



TEKSTİL VE MÜHENDİS
(Journal of Textiles and Engineer)



<http://www.tekstilvemuhendis.org.tr>

Faz Değiştiren Madde (FDM) İçerikli Mikrokapsül Uygulanmış Fonksiyonel orapların Konfor Performanslarının İncelenmesi

Comfort Performances of Microcapsule- Applied Functional Socks Including Phase Change Material

Betül AKGÜNOĞLU, Simge ÖZKAYALAR, Sibel KAPLAN, Sennur Alay AKSOY
Süleyman Demirel Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Online Erişime Açıldığı Tarih (Available online): 1 Ekim 2018 (1 October 2018)

Bu makaleye atıf yapmak için (To cite this article):

Betül AKGÜNOĞLU, Simge ÖZKAYALAR, Sibel KAPLAN, Sennur Alay AKSOY (2018): Faz Değiştiren Madde (FDM) İçerikli Mikrokapsül Uygulanmış Fonksiyonel orapların Konfor Performanslarının İncelenmesi, Tekstil ve Mühendis, 25: 111, 225-233.

For online version of the article: <https://doi.org/10.7216/1300759920182511106>

Sorumlu Yazara ait Orcid Numarası (Corresponding Author's Orcid Number) :

<https://orcid.org/0000-0002-7247-135X>



Araştırma Makalesi / Research Article

FAZ DEĞİŞTİREN MADDE (FDM) İÇERİKLİ MİKROKAPSÜL UYGULANMIŞ FONKSİYONEL ÇORAPLARIN KONFOR PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ

Betül AKGÜNOĞLU
Simge ÖZKAYALAR
Sibel KAPLAN*
Sennur Alay AKSOY

Süleyman Demirel Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Gönderilme Tarihi / Received: 25.12.2017

Kabul Tarihi / Accepted: 13.07.2018

ÖZET: Bu çalışmada, giysilerin termal konforunu geliştirmek için kullanılan faz değiştiren madde içerikli mikrokapsüller poliamid sportif çoraplara uygulanmış, kumaşın ısı düzenleme özellikleri objektif T-History ölçümleri ve subjektif önkol denemeleri ile incelenmiştir. Üretilen mikrokapsüllerin kumaş yapısındaki varlığı FT-IR ve SEM analizleri ile belirlenmiştir. Bu uygulama sonucunda kumaşın yüzey sürtünme, hava geçirgenliği, sıvı absorpsiyon, transfer ve kapasitesi ile kuruma davranışlarındaki değişimler de incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, kapsül uygulaması, T-History ve termal kamera ölçümleriyle de tespit edildiği şekilde, depolanan ısıya bağlı olarak vücudu belirli bir süre daha serin tutmuş ve bu durum on yıkama sonucunda da hissedilmiştir. Ayrıca mikrokapsül uygulaması, beklendiği şekilde hava geçirgenliğinde ve absorpsiyon kapasitesinde anlamlı düşüşler oluşturmuş, kuruma süresini kısaltmış, fakat kumaşın hidrofilitesi, kullanılan duvar maddesine bağlı olarak artmıştır. Isı tamponlama etkisi ve poliamid kumaşın hidrofilitésinin artması, termal konforu iyileştirilmiş, şartlara uyum sağlayan akıllı kumaşlar açısından elde edilen iki önemli sonuçtur.

Anahtar Kelimeler: Faz değiştiren madde, mikrokapsül, çorap, termal konfor.

COMFORT PERFORMANCES OF MICROCAPSULE- APPLIED FUNCTIONAL SOCKS INCLUDING PHASE CHANGE MATERIAL

ABSTRACT: In this study, microcapsules including phase change materials were applied on polyamide sports socks. Thermal regulation performances of the application was investigated by t-history measurements and subjective forearm test. The presence of the microcapsules in fabric structure was studied by FT-IR and SEM analyses. Effects of microcapsule application on surface friction, air permeability, liquid absorption, transfer, absorption capacity and drying behaviors of the fabrics were also investigated. According to the results, as proved by T-History and thermal camera measurements, microcapsule-applied fabric kept the body cooler for a certain period and this function continued after ten washings. Moreover, microcapsule application decreased air permeability, absorption capacity, hence, drying periods as expected. But fabric hydrophilicity increased as a result of chemicals used in microcapsule wall. Besides thermal regulation function, increase in hydrophilicity of polyamide fabric are two important achievements obtained for thermal comfort improvement and smart fabrics that can adapt dynamic conditions.

Keywords: Phase change material, microcapsule, socks, thermal comfort.

* **Sorumlu Yazar/Corresponding Author:** sibelkaplan@sdu.edu.tr <https://orcid.org/0000-0002-7247-135X>

DOI: 10.7216/1300759920182511106, www.tekstilvemuhendis.org.tr

1. GİRİş

Yükselen hayat standartları nedeni ile stil ve moda da dahil olmak üzere insanların tekstil kumaşlarından ve fonksiyonel giysilerden beklentileri de artmaktadır. Spor giyim endüstrisindeki talep artışı ile tekstil endüstrisindeki yeri önemli oranda arttırmıştır [1-6]. Spor giyim endüstrisindeki birçok gelişme, farklı spor dallarındaki performanslar için fonksiyonel tekstillerin kullanımına neden olmuştur [7]. Yeterli korumanın yanı sıra mükemmel bir konfor işlevi sağlamak ana amaçlardandır [8-11]. Aktif yaşam tarzı nedeniyle günümüz insanı, vücudu ikinci bir deri gibi saran ve hareketleri engellemeyen örme giysileri, özellikle serbest zaman giysilerinde de tercih etmektedirler [12-13]. Tercih edilen örme kumaşların estetik özelliklerinin yanında, hava ve su buharı geçirgenliği, termal yalıtım, termal iletkenlik, nem yönetimi, elastikiyet ve yumuşklık gibi konfor parametreleri de beklentiler arasındadır [6,9,13]. Sportif giysilerin önemli bileşenlerinden olan çoraplar koşu gibi fiziksel faaliyetlerde ayak için en uygun sıcaklık ve nem koşullarını sağlama konusunda etkilidir. Fonksiyonel oraplarda da diğer giysilerde olduğu gibi hammadde ve örgü konularında modifikasyonlar yapılmakta [9, 14-16], konfor özellikleri objektif ve subjektif [17-19] ölçüm yöntemleriyle belirlenmektedir.

Belirtilen modifikasyonların ötesinde, farklı yeni nesil bitim işlemleriyle de çorap ve diğer sportif giysilerin değişen vücut ve ortam şartlarına uyum sağlaması söz konusudur. Bunlardan biri olan ve bu çalışmanın da konusu olan faz değiştiren maddelerin tekstil materyali üzerinde ısı düzenleme ve ısı konfor iyileştirme amaçlı kullanımı son yıllarda araştırmaların yoğunlaştığı konudur. Faz değiştiren madde (FDM) bir fazdan başka bir faza geçerken ısı depolayan, tam tersi faz geçiş durumunda ise depoladığı bu ısıyı ortama geri yayan ve bu ısı alış verişi sırasında kendi sıcaklığı sabit kalan maddedir. Bu özellikleri ile FDM faz değişimi sırasında ısı denge sağlama (ısı düzenleme) etkisi göstermektedir ve bu etki faz değişim prosesi tamamlanıncaya kadar devam etmektedir [20-22]. Böylece FDM, evre koşullarına ve fiziksel aktiviteye bağlı olarak vücut sıcaklığında meydana gelen değişiklikler üzerinde tamponlama etkisi göstererek kişinin değişikliklerden daha az etkilenmesine bağlı olarak konfor hissini korumasına katkı sağlamaktadır. Faz değiştiren maddeler incelendiğinde organik ve inorganik yapıda olmak üzere çok sayıda madde türüne rastlanılmaktadır. Ancak özellikle organik kökenli parafinik faz değiştiren maddelerin tekstil materyalleri için daha uygun olduğu görülmektedir. Bunun başlıca nedenleri olarak, seçilen parafinlerin vücut sıcaklık aralığına yakın aralıktaki faz değiştirme sıcaklıklarına ve yüksek gizli ısı depolama kapasitelerine sahip olmaları, toksik olmaları sayılabilir. Ancak parafinler katı-sıvı faz değişimi gerçekleştirmekte olup sıvı formda tekstil yapısına tutunabilmeleri için uygun bir duvar yapı içerisine mikro boyutta kapsüllenmeleri gerekir. Bu koruyucu kabuk parafinin sıvı fazda dışarıya difüzyonunu engellemekte ve faz değişim döngüsü kabuk içerisinde gerçekleştirilmektedir [23-24]. Bu nedenle çalışmaların büyük oranda parafinlerin farklı yöntemlerle farklı duvar yapı içerisine kapsüllenmesi konusuna odaklandığı görülmektedir [25-32].

Diğer konfor ölçümlerinde olduğu gibi FDM'lerin etkileri genellikle geliştirilen, farklı metot ve cihazlar ile yapılmaktadır. Bu alışmalar arasında FDM içeren ve içermeyen kumaşların termal dirençlerinin ölçülmesi [33-34], sıcaklık düzenleme faktörünün belirlenmesi [34-36], infrared görüntüleme [34,37], klimalı ortamlarda termal mankenler üzerinde değişken koşullarda vücut sıcaklık ölçümleri [38-41] ve T-History (Thermal History) sistem ölçümleri [25, 42-43] şeklinde dir. Ayrıca, FDM içerikli kumaşlardan giysi üretilip giysi formundaki ısı düzenleme özellikleri de bir dizi çalışma ile incelenmiştir [34, 39, 44-47]. Bu çalışmalarda farklı kumaşlara farklı çekirdek ve öz içeriğindeki mikrokapsüllerin uygulanmasıyla giysilerin ham duruma göre ısı depolama/yayma özelliklerindeki değişim [34, 39,] ısı özelliklerine mikrokapsül miktarının etkisi [24,33,] incelenmiştir.

Bu çalışmada, poliamid filamentten üretilen fonksiyonel spor orabına faz değiştiren madde (FDM) mikrokapsülü uygulanmış ve uygulamanın çorabın gramaj, deri-kumaş sürtünmesi, geçirgenlik (hava), sıvı absorpsiyon ve transfer (drop, kuruma hızı, batma süresi) özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Kapsül uygulanmış kumaşın kimyasal karakterizasyonu ve farklı sıcaklıklardaki davranışları T-History Testi ile ilk durum ve belirli sayıda yıkama sonucunda da incelenerek mikrokapsül uygulamamasının kalıcılığı incelenmiştir. Ayrıca, gerçekleştirilen önkol testi ve eř zamanlı gerçekleştirilen termal kamera ölçümleri ile çorabın deriyle teması sırasında eriyen mikrokapsüllenmiş FDM'lerin ortamdan aldıkları ısı nedeniyle oluşan soğumanın kişiler tarafından hissedilme düzeyleri belirlenmiştir. Bu sayede, objektif ölçümlerle tespit edilen ısı depolama ve sıcaklık değişimlerinin ürünün gerçek hayat performansında kişiler tarafından algılanma durumu da tespit edilmiştir.

2. MATERYAL ve METOT

2.1. Materyal

2.1.1. orap üretimi

Çalışmada, 204 dtex/48 filament poliamid suprem örgüye sahip oraplar Lonati 400 yuvarlak örme makinesinde örülmüştür. Elde edilen suprem kumaşın sıra ve çubuk sıklıkları sırasıyla 20 ve 10 ilmek/cm'dir. Yapılan tüm testlerde, kullanılan çorap ve kumaş numuneleri, 24 saat boyunca standart atmosfer koşullarında (20±2 °C ve %65±2 bağlı nem) kondüsyonlanmıştır. Örülen fonksiyonel çoraplara test yapılmadan önce ISO 5A standardına göre 40 °C sıcaklıkta Wascator FOM71 CLS amaşır Yıkama Makinesinde yıkanmıştır.

2.1.2. Kapsül üretimi ve kumaşa bağlanması

Bu çalışmada, daha önceki bir çalışmada [25] emülsiyon polimerizasyonu yöntemi ile üretilmiş poli(metil metakrilat-kometakrilik asit) Poli(MMA-ko-MA)/ duvarlı, parafin esaslı faz değiştiren madde (n-oktadekan) içerikli ısı depolama özellikli mikrokapsüller esas alınarak çekirdek madde: duvar madde oranı 1:2 olarak değiştirilerek mikrokapsül üretimi gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında üretilen mikrokapsüller %33 oranında

metakrilik asit (MA) içermektedir. Kumaşlara uygulanacak mikrokapsülün DSC (Diferansiyel taramalı kalorimetre, Perkin Elmer) analizi ile belirlenen ısıl özellikleri Tablo 1’de özet halinde verilmiştir. DSC analizi -5 °C - +80 °C sıcaklıkları arasında 5 °C/d ısıtma/soğutma oranında azot (N₂) atmosferinde gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada mikrokapsüller poliamid suprem çoraplara emdirme metodu ile uygulanmıştır. Mikrokapsüllerin kumaşlara kimyasal olarak bağlanması için çapraz bağlayıcı olarak Fixepret Resin F-ECO, katalizör olarak magnezyum klorür (MgCl₂) kullanılmıştır. Tablo 2’de mikrokapsüllerin kumaşa uygulanması sırasında kullanılan kimyasalların özellikleri ve Tablo 3’de mikrokapsüllerin kumaşa uygulanmasındaki şartlar özet olarak verilmiştir. Mikrokapsül uygulamasında kumaş tarafından alınan mikrokapsül içere flote miktarı yaklaşık % 75 olarak belirlenmiştir. Alınan flote miktarı emdirme sonrası yaş kumaş ağırlığı ile emdirme öncesi kuru kumaş ağırlığı arasındaki farkın kuru kumaş ağırlığına oranlanması ile hesaplanmıştır.

2.2. Kapsül Uygulanan Kumaşın Kimyasal Karakterizasyonu ve Faz Değiştirme Ölçümleri

2.2.1. SEM Analizi

Kumaşlarda yıkama öncesi ve sonrası mikrokapsül varlığı ve dağılımı taramalı elektron mikroskopu (SEM) analizi ile incelenmiştir. Numunelerin yıkama öncesi ve on kez yıkama sonrası SEM görüntüleri alınmıştır. Analizler düşük vakum ortamında (SEM, FEI QUANTA FEG 250) gerçekleştirilmiştir.

2.2.2. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FT-IR) Analizi

Mikrokapsül uygulanmış kumaşların kimyasal yapısını incelemek için FT-IR spektroskopisi kullanılmıştır. FT-IR analizi ile mikrokapsüllerin yapısındaki kimyasal bağların ham poliamid kumaştan farklı olarak mikrokapsül uygulanmış poliamid kumaşa var olup olmadığı araştırılmıştır. Kumaşların IR

spektrumları KBr pellet tekniği ile hazırlanarak Perkin Elmer Spektrum BX cihazı kullanılarak 4000-400 cm⁻¹ orta infrared bölgesinde 2 cm⁻¹ aralığında kaydedilmiştir. Analiz sırasında tarama sayısı 16, çözünürlük 4 cm⁻¹ olarak ayarlanmıştır.

2.2.3. Termal History (T-history) Analizi

Mikrokapsül içeren kumaşların, yapısındaki faz değiştiren maddenin erimesi sırasında ortamdaki ısı sonucunda ortaya çıkan ısı düzenleme etkisini belirlemek için T-History testi uygulanmıştır. Testte soğuk ortamdaki sıcak ortama getirilen mikrokapsül uygulanmamış referans ve mikrokapsül uygulanmış kumaşların yüzey sıcaklık değişimleri belirlenmiştir. Test için bir termal kamera (Fluke Ti100), sıcaklık sensörü, veri kaydedici, termostata bağlı bir ampulden ve yalıtımlı bir poliüretan kutudan oluşan T-history sistemi kullanılmıştır (Şekil 1). Ölçüm öncesi hem referans hem de test numunesi 0 °C’de 24 saat kondisyonlanmıştır ve bu sırada mikrokapsül içeren kumaş yapısındaki FDM’nin katılaşması sağlanmıştır. Ölçüm sırasında sıcak ortama alınan kumaş yapısında FDM’nin erimesi boyunca absorbe ettiği ısının kumaş yüzey sıcaklığına etkisi, mikrokapsül içeren kumaş ve içermeyen referans kumaş yüzey sıcaklıkları karşılaştırılarak araştırılmıştır. Test sonucunda, kumaş yüzey sıcaklıkları arasındaki fark mikrokapsül içeren kumaşın serinletme etkisi olarak değerlendirilmiştir. Testte soğuk ortamda kondisyonlanan kumaş örnekleri mümkün olan en kısa sürede iç sıcaklığı sabit 40 °C’ye ayarlanmış ölçüm kutusu içerisine yerleştirilmiştir. Sıcak ölçüm sistemi içerisinde kumaşın yüzey sıcaklığı ortalama 17 dakika boyunca her 30 saniyede bir termal kamera ile ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Kumaş yüzey sıcaklıkları hem referans hem de mikrokapsül içeren numune kumaş için tekrarlanmış ve zamana bağlı sıcaklık değişim grafikleri elde edilmiştir. Bu grafiklerden, numune ve referans kumaşın soğuk ortamdaki sıcak ortama getirildikleri anda ısınmaları sırasında yüzey sıcaklık farkları izlenmiştir [25]. Bu ölçümler 1, 5 ve 10 yıkamalar sonucunda da tekrarlanmıştır.

Tablo 1. Çalışma kapsamında kullanılan mikrokapsülün ısıl özellikleri [48]

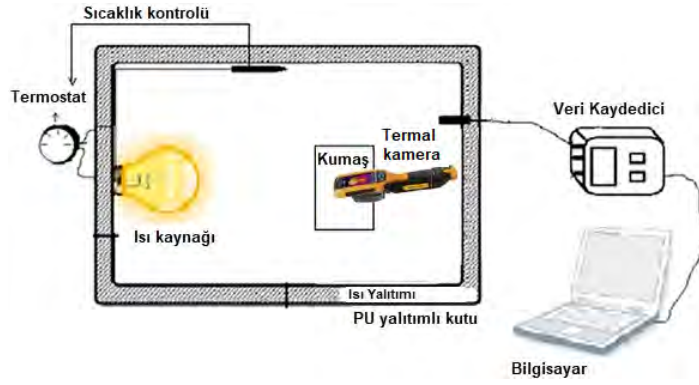
Mikrokapsül Adı	Erime Entalpisi (J/g)	Erime Sıcaklığı (°C)	Katılaşma Entalpisi (J/g)	Katılaşma Sıcaklığı (°C)
Poli(MMA-ko-MA)/n-oktadekan	100,0669	26,65	-84,9224	24,42

Tablo 2. Mikrokapsüllerin kumaşa uygulanması sırasında kullanılan kimyasalların özellikleri

Mikrokapsül Türü ve Konstrasyonu	Çapraz bağlayıcı		Katalizör	
	Kimyasal İsmi ve Markası	Miktarı	Kimyasal İsmi ve Markası	Miktarı
Poli(MMA-ko-MA)/n-oktadekan-100 g/L	Fixapret Resin F-Eco (F-ECO) – BASF	70 g/L	Magnezyum klorür (MgCl ₂) - BASF	15 g/L

Tablo 3. Mikrokapsüllerin kumaşa uygulanmasındaki şartlar

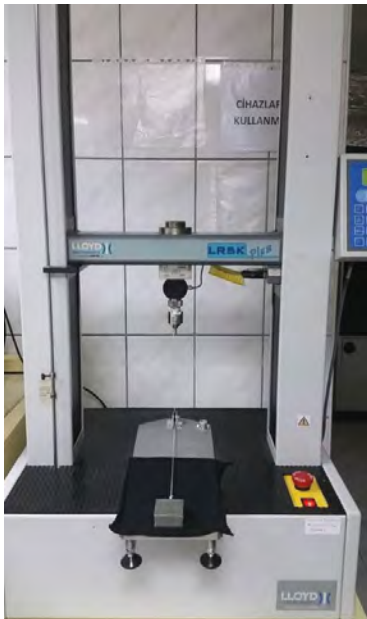
Emdirme Şartları	Kurutma ve Fikse Şartları
2 bar basınç	80° C 5 dk
2 m/dk hız	120° C 1 dk

**Şekil 1.** T-History düzeneği şematik gösterimi

2.3. Kumaş/Çorap Konfor ve Performans Ölçümleri

2.3.1. Sürtünme özellikleri

Mikrokapsül uygulanmış çorap kumaşlarının sürtünme özellikleri Lloyd LR5K Plus mukavemet cihazına sürtünme aparatı takılarak yatay yüzeydeki kumaşa, üzerindeki hareketli kızağın (6x7 cm) sürtünmesi esasına dayanan prensiple ASTM D 1894 standardına göre belirlenmiştir. 25 mm/dakika çekme hızı ve minimum 10 cm'lik bir ölçüm uzunluğunda sıra ve çubuk yönlerinde testler yapılmıştır. Sürtünme testleri çorap kumaşlarının deriye temas eden iç yüzlerine uygulanmıştır. Test sonucu elde edilen kuvvet-yer değıştirme grafiğinden kinetik ve statik sürtünme kuvvetleri (F_s ve F_k) kullanılarak kinetik ve statik sürtünme katsayıları $\mu = F/N$ formülüne göre hesaplanmıştır. Burada N, kumaşlara uygulanan normal kuvvettir.

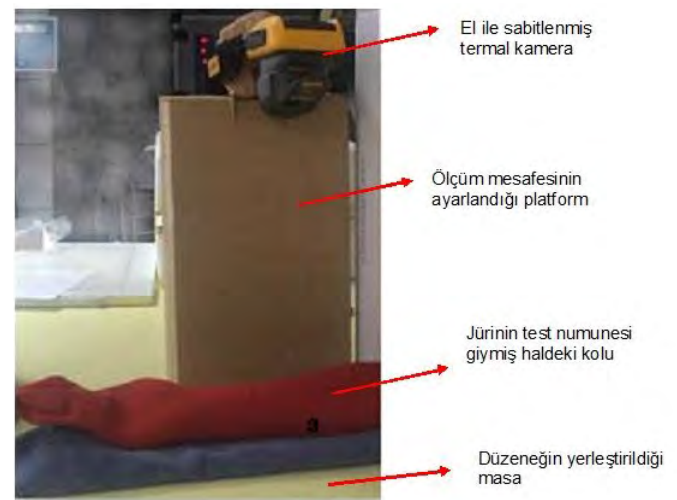
**Şekil 2.** Sürtünme testi düzeneği

2.3.2. Geçirgenlik ve sıvı transfer testleri

Hava geçirgenliği TS 391 EN ISO 9237 standardına göre Textest FX 3300, su buharı geçirgenliği ASTM E398 standardına göre Labthink TSY-W1 cihazında yapılmıştır. Absorbsiyon süresi (drop) testi AATCC TM-79, kumaşlarda sıvı transfer hızını belirleyen batma süresi testi AATCC 79-Method B standartlarına göre yapılmıştır. AATCC 199 standardına göre kumaşların maksimum sıvı absorbe etmiş ve kuru ağırlıkları üzerinden absorpsiyon kapasitesi ve kondisyonlanmış kuru ağırlıklarına geri dönüş için geçen sürenin belirlendiği kuruma hızı değerleri literatür ışığında [49] belirlenmiştir.

2.3.3. Önkol (Forearm) testi

Önkol testi, duyuşal reseptörlerin yoğun bir şekilde bulunduğu alt kolun iç kısmına belirli basınçta kumaş numunelerinin temas ettirilmesine dayanmaktadır. Bu sırada kişilerin numuneyi görmesi engellenmekte, yalnızca kumaşın teması sırasında ortaya çıkan hislere yoğunlaşmaları istenmektedir [50]. Ham ve kapsüllü kumaşların ısı düzenleme performansları tekstil eğitimine sahip 11 bayan jüri üyesi tarafından önkol testi ile değerlendirilmiştir. Soğuk bir ortamda (kapsüllerin erime sıcaklığının altında) tutulan çorap numuneleri standart ortam koşullarında bir süre geçiren jüri üyelerinin ön kollarına giydirilerek stabil bir his için tam temas etmeleri sağlanmıştır. Beş dakika boyunca kumaş yüzey sıcaklığı 15'er saniyelik periyodlarla termal kamera ile tespit edilmiş, jürilerin subjektif sıcaklık hisleri dakika başı alınmıştır. Ayrıca teste başlamadan önce ve beş dakikanın sonunda jürilerin önkol deri yüzey sıcaklıkları ile kumaş başlangıç iç sıcaklıkları da termal kamera ile tespit edilmiştir. Faz değıştiren mikrokapsüllerin deriye teması sonucu erimeleri sırasında ortamdaki aldıkları ısı nedeniyle oluşan serinlik hissinin gerçek kullanıcılar tarafından da hissedilme durumu araştırılmıştır. Önkol testinden bir görünüm Şekil 3'te görülmektedir.

**Şekil 3.** Çorap giydirilmiş kolda önkol testinin yapılışı

Önkol testi ve giyim denemelerinde 'soğuk' ve 'sıcak' arasında değışen, 'nötr' bir orta nokta etrafında 'serin' ve 'ılık' hisleri de 5-noktalı bir duyuşal skaladır.

Elde edilen tüm objektif verilere % 95 güven seviyesi için t-testi uygulanmıştır. Subjektif değerlendirme sonuçlarının (non-parametrik veriler) jüriler için uyumu Kendal Uyumluluk Analizi, ham ve kapsüllü çoraplar arasındaki farkların anlamlı olup olmadığı Mann-Whitney U Testi ile kontrol edilmiştir.

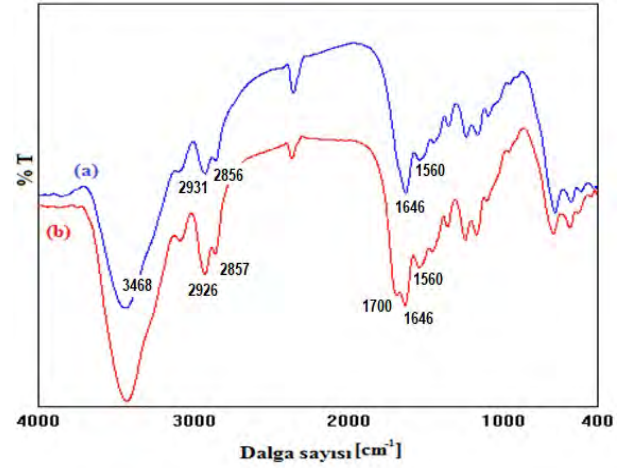
3. BULGULAR ve TARTIŞMA

3.2. Kapsüllü Çorapların Morfolojik ve Kimyasal Karakterizasyonu ve T-History Sonuçları

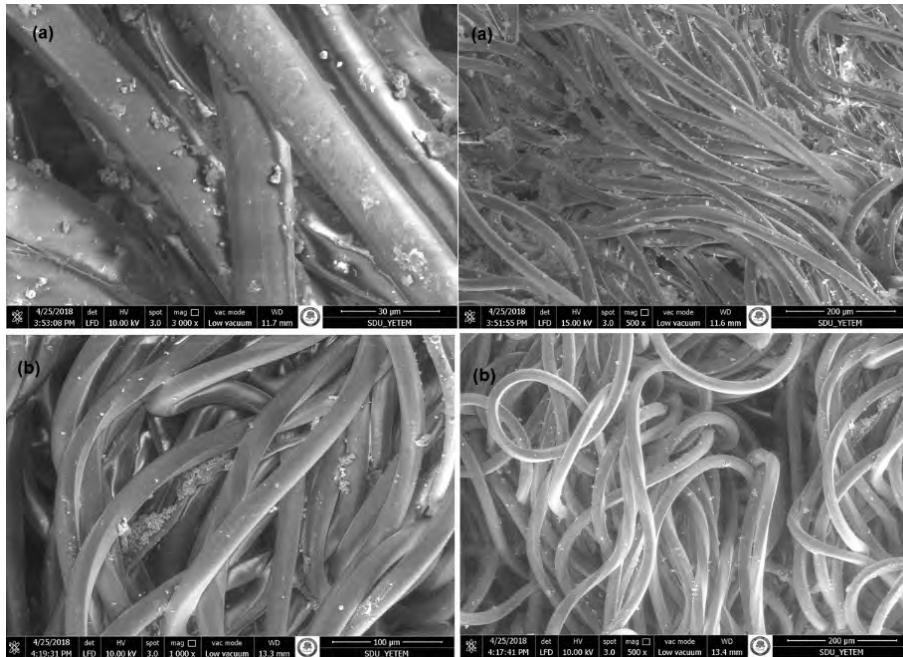
Mikrokapsül uygulanmış kumaşlara yıkama öncesi ve sonrası mikrokapsül varlığını ve kalıcılığını araştırmak için SEM analizi uygulanmıştır. Şekil 4'te mikrokapsül uygulanmış kumaşlarda uygulama sonrası ve on kez yıkama sonrası SEM görüntüleri verilmiştir. Görüntüler incelendiğinde, mikrokapsüllerin kumaş yapısındaki varlığı tespit edilmiştir. Ancak mikrokapsüllerde yer yer kümelenme eğilimi olduğu da görülmektedir. On kez yıkanmış çorap kumaş örneklerine ait SEM görüntüleri incelendiğinde ise mikrokapsüllerin varlığı açıkça görülmektedir. Yıkama sonrası mikrokapsül miktarında azalma olmasına rağmen on kez yıkamaya dayanıklı mikrokapsül uygulamasının gerçekleştirildiği sonucuna ulaşılmıştır.

Mikrokapsül uygulanmış kumaşlarda kumaş yapısında mikrokapsül varlığını kimyasal olarak açıklamak için FT-IR analizi yapılmıştır. Şekil 5'te mikrokapsül içermeyen referans kumaşın (a) ve mikrokapsül içeren kumaşın (b) FT-IR spektrumları verilmiştir. Mikrokapsül uygulanmamış ham poliamid kumaşa ait spektrumda 3468 cm^{-1} dalga boyundaki band H-bağlı N-H gerilim titreşimi, 1646 cm^{-1} , 1560 cm^{-1} dalga boylarındaki pikler ise sırasıyla amid 1 bağı karbonil (C=O) grubuna ve amid 2 C-N gerilme ve CO-N-H eğilme pikleridir [51]. Mikrokapsül

uygulanmış kumaşa ait spektrumda bu piklere ilave olarak 2926 cm^{-1} ve 2857 cm^{-1} ortaya çıkan pikler mikrokapsül yapısındaki parafine ait C-H gerilme pikleri olup, poliamide ait CH_2 gerilme pikleri (2931 cm^{-1} ve 2856 cm^{-1}) ile üst üste çakışmıştır. Ayrıca, mikrokapsül uygulanmış poliamid kumaşlarda ham poliamid kumaşlardan farklı olarak 1700 cm^{-1} 'de ikinci bir karbonil piki ortaya çıkmıştır. Bu pik mikrokapsül kopolimer duvar yapısında 1722 cm^{-1} 'de ortaya çıkan karbonil pikine aittir [25]. Bu pikler kumaş yapısındaki mikrokapsüllerin varlığını ispatlamak için kanıttır.



Şekil 5. Mikrokapsül içermeyen referans kumaşın (a) ve mikrokapsül içeren kumaşın (b) FT-IR spektrumları



Şekil 4. Kumaşlara ait SEM görüntüleri: yıkama öncesi (a), 10 kez yıkama sonrası (b)

Şekil 6'da mikrokapsül uygulanmış ve uygulanmamış kumaşlara ait tekrarlanmış T-History test sonuçları verilmiştir. Grafikte soğuk ortamda kondisyonlandıktan sonra sıcak ortama alınan kumaş örneklerinin yüzey sıcaklığının zamana bağlı değişim eğrileri gösterilmektedir. Eğriler incelendiğinde kumaşlar sıcak ortama yerleştirildiği andan itibaren yüzeyde ölçülen sıcaklığın hızlı bir şekilde yükseldiği dikkat çekmektedir. Özellikle mikrokapsül uygulanmamış kumaşta sıcaklık artışı daha belirgin ve hızlı gerçekleşmiştir. Ancak mikrokapsül uygulanmış kumaşlarda 30 °C civarından sonra sıcaklık artışı yavaşlamış ve kumaşların maksimum sıcaklığı olan 40 °C'ye ulaşma süresi artmıştır. Bu yavaşlama kumaşların yapısındaki FDM'nin erimesi nedeniyle soğurduğu ısıdan kaynaklanmaktadır ve mikrokapsül uygulanmış ancak yıkanmamış kumaşta en belirgin şekilde gerçekleşmiştir. Bu fark mikrokapsül uygulanmış kumaşın ısı düzenleme özelliğinin göstergesidir. Mikrokapsül uygulaması sonrası yıkanıp tekrar T-history ölçümleri yapılan kumaş örneklerinin ısı düzenleme özelliklerinin azaldığı ancak 10 yıkama sonrası bile maksimum sıcaklığa ulaşma süresinin kapsül içermeyen ham kumaşa göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

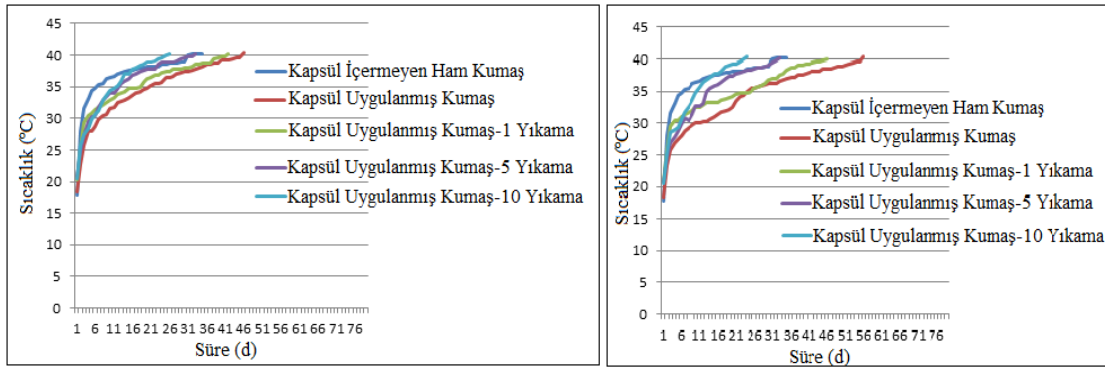
3.2. Kumaşların Sürtünme Testi Sonuçları

Ham ve mikrokapsül uygulanmış kumaşlara yapılan varyans analizi testi sonuçlarına göre kinetik ve statik sürtünme katsayıları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar olmadığı

tespit edilmiştir ($p>0.05$). Daha önceki çalışma sonuçlarıyla da uyumlu olan bu sonuç, kumaşın oluşturduğu daha serin hislerin yüzey değişiminden değil mikrokapsüllerin soğutma etkisinden kaynaklandığını ortaya çıkarmaktadır.

3.3. Kumaşların Geçirgenlik ve Sıvı Transfer Test Sonuçları

Ham ve mikrokapsül uygulanmış kumaşların gramaj değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark tespit edilmiştir ($p<0.05$). Mikrokapsül uygulamasının hava geçirgenliğini anlamlı düzeyde düşürdüğü, ıslanma ve sıvı transfer özelliklerinde ise anlamlı düzeyde ($p<0.05$) iyileştirmeler oluşturduğu tespit edilmiştir. Sıvı transfer özelliklerindeki iyileşmeler, ısı düzenleme dışında uygulamanın termal konfor açısından kazandırdığı diğer avantajlardır. Sıvı absorpsiyon ve transfer özelliklerindeki iyileşmelerin, uygulanan mikrokapsülün duvar yapısına komonomer olarak ilave edilen metakrilik asit monomerinin hidrofilik karakterinden kaynaklandığı, bu nedenle mikrokapsül duvar yapısının, hidrofob karakterli poliamid kumaşa göre daha hidrofilik karakter sergileyebileceği düşünülmektedir. Hava geçirgenliğindeki azalış ise, beklenildiği şekilde kumaş içerisindeki gözeneklerin kapanmasına neden olmuştur. Kumaşın absorpsiyon kapasitesinde kapsül uygulaması ile meydana gelen azalma ise istatistiksel olarak anlamlı değildir ($p>0,05$) (Tablo 5). Bahsedilen sonuçlar, aktif spor sırasında kullanılan poliamid çorabın mikrokapsül uygulaması ile daha serin hislerin yanında daha kuru da hissettireceği yönünde önemli verilerdir.



Şekil 6. T-History test sonuçları

Tablo 4. Ham ve mikrokapsül uygulanmış kumaşların sürtünme katsayısı sonuçları

Kumaş	Sürtünme Katsayıları	
	μ_s [S.S.]	μ_k [S.S.]
Poliamid (Referans kumaş)	0.29 [0.08]	0.21 [0.08]
Poliamid (Kapsül uygulanmış kumaş)	0.26 [0.17]	0.16 [0.14]

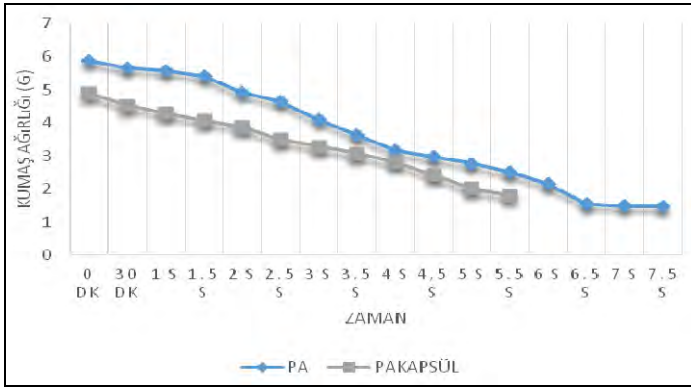
S.S.: Standart sapma

Tablo 5. Ham ve mikrokapsül uygulanmış kumaşların geçirgenlik ve transfer test sonuçları

Kumaş	Gramaj (g/m ²) [S.S.]	Hava Geçirgenliği (lt/m ² /sn) [S.S.]	Damla (Drop) Test (s) [S.S.]	Absorbsiyon Süresi (Batma testi) (s) [S.S.]	Absorbsiyon Kapasitesi (%) [S.S.]
Poliamid (Referans kumaş)	349.00 [31.23]	349.0 [31.23]	20.22 [0.05]	491.64 [3.48]	287.24 [3.24]
Poliamid (Kapsül uygulanmış kumaş)	174.50 [16.71]	174.5 [16.71]	2.59 [0.05]	4.58 [0.20]	162.15 [0.61]

S.S.: Standart sapma

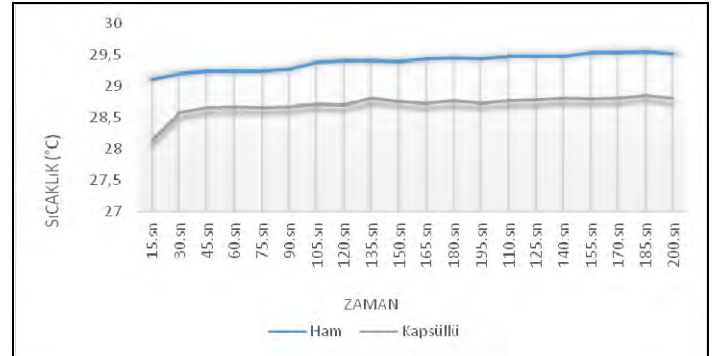
Ham ve mikrokapsül uygulanmış poliamid kumaşların zamana bağlı olarak kuruma davranışları incelendiğinde, daha düşük absorpsiyon kapasitesine de bağlı olarak, mikrokapsül uygulanmış kumaşın ham kumaşa göre vücutta oluşan sıvıyı daha kısa sürede buharlaştırarak uzaklaştırdığı gözlenmiştir (Şekil 7). Bu durumun, kumaşın artan sıvı transfer kapasitesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Tablo 5).

**Şekil 7.** Kumaşların kuruma davranışları

3.4. Önkol (Forearm) Testi Sonuçları

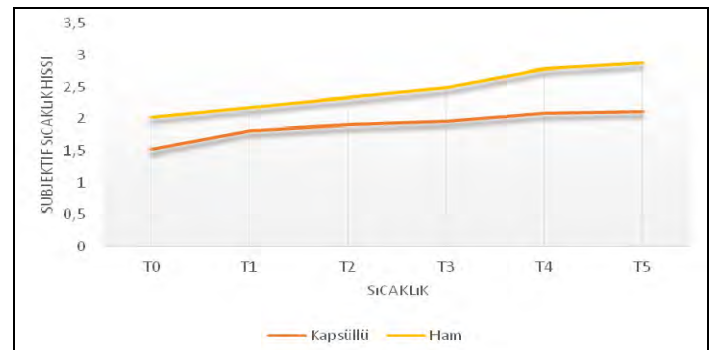
Çalışmada, subjektif önkol testi, gönüllü 11 kadın jüri üyesi ile gerçekleştirilmiştir. Bu bölüm kapsamında ham ve mikrokapsül uygulanmış kumaşların, katılımcıların önkollarının iç kısmına teması sırasında kumaş yüzeyinden 15'er saniye periyodlarla 5 dakika boyunca alınan sıcaklık değerlerine ait grafik Şekil 8'de görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi, ilk dakikadan itibaren kapsül uygulanmış çorap ham kumaştan maksimum 1°C (0,58-0,98 arası) daha düşük sıcaklık değerlerine sahiptir. Ölçümlerin kumaşın üst yüzeyinden yapıldığı düşünülürse, kumaşın deriye temas eden iç kısmında daha yüksek sıcaklık farklılığının oluştuğu açıktır. Bu durum, subjektif değerlendirmeler ile de tespit edilmiştir.

Önkol testi sırasında kumaşın ilk teması (T0), birinci (T1) ve beşinci (T5) dakikalar sonundaki subjektif sıcaklık değerlendirmelerinin jüriler bazındaki uyumunu gösteren W değerleri Tablo 6'da verilmiştir. W değerinin 1'e yakın olması uyumun arttığını gösterir ve sonuçların kullanılabilmesi için p değerlerinin de 0,05'ten küçük olması gerekmektedir. Tablo 6'da görüldüğü gibi seçilen üç veri grubu için de subjektif sıcaklık verileri jüriler için uyumludur.

**Şekil 8.** Termal kamera ile ölçülen kumaş yüzeyi sıcaklık değişimleri**Tablo 6.** Kendal uyumluluk analiz sonuçları

	T0	T1	T5
Kendal Uyumluluk Katsayısı	0,582	0,495	0,495
p-değeri	0,011	0,020	0,020

Birinci ve beşinci dakikalarda alınan subjektif sıcaklık verilerine uygulanan Mann Whitney U non-parametrik varyans analizi testine göre ise kapsül uygulanmış çorap ham çoraba göre her iki zamanda da istatistiksel olarak anlamlı düzeyde (p = 0,00) daha serin hisler vermiştir. Bu sonuç, mikrokapsül uygulamasının termal etkisinin giyim denemesi dışında daha basit bir test olan önkol testi ile de belirlenebileceğini göstermektedir. Bu konudaki subjektif çalışmalar incelendiğinde, mikrokapsül uygulamasının etkinliğinin tespiti için önkol testinin kullanımına rastlanmamıştır. Önkol testi sırasında kumaşın ilk temasında (T0) ve beş dakikalık süre boyunca alınan subjektif sıcaklık hissi değerlendirmeleri Şekil 9'da görülmektedir.

**Şekil 9.** Önkol testi sırasında alınan subjektif sıcaklık değerlendirmeleri

4. SONUÇ

Elde edilen sonuçlara göre, poliamid sportif çoraba faz değiştiren madde içerikli mikrokapsül uygulanmasıyla ısı düzenleme özelliğinde belirgin iyileşmeler gözlenmiş, özellikle yıkama öncesi kapsül uygulanan kumaşın daha uzun süreler deriyi serin tutabileceği tespit edilmiştir. Bu durum, önkol denemeleri sırasında kumaş üst yüzeyindeki maksimum 1°C'ye ulaşan sıcaklık düşüşü ve katılımcıların kapsül uygulanmış çorabı anlamlı düzeyde daha serin olarak değerlendirmeleriyle de teyit edilmiştir. Isı düzenleme etkisinin yanında, hidrofil özellikteki mikrokapsül, kumaşın teri daha hızlı emmesine ve transfer etmesine de olanak tanımış, uygulama ile kumaşın absorpsiyon kapasitesinde de anlamlı bir kayıp meydana gelmemiştir. Ayrıca mikrokapsül uygulanan kumaşların daha hızlı kurumuş olması da diğer pozitif değişimdir. Faz değiştiren madde içerikli mikrokapsül uygulamalarının vücuda temas eden sportif ve koruyucu giysiler için çevre ve vücut şartlarına uyum sağlayıp konforu iyileştirme yönünde kullanılabilecek akıllı tekstil uygulamalarından biri olduğu belirtilebilir. Bu tür uygulamaların etkinliğinin belirlenmesi için subjektif giyim denemelerinin yanında önkol testinin de uygulanmasıyla ürünün gerçek hayat performanslarının belirlenebileceği düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR

Çalışmayı 4840-YL1-16 No'lu SDÜ Bilimsel Araştırma Projesi ile destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi'ne ve çalışma kapsamında kullanılan çorap ve kumaşların temin edildiği Çelik Çorap San. ve Tic. A.Ş.'ye teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

- Kanakaraj, P., & Ramachandran, R. (2015), *Active Knit Fabrics-Functional Needs of Sportswear Application*, Journal of Textile & Apparel Technology & Management (JTATM), 9(2), 1-11.
- Chen, Y., Yan, Y., Wu, B., Tao, J., (2015), *Summer Sportswear Fabrics Research of Jade Fiber and Comprehensive Evaluation*, 8th International Symposium on Computational Intelligence and Design, 12-13 December, China, 81-84.
- Morgil, Y., (2015), *Havlü Örne Çorapların Isıl Konfor Özellikleri*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 111s, İstanbul.
- Özdil, N., Anand, S., (2014), *Recent Developments in Textile Materials and Products Used for Activewear and Sportswear*, Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi, 8(3), 68-83.
- Özkan, T.E., (2013), *Aktif Spor Giyimde Kullanılan Bazı Örne Kumaş Yapılarının Isı ve Nem Transferi Özelliklerinin İncelenmesi*, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 122s, Bursa.
- Marmaralı, A., Kadoğlu, H., Oğlakçıoğlu, N., Çelik, P., Blaga, M., Ursache, M., Loghini, C., (2009), *Thermal Comfort Properties of Some New Yarns Generation Knitted Fabrics*, Autex Worl Textile Conference, 26-28 Mayıs, İzmir.
- Abreu, M.J., Catarina, A., Cardoso, C., Martin, E., (2011), *Effects of Sportswear Design on Thermal Comfort*, AUTEX Conference, 8-10 June, France, 50-55.
- Karthik, T., Senthilkumar, P., Murugan, R. (2016), *Analysis of Comfort and Moisture Management Properties of Polyester/Milkweed Blended Plated Knitted Fabrics for Active Wear Applications*, Journal of Industrial Textiles, 47(5), 1-24.
- Souza, J.M., Sampaio, S., Silva, W.C., Lima, S.G., Zille, A., Figueiro, R., (2016), *Characterization of Functional Single Jersey Knitted Fabrics Using Non-Conventional Yarns for Sportswear*, Textile Research Journal, 1-18. DOI: 10.1177/0040517516677226
- Yoo, S., Barker, R.L., (2005), *Comfort Properties of Heat-Resistant Protective Workwear in Varying Conditions of Physical Activity and Environment. Part I: Thermophysical and Sensorial Properties of Fabrics*, Textile Research Journal, 75(7), 523-530.
- Chung, H., Cho, G. (2004), *Thermal Properties and Physiological Responses of Vapor-Permeable Water-Repellent Fabrics Treated with Microcapsule-Containing PCMs*, Textile Research Journal, 74(7), 571-575.
- Erdumlu, N., Sarıcam, C. (2016), *Investigating The Effect of Some Fabric Parameters on The Thermal Comfort Properties of Flat Knitted Acrylic Fabrics for Winter Wear*, Textile Research Journal, 87(11), 1349-1359.
- Jhanji, Y., Gupta, D., Kothari, V. K. (2015), *Comfort Properties of Plated Knitted Fabrics with Varying Fibre Type*, Indian Journal of Fibre & Textile Research (IJFTR),40(1), 11-18.
- Klein, J., (2012), *Athletic Sock*. United States Patent, Patent Number: US 0102625 A1.
- Roedel, N.L., Poss, E.M., Senchina, D.S., (2014), *Foot Temperature During Thirty Minutes of Treadmill Running in Cotton-Based Versus Olefin-Based Athletic Socks*, BIOS, 85(1), 30-37.
- Nova, A.M., Tejedor, F.M., Martin, B.G., Rodriguez, R.S., Martinez, E.E., (2017), *Bioceramic-Fiber Socks Have More Benefits Than Cotton-Made Socks in Controlling Bacterial Load and The Increase of Sweat in Runners*, Textile Research Journal, 1-8. DOI: 10.1177/0040517516688631
- Bertaux, E., Derler, S., Rossi, R.M., Zeng, X., Koehl, L., Ventenat, V., (2010), *Textile, Physiological and Sensorial Parameters in Sock Comfort*, Textile Research Journal, 80(17), 1803-1810.
- Purvis, A.J., Tunstall, H., (2004), *Effects of Sock Type on Foot Skin Temperature and Thermal Demand During Exercise*, Ergonomics, 47(15), 1657-1668.
- Bogerd, C.P., Rechsteiner, I., Wüst, B., Rossi, R.M., Brühwiler, P.A., (2011), *The Effect of Two Sock Fabrics on Physiological Parameters Associated with Blister Incidence: A Laboratory Study*, The Annals of Occupational Hygiene, 55(5), 510-518.
- Tözüm, M.S., Alay-Aksoy, S., (2016), *Investigation of Tactile Comfort Properties of The Fabrics Treated with Microcapsules Containing Phase Change Materials (PCMs Microcapsules)*, The Journal of Textile Institute, 107(9), 1203-1212.
- Mondal, S., (2008), *Phase Change Materials for Smart Textiles an Overview*, Applied Thermal Engineering, 28, 50-1536.
- Mattila, H.R., (2006), *Intelligent Textiles and Clothing*, Woodhead Publishing Limited, The Textile Institute, Cambridge, England.

23. Salaün, F., Devaux, E., Bourbigot, S., Rumeau, P., (2010), *Development of Phase Change Materials in Clothing Part I: Formulation of Microencapsulated Phase Change*, Textile Research Journal, 80(3), 195-205.
24. Shin, Y., Yoo, D.I., Son, K., (2005), *Development of Thermoregulating Textile Materials with Microencapsulated Phase Change Materials (PCM) II. Preparation and Application of PCM Microcapsules*, Journal of Applied Polymer Science, 96, 2005-10.
25. Alay-Aksoy,S., Alkan, C., Tözüm,M.S., Demirbağ,S.,Altun-Anayurt,R., Ulcay,Y. (2017), *Preparation and Textile Application of Poly(methyl methacrylate-co-methacrylic acid)/ n-Octadecane and n-Eicosane Microcapsules*, The Journal of Textile Institute, Volume 108(1), 30-41.
26. Carreira, A.S., Teixeira, R.F.A., Beirão, A., Vaz Vieira, R., Figueiredo, M.M., Gil, M.H., (2017), *Preparation of Acrylic Based Microcapsules Using Different Reaction Conditions for Thermo-Regulating Textiles Production*, European Polymer Journal, 93, 33-43.
27. Zhao, L., Luo, J., Wang, H., Song, G., Tang, G., (2016), *Self-Assembly Fabrication of Microencapsulated N-Octadecane with Natural Silk Fibroin Shell for Thermal-Regulating Textiles*, Applied Thermal Engineering, 99 (2016), 495–501.
28. Alkan, C., Alay-Aksoy, S., Altun-Anayurt, R., (2015), *Synthesis of Poly(methyl Metacrylate-Co-Acrylic Acid)/N-Eicosane Microcapsules for Thermal Comfort in Textiles*, Textile Research Journal, 85(19), 2051-2058.
29. Sánchez-Silva, L., Rodriguez, J.F., Romero, A., Borreguero, A.M., Carmona, M., Sánchez, P., (2010), *Microencapsulation of PCMs with A Styrene-Methyl Methacrylate Copolymer Shell by Suspension-Like Polymerisation*, Chemical Engineering Journal, 157(1), 216-222.
30. Salaün, F., Devaux, E., Bourbigot, S., Rumeau, P., (2009), *Influence of Process Parameters on Microcapsules Loaded with N-Hexadecane Prepared by In-Situ Polymerization*, Chemical Engineering Journal, 155(12), 457-465.
31. Önder, E., Sarier, N., Çimen, E., (2008), *Encapsulation of Phase Change Materials by Complex Coacervation to Improve Thermal Performance of Woven Fabrics*, Thermochimica Acta, 467, 63-72.
32. Cho, J.S., Kwon, A., Cho, C.G., (2002), *Microencapsulation of Octadecane as A Phase Change Material by Interfacial Polymerization in an Emulsion System*, Colloid Polymer Science, 280(3), 260-266.
33. Salaün, F., Devaux, E., Bourbigot, S., Rumeau, P., (2010), *Thermoregulating Response of Cotton Fabric Containing Microencapsulated Phase Change Materials*, Thermochimica Acta, 56, 82-93.
34. Zhang, X.X., (2005), *Fabrication Structures and Properties Nano/Microencapsulated Phase Change Materials*. Thermo-Regulated Fibers and Fabrics, Doktora Tezi, Politeknik Üniversitesi, Hong Kong.
35. Bendkowska, W., Wrzosek, H., (2009), *Experimental Study of The Thermoregulating Properties of Nonwovens Treated with Microencapsulated PCM*, Fibres & Textiles in Eastern Europe, Vol,17, No, 5(76), 87-91.
36. Hittle, D.C., Andre, T.L., (2002), *A New Test Instrument and Procedure for Evaluation of Fabrics Containing Phase Change Materials*, ASHRAE Transaction Research, 180(1), 175-182.
37. Sánchez-Silva, L., Sánchez, P., Rodriguez, J.F., (2011), *Effective Method of Microcapsules Production for Smart Fabrics, Development in Heat Transfer*, Edited by Dr. Marco Aurelio Dos Santos Bernardes, ISBN 978-953-307-569-3 Hard Cover, 688p.
38. Wan, X., Fan, J. (2009), *A New Method for Measuring The Thermal Regulatory Properties of Phase Change Material (PCM) Fabrics*, Measurement Science and Technology, 20, 1-6.
39. Ghali, K., J., 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.
40. Shim, H., Mccullough, E. A. Jones, B. W. (2001), *Using Phase Change Materials in Clothing*, Textile Research Journal, 71(6), 495-502.
41. Pause, B., (1995), *Development of Heat and Cold Insulating Membrane Structures with Phase Change Materials*, Journal of Coated Fabrics, 25(7), 59-64.
42. Demirbağ, S., Alay-Aksoy, S., (2016), *Encapsulation of Phase Change Materials by Complex Coacervation to Improve Thermal Performances and Flame Retardant Properties of The Cotton Fabrics*, Fibers and Polymers, 17(3), 408-417.
43. Kuru, A., Alay Aksoy S., (2014), *Cellulose-PEG Grafts from Cotton Waste in Thermo-Regulating Textiles*, Textile Research Journal, 2014 84: 337-346.
44. Kim, J., Cho, G. (2002), *Thermal Storage/Release, Durability and Temperature Sensing Properties of Thermostatic Fabrics Treated with Octadecane-Containing Microcapsules*, Textile Research Journal, 72(12), 1093-98.
45. Holman, M.E., (1999), *The Use of Microencapsulated Phase Change Materials to Enhance Thermal Performance of Apparel*, ASME-PUBLICATIONS-HTD, 363, 235-240.
46. Pause,B. (2003), *Nonwoven Protective Garments with Thermo-Regulating Properties*, Journal of Industrial Textiles,33, 93.
47. Celcar D. (2013), *Influence of Phase-Change Materials on Thermo-Physiological Comfort in Warm Environment*, Journal of Textiles, 2013, 1-9.
48. Özkayalar, S., Alay-Aksoy, S., Tözüm, M.S., Demirbağ,S. (2017), *Polimetil Metakrilat-Ko-Metakrilik Duvarlı, Isı Depolama Özellikli Mikrokapsüllerin Isıl Dayanıklılığını Artırmaya Yönelik Araştırma*, Ulusal Çukurova Tekstil Kongresi, Uçtek, 2017, 28-29 Eylül 2017, Adana.
49. Yanılmaz, M., Kalaoğlu, F. (2012), *Investigation of Wicking, Wetting and Drying Properties of Acrylic Knitted Fabrics*, Textile Research Journal, 82(8), 820-831.
50. Kaplan. S., Okur, A., 2009. *Determination of Coolness and Dampness Sensations Created by Fabrics by Forearm Test and Fabric Measurements*, Journal of Sensory Studies, 24, 479-497.
51. Pumure I., Ford S., Shannon J., Kohen C., Mulcahy A., Frank K., Sisco S., Chaukura N., (2015), *Analysis of ATR-FTIR Absorption-Reflection Data from 13 Polymeric Fabric Materials Using Chemometrics*, American Journal of Analytical Chemistry, 6, 305-312.