

Nanokil Katkılı PAN Nanolif Sentezi ve Karakterizasyonu

Selda Özek^{1,*}, Şengül Çiftçi¹, Fethiye Göde², Kasım Aksoy³, Sennur Alay Aksoy⁴

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Isparta

³Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Biyomedikal Cihaz Teknolojileri Programı, Isparta

⁴Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Isparta

* Yazışılan yazar e-posta:seldaozek79@hotmail.com

Alınış: 12 Ocak 2015, Kabul: 7 Mayıs 2015

Özet: Bu çalışmada, nanolif elde etme yöntemlerinden en yaygın yöntem olan elektrolif çekim (electrospinning) yöntemi kullanılarak, poliakrilonitril (PAN) polimeri ile nanolif üretilmiştir. Üretilen nanolifler arasına daha sonraki çalışmalarda adsorpsiyon amaçlı kullanılabileceği düşünülerek nanokil serpilerek nanokil katkılı PAN nanolif yüzey elde edilmiştir. Üretilen nanokil katkılı PAN nanoliflerin, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile nanolif boyutları ve lif morfolojileri incelenerek, yaklaşık 950 nm çaplarında oldukları görülmüştür. FT-IR ile kimyasal yapı aydınlatılmaya çalışılmış ve bileşimindeki fonksiyonel grupların varlığı incelenmiştir. Nanoliflerin yapısında PAN ve nanokile ait piklerin oldukları belirlenmiştir. Termal gravimetrik analiz yöntemi (TGA) kullanılarak nanokil katkılı PAN nanolifler termal olarak karakterize edilmeye çalışılmıştır. Çalışılan sıcaklık aralığında iki aşamalı bozunmanın gerçekleştiği ve termal bozunmanın tamamlanmadığı görülmüştür. Nanokil katkılı PAN nanoliflerinden sentezlenen yüzeyin, alternatif bir adsorban madde olarak kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Nanolif, nanokil, PAN (poliakrilonitril), elektrolif çekim, SEM.

Synthesis and Characterization of PAN Nanofiber Added Nanoclay

Abstract: In this study, nanofibers have been prepared from polyacrylonitril (PAN) polymer by using electrospinning method which is the most common method to obtain nanofibers. Nanoclay doped PAN nanofiber webs were prepared by sprinkled nanoclay in spinning process of nanofibers which may be used to purpose of adsorption in other study. Diameter sizes and morphology of the produced PAN nanofibers including nanoclay were examined through SEM and it was observed that nanofibers have about 950 nm diameters. The chemical structure has been tried to be illuminated by using FT-IR and the presence of functional groups in this composition have been investigated. It was observed that there were peak belonging to PAN and nanoclay within the structure of nanofibers. PAN nanofibers included nanoclay have been tried to be characterized thermally by using the TGA (thermal gravimetric analysis) method. In the studied range of temperature, it was observed that two-stage degradation occurred and the thermal degradation was not completed. It was determined that the PAN nanofibers were electrospun with nanoclay could be used as a new alternative adsorbent.

Key words: Nanofibers, nanoclay, PAN(Polyacrylonitrile), electrospinning, SEM.

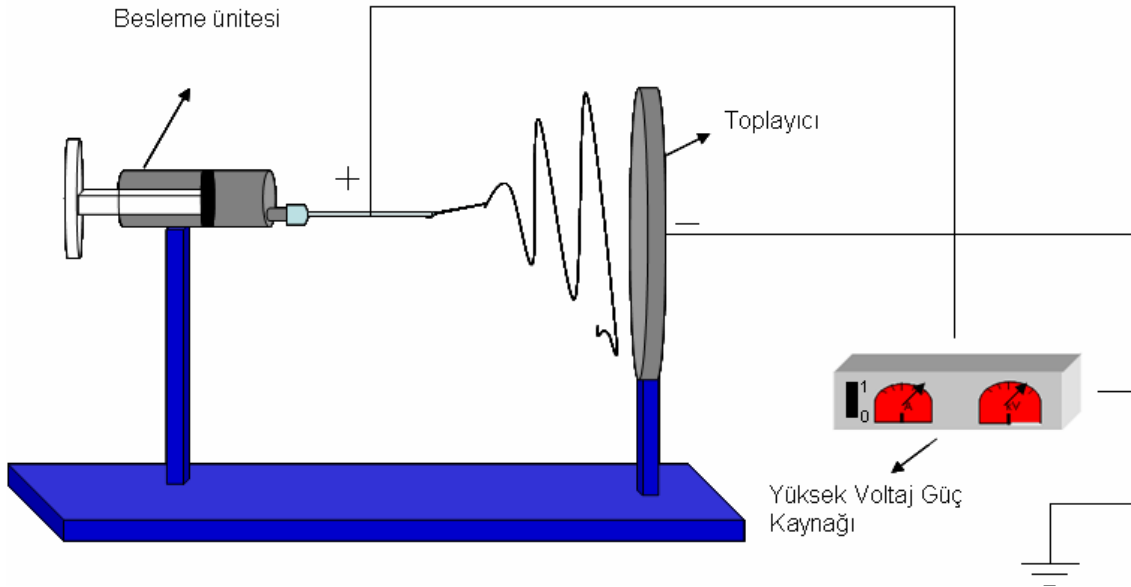
1.Giriş

Son yıllarda gerek bilimsel, gerekse ticari olarak nanoteknolojiye ve nano boyutlu malzemelere karşı ilgi artmakta buna paralel olarak nano boyutlarda lif üretimi ile ilgili çalışmalar da hız kazanmaktadır [1]. Nanoteknoloji yüzyılın teknolojisi olarak adlandırılmaktadır [2]. Nanoteknoloji, malzemelerin nanometre (10^{-9} metre)

boyutlarında işlenerek pek çok farklı özellik kazanmalarını sağlamıştır [3]. Nanoliflerden oluşturulan yapıların, birim ağırlıkta sağlanan yüksek alan özelliği, yumuşak tutumu, iyi mukavemet/birim ağırlık özelliği ve mikroorganizmalara ve ince parçacıklara karşı bariyer oluşturması gibi özellikleri, nanoliflerin birçok alanda kullanılmasının başlıca sebepleridir. Bu avantajlar, nanoliflerin birçok endüstri alanına rahatlıkla girmesine ve kendisine potansiyel kullanım alanı bulmasına olanak sağlamaktadır. Nanoliflerin endüstriyel üretimi üzerine çalışmaların ve buna verilen önemin artmasının yanında, daha önemli bir nokta kullanım alanlarının araştırılıp tespit edilmesidir [4].

Nanolif eldesi için geliştirilen yöntemlerden en yaygın yöntem elektrolif çekim (elektrospinnig) metodudur [5,6]. Elektrolif çekim yöntemi, elektrik alan kuvvetleri yardımı ile sıvı haldeki polimerden nano boyutta lif oluşumunu sağlamak esasına dayanmaktadır.

Elektrolif çekim yöntemi ile polimer çözeltisi ya da eriyiğinden lif çekiminde, yüksek bir potansiyel gerilim kullanılarak polimer sıvısı elektriksel olarak yüklenmekte, ince jet düzesinden çıkan polimer jeti, düzenin karşısına yerleştirilmiş olan topraklanmış yüzeye doğru akmaktadır. Bu akım sırasında polimer jeti çok ince lifçikler halinde saçılmakta ve bu sayede nano boyutlarda çapa sahip lifler elde edilebilmektedir [7]. Elektrolif çekim yöntemi için gerekli deney düzeneği şematik olarak Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Basit bir elektrolif çekim düzeneği [4].

Elektrolif çekim yöntemi ile üretilen nanolifler, yüksek örtücülük, gözeneklilik vb üstün fonksiyonel özellikleri nedeni ile filtrasyon, kompozit, koruyucu giysiler ve tıbbi alanlar gibi kullanım alanlarına sahip olup, yeni ve yüksek performanslı ürünlerin gelişimine katkıda bulunmaktadır [1].

Elektrolif çekim yönteminde kullanılan polimerlerden biri olan poliakrilonitril (PAN) polimeri çok yönlü uygulamalara açık olması sebebi ve üstün özellikleri nedeni ile üzerinde sıkça araştırma yapılan ve çalışılan polimerlerden birisidir [8,9].

Tek iğneli elektrolif çekim yönteminde PAN nanolif morfolojisine proses parametrelerinin etkisini Cengiz (2006) araştırırken, Kıyak (2011) PAN polimerinden farklı işlem parametrelerinde üretim esnasında hızlı kamera görüntülerini inceleyerek PAN nanoliflerin çap değerlerini, Şahintürk (2010) ise poliakrilonitril bazlı nanoelyafların elektro lif çekim yöntemi ile üretiminde çözücü etkisini araştırmıştır [10-12].

PAN nanoliflerinin içerisine çeşitli nano partiküller katılarak uygulama çeşitliliği artırılabilir. Kendisine karşı inert olan kimyasal ortamlarda ise filtrasyon amacıyla kullanılabilir [12]. PAN polimerlerine nano boyutta çeşitli partiküller katılarak etkileri araştırılmıştır. Wang ve arkadaşlarının (2013) PAN/poliprol nanolifini elektrolif çekim metodu ile sentezleyerek sulu çözeltilerden Cr(VI) iyonunu adsorpsiyonla uzaklaştırma çalışması, Zhang ve arkadaşlarının (2012), PAN/manganez kompozit nanoliflerle Cr(VI) iyonu adsorpsiyon parametreleri çalışması, Dastbaz ve Keshtkar'ın (2014), modifiye edilmiş PAN kompozit nanoliflerle sulu çözeltilerden Th^{4+} , U^{6+} , Cd^{2+} , and Ni^{2+} iyonları adsorpsiyonunda adsorpsiyon kinetiğini araştırma çalışmaları poliakrilonitril polimeri ile yapılan araştırmalardan bazılarıdır [13-15].

Bentonit içerikli kil minerallerinin farklı endüstri alanlarında kullanım alanları oldukça geniştir. Bentonitlerin dispersiyon ve sorpsiyon özelliklerinden endüstriyel atık suların arıtımında yararlandığına dair araştırmalar da literatürde mevcuttur [16]. Nanokilin, reaktif boyaları adsorplama özelliğinin araştırıldığı [17] ve modifiye edilmiş ve edilmemiş bentonit kili ile Cr(VI) adsorpsiyonunun kinetik açıdan incelendiği [18] çalışmalar kil ile yapılan çalışmalara örnektir.

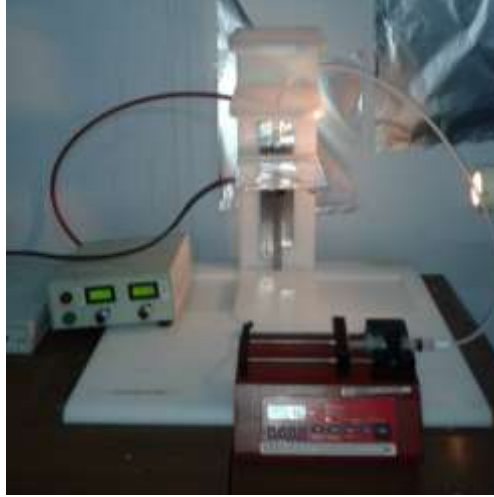
Bu çalışmada, elektrolif çekim yöntemi kullanılarak, nanokil partikülleri ile PAN polimerinin özellikleri bir arada toplanmış ve nanokil katkılı PAN nanolifleri elde edilmiştir. Böylece nanoteknolojinin kullanım alanlarına yönelik devam eden bilimsel çalışmaların gelişmesine katkıda bulunulacağı düşünülmektedir.

2. Materyal ve Metot

Yapılan çalışmada nanolif sentezi için; PAN, N,N-dimetilformamid ve nanokil kimyasalları kullanılmıştır.

Nanolif üretimi tek iğneli elektrolif çekim (electrospinnig) cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Nanolif üretimi için kullanılan elektrolif çekim düzeneği, 3 ana kısımdan oluşmaktadır. Bunlar, çözeltilerin çekim alanına beslenmesini sağlayan şırınga pompası, çekim ünitesi ve yüksek voltaj güç kaynağıdır. Çözelti konsantrasyonunu çekim sistemine kontrollü şekilde sevk etmek için Newera Ne-300 şırınga pompası, nanolif elde etmek amacıyla gereken yüksek voltajı sağlamak için ise MATSUSADA AU30-DC yüksek voltaj güç kaynağı kullanılmıştır. Kullanılan güç kaynağı maksimum 30kV'a kadar alternatif akım uygulayabilmektedir. Toplayıcı plaka olarak 10-15 cm ebatlarında alüminyum levha kullanılmıştır.

Bu çalışmada kullanılan elektrolif çekim ünitesi Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. Elektrolif çekim ünitesi

Nanolif sentezinde kullanmak için, DMF içerisinde kütlece %10'luk PAN çözeltisi hazırlanmıştır. Çözelti homojenizatör cihazında 2 saat karıştırılarak, bir gün bekletildikten sonra lif çekimine hazır hale getirilmiştir. Elektrolif çekim yöntemi ile nanolif çekimi yapılmıştır.

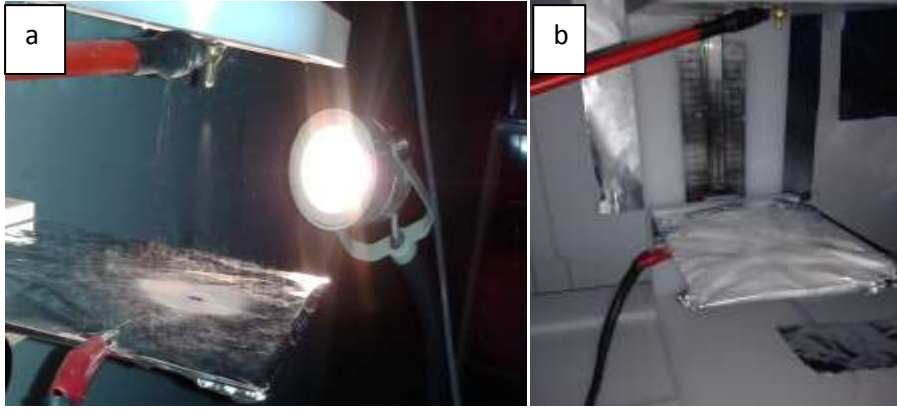
İlk aşamada hazırlanan PAN polimer çözeltisi plastik şırınganın içine çekilmiş, şırınga besleme ünitesine yerleştirilmiştir ve plastik serum hortumu vasıtası ile elektrolif çekim alanına yönlendirilmiştir. Yapılan denemeler sonucu optimum besleme hızı 0,2 mL /saat olarak belirlenmiş ve 0,2 mL/saat besleme hızına ayarlanan şırınga pompası çözeltinin sabit bir hızla çekim alanına sevk edilmesini sağlamıştır.

Şırınga pompasından gelen hortumun ucu, metal yuvaya oturtulup sabitlenmiştir. Yüksek güç kaynağının bu metal yuvaya bağlanması ile elektrolif çekim işleminin gerçekleşmesini sağlayan elektrostatik alan elde edilmiş, güvenlik açısından, toplayıcı plaka topraklanmıştır. Yapılan denemeler ve literatür araştırması sonucu elektrolif çekim cihazında PAN polimer çözeltisi için optimum voltaj 20,00 kV olarak belirlenmiş ve çalışmalar bu voltajda gerçekleştirilmiştir [8].

Daha sonra toplayıcı plakanın ölçülerine uygun olarak kesilen alüminyum folyo, plaka üzerine yerleştirilmiş ve nanoliflerin bu yüzeye toplanması sağlanmıştır. Yapılan denemeler ve literatür araştırması sonucu elektrotlar arası uygun mesafenin 20 cm olduğu görülerek çalışmalar bu mesafe kullanılarak gerçekleştirilmiştir [8].

Nanokil katkılı PAN nanolif yüzey eldesi için; hazırlanan PAN polimer çözeltisinden dört saat nanolif çekimi yapılmış, dört saat lif çekiminden sonra 1 gram nanokil homojen dağılım olacak şekilde nanoliflerin üzerine serpilmiş ve nanokilin üstü tekrar dört saat lif çekimi yapılarak nanolifle kapatılmıştır.

Elektrolif çekim cihazında üretim esnasında nanolif oluşumu Şekil 3(a)'da, alüminyum folyo üzerinde toplanan nanokil katkılı PAN nanolif ise Şekil 3(b)'de görülmektedir.



Şekil 3. (a)Çekim sırasında, oluşan Taylor konisi ve nanolif (b). Alüminyum folyo üzerinde çekim sırasında oluşan nanokil katkıli PAN nanolif yüzeyi

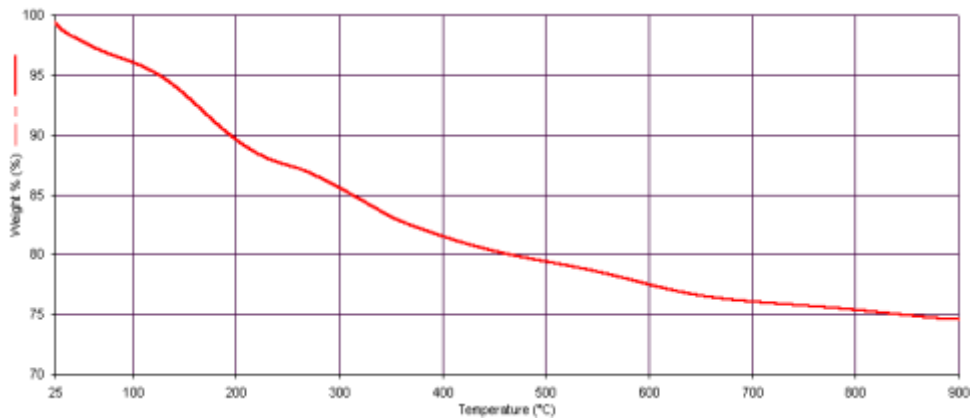
Elde edilen nanokil katkıli PAN nanolif yüzeyin karakterizasyonunun aydınlatılmasını sağlamak amacıyla SEM, FT-IR ve TGA yöntemleri kullanılmıştır.

3.Bulgular

3.1.Termogravimetrik analiz(TGA)

Termogravimetrik analiz, sıcaklık doğrusal olarak artırıldığında analiz yapılan maddenin ağırlığını ölçmektedir. Yöntem, numunenin ağırlık kaybına uğradığı sıcaklığı saptar. Bu kayıp örneğin bozunduğunu ya da buharlaştığını gösterir. Ayrıca ağırlık kaybının olmadığı sıcaklığı da gösterir. Bu da materyalin kararlı durumunu ifade eder [19].

Bu çalışmadaki TGA (Perkin Elmer Diamond TG/DTA) analizleri SDÜ Kimya bölümünde azot gazı altında gerçekleştirilmiştir. Şekil 4’de nanokil katkıli PAN nanolifin TGA yöntemi ile 25°C- 900°C sıcaklık aralığında elde edilen sıcaklığa bağlı kütle değişim grafiği görülmektedir.



Şekil 4. Nanokil katkıli PAN nanolif TGA grafiği

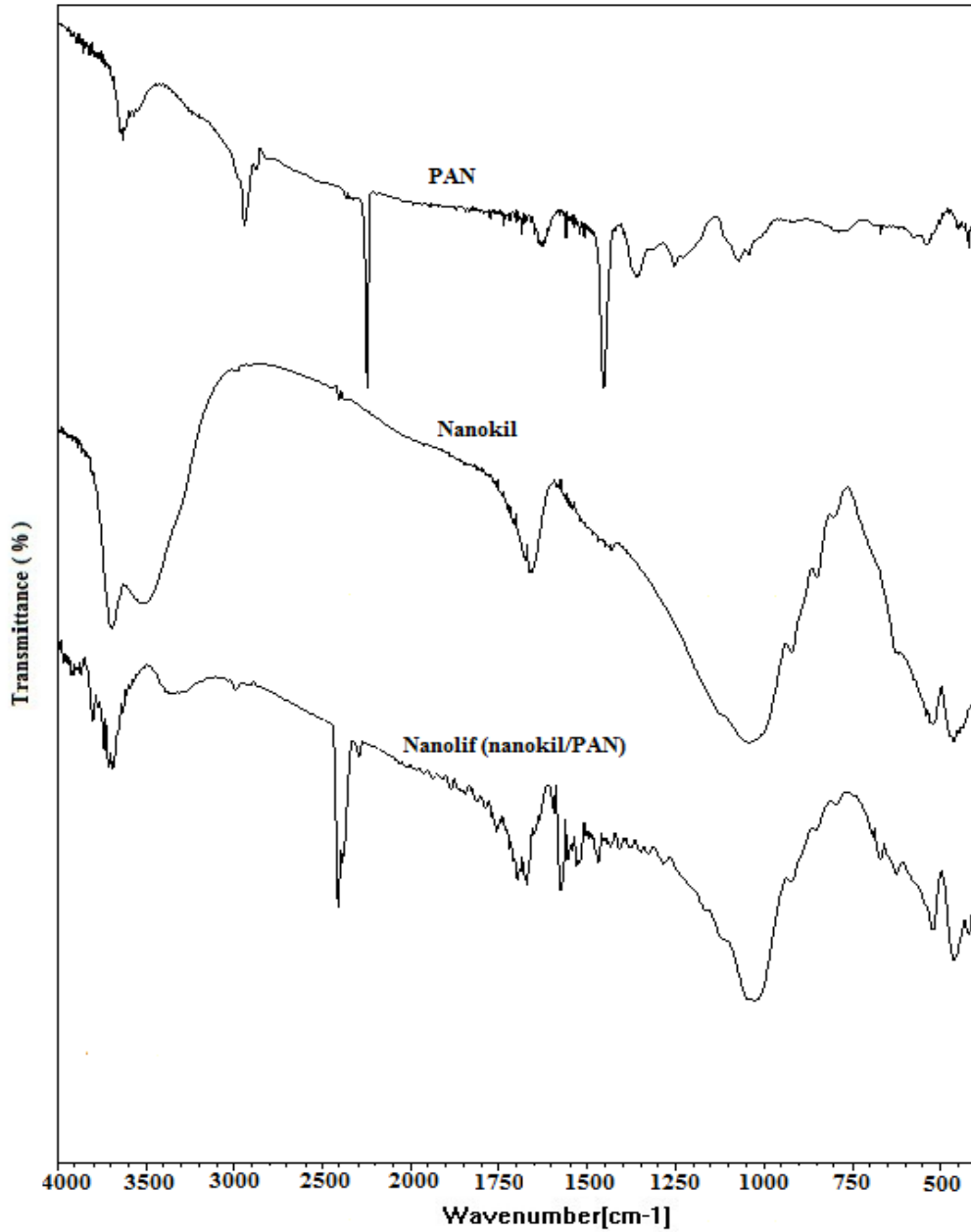
Şekil 4’teki grafik incelendiğinde; 25°C- 900°C sıcaklık aralığında PAN’da 2 adımda bozunma görülmektedir. İlk aşamada % 5’lik kütle kaybının, fiziksel olarak emilen su kaybı olduğu ve yaklaşık 110 °C ile 200 °C arasında gerçekleştiği görülmektedir. 2.aşamada ise % 15’lik ağırlık kaybının 210°C ile 800°C aralığında gerçekleştiği ve

bununda nanokil katkıli PAN nanolif yüzeyin yapısından kaynaklandığı düşünölmektedir. 25°C-900°C sıcaklık aralığında nanokil katkıli PAN nanolifin yaklaşık %75'inin bozunmadan kaldığı dolayısı ile bozunmanın tam olarak tamamlanmadığı görölmektedir.

Kim ve arkadaşları (2008), PAN ve karbon nanoliflerle yaptığı çalışmada 300 °C ile 450°C arasında PAN' da %60'lık ciddi bir kütle kaybı olduğunu belirlemişlerdir [20].Bu çalışmada termal bozunmanın daha az olmasının yapıda bulunan hidrofilik bentonit nanokilin varlığından kaynaklandığı düşünölmektedir. Zira Turhan ve arkadaşları (2013) PVA ve bentonit ile yaptıkları çalışmada, farklı kütle yüzdelerinde bentonit kullandıklarında bentonit yüzdesi arttıkça termal bozunmanın azaldığını dolayısı ile bentonitin yapıya dayanıklılık kattığını tespit etmişlerdir [21].

3.2. FT-IR analizi

Nanokil katkıli PAN nanolif yüzeyin kimyasal yapıları, bileşimlerindeki fonksiyonel grupların varlığı gibi değişimler IR spektroskopisinde incelenmiş ve pik şiddetleri yorumlanmıştır. FT-IR analizleri SDÜ Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü Anorganik Kimya Anabilim Dalı Araştırma Laboratuvarında yapılmıştır. Şekil 5'te nanokil katkıli PAN nanolif, PAN ve nanokilin pik şiddetleri ve değişimleri yer almaktadır. Tablo 1'de ise Poliakrilonitril (PAN) polimeri ve Hidrofilik Bentonite (nanokil) ait karakteristik pikler ve dalga boyu aralıkları verilmiştir.



Şekil 5. PAN, nanokil ve nanokil katkıli PAN nanolifin FT-IR spektrumu

Şekil 5'te sırasıyla poliakrilonitril (PAN), nanokil ve yapılan çalışma sonunda elde edilen nanokil katkıli PAN nanolife ait FT-IR spektrumları, Tablo 1'de ise spektrumlardan elde edilen karakteristik pikler yer almaktadır. Şekil 5'de yer alan hidrofilik bentonit (nanokil)'e ait FT-IR spektrumuna bakıldığında 1638 cm^{-1} ve 525 cm^{-1} görülen pikler sırasıyla nanokilin karakteristik pikleri olup, Si-O-Si bağının germe ve Si-O-Al bağının tetrahedral eğilme piklerine karşılık gelmektedir. Nanokil katkıli PAN nanolifin FT-IR spektrumuna bakıldığında bu pikler sırasıyla 1642 cm^{-1} ve 520 cm^{-1} dalga boylarında ortaya çıkmaktadır. Bu piklerin varlığı nanolifin yapısındaki nanokilin varlığını kanıtlamaktadır.

Tablo 1. PAN polimeri ve Hidrofilik Bentonit nanokiline ait karakteristik pikler ve dalga boyu aralıkları

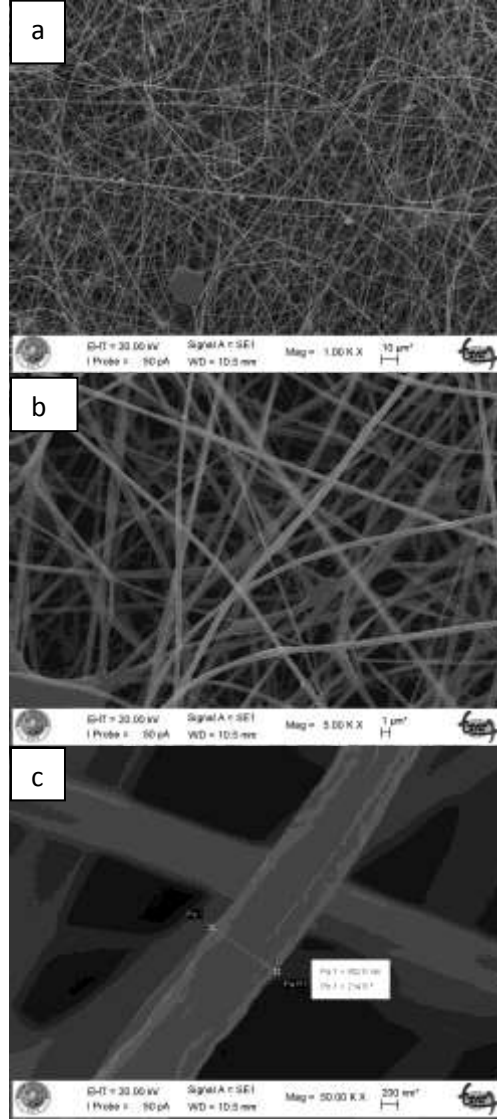
Polimerler	Karakteristik Pikler	
Poliakrilonitril (PAN)	2444 cm ⁻¹	-C≡N nitril grubu bağ titreşimi
	1452 cm ⁻¹	-CH ₂ metilen grubu germe titreşimi
Hidrofilik Bentonit (Nanokil)	3452 cm ⁻¹	OH gerilmesi
	1638 cm ⁻¹	Si-O-Si bağının titreşim bandı germe
	525 cm ⁻¹	Si-O-Al tetrahedral eğilme
	450 cm ⁻¹	Si-O-Si tetrahedral eğilme

Bunların yanı sıra Şekil 5’te yer alan poliakrilonitrile ait FT-IR spektrumuna bakıldığında 2444 cm⁻¹ ve 1452 cm⁻¹ görülen pikler sırasıyla poliakrilonitrilin karakteristik pikleri olan C≡N nitril grubu bağ titreşimi ve CH₂ metilen grubu germe titreşimine aittir. Nanokil katkılı PAN nanolifin FT-IR spektrumuna bakıldığında bu pikler sırasıyla 2441 cm⁻¹ ve 1456 cm⁻¹ dalga boylarında gözükülmektedir. Bu da bize nanolifin yapısında PAN polimerinin varlığını göstermektedir. Tüm bu bilgiler oluşan nanolifin yapısında nanokilin ve PAN polimerinin varlığını kanıtlamaktadır.

3.3. SEM analizi

Elektrolif çekim metodu kullanılarak kütlece %10’luk PAN çözeltisinden elde edilen nanolif örneklerinin nanokil ile oluşturduğu yüzeyin morfolojik analizleri taramalı elektron mikroskopuyla (SEM) yapılmış olup nanokil katkılı PAN nanolifin farklı büyütmelelerdeki (SEM) resimleri Şekil 6’da verilmiştir. SEM analizleri Selçuk Üniversitesi İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi’nde Zeiss EVO Ls10 marka taramalı elektron mikroskopunda gerçekleştirilmiştir

Şekil 6’da verilen SEM fotoğrafları incelendiğinde, kütlece % 10’luk PAN çözeltisinden voltaj 20 kV, besleme 0,2 mL /saat ve elektrotlar arası mesafe 20 cm ayarlanarak üretimi gerçekleştirilen nanoliflerin morfolojisinin düzgün olduğu, bocuk oluşumu gerçekleşmeden kesiksiz lif oluşumunun gerçekleştiği görülmüştür. Ancak liflerin çaplarının 950 nm civarında olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca Şekil 6(a)’da verilen SEM görüntüsüne göre nanokil partiküllerinin lifler arasına heterojen olarak dağıldığı görülmektedir.



Şekil 6. Nanokil katkı PAN nanolifin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüsü
(a)(Kat =1.00 KX) (b) (Kat =5.00 KX) (c) (Kat =50.00 KX)

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışma kapsamında PAN polimeri ve nanokil kullanılarak elektrolif çekim metodu ile nanokil katkıli PAN nanolif yüzeyi üretilmiştir. Nanokil katkıli PAN nanolif yüzeyin morfolojileri incelendiğinde, homojen lif çap dağılımına sahip, kesiksiz lif oluşumunun gerçekleştirildiği sonucuna ulaşılmıştır. Lif çapının ortalama 950 nm çaplarında olduğu belirlenmiştir. Ancak nanokil partiküllerinin lifler arasında heterojen olarak dağıldığı görülmüştür.

Nanokil katkıli PAN nanolif yüzeyin TGA yöntemi ile 25 °C- 900 °C derece sıcaklık aralığında gerçekleştirilen ısıl bozunma analizi sonuçlarına göre, analiz sıcaklık aralığında yapıda iki aşamalı bozunma görülmüştür. 25 °C ile 900 °C sıcaklık aralığında nanokil katkıli PAN nanolifin yaklaşık %75'inin bozunmadan kaldığı dolayısı ile bozunmanın tam olarak tamamlanmadığı belirlenmiştir.

FT-IR spektroskopisinde PAN nanolif, nanokil katkılı kompozit PAN nanolif ve nanokilin kimyasal yapıları, bileşimlerindeki fonksiyonel grupların varlığı incelenmiş ve nanolifin yapısında nanokilin ve PAN polimerinin varlığı gösterilmiştir.

Yapılan çalışmada, nanokil katkılı PAN nanoliflerin yapı ve bileşim analizlerine göre adsorpsiyon çalışmalarında yeni alternatif bir adsorban madde olarak kullanılabilceği, böylece adsorpsiyon alanında devam eden bilimsel çalışmalara katkıda bulunabileceği düşünülmektedir. Nanoteknoloji tekstil sektörü için gelecek vaat eden bir alandır. Üretilen nanokil katkılı PAN nanoliflerin tekstil alanında da kullanılabilirliği düşünülmektedir hem literatüre hem de tekstil bilimine katkıda bulunması beklenmektedir.

Teşekkür ve Bilgi

FT-IR analizlerindeki yardımlarından dolayı Doç. Dr. Bülent Dede'ye teşekkür ederiz. Bu çalışma 7. Ulusal Analitik Kimya Kongresinde 4 Eylül 2014 tarihinde poster olarak sunulmuştur. 3749-YL1-13 nolu proje ile çalışmayı destekleyen SDÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür ederiz.

5.Kaynaklar

- [1] Cengiz F., Jirsak O., Dayık M., 2009. Ortam rutubetinin silindirik elektro lif çekim yöntemi ile nano lif üretimi üzerine etkilerinin incelenmesi, *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 3(3): 24-32.
- [2] Bulut E., 2007.Gümüş nanopartiküllerin polifenollerle sentezi ve karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 61s.
- [3] Doğan G., Başal G., 2009. Elektrolif çekim yöntemine göre elde edilen biyopolimer nanoliflerin ilaç salınım sistemleri yara örtüsü ve doku iskelesi olarak kullanımları, *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 3(2): 58-70.
- [4] Kozanoğlu G., 2006. Elektrospinning yöntemi ile nanolif üretim teknolojisi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul,148s.,
- [5] Üner İ., Koçak E. D., 2012. Poli(Laktik Asit)'in kullanım alanları ve nanolif üretimindeki uygulamaları, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 22: 79-88.
- [6] Erem A.D., Özcan G., 2013. Polimer esaslı nanokompozitler ve tekstil uygulamaları, *TMMOB Tekstil Mühendisleri Odası*, 20(89): 36-47.
- [7] TÜBİTAK Tekstil Araştırma Merkezi, 2007, Nano Fibres (Part 2), *Tekstil Ve Konfeksiyon 2/2007*
- [8] Şahintürk Y. S., 2010. Poliakrilonitril bazlı nanoelyafların elektroçirme yöntemi ile üretme ve karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hacettepe Üniversitesi, Ankara. 57 s.
- [9] Beypazar Ö., 2013. Nanolif üretiminde çap kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, 86 sayfa.
- [10] Cengiz F., Krucinska I., Göktepe F., Gliscinska E., Chrzanowski M., 2006. Elektro lif çekim (electrospinning) yönteminde proses parametrelerinin nano lif özellikleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi, *Tekstil Maraton*, 16(85): 20-25.
- [11] Kıyak Y. E., 2011. Elektro üretim modellenmesine hızlı kamera görüntülemesi ile katkılar, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul,123 s.
- [12] Aykut Y., 2013.Poliakrilonitril nanolifler içerisinde altıgen kobalt sülfür nanoplaka sentezi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18(2):47-54.
- [13] Wang J., Pan K., He Q., Cao B., 2013. Polyacrylonitrile/polypyrrole core/shell nanofiber mat for the removal of hexavalent chromium from aqueous solution, *Journal of Hazardous Materials* 244–245 : 121– 129
- [14] Zhang C., Li X., Bian X., Zheng T., Wang C., 2012. Polyacrylonitrile/manganese acetate composite nanofibers and their catalysis performance on chromium (VI) reduction by oxalic acid, *Journal of Hazardous Materials*, 229– 230: 439– 445.

- [15] Dastbaz A., Keshtkar A.R., 2014. Adsorption of Th^{4+} , U^{6+} , Cd^{2+} , and Ni^{2+} from aqueous solution by a novel modified polyacrylonitrile composite nanofiber adsorbent prepared by electrospinning. *Applied Surface Science*, 293:336– 344.
- [16] Toprakezer F., 2009. Nanokompozit sentezinde kullanılacak na-bentonit kilinin saflaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniversitesi, Adana, 68 sayfa.
- [17] Elemen S., 2011. Nanokilin reaktif boyaları adsorplama özelliğinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ege Üniversitesi, İzmir, 69 s.
- [18] Guerra D.J.L., Mello I., Freitas L.R., Resende R., Silva R.A.R. 2014. Equilibrium, thermodynamic, and kinetic of Cr(VI) adsorption using a modified and unmodified bentonite clay, *International Journal of Mining Science and Technology*, 24: 525–535 .
- [19] Kebapçı K., 2012. Kokulu mikrokapsüller, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta 48 s.
- [20] Kim J.H., Ganapathy H.S., Hong S.S., Gal Y.S., Lim K.T., 2008. Preparation of polyacrylonitrile nanofibers as a precursor of carbon nanofibers by supercritical fluid process, *J. of Supercritical Fluids*, 47: 103–107.
- [21] Turhan Y., Alp Z.G., Alkan M., Dogan M., 2013. Preparation and characterization of poly(vinylalcohol)/modified bentonite nanocomposites, *Microporous and Mesoporous Materials* 174: 144–153.

Diğer yazarlar e-posta : sengulciftci77@hotmail.com, fethiyegode@sdu.edu.tr, kasimaksoy@sdu.edu.tr, sennuralay@sdu.edu.tr