

ISI DEPOLAYAN MİKROKAPSÜL UYGULANMIŞ KUMAŞLARIN ISI DÜZENLEME ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

M.Selda TÖZÜM
Sena DEMİRBAĞ

Sennur ALAY AKSOY*

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi,
Tekstil Mühendisliği Bölümü-İsparta

Gönderilme Tarihi / Received: 14.10.2011

Kabul Tarihi / Accepted: 20.11.2011

ÖZET

Isı depolama özellikli mikrokapsüller çekirdek materyali olarak faz değişim maddeleri (FDM) içerirler. Faz değişim maddeleri, faz değiştirme prosesleri sırasında gizli ısı depo edebilen ve yayabilen maddelerdir. Mikrokapsüllenmiş faz değişim maddeleri giysilerin ısı konforunu geliştirmek ve ısı düzenleme özellikli tekstiller üretmek amacıyla kullanılmaktadırlar. Bu çalışmada, mikrokapsüllenmiş FDM uygulanmış kumaşların ısı düzenleme özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç için öncelikle kumaşların ısı depolama özelliği DSC (diferansiyel taramalı kalorimetre) cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Kumaş yapısında mikrokapsül varlığı optik mikroskop ile analiz edilmiştir. Isı depolayabilen kumaşların ısı düzenleme özelliklerini belirlemek için ise termal kamera kullanılmıştır. Farklı çevrelerde kumaş yüzeyindeki sıcaklık değişimleri termal kamera ile ölçülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Isı depolama, ısı düzenleme, mikrokapsül, termal kamera

INVESTIGATION OF THERMOREGULATION PROPERTIES OF THE HEAT STORING MICROCAPSULE APPLIED FABRICS

ABSTRACT

Microcapsules with heat storage property contain phase change materials (PCMs) as core material. Phase change materials are materials that can store and release latent heat during their phase change processes. Microencapsulated phase change materials are used to develop thermal comfort of clothing and to manufacture textiles with heat storage property. In this study, determination of thermoregulation property of the microencapsulated PCMs applied fabrics was aimed. For this aim, heat storage properties of the fabrics were measured by using DSC (Differential Scanning Calorimeter) instrument. The presence of microcapsules on the fabric structure was analyzed by optical microscope. Thermal camera was used to determine thermoregulation properties of the heat storing fabrics and temperature changes on the fabric surface at different environments were measured.

Keywords: Heat storage, thermoregulation, microcapsule, thermal camera.

Sorumlu Yazar/Corresponding Author: sennuralay@sdu.edu.tr

1.GİRİŞ

Isıl enerji depolama, ısı enerjisinin gereksinimi ile kullanımı arasındaki zaman aralığında geçici olarak depolanmasıdır [1]. Gizli ısı, duyuabilir ısı ve kimyasal reaksiyon ısısı depolama olmak üzere üç tür ısı depolama yöntemi mevcut olup, gizli ısı depolama yüksek enerji depolama kapasitesi ile ısı enerjisi depolamada en etkili yöntemlerden birisidir. Gizli ısı, maddenin faz değiştirmesi sırasında soğurulan veya yayılan ısı olduğu için “faz değişim ısısı” olarak da isimlendirilmektedir [2].

Maddenin bir fiziksel halden başka bir fiziksel hale geçişi faz değiştirme olarak tanımlanmaktadır. Faz değişim maddeleri, faz değiştirme sıcaklığı olarak bilinen belirli sıcaklık aralığında, bir fazdan başka bir faza geçiş yaparlar [3]. Bir fazdan başka bir faza geçiş sırasında, yani faz değiştirme prosesi boyunca ısı soğurabilen ve depolayabilen, tam tersi faz değişimi durumunda ise depoladığı bu ısıyı ortama yayabilen maddeler faz değişim maddeleri olarak isimlendirilmektedirler [2,4].

Yüksek oranda ısı enerji depolama kapasiteleri nedeniyle faz değişim maddeleri inşaat, biyomedikal ve tekstil gibi çok farklı alanlarda kullanıma sahiptir. Tekstil alanında kullanımı 1970'li yılların sonu 1980'li yılların başında, NASA (National Aeronautics and Space Administration) tarafından yürütülen bir araştırma programına dayanmaktadır. Bu programda, astronot giysilerine uzaydaki aşırı sıcaklık değişimine karşı ısı koruma etkinliğinin kazandırılması hedeflenmiştir [1,3]. Günümüzde FDM'ler giysilerde ısı konforu geliştirmek amacıyla kullanılmaktadır. Faz değişim maddesi içeren giysilerde ısı konforu giysi materyalinin yapısından kaynaklanan statik ısı konforuna ilave olarak FDM'nin depoladığı ve yaydığı ısıdan kaynaklanan dinamik (aktif) olarak isimlendirilen yalıtım özelliği de göstermektedir. Diğer taraftan FDM içeren tekstil ürünleri ısı düzenleme ve ısıtma/serinletme özelliğine sahip tekstil ürünleri üretmek amaçlarıyla da kullanılmaya başlanmıştır.

FDM ve tekstil uygulamaları ile ilgili yapılan araştırmalar incelendiğinde, çalışmaların FDM içeren mikrokapsül üretimi, FDM'nin doğrudan veya mikrokapsüllendikten sonra lif ve kumaş yapısına uygulanması ve FDM içeren tekstillerin karakterizasyonu olmak üzere farklı alanlara odaklandığı görülmektedir. Faz değişim maddesi içeren tekstil ürünlerinin, FDM'den kaynaklanan ısı depolama/yayma kapasiteleri, dinamik ısı yalıtımı ve ısı düzenleme gibi özellikleri DSC cihazı kullanılarak belirlenmektedir. FDM içeren kumaş ve giysilerin özelliklerini belirlemeye yönelik çalışmalar incelendiğinde, farklı araştırmacıların farklı tür ölçüm metot ve sistemi geliştirmeye yönelik araştırmalara odaklandıkları görülmektedir. Örneğin, FDM içeren kumaşların ısı bariyer özelliklerini belirlemek için Pause (1995, 2000) dinamik ısı transferi ölçümleri gerçekleştirmiştir. Metotta, FDM içeren kumaşın toplam ısı direncinin kumaş

oluşturan maddenin statik ısı direnci ve FDM'lerin etkisiyle ortaya çıkan dinamik ısı direncin toplamına eşit olduğu kabul edilmektedir. Ölçümlerde, FDM içeren ve içermeyen numunelerin, yapıda mevcut FDM'nin faz değiştirme sıcaklık aralığının sonuna kadar ısıtılması için gereken süreler karşılaştırılmakta ve statik yalıtım değeri referans alınarak dinamik ısı yalıtım ölçülmektedir [4,5].

Hitle ve Andre (2002) ise “Isıl Düzenleme Faktörü (TRF)” olarak isimlendirdikleri bir parametre ile FDM içeren tekstillerin ısı düzenleme ve yalıtım özelliklerini belirlemiştir. Bu metotta, numune sıcak ve soğuk plakalar arasına sandviçlenmekte, soğuk plaka sabit sıcaklıkta tutulmakta, sıcak plakanın sıcaklığı ise faz değiştiren maddenin faz değiştirme bölgesi içerisinde sinüsoidal ısı akışı sağlayacak şekilde kontrol edilmektedir. TRF, sıcak plakanın maksimum ve minimum sıcaklık farkının, maksimum ve minimum ısı akış değerleri arasındaki farka ve sabit durumdaki ısı dirence bölünmesi ile hesaplanmaktadır. TRF indeksinin FDM içeren bir kumaş için FDM içermeyen bir kumaşinkine göre daha küçük olması gerekmektedir [4, 6]. Amerikan Test ve Materyaller Kurumu (American Society for Testing and Materials) Haziran 2004 yılında tekstil materyallerindeki gizli ısıyı ölçmek için standart geliştirmiştir. “Tekstil Materyallerinde Statik ve Dinamik Isıl Performans İçin Test Metodu” olarak isimlendirilmiş bu standartta, sabit durumdaki ısı direnci (R değeri) ve dinamik TRF (Isıl Düzenleme Faktörü) ölçümü üzerine odaklanılmıştır [7].

Ying ve arkadaşları tarafından 2004 yılında geliştirilmiş yöntem “Isıl Geçiş (Geçici Rejim) Ölçümü” olarak tanımlanmıştır. Bu yöntemde soğutulmuş, FDM içeren kumaş sıcak bir plaka üzerine yerleştirilmekte ve statik ısı yalıtım (I_s), faz değişiminin gerçekleştiği süre (Δt_d), faz değiştirme ile geciktirilen ısı akışı (I_d) ve ısı fizik sensör şiddeti (yoğunluğu) değerleri ölçülmüştür [5]. Boan (2005) ise FDM'ler içeren tekstillerin ısı özelliklerini belirlemek için ani ve derece derece sıcaklık artışı sırasında dinamik sıcaklık düzenleme testi, dinamik ısı akış testi ve q-max (sıcaklık/soğukluk hissi) testi uygulamıştır [8].

Wang ve arkadaşları tarafından 2006 yılında geliştirilen “Biyonik Deri Modeli”nde numune, kişinin deri yüzeyinin simüle edildiği, sıcaklığı 33 °C'de sabit tutulan bir yüzeye yerleştirilmektedir. Ortam sıcaklığı ile kumaş sıcaklığı dengelendiğinde, sistem soğuk bir ortama götürülmektedir. FDM içeren kumaş (FDM-kumaş) kaplanmış deri yüzeyindeki ısı akışı FDM içermeyen kumaşla kaplanmış deri yüzeyindeki ısı akışı değeri ile karşılaştırıldığında, ısı akışındaki azalma ölçüm değeri olarak alınmaktadır [9].

FDM içeren tekstil ürünlerinin ısı düzenleme özelliklerinin belirlenmesine yönelik bazı çalışmaların ise modellenme üzerine olduğu görülmektedir. Ghali ve arkadaşları (2004), ılık iç ortamdan soğuk dış ortama geçen bir kişi hareket halinde (egzersiz yaparken) iken, vücudundaki ısı

kaybına FDM'nin etkisini belirlemek için model geliştirilmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlar, dış hava şartlarına ve FDM oranına bağlı olarak ısınma etkisinin yaklaşık 12,5 dakika geciktirildiğini göstermiştir [10].

FDM uygulanmış gözenekli tekstil ürünlerindeki ısı ve nem transferini simule eden matematiksel bir model ise Li ve Zhu (2004) tarafından geliştirilmiştir. Modelde farklı oranlarda FDM uygulanmış tekstil ürünlerinde birleşik ısı ve kütle transferi simüle edilmiştir. Model ile farklı FDM miktarları için, belirli başlangıç ve sınır şartlarında liflerdeki sıcaklık dağılımı, nem konsantrasyonu ve su içeriği sayısal olarak hesaplanabilmektedir [11].

Bu çalışmada, ısı depolama özellikli mikrokapsül uygulanmış kumaş numunelerinin farklı sıcaklıktaki ortamlarda ısı düzenleme özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç için ortam sıcaklığındaki değişime bağlı olarak FDM'nin depoladığı ve yaydığı gizli ısıdan kaynaklanan kumaş yüzey sıcaklık değişimi ölçülmüştür. Ölçümler için termal kamera kullanılmıştır. Ölçüm yapılan ortam sıcaklıkları tekstil yapısındaki FDM'nin faz değiştirme sıcaklık aralıkları dikkate alınarak belirlenmiş ve FDM'nin faz değişimini gerçekleştirebileceği kadar yüksek veya düşük sıcaklıklarda kumaş yüzeyinde sıcaklık ölçülmüştür.

2.MATERYAL

Isı depolama özellikli mikrokapsüllerin uygulanmasında farklı konstrüksiyonlara sahip dokuma ve örme kumaşlar kullanılmıştır. Kumaş numuneleri, ön terbiye işlemleri tamamlanmış ve bitim işlemleri için hazır hale getirilmiş olarak tedarik edilmiştir. Kumaşlara ait özellikler Tablo 1'de açıklanmıştır [12].

Tablo 1. Çalışmada kullanılan kumaşlara ait özellikler

Ham Madde	Yapı	Cözgü sıklığı/İlmeğe çubuğu sıklığı	Atkı sıklığı/İlmeğe sırası sıklığı	Gramaj (g/m ²)
% 100 pamuk	Dokuma	29	11	344
% 100 pamuk	Örme	10	14	174

Mikrokapsül olarak, erime sıcaklığı 28,2 °C, katılma sıcaklığı 26 °C, erime entalpisi 244 J/g olan n-oktadekan parafini içeren ve partikül boyutu ortalama 1 ile 5 µm arasında değişen mikrokapsüller (Mikrathernic P, Devan Chemicals, Belgium) kullanılmıştır. Mikrokapsüllerin termal kapasitesi 120 j/g'dir. Yardımcı madde olarak ise binder (mikrafix), yumuşatıcı (mikracatB), katalizatör (mikraEF) kullanılmıştır. Tablo 2'de, kumaşlara uygulanan mikrokapsül ve yardımcı kimyasalların miktarları ayrıntılı olarak verilmiştir.

Tablo2. Kumaşlara uygulanan mikrokapsül ve yardımcı madde konsantrasyonları.

Reçete 1	Reçete 2	Reçete 3
50 g/l mikrokapsül	75 g/l mikrokapsül	100 g/l mikrokapsül
30 g/l binder	30 g/l binder	30 g/l binder
10 g/l yumuşatıcı	10 g/l yumuşatıcı	10 g/l yumuşatıcı
10 g/l katalizatör	10 g/l katalizatör	10 g/l katalizatör

3. METOT

3.1.Mikrokapsüllerin kumaşa uygulanması

Çalışmada, mikrokapsüller dokuma ve örme kumaşlara emdirme metodu ile uygulanmıştır. Numunelere farklı miktarlarda mikrokapsül uygulanmıştır. Böylece farklı miktarlarda mikrokapsül içeren dolayısıyla ısı depolama kapasiteleri farklı kumaşların ısı düzenleme özelliklerindeki değişim de araştırılmıştır. Her bir numune için düşükten yükseğe doğru üç farklı oranda (50g/L, 75g/L, 100g/L) mikrokapsül uygulanmıştır. Kumaşlara mikrokapsül uygulama şartları ve uygulanan mikrokapsül oranları Tablo 3'de özet olarak verilmiştir [12].

Tablo 3. Emdirme yöntemi ile mikrokapsül uygulanmış kumaşlara ait bilgiler

Kumaş Türü	Mikrokapsül Miktarı	Emdirme Şartları	Alınan Flotte Oranı (%)	Ön Kurutma ve Fikse Şartları
Örme 1	50 g/l		83.9	
Örme 2	75 g/l	2 bar	116.2	80 °C' de 8
Örme 3	100 g/l	basınç,	119.3	dakika kurutma,
Dokuma 1	50 g/l	2 m/dak	92.7	130 °C' de
Dokuma 2	75 g/l	hız	92.5	10 dakika fikse
Dokuma 3	100 g/l		92.4	

3.2.Optik mikroskop analizi

Mikrokapsül uygulanmış numunelerde, mikrokapsül varlığını açıklamak için optik mikroskop analizi kullanılmıştır. Mikroskop analizinde kumaş yapısından ayrılan liflerin görüntülerine ait fotoğraflar çekilmiştir. Analizler için Olympus CX41 marka mikroskop kullanılmıştır [12].

3.3.DSC analizi

Çalışmada mikrokapsül uygulanmış numunelerin erime ve katılma sıcaklık derecelerini ve entalpi değerlerini tespit etmek için Perkin-Elmer Jade DSC (GOP, Kimya Bölümü) cihazı kullanılmıştır. Isıl analizler 5 °C/dk ısıtma/soğutma oranında azot (N₂) atmosferinde gerçekleştirilmiştir.

3.4.Termal kamera analizi

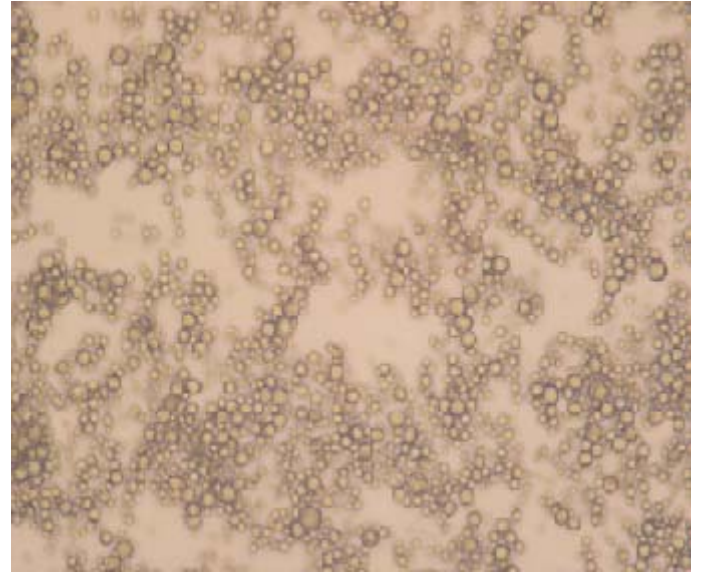
Çalışmanın amacı, ısı depolama özelliği kazandırılmış kumaşların ısı düzenleme özelliklerinin belirlenebilmesidir. Bu amaç için sıcak ortamda sabit sıcaklığa gelinceye kadar ısıtılmış numuneler serin ortama ve tam tersi serin ortamda sıcaklık dengesine ulaştırılmış numuneler ise sıcak ortama getirildiği andan itibaren numune yüzeyinde sıcaklık ölçülmüştür. Mikrokapsül içeren numune ve içermeyen referans için aynı yöntem ile kumaş yüzey sıcaklık değişimi belirlenmiş ve karşılaştırılmıştır. Sıcak ve serin ortam sıcaklıkları mikrokapsül yapısındaki FDM'nin faz değişim sıcaklıkları esas alınarak belirlenmiştir.

Belirli bir sıcaklıktaki ortamda bekletilmiş numuneler farklı sıcaklıktaki bir ortama alındığında numune yüzeyindeki sıcaklık değişimini ölçmek için Flir System marka termal kamera kullanılmıştır. Ölçümler sırasında emisyon değeri 0,94'e ayarlanmıştır. Sıcaklık ölçümleri için iki farklı laboratuvar ortamı kullanılmıştır. Sıcak laboratuvarın sıcaklığı 37 °C olarak ayarlanmış ve bu sıcaklıkta sabit tutulmuştur. Serin laboratuvarın sıcaklığı ise 20 °C olarak ayarlanmış ve sabitlenmiştir. Kumaş yüzey sıcaklıkları 15 dakika ölçülmüş ve ölçülen sıcaklık değerleri zamana bağlı sıcaklık değişim grafikleri olarak çizilmiştir. Grafiklerde mikrokapsül içermeyen ham kumaş ve mikrokapsül uygulanmış numuneye ait değerler karşılaştırılmıştır. Ölçümler SDÜ Tekstil Mühendisliği laboratuvarında mevcut Fiziksel Tekstil muayeneleri laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir [12].

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

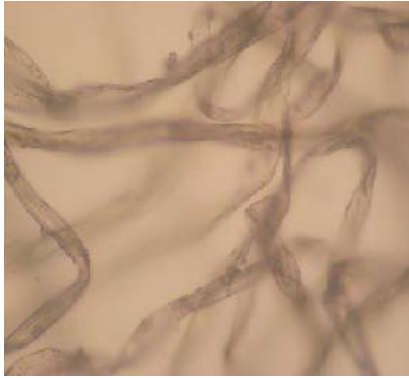
4.1. Optik mikroskop analizi

Mikrokapsül uygulanmış kumaşlarda kumaş yapısında mikrokapsül varlığını açıklamak için mikrokapsül ve mikrokapsül uygulanmış kumaşlardan alınan liflere ait optik mikroskop görüntüleri incelenmiştir. Şekil 1'de mikrokapsüllere ait mikroskop görüntüleri verilmiştir.

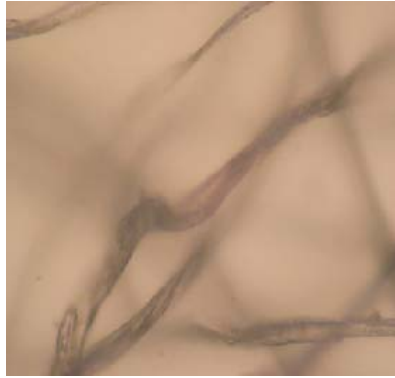


Şekil 1. Mikrokapsüllere ait optik mikroskop görüntüleri (x40) [12]

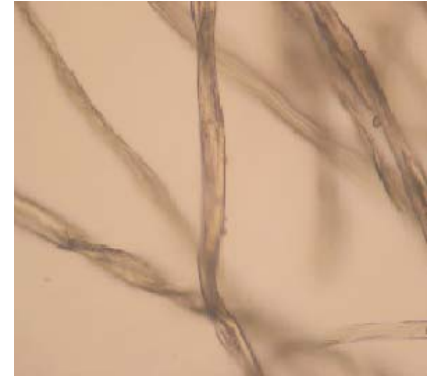
Şekil 2 ve 3'de sırasıyla 50 g/L, 75 g/L ve 100 g/L konsantrasyonlarında mikrokapsül uygulanmış dokuma ve örme kumaşlardan alınan liflere ait optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Optik mikroskoptan elde edilen görüntüler incelendiğinde lif yüzeylerinde tanecikler şeklinde mikrokapsül varlığı görülmektedir.



(a)



(b)



(c)

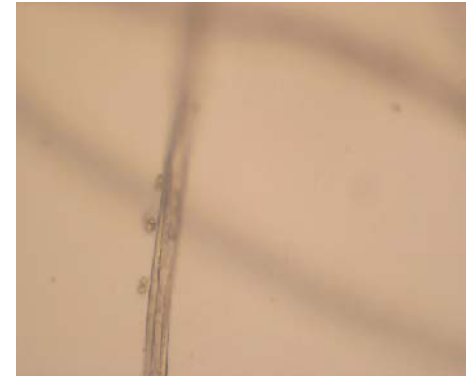
Şekil 2. Farklı oranlarda mikrokapsül uygulanmış dokuma kumaşlardan alınan liflere ait mikroskop görüntüleri (x40); (a) 50 g/L, (b) 75 g/L, (c) 100 g/L [12].



(a)



(b)



(c)

Şekil 3. Farklı oranlarda mikrokapsül uygulanmış örme kumaşlardan alınan liflere ait mikroskop görüntüleri (x40); (a) 50 g/L, (b) 75 g/L, (c) 100 g/L [12].

4.2. DSC analizi

Farklı miktarlarda mikrokapsül uygulanmış dokuma ve örme kumaş numunelerinin erime ve katılma sıcaklık ve entalpileri DSC cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Ölçüm neticesinde elde edilen bulgular Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. Mikrokapsül uygulanmış dokuma ve örme kumaşlara ait DSC cihazı ile ölçülen ısı özellikleri.

Kumaş Numunesi	Erime Sıcaklığı (T _m) °C	Katılma Sıcaklığı (T _c) °C	Erime Entalpisi (J/g)	Katılma Entalpisi (J/g)
Dokuma 1	26,60	21,53	1,0042	-1,0193
Dokuma 2	26,74	21,40	1,0947	-0,8484
Dokuma 3	26,89	21,43	2,2313	-2,0509
Örme 1	26,45	22,45	0,8606	-0,6030
Örme 2	26,78	22,34	1,6530	-1,7718
Örme 3	26,79	22,30	2,1321	-2,1243

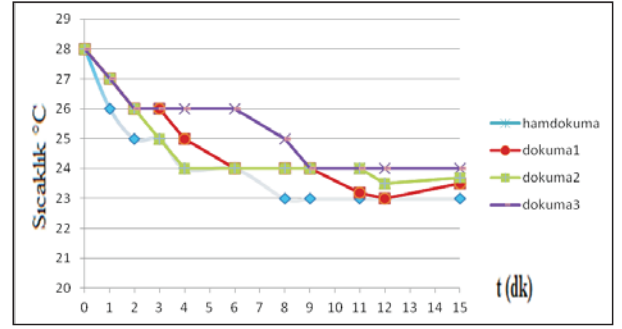
Tablo 4'te verilen sonuçlar incelendiğinde, mikrokapsüllerin içerdiği parafine ait erime ve katılma sıcaklıkları ile kıyaslandığında kumaşlar için ölçülen sıcaklık derecelerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, parafin esaslı faz değiştiren maddelerin faz değiştirme sıcaklıklarının, mikrokapsülasyon işlemi sonrası üretilen mikrokapsülün parafinlerin faz değiştirme sıcaklıklarına göre birkaç derece farklı olduğu görülmektedir. Benzer şekilde mikrokapsül ve mikrokapsül uygulanmış kumaşlar için ölçülen faz değiştirme sıcaklıkları arasında da birkaç derece fark ortaya çıkabilmektedir [13-15]. Kumaşlara ait DSC sonuçlarına göre tespit edilen faz değiştirme sıcaklık farklılığının bahsedilen bu iki nedenden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Kumaşlarda ölçülen maksimum ısı depolama kapasitelerinin yaklaşık 2 j/g olduğu ve artan mikrokapsül konsantrasyonuna bağlı olarak kumaşların depoladığı ve yaydığı ısı enerjisi miktarının arttığı görülmektedir.

4.3. Termal kamera analizi

Çalışmada, sıcak ortamdan serin ortama ve serin ortamdan sıcak ortama getirilen kumaşların zamana bağlı olarak yüzey sıcaklık değişimleri, termal kamera bulgularından elde edilen grafikler ile incelenmiştir. Bu grafiklerde, mikrokapsül içermeyen ham kumaşlar ile mikrokapsül içeren numunelerin yüzeylerinde ölçülen zamana bağlı sıcaklık değişimlerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Karşılaştırmada, ölçüm süresi sonundaki kumaş yüzey sıcaklıkları ve maksimum sıcaklıklara ulaşma süreleri esas alınmıştır. Ölçümlerin yapıldığı odalarda konveksiyon ısı akışı olduğu için, ölçümler sırasında tespit edilen anlık sıcaklık değişimleri dikkate alınmayıp, uzun süre sonundaki genel eğilimler dikkate alınmıştır.

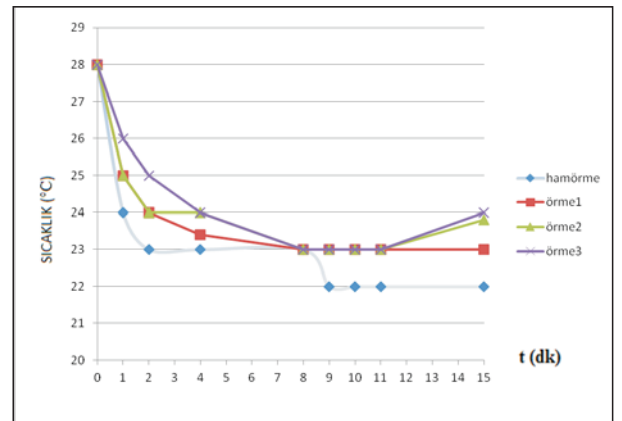
4.3.1. Serin ortamda termal kamera ölçümleri

Şekil 4 ve 5'te mikrokapsül uygulanmamış ham ve farklı konsantrasyonda mikrokapsül uygulanmış dokuma ve örme kumaşların zamana bağlı sıcaklık değişim grafikleri gösterilmiştir.



Şekil 4. Dokuma kumaş yüzey sıcaklık değişimlerinin grafiksel gösterimi [12].

Şekil 4'de, sıcak ortamda bekletildikten sonra, sıcaklığı 20 °C olan serin ortama alınan mikrokapsül içermeyen ham dokuma ve artan oranlarda (Bkz. Tablo 2) mikrokapsül içeren dokuma kumaşlara ait yüzey sıcaklıkları gösterilmiştir. Kumaşların serin ortama alındığı ilk anda kumaş yüzey sıcaklıkları 28 °C olarak ölçülmüştür. Şekil 4 incelendiğinde, kumaş yüzey sıcaklığının, ham kumaş için 8 dakikada minimum sıcaklık olan 23 °C'ye düşerken, dokuma 1 kumaş için 11 dakikada 23,2 °C'ye, dokuma 2 kumaş için 12 dakikada 23,5 °C'ye düştüğü, dokuma 3 kumaş için ise 23 °C'ye hiç düşmediği ve minimum 24 °C'de kaldığı görülmüştür. Öte yandan 15 dakikalık ölçüm süresi sonunda, en fazla mikrokapsül içeren kumaş yüzey sıcaklığı minimum 24 °C'ye düşerken, mikrokapsül oranı azaldıkça ölçülen sıcaklık derecesinin yaklaşık yarım derece kadar düştüğü tespit edilmiştir.



Şekil 5. Örme kumaş yüzey sıcaklık değişimlerinin grafiksel gösterimi [12].

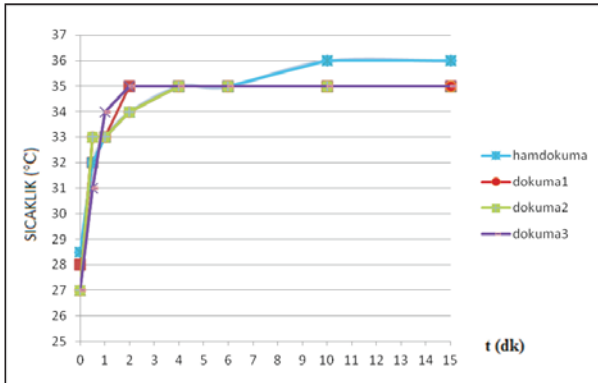
Şekil 5 incelendiğinde, ham kumaşın yüzey sıcaklığının en düşük sıcaklık (22 °C) değerine 9 dakikada ulaştığı görülmektedir. Mikrokapsül içeren kumaşların ise 22 °C'ye hiç düşmediği ve bu kumaşlar için ölçülen en düşük sıcaklığın 23 °C olduğu gözlemlenmiştir. Örme 1 kodlu kumaşın sıcaklığı 23 °C'de sabit kalırken, örme 2 ve örme 3 kumaşlarının sıcaklıklarının 11. dakikadan sonra artış eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir. Bu artışın katılma sıcaklığına olan FDM'nin ısı yayma özelliğinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. 15 dakika sonunda ise kumaşların yüzey sıcaklıklarına bakıldığında en yüksek sıcaklık değeri olan 24 °C'nin, 100 g/L mikrokapsül içeren örme 3 kumaşa ait olduğu ve ham

kumaş sıcaklığı ile kıyaslandığında 2 °C daha yüksek olduğu görülmektedir.

Şekil 4 ve 5'ten elde edilen bulgular değerlendirildiğinde, mikrokapsül içeren kumaşlara göre ham kumaşın daha kısa bir sürede en düşük sıcaklık değerine ulaştığı gözlemlenmektedir. Mikrokapsüllü kumaşlarda ise içerdiği mikrokapsül oranı arttıkça sıcaklığın daha kısa sürede ve daha az oranda düştüğü gözlemlenmiştir. Yani mikrokapsül oranı arttıkça ısıtma etkisi de artmıştır. Mikrokapsül içermeyen ve farklı oranlarda mikrokapsül içeren kumaşlar için tespit edilen kumaş yüzey sıcaklıklarındaki farkın, 20 °C sıcaklığa sahip ortamda mikrokapsül içindeki FDM'nin katılaşmaya başlaması ile ortama yayılan ısıdan kaynaklanabileceğini söylemek mümkün olacaktır.

4.3.2. Sıcak ortamda termal kamera ölçümleri

Serin ortamda 20 °C de, 2 saat bekletilerek sabit sıcaklığına getirilmiş dokuma ve örme kumaşların, sıcaklığı 37 °C olan sıcak odada 15 dakika boyunca gösterdikleri sıcaklık değişimleri Şekil 6 ve 7'de gösterilmektedir.



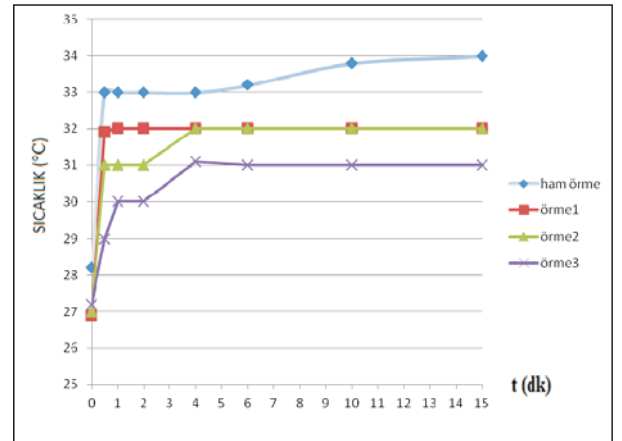
Şekil 6. Dokuma kumaş yüzey sıcaklık değişimlerinin grafiksel gösterimi [12].

Kumaşların sıcak ortama alındığı ilk anda kumaş yüzey sıcaklıklarının 27°C ile 28,5°C arasında olduğu belirlenmiştir. Şekil 6 incelendiğinde, test süresi sonunda ham kumaş yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklığın 36°C'ye ulaşırken, mikrokapsül içeren kumaşlar için ölçülen maksimum sıcaklığın 35°C olduğu görülmektedir. Kumaşların sıcak ortama alındığı andan itibaren 6. dakikaya kadar mikrokapsül içeren ve içermeyen kumaşların benzer eğilimler gösterdiği, bu noktadan itibaren mikrokapsül içeren kumaşların sıcaklıklarını sabit kalırken ham kumaşın sıcaklığının 1°C daha arttığı görülmektedir.

Şekil 7'de ise, serin ortamdan sıcak ortama alınan örme kumaşlara ait sıcaklık değişim grafikleri verilmektedir. Şekilde, ham kumaş sıcaklığı 30 saniye gibi kısa bir sürede 33°C'ye çıkarken mikrokapsül içeren kumaş sıcaklıklarının bu sıcaklığa hiç çıkmadığı görülmektedir. En fazla oranda mikrokapsül içeren kumaş yüzey sıcaklığının maksimum 31°C'ye kadar yükseldiği, mikrokapsül içeren diğer iki kumaşın yüzey sıcaklıklarının ise maksimum 32°C'ye kadar yükseldiği görülmektedir. Netice olarak 15 dakikalık test

süresi sonunda mikrokapsül içeren kumaşlar ile içermeyen kumaş sıcaklık farkının 2 ile 3°C arasında değiştiği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca kumaşların maksimum sıcaklıklara ulaşma süreleri de karşılaştırıldığında, mikrokapsül içeren kumaşlarda bu sürelerin ham kumaşa göre daha uzun olduğu sonucuna ulaşılabilmektedir.

Serin ortamdan sıcak ortama getirilen kumaşlarda yüzey sıcaklık değişimleri karşılaştırıldığında, dokuma kumaşlar için ham kumaş ile mikrokapsül içeren kumaşların yüzey sıcaklıkları arasında 1°C fark olduğu ve farkın mikrokapsül miktarındaki değişimden etkilenmediği görülmektedir. Öte yandan örme kumaşlarda ham ile mikrokapsül içeren kumaşlarda, mikrokapsül miktarına göre sıcaklık farkının 2 ila 3°C arasında değiştiği görülmektedir. Mikrokapsül içermeyen ve farklı oranlarda mikrokapsül içeren kumaşlar için tespit edilen kumaş yüzey sıcaklıklarındaki farkın, 37 °C sıcaklığa sahip ortamda mikrokapsül içindeki FDM'nin erimeye başlaması ile ortamdan soğurulan ısıdan kaynaklanabileceğini söylemek mümkün olacaktır. Öte yandan sıcak ve serin ortamda yapılan sıcaklık ölçümleri birlikte değerlendirildiğinde, her iki kumaş türü içinde kumaşların çok hızlı bir şekilde ısındığı ancak daha yavaş şekilde serinlediği görülmektedir.



Şekil 7. Örme kumaş yüzey sıcaklık değişimlerinin grafiksel gösterimi [12].

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada ısı depolama özellikli mikrokapsül içeren kumaşların farklı ortamlardaki ısı düzenleme özelliklerinin belirlenmesine yönelik bir teknik olarak termal kamera kullanılmıştır. Öncelikle farklı oranlarda mikrokapsüller emdirme yöntemiyle dokuma ve örme kumaşlara uygulanmıştır. Uygulanan mikrokapsüllerin varlığı optik mikroskopla incelenirken, ısı depolama özellikleri DSC ve ısı düzenleme özellikleri ise termal kamerayla yapılan ölçümlerle belirlenmiştir.

DSC analizi sonuçlarına göre farklı oranlarda mikrokapsül uygulanmış kumaşların ısı depolama kapasitelerinin yaklaşık 1-2,5 j/g aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Isı depolama özellikleri olduğu belirlenen dokuma ve örme kumaşların serinletme ve ısıtma etkileri serin ve sıcak olmak üzere iki farklı ortamda termal kamera yardımıyla ölçülmüştür. Yapılan bu ölçümler sonucunda mikrokapsüllü

kumaşların ısıtma ve serinletme etkisinin ham kumaşa göre daha iyi olduğu ve mikrokapsül oranı arttıkça serinletme ve ısıtma etkisinin daha da geliştiği tespit edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, ham kumaş ile mikrokapsül içeren kumaş sıcaklıkları arasındaki fark, dokuma kumaşlar için 1 °C iken örme kumaşlar için mikrokapsül miktarına bağlı olarak 3 °C'ye ulaşmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Mondal, S., (2008), *Phase change materials for smart textiles – An overview*, Applied Thermal Engineering, 28, 1536–1550.
2. Tao, X., (2001), *Smart Fibres, Fabrics and Clothing*, Woodhead Publishing Limited, The Textile Institute, Cambridge, England.
3. Mattila, H.R., (2006), *Intelligent Textiles and Clothing*, Woodhead Publishing Limited, The Textile Institute, Cambridge, England.
4. Boan, Y., (2005), *Physical Mechanism and Characterization of Smart Thermal Clothing*. The Hong Kong Polytechnic University, PhD Thesis, Hong Kong.
5. Wan, X., Fan, J., (2009), *A New method for measuring the thermal regulatory properties of phase change material (PCM) fabric*, Measurement Science and Technology, 20, 1-6.
6. Bendkowska, W., Wrzosek, H., (2009), *Experimental study of the thermoregulating properties of nonwovens treated with microencapsulated PCM*, Fibres & Textiles in Eastern Europe 2009, 17, 5 (76), 87-9.
7. American Standards for Testing Materials (ASTM) D 7024-04, (2004), *Standard Test Method for Steady State and Dynamic Thermal Performance of Textile Materials*.
8. Ying, B., Kwok, Y., Li, Y., Zhu, Q., Yeung, C., (2004), *Assessing the performance of textiles incorporating phase change materials*. Polymer Testing, 23, 541-549.
9. Wang, S.X., Li, Y., Hu, J.Y., Tokura, H., Song, Q.W., (2006), *Effect of phase-change material on energy consumption of intelligent thermal-protective clothing*, Polymer Testing, 25, 580-587.
10. Li, Y., Zhu, Q., (2004), *A Model of heat and moisture transfer in porous textiles with phase change materials*. Textile Research Journal, 74 (5), 447-457.
11. Ghali, K., Ghaddar, N., Harathani, J., Jones, B., (2004), *Experimental and numerical investigation of the effect of phase change materials on clothing during periodic ventilation*. Textile Research Journal, 74 (3), 205-214.
12. Tözüm, M.S., Demirbağ, S., (2011), *Isı Depolama Özellikli Mikrokapsül İçeren Kumaşların Isı Düzenleme Özelliklerinin Belirlenmesi*, SDÜ, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Bitirme Ödevi Projesi, Isparta.
13. Alay, S., Alkan, C., Göde, F., (2011), *Synthesis and characterization of poly(methylmethacrylate)/n-hexadecane microcapsules using different cross-linkers and their application to some fabrics*, Thermochemica Acta, 518, 1-8.
14. Alay, S., Göde, F., Alkan, C., (2011), *Synthesis and thermal properties of poly(n-butyl acrylate)/n-hexadecane microcapsules using different cross-linkers and their application to textile fabrics*, Journal of Applied Polymer Science, 120(5), 2821-2829.
15. Choi, K., Cho, G., Kim, P., Cho, C., (2004), *Thermal storage/release and mechanical properties of phase change materials on polyester fabrics*, Textile Research Journal, 74, 292-296.