

# PİROL/ANİLİN KOPOLİMERLERİ İLE KAPLANAN PET NONWOVEN KUMAŞLARIN YAPISAL VE ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİ

Xuyuan TAO<sup>a,b</sup>, Vladan KONCAR<sup>a</sup>, Claude DUFOUR<sup>b</sup>

<sup>a</sup>GEMTEX, 9 rue de l'Ermitage-BP 30329, 59056 ROUBAIX cedex 1, Fransa

<sup>b</sup>IEMN (CNRS, UMR 8520), Université des Science et Technologies de Lille, Avenue Poincare BP 69 F59652 Villeneuve d'Ascq, Fransa

Nurhan ONAR,<sup>c</sup>Aysun AKŞİT<sup>c</sup>

<sup>c</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, 35100, İzmir

## ÖZET

Polipirol (PPy) ve polianilin (PAni) yaygın olarak bilinen iletken polimerlerdir. Bu polimerler mükemmel elektrokimyasal özelliklere ve yüksek iletkenliğe sahiptir. Bu çalışmada, pirol/anilin kopolimerizasyonu poliester dokusuz yüzey kumaşlara uygulanmıştır. Yüzey aktif maddenin ve farklı oksidasyon maddelerinin kaplanan kumaşların iletkenlik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Kaplanan kumaşların morfolojik, yapısal ve elektriksel özellikleri sırasıyla tarama elektron mikroskobu (SEM), Fourier dönüşüm kızılötesi spektroskopisi cihazı (FTIR) ve "dört-prob" metodu kullanılarak incelenmiştir. Kopolimerler ve homopolimerler ile kaplanan nonwoven kumaşların özellikleri karşılaştırılmıştır. Homopolimerler ile karşılaştırıldığında kopolimerlerin elektriksel iletkenliğinin azaldığı tespit edilmiştir. Bu kopolimerlerin morfolojik yapısıyla açıklanabilir. Kaplanan kumaşların yıkama dayanımını ve polimerlerin nonwoven kumaşa nüfuz edip etmediğini değerlendirmek için aynı zamanda yıkama testleri gerçekleştirilmiştir. Yıkamadan sonra kopolimerler ile kaplanan kumaşların yüzey direnç değerlerinin tek başına PAni ile kaplanan kumaşların direnç değerlerinden daha düşük olduğu bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** iletken polimerler, pirol/anilin kopolimerizasyonu, SEM, FTIR, TG

## STRUCTURAL AND ELECTRICAL PROPERTIES OF PET NONWOVEN FABRICS COATED WITH PYRROLE/ANILINE COPOLYMERS

### ABSTRACT

Polypyrrole and polyaniline are well known conductive polymers. They have excellent electrochemical properties and high conductivity. The pyrrole/aniline copolymerization has been carried out on polyester nonwoven fabric in this study. The effect of surfactant agent and different oxidant agents on conductivity properties of the coated fabrics was investigated. The morphological, structural and electrical properties of the coated fabrics were respectively analyzed by scanning electron microscopy (SEM), Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and "four-probe" method. The properties of the nonwoven fabrics coated with the copolymers and homopolymers were then compared. A reduced electrical conductivity has been observed, compared to the homopolymer, which can be explained by the morphological structure of the copolymer. The washing test was also carried out to evaluate the durability behavior of coating fabrics and whether the polymers penetrated into the nonwoven fabrics or not. The sheet resistance values of the fabrics coated with copolymers were lower than those of the fabrics coated with PAni after washing process.

**Keywords:** conductive polymers, pyrrole/aniline copolymerization, SEM, FTIR, TG

## 1. GİRİŞ

Polianilin (PAni), polipirol (PPy) ve politiofen gibi iletken polimerler iletken kaplamalar, şarj edilebilir piller, ışık emisyon diotları, gaz sensörleri, elektromanyetik dalgalardan koruyucu materyaller, elektrostatik yük dağıtıcılar, ısıtma elemanları, antistatik materyaller, toz ve bakteri tutmayan özel amaçlı kıyafetler gibi potansiyel uygulamaları nedeniyle günümüzde ilgi çekmektedir [1]. İletken polimerler arasında PAni ve PPy; nispeten düşük maliyet, kolay sentez, yüksek iletkenlik, eşsiz elektrokimyasal özellikler ve çevresel ve kimyasal dayanım gibi avantajlara sahiptir. Fakat bu polimerlerin çözülemez ve eriyikten işlenemez olması, düşük mekanik özellikleri ve düşük işlenebilirliği istenmeyen özellikleridir. PAni ve PPy'nin, konvansiyonel iletken olmayan polimerler ile kompozitlerinin oluşturulması veya plastikler, cam, metal ve mikro- ve nanoporöz materyaller ile kaplanması ile mekanik özellikleri geliştirilebilir. Ayrıca bu materyallerin iletkenlik özellikleri çoğunlukla oksidasyon maddesinin tipine, dopant tipine ve işlem süresi ve işlem sıcaklığı gibi deneysel koşullara bağlı olarak değişmektedir [2, 3, 4, 5].

Hirase ve ark. PAni ile kimyasal oksidatif polimerizasyon yöntemi ile kaplanan yün, PET, Naylon 6, akrilik ve pamuklu kumaşların yüzey direnç değerlerini bildirmişlerdir. Bu çalışmada farklı oksidasyon maddeleri ve farklı polimerizasyon sürelerinde uygulamalar gerçekleştirilmiştir. 4 saat polimerizasyondan sonra PAni ile kaplanan PET kumaşların  $2,2 \times 10^4 \Omega/\square$  yüzey direnç değerine sahip olduğu bulunmuştur [5]. Jarvinen ve Puolakka toluen içerisinde çözülen polianilin çözeltisi ile işlem gören poliester kumaşın yüzey direnç değerinin bu işlem sonrasında  $10^4 \Omega/m^2$  değerine düştüğünü tespit etmişlerdir [6]. Kim ve ark. ksilen içerisindeki PAni-dodesilbenzen sülfonik asit (DBSA) ile işlem gören PET ipliklerin elektriksel direncinin %5 ve %10'luk PAni çözeltileri için yaklaşık  $10^4$  and  $10^2 \Omega$  olduğunu bildirmişlerdir [7]. Avloni ve ark. PPy ile kaplanan poliester nonwoven kumaşların  $18 \Omega$  ve PPy ile kaplanan poliester dimi kumaşların  $40 \Omega$  DC yüzey direncine sahip olduğunu bulmuşlardır [8]. Kincal ve ark. dopant olarak antrakinin sülfonik asit kullanarak in-situ polimerizasyon prosesi ile PPy ile kaplanan PET kumaşların  $20 \Omega/\square$  yüzey direncine sahip olduğunu belirlemişlerdir [9]. Hakansson ve ark. farklı dopant konsantrasyonların ve farklı polimerizasyon sürelerinde çalışarak kimyasal oksidatif polimerizasyon yöntemi ile PPy ile poliester-Lycra kumaşları kaplamışlardır. Kaplanan kumaşların yüzey direnç değerlerinin  $180$  ve  $1300 \Omega/\square$  arasında değiştiğini tespit etmişlerdir [10].

Anilin çoğu çalışmada aniline türevleri ile kopolimerize edilmiştir. Farklı kimyasal yapıda monomerler ile anilinin kopolimerizasyonu çok daha az araştırılmıştır. Stejskal ve ark. farklı monomer oranlarında pirol/anilin kopolimer

tozlarını ve cam altlık üzerinde ince filmlerini araştırmışlardır. Anilinden daha çok pirol içeren kopolimerlerin yalıtıkana yakın özellik gösterirken, daha yüksek oranda anilin içeren kopolimerlerin iletken olduğunu bulmuşlardır [11].

Bu çalışmada, PET nonwoven kumaşlar üzerinde pirol/anilin kopolimer filmlerinin iletkenlik özellikleri üzerine yüzey aktif maddenin ve farklı oksidasyon maddelerinin etkileri araştırılmıştır. PET nonwoven kumaş üzerinde pirol/anilin kopolimerizasyonu kimyasal oksidatif polimerizasyon yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Kopolimerlerin ve homopolimerlerin yapısal ve elektriksel özellikleri karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak PET nonwoven kumaşlar üzerindeki iletken kopolimer kaplamalarının iletken homopolimer kaplamalara göre daha yüksek direnç değerlerine sahip olduğu bulunmuştur. Yıkama işleminin ardından kopolimer ile kaplanan kumaşların yüzey direnç değerlerinin tek başına PAni polimeri ile kaplanan kumaşların yüzey direnç değerlerinden daha düşük iken, tek başına PPy ile kaplanan kumaşların yüzey direnç değerlerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

## 2. MATERYAL METOD

### 2.1. Materyal

%100 poliester nonwoven kumaş iletken polimerler ile kaplanmıştır. Bu çalışmada kullanılan tüm kimyasal maddeler reaktif derecededir. Bu çalışmada monomer olarak pirol (min. 96%, Merck) ve anilin (min. 99%, Sigma-Aldrich), oksidasyon maddesi olarak demir (III) klorür (27.5-29%, Prolabo, Fransa) ve amonyum persülfat (APS, 97%, Riedel-de Haen), dopant ve yüzey aktif madde olarak kamforsülfonik asit (CSA, 98%, Aldrich), protonik dopant olarak hidroklorik asit (34%, Laboratoire Verbiess, Fransa) kullanılmıştır.

### 2.2. Kaplama Prosesi

Anilin ve/veya pirol monomerlerinin kumaş örnekleri üzerinde polimerizasyonu kimyasal oksidatif polimerizasyon yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Kaplama çözeltisi için çözücü olarak 1 M hidroklorik asit çözeltisi hazırlanmıştır. Anilin ve/veya pirol sırasıyla 1 M HCl çözeltisi ve distile su içerisine ilave edilmiştir. Örneklerin elektriksel direnç değerleri üzerinden dopant ve yüzey aktif maddenin etkisini incelemek için monomer çözeltisi içerisine CSA ilave edilmiştir. Bu çözelti içerisine kumaş örnekleri ilave edilmiştir. Bu çözelti içerisine kumaş örnekleri 30 dk.  $0 - 5^\circ\text{C}$ ' de bekletilmiştir. 1M HCl çözeltisi içerisine APS ve distile su içerisinde  $\text{FeCl}_3$  çözülmüş ve bu çözeltiler ayrı olarak hazırlanmış ve  $0 - 5^\circ\text{C}$ ' ye soğutulmuştur. Ardından APS çözeltisi ve  $\text{FeCl}_3$  çözeltisi içinde kumaşın bekletildiği distile su ve asidik çözelti içerisine sırasıyla ilave edilmiştir.

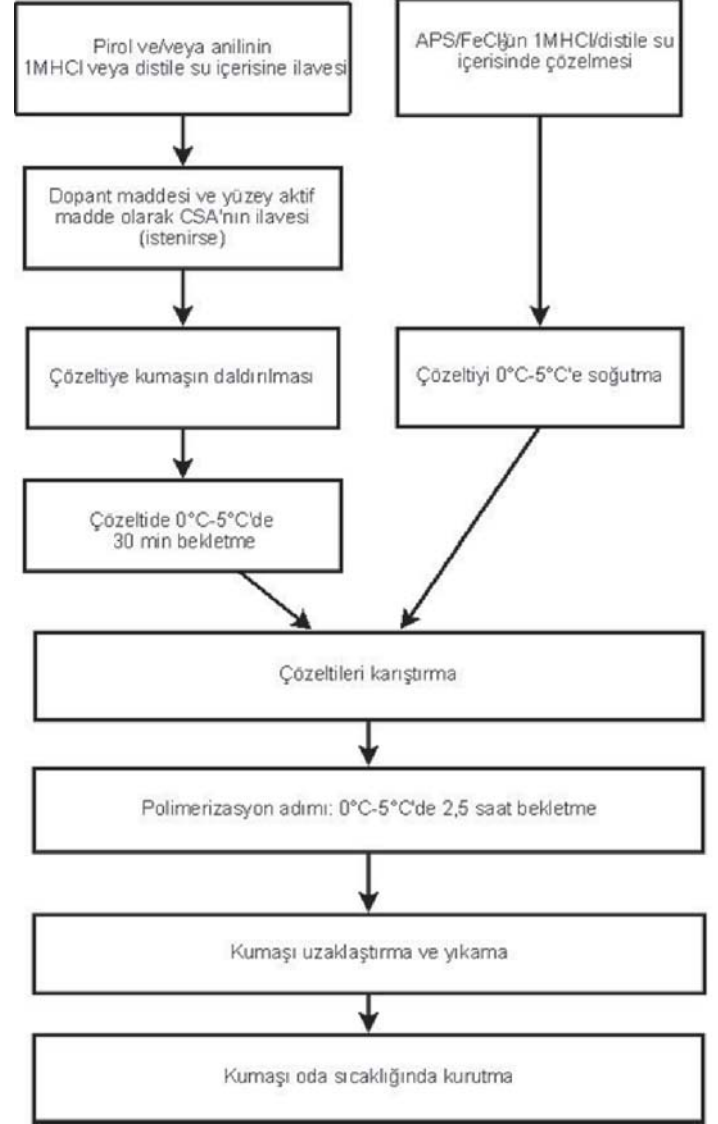
Karıştırılan çözeltiler polimerizasyon işleminin tamamlanması için 0 - 5°C'de 2,5 saat bekletilmiştir. Bu işlemin ardından kumaş örnekleri polimerizasyon çözeltisinden çıkarılmış ve yeterli miktarda 1 M HCl çözeltisi ile ve kumaş üzerindeki aşırı asit moleküllerini uzaklaştırmak için eşit hacimde distile su ile yıkanmış ve oda sıcaklığında kurutulmuştur. Kumaşların rengi emeraldin yeşilinden siyaha dönmüştür. Bu çalışmada çözeltilerin son flote oranları 1:100 olarak alınmıştır. Şekil 1 kumaşların iletken polimerler ile kaplanması için işlem adımlarını şematik olarak göstermektedir [12, 13]. Bu çalışmada kullanılan reçetelerde polimerizasyon çözeltilerindeki son monomer, oksidasyon maddesi ve dopant maddesi konsantrasyonları Tablo 1'de gösterilmiştir. Tablo 1'de kopolimerizasyon işlemi "CP" kısaltması olarak verilmiştir.

Aynı proses kullanarak polimer çözeltisinden iletken polimer çökeltileri filtre edilerek iletken polimer tozları üretilmiştir. Bu tozlar asidik çözelti, distile su ve metanol ile yıkanmış Whatsman filtre kağıdı (gözenek büyüklüğü 12 µm) kullanarak filtre edilmiştir. Daha sonra iletken polimer tozları 50°C 'de 24 saat kurutulmuştur [14]. Üretilen bu toz örnekleri FTIR analizi ve TG analizi ile karakterize edilmiştir.

### 2.3. Karakterizasyon

İletken polimerler ile kaplanan kumaş örneklerinin yüzey morfolojisi enerji-dispersif spektroskopisi aparatı ile birlikte Tarama Elektron Mikroskobu (ZEISS ULTRA 55) kullanarak araştırılmıştır. Kumaş örneklerinin yüzey direnci (sheet resistance) glove-box içerisinde Agilent 4156C Kesin Yarıiletken Parametre Analizörü kullanarak "dört-prob" yöntemiyle 1 ve 4 yıkamadan önce ve sonra tespit edilmiştir. Kumaş örnekleri (2 cm x 2 cm) 15 ml distile su içerisinde 50°C'de 30 dk. manyetik karıştırıcıda karıştırılarak yıkanmıştır. Deterjan maddelerinin bazik yapısının iletken polimer kaplamaları deprotonasyona uğratarak elektriksel iletkenlik özelliklerini kaybetmesine sebep olmasından dolayı yıkama çözeltisine deterjan maddesi ilave edilmemiştir [15, 16]. İletken polimer tozlarının ısıl davranışı; Hi-Res Modülasyon TGA 2950 Termogravimetrik Analizör kullanarak, 10°C/dk. ısıtma hızında ve 25-700°C sıcaklık aralığında hava atmosferinde incelenmiştir.

İletken polimerler tozlarının Fourier Dönüşüm Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) (Thermo Nicolet Nexus 670, UK) transmisyon analizi tozların 100°C'de 30 dk. hava atmosferinde kurutulmasından sonra oda sıcaklığında 2000–500 cm<sup>-1</sup> dalga uzunluğu bölgesinde gerçekleştirilmiştir. Tozlar FTIR cihazı kullanılarak KBr yöntemiyle karakterize edilmiştir.



Şekil 1. APS veya FeCl<sub>3</sub> oksidasyon maddelerini kullanarak PANi ve PPy polimerleri ile kumaş örneklerinin kaplanması için işlem akışı

Tablo 1. Kimyasal oksidatif polimerizasyon yöntemi ile PANi ve/veya PPy ile poliester nonwoven kumaların kaplanması için işlem reçeteleri

Örnek	CP-APS (a)	CP-APS- CSA (a)	PPy-APS (a)	PAni- APS (a)	PPy-APS- CSA (a)	PAni- APS-CSA (a)	PPy- FeCl <sub>3</sub> (b)	PPy-FeCl <sub>3</sub> - CSA (b)
Pirol	0.25 M	0.25 M	0.5 M	-	0.5 M	-	0.5 M	0.5M
Anilin	0.25 M	0.25 M	-	0.5 M	-	0.5 M	-	-
APS	0.5 M	0.5 M	0.5 M	0.5 M	0.5 M	0.5 M	-	-
FeCl <sub>3</sub>	-	-	-	-	-	-	0.5 M	0.5
CSA	-	0.01 M	-	-	0.01M	0.01M	-	0.01M

(a) çözelti olarak 1 M HCl çözeltisi (b) distile su kullanarak

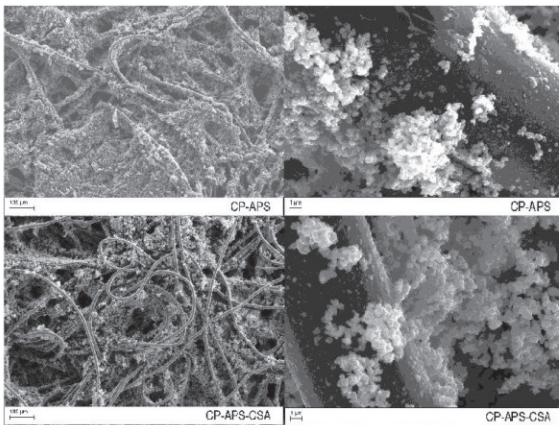
### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

#### 3.1. Morfolojik Özellikler

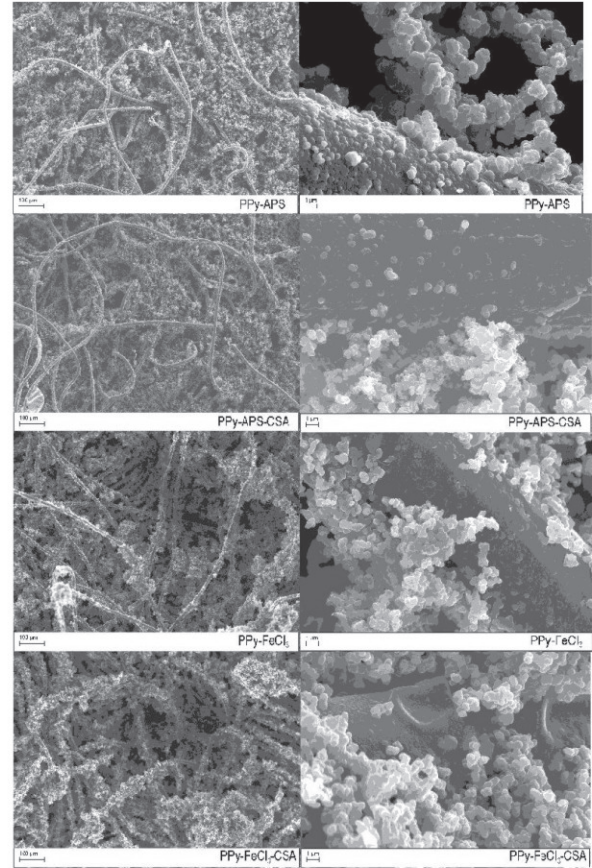
Şekil 2-4 100X ve 5000X büyütme ile iletken polimerler ile kaplanan kumaşların SEM görüntülerini göstermektedir. Şekil 2'de görüldüğü gibi PPy/PAni kopolimerleri ile kaplanan PET nonwoven kumaşların yapısal özellikleri CSA ilavesi ile önemli miktarda değişmemiştir. Bu örneklerde granüllerin çapının yaklaşık 200-300 nm olduğu gözlenmiştir. Ayrıca kopolimerler tüm kumaşı iletken yaparak lif aralıklarına da nüfuz etmiştir. Aynı zamanda lif yüzeyini iletken yapan kopolimer ince filmi lif yüzeyde gözlenmiştir. Şekil 3'de PPy granüllerinin büyüklüğünün yaklaşık 500-600 nm olduğu belirlenmiştir. Şekil 4'de PAni granüllerinin büyüklüğü 100 nm'den daha azdır. Tüm polimerler lif yüzeyine tutunmuştur. Ayrıca PAni homopolimerleri ile kaplanan kumaş örnekleri için lifler arasındaki aralıklarda daha az partiküllerin varlığı saptanmıştır. Oksidasyon maddesi olarak APS ve FeCl<sub>3</sub> kullanımı ile örneklerin yüzey görüntülerinde belirgin bir farklılık varken, CSA ilavesi ile yapılan kaplamaların yüzey görüntülerinde farklılık gözlenmemiştir. Oksidasyon maddesi olarak FeCl<sub>3</sub> kullanıldığında polimer tabakasının lif yüzeyine daha iyi tutunduğu görülmüştür.

#### 3.2. Elektriksel Direnç Özellikleri

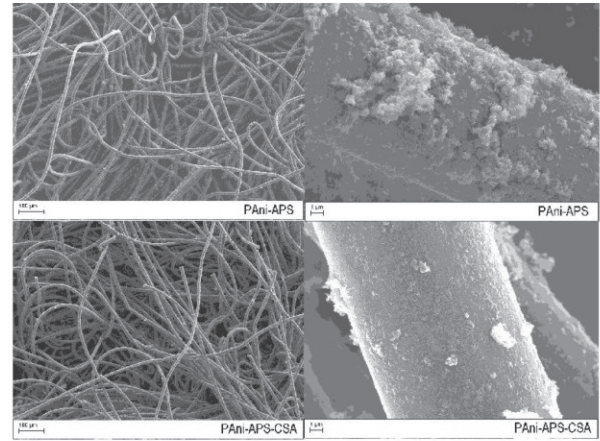
PET nonwoven kumaş üzerindeki homopolimerler ve kopolimerlerin yıkamadan önce ve sonra yüzey direnç değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Kopolimerlerin yüzey direnç değerleri homopolimerlerin yüzey direnç değerlerinden daha yüksektir. En düşük yüzey direnç değeri (58  $\Omega/\square$ ) oksidasyon maddesi olarak FeCl<sub>3</sub> kullanarak PPy homopolimerleri ile kaplanan kumaş örnekleri için elde edilmiştir. Bu sonuç literatürdeki diğer çalışmalar ile uyumludur [15]. Bununla birlikte FeCl<sub>3</sub> kullanarak PAni homopolimeri ve kopolimerler ile kaplanan kumaşların yalıtkan özellik gösterdiği bulunmuştur (Tablo 2'de gösterilmemiştir). PAni polimeri genellikle sulu asidik



Şekil 2. 100X ve 5000X büyütme ile PPy/PAni kopolimerleri ile kaplanan kumaşların SEM görüntüleri.



Şekil 3. 100X ve 5000X büyütme ile PPy ile kaplanan kumaşların SEM görüntüleri.



Şekil 4. 100X ve 5000X büyütme ile PAni ile kaplanan kumaşların SEM görüntüleri.

Tablo 2. 1 ve 4 defa yıkamadan önce ve sonra iletken polimerler ile kaplanan kumaşların elektriksel özellikleri.

	Yüzey direnci, $\Omega/\square$		
	Yıkamadan önce	1 yıkama	4 yıkama
CP-APS	$1,62 \times 10^5$	$7,57 \times 10^6$	$1,17 \times 10^7$
CP-APS-CSA	$9,48 \times 10^3$	$9,34 \times 10^4$	$7,74 \times 10^5$
PPy-APS	$2,04 \times 10^2$	$2,60 \times 10^2$	$3,42 \times 10^3$
PAni-APS	$4,84 \times 10^2$	$4,77 \times 10^3$	$3,27 \times 10^4$
PPy-APS-CSA	$1,40 \times 10^2$	$6,85 \times 10^3$	$7,44 \times 10^4$
PAni-APS-CSA	$2,51 \times 10^2$	$5,06 \times 10^3$	$3,54 \times 10^4$
PPy-FeCl <sub>3</sub>	$5,80 \times 10^1$	$2,82 \times 10^2$	$9,16 \times 10^2$
PPy-FeCl <sub>3</sub> -CSA	$5,91 \times 10^1$	$2,41 \times 10^2$	$4,03 \times 10^2$

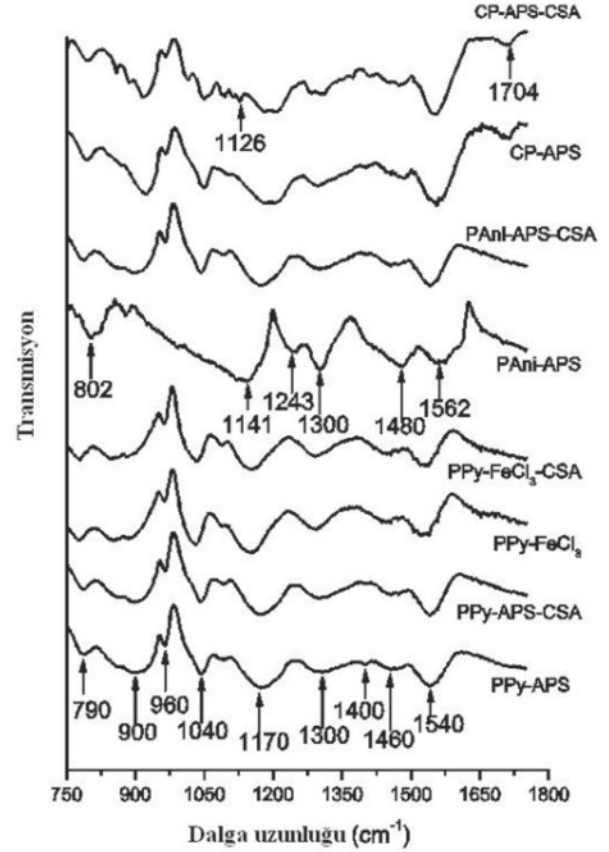
çözeltiler kullanarak hazırlanmaktadır [15]. Benzer şekilde kopolimerler için direnç artışı bitiofen-pirol ve bitiofen-anilin kopolimerleri için de literatürde bildirilmiştir [17]. Tablo 2'den görüldüğü gibi CSA ilave edilen kaplama çözeltileri ile işlem gören kumaşların direnç değerleri, CSA ilave edilmeyen çözeltiler ile işlem gören kumaşların direnç değerlerinden daha düşüktür. Yüzey aktif madde olarak CSA kullanıldığında kopolimerlerin yüzey direnç değerleri  $1,62 \times 10^5$ 'den  $9,48 \times 10^3 \Omega/\square$ 'ye düşmüştür. Bu durum polimer veya kopolimerlerin yüzey aktif maddenin etkisi altında daha iyi dispersiyonu ile açıklanabilir [18]. Ayrıca PPy polimerleri için oksidasyon maddesi olarak  $FeCl_3$  kullanımı APS kullanılan örnekler ile karşılaştırıldığında daha düşük direnç değerleri ile sonuçlanmıştır. Fakat bu koşullarda CSA'nın direnç değerleri üzerine etkisi belirgin değildir.

Yıkama işleminden sonra, en yüksek dayanım PPy homopolimerleri ile kaplanan kumaşlar için elde edilirken, en düşük dayanım PANi homopolimerleri ile kaplanan kumaşlar için elde edilmiştir. Kopolimerler ile kaplanan kumaşların yıkama dayanımı PPy homopolimerleri ile kaplanan kumaşlardan daha düşük ve PANi homopolimerleri ile kaplanan kumaşlardan daha yüksektir. Ayrıca PPy/PANi kopolimerlerinin kullanımı tek başına PPy polimerlerinin kullanımından nispeten daha az maliyete sahiptir. Özet olarak CP kaplamalar PPy homopolimer kaplamalardan daha az maliyete sahiptir ve PANi kaplamalardan daha iyi yıkama dayanımına sahiptir.

### 3.3. FTIR spektroskopisi

İletken homopolimerler ve kopolimerlerin FTIR spektralleri Şekil 5'te gösterilmiştir. PPy için 1540, 1460, 1400, 1300, 1170, 1040, 960, 900, 790  $cm^{-1}$  dalga boyunda ve PANi için 1562, 1480, 1300, 1243, 1141, 802  $cm^{-1}$  dalga boyunda karakteristik pikler gözlenmiştir [2, 15, 19, 20, 21, 22, 23]. PPy polimeri için oksidasyon maddesi olarak APS kullanıldığında elde edilen pikler  $FeCl_3$  kullanıldığında elde edilen piklere göre daha keskindir. Kopolimerlerin pik şiddetleri, her iki homopolimerin pik şiddetleri arasındadır. PPy homopolimerlerinin uzama titreşmesinin 1540  $cm^{-1}$ 'deki piki ve PANi polimerinin kuinoid halkalarının C=N uzama modunun 1562  $cm^{-1}$ 'deki piki, kopolimer örnekleri için 1556  $cm^{-1}$  dalga uzunluğuna yer değiştirmiştir. CSA ilave edilen kopolimer örnekleri için 1126  $cm^{-1}$ 'deki yeni band, PANi polimerinin 1,2,4-substitue benzen halkasındaki düzlem içi eğilmelerinden kaynaklanmıştır. Sonuç olarak CSA kullanarak hazırlanan kopolimerlerdeki pirol birimlerinin PANi polimerinin benzen halkasına 1, 2, ve 4 pozisyonlarından bağlanmış olması mümkündür [15, 23]. Dolayısıyla PANi-PPy kopolimerlerinin varlığı doğrulanmıştır. Kopolimerler için 1704  $cm^{-1}$ 'deki zayıf pik kopolimer yapısında kısmen

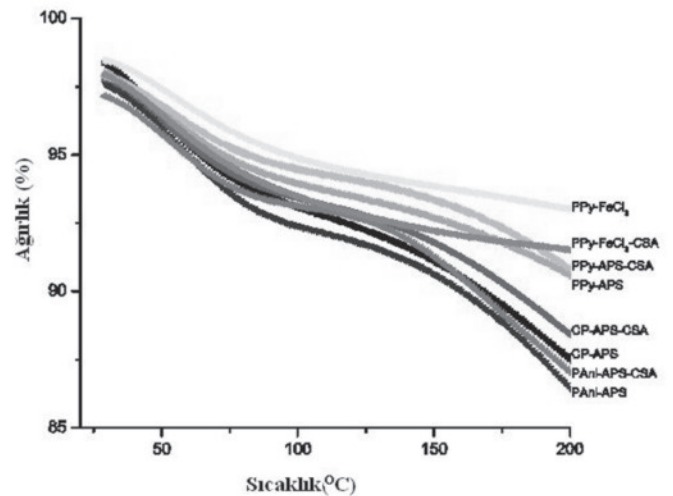
oluşan pirolidon nedeniyle C=O uzamasından kaynaklanabilir [19].



Şekil 5. KBr ile karıştırılan (CP-APS-CSA, CP-APS, PANi-APS-CSA, PANi-APS, PPy- $FeCl_3$ -CSA, PPy- $FeCl_3$ , PPy-APS-CSA, PPy-APS) tozları için FTIR spektralleri

### 3.4. Termogravimetrik Analiz

Şekil 6 toz örneklerinin TG analizi sonuçlarını göstermektedir. Şekil 6'dan görüldüğü gibi tüm toz örnekleri 20 - 150°C sıcaklık bölgesinde ısıl dayanıma sahiptir. Tüm PPy



Şekil 6. 20 - 200°C sıcaklık bölgesinde toz örnekleri için TG analizi.

toz örnekleri 150°C sıcaklığa kadar orijinal ağırlığını %90'dan daha yüksek oranda koruyarak, PANi ve kopolimer toz örneklerinden daha yüksek ısı dayanım göstermiştir. Oksidasyon maddesi olarak APS yerine FeCl<sub>3</sub> kullanıldığında PPy polimer tozlarının daha yüksek ısı dayanıma sahip olduğu gözlenmiştir. PANi toz örnekleri sıcaklık artışı ile önemli miktarda ağırlık kaybına uğramıştır. Kopolimer toz örneklerinin ısı dayanımının PPy homopolimer tozlarında daha az, PANi homopolimer tozlarından daha yüksek olduğu bulunmuştur. Ayrıca PET nonwoven kumaşlarının daha düşük ısı dayanımı nedeniyle bu toz örneklerinin PET kumaşların ısı dayanımı artırmak için kumaşlara uygulanması önerilebilir.

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada PPy ve PANi homopolimerleri ve kopolimerleri ile kaplanan PET nonwoven kumaşların morfolojik ve elektriksel direnç özellikleri araştırılmıştır. Homopolimer ve/veya kopolimer tozlarının yapısal ve ısı dayanım özelliklerini incelemek için FTIR spektrası ve TG analizi gerçekleştirilmiştir. Kaplanan kumaşların yıkama dayanımı incelenmiştir. PANi ve PPy homopolimerleri ile kaplanan kumaş örneklerinin yüzey direnç değerleri ile karşılaştırıldığında PANi/PPy kopolimerleri ile kaplanan kumaş örneklerinin yüzey direnç değerleri artış göstermiştir. Fakat yıkamadan sonra kopolimerler ile kaplanan kumaşların elektriksel özelliklerinin tek başına PANi ile kaplanan kumaş örnekleri ile karşılaştırıldığında daha iyi, tek başına PPy polimeri ile kaplanan kumaş örnekleri ile karşılaştırıldığında daha kötü sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

#### KAYNAKLAR

1. Oh, K. W., Hong, K. H., Kim, S. H., (1999), *Electrically conductive textiles by in situ polymerization of aniline*, Journal of Applied Polymer Science, 74:2094–2101.
2. Kim, J. W., Cho, C. H., Liu, F., Choi, H. J., Joo, J., (2003), *Physical characteristics of aniline/pyrrole copolymer*, Synthetic Metals, 135-136:17–18.
3. Kutanis, S., Karikisla, M., Akbulut, U., Sacak, M., (2007), *The conductive polyaniline/poly(ethylene terephthalate) composite fabrics*, Composites:Part A, 38:609–614.
4. Malinauskas, A., (2001), *Chemical deposition of conducting polymers*, Polymer, 42:3957–3972.
5. Hirasi, R., Shikataa, T., Shiraib, M., (2004), *Selective formation of polyaniline on wool by chemical polymerization using potassium iodate*, Synthetic Metals, 146:73–77.
6. Jarvinen, K., Puolakka, A., (2003), *Weathering of polyaniline-treated polyester filter fabrics*, Textile Research Journal, 73(7):593–596.
7. Kim, B., Koncar, V., Dufour, C., (2006), *Polyaniline-coated pet conductive yarns: Study of electrical, mechanical, and electro-mechanical properties*, Journal of Applied Polymer Science, 101:1252–1256.
8. Avloni, J., Ouyang, M., Florio, L., Henn, A. R., Sparavigna, A., (2007), *Shielding effectiveness evaluation of metallized and polypyrrole-coated fabrics*, Journal of

- Thermoplastic Composite Materials, 20:241–254.
9. Kincal, D., Kumar, A., Child, A. D., Reynolds, J. R., (1998), *Conductivity switching in polypyrrole-coated textile fabrics as gas sensors*, Synthetic Metals, 92:53–56.
10. Håkansson, E., Amiet, A., Kaynak, A., (2006), *Electromagnetic shielding properties of polypyrrole/polyester composites in the 1 - 18 GHz frequency range*, Synthetic Metals, 156:917–925.
11. Stejskal, J., Trchova, M., Ananievab, I.A., Jancab, J. Prokes, J., Fedorova, S., Sapurina, I., (2004), *Poly(aniline-co-pyrrole): powders, films, and colloids. thermophoretic mobility of colloidal particles*, Synthetic Metals, 146:29–36.
12. Bhat, N.V., Seshadri, D.T., Radhakrishnan S., (2004), *Preparation, characterization, and performance of conductive fabrics:cotton+pani*, Textile Research Journal, 74(2):155–166.
13. Lin T., Wang, L., Wang, X., Kaynak A., (2005), *Polymerising pyrrole on polyester textiles and controlling the conductivity through coating thickness*. Thin Solid Films, 479:77–82.
14. Stejskal, J., Trchova, M., Brodinova, J. Sapurina I., (2007), *Flame retardancy a.orded by polyaniline deposited on wood*. Journal of Applied Polymer Science, 103:24–30.
15. Lim, V.W.L., Kang, E.T., Neoh, K.G., Ma, Z.H., Tan K.L., (2001), *Determination of pyrrole-aniline copolymer composition by x-ray photoelectron spectroscopy*. Applied Surface Science, 181:317–326.
16. Stejskal, J., Prokes, J., Trchova M., (2008), *Reprotonation of polyaniline: A route to various conducting polymer materials*. Reactive and Functional Polymers, 68:1355–1361.
17. Liang, Q.Y., Neoh, K.G., Kang, E.T., Tan, K.L., Wong H.K., (1992), *Charge transfer interactions in bithiophene-pyrrole and bithiopheneaniline copolymers*. European Polymer Journal, 28(7):755–763.
18. Gettinger C.L., Heeger A.J., Pine D.J., Cao Y., (1995), *Solution characterization of surfactant solubilized polyaniline*. Synthetic Metals, 74:81–88.
19. Moon, D.K., Yun, J.Y., Osakada, K., Kambara, T., Yamamoto, T., (2007), *Synthesis of random copolymers of pyrrole and aniline by chemical oxidative polymerization*. Molecular Crystals and Liquid Crystals, 464:177–185.
20. Cho, C.H., Choi, H.J., Kim, J.W., Jhon, M.S., (2004), *Synthesis and electrorheology of aniline/pyrrole copolymer*. Journal of Materials Science, 39:1883–1885.
21. Karakisla, M., Sacak, M. (2002), *The chemical synthesis of conductive polyaniline by using benzoyl peroxide*. Journal of Macromolecular Science,Part A, 39(11):1349–1359.
22. Rajagopalan, R., Iroh, J.O., (2002), *Electrodeposition of adherent polyaniline-polypyrrole composite coatings on low carbon steel*, The Journal of Adhesion, 78(10):835–860.
23. Li, X., Bian, C., Chen, W., Xue, G., Zhu, W., Fang J., (2003), *Spectral studies of a polyaniline/diatomite composite*, Spectroscopy Letters, 36(1):25–33.