

# POLİESTER PERDELİK KUMAŞTA ISIL REGÜLASYON SAĞLAMAYA YÖNELİK MİKROKAPSÜL HAZIRLANMASI VE UYGULANMASI

*Zeliha GÜLER\**

*Dilek KUT\*\**

**Özet:** Kullandığı enerjinin önemli bir kısmını dışarıdan sağlayan ülkelerde enerjinin verimli olarak kullanılması ve böylece enerjiden tasarruf sağlanması gitgide önemli hale gelmektedir. Enerji giderlerinin minimize edilmesi için farklı yöntemler uygulanmaktadır. Son dönemlerde, ortamda bulunan mevcut enerjiyi daha verimli kullanmak ve ortamın ısısal konforunu arttırmak amacıyla faz değiştiren maddelerin (FDM) kullanımı önem kazanmaktadır. FDM'lerin erime ile donma/kristalleşme sırasındaki sıcaklıklarının sabit olması, bu maddelerin diğer maddelere göre daha fazla ısı absorbe etmesini sağlamaktadır. Bu çalışmada, kompleks koaservasyon yöntemi kullanılarak doğal polimerik malzeme olan jelatin-arap zıncı kabuk materyali içerisine yağ asidi ötektik karışımları (kaprik asit-palmitik asit) hapsedilerek, mikrokapsül eldesi sağlanmıştır. Mikrokapsülenmiş FDM'lerin, ev tekstili amaçlı kullanılacak %100 poliester perdelik kumaşa emdirme yöntemi ile uygulaması gerçekleştirilmiş ve ortamın ısıtma-soğutma yükünün azaltılması amaçlanmıştır. Mikrokapsüllerin morfolojik ve kimyasal yapıları ile termal özellikleri, sırasıyla, SEM, FT-IR ve DSC ile karakterize edilmiştir. Tekstillere kapsül uygulamasından sonra, kumaşlar simüle odacıkta ısı değişiminin belirlenmesi amacıyla teste tabi tutulmuştur. Sonuçlarda kapsül eldesinde kullanılan malzemelerin kumaşa aktarılması sonrasında, ortamın ısısal konforunu 0,5-1,5 °C iyileştirdiği gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Isıl regülasyon, mikrokapsülasyon, kompleks koaservasyon yöntemi, FDM.

## Preparation and Application of Microcapsules For Thermal Regulating Polyester Curtain Fabric

**Abstract:** It becomes more important subject to provide occupation from energy for the countries which provides the most of their energy from foreign countries. The different methods are used to minimize the energy expenses. Nowadays, using the energy more productive and using phase change materials (FDM) for raising ambient thermal comfort gain importance. Temperature of phase-change materials (FDMs) is stable during the melting and solidification. Accordingly, a FDM absorbs more energy than the other materials. In this study, eutectic mixtures of fatty acids (capric acid-palmitic acid) that used as an organic PCM core was entegrated in a shell based on naturel polimers gelatine- acacia by using the complex coaservation method and so produced microcapsules. Microencapsulated PCM's was applied on the %100 polyester fabric that are used as curtain and aimed reducing of heating and cooling load of environment. The morphological and chemical structures and thermal properties of microcapsules were characterized by SEM, FT-IR and DSC, respectively. After the microcapsule application to the textiles, they were tested in a simulated room to determine the thermal regulation. The results demonstrate that textiles recovered thermal comfort of the environment about 0,5-1,5°C.

**Keywords:** Thermoregulation, microencapsulation, complex coaservation method, PCM.

## 1. GİRİŞ

Günümüzde kullanılan enerji kaynaklarının en önemli sorunlarından biri yenilenebilir olması ve yakın bir gelecekte tükenerek olmasındır. Artan nüfus, şehirleşme ve endüstrileşme enerji gereksiniminin daha da artmasına neden olmaktadır. Enerji üretim ve tüketimindeki bu tablo araştırmacı-

\* Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 16059 Görükle, Bursa.

\*\* Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümü, 16059 Görükle, Bursa.

ları ekonomik, temiz ve çevreyle dost olan yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarını bulmaya itmektedir.

Dünya'daki en temiz, en ucuz ve en kolay temin edilebilen enerji, tasarruf edilen enerjidir (Tarakçıoğlu, 2010). Enerji tasarrufunun ve verimliliğinin artırılması, yeni enerji kaynaklarının devreye sokulmasından daha ekonomiktir (Yılmaz, 2005). Ortamda bulunan mevcut enerjiyi daha verimli kullanmak ve ortamın ısısal konforunu arttırmak amacıyla faz değiştiren maddelerin (FDM) kullanımı önem kazanmış ve kısa süreli enerji depolamalarda FDM kullanımı yaygınlaşmıştır. FDM'ler doğrudan veya kapsüllenmiş halde kullanılabilirler (Mondal, 2008). FDM'lerin kapsüllenmesindeki amaç, maddenin kapsül içinde hapsolarak faz değişimini kapsül içerisinde gerçekleştirmesidir. Böylece FDM'nin kullanımı kolaylaşırken, artan yüzey alanı ısı transferi açısından daha elverişli bir ortam sağlamaktadır (Konuklu, 2008).

Isıtma ve soğutma uygulamalarının verimliliğinin artırılmasında FDM'lerin ısı düzenleyici özelliğinden yararlanılmaktadır (Koo ve diğ., 2008). Bu maddeler içinde buldukları ortamın sıcaklığı faz değişim sıcaklığının üzerine çıktığında, çevreden ısı alırken (gizli ısı), soğuma esnasında bu ısıyı tekrar çevreye yaymaktadırlar. FDM'nin erime ile donma/kristalleşme sırasında sıcaklıkları sabittir. Bu prensipten hareketle bir FDM, diğer malzemelere nazaran daha fazla ısı absorbe eder. FDM ısınmaya başladığında pek çok malzeme gibi sıcaklığı yükselir. Erime noktasına ulaştığında, büyük miktarda ısı soğururken sıcaklığı sabit kalır. Ortam sıcaklığı düştüğünde ise FDM katılaşırken çevreye soğurduğu ısıyı salar. Böylece ortam sıcaklığının belirli bir aralıkta sabit kalmasını sağlar.

Faz değişim teknolojisinin kullanımı 1970'li yıllarda, NASA (National Aeronautics and Space Administration) tarafından yürütülen bir araştırma programına dayanmaktadır. Bu programdaki asıl amaç, astronot giysilerine uzaydaki aşırı sıcaklık dalgalanmalarına karşı termal koruma etkinliğinin kazandırılmasıdır (Alkan ve diğ., 2009). Sıcaklık düzenleme işlevli fonksiyonel tekstiller adı verilen tekstillerin araştırılması, üretimi ve kullanılması 1980'lerden beri giderek daha fazla önem kazanmıştır. Isı depolayan ve sıcaklık düzenleyici tekstillerin uygulama alanları, termal iç giysi, ceket, spor giysileri, dağ giysileri, profesyonel giyimde itfaiye üniformaları, uzay giysileri, askeri giysiler, özel eldivenler, perde ve yatak setleri, vs. gibidir (Dai ve Shen, 2006).

Bugüne kadar yapılan çalışmalar incelendiğinde, hem tekstil sektörü hem de diğer güneş kaynaklı ısı enerji depolayıcı ürünlerde, organik FDM'ler içerisinde en çok parafin ve yağ asitlerinin kullanıldığı görülmektedir. Tekstil ve giysi üretiminde kullanılan FDM'lerin erime sıcaklıkları 20-40°C arasındadır. Erime noktası 20-40°C aralığında olan pek çok FDM tekstil alanında kullanımı uygun olmasına rağmen, parafinler ve yağ asitleri özellikle ucuz olmaları ve toksik etki içermemeleri nedeniyle tercih edilmektedir. Dinamik ısı yönetimi gereken sıcaklık aralığına göre FDM seçimi yapılabileceği gibi, iki ya da daha fazla FDM'nin belirli oranlarda karışımı kullanılarak sistem sıcaklığı daha geniş bir aralıkta kararlı hale getirilebilir (Farid ve diğ., 2004, Alay ve diğ., 2009). Bu çalışmada ise, çevre ve insan sağlığı açısından, yağ asitlerinin ötektik karışımlarının FDM olarak kullanılmasına karar verilmiştir. Yağ asitleri birbirleriyle kolaylıkla karışabilirler ve termal özellikleri iyidir. Yağ asitlerinin erime sıcaklık aralıkları 30-60°C ve gizli ısı değerleri 153 kJ/Kg ile 182 kJ/Kg arasındadır. Yağ asitleri, parafin ve inorganik tuz hidratlarına alternatif olarak kullanılan biyomateryallerdir (Feldman ve diğ., 1989, Kauranen, 1991). Yağ asitlerinin en önemli olumsuzlukları maliyetlerinin, parafinlerden daha yüksek olmasıdır.

**Tablo 1. Bazı Yağ Asitlerinin Isıl Özellikleri**

Yağ Asidi	Ergime sıcaklığı (°C)	Ergime ısısı (kJ/kg)	Yoğunluk (kg/dm <sup>3</sup> )	Özgül ısı (kJ/kgK)	Isı iletimi (W/mK)
Kaprik Asit	31,5	153	0,886	-	0,149
Laurik Asit	42-44	178	0,870	1,6	0,147
Palmitik Asit	63	187	0,847	-	0,165
Stearik Asit	70	203	0,941	2,35	0,172

FDM olarak kullanılacak materyalin termo-fiziksel özellikleri (ergime sıcaklığı, entalpi, özgül ısı, ısı iletkenlik) ve ısı depolama açısından diğer özellikleri (tekrarlanan ısıtma soğutma çevriminde materyal özelliklerinin kararlılığı, aşırı ısınma ve soğuması), ısı düzenleyici özellik için önemli parametrelerdir.

FDM olarak kullanılacak maddelerin yüksek ısı iletkenliğe sahip olması gerekir. FDM'yi mikrokapsülleme ısı iletkenliği artırma yöntemlerinden birisidir. Düşük ısı iletkenlik, ısı depolama sırasında, ısı depolama ve geri kazanım zamanını arttırmakta ve ısı depolama etkinliğini düşürmektedir(Mazman ve diğ., 2008).

FDM'lerin tekstile uygulanabilmesi için: mikrokapsülleme yöntemi, polimer köpük oluşturma yöntemi, kumaşa kaplama yöntemi, ipliğe emdirme yöntemi gibi yöntemler kullanılmaktadır. FDM mikrokapsüllemeindeki ana amaç, maddenin kapsül içerisinde hapsolarak faz değişiminin kapsül içerisinde gerçekleşmesidir. Mikrokapsül polimerik bir duvar ve bu duvar tarafından kaplanmış sıvı maddeden oluşur. Kapsül duvarı, içerisindeki FDM'ye karşı inert bir maddedir. Kapsül hazırlanışı sırasındaki kullanılan materyal ve yöntemlere göre, kapsül boyutu 1 nm'den 1000 µm'ye kadar değişiklik gösterir. 1000 µm'den büyük kapsüllere makro kapsüller, 1 nm'den küçük olanlara nanokapsüller denir(Övez ve Yüksel, 1992, Sharma ve diğ.,2002)Kapsül kabuk kalınlığı 1 µm den az olabilir, kapsül büyüklükleri ise kapsülleme yöntemine bağlı olarak 20-40µm aralığında yer almaktadır.

Mikrokapsüller tanecik çapı, kabuk kalınlığı, ısı iletkenlik, dayanıklılık, esneklik ve maliyet gibi parametrelerle tanımlanmaktadır. Kapsül içerisindeki FDM içeriği %80-85'lere kadar çıkabilir. FDM'lerin mikrokapsüllemeinde kapsül maddesi olarak melamin, üre veya formaldehit gibi maddelerin ağırlıklı olarak kullanıldığı, ancak son yıllarda söz konusu maddelerin toksik etkilerinden dolayı yerini çevreye ve kişiye zararsız olan doğal polimerlere (kitosan, jelatin, arap zıncığı, ipek fibroini vb.) bıraktığı tespit edilmiştir.

Yapılış şekillerine göre çeşitli mikrokapsül yöntemleri vardır. Ara yüzey polimerizasyonu metodu, in-situ polimerizasyonu, faz ayrımı (koaservasyon) yöntemi, sprey kurutma metodu bunlardan bazılarıdır. En uygun ve en yaygın olarak kullanılmakta olan kimyasal prosesler, basit ve kompleks koaservasyon ve in-situ polimerizasyonu teknikleridir(Önder ve Sarier,2006). Tekstildeki mikrokapsülasyon uygulamaları, koku, kozmetik (nemlendirici vb), böcek kovucu madde, güç tutuşurluk maddeleri, vitamin ve ilaç uygulamaları, antimikrobiyel maddeler, boyarmadde ve FDM uygulaması şeklinde özetlenebilir(Celep,2007).

Bu çalışmada, mikrokapsülleme FDM'ler, ev tekstili amaçlı kullanılacak perdeler ve döşemelik kumaşlara uygulanarak, ortamın ısıtma-soğutma yükünün azaltılması hedeflenmiştir. Bu amaçla FDM maddesi olarak çevre ve insan sağlığı açısından daha az zararlı olduğu belirtilen yağ asitlerinin ötektik karışımlarının kullanılmasına karar verilmiştir.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

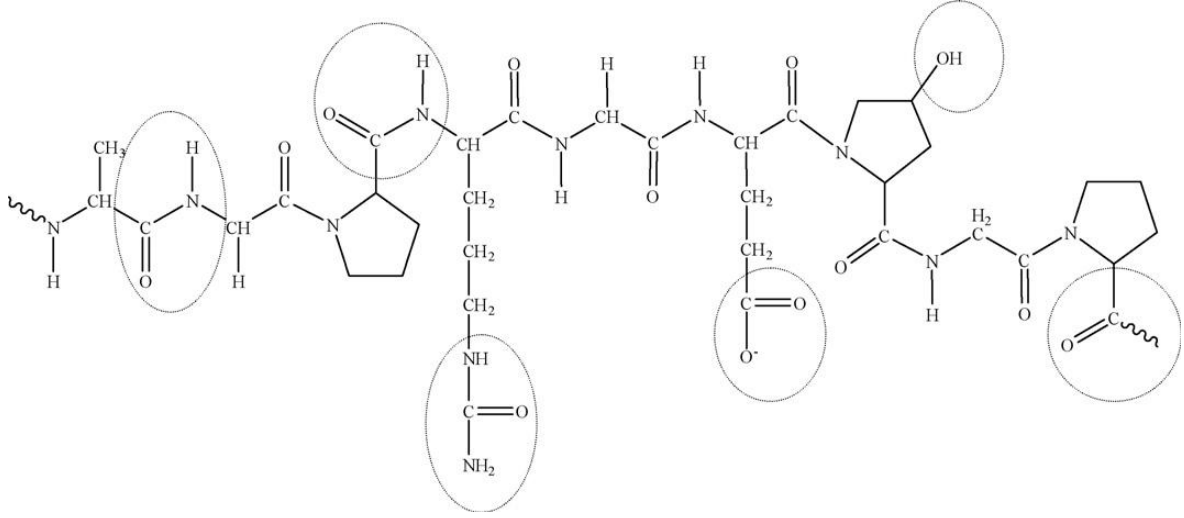
### 2.1. Materyal

Deneylerde, kaprik asit-palmitik asit ötektik karışımları çekirdek madde, jelatin-arap zıncığı kabuk madde olarak kullanılmıştır. Formaldehit ve glüteraldehit çapraz bağlayıcıları Merck'ten temin edilmiştir. Ayrıca mikrokapsülasyon işlemini uygulamak için %100 PES kumaş kullanılmıştır. Kumaşın ağırlığı 200 gr/m<sup>2</sup>, atkı sıklığı 26 atkı/cm, çözgü sıklığı 60 çözgü/cm ve atkı ile çözgü ipliği numarası sırasıyla, 150 ve 75 denyedir.

### 2.2. Metot

Kompleks koaservasyon yöntemiyle ısı regülasyon sağlayabilecek FDM'lerin mikrokapsülasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Koaservasyon yönteminde,çekirdek materyali polimer çözeltisi içerisinde dispers hale getirilmektedir. Polimer çözeltisinin çözülebilirliği karıştırılırken sıcaklığın düşürülmesi, pH'nın değiştirilmesi, iyon gradientinin yaratılması vb yöntemlerle faz ayrımı gerçekleştirilerek kabuk materyali oluşturulmaktadır. Bir çok doğal polimer bu metoda uygundur (Övez,B.,Yüksel,M., 2002, Erkan, 2008).

Kompleks Koaservasyon yöntemi, karşıt yükler taşıyan polimerlerin (Jelatin ve arap zıncığı gibi) birbirleriyle etkileşmesiyle, çözünürlüğün azalarak kompleks oluşumunu sağlaması ve faz ayrışması meydana gelmesi şeklinde tanımlanabilir. Bu etkileşme pH ve sıcaklık değişimiyle olmaktadır.



**Şekil 1:**

*Jelatinin kimyasal yapısı (kompleks koaservasyon boyunca polimerizasyondan sorumlu gruplar yuvarlak içindedir) (Önder ve diğ.,2008)*

DeneySEL çalışmaların yürütülebilmesi amacıyla BERTEKS AŞ. firmasında atmosferik koşullarda çalışan bir reaktör hazırlanmış, bu reaktörde doğal polimerlerle denemeler yapılmış ve prosesin gerekli yerlerinde manyetik karıştırıcıdan faydalanılmıştır. İşlem adımı aşağıda şematik halde gösterilmiştir. Çalışılan yöntemde mikrokapsüllerin büyüklüklerinin karıştırma hızına oldukça bağlı olduğu gözlenmiştir. Karıştırma hızı arttıkça mikrokapsüller daha küçük olmaktadır. Aynı işlem adımlarıyla ve madde miktarlarıyla ilerleyen deneylerde sadece pH değerinde yapılan değişikliklerde, örneğin pH 9,5–11 arası olan karışımlarda herhangi bir madde eldesi sağlanamazken, pH 9 ±0,3 değerinde mikrokapsül elde edilmiştir.

Çapraz bağlayıcı olarak kullanılan formaldehit yerine denenen gluteralehit, çözeltide istenmeyen renk değişimine sebep olduğundan tercih edilmemiştir. Formaldehit ilavesinin ardından çözelti soğutucu içerisine konulmuş ve partikül oluşumu artış göstermiştir.

**İşlem Adımları :** %12.5Jelatin Çözeltisi

(40-45 °C, karıştırma hızı 1200 dev/dak)

%75.2 Kaprik asit

%24.8 Palmitik asit

(pH 4 Asetik asit ile, Karıştırma hızı 1200 dev/dak)

%12.5Arap zıncığı

(Karışım su ile seyreltilmesi)

Formaldehit ilavesi (Oda sıcaklığında sabit tutma)

(pH 9 NaOH ile)

Soğutma 5-10°C, 2-4 saat bekletme

Filtreleme

Oda sıcaklığında kurutma

Hazırlanan mikrokapsül içerikli jel çözelti numuneleri, çözücü içerisinde çözülerek konvansiyonel fulard aplikasyonu uygulaması ile %100 Poliester perdelik kumaşa aktarılmış ardından 120°C’de kurutulmuştur. Fulard aplikasyonunda alınan flotte miktarı %70 olacak şekilde çalışma yapılmıştır.

Üretilen mikroskapsüllerin yüzey özelliklerini incelenmek için stereo mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu (SEM Carl Zeiss Evo 40, Uludağ Üniversitesi, Fizik Bölümü Mikroskopi Labo-

ratuarı), kimyasal içeriklerini analiz etmek için FTIR Nicolet 6700, Thermo Scientific ile KBr pelletleri üzerinden IR spektrumları, 4000-400  $\text{cm}^{-1}$  dalga sayısı aralığında kaydedilmiştir (Uludağ Üniversitesi Kimya Bölümü Laboratuvarı). Mikro FDM'lerin erime ve donma sıcaklıkları ile ısıları Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC, Perkin-Elmer Diamond) (Mettler Toledo) cihazı kullanılarak tespit edilmiştir. DSC analizleri Azot ortamında, (-65-80°C) sıcaklık aralığında, 10°C/dak ısıtma hızında ölçülerek gerçekleştirilmiştir.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

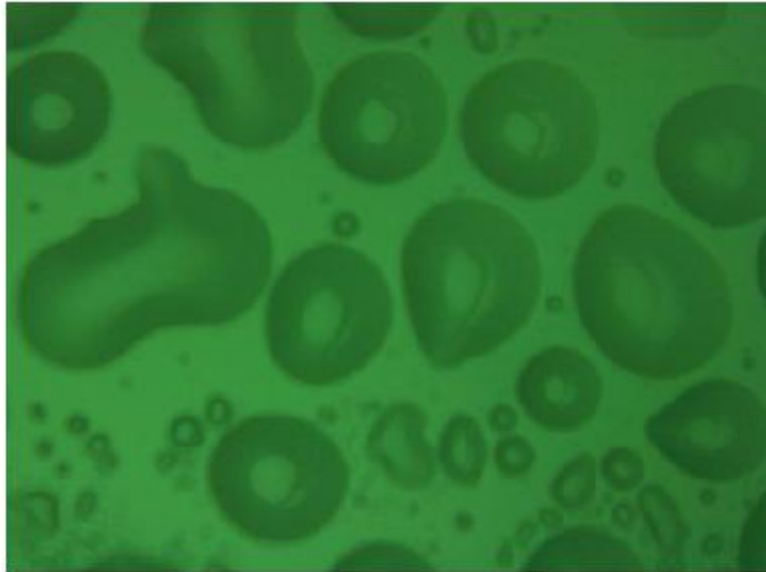
#### 3.1. Stereo Mikroskop ve SEM Test Görüntüleri ve Sonuçları

Hazırlanmış olan jel formunda örnekler stereo mikroskopta incelenmiştir. Yapılan incelemelerde kapsüllerin 10–30 mikrometre büyüklükte ve düzgün kürecik formunda oldukları görülmektedir. Yapılan çok sayıda ön denemede kapsüllerin düzgün küre formuna sahip olmasının, deney esnasında çözeltiyi karıştırma hızıyla bire bir bağlantılı olduğu tespit edilmiştir. Şekil 2(b)'de buna yönelik olarak örnek bir mikrokapsül görüntüsü yer almaktadır. Buradan da görülebildiği gibi elde edilen kapsüller hem küre formundan uzak hem de büyüklük olarak homojen bir dağılım göstermemektedir.



1)23.259 $\mu\text{m}$  2)25.238 $\mu\text{m}$  3)14.950 $\mu\text{m}$  4)22.605 $\mu\text{m}$  5)15.698 $\mu\text{m}$

(a)Homojen küre eldesi

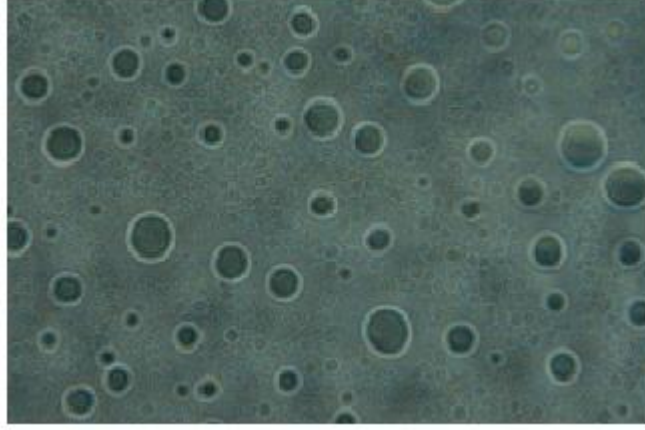


(b)Homojen olmayan dağılım

**Şekil 2:**

*Kapsüllerin stereo mikroskoptan elde edilen görüntüsü*

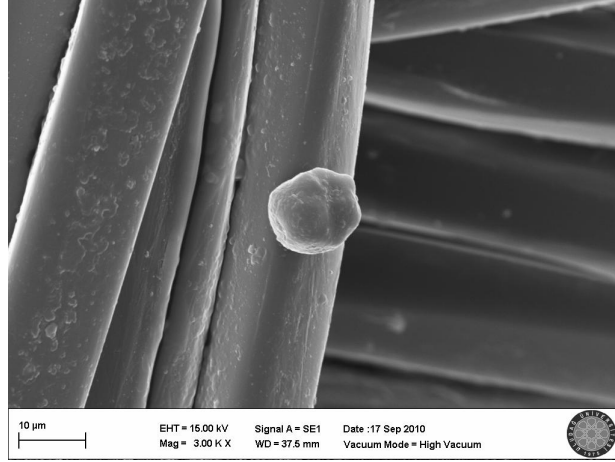
Stereo mikroskopta yapılan incelemede üstten aydınlatma uygulandığında kabuk ile çekirdeğin net bir şekilde ayrımı yapılabilmektedir (Şekil 3). Kabuk kalınlığı olması gerektiği gibi oldukça incedir. Bundan dolayı da çekirdek oranı oldukça yüksektir ve bu durum mikrokapsüllerin uygulandığı tekstil ürünlerinde, ürünlere verilmek istenilen özelliklerin eldesinde önemli bir faktördür.



**Şekil 3:**

*Kapsüllerin stereo mikroskopta üstten aydınlatma sonrası alınan görüntüsü*

Deneyler sonucu ortaya çıkan mikrokapsül-jel yapı, çözgenle su içerisinde çözülmüş ve emdirme uygulamasıyla (%70 flote oranı ile) %100 polyester kumaşa aktarılmıştır. SEM görüntülerinde, kapsüllerin kumaş üzerinde az miktarda konumlandığı gözlemlenmiştir. Çözüm olarak çözelti içindeki kapsül miktarını artırma ya da emdirme uygulamasını yerine farklı yöntemler kullanmak tercih edilebilir. Literatürde, uygun bir bina ile maddeyi kumaş yüzeyine kaplama yönteminin, yüzeye daha fazla madde aktarımı için uygun olduğu belirtilmektedir (Önder ve Sarier,2006).

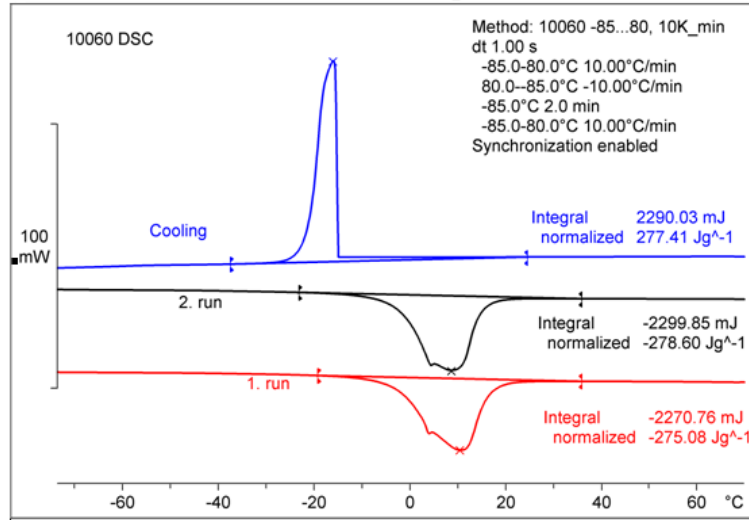


**Şekil 4:**

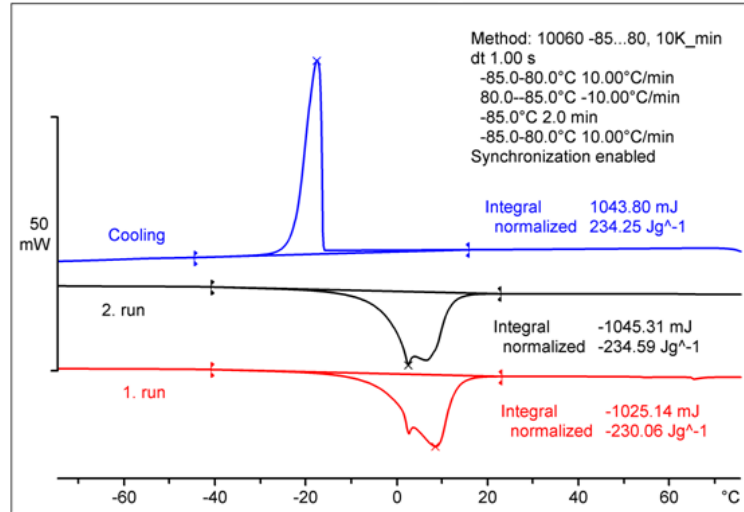
*Mikrokapsül uygulanmış kumaşın SEM görüntüsü (% 100 PES kumaş)*

**3.2. DSC Analizleri**

Jel formundaki örnekler oda sıcaklığında kurutulmuş ve her bir örnekten en az 4 ölçüm alınmıştır.



**Şekil 5:**  
DSC ısıtma, soğutma, ısıtma eğrileri, mikro kapsül-1



**Şekil 6:**  
DSC ısıtma, soğutma, ısıtma eğrileri, mikro kapsül-2

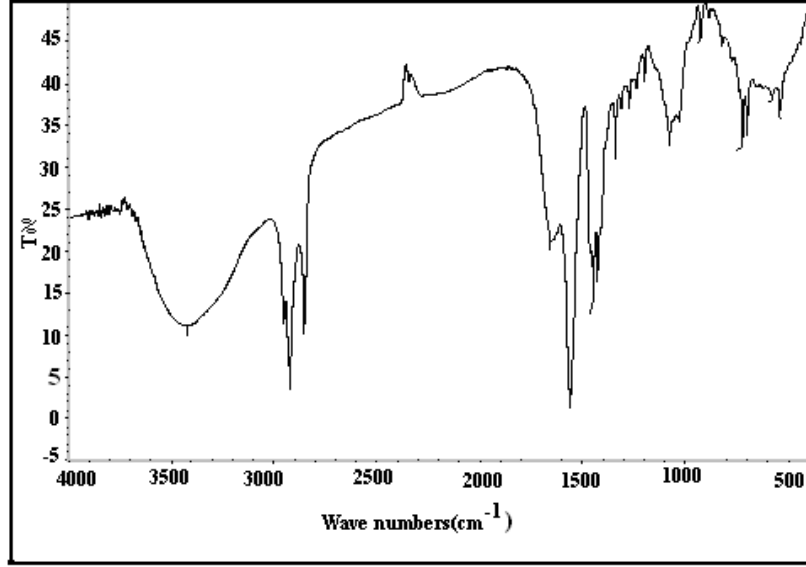
**Tablo 2. FDM1 ve FDM2 nolu örneklere ait erime entalpis ve erime sıcaklık aralığı değerleri**

	Isıl Özellikler	
	Erime Entalpis	Sıcaklık Aralığı
Mikro kapsül-1	1.çalışma: -272.9 J/g ± 4.7 J/g 2.çalışma: -276.7 J/g ± 4.3 J/g	-20...30 C -20...30 C
Mikro kapsül 2	1.çalışma: -236.7 J/g ± 4.2 J/g 2.çalışma: -240.6 J/g ± 3.7 J/g	-20...20 C -20...20 C

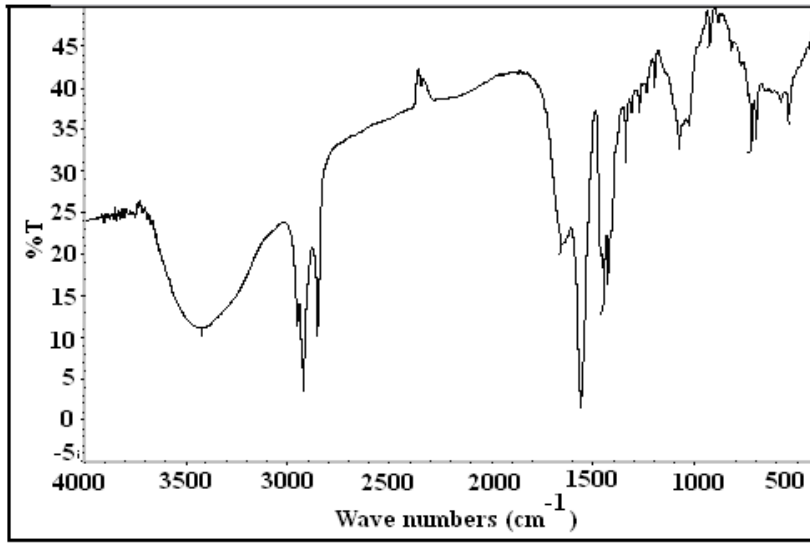
Farklı jelatin-arap zıncı yüzdeleri kullanılarak elde edilmiş bu iki örneğin DSC diyagramlarından, kullanılan maddelerin yüzde oranlarının, ısıl özelliklere etki ettiği gözlemlenmektedir. İlk örnekte kullanılan %12,5'lik jelatin ve arap zıncı çözeltisi daha uygun erime sıcaklık aralığı vermektedir. İkinci örnekte ise %10'luk çözelti kullanılmıştır. Kumaşlara uygulamak istediğimiz mikro kapsüllerin erime entalpilerinin yüksek olması hazırlanan kapsülün yeterli derecede enerji depolama madde-sini hapsedebildiğini göstermektedir. Çalışmada ilk hazırlanan örneğin erime entalpis değeri de daha yüksek çıkmıştır.

### 3.3. FT-IR Analizleri

Mikro FDM-1 ve 2, madde içeriği ve miktarı açısından aynı olduğu için FT-IR spektrumlarının dalga sayısı değerleri birbirine çok yakındır (Şekil 7,8). FT-IR analiziyle de her iki mikro FDM'nin kimyasal içeriklerinin aynı olduğu ispatlanmıştır.



Şekil 7:  
Mikro FDM (1)'nin FT-IR Spektrumu



Şekil 8:  
Mikro FDM (2)'nin FT-IR Spektrumu

Spektrumlarda,  $3422\text{ cm}^{-1}$  dalga sayısı yapıda suyun olduğunu göstermektedir.  $2950$  ve  $2851\text{ cm}^{-1}$  dalga sayılarında ise C—H gerilme titreşimi görülmüştür. Spektrumda  $1653\text{ cm}^{-1}$  dalga sayısında yer alan pikler —C—O—C (şeker) ve —NH<sub>2</sub> (protein) gruplarının birleşmiş olduğunu göstermektedir. Bu durum, jelatin ve arap zambanının birleşmiş olduğunu yani kompleks koaservasyon işleminin başarılı bir şekilde gerçekleştiğini göstermektedir.  $1440\text{ cm}^{-1}$  dalga sayısı karbonile komşu metilene ait absorpsiyonu ifade etmektedir. Bu değerde ortaya çıkan pikler yağ asitlerinin yapıdaki varlığını göstermektedir.  $698\text{ cm}^{-1}$  dalga sayısı OH gerilmesine ait gözlenen absorpsiyonu ifade eder. Ötektik karışımın —OH fonksiyonel grubunun salınım ve titreşimlerine uygun düşen dalga sayısı  $721\text{ cm}^{-1}$  de bulunmuştur (Karaipekli ve Sarı 2008).



### 3.4. Mikro FDM Uygulanmış PES Kumaş ve Kabin Testi

Hazırlanan mikrokapsüller, konvansiyonel aplikasyon yöntemlerine (emdirme-kurutma) göre %100 poliester olan perdelik kumaşa aktarılmıştır. Kumaşa aldırılmak istenen kapsül miktarı üzerinden hesaplanan ve oluşturulan çözelti, fular aplikasyonu ile kumaşa aktarılmıştır.

$$\text{Kapsül Konsantrasyonu (g/L)} = \frac{\text{KM} \times 100.000}{[(\text{KA} + \text{AF}) \times 100]}^*$$

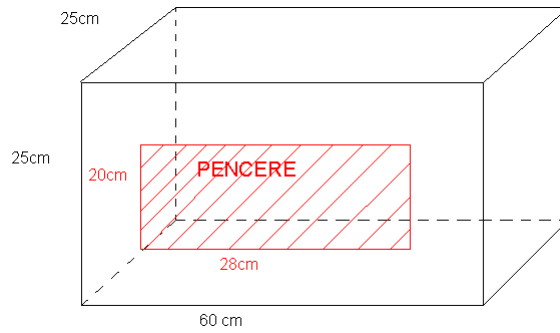
KM: Metrekareye uygulanacak kapsül miktarı

KA: Kumaş ağırlığı (g/m<sup>2</sup>)

AF: (%) Alınan flote oranı (% 70 istenmektedir.)

Hesaplamalar 200 g/L kapsül konsantrasyonu üzerinden yapılmıştır ve kumaş ağırlığına göre % 70 flote alımı sağlanmıştır. Mikrokapsüllerin çözünmesi, çözelti içinde homojen dağılması için ticari ismi NP10 ve Biodag G10 olan iki farklı organik çözügen kullanılmıştır. 6:3:1 oranı ile su:kapsül madde:çözgen den oluşan yaklaşık 40°C sıcaklıktaki flote kumaşa emdirilmiştir. Emdirme işlemi sonrası kumaşlar kurutulmuştur. Son olarak kumaşların ısı regülasyon özelliği ortam koşulu simule edilerek test edilmiştir (Şekil 8). Mikrokapsül uygulanmış kumaşlar test kabini kullanılarak termal özellikleri ölçülmüştür. Kabin dış ortamda yalnızca penceresi güneş ışınlarına maruz kalacak şekilde konumlandırılmış ve içerisine yerleştirilen termometreyle, işlem görmüş ve işlem görmemiş kumaşların, kabin sıcaklığını zamanla nasıl değiştirdiği gözlemlenmiştir.

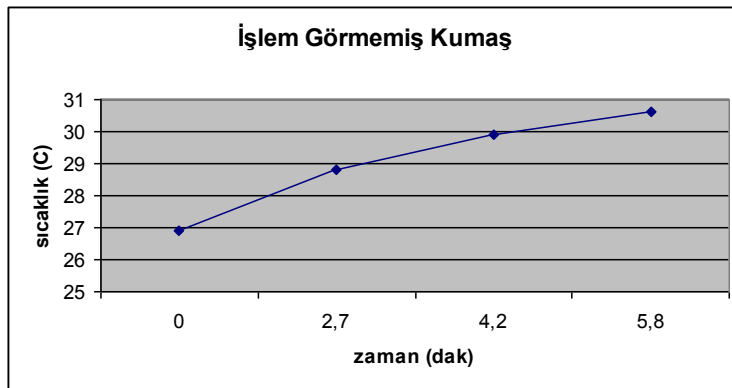
*\*Duraner ürün prospektüsü*



**Şekil 9:**

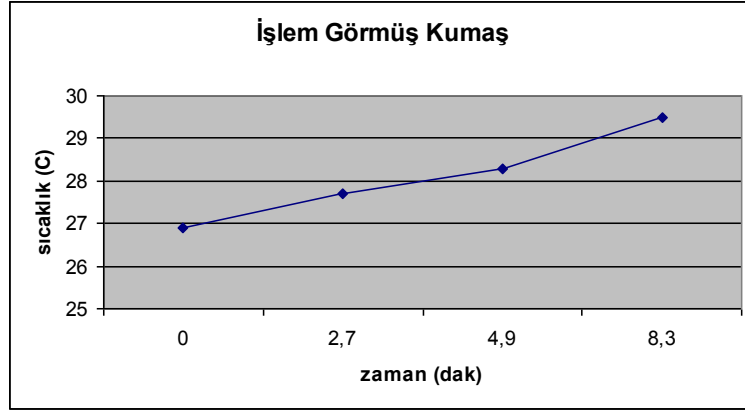
*Simule Odacık*

Mikro FDM'li kumaşın simule odacığın camına takılmasıyla iç ortam sıcaklığının dış ortam sıcaklığından yaklaşık 0,5-1,5°C farklı olduğu gözlemlenmiştir. Sıcaklık 27°C'nin üzerine çıkmaya başladığında faz değişimi başlamaktadır.



**Şekil 10:**

*Simule Oda Sıcaklığının Zamanla Değişimi (İşlem Görmemiş Kumaşlar)*



**Şekil 11:**

*Simule Oda Sıcaklığının Zamanla Değişimi (İşlem Görmüş Kumaşlar)*

Şekil 9 ve 10'da mikrokapsülleme işlemi uygulanmış ve uygulanmamış poliester kumaştaki sıcaklık zaman değişimi gösterilmektedir. Kumaşların herbiri birden fazla teste tabi tutulmuşlardır. Grafikteki sıcaklık ortalama değerleri  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  sapmalar göstermektedir. Ölçümü yapılan kumaşların ise ortalama zaman değerleri, ölçüm yapılan kumaş örneklerinde  $\pm 1$  dakika farklılıklara sahiptirler. İşlem görmemiş kumaşların perde olarak kullanıldığı odacıkta iç sıcaklık  $30,6^{\circ}\text{C}$ 'de, ortalama 5.8 dakika sonra sabitlenirken, mikrokapsüllü perdelerin kullanıldığı odada sıcaklık ortalama 8,3 dakika sonra  $29,5^{\circ}\text{C}$ 'de sabitlenmiştir. Bu kumaşlarla sağlanan kabin sıcaklığı, dış ortam sıcaklığından yaklaşık  $3^{\circ}\text{C}$  daha düşüktür. Ancak işlem görmemiş kumaşların bulunduğu ortam sıcaklığı dış ortam sıcaklığından  $1,5-2^{\circ}\text{C}$  düşüktür. Bu test esnasında dış ortam sıcaklığı  $32-33^{\circ}\text{C}$  civarındadır. Mikrokapsülleme işlemi görmüş ve bu işleme tabi tutulmamış kumaşların kullanıldığı kabin testlerinde, oda sıcaklık farklarının ortalama  $0,5-1,5^{\circ}\text{C}$  olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, sıcaklık-zaman grafiğinden işlem görmemiş kumaşın bulunduğu ortamda sıcaklığın daha hızlı ve sürekli bir artış gösterirken mikrokapsüllemiş kumaşlarda, sıcaklık artışının daha yavaş olduğu gözlemlenmiştir.

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada, kompleks koaservasyon yöntemi ile faz değiştiren madde olarak yağ asitleri ötektik karışımları içeren, jelatin-arap zıncı esaslı mikrokapsül üretimi, iki farklı çapraz bağlayıcı varlığında 1200 dev/dak karıştırma hızında gerçekleştirilmiştir. Üretilen mikrokapsüllerin stereo mikroskop ile yapılan analizinde mikro parçacıkların tekstilde kullanılacak ölçekte uygun kabuk:çekirdek oranına sahip oldukları belirlenmiştir. Gerçekleştirilen DSC analizleri, %12,5 konsantrasyona sahip jelatin-arap zıncı kabuk maddesinin yeterli derecede enerji depolama maddesini hapsedebileceğini ortaya koymuştur. Erime sıcaklık aralığı  $(-20)-30^{\circ}\text{C}$  olan maddenin erime ısı ise  $-272.9\text{ J/g} \pm 4.7\text{ J/g}$ 'dir.

Kaprik asit-palmitik asit ötektik karışımını içeren mikrokapsüllerin yapısal karakterizasyonu FT-IR spektroskopisi yöntemi kullanılarak tespit edilmiş, FT-IR spektrumları kompleks koaservasyon işleminin başarı ile gerçekleştiğini ortaya çıkarmıştır. Elde edilen kabin testi sonuçlarına göre mikro FDM uygulanmış kumaşların, perdelik olarak kullanıldığı iç ortamda, işlem görmemiş kumaşların kullanıldığı ortama göre  $0,5-1,5^{\circ}\text{C}$  civarında daha iyi ısı konfor şartları sağladığı belirlenmiştir.

#### TEŞEKKÜR

Çalışmanın gerçekleştirilmesinde sağladıkları olanaklar ve destekler nedeni ile BERTEKS AŞ. Firmasına ve AR-GE müdürü sayın Ekrem AKBULUT'a, DSC ölçümlerinin yapılmasını sağlayan Mettler Toledo çalışanlarına ve Sem Endüstri Cihazları'na ve sayın Onur CEBECİ'ye teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

1. Alay S., Göde F., Alkan C., (2009), Isıl Enerji Depolama İçin Poli(etil akrilat)/Hekzadekan Mikrokapsüllerinin Üretilmesi ve Karakterizasyonu, *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, , Cilt: 3, No: 3, s.: 33-46.
2. Alkan,C., Sarı,A., Karaipekli,A., Uzun,O.,(2009), Preparation, Characterization and Thermal Properties of Microencapsulated Phase Change Materials for Thermal Energy Storage, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 93, 143-147.
3. Celep Ş.,(2007), Nanoteknoloji Ve Tekstilde Uygulama Alanları”, *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 182 s.
4. Dai,X., Shen,X., ‘Research on Microcapsules of Phase Change Materials’, 2006, *Rare Metals*, Volume 25, Spec.Issue p.393.
5. Erkan, G., (2008) Bazı Antifungal Ajanların Mikrokapsülasyonu ve Tekstil Materyallerine Aplikasyonu, *Doktora Tezi*, DEÜ Fen bilimleri Enstitüsü, Eylül ,
6. Farid,M., Khudhair,A., Razack,S., ‘A Review on Phase Change Energy Storage: Materials and Applications Energy Conversion And Management 45:1597-1615.
7. Feldman D., Shapiro M. M., Banu D., (1989) Fatty Acids And Their Mixtures As Phase-Change Materials For Thermal Energy Storage *Solar Energy Materials*, 18, sf: 201-216.
8. Karaipekli,A., Sarı,A.,(2008), Capric-Myristic Acid, Vermiculite Composite as Form Stable Phase Change Material For Thermal Energy Storage, *Solar Energy*,
9. Kauranen,P., Peippo,K., Lund,P., (1991), Multicomponent PCM Wall Optimized For Passive Solar Heating, *Energy and Buildings*, Volume 17, Issue 4, Pages 259-270.
10. Konuklu,Y., (2008), Mikrokapsüllenmiş Faz Değiştirilen Maddelerde Termal Enerji Depolama İle Binalarda Enerji Tasarrufu, Çukurova Üniversitesi, *Doktora Tezi*.
11. Koo K., Park Y., Choe J.,(2008), The Application Of Microencapsulated Phase-Change Materials To Nylon Fabric Using Direct Dual Coating Method”, *Journal Of Applied Polymer Science*, Vol. 108, s.: 2337–2344.
12. Mazman,M.,Cabeza,F.,L., Mehlin,H., O, Halime., Paksoy,O.,and Evliya,H., (2008), Heat Transfer Enhancement Of Fatty Acids When Used As PCMs In Thermal Energy Storage, *International Journal Of Energy Research*, 32:135–143.
13. Mondal S.,(2008), Phase Change Materials For Smart Textiles-An Overview, *Applied Thermal Engineering*, 28, s:1536-1550.
14. Önder E., Sarier N.,( 2006), Sıcaklık Düzenleme İşlevi Olan Akıllı Tekstil Ürünlerinin Tasarımı, *TÜBİTAK Projesi*, No: MİSAG-238, İstanbul, 2006, 113 s.
15. Önder E., Sarier N., Çimen E., (2008), Encapsulation Of Phase Change Materials By Complex Coacervation To Improve Thermal Performances Of Woven Fabrics, *Thermochimica Acta*, 467, s.: 63–72.
16. Övez,B.,Yüksel,M., (2002), Parfümlerin Çapraz Bağlı Mikrokapsüllerden Yavaş Salgılanmaları, *Çevre Koruma Dergisi*, Cilt: 10 Sayı: 43, (2002), 26-29.
17. Rudolf Duraner Ürün Prospektüsü
18. Tarakçıoğlu I., (2010), En Büyük Tehlike ve Tekstilciler, *Tekstil ve Konfeksiyon*, Nisan 2010, s.: 276.
19. Yılmaz M. Ö., (2005), Yeraltı Termal Enerji Depolamada Kullanılan Farklı Dolgu Maddelerinin Termal Özelliklerinin Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 78 s.

