

FAZ DEĞİŞTİRİCİ MADDELERİN ADİYAMAN İKLİM KOŞULLARINDA YALITIM AMAÇLI KULLANIMININ İNCELENMESİ

Refet KARADAĞ¹, İsmail BOZKURT^{1*}, Zuhale KARAGÖZ GENÇ², Murat GENÇ³,
Hacı SOĞUKPINAR⁴

¹Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Adıyaman, 02040, Türkiye

²Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Adıyaman, 02040, Türkiye

³Adıyaman Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Adıyaman, 02040, Türkiye

⁴Adıyaman Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Adıyaman, 02040, Türkiye

Geliş tarihi: 16.11.2020 Kabul tarihi: 26.11.2020

ÖZET

Dünya nüfusundaki artış ve fosil yakıtların kontrolsüz tüketimi enerji verimliliği konularına olan ilgiyi arttırmıştır. Fosil yakıtlar açığa çıkardığı sera gazları ile çevreyi kirletmekte aynı zamanda yenilenebilir olmadığından kısıtlı miktarda bulunmaktadır. Ülkemizdeki enerji tüketiminin büyük bir kısmını binalardaki soğutma ve ısıtma ihtiyaçları oluşturmaktadır. Bina yalıtımına gerekli özenin gösterilmesi, enerji tüketimini önemli ölçüde azaltacaktır. Faz değiştirici maddeler (FDM), sıcaklık değişimine uğramadan, erime ve katılaşma işlemleri sırasında büyük miktarda gizli ısı soğurması ve yayması gibi özellikleri nedeniyle binalarda yalıtım amaçlı kullanılmaktadır. Bu çalışmada, mikrokapsüllenmiş faz değiştirici maddelerin binalarda yalıtım amaçlı kullanılabilirliği araştırılmıştır. Elde edilen faz değiştiricilerin FT-IR cihazı ile kullanılan kompozitlerle faz değiştiricilerin kimyasal olarak etkileşip, etkileşmedikleri incelenerek uygun faz değiştiricilerin DSC ile erime entalpi aralıkları belirlenmiştir. Uygun erime sıcaklığı ve gizli ısı depolama kapasitesine sahip dekanolik asit faz değiştirici madde olarak belirlenmiş ve bir duvar üzerinde modellenerek ısı yalıtımına katkısı incelenmiştir. Sonuç olarak, dış yüzey sıcaklığının maksimum olduğu Temmuz ayında yalıtımsız, yalıtımlı ve yalıtım+FDM şeklinde modellenmiş duvarlar için iç yüzeyden 5 cm içerideki sıcaklıkların sırasıyla 39,8 °C, 33 °C ve 32 °C olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Enerji tüketimi, Yalıtım, Faz Değiştirici Maddeler

INVESTIGATION OF THE USE OF PHASE CHANGE SUBSTANCES FOR INSULATION PURPOSES IN ADİYAMAN CLIMATE CONDITIONS

ABSTRACT

The increase in the world population and the uncontrolled consumption of fossil fuels have increased the interest in energy efficiency issues. Fossil fuels pollute the environment with the greenhouse gases they emit and also, they are limited because they are not renewable. A large part of the energy consumption in our country consists of the cooling and heating needs in buildings. Giving necessary attention to building insulation will significantly reduce energy consumption. Phase change materials (FDM) are used for insulation purposes in buildings due to their properties such as absorbing and emitting a large amount of latent heat during melting and solidification processes without a temperature difference. In this study, the usability of microencapsulated phase change materials for insulation purposes in buildings was investigated. The melting enthalpy ranges of the appropriate PCMs with DSC were determined by examining whether the obtained phase changers interact chemically with the composites used with FT-IR device. Decanoic acid, which has suitable melting temperature and latent heat storage capacity, was determined as a phase change material and its contribution to thermal insulation was

e-mail: refetkaradag@adiyaman.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4449-1169>,

* e-mail: ibozkurt@adiyaman.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2126-3710>,

e-mail: zgenç@adiyaman.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8847-9129>,

e-mail: mgenç@adiyaman.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1224-4128>,

e-mail: hsogukpinar@adiyaman.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9467-2005>

examined by modeling on a wall. As a result, it was determined that in July, when the external surface temperature was maximum, the temperatures inside 5 cm from the interior surface were 39.8 °C, 33 °C and 32 °C for the uninsulated, insulated and insulated + FDM-modeled walls, respectively.

Keywords: *Energy consumption, insulation, phase change materials.*

1. Giriş

Dünya nüfusundaki artışın yanı sıra teknolojik ilerlemelerle birlikte enerji kaynaklarına olan ihtiyaç hızla artmaktadır. Bu nedenle, mevcut enerji kaynaklarımızı verimli bir şekilde kullanmak gerekmektedir. Binalarda ısıtma ve soğutma için kullanılan enerji toplam enerji tüketimi içerisinde oldukça yüksek bir paya sahiptir. Binalardaki enerji tüketimini azaltmak için yalıtım oldukça önemli bir parametredir. Faz değiştirici maddeler, sahip olduğu termofiziksel özellikleri nedeniyle binalarda ısı yalıtımını iyileştirme amacıyla kullanılabilir. Bu maddeler, bir fazdan diğer bir faza geçiş esnasında ısı soğurabilmekte ve bu ısıyı depolayabilmekte, tam tersi faz değişimi durumunda ise depoladığı bu ısıyı yayabilmektedir [1]. Maddelerin faz değiştirici madde olarak kullanılabilmesi için gerekli temel koşulların arasında maddenin hacminde az bir değişimin meydana gelmesi ve faz değiştirmedeki sabitlik yer almaktadır [2]. Faz değiştirici maddeler, bina duvarlarına yerleştirildiğinde, gündüzleri sıcak dış ortamdan aktarılan ısının büyük bir kısmını emer. Daha sonra gece ve sabahın erken saatlerinde emilen ısının serbest kalmasını sağlar. Sonuç olarak, zirvede olan alan-soğutma yükünün bir kısmı azaltılır ve kısmen yoğun saatlere kaydırılır. Karşılaştırma açısından Benard ve ark. [3], aynı termal performans için faz değişim malzemelerine sahip bir duvarın, bir beton duvar hacminin yaklaşık olarak on ikide birine ihtiyaç duyduğunu kanıtlamışlardır. Yapı malzemelerinde faz değiştirici maddelerin kullanımı ile ilgili yöntemler Lee ve ark. [4] tarafından çalışılmıştır. Emdirme yöntemi, faz değiştirici maddelerin gözenekli yapı malzemelerine emdirildiği bir yöntemdir. Doğrudan birleşme yöntemi, faz değiştirici maddelerin alçı, beton gibi malzemelere doğrudan eklenmesi veya yalıtım malzemelerine karıştırılması şeklindedir [5]. Faz değiştirici maddelerin polimer keseleri veya çapı 1 mm'den büyük olarak kapsüllemesi ise makro-kapsülleme yöntemidir [6]. Mikroenkapsülasyon yöntemi, faz değiştirici maddelerin 1000 µm'ye kadar boyutlarda ince ve kapalı filmlerin içine yerleştirildiği bir teknolojidir [7].

Bu çalışmada elde edilen faz değiştirici maddelerin termofiziksel özellikleri deneysel olarak belirlenmiştir. Adıyaman koşullarında yazın soğutma ihtiyacını en aza indirmek için uygun termal özelliklere sahip olan dekanolik asit faz değiştirici madde olarak seçilmiştir. Aynı boyutlarda yalıtımsız bir duvar, yalıtımlı bir duvar ve faz değiştirici maddenin kullanıldığı bir duvar modellenmiş meteorolojik veriler kullanılarak duvar yüzeyi ve içerisindeki sıcaklık dağılımı karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

2. Faz Değiştirici Maddelerin Elde Edilmesi

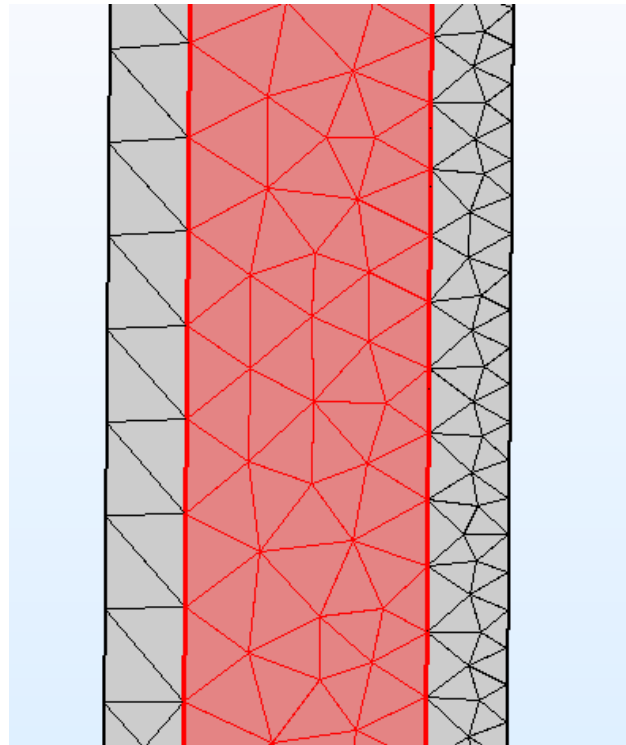
Farklı yağ asitleri kampen, dekanolik asit, miristik asit gibi, allitol, arabitol gibi alkoloidler, sodyum hidrojen fosfat, sodyum sülfat gibi metal tuzları tetraetoksisilan yardımıyla mikrokapsüllemişdir. Elde edilen farklı faz değiştiricilerin entalpileri DSC ile belirlendikten sonra, FT-IR cihazı ile kullanılan kompozitlerle faz değiştiricilerin kimyasal olarak etkileşip, etkileşmedikleri incelenerek uygun faz değiştiricilerin DSC ile erime entalpi aralıkları belirlenmiştir. Uygun entalpi aralıklarına sahip olan faz değiştirici maddeler termal cyler cihazı ile ısıtma-soğutma çevrimlerine tabi tutulmuştur. Bu çevrimler sonucu tekrar entalpi ve kimyasal yapı kontrolü için DSC ve FT-IR ölçümleri alınmıştır. Elde edilen faz değiştirici maddelerden termofiziksel özellikleri uygun olan dekanolik asitin özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Faz değiştirici madde olarak kullanılan dekanolik asitin termofiziksel özellikleri

Fiziksel özellikler	
Erime Sıcaklığı (°C)	27-32
Gizli (Füzyon) Isısı (kJ/kg)	150,57
Katı yoğunluğu (kg/m ³)	810
Sıvı yoğunluğu (kg/m ³)	752
Isıl İletkenlik (W/mK)	0,221

3. Modelleme

Isı transferi çözümlemesinde COMSOL, MUMPS, PARDISO ve SPOOLES gibi farklı çözücüler önermektedir. Bu çalışmada diğerlerine göre daha hızlı olan PARDISO çözücü olarak belirlenmiştir. Mesh modülü kullanılarak mesh sayısının sonuç üzerindeki etkisi test edilmiş ve normal mesh dağılımı kullanılmıştır. Üç farklı duvar modeli ile FDM'nin yalıtım üzerindeki etkisi incelenmeye çalışılmıştır. Şekil 1'de model duvarın mesh dağılımı görölmektedir. Model duvar 25 cm kalınlığında üç farklı durum için tasarlanmıştır. Birinci durumda 25 cm betondan oluşan yalıtımsız duvar; ikinci durumda duvarın dış kısmı 5 cm kalınlığında köpük ile yalıtılmış geri kalan kısmı 20 cm beton; üçüncü durumda ise duvarın dış yüzeyi 5 cm köpük 15 cm beton ve iç kısmı 5 cm FDM olacak şekilde tasarlanmıştır.

**Şekil 1.** Model duvarın mesh dağılımı

Model duvarlardaki ısı transferi çözümlemesinde COMSOL yazılımı kullanılmıştır. Ortam sıcaklığı ve güneş enerjisi verileri yazılımdan zamana ve konuma bağlı olarak otomatik olarak çekilmiştir. İç ortam sıcaklığı için başlangıç değeri çevre sıcaklığı ile aynı alınmıştır. Katı ve akışkanlarda ısı transferi aşağıdaki Eşitlik 1 kullanılarak hesaplanmıştır [8];

$$\rho C_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla T \right) + \nabla \cdot (\mathbf{q} + \mathbf{q}_r) = \alpha_p T \left(\frac{\partial p}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla p \right) + \tau : \nabla \mathbf{u} + Q \quad (1)$$

Burada ρ yoğunluk, C_p sabit basınçta özgül ısı kapasitesi, T mutlak sıcaklık, \mathbf{u} hız vektörü, \mathbf{q} iletim yoluyla ısı akışı, \mathbf{q}_r radyasyonla ısı akışı, α_p ısıl genleşme katsayısı, p basınç, τ viskoz gerilim tensörüdür, Q viskoz yayılımından farklı ısı kaynaklarını içerir.

Faz değiştirici maddeler, hal değişimi sırasında büyük miktarda gizli ısıyı emerler veya yayarlar. Bu maddeler, faz değişim sıcaklıklarına T_{fd} ulaştığında, $T_{fd} - \Delta T/2$ 'den $T_{fd} + \Delta T/2$ 'ye sıcaklık aralığında hal değişimi başlar. Katı maddedeki faz değişimi göz önüne alındığında, yoğunluk madde çevresinde tanımlanır ve faz değişimi θ fonksiyonu ile modellenir. Bu nedenle, malzeme çevresi içinde kütle korunumunu sağlamak için katı ve sıvı fazlar için tek bir yoğunluk tanımlanmalıdır. Farklı fazların yoğunluğu sırasıyla ρ_1 ve ρ_2 olarak tanımlanır. Maddenin yoğunluğunun ifadesi Eşitlik 2'deki gibi verilir [9];

$$\rho = \theta \rho_1 + (1 - \theta) \rho_2 \quad (2)$$

Faz değiştirici maddenin spesifik entalpisi (H) Eşitlik 3'de gibi yazılır [9];

$$H = \frac{1}{\rho} (\theta \rho_1 H_{faz1} + (1 - \theta) \rho_2 H_{faz2}) \quad (3)$$

burada, H_{faz1} ve H_{faz2} her fazın spesifik entalpisidir. Özgül ısı kapasitesi, sıcaklıkla değişen entalpiye bağlı olarak hesaplanır ve bazı biçimsel dönüşümlerden sonra Eşitlik 4 ile ifade edilir [9];

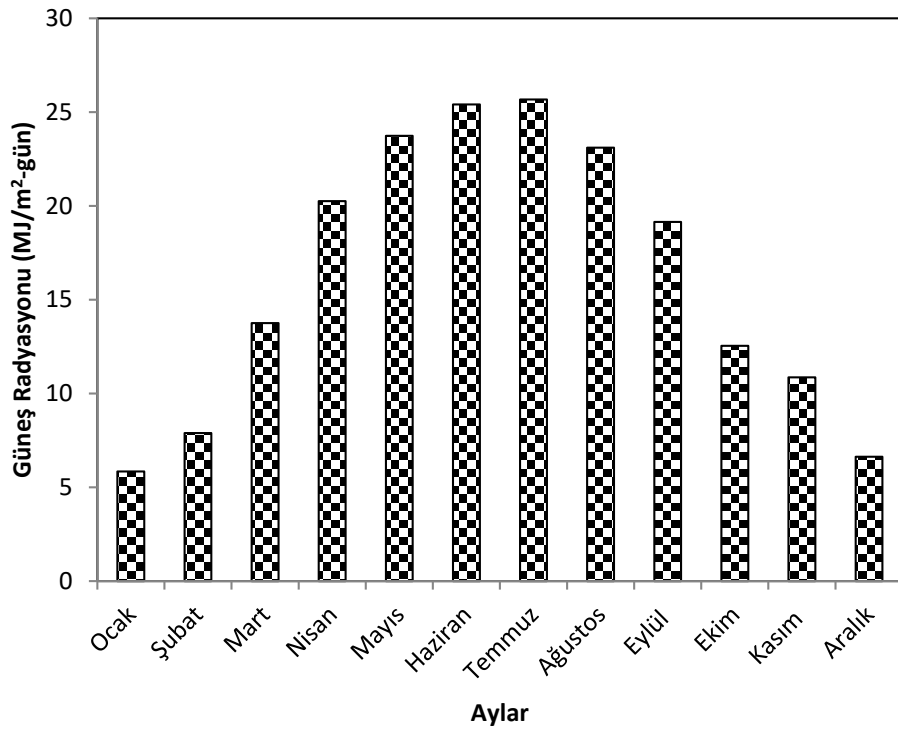
$$C_p = \frac{1}{\rho} (\theta_1 \rho_1 C_{p,faz1} + \theta_2 \rho_2 C_{p,faz2}) + (H_{faz2} - H_{faz1}) \frac{d\alpha_m}{dT} \quad (4)$$

Burada α_m , düzleştirilmiş fonksiyon ve θ , faz1 ve faz2'den tanımlanan bir kütle fonksiyonudur.

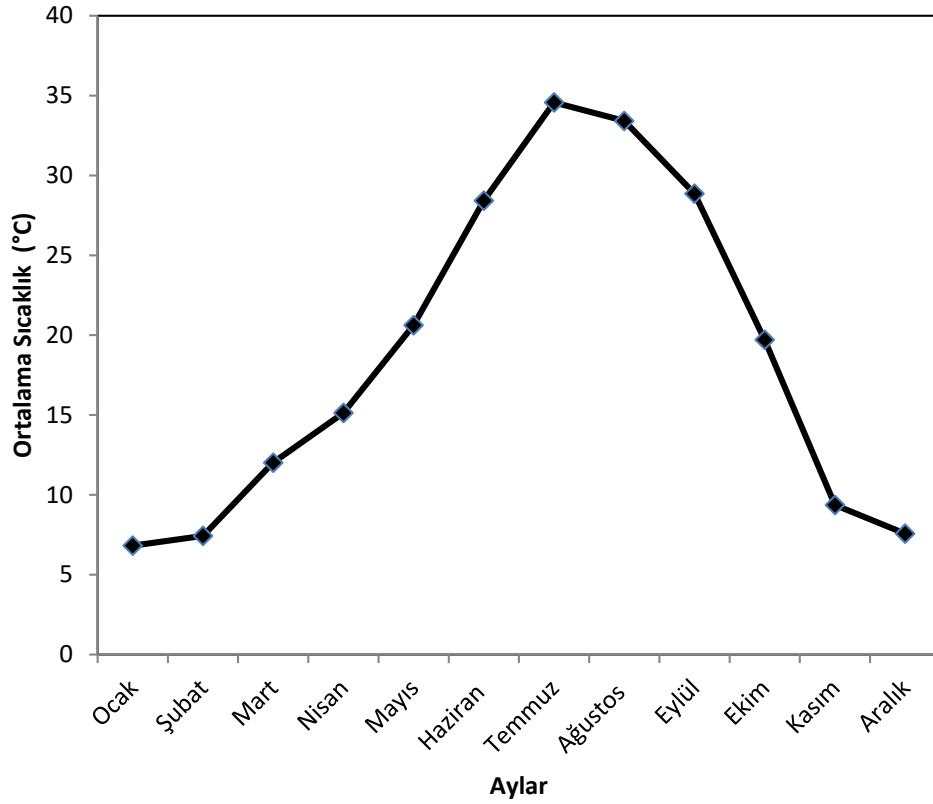
4. Araştırma Bulguları

Yazları sıcak geçen yerlerde binaların soğutma yükü kullanılan enerji tüketiminin büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Adıyaman, Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında binaların soğutulması için enerji tüketiminin yüksek olduğu illerimizdendir. Adıyaman ili aylara göre günlük ortalama toplam güneş radyasyonu verileri Şekil 2'de görülmektedir. Şekil 2 incelendiğinde Adıyaman ilinin güneş radyasyonu bakımından oldukça zengin bir konuma sahip olduğu, maksimum 25,68 MJ/m²-gün Temmuz ayında ve minimum 5,85 MJ/m²-gün Ocak ayında güneş enerjisi aldığı görülmektedir.

Adıyaman ili aylara göre günlük ortalama hava sıcaklığı verileri Şekil 3'de görülmektedir. Şekil 3 incelendiğinde Adıyaman ilinin yazları sıcak olduğu kışları ise ortalama hava sıcaklığının sıfırın altına düşmediği görülmektedir. Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında ortalama hava sıcaklığının 28 °C'nin üzerinde seyrettiği bu aylarda ortam soğutma ihtiyacının ortaya çıktığı anlaşılmaktadır.

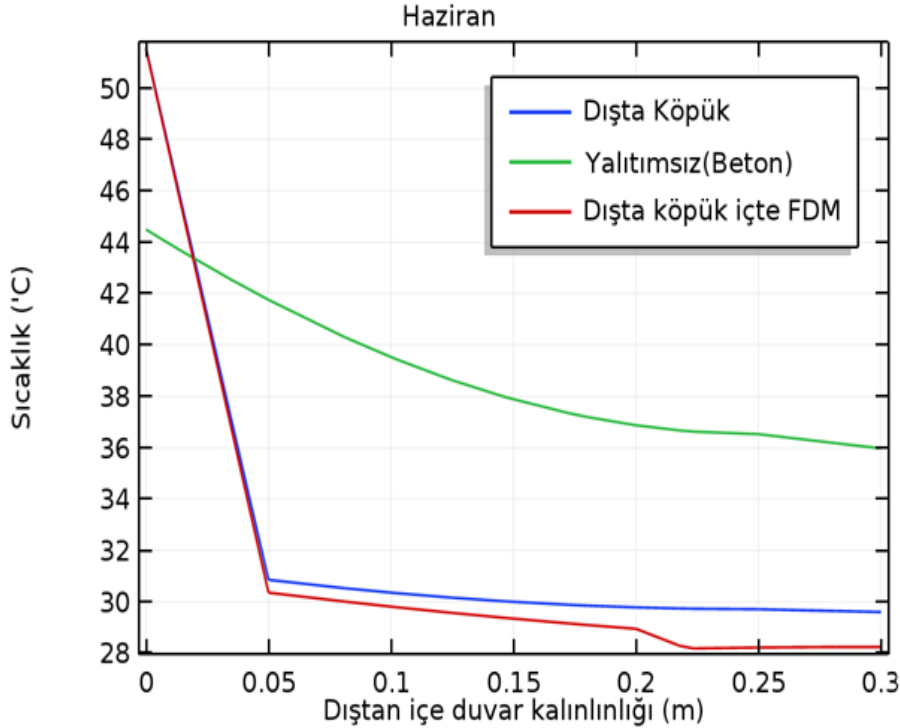


Şekil 2. Adıyaman ili yatay yüzeye ulaşan günlük ortalama güneş radyasyonu [10]



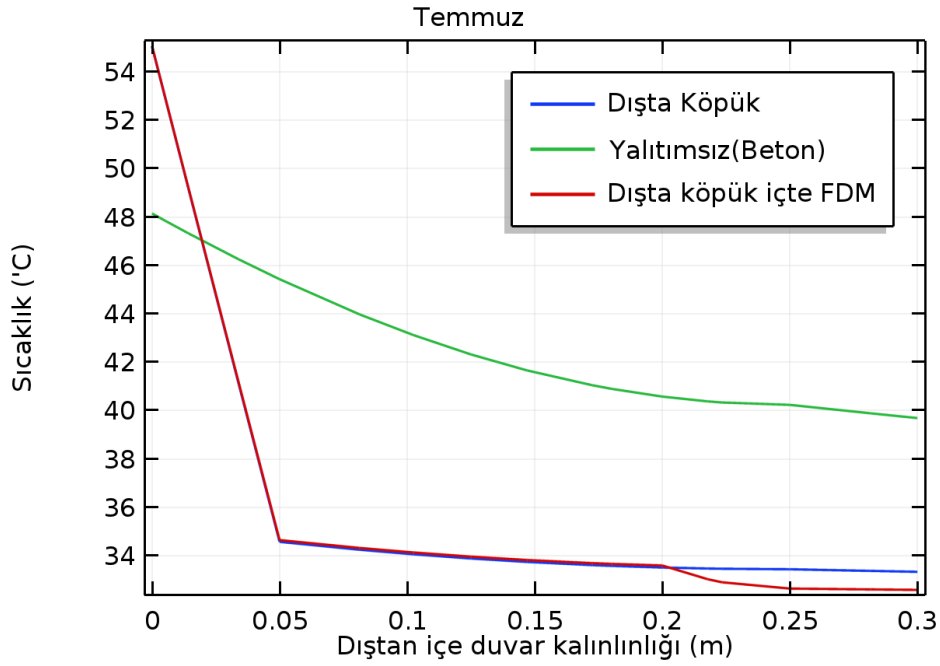
Şekil 3. Adıyaman ili aylık ortalama sıcaklık değerleri [10]

Bu çalışmada, faz değiştirici maddelerin Adıyaman iklim koşullarında yalıtım amaçlı kullanımı incelenmiştir. Bu amaçla elde edilen faz değiştirici maddelerin özellikleri deneysel olarak elde edilmiştir. Termofiziksel özellikleri bakımından yaz aylarında kullanımı uygun olan dekanolik asit faz değiştirici madde olarak seçilmiş ve model bir duvar üzerine uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar aynı kalınlıktaki yalıtımsız ve yalıtımlı duvarlar ile teorik olarak karşılaştırılmıştır. Şekil 4’de Haziran ayı için ortalama bir günde aynı kalınlıktaki yalıtımsız ve yalıtımlı (köpük, köpük+FDM) duvarlardaki sıcaklık dağılımı görülmektedir. Şekil 4 incelendiğinde, yalıtımsız duvarın dış yüzey sıcaklığının 44 °C ile en düşük olduğu ve iç yüzeyden 5 cm içeride ortam sıcaklığının ise 36 °C ile en yüksek olduğu görülmektedir. Dış yüzeyden gelen güneş enerjisinin yalıtım olmadığı durumda içeriye doğru hızlı bir şekilde ilerlediği ve iç yüzey sıcaklığını yükselttiği ve böylece ortamı soğutmak için çok daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulacağı anlaşılmaktadır. Dış yüzeye 0,05 m kalınlığında köpük uygulanarak yalıtım yapıldığında dış yüzey sıcaklığının yalıtımsız duvara göre oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Yalıtımlı duvarda dışarıdan içeriye doğru ısı transferi engellendiği için iç yüzey sıcaklığının yalıtımsız duvara göre oldukça düşük olduğu böylece ortamın soğutma yükünün azalacağı açıkça görülmektedir. Yalıtım ile birlikte iç yüzeye FDM uygulandığında iç yüzey sıcaklığının bir miktar daha azaldığı böylece soğutma yükünün azalmasına FDM kullanımının katkı sağlayacağı anlaşılmaktadır.



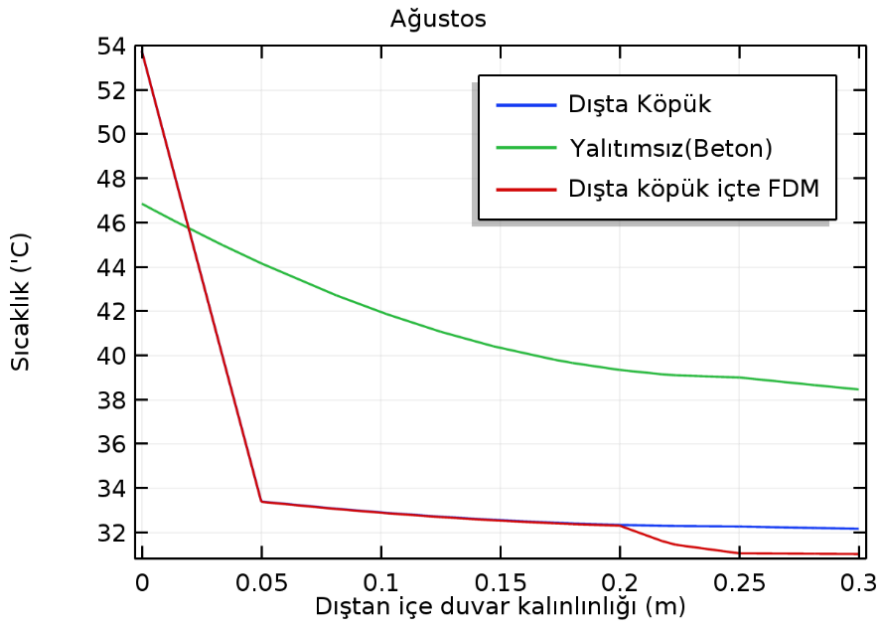
Şekil 4. Haziran ayı için ortalama bir günde duvar yüzeyleri ve içinde sıcaklık dağılımı

Şekil 5’de Temmuz ayı için ortalama bir günde aynı kalınlıktaki yalıtımsız ve yalıtımlı (köpük, köpük+FDM) duvarlardaki sıcaklık dağılımı görülmektedir. Şekil 5 incelendiğinde yalıtımsız, yalıtımlı ve yalıtım+FDM şeklinde modellenmiş duvarlarda iç yüzeyden 5 cm içeride ortam sıcaklıklarının sırasıyla 39,8 °C, 33 °C ve 32 °C olduğu görülmektedir. Dış yüzey sıcaklığının ise yalıtımsız duvar için 48 °C, yalıtımlı ve yalıtım+FDM şeklinde modellenmiş duvarlar için ise 55 °C civarında gerçekleşmiştir.



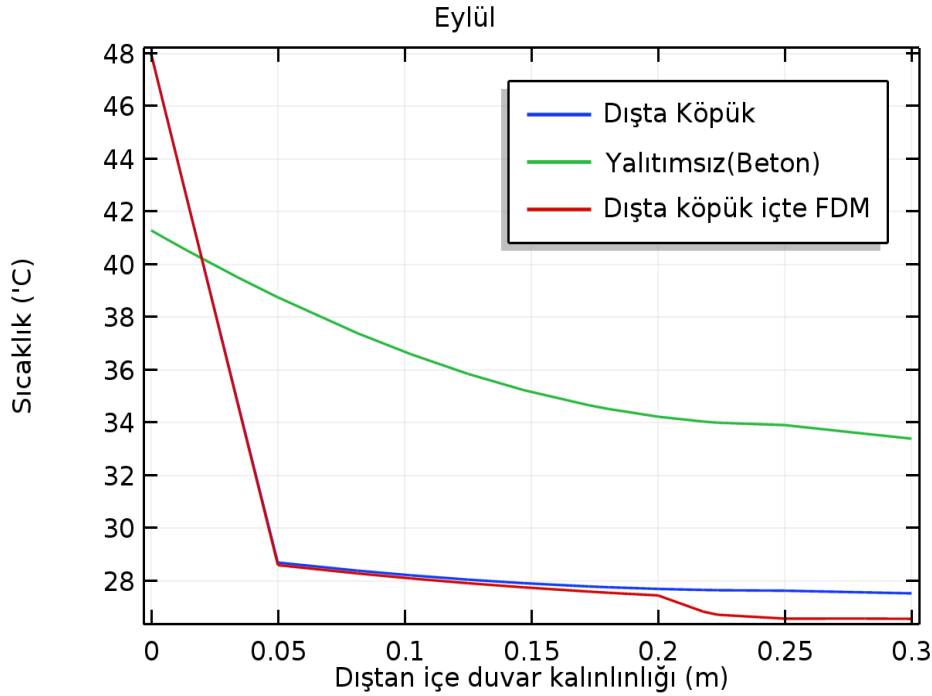
Şekil 5. Temmuz ayı için ortalama bir günde duvar yüzeyleri ve içinde sıcaklık dağılımı

Şekil 6'da Ağustos ayı için ortalama bir günde aynı kalınlıktaki yalıtımsız ve yalıtımlı (köpük, köpük+FDM) duvarlardaki sıcaklık dağılımı görülmektedir. Şekil 6'da görüldüğü gibi yalıtım olmadığı durumlarda aynı duvar kalınlığı için iç yüzeyden 5 cm içeride ortam sıcaklığının 38,2 °C olurken yalıtım ve FDM kullanıldığında iç yüzeyden 5 cm içeride ortam sıcaklığının 31-32 °C civarında tutulabildiği anlaşılmaktadır. Yalıtımsız duvarda iç yüzey ile iç ortam sıcaklığı arasındaki farkın yalıtımlı (köpük, köpük+FDM) duvarlardakine göre daha fazla olduğu görülmektedir. Yalıtımlı (köpük, köpük+FDM) duvarın iç yüzey sıcaklığının ortam sıcaklığına yakın seviyede olduğu böylece dışarıdan içeriye olan ısı kazancının daha az olacağı anlaşılmaktadır.



Şekil 6. Ağustos ayı için ortalama bir günde duvar yüzeyleri ve içinde sıcaklık dağılımı

Şekil 7'de Eylül ayı için ortalama bir günde aynı kalınlıktaki yalıtımsız ve yalıtımlı (köpük, köpük+FDM) duvarlardaki sıcaklık dağılımı görülmektedir. Şekil 7 incelendiğinde diğer aylara benzer şekilde iç yüzey sıcaklığının yalıtım+FDM kullanılarak düşük seviyelerde tutulabildiği görülmektedir.



Şekil 7. Eylül ayı için ortalama bir günde duvar yüzeyleri ve içinde sıcaklık dağılımı.

5. Sonuçlar

Yaz aylarında iklimin sıcak olduğu bölgelerde ortamı konfor sıcaklığında tutabilmek için tüketilen enerji oldukça yüksektir. Yalıtım, bu enerji tüketimini azaltmak için önemli bir parametredir. Bu çalışmada, faz değiştirici maddelerin yalıtım amaçlı kullanımı incelenmiştir. Bu amaçla elde edilen faz değiştirici maddenin termofiziksel özellikleri deneysel olarak belirlenmiştir. Ortam soğutma ihtiyacı olan Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül ayları için ortalama bir günde aynı kalınlıktaki yalıtımsız ve yalıtımlı (köpük, köpük+FDM) duvarlardaki sıcaklık dağılımları incelenmiştir. Dış yüzey sıcaklığının Temmuz ayında yalıtımsız duvar için 48 °C, yalıtımlı ve yalıtım+FDM şeklinde modellenmiş duvarlar için ise 55 °C ile maksimum olduğu görülmüştür. Dış yüzey sıcaklığının maksimum olduğu Temmuz ayında yalıtımsız, yalıtımlı ve yalıtım+FDM şeklinde modellenmiş duvarlarda iç yüzeyden 5 cm içeride ortam sıcaklıklarının ise sırasıyla 39,8 °C, 33 °C ve 32 °C olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, köpük+FDM kullanarak duvardan olan ısı geçişinin azaltılabildiği ve iç yüzey sıcaklığının yalıtımsız duvara göre daha düşük seviyelerde tutulabildiği görülmüştür. Böylece yaz aylarında ortam soğutma yükünün azaltılabileceği anlaşılmıştır.

Teşekkür

Bu çalışma; Adıyaman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimi tarafından MÜFMAP/2018-0002 nolu proje kapsamında desteklenmiştir. Ayrıca teknik destek için Orta Doğu Teknik Üniversitesine teşekkürler.

Kaynaklar

- [1] Song M, et al., Review on building energy performance improvement using phase change materials. *Energy and Building* 2018; 158: 776–793.
- [2] Su D, et al., Maximizing the energy output of a photovoltaic–thermal solar collector incorporating phase change materials. *Energy and Building* 2017; 153: 382–391.
- [3] Benard C, et al., Experimental comparison of latent and sensible heat thermal walls. *Solar Energy* 1985; 34 (6): 475–487.
- [4] Lee KO, Medina MA. Using phase change materials for residential air conditioning peak demand reduction and energy conservation in coastal and transitional climates in the State of California. *Energy and Building* 2016; 116: 69–77.
- [5] Berthou Y, et al. Full scale experimentation on a new translucent passive solar wall combining silica aerogels and phase change materials. *Solar Energy* 2015; 115: 733–742.
- [6] Young BA, et al. Reduced-scale experiments to evaluate performance of composite building envelopes containing phase change materials. *Construction and Building Materials* 2018; 162: 584–595.
- [7] Fateh A, et al. Numerical and experimental investigation of an insulation layer with phase change materials (PCMs). *Energy and Building* 2017; 153: 231–240.
- [8] Heat Transfer Module, COMSOL. <https://www.comsol.com>
- [9] Solutions to Linear Systems of Equations: Direct and Iterative Solvers, COMSOL, <https://www.comsol.com>
- [10] Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2011, Adıyaman, Türkiye