

ISI YALITIMINDA FAZ DEĞİŞTİREN MALZEME KULLANIMI

Alican DALOĞLU

ÖZET

Bu çalışmada, ortamın güneye bakan duvarında iki katman arasına faz değıştiren madde (FDM) yerleştirilmesi durumunun ortamın soğutma yüküne olan etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Düzlem duvardaki ısı iletimi tek boyutlu olarak ele alınmıştır. Dış yüzeyde etkili olan güneş ışıını ve dış hava sıcaklığı zamana bağlı olarak ifade edilmiştir. Soğutma yapılan i ortamın sıcaklığının sabit olduğu; dış ve iç ortam için ısı taşınım katsayılarının zamanla değişmediği kabul edilmiştir. Kontrol hacmi yöntemi kullanılarak duvar içindeki sıcaklık dağılımının gün boyunca zamanla değişimi sayısal olarak elde edilmiştir. Faz değiştiren maddenin yalıtım malzemesi olarak kullanılmasının duvarın iç yüzey sıcaklığının yükselmesini önlediği ve soğutma yükünü önemli bir miktarda düşürdüğu görölmüştür.

Anahtar Kelimeler: Isı yalıtımı, Soğutma yükü, Faz değiştiren malzeme (FDM).

ABSTRACT

In this study, the effect of the phase change material (PCM) on cooling loads was investigated placing the PCM in a multilayer south oriented wall. The one dimensional heat conduction is considered through the wall. The outside temperature and the sun radiation on the wall are expressed as a function of the time. The air temperature of the inside is kept constant. The convection coefficient for inside and outside wall surfaces are also considered constant. The temperature distribution in the wall is obtained numerically using the control volume method at different day times. Using the PCM as an insulation material in the wall prevents the temperature rise on the inner surface of the wall, and decreases the cooling load considerably.

Key Words: Thermal insulation, Cooling load, Phase change material (PCM)

1. GİRİŐ

İster konfor amaçlı olsun isterse endüstriyel amaçlı olsun bir ortamın soğutulması istenilen sıcaklık Őartlarının sağlanabilmesi oldukça önemlidir. Bina gibi ortamlarda yan duvarlardan ve çatıdan büyük oranda ısı kazancı olmaktadır. Bu ısı kazancı gün boyunca değişen güneş ışıını ve dış ortam sıcaklığına bağlı olarak zamanla değişmektedir. Geçen ısı miktarının büyüklüğüne bağlı olarak ortamın istenilen sıcaklıkta tutulabilmesi için ortama yerleştirilen soğutucunun kapasitesi büyümekte ve dolayısıyla elektrik kullanımı artmaktadır. Yüzeyle uygulanacak yalıtım, ortamın soğutma yükünü (ısı kazancını) azaltacak ve elektrik kullanımını düşürecektir. Bu çalışmada yalıtım malzemesi olarak faz değiştiren malzeme (FDM) kullanımı incelenmiştir.

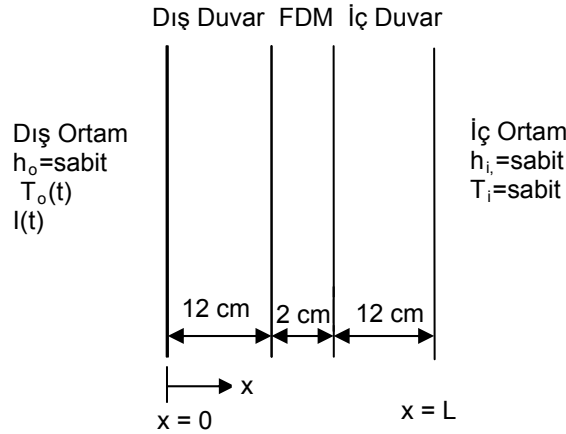
Literatürde FDM kullanımıyla ilgili çok fazla sayıda çalışma bulunmaktadır ve bu çalışmaların çoğu enerjinin depolanarak ortamın ısıtılması amaçlıdır. İklimlendirme amaçlı yani ortamın soğutma yükünün (ısı kazancının) azaltılmasıyla ilgili olan çalışmalar daha sınırlıdır. Paris vd. ortamın ısıtılması ve soğutulması durumunda ekonomi sağlamak için duvar içerisinde değişik Őekillerde FDM kullanımını incelemişlerdir [1]. İsmail ve Castro Brezilya’ da bulunan bir binanın duvar ve çatısında FDM

kullanılması durumunda iç yüzey sıcaklığının düştüğünü göstermişlerdir [2,3]. Zhang vd. yaptıkları deneysel çalışmada duvar malzemesinde FDM kullanarak binanın maksimum soğutma yükünde %38 değerinde bir azalma elde etmişlerdir [4]. Halford ve Boehm yaptıkları sayısal bir çalışmada duvarda FDM kullanımının maksimum soğutma yükünü elektriğin yoğun kullanıldığı saatlerin dışına kaydırılabildiğini göstermişlerdir [5]. Ahmad vd. deneysel olarak FDM içeren üç değişik duvarın ısı davranışını incelemişlerdir [6]. Shilei vd. duvarlarında FDM kullanılan bir test odasında iç ortam sıcaklığının, duvar yüzey sıcaklığının ve ısı geçişinin, duvarlarında FDM kullanılmayan benzer bir test odasına göre önemli bir şekilde değiştiğini deneysel olarak göstermişlerdir [7]. Kim ve Darkwa yaptıkları sayısal çalışmalarda içerisinde gelişigüzel dağılmış FDM ve bir tabaka şeklinde FDM içeren iki duvar türünü karşılaştırmışlar ve tabaka şeklinde FDM içeren duvarın daha etkili olduğunu göstermişlerdir [8,9]. Kumari vd. yaptıkları sayısal çalışmada bir duvarında FDM kullanılan bir serada sıcaklığın ve duvardaki ısı kaybının önemli bir şekilde değiştiğini göstermişlerdir [10]. Alawadhi boşluklarında FDM içeren briket duvarda ısı geçişini sonlu elemanlar yöntemi kullanarak incelemiş ve binanın ısı kazancını önemli miktarda düşürdüğünü göstermiştir [11].

Bu çalışmada Ankara'da bulunan ve güneye bakan ve FDM içeren katmanlı düşey bir duvarda ısı iletimi denklemi sayısal olarak çözümlenerek belirli zamanlarda duvardaki sıcaklık dağılımları elde edilmiştir. Duvar iç yüzey sıcaklığına bağlı olarak ortamın anlık ısı kazancı hesaplanmış ve duvarda FDM olmaması durumuyla karşılaştırılmıştır.

2. MATEMATİKSEL MODEL

FDM içeren katmanlı duvarın boyutları Şekil 1 de gösterilmiştir. İç ve dış duvarların 9 cm kalınlığında delikli tuğla ve 3 cm kalınlığında sıvadan oluştuğu kabul edilmiştir. Çalışmada ergime sıcaklıkları farklı olan iki değişik FDM kullanılmıştır. Katmanlı duvarı oluşturan malzemelerin özellikleri Tablo 1 de verilmiştir. Tuğla ve sıva kalınlıkları dikkate alınarak bileşik duvar katmanları için fiziksel özelliklerinin homojen olduğu ve sıcaklıkla değişmediği kabul edilmiştir. Duvar katmanları arasındaki temas direnci dikkate alınmamıştır.

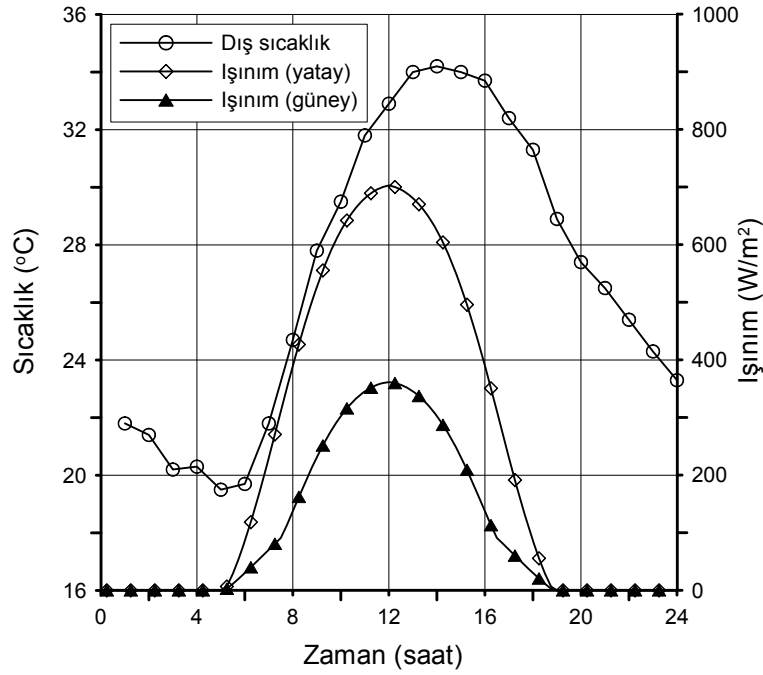


Şekil 1. Katmanlı Duvar Malzemeleri ve Boyutları.

Dış yüzeye zamanla değişen güneş ışınımı etkimektedir ve bu değişim [12] de verilen bağıntılara göre güney düşey yüzey için hesaplanmıştır. Zamanla değişen dış hava sıcaklığı için meteorolojik ölçüm değerleri kullanılmıştır. 1990–1995 yılları arasında yapılan saatlik sıcaklık ölçümlerinden Ağustos ayında elde edilen maksimum değerlerin ortalama değerleri hesaplanarak saatlik değişim elde edilmiştir. Ölçümlerden elde edilen dış hava sıcaklığının ve hesaplanan güneş ışınımının saatlik değişimi Şekil 2 de verilmiştir. İç ortam sıcaklığı $T_i=22^\circ\text{C}$ ve dış yüzey ve iç yüzey için ısı taşınım katsayıları sırasıyla $h_o=23 \text{ W/m}^2\text{K}$, $h_i=8 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak sabit alınmıştır

Tablo 1. Duvar Katmanlarının Fiziksel Özellikleri

	Tuğla	Sıva	Bileşik Duvar	FDM-1		FDM-2	
				Katı	Sıvı	Katı	Sıvı
ρ (kg/m ³)	1200	1800	1300	865	780	785	749
C (kJ/kgK)	920	840	900	1,934	2,196	1413	1792
k (W/mK)	0,52	0,87	0,58	0,358	0,148	0,19	0,18
L (kJ/kgK)	-	-	-	243,5		232,0	
T _m (°C)	-	-	-	27		25	

**Şekil 2.** Dış Ortam Sıcaklığının ve Güneş Işınımının Zamanla Değişimi.

Ortamın ısı kazancının hesaplanabilmesi için duvarın iç yüzey sıcaklığının bilinmesi gerekir. Katmanlı düzlem duvarda sıcaklık dağılımı, geçici rejimde bir boyutlu ısı iletiminin uygun sınır şartları ile çözümlenerek elde edilmiştir.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (1)$$

Sınır şartları:

X=0 için

$$-k \frac{\partial T}{\partial x} = h_o (T_e - T) \quad (2)$$

Burada T_e eşdeğer sıcaklıktır ve güneş ışınımı I ve yutma katsayısı α ya bağlı olarak hesaplanmaktadır.

$$T_e = T_o + \frac{\alpha I}{h_o} \quad (2)$$

FDM içinde katı-sıvı ara yüzeyi için

$$k_k \frac{\partial T_k}{\partial x} - k_s \frac{\partial T_s}{\partial x} = \rho L \frac{\partial S(t)}{\partial t} \quad (2)$$

X=L için

$$-k \frac{\partial T}{\partial x} = h_i (T - T_i) \quad (2)$$

Problem için geçerli eşitlikler kontrol hacmi yöntemi kullanılarak sınır koşullarının periyodik olarak uygulanmasıyla sayısal olarak çözülmüştür.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. İki Bölge Ergime Problemi

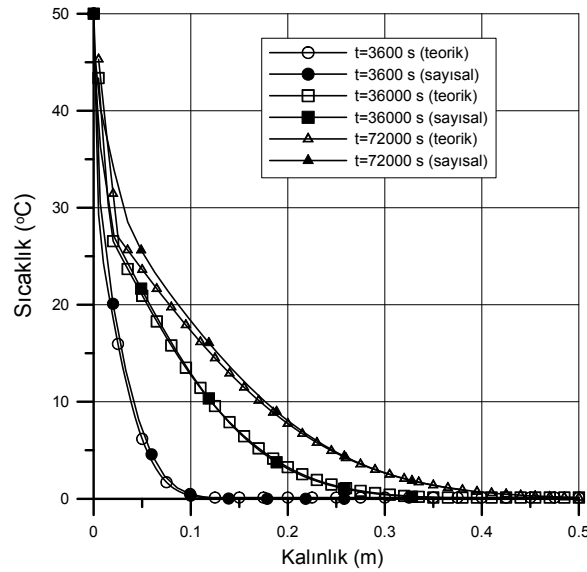
FDM içeren katmanlı duvardaki sıcaklık dağılımının doğru bir şekilde edildiğini göstermek için sayısal model önce analitik çözümü bilinen iki bölge ergime problemi çözülerek test edilmiştir [13]. Bu problemde sınır şartları

$$X=0 \text{ da } T=T_o \quad (T_o > T_m)$$

$$X \geq s(t) \text{ ve } t=0 \text{ için } T=T_i \quad (T_i < T_m)$$

şeklinde verilmiştir.

Başlangıç sıcaklığı $T_i=0^\circ\text{C}$ 'de bulunan, sonsuz kalınlıktaki ve ergime sıcaklığı $T_m=27^\circ\text{C}$ olan katı haldeki bir FDM'nin yüzeyi aniden $T_o=50^\circ\text{C}$ sıcaklıkta tutulmaktadır. Bu problem için analitik ve sayısal çözüm sonuçları Şekil 3 de karşılaştırılmıştır.

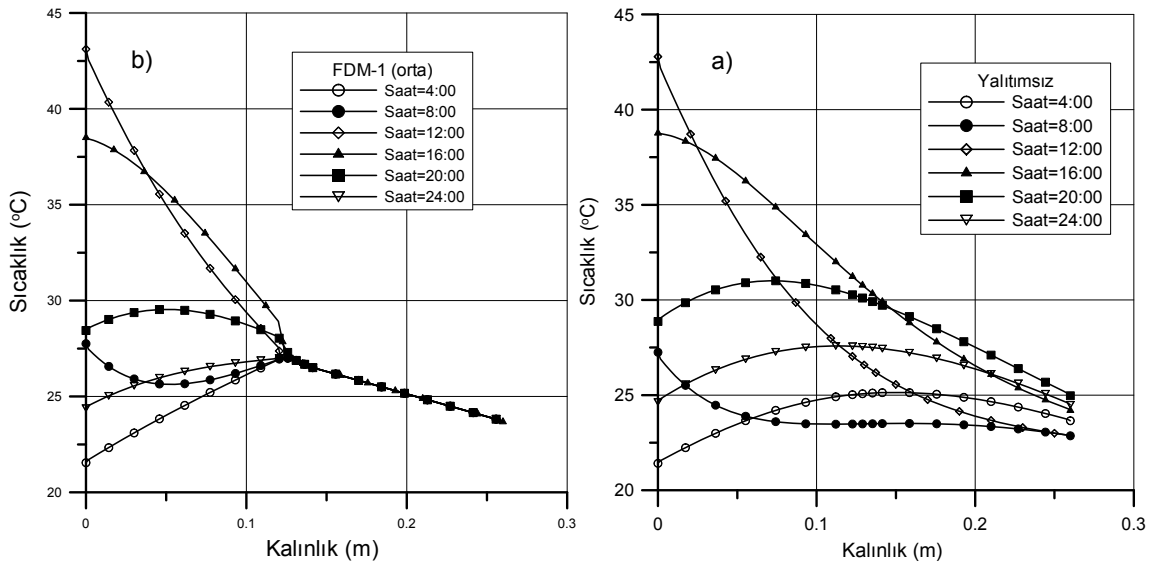


Şekil 3. Analitik ve Sayısal Olarak Elde Edilen Sıcaklık Dağılımları.

Şekil 3 teorik ve sayısal sonuçlar büyük bir uyum içerisinde olduğu göstermektedir. Sayısal yöntemin çözümü bilinen problem için kabul edilebilir sonuç verdiği belirlendikten sonra FDM içeren katmanlı duvar için çözüm elde edilmiştir.

3.2. FDM İçeren Katmanlı Duvar

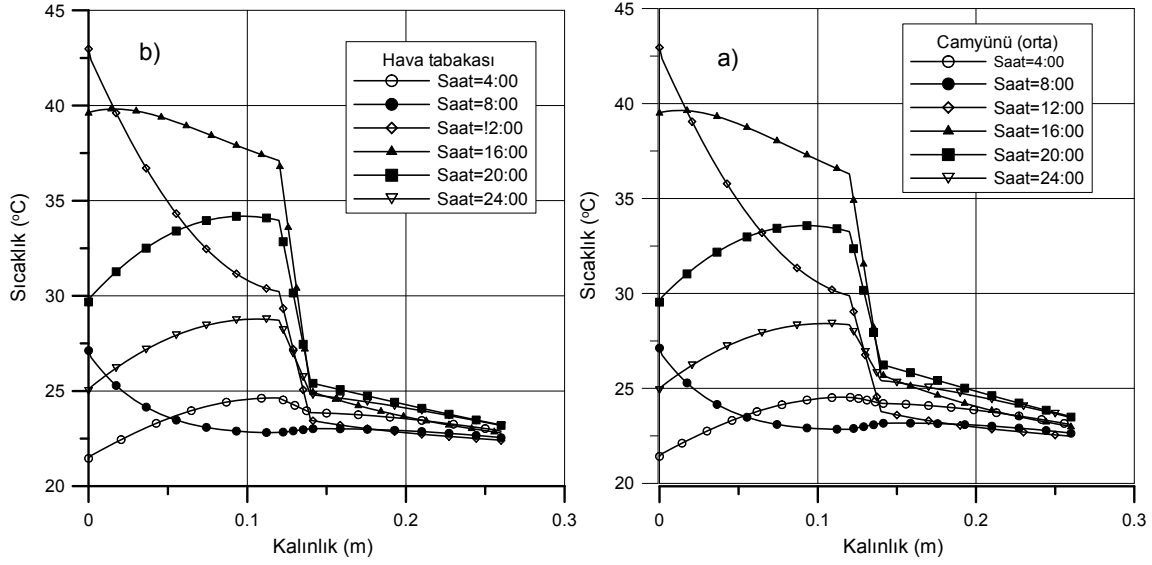
Günün değişik zamanlarında yalıtımsız ve FDM-1 içeren duvar için elde sıcaklık dağılımları sırasıyla Şekil 4a ve Şekil 4b de gösterilmiştir. Her iki durumda da toplam duvar kalınlığı 26 cm olarak alınmıştır. Yalıtımsız duvarda duvar içerisindeki sıcaklıklar gün boyunca her bölgede değişirken FDM içeren yalıtımlı duvarda sıcaklıklar ilk katmanda değişim göstermektedir. FDM'nin belirli bir sıcaklıkta ergimesine bağlı olarak FDM'den sonra sıcaklıklar duvar içerisinde hemen hemen sabit kalmaktadır. Günün aynı saatlerinde yalıtımsız duvar için duvar içerisindeki sıcaklıklar genelde FDM içeren duvara daha yüksek olmaktadır. Buna bağlı olarak iç duvar sıcaklıkları da daha yüksek olduğu şekilden görülmektedir.



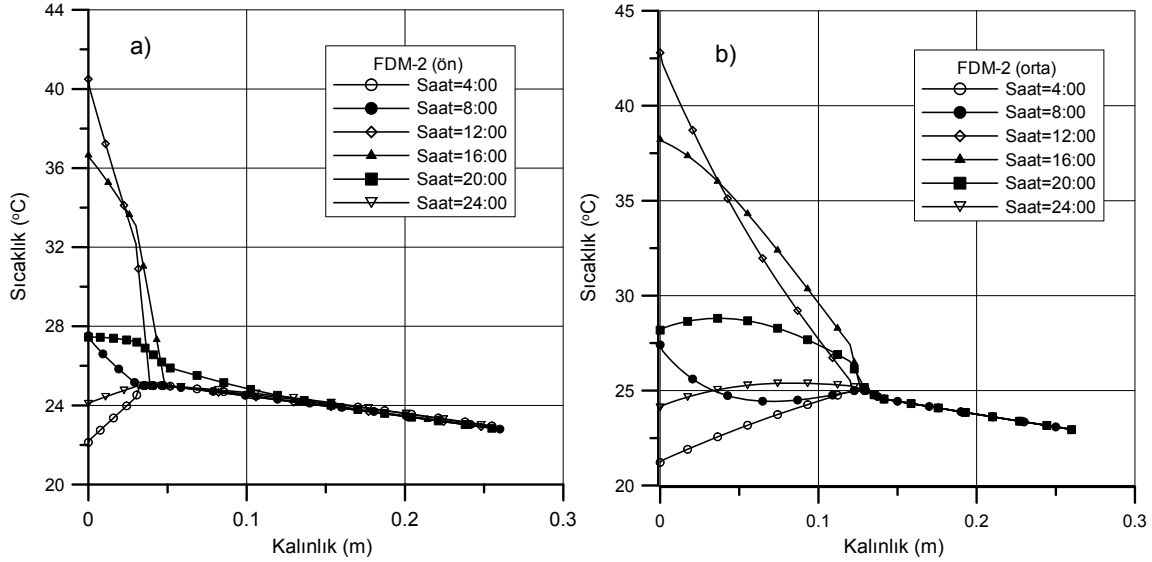
Şekil 4. Duvar içerisinde Değişik Saatlerdeki Sıcaklık Dağılımı a) Yalıtımsız, b) FDM-1 içeren duvar.

Duvar içerisinde FDM yerine değişik yalıtım malzemelerinin kullanılması durumunda elde edilen sıcaklık dağılımları Şekil 5 te verilmiştir. İzolasyon malzemesi olarak FDM ile aynı kalınlıkta (2 cm) cam yünü ve hava tabakası için elde edilen sıcaklık dağılımlarının birbirine çok yakın oldukları görülmektedir. Cam yünü ve hava tabakası gibi yalıtım malzemeleri FDM-1 ile karşılaştırıldığında ara katmandan sonra sıcaklıkların zamanla değiştiği görülmektedir. Buna bağlı olarak iç duvar sıcaklıkları da zamanla daha fazla değişmektedir. Bu değişim beklenildiği gibi yalıtımsız duvara göre çok daha az olmaktadır.

Yalıtım için kullanılan FDM hem duvarın ortasında iki tuğla arasına hem de hemen 3 cm sıvadan sonra yerleştirilerek yalıtım malzemesinin duvar içerisindeki konumunun etkisi incelenmiştir. Ergime sıcaklığı $T_m = 25^\circ\text{C}$ olan diğer bir FDM-2 için elde edilen sonuçlar Şekil 6'da verilmiştir. FDM-2'nin dış kısma yerleştirilmesiyle duvar içerisindeki sıcaklık gradyanı azalmaktadır. Duvar iç yüzey sıcaklığı da düşerek ortamın ısı kazancı düşmektedir.

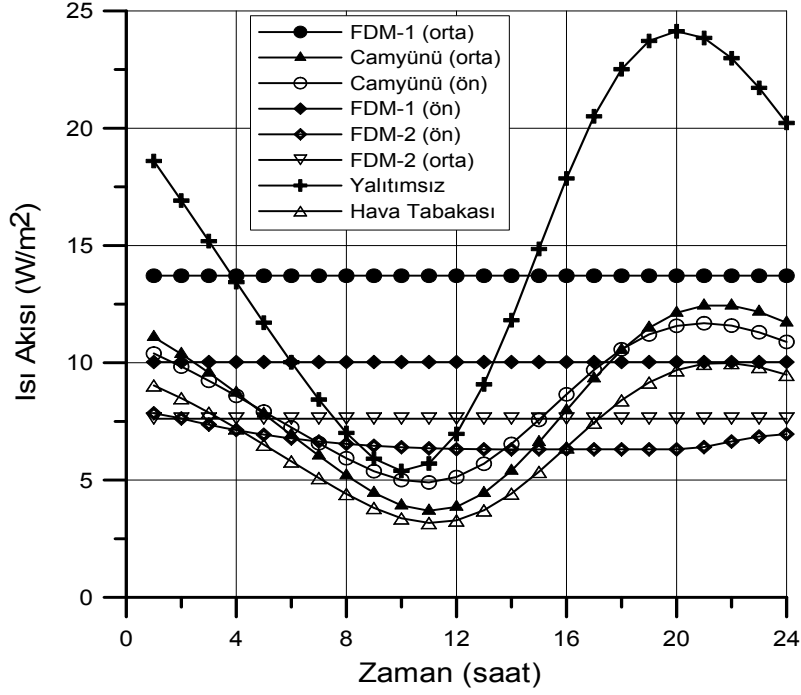


Şekil 5. Duvar İçerisinde Değişik Saatlerdeki Sıcaklık Dağılımı a) Camyünü, b) Hava tabakası.

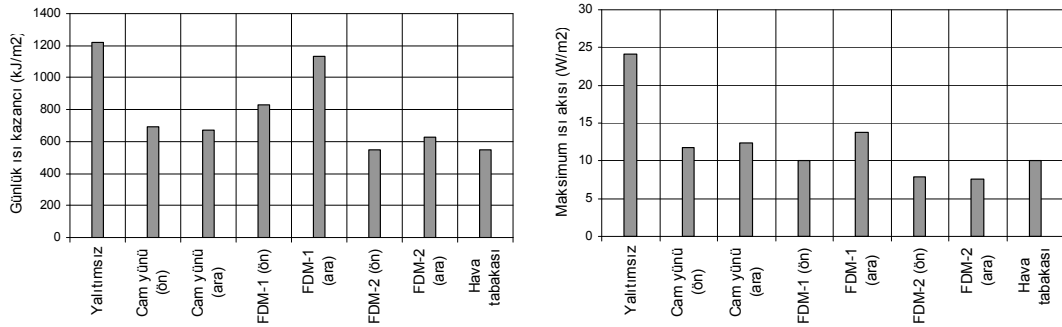


Şekil 6. Duvar İçerisinde Değişik Saatlerdeki Sıcaklık Dağılımı a) FDM-2 önde, b) FDM-2 ortada.

Isı yalıtımı için kullanılan malzemelerin etkilerinin daha iyi anlaşılabilmesi için tüm malzemeler için sonuçlar Şekil 7de toplu olarak verilmiştir. Duvardan iç otama geçen ısı akısının gün boyunca değişimi incelenmiştir. Yalıtımsız duvarda ısı akısı dış hava sıcaklığının ve güneş ışınımının değişimine bağlı olarak sinüzoidal olarak göstermektedir. Isı akısının minimum ve maksimum değerleri arasında büyük farklılık meydana gelmektedir. Isı akısı saat 9:00 da minimum olurken saat 20:00 civarına maksimum olmaktadır. Camyünü ve hava tabakası kullanılması durumunda ısı akısı yine sinüzoidal değişim göstermesine rağmen minimum ve maksimum değerler birbirlerine çok daha yakın olmaktadır. Ayrıca maksimum ısının meydana geldiği zaman daha ileriye, saat 22:00 ye kaymaktadır. FDM kullanılması durumunda ısı akısı gün boyunca değişmemekte hemen hemen sabit kalmaktadır. Ergime sıcaklığı daha düşük olan FDM-2 için ısı kazancı daha düşük olmaktadır. Şekilden görüldüğü gibi FDM dış yüzeye yakın yerleştirildiğinde ısı akısı daha da azalmaktadır. Yalıtım malzemelerinin kullanılması durumunda yalıtımsız duvara göre sağlanan iyileşmeleri görebilmek için maksimum ısı akıları ve günlük ısı kazançları Şekil 7 'de ve her ikisinde meydana gelen yüzde olarak azalmalar Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 6. Değişik Yalıtım Malzemeleri İçin Isı Akısının Gün Boyunca Değişimi.



Şekil 7. Yalıtım Malzemesinin Maksimum Isı Akısı ve Günlük Isı Kazancına Etkisi.

Tablo 2. Yalıtım Malzemelerinin Kullanılması Durumundaki İyileşmeler.

Duvar türü	Maksimum ısı akısı (W/m ²)	Maksimum ısı akısındaki azalma (%)	Günlük ısı kazancı (kJ/m ²)	Günlük ısı kazancındaki azalma (%)
Yalıtımsız	24,13	-	1220,96	-
Cam yünü (ön)	11,69	51,6	692,89	43,3
Cam yünü (ara)	12,44	48,4	673	44,9
FDM-1 (ön)	10,03	58,4	830,85	32,0
FDM-1 (ara)	13,71	43,2	1135,24	7,0
FDM-2 (ön)	7,85	67,5	548,57	55,1
FDM-2 (ara)	7,62	68,4	630,78	48,3
Hava tabakası	10	58,6	549,67	55,0

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Beklendiği gibi duvarlarda yalıtım yapılması ısı kazancını (soğutma yükünü) büyük oranda azaltmaktadır. Bu çalışmada yalıtım için kullanılan FDM iyi bir yalıtıcı olup duvar içerisinde uygulandığı konum ısı kazancını önemli miktarda etkilemekte ve dış yüzeye yakın olduğunda daha etkili olmaktadır. Ergime sıcaklığı küçük olan FDM hem daha ısı akısı hem de daha küçük günlük ısı kazancı meydana getirmektedir. FDM kullanmanın diğer bir üstünlü de ısı akısının gün boyunca değişmeyip sabit kalmasıdır.

KAYNAKLAR

- [1] PARIS, J., VILIAN, F., HOULE, J.F., “Incorporation of PCM in wallboards: a review of recent developments”, Proceedings of the 1st World Renewable Energy Congress, UK, 2397-2401, 1990
- [2] ISMAIL, K.A.R. and CASTRO, J.N.C., “PCM walls and roofs for passive thermal comfort”, World Renewable Energy Congress, Reading, U.K., 2660-2664, 1990.
- [3] ISMAIL, K.A.R. and CASTRO, J.N.C., “PCM thermal insulation in buildings”, International Journal of Energy Research 21, 1281-1296, 1997.
- [4] ZHANG, M., MEDINA, M.A. and KING, J.B., “Development of a thermally enhanced frame wall with phase-change materials for on-peak air conditioning demand reduction and energy savings in residential buildings”, International Journal of Energy Research, 29, 795-809, 2005.
- [5] HALFORD, C.K. and BOEHM, R.F., “Modeling of phase change material peak load shifting”, Energy and Buildings, 39, 298-305, 2006.
- [6] AHMAD, M., BONTEMPS, A., SALLEE, H. and QUENARD, D., “Experimental investigation and computer simulation on thermal behavior of wallboards containing a phase change material”, Energy and Buildings, 38, 357-366, 2006.
- [7] SHILEI, L., NENG, Z. and GUOHUI, F., “Impact of phase change wall room on indoor thermal environment in winter”, Energy and Buildings, 38, 18-24, 2006.
- [8] KIM, J.S. and DARKKWA, K., “Simulation of an integrated PCM-wallboard system”, International Journal of Energy Research, 27, 215-223, 2003.
- [9] DARKKWA, K. and Kim, J.S., “Thermal analysis of composite phase change drywall systems”, Transaction of the ASME, 127, 352-356, 2005.
- [10] KUMARI, N., TIWARI, G.N. and SODHA, M.S., “Effect of phase change material on passive thermal heating of a greenhouse”, International Journal of Energy Research, 30, 221-236, 2005.
- [11] ALAWADHI, E.M., Thermal analysis of a building brick containing phase change material, Energy and Buildings, 40, 351-357, 2008.
- [12] KILIÇ, A., Öztürk, A., “Güneş Enerjisi” Kipaş Dağıtımçılık, 1983.
- [13] ÖZİŞİK, M. N., “Heat Conduction”, John Wiley & Sons. Inc., 1980.

ÖZGEÇMİŞ

Alican DALOĞLU

1957 yılında Gümüşhane’de doğmuştur. 1980 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur ve aynı bölümden 1982 yılında Yüksek Mühendis unvanını almıştır. 1992 yılında ABD’de Texas Tech Üniversitesinden doktora unvanını kazanmıştır. 1980–1993 yılları arasında Karadeniz Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi, olarak görev yapmıştır. 1993 yılından beri KTÜ Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı’nda öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. Isı Transferi ve Akışkanlar Mekaniği konularında çalışmaktadır.