



**Bu bir MMO
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

BİNA ISIL KONFORUNUN SAĞLANMASINDA FAZ DEĞİŞTİREN MADDE KULLANIMI

**KEMAL CELLAT
BEYZA BEYHAN
HALİME PAKSOY
ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ**

**OKAN KARAHAHAN
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ**

**YELİZ KONUKLU
NİĞDE ÜNİVERSİTESİ**

**CENGİZ DÜNDAR
ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ**

**CANER GÜNGÖR
KAMBETON**



BİNA ISIL KONFORUNUN SAĞLANMASINDA FAZ DEĞİŞTİREN MADDE KULLANIMI

Kemal CELLAT
Beyza BEYHAN
Halime PAKSOY
Okan KARAHAN
Yeliz KONUKLU
Cengiz DÜNDAR
Caner GÜNGÖR

ÖZET

Binalar, uzun ömürlü ve büyük miktarda enerji tüketiyor olmaları nedeniyle sürdürülebilir enerji çalışmalarında büyük öneme sahiptir. Bina içerisindeki ısı konforu, kullanıcıların ihtiyaçları yanı sıra iş güvenliğini ve üretkenliğini de etkilemektedir. Bu yüzden binalardaki enerji tüketiminin %80'e varan kısmı ısı konforunun sağlanması amacıyla kullanılmaktadır. Enerji verimliliğinin artırılması ve bina içindeki ısıtma-soğutma yükünün azaltılması amacıyla Termal Enerji Depolama (TED) yöntemlerinden yararlanan enerji etkin bina tasarımları gittikçe önem kazanmaktadır. TED ile ısıtma ve soğutma sistemlerinde, kısa veya uzun süreli kullanım ile hem arz-talep arasındaki fark dengelenmekte, hem de yer-zaman uyumsuzluğunu giderilmektedir. TED yöntemlerinden biri olan faz değiştiren madde (FDM) kullanımıyla ısı enerjisinin etkin kullanımı mümkün olmaktadır. Beton harcı içerisine eklenen uygun erime/donma noktasına sahip FDM'ler sayesinde, gündüz saatlerinde bina dış cephesinin ısınmasıyla ısı enerji depolanmakta, gece ise dış ortam sıcaklığının düşmesiyle FDM donarak depoladığı ısıyı geri salmaktadır. Böylece güneş enerjisini pasif depolayarak, FDM'ler ısı konforunun sağlanmasına ve ısıtma soğutma yükünü azaltmaya yardımcı olmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, güneş enerjisini pasif olarak depolayan FDM'li beton prefabrik panel geliştirerek inşa edilecek test kulübelerinde bina içerisindeki ısı konforu koşullarına etkisinin deneysel olarak incelenmesidir. Bu amaçla, Adana'da inşa edilen test kulübelerinde iç ve dış ortam sıcaklıkları, panel yüzey sıcaklıkları, ısı iletimi ve güneş ışınımı verileri ölçülmektedir. Eylül 2014 de başlanan ölçümlerden elde edilen ilk sonuçlar burada değerlendirilecektir.

Anahtar Kelimeler: Faz Değiştiren Maddeler, Binalarda Enerji Verimliliği, Pasif Termal Enerji Depolama.

ABSTRACT

Buildings with their long-life and high energy consumption have an important share in sustainable energy studies. Thermal comfort in buildings affects end-users' needs but also safety and productivity. Therefore, upto 80% of the energy consumption in buildings is used to meet thermal comfort. Energy efficient building design that make use of Thermal Energy Storage (TES) methods to increase energy efficiency and decrease heating/cooling loads is becoming more important than ever. Difference between supply and demand are balanced via short or long term using, and also the space-time mismatch is eliminated by using TES on heating and cooling systems. Using Phase Change Materials (PCM), one of the TES methods, provides more efficient consumption of thermal energy. With PCMs that have appropriate melting/freezing temperatures that are added to concrete mixtures, heat is stored during the day when building absorbs solar energy and releases heat during the night when

temperature drops and PCM freezes. PCMs by providing passive storage of solar energy help to decrease heating/cooling load and increase thermal comfort.

The purpose of this study is to develop prefabricated concrete panels with PCM that will store solar energy passively and to investigate the effects on building thermal comfort in test cubicles constructed with these panels. With this objective, in the test cubicles built in Adana temperatures inside and outside of the buildings, on the panels, heat flux and solar radiation are measured. The first results from the measurements that started in September 2014 will be evaluated here.

Key Words: Phase Changing Materials, Energy Efficiency in Buildings, Passive Thermal Energy Storage.

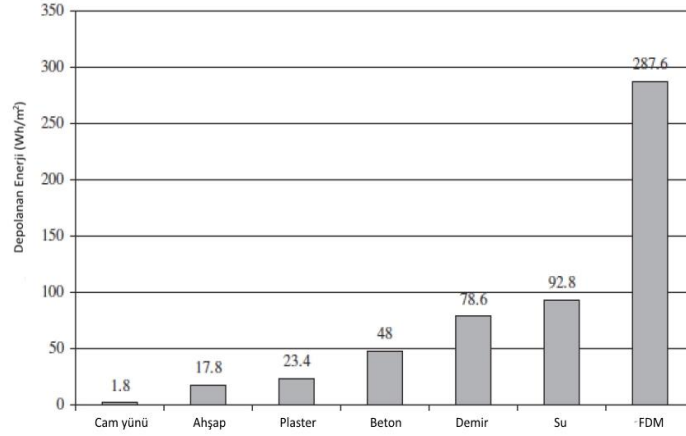
1. GİRİŞ

Enerji verimliliği; enerjide arz-talep dengesinin sağlanması, dışa bağımlılık ve bunlara bağlı risklerin azaltılması iklim değişikliği ile mücadele ve çevrenin korunması gibi ulusal ve uluslararası hedefleri içermektedir. Türkiye'nin gelişmiş ülkelere kıyasla yüksek olan enerji yoğunluğunun düşürülmesi ve enerji verimliliği alanında iyileştirmeler yapılması sürdürülebilir kalkınma açısından önem arz etmektedir. Enerji verimliliği alanında yapılması gereken çalışmalar 2012 yılında yürürlüğe giren Enerji Verimliliği Strateji Belgesinde (2012-2023) verilmektedir [1].

Binalarda enerji verimliliği bölgesel, ulusal ve uluslararası anlamda öncelikli konulardan biridir. AB üyesi ülkelerde, binalar toplam enerji tüketiminin ve CO₂ emisyonlarının yaklaşık %40'ından sorumludur [2]. Bina içerisindeki tüketimin çoğunluğunu ise konfor gereksinimlerinden doğan ısıtma ve soğutma yükleri oluşturmaktadır. Mevcut binalarda büyük enerji kaybına yol açan önemli bir konu, verimli olmayan tüketim alışkanlıklarının yanı sıra binaların geleneksel yapım teknolojisi ile üretilmiş olmalarıdır. İnşaat sektörünün, neden olduğu bu olumsuz etkileri azaltabilmek için yeşil bina kavramı gelişmektedir [3].

Binalarda enerji tüketiminin azaltılması ve yenilenebilir kaynaklardan etkin yararlanılması amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar içinde faz değiştiren madde (FDM) kullanımı ile termal enerji depolaması son yıllarda ilgi çekmeye başlamıştır [4]. FDM'ler faz değişimi sırasında sabit sıcaklıkla büyük miktarda ısı depolayıp, salmaktadırlar. FDM'nin yapı elemanlarında ve malzemelerinde kullanımı bina ısı kütlesini artırarak (Şekil 1), ısıtma ve soğutma yüklerini azaltabilmekte ve dolayısıyla fosil yakıtlara olan bağımlılığın azaltılmasına yardımcı olarak kullanılabilir. FDM'nin sıva [5], alçı plaka [6, 7, 8], sandviç panel [9, 10] ve beton [11, 12] içinde mikrokapsüllenmiş olarak veya doğrudan uygulanmasıyla soğutmada %30'a, ısıtmada ise %20'lere varan tasarruf sağlanabilmektedir. Bina yapı malzemesine eklenen FDM gündüz bina kabuğunun ısınmasıyla erirken bina içine daha az ısı girişine neden olur. Gece dış ortam sıcaklığının düşmesiyle donan FDM ısı salarak binanın ısınmasına katkı sağlar. Böylece güneş enerjisinden pasif olarak yararlanma imkânı sağlanır, bina içinde daha homojen bir sıcaklık dağılımı elde edilir ve gün içindeki ısı dalgalanmalarının azaltılmasına yardımcı olunur. Buradaki pasif depolamadan kasıt, faz değişiminin herhangi mekanik bir ekipmana ihtiyaç duymamasını ifade etmektedir.

└



Şekil 1. Yapı malzemelerinin aynı sıcaklıktaki depolama kapasiteleri [13]

Ayrıca yapılan çalışmalarda beton içerisine FDM eklenmesiyle hidrasyon tepkimesi sonucu oluşan sıcaklık yükselmesinin de azaltıldığı görülmüştür [14].

Binalarda termal enerji depolama amacıyla kullanılacak FDMlerin yüksek gizli ısıya sahip olması, faz değişimi sırasında hacim değişiminin küçük olması istenmektedir. Ayrıca kullanılan FDM korozif, yanıcı, toksik olmamalı ve aşırı soğuma göstermemelidir. Binalarda kullanılmak üzere kimyasal yapılarına göre iki tip FDM kullanılmaktadır: İnorganik ve organik FDM'ler. İnorganik FDM'ler ucuz ve tuz hidratlarından kolaylıkla elde edilebilir olduklarından oldukça yaygın kullanım alanına sahip olmalarına karşın bina uygulamalarında düzensiz faz değişim karakteristikleri, erime donma çevrimleri sonucunda ayrışmaya uğramaları ve korozif özelliklerinden dolayı beton yapıya uyumlu olmadığı için tercih edilmemektedir [15]. Organik FDM'ler parafinik ve parafin olmayan FDM'ler olarak iki ayrılır. Parafinik olmayan FDM'ler içinde yağ asitleri, esterler, alkoller ve glikoller bulunmaktadır [16]. Yağ asitleri, parafinlerin aksine petrol türevi olmaması ve bazı bitkisel ve hayvansal yağların bileşeni olmaları, kolay temin edilebilir olmaları nedenleriyle sürdürülebilir FDM'ler olarak dikkat çekmektedir. Ayrıca yağ asitlerinin ötektik karışımları hazırlanarak, istenilen erime/donma sıcaklığı aralığında malzeme üretimi mümkün olmaktadır. Ayrıca parafinlere kıyasla daha az yanıcı olmaları yağ asitlerinin bina uygulamalarında kullanımı için bir diğer tercih nedenidir [17].

Bu çalışmanın amacı, güneş enerjisinin pasif olarak FDM'li beton prefabrik paneller içerisinde depolanarak, gün içerisindeki sıcaklık değişimi ile birlikte FDM'nin erime ve donma sürecinde bina içerisindeki ısı konfor koşullarına etkisinin deneysel olarak incelenmesidir. Bu amaçla, betonun basınç dayanımı da göz önünde bulundurularak, belirli oranlarda FDM'nin bina yapı malzemesi içerisine eklenmiştir. Adana ilinde geliştirilen malzemelerle inşa edilen test kulübelerinde iç ve dış ortam sıcaklıkları, panel yüzey sıcaklıkları, ısı iletimi ve güneş ışınımı verileri ölçülmektedir.

2. DENEYSEL METOD

2.1 Faz Değiştiren Madde Geliştirilmesi

Çalışmada, konfor sıcaklığı göz önünde bulundurularak FDM olarak yağ asitlerinin ötektik karışımları hazırlanmıştır. FDM'nin erime aralığı, ısıtma ya da soğutma amacına uygun olarak istenilen ortam sıcaklığının 3-5°C altında ya da üstünde olmalıdır. Konfor sıcaklığı birçok değişkene bağlı olup, yaz mevsimi için 23-27°C aralığında olduğu kabul edilmektedir. FDM gizli ısılarını ve faz değiştirme aralıklarını belirlemek amacı ile Perkin Elmer DSC cihazı kullanılmıştır. Analizler 10–50°C sıcaklık aralığında 1°C/dakika ısıtma hızı ile gerçekleştirilmiştir. Yağ asitleri birbiri içerisinde kolay karışabilen, çeşitli hayvansal ve bitkisel kaynaklardan elde edilebilen doğal materyallerdir. FDM olarak kullanılacak

yağ asidi karışımlarının betonun basınç dayanımı üzerine etkisini en aza indirmek amacıyla mikrokapsülleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Böylece FDM kapsül içerisine hapsedilmiş ve faz değişimi beton ile etkileşmeden kapsül içerisinde gerçekleşmesine olanak sağlanmıştır. Ötektik karışımların hazırlanmasında Merck firmasından temin edilen kaprik asit (KA), laurik asit (LA), palmitik asit (PA) ve miristik asit (MA) kimyasalları kullanılmıştır.

2.2 Beton karışımlarının hazırlanması

Test kulübelerinde kullanılacak beton tasarımında, beton sınıfının önceden belirlenmesi önem arz etmektedir. FDM eklendiğinde basınç dayanımındaki düşüşün daha iyi tespit edilebilmesi ve yüksek oranlarda FDM ilavesi sonucu beton sınıfının kullanılabilir aralıkta kalması istendiğinden denemelerde su/çimento oranı 0,44 olan yüksek dayanımlı, kendinden yerleşen C40/50 betonu kullanılmıştır. Beton karışım hesapları C40/50 beton sınıfı için TS 802'e uygun olarak yapılmıştır. Beton karışımlarına farklı oranlarda (şahit, %1, %2, %3, %5 ve %10) mikrokapsüllemiş FDM eklenmesiyle basınç dayanımlarının değişimi izlenmiş, bu sonuçların değerlendirilmesi neticesinde panellerde kullanılacak optimum FDM miktarı belirlenmiştir.

Karışımlarda Tablo 1'de verilen bileşimde aşağıdaki malzemeler kullanılmıştır:

- Çimento (TS EN 197-1, Oyak Çimento - CEM I 42,5 R),
- Su (TS EN 1008, şehir şebekesi içme suyu),
- Agregası (TS 706 EN 12620, maksimum tanecik çapı 10mm),
- Hiper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı (PCE) (Fluxer GTS 04A),
- FDM olarak ise polistiren kabuk malzemesine sahip kaprik-miristik asit karışımı.

Beton karışımlarının hazırlanmasında agregalar bir süre kuru olarak karıştırılmış ve üzerine çimento ilave edilerek bir süre daha karıştırılmıştır. Hiper akışkanlaştırıcı katkı maddesi su içerisinde karışıma ilave edilmiştir. Son olarak FDM eklenmiştir. Hazırlanan beton karışımları basınç dayanım testlerinde kullanılmak üzere 15x15x15 cm ebatlarında küp numunelere dökülerek 24 saat bekletildikten sonra basınç dayanım testleri için 20±2 °C suda 7 ve 28 gün kür edilmiştir.

Tablo 1. 1m³ beton numunesi için gram cinsinden gerekli malzeme miktarları

Malzeme (kg)	Şahit	%1	%2	%3	%5	%10
Katkı 1 (PCE)	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
Katkı 2 (PCM)	0	8,6	17,2	25,83	43,0	86,1
0-3 Kaya Kırmacı	1034,4	1019,2	1004,0	988,9	958,6	882,71-
5-10 Kaya Kırmacı	418,3	412,2	406,1	399,9	387,7	357
10-20 Kaya Kırmacı	364,5	359,3	353,9	348,5	337,9	311,2
Su	201,2	200,8	200,4	199,9	199,0	196,8
Çimento	450	450	450	450	450	450
Toplam Ağırlık	2473,1	2454,6	2436,1	2417,7	2380,7	2288,2

Beton karışımları hazırlanırken, eklenen mikrokapsüllerin sağlamlığını koruması önem arz etmektedir. Mikro kapsüllerin beton karışımı içerisinde karıştırılması esnasında kabuk materyalinin kırılması sonucu FDM dış ortama akabilmekte, bunun sonucunda FDM ve gizli ısı miktarında kayıp, basınç dayanımında düşme görülebilmektedir.

Beton içerisindeki kapsüllerin kırılıp-kırılmadığını ve beton içerisindeki dağılımını gözlemlemek için Taramalı Elektron Mikroskopisi tekniği (SEM) ile yüzey morfolojisi analizleri gerçekleştirilmiştir. Beton numuneleri kırılarak iç yüzeylerinden elde edilen örnekler, platin ile kaplanarak Mersin Üniversitesi'nde bulunan Zeiss Supra 55 marka SEM cihazı ile analiz edilmiştir.

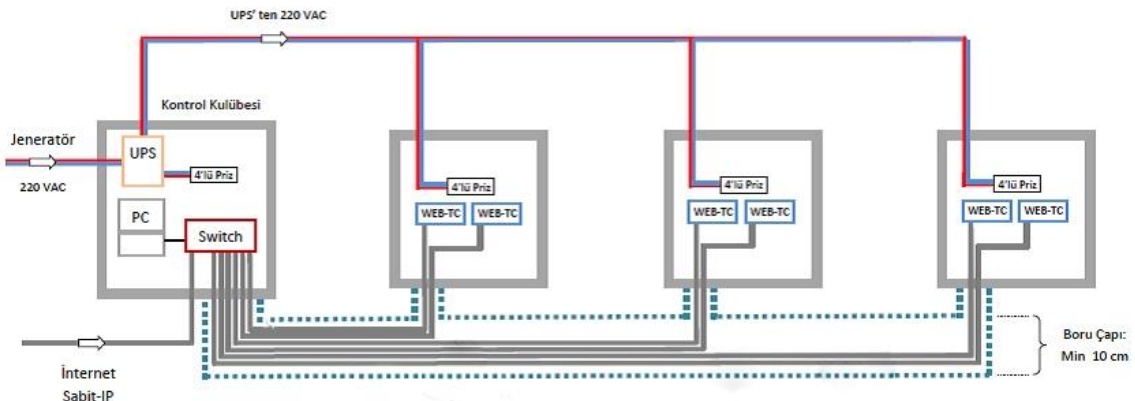
2.3 Basınç Dayanım Testleri

Hazırlanan FDM'li beton karışımlarının basınç dayanımları, Universal basınç dayanım test cihazı (Dinç Makina) ile belirlenmiştir. 7 ve 28 gün kür havuzunda bekletilen beton numunelerinin basınç dayanım deneyleri TS EN 196-1'e uygun olarak aşağıdaki prodedüre göre yapılmıştır. İstenilen yaşa ulaşan numuneler, kür havuzundan çıkarılıp kurulandıktan sonra, yüzeyi temizlenen basınç dayanım cihazına ortalanarak yerleştirilmiştir. Yükleme hızı olarak 6 MPa/sn seçilmiştir. Basınç dayanım değerleri numune kırılmadan önceki maksimum yükleme değerinden N/mm^2 cinsinden hesaplanmıştır. Her farklı beton numunesi grubu için üç adet numune kırılmış ve dayanım değerlerinin ortalaması alınmıştır.

2.4 Test kulübeleri ve ilk ölçümler

Beton içerisine eklenen FDM'nin etkisini gerçek iklim koşullarında gözlemlemek amacıyla Adana, İncirlik yolu üzerinde bulunan KAMBETON A.Ş. sahasına FDM'li ve FDM içermeyen (şahit) test kulübeleri inşa edilmiştir. Her bir kulübe 2x2x0,12 m'lik Tablo 1'de verilen beton karışım oranlarına göre hazırlanmış panellerden oluşmaktadır. Test kulübelerinin batı ve güney cephelerinde FDM'li kompozit panel kullanılmıştır. Kuzey cephede ise PVC kapı ve pencere bulunmaktadır.

Test kulübelerindeki sıcaklık ölçümü için Şekil 2'de gösterilen veri toplama sistemi kurulmuştur. Sistem her bir kulübe içerisinde bulunan iki modül ve bu modüllerin birleştiği bir sunucudan oluşmaktadır. Test kulübelerindeki panellerin farklı noktalarına yerleştirilmiş ısı çiftleri aracılığı ile alınan sıcaklıklar bu modüller vasıtası ile her 5 dakikada bir kaydedilmektedir. Modüller yer altından yapılan ethernet bağlantısı ile kontrol kulübesinde bulunan sunucuya bağlanmaktadır. Veri toplama sisteminde, data loggerdan alınan sıcaklık verilerini toplamak ve işlemek için TracerDAQ isimli software kullanılmakta ve bir günlük ölçüm süresi sonunda 288 satır veri kaydı yapılmaktadır.



Şekil 2. Test Kulübeleri arasındaki veri bağlantısı.

Sıcaklık ölçümlerini $\pm 0,5^{\circ}C$ hassasiyetle yapan ısı çiftleri aşağıdaki gibi yerleştirilmiştir;

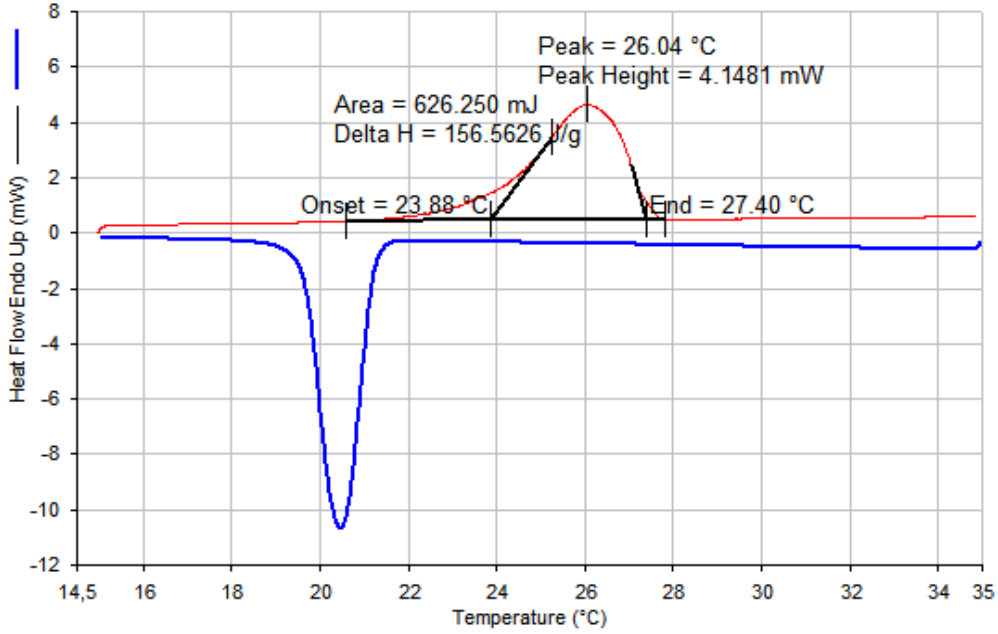
- Dış Ortam Hava Sıcaklığı (kuzey)
- İç Ortam (üst)
- İç Ortam (alt)
- Zemin
- Tavan

- Doğu Cephe (iç ve dış)
- Batı Cephe (iç ve dış)
- Güney Cephe (iç ve dış)

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

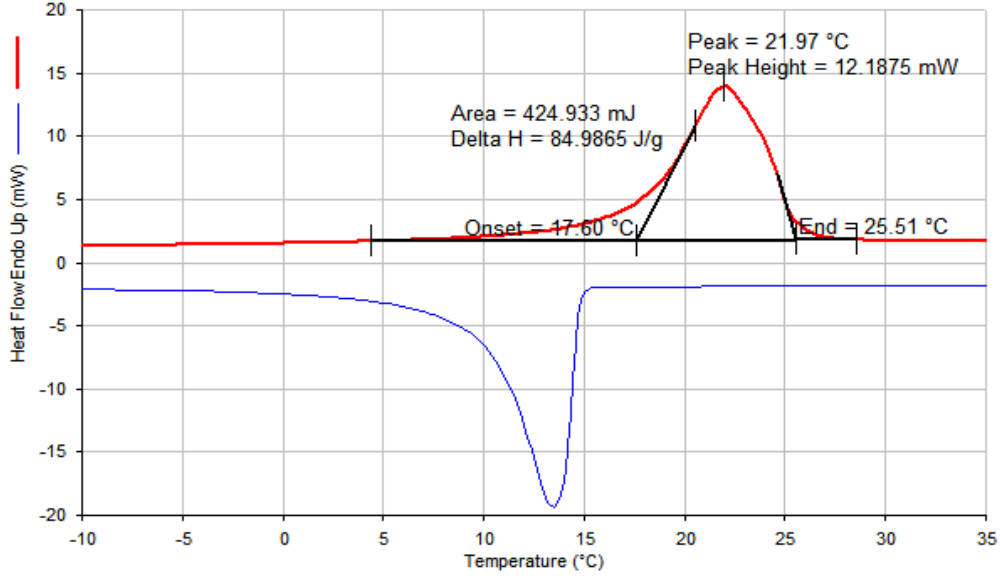
3.1 FDM Geliştirilmesi

Çalışmada Kaprik Asit, Laurik Asit, Miristik Asit ve Palmitik Asit yağ asitleri karışımları incelenmiştir. Bu yağ asitlerinin ikili karışımları hazırlanarak ötektik davrandığı bileşimler belirlenmiştir. Bina konfor sıcaklığına uygun 16 karışım içerisinde yüksek gizli ısıya, konfor sıcaklığına uygun erime noktasına, ötektik davranışa sahip Kaprik Asit- Miristik asit (75:25 w/w) karışımı seçilmiştir. Bu karışıma ait Şekil 3'te verilen DSC eğrisinden görüleceği gibi karışımın erime noktası 26,04°C, gizli ısısı ise 156,5 J/g'dır.



Şekil 3. Kaprik Asit-Miristik asit (75:25 w/w) karışımının DSC eğrisi

Belirlen FDM'nin beton içerisindeki stabilitesini arttırmak ve olası sızıntıları önlemek için mikrokapsülleme çalışmaları yapılmıştır. FDM'nin polimer bir kabuk içerisinde kapsüllemesi ile dış ortamla etkileşiminin önlenmesi ve FDM eridiğinde akma davranışının önüne geçilmesi hedeflenmiştir. Ayrıca yüzey alanı artırılarak etkin bir ısı transferi sağlanacaktır. Mikrokapsüllemiş yağ asitleri karışımı için elde edilen DSC eğrisi Şekil 4'te verilmiştir. MFDM'lerin erime noktası 21,97 ve gizli ısısı 84,98 J/g olarak ölçülmüştür. FDM'nin kapsülleme oranı Eşitlik 1'e göre hesaplanmış ve %54 olarak bulunmuştur.

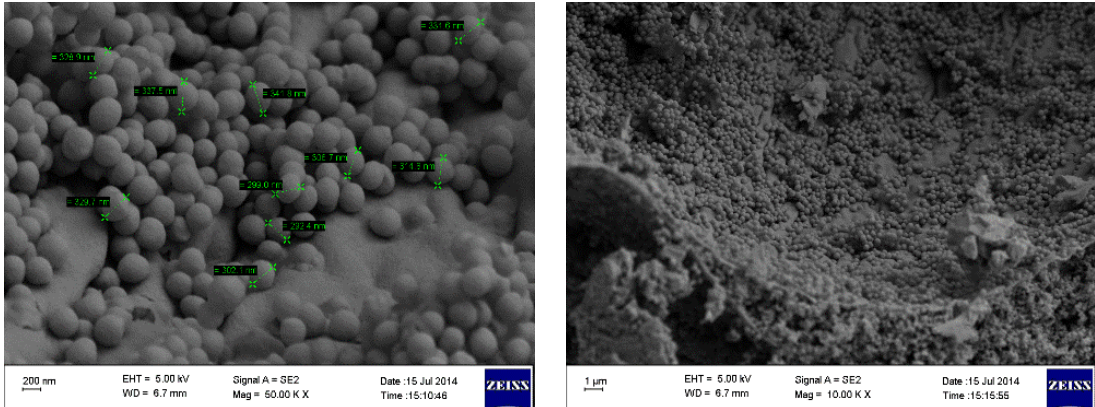


Şekil 4. Mikrokapsülenmiş Kaprik Asit-Miristik asit (75:25 w/w) karışımının DSC eğrisi

$$\text{Kapsülleme Oranı (\%)} = \frac{\Delta H_{FCM}}{\Delta H_{mFCM}} \times 100 \quad (\text{Eşitlik 1})$$

3.2 Mikrokapsüllü Beton Karışımları

Hazırlanan beton numunelerinin içeriğinde bulunan kapsüllerin karıştırma sonucunda sağlamlığının belirlenmesi amacıyla hazırlanan örneklerin yüzey morfolojisi SEM analizi ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 5'teki SEM görüntüleri incelendiğinde, mikrokapsüllerin beton içerisinde küresel şekillerini koruduğu ve herhangi bir deformasyon ya da kırılmaya uğramadığı görülmüştür. Öte yandan, FDM içeren betonların yoğun ve homojen olduğu görülmektedir. Bu durum kapsülleme yöntemi ve kabul materyalinin bina uygulamalarında kullanılabilirliğinin uygun olduğunu göstermektedir.

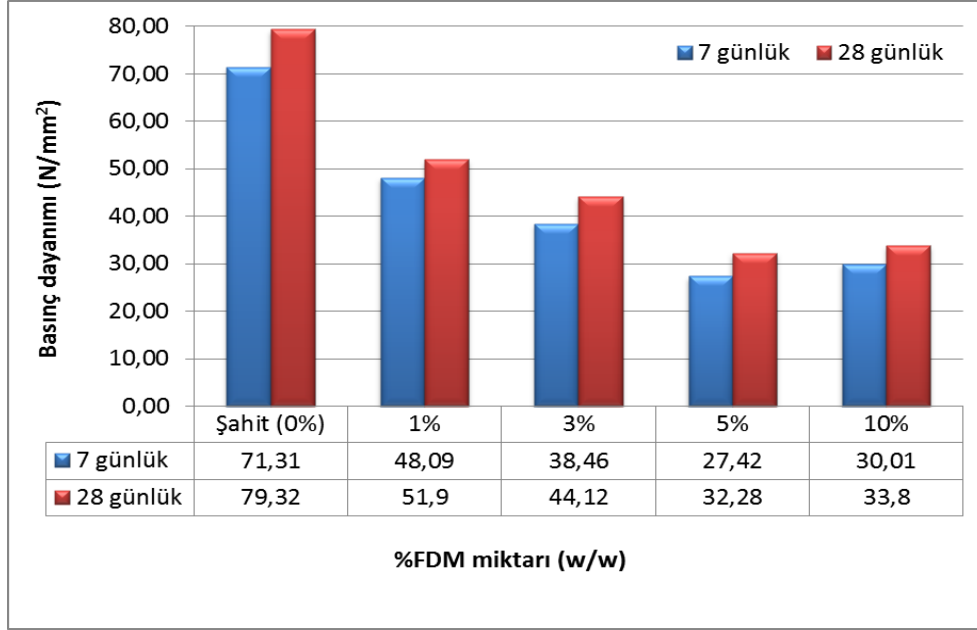


Şekil 5. Mikrokapsüllerin beton içerisindeki dağılımını gösteren SEM görüntüleri

3.3 Basınç Dayanım Testleri

Test kulübesinde kullanılacak panellere eklenecek optimum FDM miktarının belirlenmesi amacıyla beton karışımına çeşitli oranlarda mikrokapsülenmiş FDM eklenip, basınç dayanımları

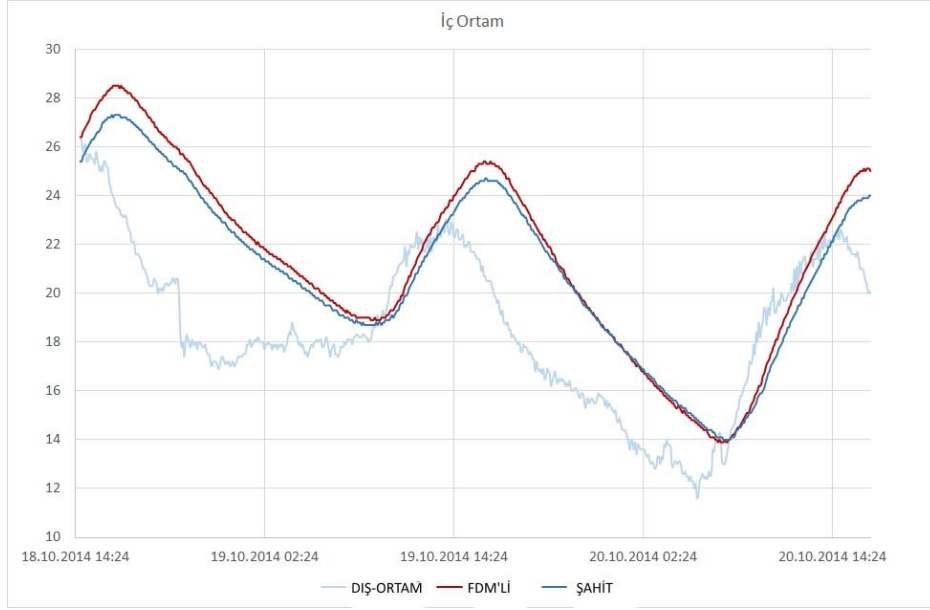
karşılaştırılmıştır. Şekil 6'da gösterildiği üzere, genel olarak basınç dayanımlarındaki değişim; eklenen FDM oranı arttıkça, basınç dayanımının azaldığı yönündedir. Fakat en düşük basınç dayanım değerine sahip olması beklenen %10luk küp numunelerin 28 günlük basınç dayanım değerleri 30 N/mm² nin üstünde olup, C30 sınıfı koşullarını sağlamaktadır (TS 500). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik'de 3.2.5.1 maddesinde deprem bölgelerinde yapılacak betonarme binalarda C20'den daha düşük dayanımlı beton kullanılmayacağını belirtilmektedir [18]. Buna göre elde edilen basınç dayanım değeri birçok uygulama için yeterli görüldüğünden test kulübelerinde ağırlıkça %10 MFDM içeren beton karışımı kullanılmıştır.



Şekil 6. mFDM'li beton küp numunelerinin 7 ve 28 günlük basınç dayanım sonuçlarının karşılaştırması.

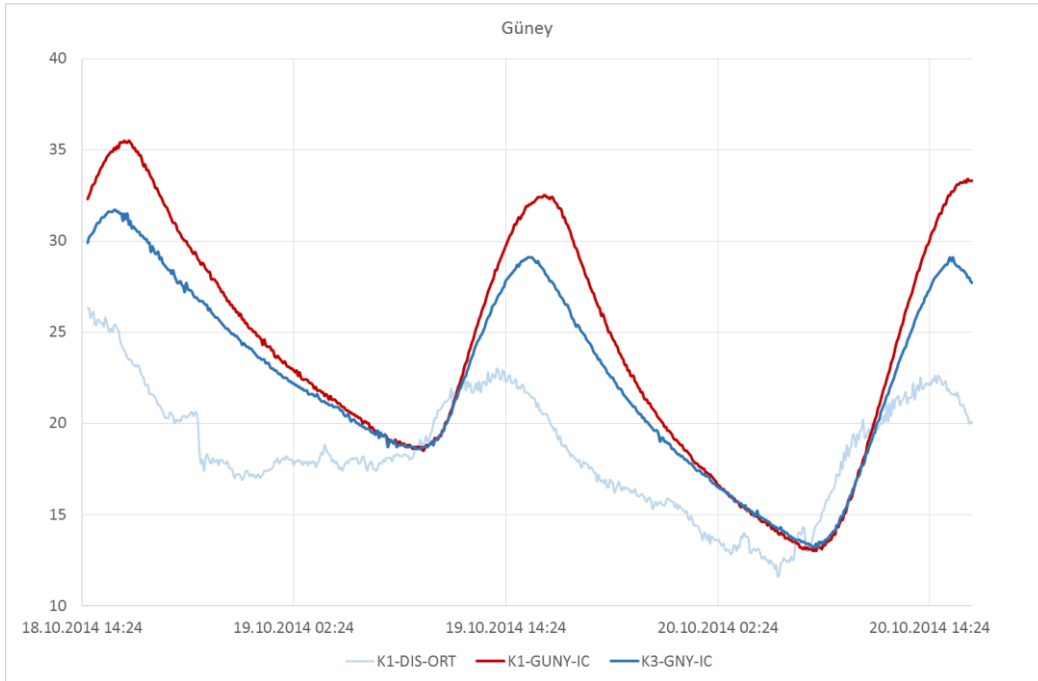
3.4 Test Kulübeleri ve İlk Ölçümler

İnşa edilen test kulübelerinde, belirlenen noktalardan 1 yıl boyunca sıcaklık, ısı akısı ve güneş ışınımı verileri Eylül 2014 itibaren alınmaya başlanmıştır. Burada 18-20 Ekim 2014 tarihindeki iç ortam ve güney paneli sıcaklıkları tartışılacaktır. Şekil 7'de MFDM'li test kulübesi ile FDM eklenmemiş panellerden oluşan şahit kulübesinin iç ortam sıcaklıkları ve dış ortam sıcaklıkları karşılaştırılmıştır. Grafikten görüleceği üzere gece-gündüz sıcaklık farkının arttığı ve erime sıcaklığının üzerine çıktığı günlerde FDM etkisini daha fazla göstermektedir. Şahit kulübesi ile karşılaştırıldığında iç ortam sıcaklıklarında 1,3°C'ye varan kazanç sağladığı görülmektedir. Ayrıca FDM'nin depolama özelliği şahit kulübede 12:00–14:00 arasında görülen pikin, FDM'li kulübede yaklaşık 3 saat gecikmeyle görülmesine neden olmaktadır. Bu durum elektriğin yoğun kullanıldığı saatlerde ısıtma/soğutma yükünün hafifletilmesine yardımcı olmaktadır.



Şekil 7. Şahit kulübe ve MFDM'li test kulubesinin iç ortam sıcaklıklarının karşılaştırması.

Şekil 8 şahit kulübe ve MFDM'li test kulubesinin güney duvarının iç yüzeyinden alınan sıcaklıkları göstermektedir. Grafik incelendiğinde gündüz saatlerinde güneşten gelen ışıma ile birlikte panel yüzeylerindeki sıcaklıkların yükseldiği, FDM'li panelin (kırmızı eğri) günün pik saatlerinde yaklaşık 5°C sıcaklık farkıyla daha fazla ısı depoladığı görülmektedir. FDM'li panel bu sayede bir önceki grafikte tartışılan iç ortam konfor sıcaklığına daha fazla katkı sağlamıştır.



Şekil 8. Şahit kulübe ve mFDM'li test kulubesinin güney cephe iç yüzey sıcaklıklarının karşılaştırması

SONUÇLAR

Yapılan çalışmada, yağ asidi ötektik karışımları kullanılarak bina ısı konforunun sağlanması ve enerji tasarrufu amacıyla FDM'li mikrokapsüller geliştirilmiş ve bunların beton içerisindeki kullanımı için optimum FDM miktarı belirlenmiştir. Beton içerisindeki artan FDM miktarı ile depolama özelliği artmakta ancak basınç dayanımı düşmektedir. Bu yüzden çalışmada basınç dayanım değerleri belirleyici faktör olarak değerlendirilmiştir. Bu değer deprem bölgelerinde yapılacak binalar için C30 beton sınıfı olarak tavsiye edilmektedir. Beklendiği gibi eklenen mikro kapsül miktarıyla orantılı olarak basınç dayanımı ve beton sınıfının düştüğü gözlemlenmiş ancak, ağırlıkça %10 MFDM içeren beton örneklerinin 28 günlük basınç dayanımı sonuçlarının kullanım amacına uygun olduğu görülmüştür. %10 MFDM eklenmesi ile elde edilen beton numunelerinin sınıfı C30 (TS 500) olarak belirlenmiştir. Bu değer deprem bölgelerinde yapılacak binalarda kullanılacak beton sınıfına uygun görülmektedir. Mikro kapsüllerin beton içerisindeki morfolojik yapıları SEM analizi ile incelenmiş, sertleşmiş beton numunelerinin kırılmasıyla elde edilen görüntülerde mikrokapsüllerin kırılmadığı ve küresel yapılarını koruduğu gözlemlenmiştir. Adana'da inşa edilen test kulubelerinden alınan Ekim ayındaki ilk veriler değerlendirildiğinde, FDM kullanımıyla iç ortam sıcaklıklarında 1,3°C'ye varan kazanç sağlandığı görülmektedir. Ayrıca, maksimum sıcaklık pikinin yaklaşık 3 saat ertelenmesiyle elektriğin yoğun kullanıldığı saatlerde ısıtma/soğutma yükünün hafifletilmesine de katkı sağlanabilmektedir. Ölçümlere bir sene boyunca devam edilerek yıllık ısıtma ve soğutma yükü üzerindeki etkileri belirlenecektir. Binalarda FDM kullanımı ile ısı konforunun sağlanmasına yardımcı olması hedeflenen bu çalışmanın ilerleyen aşamalarında farklı iklim koşulları için simülasyonlar yapılarak yaygın ekonomik etkinin araştırılması planlanmaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırmalar Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 111M557 no'lu araştırma projesi kapsamında desteklenmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Enerji Verimliliği Strateji Belgesi, (2012), Resmi Gazete, Sayı: 28215
- [2] Asadi, E., Da Silva, M. G., Antunes, C. H., & Dias, L. (2012). Multi-objective optimization for building retrofit strategies: a model and an application. *Energy and Buildings*, 44, 81-87..
- [3] Anbarcı, Murat, Ömer Giran, İsmail Hakkı Demir, (2011). Uluslararası Yeşil Bina Sertifika Sistemleri ile Türkiye'deki Bina Enerji Verimliliği Uygulaması, 6. İnşaat Yönetimi Kongresi, 25-26-27 Kasım, Bursa.
- [4] Pomianowski, M, Per Heiselberg, and Jinping Zhang (2013) "Review of thermal energy storage technologies based on PCM application in buildings." *Energy and Building* 67: 56-69.
- [5] Schossig, P., Henning, H. M., Gschwander, S., & Hausmann, T. (2005). Micro-encapsulated phase-change materials integrated into construction materials. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 89(2), 297-306.
- [6] Banu, D., Feldman, D., & Hawes, D. (1998). Evaluation of thermal storage as latent heat in phase change material wallboard by differential scanning calorimetry and large scale thermal testing. *Thermochimica Acta*, 317(1), 39-45.
- [7] Chen, X., Worall, M., Omer, S., Su, Y., & Riffat, S. (2014). Experimental investigation on PCM cold storage integrated with ejector cooling system. *Applied Thermal Engineering*, 63(1), 419-427.
- [8] Lai, C. M., Chen, R. H., & Lin, C. Y. (2010). Heat transfer and thermal storage behaviour of gypsum boards incorporating micro-encapsulated PCM. *Energy and Buildings*, 42(8), 1259-1266.



- [9] Carbonari, A., De Grassi, M., Di Perna, C., & Principi, P. (2006). Numerical and experimental analyses of PCM containing sandwich panels for prefabricated walls. *Energy and Buildings*, 38(5), 472-483.
- [10] Konuklu, Y., & Paksoy, H. Ö. (2009). Phase change material sandwich panels for managing solar gain in buildings. *Journal of Solar Energy Engineering*, 131(4), 041012.
- [11] Cabeza, L. F., Castellon, C., Nogues, M., Medrano, M., Leppers, R., & Zubillaga, O. (2007). Use of microencapsulated PCM in concrete walls for energy savings. *Energy and Buildings*, 39(2), 113-119.
- [12] Hunger, M., Entrop, A. G., Mandilaras, I., Brouwers, H. J. H., & Founti, M. (2009). The behavior of self-compacting concrete containing micro-encapsulated Phase Change Materials. *Cement and Concrete Composites*, 31(10), 731-743.
- [13] David, D., Kuznik, F., & Roux, J. J. (2011). Numerical study of the influence of the convective heat transfer on the dynamical behaviour of a phase change material wall. *Applied Thermal Engineering*, 31(16), 3117-3124.
- [14] K. Cellat, I. Varkal, HO Paksoy, C. Güngör, Y Konuklu, O Karahan, *et al.*(2013), Enhancing thermal properties of concrete mixtures with phase change materials, Second international conference on sustainable energy storage in buildings, Dublin, Ireland, pp. 19–21.
- [15] Ling, T. C., & Poon, C. S. (2013). Use of phase change materials for thermal energy storage in concrete: An overview. *Construction and Building Materials*, 46, 55-62.
- [16] Baetens, R., Jelle, B. P., & Gustavsen, A. (2010). Phase change materials for building applications: a state-of-the-art review. *Energy and Buildings*, 42(9), 1361-1368.
- [17] Jeong, S. G., Chung, O., Yu, S., Kim, S., & Kim, S. (2013). Improvement of the thermal properties of Bio-based PCM using exfoliated graphite nanoplatelets. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 117, 87-92.
- [18] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (<http://www.koeri.boun.edu.tr/depremmuh/eski/DBYBHY-2007-KOERI.pdf>)

ÖZGEÇMİŞ

Kemal CELLAT

1983 yılında İstanbul'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Sarıyer İlköğretim Okulunda, lise öğrenimini ise Sarıyer Lisesinde tamamladı. 2001 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümüne girdi. 2007 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 1 yıl süreyle YADİM'de İngilizce hazırlık okudu. 2011 yılında yüksek lisans eğitimini tamamladı. Ardından aynı üniversitede doktora eğitimine başladı. Doktora eğitimi devam etmekte olup, bina uygulamalarında faz değiştiren maddelerle termal enerji depolama konusunda araştırma yapmaktadır.

Beyza BEYHAN

1 Nisan 1981 de Bolu'da doğdu. İlk ve ortaöğrenimini Mersin'de tamamladıktan sonra 1999 yılında kazandığı Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Kimya Bölümünü 2004 yılında tamamladı. 2006 yılında bir sene aldığı hazırlık eğitiminden sonra Çukurova Üniversitesi Kimya Bölümünde yüksek lisans eğitimine ve bu eğitimi tamamladıktan sonra 2011 yılında aynı üniversitede Doktora programına başladı. Halen doktora eğitimi devam etmekte olup Kimya Bölümü Fizikokimya Anabilim Dalı'nda faz değiştiren maddelerle termal enerji depolama konularında çalışmaktadır.

**Halime 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 unvanıyla 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 unvanını 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 Antlaşmasını (IEA ECES IA) imzalamıştır. IEA ECES IA Yönetim Kurulunun 1999–2003 yılları arasında ve 2010 yılından beri Yönetim Kurulu Başkanlığı görevini yapmaktadır. International Journal of Solar Energy Society dergisinin enerji depolama konusunda editörlüğü görevini sürdürmektedir. Halen Çukurova Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümünde Profesör unvanı ile çalışmalarına devam etmektedir.

Okan KARAHAN

1977 yılında Kayseri’de doğdu. İlkokulu Feridun Cingilli İlkokulunda, orta ve lise öğrenimini ise Kayseri Nuh Mehmet Küçükçalık Anadolu Lisesinde tamamladı. 1999 yılında Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi’nden İnşaat Mühendisi unvanıyla mezun oldu. 2001 yılında Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümüne Araştırma Görevlisi olarak atandı. 2002 yılında Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nde yüksek lisansını ve 2006 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nde ise doktora eğitimini tamamladı. 2007 yılında Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne Yrd.Doç.Dr. olarak atandı. 2007-2008 yılları arasında Hava Kuvvetleri 1. Hava İstihkâm İnşaat Tabur Komutanlığında Asteğmen olarak askerlik görevini yaptı. 2010-2011 yılları arasında Kanada Ryerson Üniversitesinde doktora sonrası araştırmacı olarak çalıştı. 2013 yılında inşaat mühendisliği bilim alanında Doçent unvanını aldı. Halen Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde görevine devam etmektedir.

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 unvanı 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 Yardımcı Doçent unvanı ile çalışmaya başlamıştır. 2012 yılından itibaren çalışmalarını Niğde Üniversitesi, Nanoteknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde sürdürmektedir.

Cengiz DÜNDAR

1975 yılında Karadeniz teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 1980 yılında Birmingham Üniversitesi İnşaat mühendisliği bölümündeki doktora çalışmalarını tamamladı. Uzmanlık ve çalışma alanı: İnşaat mühendisliği-Yapı Mekaniği, Yapı Dinamiği Deprem mühendisliği, Hasarlı Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı.

Caner GÜNGÖR

2008 yılında Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği mezunu, 2010 yılından itibaren KAMBETON Aş Ar-ge departmanındaki görevini sürdürmektedir.