



TEKSTİL VE MÜHENDİS
(Journal of Textiles and Engineer)

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



Faz Değişiren Maddeler ve Tekstil Uygulamaları

Phase Change Materials and Their Textile Applications

Arzu KURU, Sennur ALAY AKSOY
Süleyman Demirel Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, İSPARTA

Online Erişime Açıldığı Tarih (Available online): 27 Haziran 2012 (27 June 2012)

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

Arzu KURU, Sennur ALAY AKSOY (2012): Faz Değişiren Maddeler ve Tekstil Uygulamaları, Tekstil ve Mühendis, 19: 86, 41-48.

For online version of the article: <http://dx.doi.org/10.7216/130075992012198606>

Derleme Makale/Review Article

FAZ DEĞİŞTİREN MADDELER VE TEKSTİL UYGULAMALARI

Arzu KURU

Sennur ALAY AKSOY*

Süleyman Demirel Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Isparta

Gönderilme Tarihi / Received: 18.10.2011

Kabul Tarihi / Accepted: 01.03.2012

ÖZET: Yenilikçi tekstil ürün ve üretim teknolojilerine olan ilgi ve talep hızlı bir artış göstermektedir. Araştırmaların yoğun bir şekilde devam ettiği yeniliklerden birisi de ısı depolama ve ısı düzenleme özellikli akıllı tekstil ürünlerinin geliştirilmesidir. Bu tekstil ürünleri faz değiştiren maddelerin tekstil lif veya kumaşlarına applike edilmesi ile üretilmektedir. Faz değiştiren maddeleri içeren tekstiller, giysilerde ısı konforu geliştirmek ve ısı düzenleme, ısıtma ve serinletme özellikli ürünler üretmek için kullanılmaktadırlar. Bu çalışmada, tekstiller için kullanılan faz değiştiren maddeler (FDM) ve faz değiştiren madde içeren mikrokapsüller (MikroFDM) tanıtılmıştır. Ayrıca FDM'nin tekstil ürünlerine aplikasyon yöntemleri de açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler: FDM, mikro FDM, mikrokapsül, tekstil.

PHASE CHANGE MATERIALS AND THEIR TEXTILE APPLICATIONS

ABSTRACT: The interest and demand for innovative textile products and manufacturing technologies show a rapid increase. One of the innovations on which researches continue intensively is to develop smart textile products with heat storage and thermo-regulating properties. These textile products are manufactured by applying phase change materials to textile fibers or fabrics. Textiles containing phase change materials are used to develop thermal comfort of clothing and to manufacture the products with thermo-regulating, heating and cooling properties. In this study, phase change materials (PCMs) used for textiles and microcapsules containing PCMs (micro PCMs) are introduced. Application methods of PCMs to textiles are also explained.

Key words: PCMs, micro PCMs, microcapsule, textiles.

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

DOI: 10.7216/130075992012198606, www.tekstilvemuhendis.org.tr

1. GİRİŐ

Isıl enerji depolama, düşük veya yüksek ısı enerjisinin daha sonra kullanılmak üzere geçici süre ile depo edilmesidir. Bu özellik, enerji gereksinimi ile enerjinin kullanımı arasındaki zaman aralığında geçiş görevi üstlenmektedir [1]. Gizli ısı, duylabilir ısı ve kimyasal reaksiyon ısısı depolama olmak üzere üç tür ısı depolama yöntemi vardır. Değişik ısı enerji depolama teknikleri arasında gizli ısı depolama, yüksek enerji depolama kapasitesi ile ısı enerjisi depolamada en etkili yöntemlerden birisidir ve “faz değiştirme ısısı depolama” olarak da isimlendirilmektedir. Gizli ısı depolama özellikli materyaller faz değiştiren materyaller (FDM) olarak isimlendirilmektedirler [1,2].

Faz değiştiren maddeler, faz değiştirme aralığı olarak bilinen belirli bir sıcaklık aralığında, bir fazdan başka bir faza geçiş yaparlar [3]. Maddeler katı-sıvı, sıvı-gaz, katı-gaz ve katı-katı olmak üzere dört tür faz değişimi göstermektedirler. 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 yayabilen maddeler faz değiştiren maddeler olarak isimlendirilmektedirler. Faz değişimi sırasında depolanan veya ortama yayılan ısı ise gizli ısı olarak tanımlanmaktadır [2,4].

Sıcaklık faz değiştiren maddenin erime sıcaklığına kadar yükseldiğinde, FDM erimeye başlar ve erime prosesi boyunca ortamdan ısı soğurur. FDM tarafından soğurulan ısı, maddeyi katı halde tutan kimyasal yapıyı bozmak için kullanılmaktadır. Öte yandan, ortam sıcaklığı faz değiştiren maddenin katılaşma sıcaklığına kadar düştüğünde ise FDM katılaşmaya başlar ve katılaşma prosesi boyunca yapısındaki ısıyı ortama geri verir. Faz değişim prosesi sırasında, faz değiştiren madde tamamen eriyinceye veya katılaşıncaya kadar sıcaklığı sabit kalır [3].

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 büyük ilgi görmelerine neden olmaktadır. Katı-sıvı faz değişimi sırasında ortaya çıkan enerji, maddenin soğutulması/ısıtılması sırasında ortaya çıkan enerji (duylabilir ısı) ile kıyaslandığında çok daha yüksektir. Faz değişimi sırasında depolanan gizli ısı ile ısıtma/soğutma prosesi sırasında depolanan duylabilir ısı miktarını karşılaştırmak için su örnek olarak verilmektedir. Buz erirken yaklaşık olarak 335 j/g gizli ısı soğurmaktadır. Eğer su erime sıcaklığından daha fazla ısıtılırsa, ısınma sırasında, bir derecelik sıcaklık artışında 4.18 j/g duylabilir ısı soğurmaktadır. Söz konusu iki değer karşılaştırıldığında, faz değiştirme sırasında soğurulan gizli ısının, ısınma sırasında soğurulan duylabilir ısının yaklaşık 100 katı olduğu görülmektedir [3]. Ayrıca duylabilir ısı depolama özellikli maddelerin ısı yayma ve

absorblama proseleri boyunca sıcaklık değişimi olmaktadır [2].

Faz değiştiren maddeler günümüzde solar enerji depolama, ısı pompaları, binalarda ısıtma ve iklimlendirme, ısı dağıtım sistemleri vb alanlarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ayrıca sıcaklık değişimine karşı duyarlı gıda ürünleri ve organların muhafazası ve transportu için faz değiştiren maddelerden yararlanılmaktadır. Faz değiştiren maddelerin binalarda zemin altı döşeme materyalleri, ısıtma amaçlı yastık, kemer vb. kişisel bakım ürünleri olarak da kullanımları mevcuttur [5, 6].

Faz değişim teknolojisinin tekstilde kullanımı 1970'li yılların sonu 1980'li yılların başında, NASA (National Aeronautics and Space Administration) tarafından yürütölen bir araştırma programına dayanmaktadır. Bu programdaki amaç, astronot giysilerine uzaydaki aşırı sıcaklık değişimine karşı ısı koruma etkinliğinin kazandırılmasıdır. 1971 yılında, NASA tarafından, 500'den fazla faz değiştiren materyalin tanıtıldığı “Phase Change Materials Handbook” isimli rapor yayınlanmıştır [1, 7]. Günümüzde faz değiştiren maddeler, başta ısı konforu geliştirilmiş giysi üretimi olmak üzere aşırı sıcak veya soğuk ortamlardan koruyucu giysi üretimi, ısı düzenleme özellikli ürünler üretmek amacıyla tekstillere uygulanmaktadır [8]. FDM içeren lif veya kumaşlar dalgıç giysileri, kayak giysileri vb koruma özelliğinin önemli olduğu ürünler yanında, mont, eldiven, bere, iç giyim ürünleri vb. günlük giyim ürünlerinde de yaygın bir kullanım alanı bulabilmektedir. Öte yandan FDM içeren tekstil ürünlerinin yatak ve nevresim tekstilleri, perdeler, mobilya kumaşları vb ev tekstil ürünleri olarak ve hatta bina ve otomotiv içi iklimlendirme amaçlı olarak kullanımı da giderek yaygınlaşmaktadır [9, 10].

Bryant ve arkadaşları plastik kristal ve mikrokapsöllenmiş FDM ürünleri, sentetik polimer eriğı veya çöztisi içerisinde disperse ederek konvansiyonel lif üretim proseleri ile ısı depolama özellikli lif üretimi gerçekleştirmişlerdir [11]. Bryant ve Colvin 1994 yılında kumaşlar için mikrokapsöllenmiş FDM ve plastik kristaller içeren kaplama ürünü geliştirmişlerdir [12]. Aynı araştırmacılar 1995 yılında ise makro-paketlenmiş FDM ürünleri giysi yapısına ilave ederek serinletme amaçlı giysi tasarlamışlar, 1997 yılında ise ayakkabı, giysi, otomobil vb. ortamlarda yalıtım malzemesi olarak kullanılmak üzere mikrokapsöllenmiş köpük yalıtım malzemesi geliştirmişlerdir [13,14]. Başka bir çalışmada ise FDM kullanılarak yelek ve palto gibi ürünlere adapte edilebilen ısı düzenleme özellikli keçe veya seyrek dokunmuş lifli yüzey geliştirilmiştir [15]. Pushav 1999 yılında, poliüretan ve polieter esaslı köpük yüzeylere parafin esaslı mikrokapsöllenmiş faz değiştiren madde ve binder karışımını kaplayarak FDM içeren köpük malzeme üretmiştir [16]. Pause (2001), mikrokapsöllenmiş FDM içeren tabakalı interaktif ısı yalıtım sistemi geliştirmiştir. Sistemde birinci tabaka, az oranda mikrokapsölün binder ile

kaplandığı bir yüzey, ikinci tabaka daha fazla miktarda mikrokapsül içeren daha az yoğun lifli bir yüzey ve üçüncü tabaka ise esnek yüzeyden oluşmaktadır. Yoğun mikrokapsül içeren ara tabaka diğer iki tabaka arasına laminasyon veya diğer bağlama yöntemleri ile birleştirilmektedir [17]. Pause başka bir çalışmada ise dokusuz yüzey koruyucu bir giysinin termofizyolojik giysi konforunu geliştirmek için giysi yapısına FDM uygulamıştır. Uygulamada, içine faz değiştiren madde gömülmüş polimerik bir filmi dokusuz yüzey kumaşın iç yüzeyine lamine etmiştir [18].

Yapılan çalışmalar incelendiğinde, FDM ürünlerin tekstil sektöründe çok yaygın bir kullanım olanağı bulabildiği görülmektedir. Çalışmalarda FDM ürünlerin özellikle polimer yapı içine mikro boyutta kapsüllendikten sonra uygulandığı görülmektedir. Bu çalışmada tekstil ürünleri için tercih edilen faz değiştiren maddeler, bu maddelerin mikrokapsülasyonu ve tekstil ürünlerine uygulama yöntemleri ve FDM içerikli tekstillerin ısı performanslarının belirlenmesi konuları araştırılmıştır.

2. FAZ DEĞİŞTİREN MADDELER

İdeal bir ısı yalıtım ve düzenleme etkisi için koruyucu giysiye uygun FDM seçimi çok önemlidir. Bu seçimi yaparken pek çok faktörün göz önünde bulundurulması gereklidir. Cox (1998)'a göre bu faktörlerin en önemlisi faz değiştirme sıcaklık aralığıdır. Faz değiştirme sıcaklığının insan vücut sıcaklığına yakın değerlerde olması gereklidir. Çünkü giysi olarak kullanılacak bir tekstil ürününe ilave edilecek FDM'den beklenen, vücut sıcaklığını kişinin konforlu olduğu belirli bir değerde sabit tutacak şekilde kişi ile dış ortam arasındaki ısı akışını minimuma indirmektir. Pause (1995), belirli bir uygulama alanı için FDM'nin seçiminin faz değiştirme sıcaklığına bağlı olduğunu ve bu değerlerin madde içinden ısı akışının geciktirilmesi gereken sıcaklık aralığına eşit olması gerektiğini belirtmiştir [4].

NASA raporuna göre 500'den fazla faz değiştiren madde mevcut olup, bunlar faz değiştirme sıcaklıklarına ve ısı depolama kapasitelerine göre farklı kategorilere ayrılmıştır. Erime sıcaklığı 15-35 °C aralığında olan faz değiştiren maddeler tekstil alanında kullanılmak için en uygun maddelerdir [1]. Bunun nedeni bu sıcaklıkların vücut sıcaklığı için en uygun değerler olmasıdır. Faz değiştirme sıcaklıkları açısından tekstil ürünleri için uygun olan materyaller; hidrat inorganik tuzlar, polihidrik alkol-su çözeltisi, polietilen glikol (PEG), politetrametilen glikol (PTGM), alifatik poliester, lineer uzun zincirli hidrokarbonlar, hidrokarbon alkol, hidrokarbon asit vb. materyallerdir [2,3].

Faz değiştirme sıcaklık aralığının yanında tekstil için uygun faz değiştiren maddelerden beklenen diğer özellikler [1,3];

- Yüksek ısı kapasitesi,
- Uygun faz değiştirme sıcaklıkları,

- Yüksek ısı iletkenlik,
- Faz değiştirme sırasında düşük hacim değişimi,
- Erime ve katılma sıcaklıkları arasında düşük fark,
- Düşük toksik etki,
- Çevreye zararsız olması,
- Yanmazlık özelliğe sahip olması,
- Tekrarlanan erime ve katılma değişimlerine karşı dirençli olması,
- Kolay tedarik edilebilir olması,
- Düşük fiyatlı olmasıdır.

2.1. Hidrat İnorganik Tuzlar

Hidrat inorganik tuzlar "n" su molekülü içeren inorganik tuz kristalleridir [2]. Isı soğurma ve yayma sıcaklık aralıkları 20-40 °C olan hidrat inorganik tuzlar, ısı depolama ve ısı-düzenleme özellikli tekstil ürünleri üretimi için kullanılabilirler. Düşük fiyatları, yüksek ısı iletkenlik ve ısı kapasiteleri açısından uygun olmalarına rağmen aşırı soğuma problemi söz konusudur [1,2]. Tablo 1'de tekstil ürünleri için uygun bazı hidrat inorganik tuzlar verilmiştir.

Tablo 1. Hidrat inorganik tuzlar [2]

Hidrat İnorganik Tuzlar	Erime Sıcaklığı (°C)	Erime Isısı (kJ/kg)
CaCl ₂ .6H ₂ O	29	190
LiNO ₃ .3H ₂ O	30	296
Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O	32	225
CaBr ₂ .6H ₂ O	34	138
Na ₂ HPO ₄ .12H ₂ O	35	205
Zn ₂ SO ₄ .6H ₂ O	36	147
Na ₂ SO ₄ .5H ₂ O	43	209

Hidrat inorganik tuz esaslı FDM'nin olumlu pek çok özelliklerine rağmen tekstil ürünlerine uygulanmaları konusunda önemli başarılar elde edilememiştir. İnorganik yapıları nedeniyle tekstil ürünlerine kimyasal bağ yapacak şekilde uygulanmaları mümkün değildir. Öte yandan bu maddelerin mikrokapsülasyonu konusunda da henüz olumlu gelişmeler elde edilememiştir. Yapılan literatür çalışmaları incelendiğinde, Vigo ve Frost tarafından 1982 yılında, içi boşluklu rayon ve polipropilen liflerinin içine sulu hidrat tuzların doldurularak ısı depolama özellikli lif üretim denemelerinin yapıldığı görülmektedir [19].

2.2. Lineer Uzun Zincirli Hidrokarbonlar (Parafinler)

Genel formülleri C_nH_{2n+2} olan, hidrofobik lineer hidrokarbonlar olup ısı düzenleme ve ısı depolama özellikli tekstil ürünlerinin üretiminde en çok tercih edilen materyallerdir. Parafinler toksik değildirler, kolay tedarik edilebilirler, ucuzdurlar ve yüksek ısı kapasiteye sahiptirler. Bu avantajlarına rağmen düşük ısı iletkenliği, kolayca yanma, faz değişimi sırasında fazla hacim değişimi gibi dezavantajlara da sahiptirler. Tablo 2'de tekstiller için uygun parafin faz değiştiren maddeler gösterilmiştir.

Tablo 2. Tekstil ürünleri için kullanımı uygun lineer uzun zincirli hidrokarbon faz değiştiren materyaller [1,3].

Materyal	Kimyasal Formülü	Erimel Sıcaklığı (°C)	Katılma Sıcaklığı (°C)	Erimel Entalpisi (J/g)
n-hekzadekan	C ₁₆ H ₃₄	18,5	16,2	237,05
n-heptadekan	C ₁₇ H ₃₆	22,5	21,5	213,81
n-oktadekan	C ₁₈ H ₃₈	28,2	25,4	244,02
n-nonadekan	C ₁₉ H ₄₀	32,1	29,0	222,00
n-eikosan	C ₂₀ H ₄₂	36,1	30,6	246,34
n-henekosan	C ₂₁ H ₄₄	40,5		199,86

Parafinler katı-sıvı faz değişimi gösteren maddeler olup, kimyasal yapıları itibari ile tekstil ürünlerine kapsülendikten sonra uygulanabilmektedirler. Tekstil ürünleri için uygun FDM üretimi konusunda yapılan araştırmaların büyük bir çoğunluğunu parafinik bileşiklerin mikrokapsüllemesi ve tekstil lif veya kumaşlarına uygulanması konularının oluşturduğu görülmektedir. Öte yandan parafinlerin polimer çözeltisi içine karıştırılarak lif üretimi konusunda da araştırmalar yapılmaktadır. Mengjin ve arkadaşları (2008) poli(vinil alkol) polimer çözeltisine parafin karıştırarak deniz-ada yapısında lif üretmişlerdir [20]. Parafinlerin mikrokapsüllemesi konusunda yapılan çalışmalar incelendiğinde, farklı doğal ya da sentetik polimerlerin mikrokapsül üretimi için kullanıldığı görülmektedir. Örneğin Zou ve arkadaşları n-hekzadekan parafini poliüre polimer yapısı içerisine kapsüllemişlerdir [21]. Kim ve Cho (2002), oktadekan içeren poliüre mikrokapsüller üretmişlerdir [22]. Choi ve Cho ise oktadekanı melamin formaldehit polimer içinde mikrokapsüllemişlerdir [23]. Deveci ve Başal, n-eikosan içeren ipek proteini ve kitosan esaslı ısı depolama özellikli mikrokapsüller üretmişlerdir [24]. Önder ve arkadaşları n-hekzadekan, n-oktadekan ve n-nanodekan gibi farklı tür parafinleri Arap zambkı/jelatin polimer yapı içerisine kapsüllemişlerdir [25]. Alay ve arkadaşları ise n-hekzadekan parafini, metil metakrilat [26,27], bütıl akrilat [28] ve etil akrilat [29] esaslı polimer yapılar içine kapsüllemişlerdir.

2.3. Polietilen Glikol (PEG) ve Politetrametilen Glikol (PTGM)

Polietilen glikol tekstil ürünleri için uygun olan diğer bir faz değiştiren materyaldir. Polietilen glikolün yapısında tekrar eden temel birim, zincirin her iki ucunda hidroksil gruplarına sahip oksietilen (-O-CH₂-CH₂)_n grubudur. Molekül ağırlığı 20,000'in altındaki polietilen glikol için

erime sıcaklığı, molekül ağırlığı ile orantılıdır. Molekül ağırlığındaki artış, erime sıcaklığında artışa neden olmaktadır [1,2]. Tablo 3'de PEG maddelerin erime sıcaklıkları ve molekül ağırlıkları verilmiştir.

PEG kullanılarak ısı depolama özellikli tekstil ürünleri üretimi konularında yapılan araştırmalar incelendiğinde, genellikle PEG'in polimer lif yapısına dahil edilmesi veya kumaşlara çapraz bağlayıcı kimyasal ile bağlanması yönünde çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Vigo ve Frost sıcaklık değişimine adapte olabilen lifler üretmek için faz değiştiren madde veya plastik kristalleri içi boşluklu liflerin içerisindeki boşluğa doldurmuş veya PEG polimerini lif yüzeyine çapraz bağlamışlardır [30]. Örneğin araştırmacılar 1983 yılında yaptıkları bir çalışmada içi boşluklu viskon ve polipropilen liflerinin boşluklu iç kısmını farklı molekül ağırlığındaki PEG polimer sulu çözeltisi ile doldurarak ısı depolama özellikli lif üretimi denemişlerdir [31]. Zhang ve arkadaşları 1996 yılında eriyikten lif çekim yöntemi ile PEG veya parafin çekirdekli PET duvarlı kompozit lif üretimi gerçekleştirmişlerdir. Aynı araştırmacılar 1997 yılında ise PEG çekirdekli polipropilen duvarlı kompozit lif üretmişlerdir [2]. Chen ve arkadaşları (2009) selüloz asetat polimer çözeltisine farklı molekül ağırlığında PEG karıştırarak hazırladıkları karışımdan elektrolif çekim yöntemi ile ısı depolama özellikli nanolif üretmişlerdir.

PEG polimerinin ısı depolama özellikli tekstil ürünü üretimi ile ilgili olarak yapılan çalışmaların bir bölümü ise farklı molekül ağırlığındaki PEG polimerlerinin kumaşlara çapraz bağlayıcı kimyasallar ile bağlanması yönündedir. Vigo ve Frost 1985 yılında poliester, naylon, pamuk ve yünlü kumaşlara emdirme metodu ile PEG uygulamışlardır [32]. Bruno ve Vigo (1987) ise düşük molekül ağırlığındaki PEG polimerlerini çapraz bağlayıcı kimyasallar ile birlikte yün, akrilik ve naylon gibi yaygın olarak kullanılmakta olan kumaşlara uygulamışlardır [33].

Politetrametilen glikol materyallerin molekül zincirleri arasındaki zayıf etkileşimlerden dolayı katılma noktasında aşırı soğuma gerçekleşebilmektedir. Bu durum PTMG'nin tekstil ürünlerine uygulanmasını sınırlamaktadır [2]. Literatürde Mitamura tarafından (1992) PTMG ve PEG çekirdekli poli(etilen teraftalat) PET duvarlı kompozit lif üretilmiştir [2].

Tablo 3. Farklı molekül ağırlığında polietilen glikolün faz değiştirme davranışları [2]

PEG	Molekül Ağırlığı	Erimel Sıcaklığı (°C)	Erimel Isısı (J/g)	Katılma Sıcaklığı (°C)	Katılma Isısı (J/g)
PEG 400	400	3,24	91,37	-24,00	85,40
PEG 600	600	17,92	121,14	-6,88	116,16
PEG 1000	1000	35,10	137,31	12,74	134,64
PEG 2000	2000	53,19	178,82	25,19	161,34
PEG 4000	4000	59,67	189,69	21,97	166,45
PEG 6000	6000	64,75	188,98	32,89	160,93
PEG 10000	10000	66,28	191,90	34,89	167,87
PEG 20000	20000	67,70	187,81	37,65	160,97

2.4. Yağ asitleri

Kaprik, laurik, palmitik ve stearik asit gibi yağ asitleri de faz değiştiren madde olarak kullanılmaktadır. Yağ asitlerinin erime sıcaklıkları 30-65 °C, gizli ısı miktarları ise 153-182 j/g arasında değişmektedir. FDM olarak kullanılabilen diğer maddeler arasında yer alan bütül stearat 19 °C erime sıcaklığına ve 120 j/g erime ısısına, vinil stearat 27 °C erime sıcaklığına ve 122 j/g erime ısısına, izopropil stearat ise 14 °C erime sıcaklığına ve 142 j/g erime ısısına sahiptir [1].

Chen ve arkadaşları (2008) laurik asiti PET polimer çözeltisi içine ilave ederek hazırladıkları karışımdan elektro lif çekim yöntemi ile nanolif üretmişlerdir [34].

2.5. Polihidrik Alkol

Katı-sıvı faz değiştiren maddelere ilave olarak yüksek enerji depolama kapasitesine sahip diğer bir grup maddeler ise plastik kristaller olarak isimlendirilen katı-katı faz değiştiren maddelerdir. Bu maddeler normal koşullar altında sıvı faza dönüşmezler ancak yumuşar veya sertleşirler. Polihidrik alkoller tekstiller için tavsiye edilen katı-katı faz değiştiren maddelerdir. Pentaeritrol, 2,2-dimetil-1,3-propanediol (DMP), 2-hidroksimetil-2-metil-1,3-propanediol (HMP) ve 2-amino-2-metil-1,3-propanediol gibi amino alkoller tekstil ürünleri için katı-katı faz değiştiren maddeler olarak kullanılabilir [2,3].

3. FAZ DEĞİŞTİREN MİKROKAPSÜLLER

Mikrokapsüller, etken bir maddenin çekirdek materyali olarak polimerik bir duvar yapısı içerisine kapsüllemesi ile üretilen mikro boyutlu taneciklerdir. Faz değiştiren mikrokapsüller çekirdek madde olarak FDM içeren mikrokapsüllerdir. Mikrokapsülasyon tekniği faz değişim maddelerinin tekstil sektöründe kullanımı açısından pek çok avantaj sunmaktadır. En önemli avantajlarından birisi parafin gibi tekstil ürünlerine kimyasal olarak bağlanma özelliği olmayan FDM'nin lif veya kumaş yapısına kalıcı olarak uygulanmasına olanak sunmasıdır. Ayrıca mikrokapsülasyon, ısı iletim katsayısı düşük olan FDM'nin ısı iletim katsayısının artırılması açısından da ciddi avantajlar sunmaktadır. Boan (2005) mikrokapsülleme ile maddelerin yüzey-hacim oranı artırılmış olduğu için ısı transfer özelliklerinin geliştirilebileceğini ifade etmiştir [4]. Öte yandan tekstil sektöründe kullanımı uygun FDM'nin çoğu katı-sıvı faz değişimi göstermekte olup tekstil ürünlerine direk olarak uygulandıklarında, sıvı faza geçtiklerinde yapıdan uzaklaşmaktadırlar. Böylece mikrokapsülasyon sıvı fazdaki FDM'nin mikro boyutta paketlenmesi ile yapıdaki kalıcılığını da sağlamış olmaktadır [21].

Tekstil ürünlerine FDM uygulamasına yönelik çalışmaların çoğunda mikrokapsüllemiş FDM'nin lif veya kumaş yapısına uygulanması şeklinde olduğu görülmektedir. Mikrokapsüllemiş FDM'nin (mikroFDM) tekstil ürünlerine uygulanabilmeleri için bazı özelliklere sahip olması istenebilir. Cox (1998), mikroFDMler için göz önüne

alınması gereken kriterleri, mikrokapsül boyutu, tanecik boyut üniformitesi, mekanik ve kimyasal dayanıklılık ve çekirdek/duvar oranı olarak belirtmiştir. Cox ayrıca, mikrokapsüllerde kapsülün çekirdek madde hacminin mümkün olduğunca fazla, duvar maddesinin ise mümkün olduğunca dayanıklı olması gerektiğini belirtmiştir [4]. Ayrıca Boan (2005) ve Mattila (2006), duvar maddesinin ısıyı iyi iletmesi ve FDM'nin mümkün olduğunca fazla faz değiştirme devrine dayanıklı olması gerektiğini belirtmişlerdir [3,4]. Yapılan araştırmalar, mikroFDMler'in faz değiştirme sırasında % 10 oranında genişlemekte ve büzülmemekte olduğunu, katılma sonrasında mikroFDM'in yüzeyinde çukurlar oluştuğunu ve bu çukurların, duvar maddesinin çekirdek maddesine göre daha az oranda büzülmesinden kaynaklandığını göstermiştir [3]. Yüksek sıcaklık gerektiren uygulamalar için ise ısı kararlılığı iyi duvar maddeleri kullanılmalıdır.

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, mikroFDM'in genellikle üre-formaldehit, çapraz bağlı naylon, melamin formaldehit, poliüretan, üre-melamin formaldehit kopolimer, poli(metil metakrilat) duvar maddeler kullanılarak sentezlendikleri görülmektedir. MikroFDM'in ısı kararlılığını antioksidant ve ısı stabilize edici kullanarak artırmak mümkündür. Ayrıca Mattila (2006) tekstiller için kullanılacak mikrokapsüllerin aşınma, basınç ve kesme (shear) gibi mekanik etkilere ve kimyasallara karşı da dayanıklı olmaları gerektiğini belirtmiştir [3].

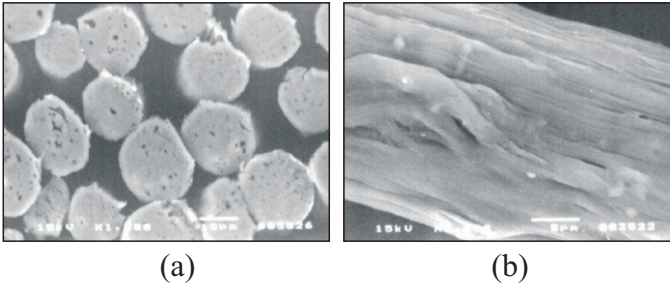
Kapsülleme sonrası faz değiştirme sıcaklık aralıkları ve entalpi değerlerindeki değişim de mikroFDM için önemli olan bir diğer husustur. Mikrokapsüllerin faz değiştirme sıcaklıkları tanecik boyutundan ve mikrokapsülasyon yönteminden etkilenmektedir. Tanecik boyutu küçüldükçe mikroFDM'nin erime katılma sıcaklıkları arasındaki fark artmaktadır. Tanecik boyutu arttıkça mikrokapsülün faz değiştirme sıcaklığı FDM'in faz değiştirme sıcaklığına yaklaşmaktadır. Ayrıca tanecik boyutundaki artış mikroFDMler'in ısı depolama kapasiteleri ile de ilişkilidir. Artan tanecik boyutu ile entalpi değerleri artış göstermektedir [4, 35].

4. FAZ DEĞİŞTİREN MADDELERİN TEKSTİL ÜRÜNLERİNE UYGULANMA YÖNTEMLERİ

FDM içeren mikrokapsüllerin tekstil materyallerine uygulanması 1980'li yılların başlarında NASA tarafından yürütülen araştırmayla ortaya çıkmıştır. Günümüzde, faz değiştiren maddelerin tekstil ürünlerine uygulanması ile ilgili literatür incelendiğinde, FDM'nin mikrokapsüllendikten sonra veya doğrudan tekstil lif veya kumaş yapılarına uygulandığı görülmektedir. Tekstillere FDM uygulama yöntemleri aşağıda belirtilmiştir;

1. Lif çekim yöntemi
2. Kaplama
3. Emdirme prosesi
4. Laminasyon

FDM lif üretimi sırasında, polimer çözeltisi veya eriği içine ilave edilmekte ve hazırlanan karışım polimer çözeltisinden kuru, yaş veya eriyikten lif çekim yöntemi ile lif üretilmektedir. Bu lifler ise daha sonra dokuma ve örme kumaş veya dokusuz yüzey kumaş haline getirmek için kullanılmaktadırlar [3]. Bu uygulamada, FDM'nin lif yapısında uzun süre kalıcı olabilmesi için en efektif yöntem mikrokapsüllenmiş FDM'nin life uygulanmasıdır. MikroFDM'in kalıcı bir şekilde lif içerisine tutunabilmesi, liflerin, iplik eğirme, kumaş örme veya boyama gibi işlemlerde ilave bir değişikliğe gereksinim duyulmadan işlenebilmesi, liflerden üretilen kumaş özelliklerinin (yumuşaklık, mukavemet vb.) mikroFDM içermeyen aynı tür liflerden üretilen kumaşlarınkinden farklılık göstermemesi gibi avantajları olduğunu belirtmiştir [3]. Ancak bu yöntemde lif içerisine ilave edilen mikrokapsül miktarı fazla olduğunda lif özellikleri olumsuz etkilenmektedir, bu yüzden mikroFDM uygulamasında mikrokapsül miktarı dikkat edilmesi gereken bir husustur. Ayrıca mikrokapsüllerin lif çekim sırasındaki yüksek sıcaklıklara (200-380 °C) dayanıklı olmaması nedeni ile eriyikten lif çekim yönteminde lif içerisine mikrokapsül uygulanması da zordur [35]. Şekil 1'de Outlast Technologies tarafından üretilmiş, mikrokapsüllenmiş FDM içeren liflere ait enine kesit ve boyuna lif görüntüleri verilmiştir.



Şekil 1. Outlast firması tarafından üretilen mikrokapsül içeren life ait enine kesit(a) ve boyuna lif(b) görüntüsü [3].

Leskovsek ve arkadaşları (2004) eriyikten lif çekim yöntemi ile alkil hidrokarbon içeren polipropilen lif üretimi için tasarlanmış bir cihaz üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışmada, lif üretimi sırasında yaşanan en büyük sorunun mikrokapsüllerin kümeleşmeleri nedeniyle kesintisiz lif çekiminin gerçekleştirilememesi ve filamentlerin kopması olduğu belirtilmiştir [3].

Kumaşlara mikrokapsüllenmiş FDM uygulaması konusunda yapılan çalışmalar incelendiğinde ise genellikle kaplama [23,36] ve emdirme yöntemleri [27, 28, 37] üzerine araştırmalar yapıldığı görülmektedir. Kaplama yönteminde, kaplama bileşeni hazırlamak için FDM içeren mikrokapsüller yüzey aktif madde, disperse edici madde, anti köpük ve polimer karışımı içeren sulu çözelti dispersiyonu içerisine disperse edilmekte ve ıslanmaktadır. Hazırlanan karışım kumaşa kaplanmaktadır. Emdirme yönteminde ise mikrokapsül içeren sulu karışıma çapraz bağlayıcı ve

yumuşatıcı gibi kimyasallar ilave edilmekte ve hazırlanan sulu karışım fularda kumaşlara emdirildikten sonra fikse edilmektedir.

Laminasyon yöntemi ile de faz değiştiren mikrokapsüllerin kumaşlara uygulanması mümkündür. Bu yöntemde, FDM ince bir film içine uygulanmakta ve bu film kumaşın iç kısmına lamine edilmektedir [3]. Genellikle mikroFDM akrilik, poliüretan (PU) veya kauçuk lateks kaplama bileşiklerini içerisine ilave edildikten sonra kumaşlara uygulanmaktadır [3].

Mikrokapsüller ısı yalıtımı amacıyla üretilmekte olan köpük malzemelere de uygulanabilmektedir. Mikrokapsüller köpük tabakasına anizotropik olarak dağıtılabilir ve bu şekilde yerleşme ihtimali ısı düzenleme etkisini arttırmaktadır. Ayrıca daha fazla mikrokapsül uygulanabilmesi ve farklı tip FDMlerin kullanılabilmesi de mikroFDM içeren köpüklerin kullanımının sağladığı bazı avantajlardandır [3].

5. FDM İÇEREN TEKSTİLLERİN ISIL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Isıl enerjisi depolama özelliğine sahip FDM içeren tekstil ürünleri, ani sıcaklık değişimleri durumunda ortamdan ısı soğurarak veya ortama ısı yayarak, materyalin sıcaklığının belirli bir süre için sabit kalmasını sağlayan veya ani olarak değişmesini engelleyebilen ısı-düzenleme özelliğine sahip tekstil ürünleridir. FDM'den kaynaklanan bu etki giysilere dinamik ısı yalıtım özelliği kazandırmaktadır. Dinamik yalıtım özelliği ortam sıcaklığının yükselmesi veya düşmesi veya aktivite seviyesindeki değişim durumlarında kişinin termo-fizyolojik konforunun korunmasına katkıda bulunmaktadır. Faz değiştiren maddeler içeren tekstil ürünlerinin ısı özelliklerinin belirlenmesi konusunda yapılan çalışmalar incelendiğinde, çalışmaların tekstillerin ısı depolama ve yayma kapasite ve sıcaklıklarının belirlenmesi, kumaşların ısı direnç değerlerinin ve ısı düzenleme özelliklerinin ölçülmesi konularına odaklandığı görülmektedir. FDM ürünlerinde olduğu gibi FDM içeren lif veya kumaşlarda da ısı depolama ve yayma sıcaklık ve entalpileri DSC (Diferansiyel Taramalı Kalorimetre) cihazı kullanılarak belirlenmektedir.

Konvansiyonel tekstillerin statik ısı yalıtım özelliğinden farklı olarak dinamik ısı yalıtım özelliğine sahip FDM içeren tekstillerin bu özelliklerinin belirlenmesi için yeni metod veya parametrelerin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bölümde FDM içeren tekstil ürünlerinin ısı özelliklerini ölçmeye yönelik geliştirilen bazı metod ve parametrelere değinilecektir.

FDM içeren kumaşların ısı bariyer özelliğini belirlemek için Pause (1995, 2000) tarafından dinamik ısı transfer ölçümleri önerilmiştir. Ölçümlerde, FDM içeren kumaşın toplam ısı direncinin kumaşı oluşturan maddenin statik ısı direnci ve FDM etkisiyle ortaya çıkan dinamik ısı

direncin toplamına eşit olduğu kabul edilmektedir. Dinamik ısı yalıtım, faz değiştiren madde içeren ve içermeyen numunelerin faz değiştirme sıcaklık aralığının sonuna kadar ısınması için gereken sũreler karşılaştırılarak ve statik yalıtım değeri referans alınarak hesaplanmıştır [4,38]. Hittle ve Andre (2002) ise ‘‘Isıl Dũzenleme Faktũri (TRF)’’ olarak tanımlanan bir indeks tanımlamışlardır. TRF, ۆlũm yapılan sıcak plakanın maksimum ve minimum sıcaklık farkının, maksimum ve minimum ısı akış değerleri arasındaki farka ve sabit durumdaki ısı dirence bۆlũnmesi ile hesaplanmaktadır [4]. Bu metot esas alınarak Amerikan Test ve Materyaller Kurumu (American Society for Testing and Materials) tarafından, Haziran 2004 yılında tekstil materyallerindeki gizli ısıyı ۆlmek için test metodu geliştirilmiştir. Bu metot ‘‘Tekstil Materyallerinde Statik ve Dinamik Isıl Performans İçin Test Metodu’’ olarak tanımlanmış ve sabit durumdaki ısı direnç (R değeri) ve dinamik TRF (Isıl Dũzenleme Faktũri) ۆlũmũ ũzerine odaklanılmıştır [39]. Ying ve arkadaşları tarafından 2004 yılında geliştirilmiş bir yۆntemde soğutulmuş, FDM içeren kumaş sıcak bir plaka ũzerine yerleştirilmekte ve statik ısı yalıtım (Is), faz değişiminin gerçekleştiği sũre (Δt), faz değiştirme ile geciktirilen ısı akışı (Id) ve ısı fizikosensۆr şiddeti (yoğunluğu) olmak ũzere dۆrt farklı indeks değeri ۆlũlmektedir [38]. Boan (2005) FDM içeren tekstillerin ısı ۆzelliklerini belirlemek için ani ve derece derece sıcaklık artışı sırasında dinamik sıcaklık dũzenleme testi, dinamik ısı akış testi ve q-max (sıcaklık/soğukluk hissi) testi uygulamıştır [4]. Wan ve Fan ise ‘‘Yeni Muhafazalı Sıcak Plaka Metodu’’ olarak tanımladıkları yeni bir metot geliştirilmişlerdir. Bu metotta giysiye giyen kişinin oda sıcaklığında bir ortamdan sıfırın altında sıcaklıkta başka bir ortama hareket ettiği durum simũle edilmektedir. Sıcak plaka kişinin vũcut sıcaklığını temsil etmektedir ve kişinin aktivite tũrũne bağlı olarak sabit bir sıcaklık değerinde tutulmaktadır. FDM-kumaş ile kaplanmış bu sıcak plaka, bir ortamdan başka bir ortama hareket eden kişinin durumunu simũle eden ısı geçiş rejimine maruz bırakılmaktadır. Bu geçici ısı değişim sırasında sıcak plaka yũzeyinde ۆlũlen sıcaklık değişimi ve ısı kaybı kaydedilmekte ve FDM-kumaşın ısı dũzenleme ۆzellięini karakterize etmek için kullanılmaktadır [38].

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, tekstil sektۆrũnde kullanılmakta olan faz değiştiren maddeler hakkında genel bilgiler verilmiştir. Literatũrde mevcut çalışmalar incelendiğinde, farklı tũr organik ve inorganik esaslı faz değiştiren maddeler arasında organik esaslı parafinler ve PEG polimerinin en fazla kullanılan ve en uygun faz değişim maddeleri olduğu tespit edilmiştir. Parafin esaslı faz değiştiren maddeler tekstil ۆrũnlerine doğrudan uygulanamadıkları için polimer bir duvar içerisine kapsũllendikten (mikrokapsũllenmiř FDM)

sonra uygulanmaktadırlar. Tekstil uygulamaları açısından FDM içeren mikrokapsũllere ait en ۆnemli parametreler, faz değiştirme sıcaklıkları ve kapasiteleri, ortalama parçacık boyutu ve parçacık boyut dağılımı, kimyasal ve ısı direnç ۆzellikleridir.

Faz değiştiren maddeler lif ۆretimi sırasında polimer eriği veya ۆzeltisine karıştırılarak ısı depolama ۆzellikli lif ۆretilmektedir. Bu uygulamalarda, FDM doğrudan polimer sıvısına karıştırıldığında FDM'in sızması nedeniyle zamanla ısı depolama etkisi kaybolmakta ve kalıcı ısı depolama etkisi elde edilebilmesi amacıyla mikrokapsũllenmiř faz değiştiren maddeler tercih edilmektedir. Ancak uygulanan mikrokapsũl boyutu ve miktarı lif mukavemet ve kopma uzaması gibi ۆzelliklerini olumsuz yۆnde etkilememelidir. Bu noktada mikrokapsũl boyutu ve miktarı lif ۆzellikleri açısından ۆnemli bir parametredir. Bu problemler dikkate alınarak yũksek ısı kapasiteli, FDM içeren lif ۆretimi konusunda araştırmaların gerçekleştirilmesi gereklidir.

Kumaşlara FDM uygulaması konusunda yapılan çalışmalarda faz değiştiren madde içeren mikrokapsũller kaplama polimeri içerisine karıştırılarak kaplama ve emdirme gibi bitim işlemleri ile kumaşlara uygulanabilmektedirler. Bitim işlemi ile kumaşlara mikrokapsũl ilavesi ile ilgili olarak, ۆretilen mikrokapsũllerin kumaşlara yıkamaya karşı kalıcı olacak şekilde kimyasal olarak tutundurabilmesi ۆnemli bir husustur.

FDM ve tekstil uygulamaları konusunda yapılan çalışmalar incelendiğinde, maddelerin tekstil sektۆrũnde ciddi bir potansiyelinin olduğu gۆrũlmektedir. Giysi ısı konforunu geliştirmeye yۆnelik uygulamalar yanında, son yıllarda ise ısıtma-serinletme ve ısı dũzenleme ۆzellikli tekstil ۆrũnleri ۆretimi için tekstillere FDM uygulaması konusunda da araştırmalar hızla devam etmektedir. Ancak FDM ilave edilmiş tekstil ۆrũnlerinin dinamik ısı yalıtım, ısı dũzenleme vb ۆzelliklerinin belirlenmesi için uygun metot ve parametrelerin belirlenmesi ve seçilmesi gereklidir.

KAYNAKLAR

1. Mondal, S., (2008), Phase Change Materials for Smart Textiles – An Overview, Applied Thermal Engineering, Vol.28, 1536–1550p. doi.10.1016/j.applthermaleng.2007.08.009.
2. Tao, X., (2008), 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, 267p.
5. Erkan, G., (2004), Enhancing The Thermal Properties of Textiles With Phase Change Materials, RJTA Vol. 8 No. 2.

6. www.rubitherm.de/ Erişim Tarihi: 01.10.2011.
7. Scott, R.A., (2005), Textiles for Protection. The Textile Institute Publications, Woodhead Publishing Limited, England, 754p.
8. Salaün, F., Devaux, E., Bourbigot, S., Rumeau, P., (2010), Thermoregulating Response of Cotton Fabric Containing Microencapsulated Phase Change Materials, *Thermochim. Acta* 506, 82–93. DOI:10.1016/j.tca.2010.04.020.
9. www.outlast.com/ Erişim Tarihi: 21.09.2010.
10. Nelson, G., (2002), Application of Microencapsulation in Textiles, *Int.J.Pharm.*242, 55–62. DOI:10.1016/S0378-5173(02)00141-2
11. Bryant, Y.G., Colvin, D.P., (1988), Fiber with Reverseible Enhanced Thermal Storage Properties and Fabrics Made Therefrom, US Patent.4,756,958.
12. Bryant, Y.G., Colvin, D.P., (1994), Fabric with Reversible Enhanced thermal Properties, US Patent 5,366,801.
13. Bryant, Y.G., Colvin, D.P., (1995), Micro-Climature Cooling Garment, US Patent 5,415,222.
14. Bryant, Y.G., Colvin, D.P., (1997), Thermally Enhanced Foam Insulation, US Patent 5,637,389.
15. Colvin, V.S., Colvin, D.P., (2001), Microclimate Temperature Regulating Pad and Products Made Therefrom, US Patent 6,298,907 B1.
16. Pushav, R.J., (1999), Skived Foam Article Containing Energy Absorbing Phase Change Materials, US Patent 5,955,188.
17. Pause, B., (2001), Interactive Thermal Insulating System Having a Layer Treated with a Coating of Energy Absorbing Phase Change Material Adjacent a Layer of fibers Containing Energy Absorbing Phase Change Material, US Patent 6,217,993.
18. Pause, B., (2003), Nonwoven Protective Garments with Thermo-Regulating Properties, *Journal of Industrial Textiles*, 33, 93. DOI: 10.1177/152808303038859.
19. Vigo, T.L., Frost, C.E., (1982), Temperature-Sensitive Hollow Fibers Containing Phase Change Salts, *Textile Research Journal*, October, 633-637p. DOI: 10.1177/004051758205201004.
20. Mengjin, J., Xiaoqing, S., Jianjun, X., Guangdou, Y., (2008), Preparation of New Thermal Regulating Fiber Based on PVA and Paraffin. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 92, 1657-1660p. DOI:10.1016/j.solmat.2008.07.018.
21. Zou, G.L., Tan, Z.C., Lan, X.Z., Sun, L.X., Zhang, T., (2004), Preparation and Characterization of Microencapsulated Hexadecane Used for Thermal Energy Storage, *Chinese Chemical Letters*, 15 (6), 729-732p.
22. 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), 1093-1098p. DOI:10.1177/004051750207201209.
23. 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(4), 292-296p. DOI: 10.1177/004051750407400402.
24. Deveci, S.S., Basal, G., (2009), Preparation of PCM Microcapsules by Complex Coaversation of Silk Fibriion and Chitosan, *Colloid Polymer Science*, 287(12), 1455-1467p. DOI: 10.1007/s00396-009-2115-z.
25. Onder, E., Sarier, N., Çimen, E., (2008), Encapsulation of Phase Change Materials by Complex Coaversation to Improve Thermal Performances of Woven Fabrics, *Thermochimica Acta*, 467, 63-72p. DOI:10.1016/j.tca.2007.11.007.
26. Alay, S., Göde, F., Alkan, C., (2010), Preparation and Characterization of Poly(methylmethacrylate-co-glycidyl methacrylate)/n-hexadecane Nanocapsules as a Fiber Additive for Thermal Energy Storage, *Fibers and Polymers*, 11(8), 1089-1093p. DOI: 10.1007/s12221-010-1089-2.
27. 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, *Thermochimica Acta*, 518, 1-8p. DOI:10.1016/j.tca.2011.01.014.
28. 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), 2821-2829p. DOI: 10.1002/app.33266.
29. Alay, S., Gode, F., Alkan, C., (2009), Isıl Enerji Depolama İçin Poli(etil akrilat)/hekzadekan Mikrokapsüllerin Üretilmesi ve Karakterizasyonu, *Teknolojik Araştırmalar Dergisi*, Cilt., No: 3, 33-46s.
30. Vigo, T.L., Frost, C.M., (1989), Temperature Adaptable Textile Fibres and Method of Preparing Same, USP 4871615.
31. Vigo, T.L., Frost, C.M., (1983), Temperature Adaptable Hollow Fibers Containing Polyethylene Glycols, *Journal of Industrial Textiles*, 12(4), 243-254p. DOI: 10.1177/152808378301200405.
32. Vigo, T.L., Frost, C.M., (1985), Temperature-Adaptable Fabrics, *Textile Research Journal*, 55 (12), 737-743p. DOI: 10.1177/004051758505501205.
33. Bruno, J. S., Vigo, T. L., (1987), Thermally Active Fabrics Containing Polyethylene Glycols, *Journal of Industrial Textiles*, 16 (4), 264-274p. DOI: 10.1177/152808378701600406.
34. Chen, C., Wang, L., Huang, Y., (2008), A Novel Shape-Stabilized PCM; Electrospun Ultrafine Fibers Based on Lauric Acid/Polyethylene Terephthalate Composite, *Material Letters*, 62, 3515-3517p. DOI:10.1016/j.matlet.2008.03.034.
35. Alay, S., (2010), Isıl Enerji Depolama Özellikli Mikrokapsüller İçeren Akıllı Tekstil Ürünlerinin Geliştirilmesi, SDÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Isparta.
36. 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), 571-575p. DOI: 10.1177/004051750407400702.
37. Shin, Y., Yoo, D., 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, 2005-2010p. DOI: 10.1002/app.21438.
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. DOI:10.1088/0957-0233/20/2/025110.
39. ASTM D7024 - 04 Standard Test Method for Steady State and Dynamic Thermal Performance of Textile Materials. DOI: 10.1520/D7024-04.