

BİNA SOĞUTMA ENERJİSİNİN VE ISI ADASI ETKİSİNİN AZALTIKILMASINDA ISIL KÜTLE KULLANIMININ ETKİSİ

Dr. Ayça TOKUÇ, Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü
Tınaztepe Yerleşkesi Buca İZMİR, ayca.tokuc@deu.edu.tr

ÖZET

En yaygın kullanılan pasif stratejiler arasında yönlenme, biçim, ısı yalıtımı, güneşiği ve doğal havalandırma sayılabilir. Daha az uygulanan stratejilerden biri olan ısı kütle, özellikle kesintili bir enerji kaynağı olan güneşten gelen ısı enerjinin ihtiyaç olan zaman ve miktarda iç ortamda kullanılması veya bu ısı enerjiden korunumu amaçlı kullanılmaktadır. Bu strateji çoğunlukla duyulur ısı enerji depolama ile malzemenin kütlesine bağlı olarak sıcaklığının yükselmesi ile ısı depolanmasına dayanmaktadır.

Bu kapsamda, malzeme teknolojilerinde ortaya çıkan yenilikler, gerek kullanılan malzemelerde gerekse yapı elemanlarının detaylandırılmasında yeni olanakları beraberinde getirmektedir. Bu bildiride, gizli ısı depolama kapasitesiyle geleneksel malzemelerden daha yüksek ısı kütleyle sahip faz değişim malzeme (FDM)lerinin yapı kabuğunda kullanılması ile zaman geciktirmesi ve genlik küçültme faktörü özellikleri sayesinde daha stabil iç ortam sıcaklıkları oluşmasına yardımcı olması gözden geçirilecektir.

Devamında, İzmir’de bir konutun çatısına ve duvarına FDM eklenerek konutun soğutma yükünün ne derecede azaltılabileceğini belirlemek için bir örnekleme çalışması yapılmıştır. Örnekte FDM kullanılan teras çatıdan geçen enerji miktarı ve soğutma enerji tüketimine olan etkisi farklı FDM kalınlıkları için incelenmiştir. Ayrıca FDM yerleştirilmesiyle ısı adası etkisinin azaltılmasına yapacağı potansiyel etki değerlendirilmiştir. Sonuçta, FDM’lerin binalarda kullanımının yaygınlaştırılması için daha fazla araştırmaya ve kullanımı daha kolay araçlara ihtiyaç vardır.

GİRİŞ

Günümüz binalarının enerji tüketiminde en büyük pay genellikle ısıtma ve soğutma kaynaklıdır. Bu nedenle geleceğin binalarında ve yapı endüstrisinde daha az enerji tüketmeye yönelik sürdürülebilirlik ve sıfır enerji gibi kavramlar dünyada ön plana çıkmış konularındandır. Binalarda enerji konusunun önemi, Avrupa Birliği’nin mevzuatında 2020 yılından itibaren yeni yapılan binaların “neredeyse sıfır enerji binaları” olarak tasarlanması gerektiğinin belirtilmesinden anlaşılabilir [1]. Bu çerçevede, istenen iç ortam koşullarına daha az enerji

kullanılarak ulaşmak için mimari stratejiler geliştirilmiştir. Binaların ön tasarım aşamasından itibaren yapı fiziği ilkelerinden yararlanılarak güneş ve rüzgar gibi yerel doğal kaynakların bina ile bütünleşik düşünülmesini kapsayan bu mimari stratejiler niteliklerine göre aktif veya pasif diye adlandırılmaktadır.

Pasif stratejiler, yardımcı eleman kullanmadan sadece yapısal elemanların özelliklerine dayanır. Yerel koşullar değerlendirildiğinde, yapının ısı gereksinimlerini sadece mimari elemanları kullanarak karşılamak günümüzde mümkün değildir ve tamamen pasif yapıların

tasarlanabilmesi ve uygulanabilmesi, ancak yapı malzemeleri ve bir araya geliş özellikleri üzerine yapılan araştırmaların artırılması ile olasıdır. Pasif yapılarda iç ortam sıcaklığı, başka değişkenlerin yanında iklim ve yapı elemanlarının ısı kütlesi değişkenlerine bağlıdır. Bu noktada, malzeme teknolojilerinde ortaya çıkan yenilikler, gerek kullanılan malzemelerde gerekse yapı elemanlarının detaylandırılmasında yeni olanakları beraberinde getirmektedir. Her ne kadar sadece pasif sistemleri kullanarak binanın enerji ihtiyacını neredeyse sıfır enerjiye indirmek her zaman olası değilse de bu konuda çalışmalar devam etmektedir [2].

En yaygın kullanılan pasif stratejiler arasında yönlenme, biçim, ısı yalıtımı, güneş ışığı ve doğal havalandırma sayılabilir. Daha az uygulanan stratejilerden biri olan ısı kütlesi, özellikle kesintili bir enerji kaynağı olan güneşten gelen ısı enerjisinin ihtiyaç olan zaman ve miktarda iç ortamda kullanılması veya bu ısı enerjiden korunumu amaçlı kullanılmaktadır [2]. Bu strateji çoğunlukla duyulur ısı enerji depolama ile malzemenin kütlesine bağlı olarak sıcaklığının yükselmesi ile ısı depolanmasına dayanmaktadır.

Isı kütlesinin en yaygın kullanımı taş, toprak, beton ve tuğla gibi yüksek ısı kütleye sahip malzemelerin yapı kabuğunda kullanılması ile zaman geciktirmesi ve genlik küçültme faktörü özellikleri sayesinde daha stabil iç ortam sıcaklıkları oluşmasına yardımcı olmalarıdır. Bir başka kullanımı ise Trombe duvarı ve standart güneş duvarı

gibi elemanlar yardımcıdır. Bu duvarlar doğal veya mekanik havalandırma ilkelerinin eklenmesiyle iklim, ihtiyaç ve mevsimlere göre farklı çalışmaktadır. Su duvarları ise önceden bahsedilen iki sisteme de benzer tasarlanabilmektedir. Bahsedilen sistemlerin yanı sıra döşeme, iç duvarlar ve mobilyalar gibi yapı kabuğundan farklı yapı elemanlarının ısı kütlesinin artırılması yoluyla iç ortamdaki sıcaklık salınımlarının azaltılması yönünde de çalışmalar bulunmaktadır [3].

Güncel çalışmalarda, gizli ısı enerji depolamanın kullanarak faz değişimi ile ısı kütleyi artırmak gitgide daha çok araştırılmaktadır [4]. FDM'ler sabit bir sıcaklık aralığında eriyip katılarak, belirli bir sıcaklık aralığında aynı hacimdeki geleneksel yapı malzemelerinin beş ila yirmi dört katı enerji depolayabilirler. Ancak sahip oldukları bu potansiyele rağmen halen yaygın yapı malzemesi olarak kullanılmamaktadır [5].

Bunun nedenleri arasında teknolojinin gelişmekte olmasıyla beraber uygulamada FDM'nin hatalı seçimi veya detaylandırılması durumlarında binada ihtiyaç duyulan konfor artımı veya ekonomik beklentinin karşılanamaması yer almaktadır [6]. Isı kütlesi stratejisinin uygulanmasında iklimsel ve yapısal gereksinimlerin çok iyi değerlendirilmesi gerekmektedir. FDM kullanımı daha kararlı, istenen ortam sıcaklığına yakın yüzey sıcaklığı yaratarak insan vücudundan ısı ışınlama olan kazanç/kayıpların azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Bu sayede, ısı konforun sağlanmasına yardımcı olur ve

doğrudan ısı kazanç/kayıplardan öte, kararlı ortam sağlanması gereken özel durumlarda avantaj getirebilir.

Kentsel açıdan bakıldığında, küresel ısınma tehdidiyle birlikte, özellikle büyük kentlerde ısı adası etkisi bir kaygı oluşturmaktadır. Aynı bölgede yer alan bir kentsel alanda, kırsal alana kıyasla daha yüksek sıcaklıkların görülmesi olarak tanımlanabilecek ısı adası etkisi, kentsel alanda insan sayısı ve yapılaşmanın fazlaşması ile giderek artmaktadır. Bunun nedenleri arasında kentsel yapı özelliklerinin rüzgar ve hava sıcaklığını etkilemesi, kentsel yüzeylerin ısı özelliklerinin doğadaki yüzeylerden farklı ısı tepki vererek özellikle güneş ışınımını daha çok sönmülmesi, kent havasında artan sera gazı, partikül ve yoğun enerji kullanımının bu etkinin rüzgar gibi etkenlerle dağılmasını engellemesi ve sıcaklık düşürücü etki oluşturabilecek yeşil alanların azalması bulunmaktadır [7]. Isı adası etkisi, dış alan konforunu olumsuz etkilemenin yanında binalardaki enerji ihtiyacını etkilemektedir. Isı adasını önleme yaklaşımları arasında en yaygın olanları yeşil alanların artırılması ve serin çatı uygulamalarıdır.

Çatılar, yüksek yoğunluklu kentlerde toplam yüzey alanının % 25'ini kaplayabilmektedir ve yüksek güneş yansıtma değerine sahip çatıların kullanılması kentsel alanın mikro iklimini etkileyebilmektedir. Çatıların ısı adası üzerinde etkileri arasında kısa dalga güneş ışınımını emme, yapılı çevrede açığa çıkan insan kaynaklı ısı ve kentsel malzemelerin nem

emmemeleri nedeniyle gizli ısıda artış bulunmaktadır. Bu noktada, çatı yüzey sıcaklıkları önemli bir değişkendir ve serin malzemeli veya bir başka deyişle yüksek güneş yansıtması ve kızılötesi yayımı olan çatıların kullanılması önem kazanmaktadır. Tipik özelliği güneş yansıtma oranlarının yüksek olması olan serin çatılar, yazın serinletme için avantajlı olmalarına rağmen kışın ısıtmada dezavantajlı duruma düşebilmektedir [8]. Bu nedenle, son dönemlerde yüksek ısı depolama özellikleri ile FDM içeren çatılar serin çatılara bir alternatif olarak araştırılmaktadır.

Binaların çatılarında yer alan faz değişim malzemeleri güneş ve kızılötesi ışınları emip taşınım ve ışınım yolu ile depolanan enerjinin belli bir kısmını atmosfere yayarak ısı dengeye ulaşmakta önemli bir rol oynayabilirler. Bunun nedeni, FDMlerin gece boyunca veya soğutma sırasında verilen serin enerjiyi kısmen depolayıp gün içindeki sıcaklık piklerini azaltarak ısı denge oluşturmaya meyilli olmalarıdır [9].

Bu çalışmanın konusu düz teras çatı ile ona FDM eklenmesinin iç ortam soğutmasına ve ısı adası etkisine karşı gösterdiği ısı davranışı İzmir için değerlendirmektir.

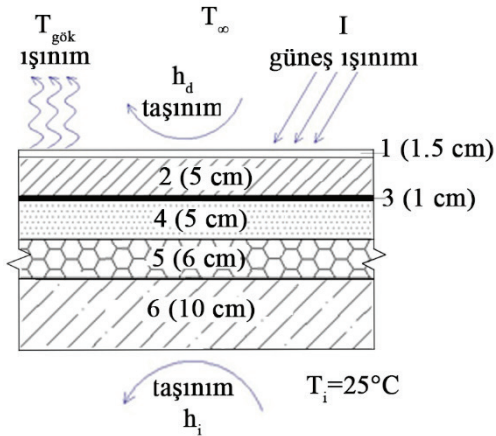
YÖNTEM

Bu çalışmada, İzmir'de bir konutun çatısına FDM eklenerek konutun soğutma yükünün ne derecede azaltılabileceğini belirlemek için bir örneklem çalışması gerçekleştirilmiştir. Çatıda FDM kalınlığının

değiştirilmesinin enerji tüketimine olası etkisinin değerlendirilmesi için bir model ortaya konmuştur. Modelde, bir yıl boyunca farklı faz değişim kalınlıklarına sahip çatıların ısı davranışları sayısal olarak analiz edilmiştir. Analizde kullanılan hesaplamalı akışkan dinamiği benzetimi deneysel çalışmalarla [10]'da belirtildiği üzere doğrulanmıştır. Sonuçta çatılarda oluşan ısı akıları ve dış yüzey sıcaklıkları ile hava sıcaklıkları arasındaki farklar değerlendirilmiştir.

PROBLEM TANIMI

İzmir'de yer alan teras çatının katmanları ve hesaplamalı akışkan dinamiği modelinde ele alınan sınır koşulları Şekil 1'deki gibidir. Katmanlardaki yapı malzemeleri/bileşenlerinin termofiziksel özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Değerlendirilen iklim özellikleri ise Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün 10 yıllık iklim veri ortalamasına göre alınmış olup Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Çatıdaki yapı katman ve kalınlıkları

Tablo 1. Yapı katmanlarının termofiziksel özellikleri

Katman No	Bileşen çeşidi	Birim hacim kütle [kg/m ³]	Isıl iletim katsayısı [W/mK]	Özgül Isı [J/kgK]
1	Seramik (ve yapıştırma harcı)	1.750	1,45	879
2	Donatısız beton	2.200	1,1	850
3	Su yalıtımı (3 kat)	1.200	0,19	920
4	FDM (katı ve sıvı) FDM (faz değişimin de)	760	0,2	2.400 141.400
5	XPS levha (2 kat)	25	0,035	1.213
6	Donatılı beton	2.400	1,2	920

Tablo 2. İzmir ili on yıllık ortalama iklim verileri [11]

İZMİR	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	26	30,7	33,1	32,9	29,1
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	15,3	19,7	22,4	22,2	18,6
Ortalama Gece Gündüz Sıcaklık Farkı (°C)	10,7	11	10,7	10,7	10,5
Ortalama Güneş Işınımı (W/m ²)	297	320	340	295	221
Ortalama Nem (%)	49	41	41	45	53
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ort. (kg/m ²)	21	3	2	2	30
Bulutluluk Oranı (okta)	3	2	1	1	3
Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)	2,7	3,4	3,8	3,5	2,8

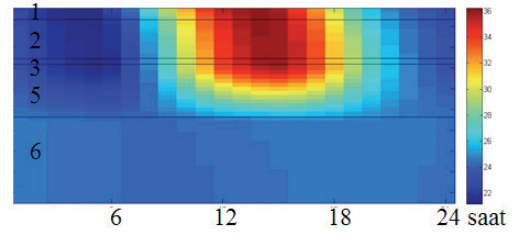
BULGULAR VE TARTIŞMA

27°C'de faz değiştiren bir FDM'nin çatı elemanına eklenmesinin mekan soğutmasında etkisi farklı FDM kalınlıkları için Mayıs-Eylül ayları arasında gerçekleştirilen benzetim ile değerlendirilmiştir. Ancak ay ay sonuçlara geçmeden önce FDM'nin erime-katılma döngüsünün elemanın çalışmasında yarattığı etkiyi gözlemlemek için İzmir'de 17 Haziran tarihindeki bir günlük durum değerlendirilmiştir. Sonuçlar Şekil 2'de elemanın farklı katmanlarındaki sıcaklık dağılımının gün boyunca değişimi şeklinde verilmiştir.

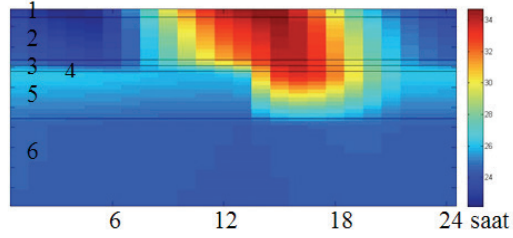
Şekil 2.a'da, FDM'siz yani gün boyunca duyulur ısı depolama yapılan elemandaki sıcaklık değişimi gün boyunca 21,6°C ile 36°C arasında değişiklik göstermiştir ve en düşük ve en yüksek sıcaklıklar çatının üst yüzeyinde gözlenmiştir. FDM'li elemanlarda ise (Şekil 2.b-d) sıcaklık aralığı 22,4°C ile 34,3°C arasında değişmiştir ve uç sıcaklıklar yine üst yüzeyde gözlenmiştir.

Tüm elemanlarda gece yarısından güneşin sabah 6:00'da doğmaya başlamasına kadar olan zamanda eleman sıcaklıkları düşmüştür, çünkü yapı yüzeyine güneş ışınımı gelmemektedir. Böylece önceki günden depolanan ısı çatının üst yüzeyinden dış ortama atılmaktadır ve çatı üst yüzey sıcaklıkları en az değerlerine ulaşır. FDM'li elemanlarda bu zaman aralığında katılma görülmektedir.

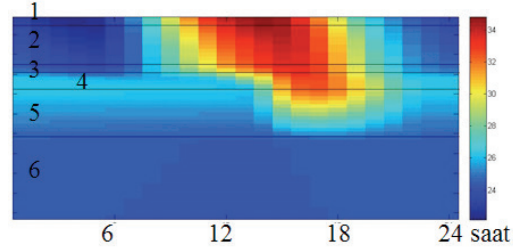
06:00-14:00 saatleri arasında, elemana gelen ışınım sürekli artış gösterir ve buna bağlı olarak eleman sıcaklığı da sürekli artar ve ilerleyen zamanda, saat 16:00 gibi en yüksek sıcaklığa ulaşır. Bu aralıkta FDM erimesi gerçekleşir ve FDM'li elemanda, FDM kalınlığına bağlı olarak bir alt katman olan ısı yalıtımının sıcaklığının artış zamanı etelenir.



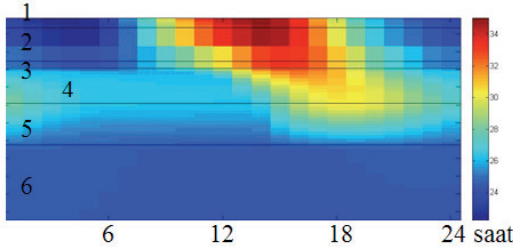
a. FDM'siz



b. 1 cm FDM'li



c. 3 cm FDM'li



d. 5 cm FDM'li

Şekil 2. Farklı kalınlıklardaki FDM davranışı, 17 Haziran için [12]

Güneş saat 20'ye kadar gökyüzünde kalıp ışınım vermesine rağmen, saat 16'dan sonra elemanda taşınım etkisinin daha baskın olduğu ve dış ortama ısı kaybedildiği, dolayısıyla üst yüzey sıcaklığının düşmeye başladığı görülmektedir. Güneş battıktan sonra gece yarısına kadar ısı kaybı hızlanmıştır. FDM kalınlığı arttıkça gündüz depolanan enerji daha fazla olduğundan dışa atımı da daha uzun sürede olmaktadır. Buna bağlı olarak gece yeterince ısı atılıp FDM katı hale dönmediği durumda, FDM'nin sadece duyulur ısı etkisinden yararlanılabilmektedir.

Simülasyon sonuçlara göre FDM'li çatının iklimsel değişimleri sönümleme etkisi FDM'siz çatıdan biraz daha iyidir. FDM miktarı arttıkça, çatının ısı ataletinin arttığı, yani dış ortam koşullarına verdiği tepkinin yavaşladığı görülmüştür. Ancak, gündüzleri gelen güneş enerjisi FDM tarafından emilmekle beraber, esas sönümleme ısı yalıtımının içinde gerçekleşmektedir.

Mekanın sabit sıcaklıkta bir klima ile şartlandırıldığı durumda, FDM kullanılan teras çatıdan geçen ısı akısı ve soğutma enerji tüketimine olan etkisi Tablo 3'te verilmiştir. Mayıs ayında FDM'siz detayla 489,65 Wh enerji kullanılarak soğutulacak mekanda, 1 cm FDM kullanılması ile %9,33; 2 cm FDM ile %17,53; 3 cm FDM ile %27,38; 4 cm FDM ile %38,56 ve 5 cm FDM ile %48,19 soğutma enerjisinden tasarruf sağlanmaktadır.

Tablo 3. İzmir'de mekanı soğutmak için gereken enerji [Wh/ay]

	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	TOPLAM
FDM'siz	489,65	2766,39	4052,35	3521,08	1329,45	12158,92
1 cm	443,98	2675,41	3957,35	3441,70	1227,54	11745,98
2 cm	403,88	2582,85	3864,93	3362,77	1165,27	11379,70
3 cm	355,58	2486,07	3777,01	3286,87	1159,96	11065,49
4 cm	300,85	2405,63	3692,86	3214,11	1159,35	10772,80
5 cm	253,68	2337,54	3611,60	3144,45	1160,88	10508,15

FDM'nin ısı enerjisi depolama kapasitesi, mevcut FDM miktarına bağlıdır. Ancak FDM'nin tümü faz değiştirdiğinde, depolama kapasitesi doyum noktasına ulaşmaktadır. Yaz koşullarında, bir kaç sıcak yaz günü sonrasında, sıvı FDM'de depolanan gizli ısı dış ortama verilmemekte ve tüm FDM'de katılaşma sıvılaşma döngüsü gerçekleşmemektedir. Bunun en önemli nedeni, gece gündüz arasındaki sıcaklık farklarının az olmasıdır. Bu nedenle,

Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında görülen iyileşme daha çok duyulur ısı kapasitesinden kaynaklanmaktadır. Ancak güneş enerjisinin etkin olarak saklandığı mevsimsel geçiş dönemlerinde, yani Mayıs ve Eylül aylarında daha fazla etki görülmektedir. Yine de İzmir’de soğutma için gerekli olan enerji ihtiyacı miktarı yüksek olduğu için soğutma enerjisinde düşme gözlemlenmiştir.

Araştırma sonuçları, şu anda incelenen problem ve detayda seçilen FDM'nin ekonomik olmadığını göstermiştir. Burada malzeme yeterli başarıyı göstermemektedir. Ayrıca kullanılan malzeme, her ne kadar bu çalışma kapsamında üzerinde durulmamışsa da pahalıdır. Bu sonuçlara göre ancak çok geniş çatı yüzeyleri olan (örneğin fabrika yapıları) veya hassas ısı kontrolü gereken binalarda (örneğin laboratuvarlar gibi) soğutma yüklerini azaltmak için FDM kullanılması önerilebilir.

Fayda-değer açısından bakıldığında 2 cm FDM kullanımının uygun olduğu görülmektedir. FDM kullanımı ile ısı adasını azaltma potansiyeli [13]te verilen yöntemle incelendiğinde ise 2 cm FDM kullanımı ile 5 ay boyunca ısı adası etkisini ortalama 2,7°C azaltma potansiyeli bulunmaktadır.

SONUÇ

Bu çalışma, FDM'lerin ve dolayısıyla gizli ısı depolama malzemelerinin yapıya entegrasyonu konusundaki çalışmalara bir katkı koymaktadır. Çalışmada getirilen model, ileride farklı

iklim koşullarında yapı kabuğundaki pek çok değişkenin etkisini inceleme amaçlı çalışmalarda kullanılacak esnek bir modeldir. Yapılabilecek çalışmaların içinde; çeşitli yapı detaylandırmaları, daha ucuz ve kolay bulunan FDM'lerin incelenmesi, farklı FDM miktarı, kaplama malzemesi özellikleri, güneşe yönelme, gölgelenme, farklı mekan sıcaklıkları, çeşitli iklimsel özellikler ve gece havalandırması uygulamaları sayılabilir.

Önerilen modelin, çeşitli geometri, durum ve yapı elemanı konfigürasyonlarında doğru sonuç verdiği deneysel ve teorik verilerle doğrulanmasına rağmen, FDM kullanımının yaygınlaşması için daha kullanıcı dostu olması, maliyetinin düşürülmesi ve değerlendirmelerin daha kısa sürede elde edilmesi ve geliştirilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

1. Directive of the European Parliament and of the Council amending directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings (COM(2016)0765–C8-0499/2016–2016/0381(COD)).
2. Marszal, A. J., Heiselberg, P., Bourrelle, J. S., Musall, E., Voss, K., Sartori, I., ve Napolitano, A. (2011). Zero Energy Building–A review of definitions and calculation methodologies. *Energy and buildings*, 43(4), 971-979.
3. Navarro, L., de Gracia, A., Niall, D., Castell, A., Browne, M., McCormack, S. J., ... ve Cabeza, L. F. (2016). Thermal energy storage in building

integrated thermal systems: A review. Part 2. Integration as passive system. *Renewable Energy*, 85, 1334-1356.

4. Mengjie, Song, Niu Fuxin, Mao Ning, Hu Yanxin, ve Deng Shiming. "Review on building energy performance improvement using phase change materials." *Energy and Buildings* (2017).

5. Harland, Alice, Christina MacKay, ve Brenda Vale. "Phase change materials in architecture." *Victoria University of Wellington* 11 (2010).

6. Zhang, Yinping, Guobing Zhou, Kunping Lin, Qunli Zhang, ve Hongfa Di. "Application of latent heat thermal energy storage in buildings: State-of-the-art and outlook." *Building and environment* 42, no. 6 (2007): 2197-2209.

7. Şimşek, Çağdaş Kuşçu, ve Betül Şengezer. "İstanbul Metropolitan Alanında Kentsel Isınmanın Azaltılmasında Yeşil Alanların Önemi." *Megaron* 7 (2) (2012): 116-128.

8. Zinzi, M., ve S. Agnoli. "Cool and green roofs. An energy and comfort comparison between passive cooling and mitigation urban heat island techniques for residential buildings in the Mediterranean region." *Energy and Buildings* 55 (2012): 66-76.

9. Roman, Kibria K., Timothy O'Brien, Jedediah B. Alvey, ve OhJin Woo. "Simulating the effects of cool roof and PCM (phase change materials) based roof to mitigate UHI (urban heat island)

in prominent US cities." *Energy* 96 (2016): 103-117.

10. Tokuç, Ayça, Tahsin Başaran, ve S. Cengiz Yesügey. "An experimental and numerical investigation on the use of phase change materials in building elements: The case of a flat roof in Istanbul." *Energy and Buildings* 102 (2015): 91-104.

11. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (2012). İzmir İli için 2000-2010 yılları arasındaki iklim verileri.

12. Tokuç, Ayça, S. Cengiz Yesügey, ve Tahsin Başaran. "An evaluation methodology proposal for building envelopes containing phase change materials: the case of a flat roof in Turkey's climate zones." *Architectural Science Review* 60, no. 5 (2017): 408-423.

13. Djedjig, Rabah, Emmanuel Bozonnet, ve Rafik Belarbi. "Experimental study of the urban microclimate mitigation potential of green roofs and green walls in street canyons." *International Journal of Low-Carbon Technologies* 10, no. 1 (2013): 34-44.