

# TELEF AKRİLİK ELYAFLARDAN ISI DÜZENLEME ÖZELLİKLİ YALITIM MALZEMESİ ÜRETİMİ

Sennur ALAY AKSOY  
Arzu KURU

## ÖZET

Bu çalışmada, binalarda ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılacak ısı düzenleme özellikli akrilik elyaf üretimi hedeflenmiştir. Çalışma kapsamında, halı fabrikasından tedarik edilen telef akrilik elyaflarına faz değiştiren madde uygulanmıştır. Faz değiştiren maddeler (FDMler) gizli ısı depolama ve yayma özelliğine sahip maddelerdir ve termal enerji depolama malzemeleri olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar. Çalışmada, faz değiştiren madde olarak molekül ağırlığı 1000 olan polietilen glikol (PEG 1000) polimeri kullanılmıştır. İki farklı çapraz bağlayıcı kullanılarak PEG polimeri akrilik elyafına çapraz bağlanmıştır. PEG uygulanmış elyafların DSC (Diferansiyel taramalı kalorimetre) cihazı ile termal özellikleri, FT-IR spektroskopisi ile kimyasal yapıları ve SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) ile morfolojileri karakterize edilmiştir. DSC analizi sonuçlarına göre, PEG 1000 uygulanmış elyafların 29-35 °C aralıklarındaki sıcaklıklarda 2-13 J/g ısı depolayabildikleri ve 31-35 °C aralıklarındaki sıcaklıklarda -4-15J/g ısı yaydıkları belirlenmiştir. Elyafların ısı düzenleme ve ısı yalıtım özellikleri sırasıyla T-history ve statik ısı iletim katsayısı ölçümleri ile belirlenmiştir. T-history sonuçları, işlem görmemiş ve PEG içeren lifler için boş ve lif doldurulmuş kutu içindeki sıcaklık farkları karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Soğuk ortamda yapılan sıcaklık ölçümlerine göre, PEG'siz elyaf içeren kutu içindeki sıcaklık artışı 10 dakika boyunca yaklaşık 1 °C civarında iken PEG'li elyaf içeren kutu içindeki sıcaklık artışı 30 dakika boyunca 1,5 °C olarak ölçülmüştür. Sıcak ortamda ölçülen sonuçlara göre, PEG uygulanmamış lif içeren kutu içindeki sıcaklık düşüşü yaklaşık 4,5 °C civarında iken PEG'li elyaf içeren kutu içindeki sıcaklık düşüşü 25 dakika boyunca 6,5 °C olarak ölçülmüştür. Sabit durumda ısı iletim katsayısı ölçüm sonuçlarına göre, PEG uygulanmamış ham elyafın ısı iletim katsayısı 0,07 W/mK iken PEG uygulanmış akrilik elyafların ısı iletim katsayısı 0,067 ve 0,068 W/mK olarak ölçülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** FDM, Akrilik Elyaf, Isı Depolama/Yayma, Isı Düzenleme, Yalıtım

## ABSTRACT

In this study, production of acrylic fibers with thermo-regulating property to use in builds as heat insulation material was aimed. In the scope of the study, phase change materials were applied to the waste acrylic fibers supplied from carpet factory. Phase change materials (PCMs) are materials having latent heat storage and releasing properties and widely used as thermal energy storage materials. In the study, polyethylene glycol (PEG) with number-average molecular weight of 1000 g/mole was used as phase change material. PEG polymer was cross-linked to acrylic fibers by using two different cross-linkers. Thermal properties, chemical structure and morphology were characterized using DSC, SEM and FT-IR spectroscopy, respectively. According to DSC results, it was determined that PEG incorporated fibers can store 2-13 J/g energy at 29-35 °C and release 4-15 J/g energy at 31-35 °C. Thermo-regulating and thermal insulation properties of the fibers were determined by T-history and static thermal conductivity measurements, respectively. Evaluation of thermal history results was carried out by comparing the temperature difference of the empty and fiber-filled box for untreated and PEG incorporated fibers. According to the measurement carried out at cold ambient, temperature increasing in the box containing PEG incorporated fibers was measured as 1.5 °C during 30 minutes as the temperature increasing in the box containing untreated fibers was almost 1 °C during 10

minutes. According to the results measured at hot ambient, temperature decreasing in the box containing PEG incorporated fibers was measured as 6.5 °C during 25 minutes as temperature decreasing in the box containing untreated fibers was almost 4.5 °C. According to the steady state thermal conductivity measurement results, thermal conductivity of PEG applied fibers were measured as 0.067 and 0.068 W/mK, as thermal conductivity of untreated fibers was 0.07 W/mK.

**Key Words:** PCM, Acrylic Fibers, Heat Storage/Releasing, Thermoregulation, Insulation

## 1. GİRİŞ

Faz değiştiren maddeler gizli ısı depolayabilen maddelerdir ve termal enerji depolama malzemeleri olarak kullanılmaktadırlar. Termal enerji depolama enerjinin daha sonra kullanılmak üzere geçici süre ile depolanmasıdır. Faz değiştiren maddeler, yüksek enerji depolama kapasiteleri nedeniyle termal enerji depolama malzemeleri olarak büyük ilgi görmektedirler [1]. Bu maddeler katıdan sıvı faza geçerken ısı absorbe etmekte, sıvıdan katı faza geçerken ise ısı yaymaktadırlar. Sıcaklık faz değiştiren maddenin erime sıcaklığına kadar yükseldiğinde faz değiştiren madde erimesi boyunca ortamdaki gizli ısı absorbe etmekte ve bu enerjiyi yapısında depo etmektedir. Sıcaklık düştüğünde ise faz değiştiren madde (FDM) depo ettiği gizli ısıyı katılaşması sırasında ortama geri yaymaktadır. FDM tarafından depo edilen ve yayılan gizli ısı anlık sıcaklık değişimlerini önlemek, ısıtmak ve serinletmek amaçlarıyla kullanılmaktadır [1-4].

Dünya çapında ortaya çıkan enerji krizi nedeniyle faz değiştiren maddelere olan talep artmaktadır ve binalarda iklimlendirme, atık ısı kazanımı, solar enerji sistemleri gibi farklı uygulama alanlarında faz değiştiren maddelerin kullanımı yaygınlaşmaktadır. Faz değiştiren maddelerin kullanıldığı alanlardan birisi de tekstil sektörüdür. Bu maddeler tekstil ürünlerine termal giysi konforunu geliştirmek ve ısı düzenleme özellikli tekstil ürünleri üretmek amacıyla uygulanmaktadır. Faz değiştiren madde uygulanmış tekstiller, lifin ısı iletim katsayısı ve ürünün yapısında hapsediği durgun havadan kaynaklanan statik ısı yalıtımına ilave olarak FDM'den kaynaklanan ısı düzenleme özelliğine de sahip olmaktadır [1,3,5]. Isı düzenleme özellikli yatak, mobilya ve perde gibi ev tekstil ürünlerinde, ayakkabılarda, medikal ve hasta bakım malzemelerinde FDM uygulanmış tekstil ürünleri yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır [6-9].

Gizli ısı depolama katı-katı, katı-sıvı ve sıvı-gaz faz değişimi ile sağlanabilmektedir. Ancak genellikle katı-sıvı ve katı-katı faz değişimi yolu ile gizli ısı depolama kullanılmaktadır. Faz değiştiren maddeler organik ve anorganik olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Organik faz değiştiren maddeler arasında lineer uzun zincirli hidrokarbonlar (parafinler), polietilen glikol (PEG) ve yağ asitleri en çok tercih edilen maddelerdir. Parafin esaslı faz değiştiren maddeler tekstil ürünlerine doğrudan uygulanamadıkları için mikro veya nano boyutta kapsüllendikten sonra uygulanmaktadır. Mikrokapsülleme faz değiştiren maddenin katı bir madde olarak tekstil yapısına aktarılmasını sağlamakta ve sıvı faza geçtiğinde maddenin tekstil yapısından uzaklaşmasına engel olmaktadır. Tekstil malzemeleri için tercih edilen bir diğer organik faz değiştiren madde olan PEG ise genellikle katı-katı FDM olarak polimer veya kumaş materyallerine kimyasal olarak yollarla bağlanabilmekte veya katı-sıvı FDM olarak uygulanabilmektedir [11-14]. Polietilen glikol (PEG) yapısında tekrar eden temel birim, zincirin her iki ucunda hidroksil gruplarına sahip oksietilen  $(-O-CH_2-CH_2)_n$  grubudur. Molekül ağırlığı 20,000'in altındaki polietilen glikol polimerleri için erime sıcaklığı moleküler ağırlığı ile orantılı olarak artmaktadır [1].

Bu çalışmada, telef akrilik elyaflara faz değiştiren madde uygulanarak, binalarda ısı yalıtım malzemesi üretiminde kullanılabilecek ısı düzenleme özellikli akrilik elyaf üretimi hedeflenmiştir. Faz değiştiren madde olarak molekül ağırlığı 1000 olan PEG 1000 polimeri iki farklı çapraz bağlayıcı ile akrilik polimer yapısına kimyasal olarak bağlanmıştır. PEG uygulanmış liflerin ısı depolama özellikleri ve sıcaklık düzenleme özellikleri araştırılmıştır.

Çalışmada lif olarak özellikle telef elyaflar tercih edilmiştir. Bunun nedenlerinden birisi üretilecek yalıtım malzemesinin maliyetini düşürmek ve böylece maliyeti düşük elyafları katma değeri yüksek malzemelere dönüştürmektir. Diğer bir nedeni ise tekstil telef elyaflarının yalıtım keçeği üretiminde

kullanılıyor olmasıdır. Bu çalışma ile ticari olarak mevcut telef elyaftan mamul yalıtım keçelerine ısı depolama ve ısı düzenleme özelliği kazandırılarak enerji tasarrufu noktasında daha efektif ve katma değeri yüksek yenilikçi ürünlere dönüştürülmesi hedeflenmektedir.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Materyal

Molekül ağırlığı ortalama 1000 g/mol olan polietilen glikol polimeri (Alfa Aesar) faz değiştiren madde olarak kullanılmıştır. PEG polimerini akrilik elyaf polimer yapısına kimyasal olarak bağlamak için çapraz bağlayıcı olarak Glutaraldehit (Sigma Aldrich) (GA) ve Arkofix ELF (Clariant) ticari ismi ile piyasaya sürülen düşük formaldehit salınımlı çapraz bağlayıcı kullanılmıştır. Katalizör olarak GA için hidroklorik asit (% 37 w/w) ve Arkofix için magnezyum klorür ( $MgCl_2$ ) kullanılmıştır. Telef akrilik elyaf tekstil elyafı olarak kullanılmıştır.

### 2.2. Metotlar

#### 2.2.1. Elyaflara PEG Uygulanması

Çalışmada ilk olarak PEG 1000 polimeri çapraz bağlayıcı maddeler aracılığı ile akrilik liflere uygulanmıştır. Çapraz bağlayıcı türüne bağlı olarak farklı PEG uygulama koşulları belirlenmiştir. Çapraz bağlayıcı olarak Arkofix ELF kullanıldığı durumda, 1 gram elyaf numunesi için 10 gram PEG 1000 polimeri kullanılmıştır. PEG polimeri distile edilmiş su içinde çözünerek 100 g/L konsantrasyonda PEG/su çözeltisi hazırlanmış ve içerisine 1 gram elyaf numunesi daldırılmıştır. Yaklaşık 30 dakika sonra çözelti içerisine 60 g/L konsantrasyonda çapraz bağlayıcı (Arkofix ELF) ve 12 g/L konsantrasyonda magnezyum klorür katalizör olarak ilave edilmiştir. Çözelti içerisinde 1 saat bekletilen elyaf numuneleri 120 °C'de etüvde kurularak elyaf üzerine alınan PEG polimerinin lif üzerine sabitlenmesi sağlanmıştır [15].

Çapraz bağlayıcı olarak glutaraldehit (GA) kullanıldığında, 1 gram elyaf numunesi için 5 gram PEG polimerleri uygulanmıştır. 5 gram polimer 100 mL su içinde çözünmüş ve elyaflar bu çözelti ortamında 1 saat bekletilmiştir. Çözelti iyice soğutulduktan sonra içerisine damla damla olacak şekilde 15 dakika boyunca çapraz bağlayıcı GA ve katalizör karışımı damlatılmıştır. 1 mol PEG polimeri için 5 mol çapraz bağlayıcı ve 0,025 mol HCl kullanılmıştır. Çapraz bağlayıcı ilave edildikten sonra elyaf 24 saat boyunca çözelti içerisinde bekletilmiş ve 24 saat sonunda 80 °C'de etüvde kurutulmuştur. Çapraz bağlayıcı olarak GA uygulanması konusunda farklı yöntemler denenerek en uygun bağlama yöntemi araştırılmıştır. Uygulanan yöntemlerde farklılık çapraz bağlayıcı ortamına katalizör ilave edilmemesi ve GA'nın su veya aseton içerisinde çözünmüş olarak uygulanmasıdır. Birinci numune için GA doğrudan elyafın bulunduğu sulu karışıma ilave edilmiştir. Diğer bir elyaf numunesi için elyaf içeren sulu PEG karışımına GA ile birlikte HCl ilave edilmiştir. Başka bir numune için ise asetonda çözölmüş GA içerisine HCl karıştırılıp hazırlanan çözelti elyafın bulunduğu sulu ortama ilave edilmiştir [15].

#### 2.2.2. Elyaflara Uygulanan Analiz ve Test Metotları

PEG uygulanmış elyafların termal özelliklerini belirlemek için DSC (Diferansiyel Taramalı Kalorimetri) analizi uygulanmıştır. DSC analizi ile elyaf numunelerinin ısı depolama ve yayma sıcaklık ve entalpileri ölçülmüştür. DSC analizleri Perkin Elmer marka DSC cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Isıl analizler 10 °C/d ısıtma/soğutma oranında, -10 - +80 °C aralığında, azot ( $N_2$ ) atmosferinde gerçekleştirilmiştir [15].

Çalışmada PEG uygulandıktan sonra elyafların morfolojilerindeki değişimi belirlemek için taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi uygulanmıştır. Çalışmada Phillips XL-30S FEG (İYTE, Malzeme

Araştırma Merkezi) marka SEM cihazı kullanılmış ve analizler sırasında örneklerin yüzeyi iletkenlik sağlamak amacıyla altın ile kaplanmıştır [15].

PEG uygulanmış liflerin yapılarındaki kimyasal değişimi analiz etmek için FT-IR spektroskopisi kullanılmıştır. Analiz için Perkin Elmer Spectrum cihazı kullanılmıştır. Analizler oda sıcaklığında, KBr pellet tekniği ile  $4 \text{ cm}^{-1}$  çözünürlükte,  $4000-400 \text{ cm}^{-1}$  orta infrared bölgesinde,  $2 \text{ cm}^{-1}$  aralıklarla 16 tarama sayısı ile gerçekleştirilmiştir [15].

Bu çalışmada ısı depolama özelliği kazandırılan akrilik elyafların ısı yalıtım malzemesi olarak kullanımı araştırılmaktadır. Bu nedenle elyaflarda üretilen keçe formundaki malzemenin statik ısı iletim katsayısı da ölçülmüştür. Ölçümler PEG uygulanmamış elyaftan üretilen yüzey ve PEG uygulanmış elyaflardan üretilen yüzeyler için karşılaştırılmıştır. Böylece PEG uygulamasının keçenin statik ısı iletim katsayısı üzerinde etkisi olup olmadığı araştırılmıştır. Ayrıca ticari keçe örneğinin ısı iletim katsayısı ölçülerek numuneler için ölçülen değerler ile kıyaslanmıştır. Elyafı keçe formuna getirmede, telef elyaflardan mamul ticari keçe özellikleri dikkate alınmıştır. Bu amaçla Hashalı Ticaret (Kayseri) telef elyaflardan üretilmiş keçe örneği incelenmiştir. Mevcut keçenin kalınlığı ve gramajı ölçülmüş ve bu değerlere sahip elyaf demeti hazırlanarak telef elyaflar keçe formuna dönüştürülmüştür. Tablo1'de incelenen örnek keçe numunesine ait gramaj ve kalınlık, çap bilgileri verilmiştir.

**Tablo 1.** Ticari Keçe Numunesine Ait Çap, Kalınlık ve Gramaj Değerleri [15]

Numune	Ölçüm yapılan keçe çapı	Keçe kalınlığı	Ölçülen keçe gramajı ( $\text{g/m}^2$ )
Ticari Keçe	26 mm	4 mm	0,287 g

Statik ısı iletim katsayısı ölçümleri için P. A. Hilton Isı İletim Katsayısı Ölçme Deney Cihazı kullanılmıştır. Ölçümler belirlenen süre ve verilen ısı miktarı (Q) ile gerçekleştirilmiştir. Belirlenen ısı ve bunlara bağlı süre değişimleri; Q= 5 watt alındığında zaman; t= 4 saat; Q= 7 watt alındığında da t= 4 saat alınmıştır. Keçe formundaki telef elyafların ısı iletimine etkisi, sıkıştırılmış elyaflardan oluşmuş ince keçe formunu, ısıtılan ve soğutulan metal bölümler arasına yerleştirilerek elde edilmiştir. Ölçüm sonunda Fourier Isı Yasası eşitliğinden yararlanılarak ısı iletim katsayısı değerleri hesaplanmıştır. Her bir numune grubu için hesaplanan üç değerlerin ortalaması alınarak elyaflara ait ısı iletim katsayısı değerleri elde edilmiştir [15].

$$Q=k.A.\frac{dT}{dx} \text{ (tek boyut x durumunda)} \quad (3.1)$$

Burada;

Q= Cihaza verilen ısı miktarı [W]

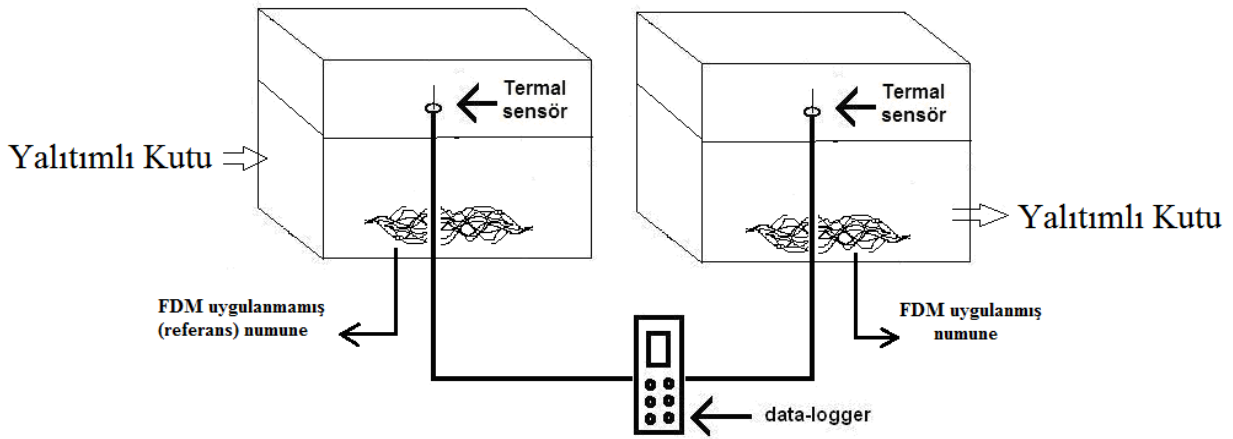
A= Numunenin ısı geçişine dik olan doğrultudaki alanı [ $\text{m}^2$ ]

$$\frac{dT}{dx} = x\text{- yönündeki sıcaklık gradienti [K/m]}$$

k= Malzemenin ısı iletim katsayısı (W/mK)

Çalışmada hedeflenen amaç doğrultusunda, faz değiştiren madde uygulanarak ısı depolama özelliği kazandırılmış elyafların belirli bir hacme sahip ortamda sıcaklık düzenleme özelliği T-history düzeneği kullanılarak ölçülmüştür. Söz konusu sistem ile ısı depolama özelliği kazandırılmış elyafların yerleştirildiği ortamın sıcaklığındaki değişim, maddenin ısı yayma ve ısı soğurma özelliği ile ilişkilendirilerek belirlenmiştir. Sisteme ait şematik gösterim Şekil 1'de verilmiştir. Sistem yalıtımlı poliüretan köpükten mamul iki adet kutu, bu kutuların içerisine yerleştirilmiş sıcaklık sensörleri ve sensörlerin ölçtüğü değerleri kaydeden bir veri kaydediciden oluşmaktadır. Sistemin kurulması için Kimo KTH-350-P marka Nem ve Pt 100 sıcaklık sensörleri (-40 - +70 °C arasında, 0.1 °C hassasiyet

ile ölçüm yapabilen) ve veri kaydedici sistem kullanılmıştır. Ölçüm kutuları boşken ve içerisine elyaf yerleştirildiği durumda belirli bir süre boyunca kutu içi sıcaklık ölçümleri gerçekleştirilir. Hem işlem görmüş elyaf yerleştirilen hemde işlem görmemiş elyaf yerleştirilen kutu için boş ve dolu andaki ölçülen sıcaklık dereceleri karşılaştırılır. Böylece işlem görmemiş referans elyaf ve PEG uygulanmış numuneye ait zamana bağlı sıcaklık grafikleri karşılaştırılarak FDM'den kaynaklanan sıcaklık farkı dolayısıyla FDM'nin ısı düzenleme özelliği belirlenmiştir. Ölçümler elyaf yapısındaki PEG polimerinin faz değişimini gerçekleştireceği sıcaklık aralığını kapsayacak şekilde iki farklı ortamda gerçekleştirilmiştir. Soğuk ortamının sıcaklığı PEG polimerinin katılaşacağı kadar düşük ( $6\pm 2$  °C) iken, sıcak ortamın sıcaklığı PEG'in eriyeceği kadar yüksektir ( $54\pm 2$  °C). Sıcak ortamda yapılacak ölçümler öncesinde numune soğuk ortamda en az iki saat bekletilmiş ve böylece yapıdaki FDM'nin katılaşması sağlanmıştır. Aynı şekilde soğuk ortamda yapılacak ölçümler öncesinde ise numuneler yapısındaki FDM'nin erime sıcaklığından daha yüksek sıcaklıkta bir ortamda bekletilmiştir. Böylece ölçüm ortamında elyaf yapısındaki FDM'nin faz değişimini gerçekleştirmesi olanağı sağlanmıştır. Ölçüm sırasında kullanılan yalıtımlı kutunun hacmi  $2300\text{ cm}^3$  olup bu kutu içerisine 5 gram elyaf kutu tabanını dolduracak şekilde yerleştirilmiştir [15].

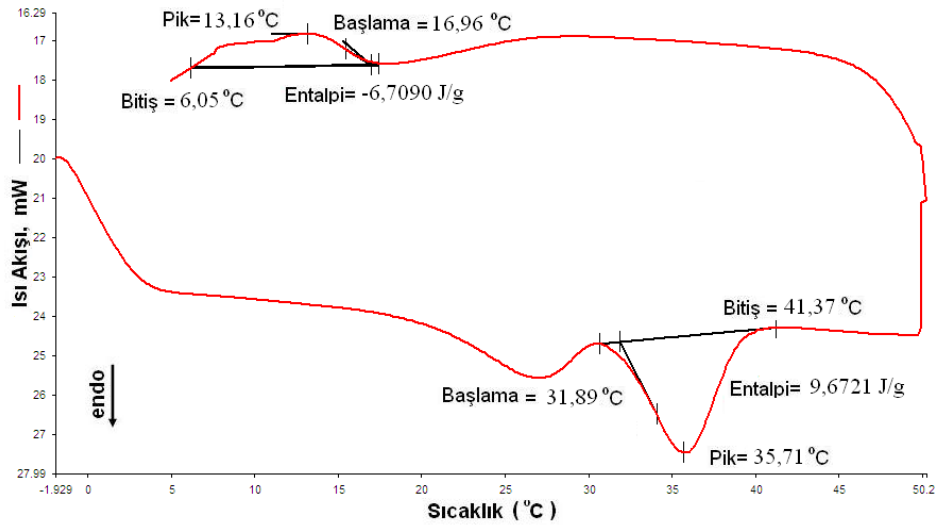


Şekil 1. T-history Düzenine Ait Şematik Gösterim [15]

### 3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

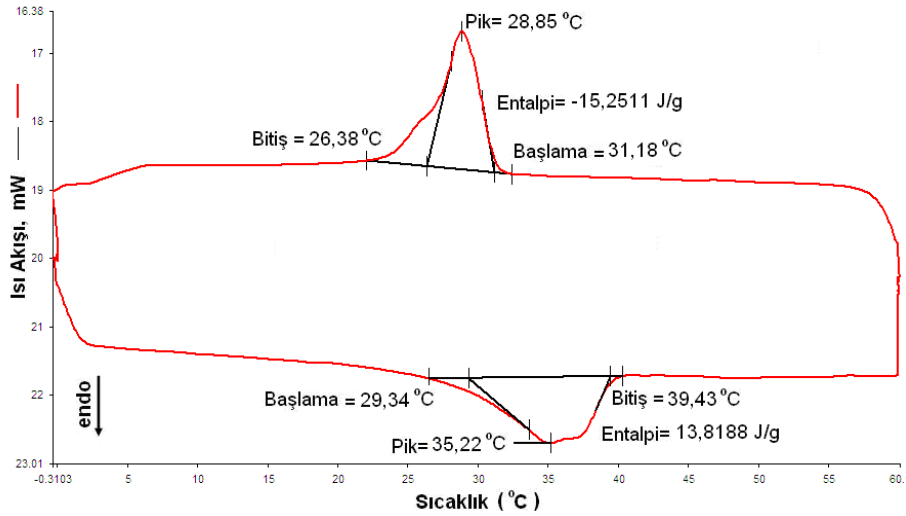
#### 3.1. PEG 1000 Uygulanmış Elyafların DSC Analiz Sonuçları

Arkofix ELF çapraz bağlayıcısı kullanılarak PEG 1000 uygulanmış akrilik elyaflara ait DSC grafiği Şekil 2'de gösterilmiştir. DSC sonuçlarına göre elyafların ısı depolama yarma özelliğine sahip oldukları ancak uygulanan yüksek PEG miktarına göre elde edilen entalpi değerlerinin oldukça düşük olduğu belirlenmiştir. Elyaflar  $31,89$  °C'de ısı soğurmaya başlamış ve  $9,6721$  J/g ısı depolamış,  $19,96$  °C'de  $-6,7090$  J/g ısı yaymıştır. Elde edilen entalpi değerleri diğer çalışmalarımızda kullandığımız pamuk ve yün elyafı ile ilgili değerler ile kıyaslandığında yün elyaf için ölçülen değerlere benzer olarak bulunmuştur [15, 16].



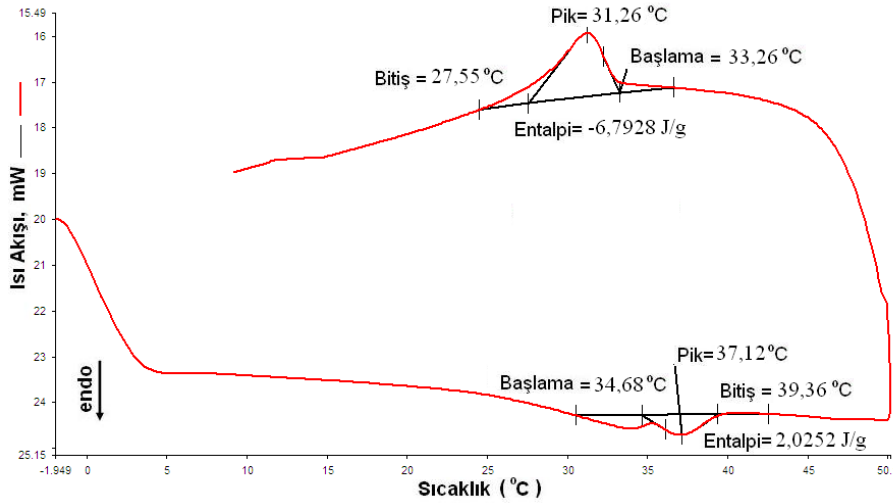
**Şekil 2.** Akofix ELF Çapraz Bağlayıcı İle PEG 1000 Uygulanmış Akirlik Elyafına Ait DSC Grafiği [15]

Çapraz bağlayıcı olarak GA kullanılarak PEG uygulanmış akrilik elyaflara ait DSC grafikleri ise sırasıyla Şekil 3-5'de verilmiştir. Katalizör ilave edilmeden doğrudan GA çapraz bağlayıcısı kullanılarak PEG 1000 uygulanmış akrilik lifine ait DSC grafiğine göre, ısıtılan lif 29,34 °C'de 13,8188 J/g ısı depolamakta, soğutulurken 31,18 °C'de -15,2511 J/g ısı yaymaktadır (Şekil 3).



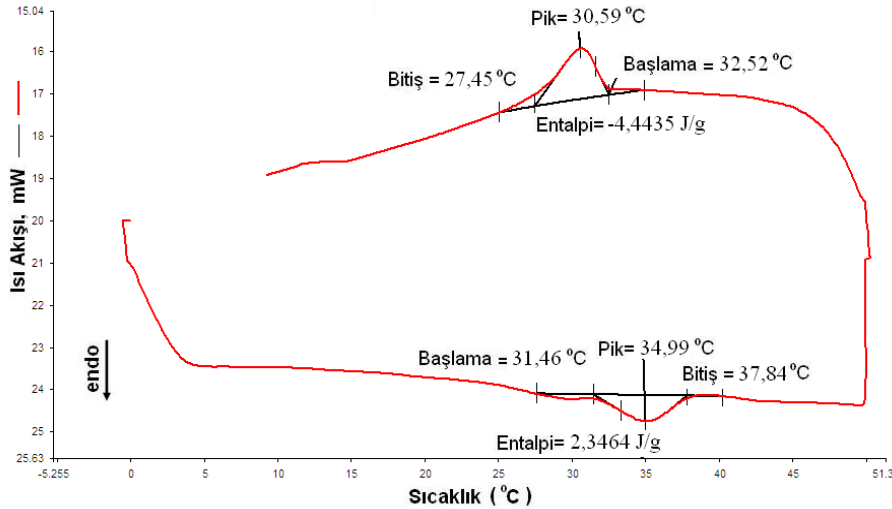
**Şekil 3.** GA ile Katalizör Kullanılmadan Çapraz Bağlanmış PEG 1000 İçeren Akirlik Elyafa Ait DSC Grafiği [15]

Şekil 4'de gösterilen grafik incelendiğinde, emdirilen PEG 1000 polimerinin GA yardımı ile akrilik lifine bağlanması sırasında GA ile birlikte HCl (katalizör) ilave edildiği durumda aynı miktar PEG uygulanmış lif için ölçülen ısı depolama/yayma kapasitesinin daha düşük olduğu belirlenmiştir. Life ait erime sıcaklığı 34,68 °C, erime entalpisi 2,0252 J/g, katılma sıcaklığı 33,26 °C, katılma entalpisi ise -6,7928 J/g olarak ölçülmüştür [15].



**Şekil 4.** GA ile Katalizör Kullanılarak Çapraz Bağlanmış PEG 1000 İçeren Akrilik Elyafa Ait DSC Grafiği [15]

Şekil 5'te ise akrilik lifine PEG bağlanması sırasında asetonda çözülmüş GA ve katalizör HCl ilave edilmesi durumunda lif için elde edilen DSC grafiği verilmiştir. Grafikten görülebildiği gibi lifin ısıtılması sırasında  $31,46\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de  $2,3464\text{ J/g}$  ısı depoladığı, soğutulması sırasında ise  $32,52\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de  $-4,4435\text{ J/g}$  ısı yaydığı belirlenmiştir [15].



**Şekil 5.** GA1000-3 Kodlu Aseton İçinde Çözülmüş GA/HCl İle Çapraz Bağlanmış PEG 1000 İçeren Akrilik Elyafa Ait DSC Grafiği [15]

DSC sonuçlarına göre, GA çapraz bağlayıcısının kullanıldığı durumda asit katalizörünün olumsuz etki yaptığı sonucuna ulaşılmıştır. Öte yandan iki farklı çapraz bağlayıcı karşılaştırıldığında, GA çapraz bağlayıcı kullanıldığı durumda, daha az PEG uygulanmasına rağmen lifler için daha yüksek entalpi değerine ulaşılabildiği sonucuna ulaşılmıştır.

### 3.2. Statik Isı İletim Katsayısı Ölçüm Sonuçları

Çalışmada, ısı depolama özelliği kazandırılmış tekstil telef liflerinden yalıtım malzemesi üretimi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda kullanılan telef elyaflardan üretilecek malzemenin statik ısı

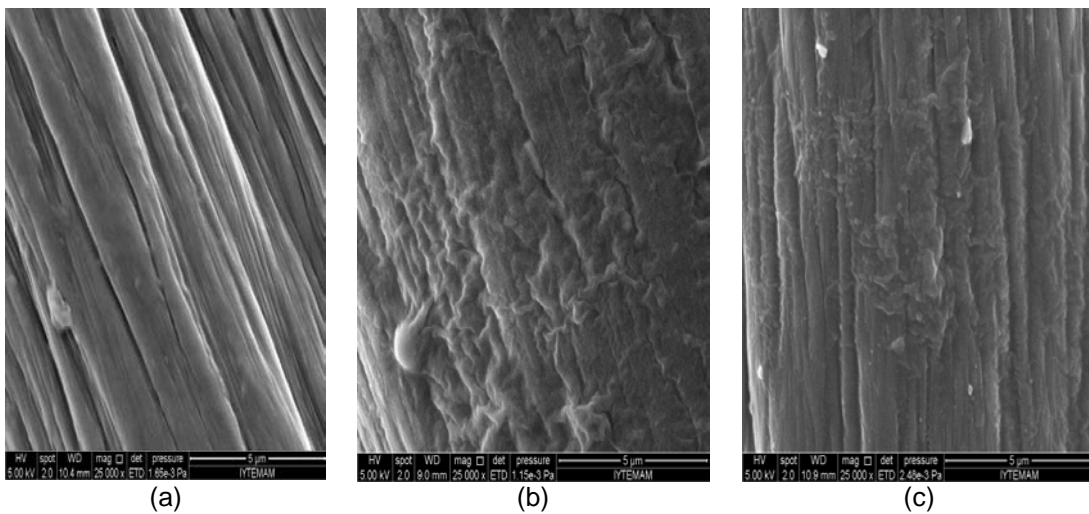
yalıtım özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Ayrıca PEG uygulamasının lifin ısı yalıtım özelliklerine etkisinin de değerlendirilmesi gerekmektedir. Üretimi gerçekleştirilecek yalıtım malzemesinin statik ısı yalıtım değerinin belirlenmesi ve piyasada mevcut benzer ürünlerin yalıtım değerleri ile kıyaslanabilmesi amacıyla statik ısı iletim katsayısı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Statik ısı yalıtım ölçümleri PEG uygulanmamış ham haldeki elyaflardan elde edilen malzemeler ve DSC sonuçlarına göre ısı depolayabildikleri belirlenen PEG uygulanmış numuneler için gerçekleştirilmiştir. Her numune için üç kez tekrarlanan statik ısı iletim katsayısı ölçüm sonuçlarına ait ortalama ısı iletim katsayısı değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Tablo incelendiğinde, ticari keçe özellikleri için ölçülen statik ısı iletim katsayısı ile bu keçenin özellikleri dikkate alınarak hazırlanan akrilik numune keçelere ait statik ısı iletim katsayıları arasında önemli fark olmadığı görülmektedir. Elyafın ısı iletim katsayısı PEG uygulamasından sonra önemli olmayacak seviyede azalmıştır. Isı iletim katsayıları 0,067-0,07 W/mK aralığında değişmektedir [15].

**Tablo 2.** Statik Isı İletim Katsayısı Ölçüm Sonuçları [15]

Elyaf türü	Numune Kodu/Özelliği	Ortalama Isı İletim Katsayısı (W/mK)
Karışım elyaf	Ticari telef elyaf keçe örneği	0,067
Ham akrilik elyaf	Ham akrilik	0,07
PEG uygulanmış akrilik	Arkofix çapraz bağlayıcı ile PEG uygulanmış akrilik elyaftan mamul keçe	0,069
	Katalizörsüz GA ile PEG uygulanmış akrilik elyaftan mamul keçe	0,067
	Katalizör ortamında GA ile PEG uygulanmış akrilik elyaftan mamul keçe	0,067
	Aseton içinde çözülmüş GA ve katalizör ortamında PEG uygulanmış akrilik elyaftan mamul keçe	0,068

### 3.3. SEM Analizi Sonuçları

Akrilik elyafına ait PEG 1000 uygulanmış ve uygulanmamış numunelere ait SEM görüntüleri ise Şekil 6'da gösterilmiştir. Şekiller incelendiğinde PEG 1000 uygulanmamış ham akrilik elyafının yüzeyinde çizgi şeklinde oyuklar görünürken PEG 1000 uygulanmış liflerin yüzeyinde polimer tabaka görülmektedir [15].

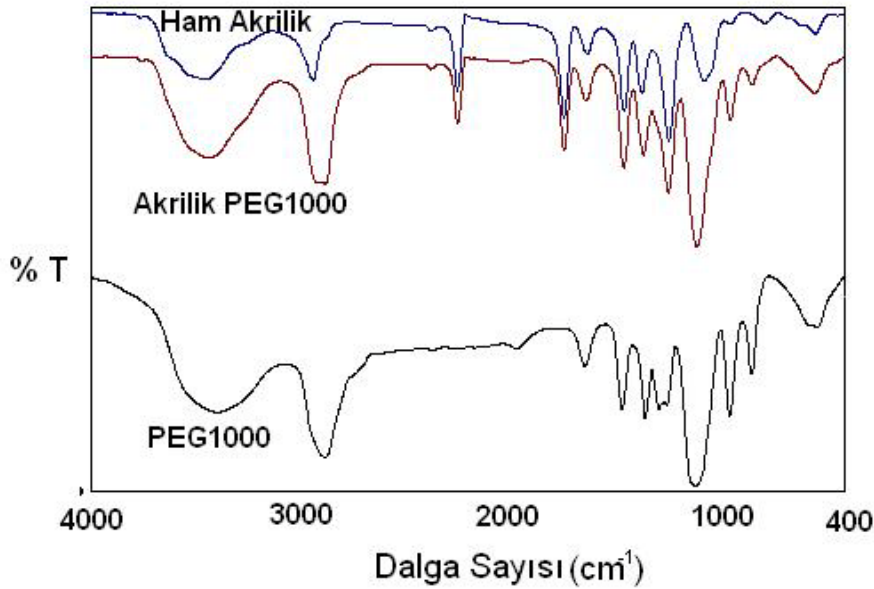


**Şekil 6.** Akrilik Elyafına Ait 25000 X Büyütmeli SEM Görüntüleri: (a) Ham Elyaf, (b) Arkofix Çapraz Bağlayıcısı Kullanılarak PEG 1000 Uygulanmış Akrilik Elyafı, (c) GA Çapraz Bağlayıcısı Kullanılarak PEG 1000 Uygulanmış Akrilik Elyafı [15]



### 3.4. FT-IR Analizi Sonuçları

Şekil 7'de PEG 1000 polimeri, ham akrilik ve PEG 1000 uygulanmış akrilik liflerine ait FT-IR spektrumları verilmiştir. Ham akrilik ve PEG 1000 uygulanmış akrilik liflerine ait spektrumlarda,  $2245\text{ cm}^{-1}$ 'de ortaya çıkan pikler nitril grubuna ait karakteristik piklerdir. PEG 1000'e ait spektrumda  $1112\text{ cm}^{-1}$ 'de ortaya çıkan pik -C-O- gerilme piki olup, işlem görmemiş akrilik lifinden farklı olarak PEG uygulanmış akrilik lifine ait spektrumda  $1108\text{ cm}^{-1}$  dalga boyunda büyük bir pik olarak ortaya çıkmıştır. Öte yandan ham akrilik lifine ait spektrumda  $2938\text{ cm}^{-1}$  dalga boyunda ortaya çıkan C-H piki, PEG 1000 uygulanmış akrilik lifine ait spektrumda PEG 1000'e ait  $2282\text{ cm}^{-1}$  dalga boyundaki pik ile birleşerek  $2914$  ve  $2280\text{ cm}^{-1}$ 'de dalga boylarında birleşmiş iki pik olarak ortaya çıkmıştır. Bütün bu bilgiler akrilik elyaf yapısındaki PEG'in varlığını kimyasal olarak açıklamaktadır [15].



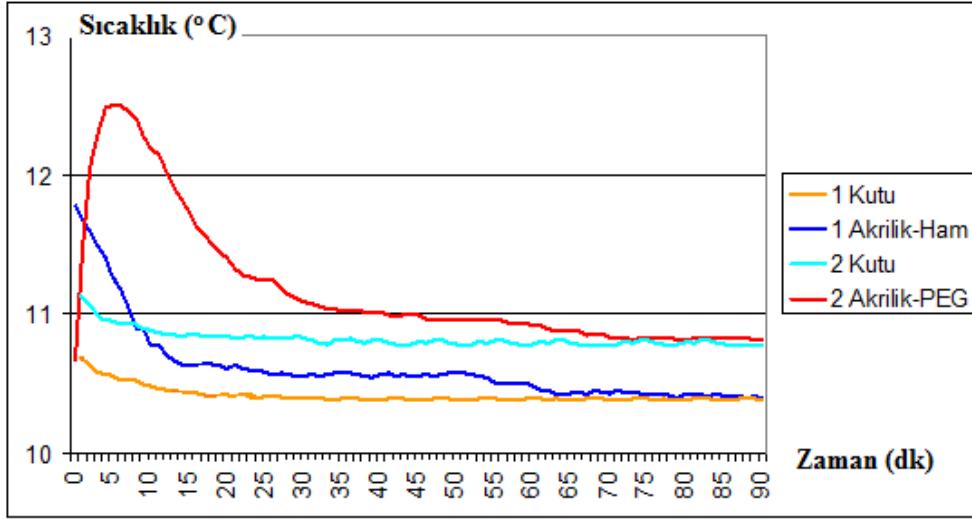
Şekil 7. PEG 1000, Ham Akrilik ve PEG 1000 Uygulanmış Akrilik Elyafalara Ait FT-IR Spektrumları [15]

### 3.5. Zamana Karşı Sıcaklık Ölçümü (T-History) Sonuçları

Çalışmada, ısı depolama özelliği kazandırılmış telef akrilik elyaflarının yalıtım malzemesi olarak kullanım olanağı değerlendirilmektedir. Geliştirilecek ürün, mevcut telef elyaftan mamul ticari ürünlerden farklı olarak statik ısı yalıtım özelliği yanında dinamik ısı yalıtımı veya diğer bir deyiş ile ısı düzenleme özelliğine sahip olacaktır. PEG 1000 uygulanarak ısı depolama/yayma özelliği kazandırılmış akrilik elyafların ısı düzenleme özelliklerinin olup olmadığını belirlemek için T-history düzeneği kurularak zamana karşı sıcaklık değişimi ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Sistemde, sıcak ortamda bekletilen numuneler soğuk ortamdaki kutu içine, soğuk ortamda bekletilen numuneler sıcak ortamdaki kutu içerisine yerleştirilmiş ve elyaflar kutu içerisine yerleştirildiği andan itibaren kutuların içerisindeki sıcaklıklar ölçülmüştür. Belirli bir süre boyunca devam eden ölçümler neticesinde elde edilen sıcaklık dereceleri zamana karşı sıcaklık değişim grafikleri olarak çizilmiştir. Bu bölümde DSC sonuçlarına göre en yüksek ısı depolama kapasitesine sahip elyafa ait T-history sonuçları verilmiştir.

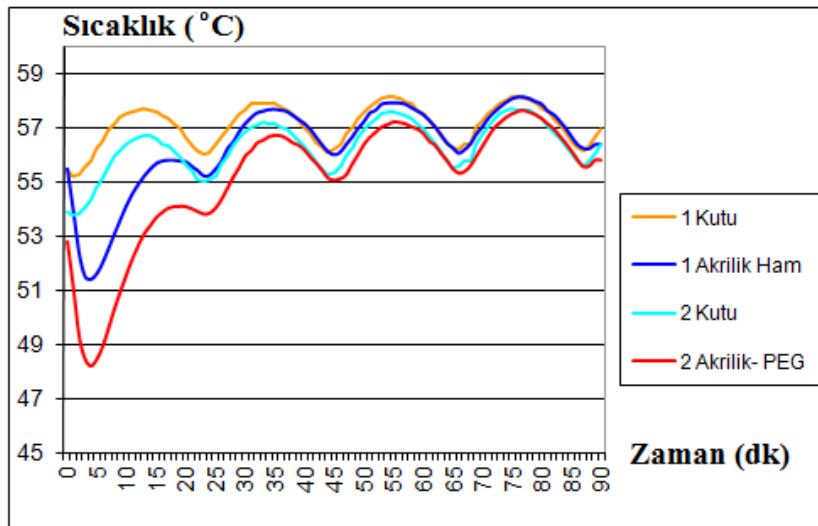
Şekil 8'de sıcak ortamda bekletilerek istenilen sıcaklık derecesine kadar ısıtılmış GA çapraz bağlayıcı ile PEG uygulanmış ve PEG içermeyen akrilik lifi yerleştirilmiş soğuk kutular içinde ölçülen sıcaklık dereceleri gösterilmiştir. PEG'siz elyaf içeren kutu1 içindeki sıcaklığın boş kutu1 içinde ölçülen sıcaklığa göre artışı 10 dakika boyunca yaklaşık  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  civarında iken PEG'li elyaf içeren kutu2 içindeki sıcaklığın boş kutu2 içindeki sıcaklığa göre artışı  $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  olarak ölçülmüştür. PEG'den kaynaklanan sıcaklık artışı numune elyaf için yaklaşık 30 dakika boyunca devam etmiştir. Bu durum, katılma sıcaklığı yaklaşık  $31\text{ }^{\circ}\text{C}$  olan akrilik elyaf yapısındaki PEG'in  $54\text{ }^{\circ}\text{C}$  gibi sıcak bir ortamdaki soğuk bir ortama ( $6^{\circ}\text{C}$ ) getirildiği anda katılma başlanması nedeniyle yaydığı ısıdan kaynaklanmaktadır. PEG

içeren numune elyaf sıcak ortamdan katılaştırmanın gerçekleşeceği soğuk ortama getirildiği için ısı yaymaya başlamıştır [15].



Şekil 8. Sıcak Ortamdan Soğuk Ortama Alınan PEG 1000 Uygulanmış ve Uygulanmamış Akirlik Elyaflarının T-History Ölçüm Sonuçları [15]

Şekil 9'da soğukta bekletilmiş PEG içeren ve içermeyen akirlik lifi yerleştirilmiş sıcak kutular içinde ölçülen sıcaklık dereceleri gösterilmiştir. PEG uygulanmamış lif içeren kutu1 içindeki sıcaklığın boş kutu1 içindeki sıcaklığa göre düşüşü yaklaşık 4,5 °C civarında iken PEG'li elyaf içeren kutu2 içindeki sıcaklığın boş kutu2 içindeki sıcaklığa göre düşüşü 6,5 °C olarak ölçülmüştür. PEG'in varlığından kaynaklanan sıcaklık düşmesi numune elyaf için yaklaşık 25 dakika boyunca devam etmiştir. Bu durum, erime sıcaklığı yaklaşık 34 °C olan akirlik elyaf yapısındaki PEG'in 10 °C gibi soğuk bir ortamdan 54 °C gibi sıcak bir ortama getirildiği anda erimeye başlaması nedeniyle depoladığı ısıdan kaynaklanmaktadır. PEG içeren numune elyaf soğuk ortamdan erimenin gerçekleşeceği sıcak ortama getirildiğinden ısı depolamış olduğu açıkça görülmektedir [15].



Şekil 9. Soğuk Ortamdan Sıcak Ortama Alınan PEG 1000 Uygulanmış ve Uygulanmamış Kodlu Akirlik Elyaflarının T-History Ölçüm Sonuçları [15]

## SONUÇ

Bu çalışmada, PEG 1000 polimeri telef akrilik elyafların yapısına kimyasal olarak bağlanarak ısı depolama ve ısı düzenleme özellikli akrilik elyaf üretimi gerçekleştirilmiştir. Farklı koşullarda ve farklı çapraz bağlayıcı eşliğinde PEG 1000 uygulanmış elyafların ısı depolama/yayma sıcaklıkları ve entalpi değerleri belirlenmiştir. Ayrıca PEG uygulanmış elyafların morfolojileri ve kimyasal yapıları da karakterize edilmiştir. Elyaflar için ölçülen en yüksek entalpi değeri katalizör ilave edilmeden GA çapraz bağlayıcı kullanılarak PEG uygulanmış elyaflara ait olup, bu elyaflar 29,34 °C'de 13,8188 J/g ısı depolamakta ve 31,18 °C'de -15,2511 J/g ısı yamaktadırlar.

PEG uygulanmış elyafların statik ısı yalıtımı ve dinamik ısı düzenleme özelliklerini belirlemek için statik ısı iletim katsayısı ölçümü ve T-history testi uygulanmıştır. Statik ısı iletim katsayısı ölçüm sonuçlarına göre PEG uygulanmış elyaflardan mamul keçelerin ısı iletim katsayıları işlem görmemiş akrilik elyaftan mamul keçenin ısı iletim katsayısına göre daha düşük ve ticari keçe örneğine benzer ısı iletim katsayısına sahiptir. T-History ölçüm sonuçlarına göre, PEG uygulanmış elyaf içeren kutu içinde ölçülen sıcaklık farkı PEG içermeyen kutu içindeki sıcaklık farkından 0,5-2,5 °C farklıdır. Bu sıcaklık farkları 25-30 dakika boyunca devam etmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] MONDAL, S., "Phase Change Materials for Smart Textiles An Overview". Applied Thermal Engineering, V.28, pp. 1536–1550, 2008.
- [2] TAO, X., "Smart Fibres, Fabrics And Clothing", Woodhead Publishing Limited, The Textile Institute, Cambridge, England, 2008.
- [3] MATTILA, H.R., "Intelligent Textiles and Clothing", Woodhead Publishing Limited, The Textile Institute, Cambridge, England, 2006.
- [4] SALAÜN, F., DEVAUX, E., BOURBIGOT, S., RUMEAU, P., "Thermoregulating Response of Cotton Fabric Containing Microencapsulated Phase Change Materials", Thermochim. Acta Vol. 506 82–93, 2010.
- [5] PAUSE, B., "Nonwoven Protective Garments with Thermo-Regulating Properties", J Ind Text, 33: 93-99, 2003.
- [6] PAUSE, B., "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", USPatent 6,077,597 (2000). Availablefrom: <http://patft.uspto.gov/>
- [7] SCARINGE, R.P., BUCKMAN, J.A., GRZYLL, L.R., "Micro-climate control vest", USPatent 4,856,294 (1989). Availablefrom: <http://patft.uspto.gov/>
- [8] GHOSH, S.K., "Functional Coatings by Polymer Microencapsulation", Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 357p, Germany, 2006.
- [9] NELSON, G., "Application of Microencapsulation in Textiles", Int. J. Pharm. 242, 55–62, 2002.
- [10] ALKAN, C., SARI, A., UZUN, O., "Poly(Ethylene Glycol)/Acrylic Polymer Blends as Form Stable Phase Change Materials for Latent Heat Thermal Energy Storage Applications", AIChE J., 52 (9), 3310-3314, 2006.
- [11] MENG, Q., HU, J., "A Poly(Ethylene Glycol)-Based Smart Phase Change Material", Solar Energy Materials & Solar Cells, 92, 1260–1268, 2008.
- [12] WEI-DONG, L., EN-YONG, D., "Preparation and Characterization Of Cross-Linking PEG/MDI/PE Copolymer As Solid–Solid Phase Change Heat Storage Material", Sol Energ Mat Sol C, 91: 764 768, 2007.
- [13] ZHOU, X.M., "Preparation and Characterization of PEG/MDI/PVA Copolymer as Solid–Solid Phase Change Heat Storage Material", J Appl Polym Sci, 113: 2041–2045, 2009.
- [14] YUANG, X.P., DING, E.Y., "Synthesis and Characterization of Storage Energy Materials Prepared From Nano-Crystalline Cellulose/Polyethylene Glycol", Chinese Chem Lett(8): 1129-1132, 2006.

- [15] KURU, A., “Tekstil Elyaf Teleflerinden Isı Depolama Özelliğine Sahip Isı Yalıtım Malzemesi Üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, Türkiye, 2012.
- [16] KURU, A., ALAY AKSOY, S., ALKAN, C., SELVER R., “Production of Smart Heat Insulation Materials From Waste Wool Fibers”, V. International Technical Textiles Congress 7-9 November 2012, İzmir/Turkey, 2012.

## ÖZGEÇMİŞ

### Sennur ALAY AKSOY

1980 yılı Kastamonu doğumludur. 2000 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversiteden 2004 yılında Yüksek Mühendis, 2010 yılında Doktor unvanını almıştır. 2002-2011 Yılları arasında Öğretim Görevlisi olarak görev yapmıştır. 2011 yılından itibaren SDÜ Mühendislik Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümünde Yrd. Doç. Dr. olarak görev yapmaktadır.

### Arzu KURU

1987 yılı Çanakkale doğumludur. 2010 yılında SDÜ Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversiteden 2012 yılında Yüksek Mühendis unvanını almıştır.