

Bina Yapı Malzemeleri İçin Mikrokapsüllenmiş Faz Değiştiren Madde Geliştirilmesi

Beyza BEYHAN

Çukurova Üniversitesi
Adana

Kemal CELLAT

Çukurova Üniversitesi
Adana

Okan KARAHAN

Doç. Dr.
Erciyes Üniv., Müh. Fak., İnşaat Müh.
Kayseri
okarahanerciyes.edu.tr

Yeliz KONUKLU

Yrd. Doç. Dr.
Niğde Üniv., Nanoteknoloji Uygulama
ve Araştırma Merkezi (NÜNAM)
Niğde
ykonuklu@gmail.com

Cengiz DÜNDAR

Prof. Dr.
Çukurova Üniv., İnşaat Müh. Bölümü
Adana
dundar@cukurova.edu.tr

Ganer GÜNGÖR

KAMBETON

Halime PAKSOY

Prof. Dr.
Çukurova Üniv., Fen Edebiyat Fak. Kimya Böl.
hopaksoy@cu.edu.tr

ÖZET

Binalarda enerji tüketiminin azaltılması ve yenilenebilir kaynaklardan daha etkin yararlanılması için son yıllarda faz değiştiren maddelerde (FDM) termal enerji depolanması konuları araştırılmaktadır. FDM termal enerjiyi gizli ısı şeklinde depolayan maddelerdir. FDM'nin yapı elemanlarında ve malzemelerde kullanımı bina ısıl kütlelerini artırarak, ısıtma ve soğutma yüklerini azaltabilmektedir. Bina yapı malzemesine eklenen FDM ile güneş enerjisinden pasif olarak yararlanma imkânı sağlanır ve bina içinde daha homojen bir sıcaklık dağılımı elde edilir. Çalışmamızda bina yapı malzemelerinde kullanılacak, bina konfor sıcaklıklarına uygun mikrokapsüllenmiş faz değiştiren madde (MFDM)'lerin geliştirilmesi hedeflenmektedir. Bu amaçla, inşa edilen test kulübelerinde kullanılmak üzere FDM olarak yağ asidi karışımı içeren ve gizli ısı değeri 97,8 J/g olan mikrokapsül geliştirilmiştir. Taramalı elektron mikroskobu analizleri (SEM) mikrokapsüllerin boyutlarının 250-480 nm arasında değiştiğini göstermiştir. MFDM'lerin beton harcı içerisinde eklendiğinde küresel görünümün korunduğu, kabuk kısmının zarar görmediği ve beton içerisinde mikroküreciklerin homojen dağıldığı gözlemlenmektedir. MFDM'li beton kullanılarak inşa edilen deneme kulübelerinde uygulama çalışmaları devam etmekte olup, bir yıl boyunca yapılacak ölçümlerle bina ısıtma/soğutma yüküne etkileri belirlenecektir. Binalarda enerji tasarrufunun artması ve CO₂ emisyonunun azaltılması beklenmektedir.

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

ABSTRACT

In recent years, thermal energy storage in phase change materials are investigated to not only reduce energy consumption in buildings but also benefit from renewable sources more effectively. Phase Change Materials (PCM) are substances that store thermal energy in the form of latent heat. Using PCM in building components and materials can reduce heating and cooling loads via increasing the thermal mass of building. Moreover, it provides to benefit from solar energy system passively and homogeneous temperature distribution in buildings. In our study, we aimed to develop microencapsulated phase change material (MPCM) that can be used in building construction elements and suitable for the comfort zone of the building. With this purpose, microcapsules containing fatty acid mixture as PCM, that have latent heat of 97,8 J/g, were developed. Scanning electron microscope (SEM) analysis showed that size of the microcapsules were in the range of 250-480 nm. When MPCM were added to concrete, the shells were not broken, the spherical geometry was preserved and microspheres were homogeneously distributed in the concrete mix. Experimental studies in test building that was built using concrete with MPCM is on going and the effects on heating/cooling loads in building will be determined with the year around measurements. It is expected that energy conservation in buildings will be increased and CO₂ emissions will be reduced.

Keywords: Thermal Energy Storage, Phase Change Material, Energy Performance In Buildings.

Geliş Tarihi : 12.10.2014

Kabul Tarihi : 02.02.2015

Beyhan, B., Cellat, K., Karahan, O., Konuklu, Y., Dündar, C., Güngör, C., Paksoy, H., "Bina Yapı Malzemeleri İçin Mikrokapsüllenmiş Faz Değiştiren Madde Geliştirilmesi", Teskon 2015 Bildiriler Kitabı, s. 1469-1480, 2015.

1. GİRİŞ

Ülkemizde nüfus artışı, sanayi ve teknolojiadaki gelişmelere bağlı olarak enerji ihtiyacı artmaktadır. Sektörler ve kullanım alanlarına göre toplam enerji tüketim oranları incelendiğinde meskenlerdeki enerji tüketiminin ikinci sırada yer aldığı görülmektedir [1]. Bu nedenle özellikle binalarda yenilenebilir enerji kullanımı, enerji verimliliği ve tasarrufu konuları önem kazanmaktadır. Bina sektöründe %35 düzeyinde enerji tasarrufu potansiyeli olduğu saptanmıştır. Binalarda enerji tüketiminin azaltılması ve yenilenebilir kaynaklardan yararlanılması için son yıllarda FDM'lerde termal enerji depolaması konuları araştırılmaktadır [2]. FDM'nin yapı elemanlarında ve malzemelerde kullanımı bina ısıl kütlelerini artırarak, ısıtma ve soğutma yüklerini azaltabilmektedir. FDM termal enerjiyi gizli ısı şeklinde depolayan maddelerdir. Enerji alan madde erir ve tekrar donarken aldığı bu enerjiyi geri verir. Böylece ortam sıcaklığı faz değişim sıcaklığına çok yakın bir sıcaklık aralığında tutulmuş olur. Isı depolama amacıyla, belirli sıcaklıklarda faz değişimlerine uğrayan ve gizli ısı değerleri yüksek olan materyallerden yararlanılır. Gece dış ortam sıcaklığının düşmesiyle donan FDM ısı salarak binanın ısınmasına katkı sağlar. Böylece güneş enerjisinden yararlanılarak bina içerisindeki ısının homojen olarak dağılmasına olanak sağlanır. FDM'nin mikrokapsüllemiş olarak veya doğrudan uygulanmasıyla soğutmada %30'a, ısıtmada ise %20'lere varan tasarruf sağlanmıştır [3, 11]. FDM olarak genellikle parafin, sandviç panel uygulamalarının bazılarında ise tuz çözeltileri denenmiştir. Kapsülsüz doğrudan FDM uygulamalarında parafinin gözenekli yapıdan dışarıya akması, araştırmaları kapsüllemiş FDM kullanımına yöneltmiştir.

Çalışmamızda bina yapı malzemelerinde kullanılacak, bina konfor sıcaklıklarına uygun mikrokapsüllemiş FDM'lerin geliştirilmesi hedeflenmektedir. Bu amaçla, inşa edilen test kulübelinde kullanılmak üzere FDM içeren mikrokapsül geliştirilmiş ve beton harcı içerisine eklenerek morfolojileri incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Kullanılan Kimyasallar

Bina yapı malzemesi olan harçlar ile birlikte kullanılacak FDM seçiminde öncelikle bina için uygun konfor sıcaklığı belirlenmelidir. Bu sıcaklık iklimle bağlı olup %50 bağıl nem ve 20 ile 25 °C olarak kabul görmektedir [12]. FDM'lerin seçimi sırasında iklimin yanı sıra aşağıdaki kriterler de dikkate alınarak yağ asidi karışımı olan kaprik/miristik asit karışımının kullanılmasına karar verilmiştir.

- Yüksek erime ısısına sahip,
- Tersinir erime donma döngüsünü tamamlayan,
- Tekrarlanan erime donma döngüsünde bozunmayan,
- Yanmayan, toksik olmayan ve patlamayan,
- Aşırı soğuma göstermeyen,
- İyi termal iletkenliğe sahip,
- Ucuz ve kolay bulunabilir olmaları.

Uygun FDM seçiminin ardından FDM'lerin beton karışımlarıyla birlikte kapsüllemeye kullanılması için uygun yöntem araştırılmış ve kapsülleme işleminin emülsiyon polimerizasyonu yöntemiyle yapılması planlanmıştır. Deney kapsamında kullanılacak kimyasallar ve miktarları Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1. Emülsiyon Polimerizasyonu ile Kapsülleme İşleminde Kullanılacak Kimyasallar

	Kimyasal	Miktar
Yağ asidi	%75 kaprik asit -%25 miristik asit karışımı	25 g
Monomer	metil metakrilat (MMA)	50 g
Komonomer	2-hidroksi etil metakrilat (2-H-EMA)	2,5 g (%5)
Çapraz Bağlayıcı	Etilen glikol dimetakrilat (EGDM)	10 g
Yüzey aktif madde	Triton x 100	5 g
Emülsiyon ortam başlatıcıları	Demir sülfat çözeltisi	3 ml
	Amonyum persülfat	0,5 g
	Sodyum tiyosülfat	0,25 g
	%70'lik tersiyerbütül hidroperoksit	1 g

2.2. Kullanılan Cihazlar

Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC): MFDM gizli ısılarını ve faz değiştirme aralıklarını belirlemek amacı ile Perkin Elmer Diamond marka DSC cihazı kullanılmıştır. Yapılan analizler 1 °C/dk ısıtma-soğutma hızında, 10 ile 40 °C sıcaklık aralığındadır ve ısınma eğrisi üst bölgede gösterilmektedir.

Veri Kaydetme Cihazı ve Su Banyosu: Faz değiştirme aralığının ve faz değişim davranışının incelenmesi amacı ile ısınma soğuma eğrileri, MFDM'nin beklenen faz değişim aralığını da içine alan bir sıcaklık aralığında zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ölçülerek belirlenmiştir. Bu sıcaklık aralığının sağlanabilmesi için Huber marka su banyosu kullanılmış ve Agilent 34970A marka datalogger ve 34901A 20 kanallı multiplekser ile 10 saniyede bir ölçüm alınarak, sıcaklık verileri özel veri tabanında kaydedilmiştir. Sıcaklık ölçümü N/N-24-T tipi çift duyarlıklı ısı çiftleri ile yapılmıştır. Isıl çiftlerin çalışma sıcaklık aralığı -100 – 370 °C arasında olup, ±0,5 °C hassasiyette ölçüm yapabilmektedir.

Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM): Mikrokapsüllerin görüntüleme ve boyut analizi Zeiss Supra 55 marka SEM analizi ile yapılmıştır.

2.3. Mikrokapsülleme İşlemi

1. Aşama - Emülsiyon hazırlanması: Aşağıdaki bileşenler 200 ml deiyonize su içerisinde 50 °C sıcaklıkta 3000 dev/dk yarım saat karıştırılarak emülsiyon hazırlanmıştır.

- Yağ asidi
- Monomer
- Komonomerler
- Çapraz bağlayıcı
- Yüzey aktif madde

2. Aşama - Başlatıcı Eklenmesi: Emülsiyon ortamına başlatıcı olarak eklenenler aşağıda verilmiştir.

- Demir sülfat çözeltisi (0,15 gram demir sülfat 100 mL deiyonize su içerisinde çözülerek hazırlanmıştır).
- Amonyum persülfat

3. Aşama - Mikrokapsül Oluşumu, Züzme ve Kurutma:

Bu aşamada aşağıdaki bileşenler ilave edilip, 80 °C'de 500 dev/dk hızda karıştırmaya devam edilmiştir. Beş saat karıştırma sonunda sulu ortamdan süzülerek alınan mikrokapsüller etüvde 50 °C sıcaklıkta kurutulmuştur.

- 0,25 g sodyumtiosülfat
- 1g %70'lik tersiyerbütül hidroperoksit çözeltisi

2.4. MFDM'nin Beton Karışımlarına Eklenmesi

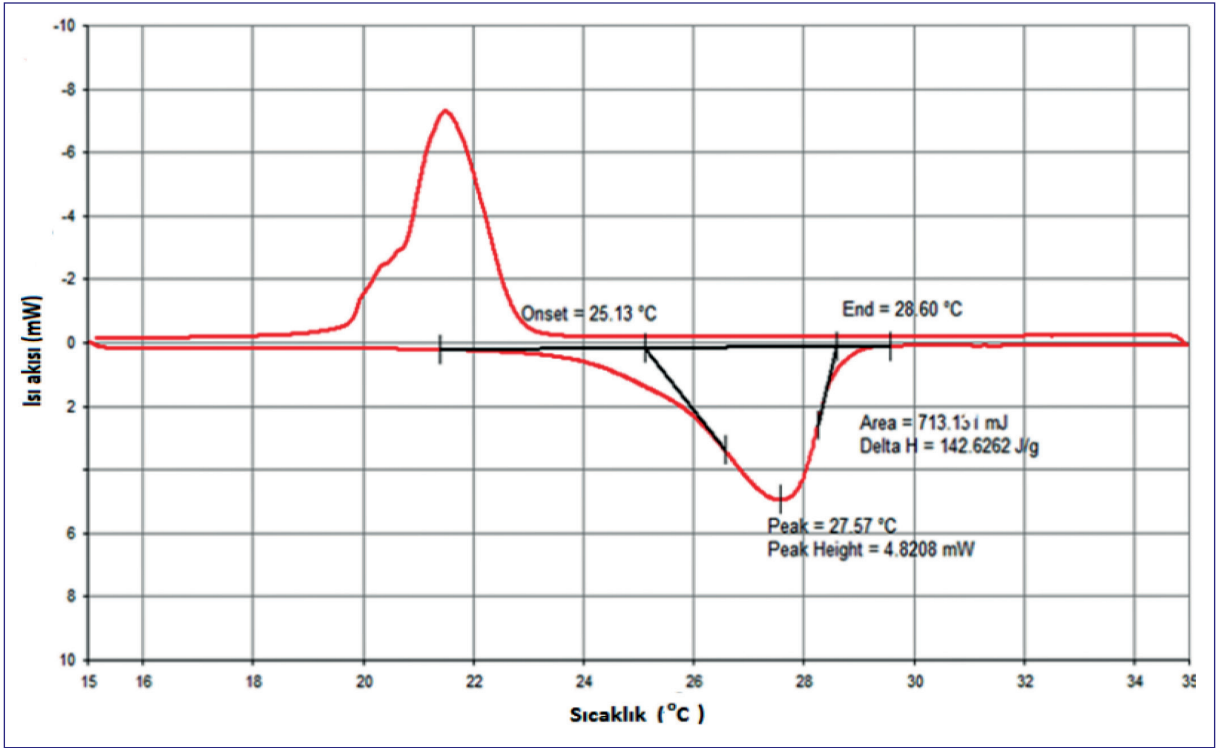
Seçilen mikrokapsül adayının kabuk malzemesinin beton karışımı içindeki davranışını incelemek üzere 7x7x7 cm ebatlarında %10 MFDM içeren standart küp beton (çimento, su, agregası, akışkanlaştırıcı kimyasal katkı) numunesi oluşturulmuş ve kırılan numunenin iç tarafından alınan örneklerden SEM görüntüleri alınmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

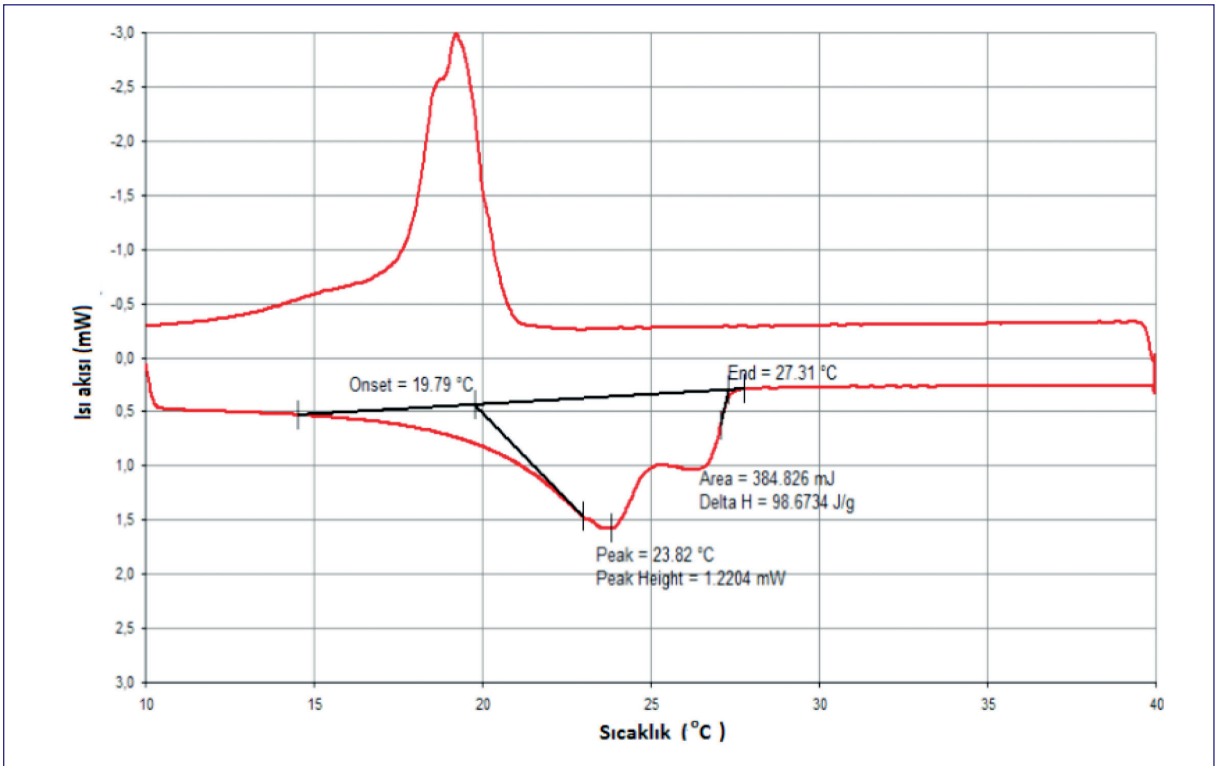
FDM ve MFDM örneklerinin DSC analizleri Şekil 1 ve Şekil 2'de gösterilmektedir ve endotermik pik aşağı bölgede bulunmaktadır. Analiz sonuçlarına göre gizli ısı değerleri sırasıyla 142,6 J/g ve 98,7 J/g, erime aralığı FDM için 25,1-28,6 °C MFDM için 19,8-27,3 °C bulunmuştur. Etkin madde yükleme kapasitesi (EMYK) aşağıdaki eşitlik kullanılarak %69,2 olarak hesaplanmıştır.

$$EMYK = \frac{\text{mikrokapsüllenmiş FDM } \Delta H}{\text{kapsüllenmemiş FDM } \Delta H} \times 100$$

Mikrokapsülleme işlemi FDM gizli ısını düşürmektedir. Literatürde farklı yöntem ve farklı faz değiştiren madde kullanılarak üretilen mikrokapsüller için EMYK oranları incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. He ve Qui yaptıkları çalışmalarında faz değiştiren madde (çekirdek) olarak alkan gruplarını seçmişler ve kapsülleme oranlarını sırasıyla %41,8 ve %66,0 olarak hesaplamışlardır [13, 14]. Song ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada ise yağ asidi karışımı mikrokapsülleyerek EMYK değeri %56,7'dir. Sonuç olarak yağ asidi karışımının kapsülendiği bu çalışma için hesaplanan mikrokapsülleme yüzdesinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir.



Şekil 1. Faz Değiştiren Maddenin DSC Analizi



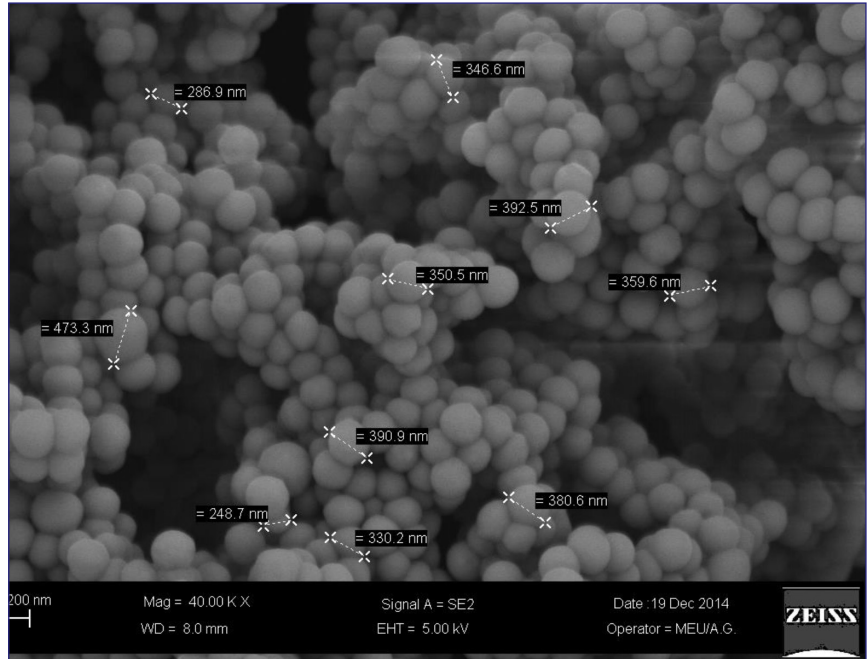
Şekil 2. Mikrokapsülenmiş Faz Değiştiren Maddenin DSC Analizi

Isınma ve soğuma eğrileri ve DSC analizleri incelendiğinde erime sıcaklıklarının iki farklı analizde de birbiri ile uyumlu ve çalışmada hedeflenen konfor sıcaklık aralığına uygun olduğu belirlenmiştir. Ancak donma sıcaklığında, aşırı soğuma nedeniyle donma aralıklarının erime aralıklarının altında olduğu görülmektedir (Şekil 3). Laboratuvarındaki uygulamada soğutma hızının yüksek olması nedeniyle numune içindeki sıcaklık farkının, ısı çift tarafından algılanmasının gecikmesine yol açmıştır. Bina uygulamalarında beton içinde faz değişiminin çok daha yavaş olacağı düşünüldüğünde aşırı soğumanın görülmeyeceği öngörülebilir. Ayrıca yapılan ölçümlerde 0,015 m çaplı deney tüpleri ve DSC analizlerinde kullanılan yaklaşık $2,5 \times 10^{-6}$ kg'lık örnek miktarlarının gerçek sistemdeki miktarlarla karşılaştırıldığında, aşırı soğuma görülmesinde etkili olduğu düşünülmektedir.

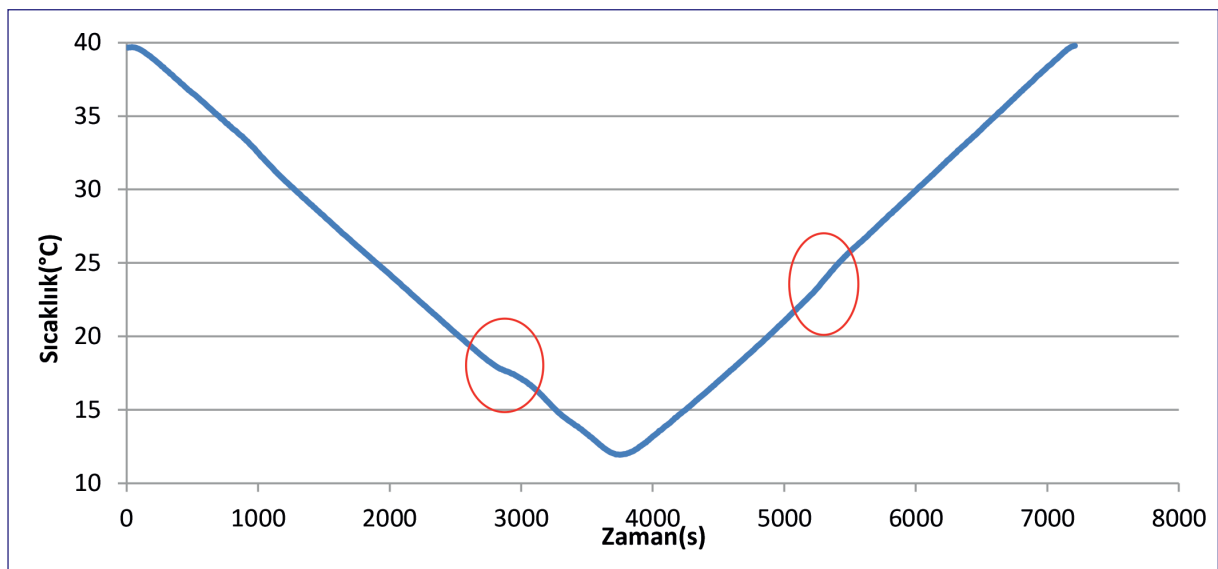
Şekil 4'de gösterilen MFDM SEM analizi sonucunda küre-

sel taneciklerin elde edildiği ve tanecik boyutlarının 250 nm-480 nm arasında değiştiği gözlemlenmektedir.

Binalarda Enerji Performansı Sempozyumu Bildirisi üretilen mikrokapsüllü beton denemesi için SEM görüntüleri (Şekil 5) incelendiğinde ise küresel görünümün korunduğu, kabuk kısmının zarar görmediği



Şekil 4. Mikrokapsülenmiş Faz Değiştiren Maddenin SEM Görüntüsü



Şekil 3. FDM Isınma-Soğuma Eğrisi

ve beton içerisinde mikroküreciklerin homojen dağıldığı gözlemlenmektedir.

SONUÇ

Çalışmamızda binalarda enerji performansını arttıracak bina yapı malzemeleriyle uyumlu MFDM üretilmiştir. Konfor sıcaklığında faz değiştiren yağ asidi karışımının kapsülленerek yapı malzemeleriyle kullanılabilir özelliklerde üretiminin optimizasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları değerlendirildiğinde geliştirilen MFDM'nin gizli ısı depolama kapasitesinin 98,7 J/g mikrokapsülleme oranının ise %69,2 olduğu ve beton içerisinde küresel yapısını koruyarak homojen dağıldığı gözlemlenmiştir. Binalarda enerji tüketiminin azaltılması ve yenilenebilir kaynaklardan yararlanılması için üretilen MFDM'nin proje kapsamında deneme kulübesinde kullanılarak mekanik ve termal etkileri incelenecektir.

Bildiri içerisinde geçen kısaltmalar:

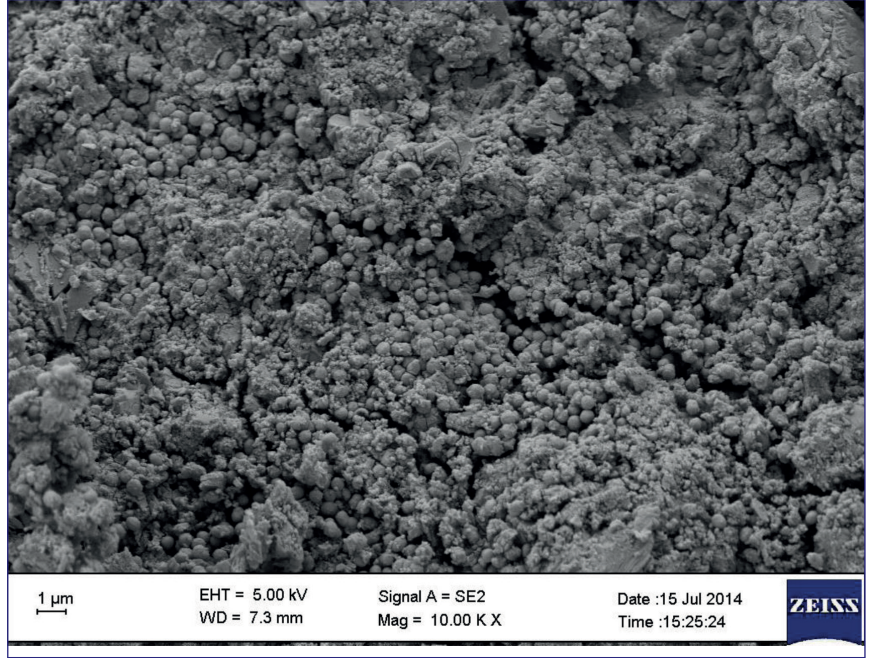
FDM	Faz değiştiren maddelerde
MFDM	Mikrokapsülленmiş faz değiştiren madde
DSC	Differansiyel Taramalı Kalorimetri
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
EMYK	Etkin madde yükleme kapasitesi

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK 111M557 no'lu proje kapsamında gerçekleştirilmektedir. Desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] www.tuik.gov.tr
- [2] Khudhair, A. M., Farid, M. M., A Review On Energy Conservation In Building Applications With Thermal Storage By Latent Heat Using Phase Change Materials, Energy Conversion



Şekil 5. Mikrokapsüllü Beton Numunesinden Alınan Örneğin SEM Görüntüsü

- And Management, 45, 263-275, 2003.
- [3] Zamalloa, A., Embil, M. J., Zuniga, J., Zubillaga, O., Cano, F., Flores, I., PCM Containing Indoor Plaster For Thermal Comfort And Energy Saving In Buildings 11th International Conference On Thermal Energy Storage, Effstock 2009, Stockholm, Sweden, 14-17 June 2009.
- [4] Schossing, P., Henning, H., M., Gschwander, S., Haussman, T., Microencapsulated Phase Change Materials Integrated Into Construction Materials, Solar Energy Materials & Solar Cells 89, 297-306, 2005,
- [5] Steildel, R. F. Jr., "An Introduction to Mechanical Vibrations", John Wiley & Sons. Inc., Aug. 1971.
- [6] Banu, D., Feldman, D., Hawes, D., Evaluation Of Thermal Storage As Latent Heat In Phase Change Material Wallboard By Differential Scanning Calorimetry And Large Scale Thermal Testing, Thermochemica Acta 317, pp: 39-45, 1998.
- [7] Chen, C., Guo, H., Lui, Y., Yue, H., Wang, C., Anew Kind Of Phase Change Material (PCM) For Energy-Storing Wallboard, Energy and Building 40, China, pp.882-890, 2008.
- [8] Lai, C., Chen, R. H., Lin, C., Heat transfer And

- Thermal Storage Behaviour Of Gypsum Boards Incorporating Microencapsulated PCM, *Energy and Buildings* 42, 1259-1266, 2010.
- [9] Carbonari, A., Grassi, De M., Perna, Di C., Principi, P., Numerical And Experimental Analyses Of PCM Containing Sandwich Panels For Prefabricated Walls, *Energy And Buildings*, 38, 472-483, 2006.
- [10] Konuklu, Y., Paksoy, H. Ö., Phase Change Material Sandwich Panels For Managing Solar Gain In Buildings, *Journal of Solar Energy Engineering*, vol. 131-041012, 2009.
- [11] Cabeza, L. F., Castellon, C., Nogues M., Medrano, M., Leppers, R., Zubillaga, O., Use Of Microencapsulated Pcm In Concrete Walls For Energy Savings, *Energy and Buildings* 39, 113-119, 2007.
- [12] Hunger, M., Entrop, A. G., Mandilaras I., Broowers, H. J. H., Founti, M., The Behaviour Of Self-Compacting Concrete Microencapsulated Phase Change Materials, *Cement&Concrete Composites*, 31, 731-743, 2009.
- [13] Konuklu, Y., Mikrokapşüllenmiş Faz Değiştiren Maddelerde Termal Enerji Depolama İle Binalarda Enerji Tasarrufu, (Doktora Tezi), Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008.
- [14] He, F., Wang, X., Wu, D., Phase-Change Characteristics And Thermal Performance Of Form-Stable N-Alkanes/Silica Composite Phase Change Materials Fabricated By Sodium Silicate Precursor, *Renewable Energy*, 74, 689-698, 2015.
- [15] Qiu, X., Lu, L., Wang, J., Tang, G., Song, G., Preparation And Characterization Of Microencapsulated n-Octadecane As Phase Change Material With Different N-Butylmethacrylate-Based Copolymer Shells, *Solar Energy Materials&Solar Cells*, 128, 102-111, 2014.
- [16] Song, S., Dong, L., Qu, Z., Ren, J., Xiong, C., Microencapsulated Capricstearic Acid With Silica Shell As A Novel Phase Change Material For Thermal Energy Storage, *Applied Thermal Engineering*, 70 546-551, 2014.