FDM (b)FDM Makro Paketleri**Yalıtım Malzemesi ve Mikrokapsülennmiş FDM'lerin Birlikte Kullanılması**

Prefabrik binaların ısı geçirgenliği yüksek olduğundan dış ortam koşullarından çok fazla etkilenirler. Böylece yazın yapılan soğutmanın kışın yapılan ısıtmanın verimi düşerek daha çok enerji harcanılır. Sadece yalıtım malzemesinin kullanılması özellikle kışın etkili olurken yazın etkisini kaybetmektedir. Yazın soğutma yükünü azaltmak kışın ise ısıtma yüküne katkı sağlamak amacı ile FDM'lerin yalıtım malzemeleri ile kombinasyonu hazırlanmıştır.

Yalıtım Malzemesi olarak İzocam'dan temin edilen cam yünü sınıfında olan bir yüzü yansıtıcı alüminyum folyo kaplı olan İzopan kullanılmıştır.

Ölçümler

Yaz ölçümleri Temmuz-Ağustos 2007, kış ölçümleri ise Aralık 2007 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Ölçümler;

- Test kulübesi boş iken
- Yalıtım malzemesi (YM)
- Mikrokapsülennmiş FDM
- Mikrokapsülennmiş FDM ile yalıtım malzemesi

yerleştirildikten sonra alınmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak her bir durumun yalıtıma katkısı incelenmiştir.

Sıcaklık ölçümleri 6 adet sensör yardımı ile gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık eğrileri sensörlerin yerleştirildiği cepheye göre;

- Güneydoğu (t1),
- Güneybatı (t2),
- Kuzeybatı (t3),
- Kuzeydoğu (t4),
- Dış ortam sıcaklığı (t5),
- Kulübenin merkezi (t6)

şeklinde gruplandırılmıştır.

Isıtma ve Soğutma Yükü Hesaplama

Mikrokapsüllemiş FDM'lerin yalıtıma katkısını belirleme amacı ile soğutma ve ısıtma yükü hesapları gizli ısı yük hesapları ASHRAE tarafından önerilen CLTD (Cooling Load Temperature Difference, Soğutma yükü Sıcaklık Farkı) yöntemi ile yapılmıştır.

Tek Yönlü Varyans Analizi

Dış ortam sıcaklıkları arasında anlamlı bir fark olup olmadığını test etme amacı ile;

- Boş kulübe
- Micronal FDM 5001
- Micronal FDM 5008
- Micronal FDM 5001+ Micronal 5008 'in kulübeye eklenmesi sırasında

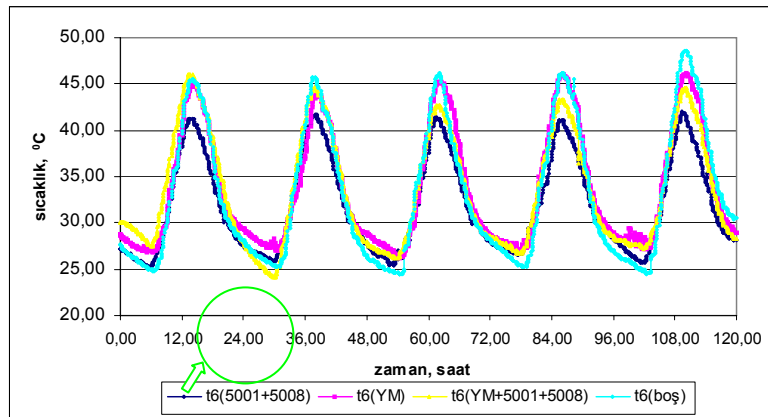
elde edilen dış ölçüm sıcaklıkları arasındaki farkın derecesi SPSS programında tek yönlü varyans analizi ile değerlendirilmiştir.

ANOVA testi sonucuna göre; Sig. değeri $>0,05$ olduğundan, dış sıcaklıklar arasında % 95 güven aralığında belirgin bir fark yoktur.

ANOVA testine ve sıcaklık eğrisi karşılaştırma grafiklerine göre farklı zamanlarda alınan 4 durumdaki iç ortam sıcaklıkların karşılaştırılabileceğine karar verilmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Yaz Ölçümleri



Yalıtım malzemesinin 2-3 °C'lik farkı

Şekil 7. Merkez Cephenin İç Sıcaklıklarının Karşılaştırılması

Şekil 7 de yazın yapılan ölçümlerde boş, yalnız yalıtımlı, yalnız FDM li ve FDM ve yalıtımlı durumlar için test kulübesi iç sıcaklık değişimleri gösterilmektedir. Gece boyunca saat 22.00'dan 03.00'a kadar olan dönemde özellikle yalıtım malzemesinin etkisi dikkat çekmektedir. Test kulübesinin boş olduğu duruma göre, iç ortam sıcaklığının 2–3 °C arası daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Yalıtım malzemesinin eklenmesi ile sıcaklık düşüşü sırasında gerçekleşen ısı akışı boş kulübeye göre daha yavaş bir şekilde gerçekleşmiştir. Yalıtım malzemelerinin kulübe duvarlarına yerleştirilmesi ile duvar kalınlığı artmakta böylece toplam ısı transfer katsayısında düşme gözlemlenmektedir. Isı transfer katsayısının düşmesi ile ısı akışı yavaşlatmakta ve iç ortam sıcaklığı korunmaktadır.

Mikrokapsüllenmiş FDM'lerde ise gündüz sıcaklığın yükselmesi ile gerçekleşen katı-sıvı faz değişimi ile depolanan termal enerji sıcaklık düşüşüyle birlikte sıvı-katı faz değişimi sırasında açığa çıkmaktadır(geri salınım).

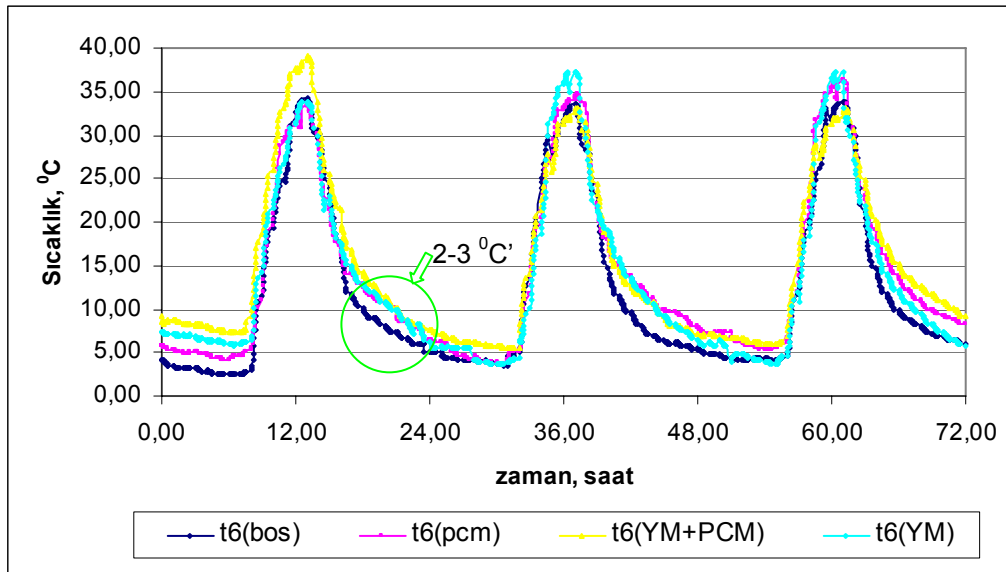
Yaz aylarında gerçekleştirilen deneylerin sonucunda Micronal FDM'lerin test kulübesine yerleştirilmesi ile öğle saatlerinde ortalama 3-4°C'lik sıcaklık düşüşü sağlanarak soğutma yükünün azaltılmasına katkı sağlanmıştır. ASHRAE tarafından önerilen CLTD (Cooling Load Temperature Difference, Soğutma yükü Sıcaklık Farkı) yöntemi ile elde edilen soğutma yükü ve elde edilen enerji tasarrufları Tablo 5'te özetlenmiştir.

Tablo 5. Toplam Soğutma Yükü, Yalıtım, Enerji Tasarrufu

	Boş Kulübe	YM'li Klube	FDM'li Kulübe
Toplam Soğutma Yükü Q toplam, W	2390,8588 W	2344,8911 W	2261,0775 W
Yalıtım, °C		0,59 °C	2,49 °C
Enerji Tasarrufu		%1,92	%7,1

Kış Ölçümleri

Kış döneminde mikrokapsüllenmiş FDM'lerin ve yalıtım malzemesinin yalıtıma etkisini belirleme amacı ile alınan ölçümler Şekil 8 de karşılaştırılmıştır.



Şekil 1. Merkez Cephenin İç Sıcaklıklarının Karşılaştırılması

Güneydoğu, Güneybatı, Kuzeybatı, Kuzeydoğu ve ayrıca merkeze yerleştirilmiş olan sensörlerin gün içerisinde göstermiş oldukları sıcaklık dağılımları birbirlerine paralellik göstermektedir. Tüm cephelerde her 3 durumun da gündüz sıcaklığın maksimum olduğu saatlerde, boş kulübe sıcaklığı ile yaklaşık aynı olduğu, fakat FDM'li kulübe sıcaklığının yaklaşık 0,5–1 °C daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

FDM'lerin kulübe duvarlarına monte edilmeleri sırasında, termal enerji depolamasından faydalanılır. Boş ortama göre ve YM'li ortama göre maksimum sıcaklığın olduğu saatlerde sıcaklık yaklaşık 0,5–1°C daha düşüktür. Bu sırada faz değiştiren maddelerin eridiği düşünülmektedir. Sıcaklık 22 °C'nin üzerine çıkmaya başladığında faz değişimi başlamaktadır. Fakat bu süreç için bir miktar termal enerji gerektirmektedir. Bu durum, ortamdaki ısının bir miktarının depolanması ile gerçekleşmektedir.

Saat 13.00'dan itibaren hava sıcaklığının düşmesi ile YM, FDM ve YM+FDM'li durumda kulübe içi sıcaklığının boş ortama göre daha yüksek olduğu ve özellikle saat 17.00 ile 23.00 arasında, yaklaşık 2-3 °C daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir.

Kış döneminde yapılan ölçümlerde yalıtıma katkı en fazla Micronal FDM 5001 ve 5008'in yalıtım malzemesi ile beraber kullanıldığı zamanda gözlemlenmiştir.

Ölçüm alınan günlerde (Aralık 2007) gün içerisinde 21 saat ısıtmaya ihtiyaç olduğu saptanmıştır. Hesaplamalar sırasında rüzgârın ve nemin etkisi dikkate alınmamıştır, iç ortam sıcaklığının 26 °C'ye ayarlandığı düşünülmüştür.

Bu dönemde elde edilen yalıtım katkısı ($T_{yalıtım}$) ve enerji tasarrufları Tablo 6'da özetlenmiştir.

Tablo 6. Isıtma Yükü Tasarrufu

	FDM	YM+FDM	YM
$T_{yalıtım}$ (°C)	1,61	2,24	1,26
Isıtma Yükü Tasarruf, %	9,63	16,42	10,76

YM ve FDM'in ısıtma yükü tasarruf analizinde; FDM'li kulübenin yalıtıma 0,35 °C daha fazla yalıtım sağlamasına rağmen YM'nin kulübeye yerleştirilmesi ile ısıtma yükünde daha fazla tasarruf sağlanmıştır. Isıtma yükü hesaplarında birçok parametre dikkate alınmaktadır. Bu parametrelerden biri de ısı transfer katsayısıdır. YM'nin kulübe duvarlarına yerleştirilmesi ile kulübe duvarlarının kalınlığı artmakta ve toplam ısı transfer katsayısı düşmektedir. Böylece ısı yükü hesaplarında daha düşük bir katsayıya sahip olmaktadır. Bu durum ısıtma yükünün beklenenden düşük olmasına neden olmakta ve ısıtma yükü tasarruf yüzdesini arttırmaktadır.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada erime noktası farklı iki adet FDM (erime noktası 23°C ve 26°C derece) kullanılarak termal enerji depolama verimi artırılmıştır. Yazın yapılan ölçümlerde görüldüğü gibi iç kabin sıcaklığı daima 23°C'nin üzerindedir bu amaçla erime noktası 23°C olan FDM daima sıvı haldedir. Faz değişimi gerçekleşmediğinden termal enerji depolama yapılamamakta ve binanın soğutma yüküne katkı sağlayamamaktadır. Bunun yanı sıra kışın çoğu bölgelerde gündüz saatlerinde iç ortam sıcaklığının 26 °C'nin üzerine çıkması zordur. Bu amaçla düşük erime noktasına sahip olan FDM kullanmak avantaj sağlamaktadır. Böylece sıcaklık 23°C-26°C derece aralığında olsa bile depolama yapılmakta ve yalıtıma katkı sağlanmaktadır. Kışın erime noktası düşük olan FDM'in yazın ise erime noktası yüksek olan FDM'in kullanılması avantaj sağlamaktadır. Bir binada hem yaz döneminde soğutma yüküne hem de kış döneminde ısıtma yüküne katkı sağlamak amacı ile farklı erime aralığına sahip FDM'lerin beraber kullanılması gerekmektedir.

4 m²'lik test kulübesinin soğutma yükünde 3,5kg Mikrokapsüllenmiş FDM % 7,1 enerji tasarrufu sağlamıştır. Isıtma yükünde ise Mikrokapsüllenmiş FDM'ler %9,63, YM+FDM'ler %16,4 enerji tasarrufu sağlamıştır. Kullanılan FDM miktarlarının artırılması, pencere sayısının azaltılması ve binanın yapımında kullanılan duvar ve çatı materyallerinin ısı transfer katsayılarının düşürülmesi ile enerji tasarrufunda artış oluşturacağı deney sonuçları ve yapılan hesaplamalar sonucunda öngörülmektedir. Ayrıca ısıtma yükü fazla olan bölgelerde YM+FDM kombinasyonun beraber kullanılması önerilmektedir.

Bu çalışma sırasında değerlendirmeler tek kulübe ile gerçekleştirilmiştir. İleriki çalışmalarımızda karasal bir iklime sahip olan Niğde Üniversitesinde iki test kabini ile Faz Değiştiren Maddeler ile enerji tasarrufu çalışmaları yapılacaktır. Özellikle gündüzleri sıcak geceleri çok soğuk olan bahar dönemlerinde önemli derecede enerji tasarrufu elde edileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] ENERJİ VE TABİİ KAYNAKLAR BAKANLIĞI, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü Enerji Tasarrufu Koordinasyon Kurulu Ve Ulusal Enerji Tasarrufu Merkezi, 2003. www.eie.gov.tr.
- [2] DİNÇER, I., ROSEN, M.A.,2002. Thermal Energy Storage, Systems and applications, John Wiley&Sons.Chicheser(England)
- [3] GHONEİM, AA., KLEIN, SA., DUFFIE, J.A.,1991.Analysis of collector-storage building walls using phase-change materials,Solar Energy,47 s.237-242.
- [4] MEHLING, H., HIEBLER S., CABEZA, L. F., 2002. News on the Application of PCMS for Heating and Cooling of Buildings, IEA, ECES IA Annex 17, Advanced thermal energy storage through phase change materials and chemical reactions-feasibility studies and demonstration projects. 3rd Workshop, 1-2 October 2002, Tokyo, Japan.
- [5] TOMLIN, HEBERLE, 1990. Analysis of Wallboard Containing a Phase Change Material, Proceedings of the 25th Annual Intersociety Energy Conservation Engineering Conference.
- [6] HUANG, M.J., EAMES, P.C., HEWITT, N.J., 2006. The application of a validated numerical model to predict the energy conservation potential of using phase change materials in the fabric of a Building, Solar energy Materials&Solar Cells 90, s.1951-1960.
- [7] KISSOCK, K., HANNING M., WHITNEY T.I., DRAKE M.L.,1998. Testing and Simulation of phase change wallboard for thermal storage in buildings, International Solar Energy Conference, New York, USA.
- [8] SCHOSSIG, P., HENNING, H.M., GSCHWANDER, S., HAUSSMANN, T., 2005. Microencapsulated phase change materials integrated into construction materials, Solar energy materials & Solar Cells 89 s. 297-306.
- [9] RUBITHERM, GmbH/Germany, 2003.http://www.rubitherm.com.
- [10] NEEPER, D.A.,2000. Thermal dynamics of wallboard with latent heat storage, Solar Energy 68 (5) s. 393-403.
- [11] ÖZONUR(KONUUKLU), Y., MAZMAN M., PAKSOY H.Ö., 2003. Termal enerji depolaması için parafinin mikrokapsüllenmesi, Türkiye 9. Enerji Kongresi, İstanbul, Türkiye.
- [12] CASTELLON, C., NOGUES M., ROCA J., MEDRANO M., CABEZA L. F, 2005, "Microencapsulated Phase Change Materials (Pcm) For Building Applications, http://intra.web.stockton.edu.
- [13] ÖZONUR, Y., 2004. Düşük Sıcaklıkta Termal Enerji Depolamasına Uygun Faz Değiştiren Maddelerin Mikrokapsüllenmesi Ç.Ü. Fen Bilimleri Ens. Yüksek Lisans Tezi.

ÖZGEÇMİŞ

Yeliz KONUKLU

Yeliz Konuklu 1979 yılında Adana'da doğmuştur. İlk, orta, lise öğrenimini Adana'nın çeşitli okullarında tamamlamıştır. 2001 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümünden Kimyager ünvanı ile mezun olmuştur. Aynı bölümde Fizikokimya anabilim dalında 2004 yılında "Düşük

Sıcaklıkta Termal Enerji Depolamasına Uygun Faz Değiştiren Maddelerin Mikrokapsüllenmesi” başlıklı yüksek Lisans tezini, 2008 yılında “Mikrokapsüllenmiş Faz Değiştiren Maddelerde Termal Enerji Depolama İle Binalarda Enerji Tasarrufu” başlıklı doktora tezini tamamlamıştır. 2006–2008 yılları arasında özel bir kuruluşun Arge bölümünde Arge Mühendisi olarak görev yapmıştır. 2010 yılından itibaren Niğde Üniversitesinde Bor Meslek Yüksek okulunda Yardımcı Doçent unvanı ile çalışmalarına devam etmektedir.

Halime Ö. PAKSOY

Halime Ö.Paksoy 1961 yılında Adana’da doğmuştur. Orta öğrenimini 1979’da Üsküdar Amerikan Kız Lisesi’nde tamamlamıştır. 1983 yılında Boğaziçi Üniversitesi Mühendislik Fakültesinden Kimya Mühendisi ünvanıyla mezun olmuştur. Çukurova Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü Fizikokimya Anabilim dalında 1986 yılında “Dolgu Yatakta Isı Depolama” başlıklı yüksek lisans tezini, 1992 yılında “Thermal Analysis of Heat Storage Materials and Integrated Heat Pump and Thermal Energy Storage System” başlıklı doktora tezini tamamlamıştır. 1995 yılında Enerji teknolojileri alanında Doçentlik ünvanını almıştır. Çukurova Üniversitesi adına Türkiye’yi temsilen Haziran 1995 yılında Dışişleri Bakanlığımızın onayı ile Türkiye delegesi olarak Uluslararası Enerji Ajansı ile ‘Enerji Depolaması ile Enerji Tasarrufu’ Uygulama Andlaşmasını (IEA ECES IA) imzalamıştır. IEA ECES IA Yönetim Kurulunun 1999–2003 yılları arasında ve 2010 dan beri Yönetim Kurulu Başkanlığı görevini yapmaktadır. 6-17 Haziran 2005 ’de “Thermal Energy Storage for Sustainable Energy Consumption” NATO Yaz okulunun yürütücülüğünü yapmıştır. Avrupa Komisyonu Enerji Programları Komisyonunda 2007 yılından bu yana Türkiye’yi uzman olarak temsil etmektedir. International Journal of Solar Energy Society. dergisinin Enerji depolama konusunda editörlüğü görevini sürdürmektedir. Halen Çukurova Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümünde Profesör ünvanı ile çalışmalarına devam etmektedir.