



## Isı Depolama Özellikli Mikrokapsül Uygulanmış Kumaşların Isı Depolama ve Konfor ile İlgili Özelliklerinin Araştırılması

Müeyesser Selda TÖZÜM\*<sup>1</sup>, Sennur ALAY AKSOY<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği, 32260, Isparta

(Alınış Tarihi: 12.11.2013, Kabul Tarihi: 07.09.2014)

### Anahtar Kelimeler

Faz değişim maddesi  
Mikrokapsül  
Isı depolama  
Eğilme direnci  
Sürtünme  
Dökümlülük

**Özet:** Bu çalışmada faz değişim maddesi içeren mikrokapsül uygulanmış kumaşların ısı depolama ve konfor ile ilgili özelliklerinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla mikrokapsül uygulanmış kumaşların ısı depolama özelliği DSC (Diferansiyel Taramalı Kalorimetre) cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Kumaş yapısındaki mikrokapsül varlığı ve mikrokapsüllerin kumaş yapısındaki dağılımı SEM (Taramalı Elektron Mikroskop) analizi ile araştırılmıştır. Kumaşların konfor ile ilişkili mekaniksel, fiziksel ve yüzey özellikleri standart test metotları ile test edilmiştir. DSC sonuçlarına göre, mikrokapsül uygulanmış kumaşların 6,1749 J/g ısı depolama kapasitesine sahip oldukları belirlenmiştir. Mikrokapsül uygulanmış kumaşların hava geçirgenlik değerleri, kumaş yapısındaki gözeneklerin mikrokapsüller ile kapanmasından dolayı azalmaktadır. Mukavemet ve sürtünme test sonuçlarına göre referans kumaş ile mikrokapsül uygulanmış kumaş özellikleri arasında önemli fark bulunmamıştır. Eğilme direnci test sonuçları mikrokapsül uygulanmış kumaşların referans kumaşa göre daha yüksek eğilme direncine sahip olduğunu göstermektedir. Dökümlülük test sonuçları incelendiğinde ise artan eğilme direnci ile ilişkili olarak mikrokapsül uygulanmış kumaşların dökümlülüğü referans kumaşlara göre daha düşük bulunmuştur.

## Investigation of Heat Storage and Comfort-Related Properties of the Heat Storing Microcapsule Incorporated Fabrics

### Keywords

Phase change material  
Microcapsule  
Heat storage  
Bending resistance  
Friction  
Drape

**Abstract:** In this study, investigation of heat storage and comfort-related properties of fabrics treated with microcapsules containing phase change material was aimed. For this purpose, heat storage property of the microcapsules incorporated fabrics were measured by using DSC (Differential Scanning Calorimetry) instrument. The presence and distribution of microcapsules on fabric structure were investigated by SEM (Scanning Electron Microscope) analysis. The comfort-related mechanical, physical, and surface properties of cotton fabrics were tested by standard test methods. According to the DSC results, it was determined that fabrics treated with microcapsule had heat storage capacity of 6.1749 J/g. Air permeability values of the fabrics treated with microcapsule decreased because of closing of the pores in the structure of the fabric by microcapsules. According to the strength and friction test results, significant differences between the properties of the reference and treated fabric were not observed. The bending strength test results showed that microcapsule applied fabrics had a higher bending rigidity than reference fabric. Drape of microcapsule applied fabrics also decreased compared to untreated reference fabric.

### 1. Giriş

Faz değişim maddeleri (FDM) belirli bir sıcaklık aralığında katı fazdan sıvı faza faz geçişi yaparken ısı soğurabilen ve soğurduğu bu ısıyı depo edip tam tersi faz geçişi durumunda ortama yayabilen maddelerdir.

(Boan, 2005; Tao, 2001). Önemli seviyede sıcaklık değişimi olmaksızın erime ve katılaşma işlemleri sırasında, büyük miktarda gizli ısı absorbe ediyor ve yayıyor olmaları, faz değiştiren maddelerin ısı depolama kaynağı olarak ilgi görmelerine neden olmuştur (Mattila, 2006). Yüksek ısı depolama

\* İlgili yazar: [seldatozum@gmail.com](mailto:seldatozum@gmail.com)

kapasitesine sahip olmaları, faz değiştiren maddelerin günümüzde inşaat, biyomedikal ve tekstil gibi çok farklı alanlarda kullanım alanı bulmalarını sağlamaktadır. Faz değişim maddelerinin kullanım alanlarından birisi olan tekstil sektöründe FDM ürünler tekstillere ısı depolama ve ısı yayma özellikleri ile ısı düzenleme özellikleri kazandırmak amacıyla uygulanmakta olup giysi ısı konfor özelliklerini geliştirme noktasında avantajlar sunmaktadır. Pek çok organik ve inorganik FDM arasında özellikle mikrokapsüllenmiş parafinler tekstiller için tercih edilmektedirler. Parafin esaslı FDM'in mikrokapsüllendikten sonra tekstile uygulanmasının nedenleri arasında parafinlerin tekstil materyallerine kimyasal olarak bağlanamaması ve sıvı fazda tekstil yapısından uzaklaşmaları gibi nedenler başta gelmektedir.

Günümüzde mikrokapsül ilave edilerek kullanım amacına uygun tekstil ürünlerinin geliştirilmesi her geçen gün daha da önem kazanmaktadır. Ancak her alanda olduğu gibi tekstil sektöründe de tüketicilerin ürünlerden beklentileri çeşitlenmekte ve artmakta olup özellikle giysi üretiminde kullanılacak tekstiller için fonksiyonellik ve koruma gibi özellikler yanında giysi konforu ile ilişkili olarak, tuşe, tutum, kişilerin giyim sırasında kendini rahat ve konforlu hissetmesi gibi bazı performans özelliklerine sahip olmaları beklenmektedir. Söz konusu özelliklere hava geçirgenliği, eğilme direnci, sürtünme özellikleri, dökümlülük, kopma mukavemeti, kopma uzaması örnek olarak gösterilebilmektedir. Faz değiştiren madde içeren mikrokapsüller tekstil materyallerinin ısı-düzenleme özelliğini etkilemesi ve giysi ısı konforunu geliştirmesine rağmen giysi kumaşlarının konfor ile ilişkili diğer özelliklerini ve tutum özelliklerini ise olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Shin ve arkadaşları (2005) emdirme yöntemi ile mikrokapsül uyguladıkları polyester kumaşların eğilme rijitliği ve yüzey pürüzlülüğünün arttığını, esneklik ve kesme özelliklerinin azaldığını gözlemlemişlerdir (Shin vd., 2005). Benzer şekilde Kim ve Cho (2002) poliüre/oktadekan mikrokapsülleri ile kapladıkları %100 polyester kumaşların kaplama sonrası daha sert tutumlu, daha pürüzlü yüzeye sahip olduğunu ve eğilme rijitlerinin arttığını tespit etmişlerdir (Kim ve Cho, 2002). Özellikle mikrokapsüllerin kumaş yüzeyine apliediği durumlarda, uygulanan mikrokapsül miktarına göre kumaşların yüzey özelliklerinde ciddi değişimler meydana gelmektedir. Bu nedenle mikrokapsül uygulanmış kumaşların giysi üretiminde kullanılmadan önce konfor ile ilişkili mekanik ve yüzey özelliklerinin mutlaka araştırılması gerekmektedir.

Mikrokapsül uygulanmış kumaşların ısı özellikleri yanında kumaş mekanik ve yüzey özelliklerindeki değişimlerin araştırıldığı bir çalışmada, Shin ve arkadaşları (2005), eykosan içerikli melamin formaldehit mikrokapsülleri polyester örme

kumaşlara emdirme yöntemi ile uygulamışlar, kumaşların tutum, mekanik ve ısı özelliklerini araştırmışlardır. %22 konsantrasyonunda mikrokapsül uygulamasında kumaşların 4,44 j/g ısı depoladığı görülmüştür. Kumaşların hava geçirgenliği ve su buharı geçirgenliği değerlerinde sırasıyla % 28 ve % 20 oranında azalma gözlemlenmiştir. Nem tutma özelliğindeki artış % 228 olarak belirlenmiştir. Ayrıca kumaşların gerilme mukavemeti, yüzey pürüzlülüğü ve eğilme rijitliğinin arttığı, esneklik ve kesme özelliklerinin ise azaldığı, toplam tutum değerinin azaldığı belirlenmiştir (Shin vd., 2005). Bhatkhande (2011), yüksek lisans tez çalışmasında polietilen glükol içeren poliüre-formaldehit duvarlı mikrokapsülleri pamuklu kumaşlara poliüretan çapraz bağlayıcısı kullanarak kaplama yöntemi ile uygulamıştır. Çalışmada, mikrokapsül uygulanmış kumaşların hava geçirgenlik değerlerinin önemli seviyede azaldığı, mikrokapsüllü ve işlem görmemiş kumaşların istatistiksel olarak benzer eğilme özellikleri gösterdikleri tespit edilmiştir. Ayrıca mikrokapsül ile kaplanmış kumaşların termal direncinde %20 artış gözlemlenmiştir. Mikrokapsül ile kaplanmış kumaşların mukavemet değerlerinin işlem görmemiş kumaşlarla karşılaştırıldığında özellikle çözgü yönünde önemli seviyede azaldığı, atkı yönünde ise arttığı belirlenmiştir. Yırtılma mukavemeti test sonuçlarından mikrokapsül kaplanmış kumaşların mukavemet değerlerinde işlem görmemiş kumaşlara göre hem atkı hem de çözgü yönünde azalma olduğu görülmüştür. Bu azalmanın ise kaplama ile kumaşların sertlik değerinin artmasından olabileceği düşünülmüştür (Bhatkhande, 2011). Salaün ve arkadaşları (2010), %77 oranında n-hekzadekan/n-eykosan karışımı içeren melamin formaldehit mikrokapsülleri in-situ polimerizasyon yöntemi ile üreterek pamuklu kumaşlara uygulamış, ısı düzenleyici tekstil kumaşları üretmeyi amaçlamışlardır. Mikrokapsülleri kumaşlara emdirme yöntemi ile farklı çapraz bağlayıcı/mikrokapsül oranı kullanılarak uygulamışlardır. Çapraz bağlayıcı olarak poliüretan kullandıkları çalışmada, çapraz bağlayıcı ile mikrokapsüllerin lif boşluklarına bağlanması dolayısıyla kumaşların hava geçirgenliğinin azaldığını ifade etmişlerdir. Mikrokapsül uygulanmış kumaşların termal direncinin işlem görmemiş kumaşlara göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada kumaşların ısı düzenleme özelliklerinin ağırlıkça reçine/mikrokapsül ve depozite edilen yüzey ağırlığına bağlı olduğu belirlenmiştir. Depozite edilen yüzey ağırlığını kumaş üzerine depozite edilen çapraz bağlayıcı ve mikrokapsüllenmiş FDM'ler oluşturmaktadır. 1:2 ve 1:4 oranında reçine/mikrokapsül kullanımının ısı düzenleyici kumaşları üretmek için uygun olduğu tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada elde edilen bulgulara göre, mikrokapsüllenmiş FDM'ler pamuklu kumaşlara uygulandığında, bu tekstil yapısının soğuk çevreden ılık çevreye geçişinde geçici serinletme etkisi tespit edilmiştir (Salaün, vd., 2010). Sánchez ve arkadaşları

(2010), parafin vaksı içeren polistiren mikrokapsülleri süspanسیون polimerizasyon yöntemi ile sentezlemiştir. Mikrokapsüller pamuklu kumaşlara kaplama yöntemi ile TexprintEcosoftN10® ve WST Supermor polimerik çapraz bağlayıcılar kullanılarak uygulanmıştır. TexprintEcosoftN10® ile mikrokapsül kaplanmış kumaşlar  $4,7 \text{ J g}^{-1}$  ısı depolama kapasitesine sahipken WST Supermor ile mikrokapsül ile kaplanmış kumaşlar  $7,6 \text{ J g}^{-1}$  ısı depolama kapasitesine sahiptir ve yıkama, sürtme ve ütü uygulamalarından sonra yüksek dayanım ve yeterli stabilite göstermiştir. Isıl düzenleme özellikli mikrokapsül kaplanmış kumaşların sıcaklık dağılımları kızılötesi ve görsel kamera Ti25 ile ölçülmüştür. Kızılötesi termografi ile farklı zamanlarda mikrokapsül uygulanmış ve uygulanmamış kumaşların yüzey sıcaklık dağılımı termal görüntüleri çekilmiştir. Tekstiller üzerinden ısıtıcının kaldırıldığı zaman sıfır saniye olarak alınmıştır. Supermor-35 ile mikrokapsül uygulanmış kumaşların termal düzenleme etkisi mikrokapsülsüz normal kumaşlarla karşılaştırıldığında 6, 12, 44 ve 75 saniye sonra sırasıyla  $8.8^{\circ}\text{C}$ ,  $6.3^{\circ}\text{C}$ ,  $5.6^{\circ}\text{C}$  ve  $2.5^{\circ}\text{C}$ 'dir. ESEM mikrogafikleri ve optik mikroskop analizlerinden mikrokapsüller ile tekstil yüzeyleri arasında iyi bir adhezyonun olduğu görülmüştür (Sánchez vd., 2010). Alay ve arkadaşları (2012), polimetilmetakrilat/n-hekzadekan mikrokapsülleri pamuk ve pamuk/pes kumaşlara emdirme yöntemiyle uygulayarak kumaşların statik ısı konfor özelliklerini araştırdıkları çalışmada, kumaşların kalınlık, termal iletkenlik, termal direnç ve termal soğurganlık özellikleri ile birlikte hava ve su buharı geçirgenlik özelliklerini araştırmışlardır. Çalışmada mikrokapsül uygulanmış kumaşların hava ve su buharı geçirgenliklerinin önemli seviyede azaldığı, giysi ısı konforu ile ilgili kumaş ısı özelliklerinin ise

kumaş konstrüksiyonu ile ilişkili olarak önemli seviyede değiştiği belirtilmiştir (Alay vd., 2012).

Bu çalışmada ise emdirme metodu ile mikrokapsül uygulanmış kumaşların ısı depolama özellikleri yanında kumaşların giysi konforu ile ilgili olarak mekaniksel, fiziksel ve yüzeysel özellikleri üzerine mikrokapsül uygulamasının etkileri de araştırılmıştır. Mikrokapsül uygulamasında kumaşlara sadece mikrokapsül içeren sulu karışım değil, mikrokapsül satıcı firmasının önerdiği şekilde mikrokapsül, çapraz bağlayıcı, yumuşatıcı ve katalizör içeren sulu karışım emdirilmiş ve fikse edilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Mikrokapsüllerin kumaşa uygulanmasında ön terbiye işlemi görmüş, bitim işlemlerine hazır pamuklu dokuma kumaş kullanılmıştır. Kumaşa ait özellikler Tablo 1'de verilmiştir. Mikrokapsül olarak Devan Chemicals firmasından temin edilmiş ısı depolama kapasitesi  $140 \text{ J/g}$  olan,  $1-5 \mu$  parçacık boyutlu Mikrathermic P ticari mikrokapsüller kullanılmıştır. Yardımcı madde olarak ise çapraz bağlayıcı (Mikrafix), yumuşatıcı (MikracatB), katalizör (MikraEF) kullanılmıştır.

### 2.2. Metot

Çalışmada mikrokapsüller pamuklu kumaşa emdirme yöntemiyle uygulanmıştır. Tablo 2'de mikrokapsül uygulama şartları özet olarak verilmiştir. Mikrokapsül ve yardımcı kimyasalların konsantrasyonu ve fikse koşulları mikrokapsül üretici firmasının önerisi doğrultusunda belirlenmiştir.

**Tablo 1.** Kullanılan kumaşa ait özellikler (Tözüm, 2014)

Kumaş	İplik No (Ne)		Büküm katsayısı ( $\alpha_e$ )		İplik sıklığı (tel/cm)		Gramaj ( $\text{g/m}^2$ )
	Atkı	Çözüğü	Atkı	Çözüğü	Atkı	Çözüğü	
% 100 pamuklu, bezayağı dokuma	30	33	3,4	4,1	26	32	115

**Tablo 2.** Ticari mikrokapsül uygulama koşulları (Tözüm, 2014)

Mikrokapsül konsantrasyonu	Çapraz bağlayıcı	Katalizör	Yumuşatıcı	Emdirme Şartları	Kurutma ve Fikse Koşulları	Alınan Flotte Oranı (%)
150 g/L	Mikrafix 10 g/L	MikraEF 7,5g/L	MikracatB 40 g/L	2 bar basınç 2 m/dk hız	$80^{\circ}\text{C}$ 5 dk $140^{\circ}\text{C}$ 3 dk	93

Isı depolama özellikli mikrokapsül uygulanmış kumaşların ısı özelliklerini belirlemek için ısı depolama/yayma sıcaklıkları ve entalpileri DSC cihazı kullanılarak belirlenmiştir. DSC analizleri, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümünde mevcut Perkin Emler marka DSC cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Isıl analizler 0

$^{\circ}\text{C}$  -  $80^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkları arasında  $10^{\circ}\text{C/dk}$  ısıtma/söğütme oranında azot ( $\text{N}_2$ ) atmosferinde gerçekleştirilmiştir.

Mikrokapsül uygulanmış kumaşların yapısındaki mikrokapsül varlığını belirleyebilmek için SEM analizi yapılmıştır. SEM (LEO 440) analizleri Erciyes

Üniversitesi, Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezinde gerçekleştirilmiştir. Analiz öncesi kumaş numuneleri iletken materyal olarak altın ile kaplanmıştır.

Mikrokapsül uygulanmış ve işlem görmemiş ham kumaşların hava geçirgenlik özelliklerini belirlemek amacıyla hava geçirgenlik testi yapılmıştır. Çalışmada Textest FX 3300 cihazı kullanılmıştır. Testler "TS 391 EN ISO 9237, Tekstil Kumaşlarda Hava Geçirgenliğinin Tayini" standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Mikrokapsül uygulanmış ve işlem görmemiş ham kumaşların sürtünme özellikleri Instron 4411 modifiye edilmiş çok amaçlı mukavemet test cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Aksoy ve Kaplan, 2013). Yatay bir platform üzerinde kızak hareket ettirilerek gerçekleştirilen testte mukavemet cihazından elde edilen grafikten sayısal veriler elde edilmektedir. 1,2 g/cm<sup>2</sup> normal yük ve 50 mm/dk çekme hızı altında gerçekleştirilen test sonucu elde edilen kuvvet-yer değiştirme grafiğinden kinetik ve statik sürtünme kuvvetleri kullanılarak kinetik ve statik sürtünme katsayıları hesaplanmaktadır (Yaman ve Şenol, 2007).

$\mu_k$ :Fk/N (1)  
 $\mu_s$ :Fs/N (2)  
N: kilogram kuvvet cinsinden kızağın toplam ağırlığı  
Fk: Kinetik sürtünme kuvveti  
Fs: Statik sürtünme kuvveti  
 $\mu_k$ : Kinetik sürtünme katsayısı  
 $\mu_s$ : Statik sürtünme katsayısı

Eğilme direnci, belirli ölçülerde dikdörtgen biçiminde kesilmiş tekstil mamulünün kendi ağırlığı altında eğilmeye karşı gösterdiği dayanımdır. Kumaşların eğilme direncinin tayini TS 1409 standardı esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Kumaşların dökümlülük özellikleri TS 9693 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kumaşların kopma dayanımlarındaki değişimleri belirlemek için yapılan mukavemet testleri LLYOD Instruments LR5K cihazı kullanılarak TS EN ISO 13934-1 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Emdirme yöntemiyle mikrokapsül uygulama işleminin kumaşların konfor özellikleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olup olmadığını belirlemek amacıyla yapılan varyans analizleri için SPSS istatistiksel paket programı kullanılmıştır. Yapılan tüm istatistiksel testlerin sonuçları değerlendirilirken %95'lik güven seviyesi dikkate alınmıştır (Tözüm, 2014).

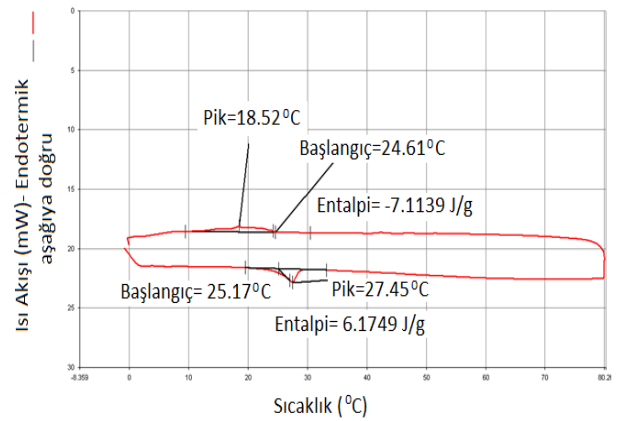
### 3. Sonuçlar ve Tartışma

Bu bölümde mikrokapsül uygulanmış kumaşların özelliklerini belirlemeye yönelik olarak gerçekleştirilen analiz ve testlere ait bulgular

değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda mikrokapsül uygulanmış kumaşların ısı özelliklerinin belirlenmesi ve yapısındaki mikrokapsül varlıklarının açıklanması için yapılan DSC ve SEM analiz sonuçları incelenmiştir. Kumaşların kullanım performanslarını belirlemek amacıyla yapılan test sonuçları istatistiksel analizler ile değerlendirilmiştir.

#### 3.1. DSC Analizi

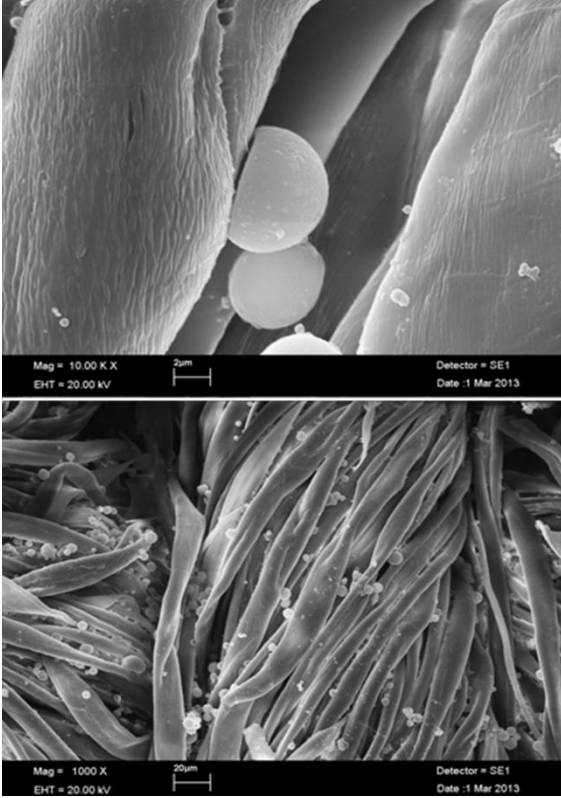
Isı depolama özellikli mikrokapsül uygulanmış kumaşların erime ve katılma sıcaklıkları ve entalpileri DSC cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Kumaşlara ait DSC eğrisi Şekil 1'de verilmiştir. Şekilde verilen DSC eğrisinden sırasıyla endotermik ve ekzotermik yöndeki erime ve katılma pikleri altında kalan alandan kumaşların depoladığı ve yaydığı ısı miktarları ve ısı depolama ve yaymanın başladığı sıcaklık dereceleri görülebilmektedir. Eğriden edilen sonuçlara göre, mikrokapsül uygulanmış pamuklu kumaş 25,17 °C'de 6,1749 J/g ısı depolamakta, 24,61 °C' de ise -7,1139 J/g ısı yaymaktadır.



Şekil 1. Mikrokapsül uygulanmış pamuklu kumaşa ait DSC eğrisi (Tözüm, 2014)

#### 3.2. SEM Analizi

Mikrokapsül uygulanmış kumaşların yapısındaki mikrokapsül varlığını ve mikrokapsüllerin kumaş yapısındaki dağılımını belirlemek için kumaşlara ait SEM görüntüleri incelenmiştir. Şekil 2'de verilen SEM görüntülerinden, kumaş yapısındaki liflere bağlanmış çok sayıda küresel ve uniform yapıda mikrokapsül varlığı görülmektedir. Mikrokapsüller lifler arasındaki boşluklara ve yer yerde lif yüzeylerine yerleşmiştir. Ayrıca kumaş yapısında mikrokapsüller hemen hemen homojen dağılım göstermiştir (Tözüm, 2014).



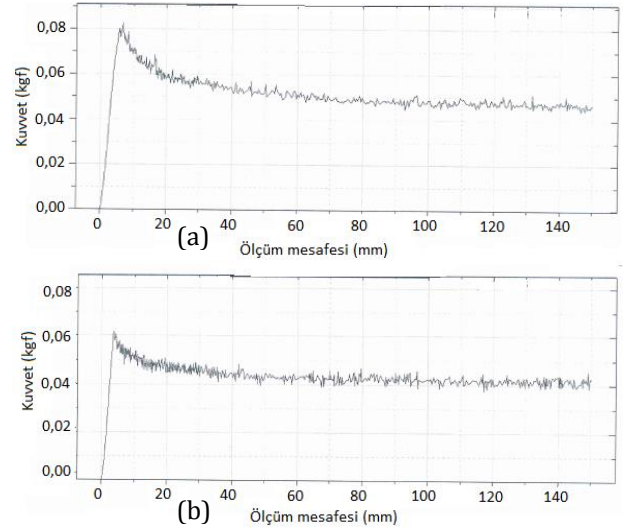
**Şekil 2.** Mikrokapsül uygulanmış pamuklu kumaşa ait SEM görüntüleri (10000 X ve 1000 X büyütme) (Tözüm, 2014)

### 3.3. Kumaşların Fiziksel, Mekanik ve Yüzey Özellikleri

Sürtünme test cihazından elde edilen kuvvet yer değiştirme grafiklerine örnek olarak referans ve mikrokapsül uygulanmış numune kumaşa ait çözgü yönündeki sürtünme test grafikleri Şekil 3'te verilmiştir. Kuvvet eğrisinin maksimum noktası statik sürtünme kuvveti, stabil hale gelen kuvvet eğrisine yatay çizilen çizginin kuvvet eksenindeki karşılığı ise kinetik sürtünme kuvvetidir. Statik sürtünme kuvveti materyalin bir yüzey üzerinde ilk harekete geçmesi için gerekli kuvvettir (Aksoy, 2012).

Kumaşların sürtünme davranışlarının belirlenmesi için gerçekleştirilmiş test sonuçlarından elde edilen veriler Tablo 3'te özet halinde verilmiştir. Tablodaki değerler incelendiğinde mikrokapsül uygulanmış kumaşlar yüzeyine uygulanan sürtünme kuvvetlerinde atkı yönünde statik sürtünme kuvvetinde beklenmeyen, tutarsız bir artış gözlenmesine karşın diğer tüm değerlerde azalma eğiliminin olduğu görülmektedir. Bu azalma eğiliminin de mikrokapsüllerin kumaşa uygulanmasında kullanılan çapraz bağlayıcı madde ve mikrokapsüllerin boşlukları doldurması ile kumaş yüzeyinin düzleşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde bitim işlemi uygulanmış kumaşların yüzeylerinin düzleştiği ve buna bağlı olarak da kumaş üzerindeki kızağın daha az bir kuvvetle

hareket ettiği, dolayısıyla da sürtünme kuvveti ve katsayısı değerlerinin azaldığı sonucuna varılmıştır (Shin vd., 2005; Bhuvana ve Raghunathan, 2006; Su vd., 2005; Ajayi ve Elder, 1995; Şansal, 1997; Avcioglu Kalebek, 2010).



**Şekil 3.** Kumaşların çözgü yönlü sürtünme sırasındaki kuvvet-yer değiştirme grafiklerine örnekler (a)Referans kumaş (b)Mikrokapsül uygulanmış kumaş

Tablo 3'te verilen sürtünme kuvveti değerleri, Eşitlik 1 ve 2'de yerine konularak statik ve kinetik sürtünme katsayıları hesaplanmıştır. Statik ve kinetik sürtünme katsayıları arasındaki fark, kişinin kumaşa dokunduğunda verdiği hissi etkilemektedir. Katsayılar arasındaki fark ne kadar fazla ise kumaş materyalinin o kadar kaba ve pürüzlü bir yüzeye sahip olduğu sonucuna ulaşılabilmektedir (Okur, 2002).

Hem atkı hem de çözgü yönlü sürtünme kuvveti değerlerinin varyanslarının aynı olup olmadığını kontrol etmek amacıyla Levene Testi yapılmıştır. Çözgü yönlü statik ve kinetik sürtünme kuvvetleri için p değerleri sırasıyla  $p=0,378>0,05$  ve  $p=0,907>0,05$ , atkı yönlü statik ve kinetik sürtünme kuvvetleri için p değerleri sırasıyla  $p=0,444>0,05$  ve  $p=0,669>0,05$  olarak belirlenmiş olup homojen bir dağılım söz konusudur. Anova varyans analizi sonuçlarından çözgü yönlü statik ve kinetik sürtünme kuvvetleri için p değerleri sırasıyla  $p=0,143>0,05$  ve  $p=0,593>0,05$ , atkı yönlü statik ve kinetik sürtünme kuvvetleri için p değerleri sırasıyla  $p=0,075>0,05$  ve  $p=0,704>0,05$  bulunmuş olup istatistiksel olarak anlamlı bir farklılığın olmadığı görülmüştür. Buna göre çalışma kapsamında belirtilen konsantrasyonda ve yöntemde mikrokapsül uygulamasının kumaşların sürtünme ve pürüzlülük özelliklerini istatistiksel olarak önemli seviyede etkilemediği sonucuna ulaşılabilmektedir.



**Tablo 3.** Sürtünme Test Sonuçları (Normal Yük: 1,2 g/cm<sup>2</sup>, Test hızı: 50 mm/dk, Süre: 3 dk) (Tözüm, 2014)

Kumaş türü	Test yapılan yüzey	F <sub>s</sub> (N) (S.S)	F <sub>k</sub> (N) (S.S)	F <sub>s</sub> -F <sub>k</sub> (N)	D(%)	μ <sub>s</sub>	μ <sub>k</sub>
Referans kumaş	Çözgü yönlü	0,77 (0,03341)	0,45 (0,02269)	0,31	40,83	1,663	0,984
	Atkı yönlü	0,72 (0,02782)	0,43 (0,02999)	0,28	39,95	1,557	0,935
Mikrokapsül Uygulanmış Kumaş	Çözgü yönlü	0,68 (0,07650)	0,44 (0,02449)	0,23	34,89	1,475	0,960
	Atkı yönlü	0,76 (0,01707)	0,42 (0,03574)	0,33	42,90	1,654	0,912

F<sub>s</sub> = Statik sürtünme kuvveti

F<sub>k</sub> = Kinetik sürtünme kuvveti

μ<sub>s</sub> = Statik sürtünme katsayısı

μ<sub>k</sub> = Kinetik sürtünme katsayısı

F<sub>s</sub>-F<sub>k</sub> = Statik ve kinetik sürtünme kuvvetleri arasındaki fark

$$D(\%) = [(F_s - F_k) / F_s] \times 100 \quad (3)$$

S.S = Standart Sapma

Mikrokapsül uygulanmış test numunesi ve uygulanmamış referans numuneye ait hava geçirgenliği test sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. Tabloda verilen sonuçlar incelendiğinde mikrokapsül uygulanmış kumaşların hava geçirgenlik değerinde bir azalma görülmektedir. Daha önceki yapılan çalışmalara göre, genel olarak iplikler arasındaki açıklığın kumaşta hava akışını belirlemede etkin olduğu bilinmektedir (Backer, 1951; Çeven vd., 2011). Bilindiği üzere, kumaşların hava geçirgenlik özelliği kumaşın yapısı, kalınlığı ve yüzey özellikleri (gözenek boyutu ve gözeneklilik) ile ilişkilidir. Kumaşın toplam gözenekliliği lif içi gözeneklilik, iplik içinde lifler arasında kalan boş alanı kapsayan lifler arası gözeneklilik ve kumaşı oluşturan ipliklerin kesişmeleri sonucu oluşan boş hacmi kapsayan iplikler arası gözeneklilik olmak üzere üç bileşeni içermektedir (Çeven vd., 2011). Gözeneklilik

azaldıkça hava geçirgenliği azalmaktadır. Mikrokapsül uygulaması kumaş yüzey özelliklerini değiştirmekte ve kumaş kalınlığını arttırmaktadır (Alay vd., 2012). Şekil 2'de verilen SEM görüntüleri dikkate alındığında selüloz lifleri üzerine mikrokapsüllerin çapraz bağlayıcı ile bağlanarak lifler arasındaki boşlukları doldurduğu ve kumaş yapısındaki gözeneklerin azalmasına sebep olduğu görülmektedir. Literatürdeki bulgulara benzer şekilde mikrokapsül uygulanmış kumaşların hava geçirgenlik değerindeki azalma kumaşta lifler arasında yerleşen mikrokapsüllerin kumaş gözenekliliğini azaltmasından kaynaklanmaktadır (Shin vd., 2005).

Referans kumaş ve mikrokapsül uygulanmış kumaşların hava geçirgenlik test sonuçlarından elde edilen verilerin homojenliğini kontrol etmek amacıyla Levene testi kullanılmıştır. Test sonuçlarına göre p=0,457 olarak bulunmuş ve bu değer 0,05'ten büyük (P>0,05) olduğu için varyansların homojen dağıldığı tespit edilmiştir. Mikrokapsül uygulanmamış referans kumaş ile mikrokapsül uygulanmış kumaş arasında anlamlı farkın olup olmadığını belirlemek için Anova testi uygulanmıştır. Varyans analizine göre referans ve numune kumaşlara ait hava geçirgenlik test sonuçları arasındaki farkın istatistiksel açıdan anlamlı olduğu belirlenmiştir (p=0,000<0,05).

**Tablo 4.** Kumaşların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri (Tözüm, 2014)

Uygulama Koşulları	Hava Geçirgenliği (l/m <sup>2</sup> /s) (S.S)	Kopma mukavemeti (N) (S.S)		Eğilme direnci (mg.cm) (S.S)		Dökümlülük Katsayısı (%) (S.S)	
		Atkı yönlü	Çözgü yönlü	Atkı yönlü	Çözgü yönlü	Ön	Arka
Referans kumaş	379,0 (16,19584)	Atkı yönlü	308,5102 (33,73255)	Atkı yönlü	274,97 (21,39790)	Ön	44,17 (0,68879)
		Çözgü yönlü	354,1208 (33,00590)	Çözgü yönlü	234,14 (31,72713)	Arka	48,36 (3,75345)
Mikrokapsül Uygulanmış Kumaş	289,1 (12,64911)	Atkı yönlü	271,9794 (16,42950)	Atkı yönlü	271,19 (38,27202)	Ön	56,87 (1,32832)
		Çözgü yönlü	335,0568 (57,01303)	Çözgü yönlü	566,65 (50,23698)	Arka	56,62 (2,57421)

Referans kumaş ve mikrokapsül uygulanmış kumaşlara ait eğilme direnci test sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. Kumaşların eğilme davranışı, yumuşaklık, hafiflik, dökümlülük gibi tutum özelliklerini ve buruşma özelliği ile ilişkilendirilmektedir. Eğilme

direnci (rijitliği) arttıkça kumaşın tutumu sertleşmekte ve dökümlülüğü azalmaktadır. Tablodaki sonuçlar incelendiğinde referans kumaşa göre mikrokapsül uygulanmış kumaşların atkı yönünde eğilme direnci değerinde önemsiz seviyede

azalma, çözgü yönünde ise ciddi bir artış gözlenmiştir. Bu sonucun kumaş yapısında mikrokapsül yerleşimi ve kumaşlara mikrokapsül emdirilmesi sırasında kumaşların fularda geçirilme ve fikse işlemi sırasında çözgü yönünde gerdirilmesi ile de ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Genel olarak ortalama eğilme direnci değerine bakıldığında ise beklenildiği gibi mikrokapsül uygulanmış kumaşlar 392,01 mg.cm eğilme direnci değeri ile 253,73 mg.cm eğilme direncine sahip referans kumaşlardan daha yüksek eğilme direncine sahiptir.

İstatistiksel olarak referans kumaş ile mikrokapsül uygulanmış kumaşların eğilme direnci sonuçlarına ait verilere Levene Testi yapılarak varyansların homojen dağılıma sahip oldukları görülmüştür (Çözgü yönlü  $p=0,281>0,05$ ; Atkı yönlü  $p=0,286>0,05$ ). Mikrokapsül uygulama işleminin kumaşların atkı ve çözgü yönlü eğilme direncine etkisi Anova varyans analizi ile incelenmiştir. Çözgü yönünde eğilme direncine etkisi istatistiksel olarak önemli iken ( $p=0,001<0,05$ ), atkı yönünde eğilme direncine etkisi istatistiksel olarak önemli ( $p=0,927>0,05$ ) bulunmamıştır. Sonuç olarak referans kumaşa emdirme yöntemiyle mikrokapsül uygulanma işlemi kumaşın eğilme direnci değerini artırmıştır. Fakat subjektif olarak kumaşlar incelendiğinde bu artışın kumaşların kullanım performansını etkileyecek seviyede olmadığı sonucuna varılmıştır.

Kumaşların dökümlülük özelliklerinin belirlenmesi için yapılan test sonuçlarından elde edilen veriler incelendiğinde mikrokapsül uygulanmış kumaşların dökümlülük katsayısında bir artış söz konusudur. Dökümlülük katsayısının yüksek olması ise kumaşın dökümlülüğünün az olduğu anlamına gelmektedir (Bozdoğan, 2008).

**Tablo 5.** Levene ve Anova Varyans Analiz sonucu elde edilen p değerleri (Tözüm, 2014)

	Levene Testi (p değeri)	Anova Testi (p değeri)
Ön	0,334	0,000
Arka	0,387	0,035

Tablo 5’de görüldüğü gibi kumaşların ön, arka yüzünde ölçülen değerler için Levene Testinden hesaplanmış p değerleri 0,05’ten büyük olduğu için verilerin homojen olduğu tespit edilmiştir. Anova varyans analizinde ise p değerlerinin 0,05’ten küçük olduğu bulunmuş ve sonuç olarak iki kumaş dökümlülük değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farkın olduğu görülmüştür. Mikrokapsül uygulaması sonrası kumaş dökümlülük değerindeki azalmanın kumaşların artan eğilme direnci ile ilişkili olduğu ve kumaş yapısında lifler arasındaki boşluklara yerleşen mikrokapsül varlığından kaynaklandığı sonucuna ulaşılmıştır.

Atkı ve çözgü yönlü olmak üzere referans ve mikrokapsül uygulanmış kumaşların mukavemet

testlerinden elde edilen değerler Tablo 4’te verilmiştir. Tablodaki sonuçlar incelendiğinde mikrokapsül uygulanmış kumaşların mukavemetlerinin azaldığı görülmektedir. Levene testi ile p değerleri 0,05’ten büyük olduğundan varyansların homojen olduğu tespit edilmiştir (atkı yönlü  $p=0,267$ , çözgü yönlü  $p=0,434$ ). Anova varyans analiz sonuçlarından referans kumaş ile mikrokapsül uygulanmış kumaş arasında hem atkı yönünde hem de çözgü yönünde kopma mukavemet değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı farklılığın olmadığı, emdirme yöntemi ile mikrokapsül uygulama işleminin kumaşların mukavemetini önemli derecede etkilemediği tespit edilmiştir (Atkı yönlü  $p=0,061>0,05$ , Çözgü yönlü  $p=0,536>0,05$ ).

#### 4. Sonuçlar

Çalışmada ısı depolama özellikli mikrokapsüller pamuklu kumaşa emdirme yöntemi ile uygulanmış ve kumaşların ısı depolama özellikleri yanında giysi konforu ile ilişkili yüzey ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Böylece mikrokapsül uygulamasının kumaşların giysi formuna getirilmesi durumunda konfor özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Çalışma neticesinde kumaşların 6,1749 J/g erime entalpisine yani gizli ısı enerjisi depolama kapasitesine sahip olduğu görülmüştür. Kumaş morfolojisi incelendiğinde ise mikrokapsüllerin küresel ve uniform yapıda olduğu ve lif yüzeylerine ve lifler arası boşluklara yerleştiği görülmüştür.

Kumaşların konfor ile ilişkili özelliklerini belirlemek amacıyla gerçekleştirilen test sonuçlarına göre mikrokapsül uygulamasının kumaşların kopma mukavemeti ve sürtünme özelliklerinde istatistiksel olarak önemli farklılığa neden olmadığı tespit edilmiştir. Hava geçirgenliği test sonuçlarına göre mikrokapsüllerin kumaş yapısındaki gözenekleri kapatmasından dolayı hava geçirgenlik değerinin azaldığı sonucuna ulaşılmıştır. Eğilme direnci test sonuçlarına göre kumaşta çözgü yönünde önemli derecede artış görülürken, atkı yönünde önemli bir farklılık görülmemiştir. Dökümlülük test sonuçlarına göre ise mikrokapsül uygulanmamış referans ve mikrokapsül uygulanmış numune kumaş dökümlülük değerlerinde istatistiksel olarak önemli farklılıklar bulunmuş olup, mikrokapsül uygulanmış kumaşların dökümlülük özelliklerinin azaldığı tespit edilmiştir. Mikrokapsül uygulanan kumaşların dökümlülüğünün azalmasına bağlı olarak ise kumaş tutumu sertleşmiştir.

#### Teşekkür

Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi 3236-YL-1-12 nolu projesi tarafından desteklenmiştir. Yazarlar ayrıca DSC analizlerinin gerçekleştirilmesini sağlayan GOP Üniversitesi, Kimya Bölümü Öğretim Üyesi Doç.Dr. Cemil Alkan’a teşekkürlerini sunar.

## Kaynaklar

Boan, Y., (2005). Physical Mechanism and Characterization of Smart Thermal Clothing, The Hong Kong Polytechnic University, PhDThesis, Hong Kong.

Tao, X., (2001). Smart Fibres, Fabrics and Clothing, Woodhead Publishing Limited, The Textile Institute, Cambridge, England.

Mattila, H.R., (2006). Intelligent Textiles and Clothing, Woodhead Publishing Limited, 506p. Cambridge.

Shin, Y., Yoo, D., Son, K., (2005). Development of Thermoregulating Textile Materials with Microencapsulated PhaseChangeMaterials (PCM). IV. Performance Properties and Hand of Fabrics Treated with PCM Microcapsules. Journal of Applied Polymer Science, 97, 910-915.

Kim, J., Cho, G., 2002. Thermal Storage/Release, Durability and Temperature Sensing Properties of Thermostatic Fabrics Treated with Octadecane-Containing Microcapsule. Textile Research Journal, 72 (12), 1093-1098.

Bhatkhande, P.S., (2011). Development of Thermo-RegulatingFabric Using PhaseChangeMaterial (PCM). Master'sThesesandDoctoralDissertations, Paper 361, Michigan, USA.

Salaün, F., Devaux, E., Bourbigot, S., Rumeau, P., (2010). Thermoregulating response of cotton fabric containing microencapsulated phase change materials. ThermochemicaActa, 506, 82-93.

Sánchez, P., Sánchez-Fernandez, M.V., Romero, A., Rodríguez, J.F., Sánchez-Silva, L., (2010). Development of Thermo-Regulating Textiles Using ParaffinWax Microcapsules. ThermochemicaActa, 498, 16-21.

Alay, S., Alkan, C., Göde, F., 2012. Steady-State Thermal Comfort Properties of Fabrics Incorporated with Microencapsulated Phase Change Materials. The Journal of The Textile Institute, 103:7, 757-765.

Tözüm, M.S., 2014. Isı Depolama Özellikli Mikrokapsül Uygulanmış Kumaşların Isı Düzenleme ve Konfor Özelliklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.

Aksoy, A., Kaplan, S., 2013. Production and performance analysis of an antibacterial foot sweat pad. Fibers and Polymers, 14(2), 316-323.

Yaman, N., Şenol, M. F., (2007). Hacimli Materyallerin Sürtünme Testleri İçin Alternatif Ölçüm Metodu Üzerine Bir Araştırma. Tekstil Teknolojileri

Elektronik Dergisi, (2): 1 -13.

Aksoy, A., (2012). Tek Kullanımlık Bakım Ve Hijyen Ürünlerinin Performans Özelliklerinin Arttırılması Üzerine Bir Çalışma. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi.

Bhuvana, G.D., Raghunathan, S., (2006). Studies on Frictional Behaviour of Chitosan-Coated Fabrics. Autex Research Journal, 6(4), 216-222.

Su, F.H. Zhang, Z.Z., Wang, K., Jiang, W., Men, X.H., Liu, W.M., (2005). Friction and Wear Properties of Carbon Fabric Composites Filled With nano- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve nano-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, Composites: Part A: Applied Science and Manufacturing, 37(9), 1351-1357.

Ajayi, O.J., Elder, H.M., (1995). Effects of Finishing Treatments on Fabric Friction. Journal of Testing and Evaluation, 23(1), 34-36.

Şansal, Ç., (1997). Sürtünme Katsayısı Yöntemi ile Tekstil Yüzeylerinin Analizi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 69s.

Avcıoğlu Kalebek, N., (2010). Değişik Yöntemlerle Elde Edilmiş Dokunmamış Kumaşların (Nonwoven) Aşınma-Sürtünme ve Yüzey Özelliklerinin İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 256s, Adana.

Okur, A., (2002). Kumaşların Sürtünme Davranışları Üzerine Bir Araştırma, Tekstil Maraton Mart/Nisan 2/2002, 47-62.

Backer, S., (1951). The Relationship Between The Structural Geometry Of A Textile Fabric And Its Physical Properties, Part IV: Interstice Geometry And Air Permeability. Textile Research Journal, 21, 703-714.

Çeven, E.K., Süle, G., Gürarda, A., Ersöz, A., (2011). Metal İplikli Dokuma Kumaşların Hava Geçirgenliğinin İncelenmesi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 16, Sayı 2.

Bozdoğan, S., (2008). Poliester Lif Özelliklerinin Örme Kumaşların Isıl Konfor ve Mekanik Özelliklerine Etkisi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.