



T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRO ÇEKİM YÖNTEMİ İLE FOTOKROMİK
ÖZELLİKLİ POLİüREten ESASLI NANOLİF YAPILI
YÜZEYLERİN ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU**

BÜŞRA BAHAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİYOMÜHENDİSLİK VE BİLİMLERİ ANABİLİM DALI

KAHRAMANMARAŞ, 2019

T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRO ÇEKİM YÖNTEMİ İLE FOTOKROMİK
ÖZELLİKLİ POLİÜRETEN ESASLI NANOLİF YAPILI
YÜZEYLERİN ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU**

BÜŞRA BAHAR

Bu tez,
Biyomühendislik Ve Bilimleri Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS
derecesi için hazırlanmıştır.

KAHRAMANMARAŞ, 2019

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi Büşra BAHAR tarafından hazırlanan “POLİÜRETAN ESASLI FOTOKROMİK NANOLİF YÜZEYLERİN ELEKTRO ÇEKİM YÖNTEMİ İLE ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU” adlı bu tez, jürimiz tarafından 21/08/2019 tarihinde oy birliği ile Biyomühendislik Ve Bilimleri Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğretim Üyesi İsmail TİYEK (DANIŞMAN)

Tekstil Mühendisliği Bölümü

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Doç. Dr. Suat ÇETİNER

Tekstil Mühendisliği Bölümü

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Dr. Öğretim Üyesi Pınar PARLAKYİĞİT

Tekstil Mühendisliği Bölümü

Adıyaman Üniversitesi

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Mustafa YAZICI

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada, alıntı yapılan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Büşra BAHAR



Bu proje Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi (KSÜ), Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.
Proje No:2017/2-20 YLS

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

POLİÜRETAN ESASLI FOTOKROMİK NANOLİF YÜZEYLERİN ELEKTRO ÇEKİM YÖNTEMİ İLE ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU (YÜKSEK LİSANS TEZİ)

BÜŞRA BAHAR

ÖZET

Gelişen ve sürekli değişen teknolojiden tekstil endüstrisini de etkilemektedir. Yakın geçmişin teknoloji devrimi olarak adlandırılan Nanoteknoloji tekstile yeni bir boyut kazandırmıştır. Tekstil ile bütünleşen Nanoteknoloji ile ortaya çıkan ürünlerin sahip oldukları özellikler, birçok fonksiyonu içinde barındırmaktadır. Fotokromik maddeler, ultraviyole ışık ile uyarıldığında ışık şiddetine bağlı olarak geri dönüşlü olarak renk değiştiren malzemelerdir. Bu malzemelerin nihai üründe boyama, spreyleme veya çözeltiye katarak nanolif elde etme gibi birçok yöntem ile kullanılmaktadır. Bu çalışmada, güneş ışığı (UV) ile renk değiştiren, fotokromik boyarmaddeler elektrikli alan ile lif çekimi yöntemiyle poliüretan nanolifler içerisine katılacaktır.

Çalışmada fotokromizm, elektro çekim yöntemi ile poliüretan nanolif yüzey üretimi hakkında literatür çalışması yapılacaktır. Elektro çekim cihazında verimli olarak çalışılabilecek ve ürün olarak tekstil alanında kullanılabilecek olan poliüretan (PU) polimerinin elektro çekim parametreleri belirlenecektir. Üretim aşamasında ise fotokromik boyarmaddeler, farklı oranlarda polimer ile karıştırılarak nanolif yüzey üretilecektir.

Fotokromik özellikli nanolif ağ yüzeylerin morfolojik analizleri gerçekleştirilmiştir. Nanolif çapları taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiş, nanolif yüzey içeriğindeki elementler ve oranlarını enerji yayımlı X-ışını analizi (EDX) ile tespit edilmiştir. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) ile fotokromik boyarmadde katkılı nanolif yüzeylerde oluşan kimyasal bağlar ve dalga boyları tespit edilmiştir. Numunelerin termal karakterizasyonu için ise termogravimetrik analiz (TGA-dTG) ve diferansiyel taramalı kalorimetrik (DSC) analizi yapılmıştır. Üretilen numunelerin performans testleri için çekme dayanımı, CEI L a b spektrofotometre renk analizi ve hava şartlarına karşı renk haslığı testleri yapılmıştır.

Yapılan karakterizasyon analizleri sonucunda, fotokromik nanolif yüzeylerin başarılı bir şekilde üretildiği görülmüştür. CIE L a b spektrofotometre renk analizinde fotokromik boyarmaddelerin renk değişim değerleri her bir numune için tespit edilmiştir.

Kumaş performans testleri bir bütün olarak değerlendirildiğinde tez çalışmasında ortaya çıkan en başarılı numunenin 55F-PU (%55'lik) olduğu anlaşılmıştır.

Gelecek yüzyılın nano boyutlu ürünlerin yılı olduğu düşünüldüğünde, nanoboyutta üretilen tekstil ürünlerine olan talebin artacağı öngörülmektedir. Elektro çekim yöntemi ve bu yöntem ile elde edilmiş nanolif yüzeylerin aktif şekilde kullanılacağı ön görülmektedir. Fotokromik özellikli nanolif yüzeylerinteknik tekstil dışında, başta moda tasarımcıları olmak üzere diğer sanatsal alanlarda da kullanımının artması beklenmektedir. Bu nedenle, bu tez çalışmasının sonraki çalışmalar içinde bir kaynak olacağı ümit edilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Akıllı Tekstiller, Ultra Viyole (UV) Etkisi, Fotokromik Nanolif Yüzey, Poliüretan.

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Temmuz/2019

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi İsmail TİYEK

Sayfa sayısı: 132

**PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF POLYURETHANE BASED
PHOTOCROMIC NANOFIBER SURFACES BY ELECTROSPINNING METHOD
(M.Sc. THESIS)**

BÜŞRA BAHAR

ABSTRACT

Developing and continuously changing technology also affects the textile industry. Nanotechnology, called the technology revolution of the recent past, has brought a new dimension to textiles. The properties of these products which are formed by the nanotechnology integrated with textile have many functions. Photochromic substances are materials that change color reversibly depending on the intensity of light when stimulated by ultraviolet light. These materials are used in the final product by various methods such as dyeing, spraying or obtaining nanofiber by adding to the solution. In this study, photochromic dyestuffs, which change color by sunlight (UV), will be added to polyurethane nanofibers by the method of fiber extraction by electric field.

In the study, literature review about photochromism and production of polyurethane nanofiber by electrospinning method. The electrospinning parameters of the polyurethane (PU) polymer, which can be used efficiently in the electro-shooting device and which can be used in the textile field, will be determined. At the production stage, photochromic dyestuffs will be mixed with polymer in different ratios and nanofiber surface will be produced.

Morphological analysis of the nanofiber web surfaces with photochromic properties was performed. The nanofiber diameters were examined by scanning electron microscopy (SEM), the elements in nanofiber surface content and their ratios were determined by X-ray analysis with energy propagation (EDX). Fourier transformed infrared spectroscopy (FTIR) was used to determine chemical bonds and wavelengths on photochromic dyestuff doped nanofiber surfaces. Thermogravimetric analysis (TGA-dTG) and differential scanning calorimetric (DSC) analysis were performed for the thermal characterization of the samples. Tensile strength, CEI L a b spectrophotometer color analysis and color fastness tests against weather conditions were performed for the performance tests of the produced samples.

As a result of the characterization analyzes, it was seen that photochromic nanofiber surfaces were produced successfully. In the CIE L a b spectrophotometer color analysis, the color change values of photochromic dyes were determined for each sample. When the fabric performance tests were evaluated as a whole, the most successful sample that emerged in the thesis study was found to be 55F-PU (55%).

Considering that the next century is the year of nano-sized products, it is predicted that demand for textile products produced in the nanotope will increase. It is foreseen that the electrospinning method and the nanofiber surfaces obtained by this method will be used actively. In addition to technical textiles, it is expected that the use of nanofiber surfaces with photochromic properties will increase in other artistic areas especially in fashion designers. Therefore, it is hoped that this thesis study will be a resource in the next studies.

Key Words: Smart Textiles, Ultra Violet (UV) Effect, Photochromic Nanofiber Surface, Polyurethane.

Kahramanmaraş Sütçü İmam University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Textile Engineering, July/2019

Supervisor: Assistant Professor Dr. İsmail TİYEK

Page Numbers: 132

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın bütün aşamasında, bilgi birikimi ve tecrübesi ile çalışmayı yönlendiren, en yoğun zamanlarında bile büyük sabır ve anlayışla yardımını esirgemeyen, değerli danışman hocam Dr. Öğretim Üyesi İsmail TİYEK'e sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimi ve literatür araştırmalarım sırasında yol gösteren değerli hocam Öğretim Görevlisi E. Esin Baylan'a, deneysel çalışmalarda destek ve yardımlarını esirgemeyen Dr. Öğretim Üyesi Pınar PARLAKYİĞİT'e, Uzman Mahmut ÇAYLAR'a, USKİM numune kabul görevlisi Feridun KOÇER, ve değerli arkadaşlarım Müberra ÖZDEMİR'e, Esra ARISAL'a ve Oğuzhan KONUŞ'a saygı, sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

Desteklerini ve sevgilerini her zaman hissettiren ve her daim yanımda olan babam VELİ KARAHANLI'a, annem FERİDE KARAHANLI'a, eşim SEYFETİN BAHAR'a, oğlum ALİ ERTUĞRUL BAHAR'a ve kardeşlerime saygı, sevgi ve şükranlarımı sunarım.

Büşra BAHAR

Temmuz, 2019



İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET.....	I
ABSTRACT	III
TEŞEKKÜR.....	V
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
ÇİZELGELER DİZİNİ	XIV
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XV
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Teknik Tekstiller	2
1.1.1. Taşımacılık teknik tekstilleri.....	3
1.1.2. Hijyen ve tıbbi teknik tekstiller.....	3
1.1.3. Jeo tekstiller	3
1.1.4. Endüstriyel tekstiller.....	4
1.1.5. Koruyucu tekstiller	4
1.1.6. Bina ve inşaat teknik tekstilleri	4
1.1.7. Tarım teknik tekstilleri	5
1.1.8. Aktif spor ve boş zaman teknik tekstilleri	5
1.1.9. Ev teknik tekstilleri.....	5
1.1.10. Ambalaj teknik tekstilleri.....	6
1.1.11. Giyim teknik tekstilleri	6
1.1.12. Ekolojik ve çevre teknik tekstilleri.....	6
1.1.13. Gıda teknik tekstilleri	6
1.1.14. Elektronik tekstiller	6
1.2. Akıllı Tekstiller	7
1.2.1. Akıllı tekstiller ve sınıflandırılmaları	9
1.2.2. Pasif akıllı tekstiller	11
1.2.3. Aktif akıllı malzemeler	11
1.2.4. Çok akıllı tekstiller	12
1.3. UV Işınları ve Etkileri	12
1.3.1. UV ışınlarından korunma.....	14

1.3.2. UV koruma özelliklerini etkileyen faktörler.....	15
1.3.2.1.Kumaş yapısı.....	15
1.3.2.2.Lif cinsi.....	15
1.3.2.3.Life yapılan katkılar	16
1.3.2.4.UV absorbanlar	16
1.3.2.5.Boyalar.....	16
1.4. Fotokromik Boyarmaddeler.....	17
1.4.1. Fotokromik Bileşikler.....	17
1.4.1.1.Spiropiran Yapısı	18
1.4.1.2.Spirooksazin yapısı	19
1.4.1.3.Chromen yapısı	19
1.4.1.4.Diarylethen yapısı	20
1.4.2. Fotokromizm.....	20
1.4.2.1.Genel tanımlar ve kavramlar.....	21
1.4.2.2.Fotokromik Etki Parametreleri	22
1.4.2.2.1. Verimlilik.....	22
1.4.2.2.2. Bozunma direnci	22
1.4.2.2.3. Okuma sayısı.....	23
1.4.2.2.4. Yarı ömür.....	23
1.4.2.2.5. Dönüşüm sayısı.....	23
1.4.2.3.Tekstil üretiminde fotokromizmin kullanım.....	23
1.5. Poliüretan Polimeri.....	24
1.5.1. Poliüretan liflerin üretimi.....	27
1.5.2. Poliüretan liflerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri	28
1.6. Nanoteknoloji ve Nanomalzemeler.....	30
1.6.1. Nanofiberler ve elektroçekim yöntemi	30
1.6.2. Elektro çekim yöntemini etkileyen parametreler	35
1.6.3. Elektro çekim tekniğinin avantaj ve dezavantajları.....	38
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	40
3. MATERYAL VE METOD	45
3.1. Materyal	45
3.1.1. Çalışmada kullanılan kimyasallar	45

3.1.2. Çalışmada kullanılan ekipman ve cihazlar	45
3.1.3. Analizlerde kullanılan cihazlar	48
3.1.3.1. Taramalı elektron mikroskobu (SEM-EDX)	48
3.1.3.2. Fourier dönüşüm kızılötesi spektroskopisi (FTIR)	48
3.1.3.3. Diferansiyel taramalı kalorimetri analizi (DSC)	49
3.1.3.4. Termogravimetrik analizi (TGA-dTG).....	50
3.1.3.5. Çekme dayanımı testleri	51
3.1.3.6. Spektrofotometre (CIE L a b) renk analizi	51
3.1.3.7. Hava şartlarına karşı renk haslığı testleri	54
3.2. Metot	55
3.2.1. Fotokromik boyarmadde katkı PU nanolif yüzeylerin üretilmesi	55
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	59
4.1. SEM Analizi	59
4.2. EDX Analizi	64
4.3. FTIR Analizi.....	66
4.4. DSC Analizi.....	73
4.5. TGA Analizi	78
4.6. dTG Analizi	82
4.7. Kalınlık Ölçümleri	85
4.8. Çekme Dayanımı Analizi.....	86
4.9. CIE L a b spektrofotometre renk analizi	93
4.10. Hava Şartlarına Karşı Renk Haslığı Analizi.....	96
5. SONUÇLAR.....	97
KAYNAKLAR.....	101
ÖZGEÇMİŞ	111

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1.	UV spektrumları ile birlikte elektromanyetik spektrum.....	12
Şekil 1.2.	Ozon tabakasının incelmesi.....	14
Şekil 1.3.	Fotokromik boyanın UV ışık etkisi ile tersinir renk değişimi.....	17
Şekil 1.4.	Fotokromik spiropiran bileşiğindeki yapılar; (a) heterosiklik ve (b) piran yapısı.....	18
Şekil 1.5.	Spiropiran yapısının UV ışıması sonucu renk değişimi ile fotokromik etkiyi göstermesi, (a) Işımadan önce spiropiran yapısı, (b) UV ışımasından sonra oluşan renkli merosiyanin yapısı.....	18
Şekil 1.6.	Spiropiran yapısının genel gösterimi.....	19
Şekil 1.7.	Spirooksazin yapısının UV ışıması ile fotokromik etkiye dönüşümü (a) ve görünür ışın ile tersinir olarak eski halini alması (b).....	19
Şekil 1.8.	Chromen yapısının UV ışıması ile (a) renkli ve (b) renksiz hale dönüşümü.....	20
Şekil 1.9.	Diarylethen yapısının fotokromik etkiye bağlı olarak değişimi, (a) Işımadan önceki yapı ve (b) ışımadan sonraki yapı.....	20
Şekil 1.10.	Fotokromizm sonucu oluşan iki farklı yapının absorpsiyon spektrumları...	21
Şekil 1.11	Serbest haldeki elastan lifi molekülleri.....	26
Şekil 1.12	Poliüretanın şematik gösterimi.....	26
Şekil 1.13.	Elektro çekim düzeneğinin şematik gösterimi.....	33
Şekil 1.14.	Taylor konisi.....	33
Şekil 1.15.	Elektroçekim yöntemi ve Taylor konisi.....	34
Şekil 1.16.	Sabit toplayıcı ve yönlendirilmiş toplayıcılardan bazıları.....	35
Şekil 3.1.	Ultrasonik karıştırıcı.....	46
Şekil 3.2.	Manyetik karıştırıcı.....	46
Şekil 3.3.	Hassas terazi.....	47
Şekil 3.4.	Yarı endüstriyel elektro çekim cihazı	47
Şekil 3.5.	İğne sistemi.....	48
Şekil 3.6.	SEM ve EDX cihazı.....	48
Şekil 3.7.	Perkin elmer spectrum 400FTIR analizi cihazı (a) ve (b) Petlet aparatı....	49
Şekil 3.8.	Shimadzu DSC-60 cihazı ve Perkin Elmer Dsc 8000 cihazı.....	50

Şekil 3.9.	Exstar TG/DTA 6300	50
Şekil 3.10.	Zwick-Roell BT-1 çekme dayanımı test cihazı.....	51
Şekil 3.11.	CIE L a b renk uzayı değerleri.....	52
Şekil 3.12.	ColorQuest XE HunterLab(CIE L a b) spektrofotometre.....	53
Şekil 3.13.	Prowhite PL B065A Colour Light Box ışık kabini.....	54
Şekil 3.14.	ATLAS marka Xenotest 150 S+ cihazı	55
Şekil 3.15.	Elektroçekimçözeltisinin hazırlanması(a) Çözücülerin tartımı (b) Fotokromik boyarmaddenin tartımı (c) Fotokromik boyarmadde, PU polimeri ve çözücülerin karıştırılması(d) Çözeltisinin ultrasonik karıştırıcıda karıştırılması.....	56
Şekil 3.16.	Elektro çekim üretimi ve numuneye ait görüntü.....	57
Şekil 3.17.	Nanolif yüzeylerin UV ışığına verdiği tepki.....	58
Şekil 4.1.	Fotokromik boyarmaddeye ait SEM görüntüleri a) 20 µm-1 KX, b) 2 µm-10 KX, c) 2µm-20 KX	59
Şekil 4.2.	Referans PU numunesine ait SEM görüntüsü a) 10 µm-1 KX b) 2 µm- 10 KX c) 1µm-20 KX.....	59
Şekil 4.3.	20F-PU numunesine ait SEM görüntüsü a) 10 µm-1 KX b) 2 µm- 10 KX c) 2µm-20 KX.....	60
Şekil 4.4.	25F-PU numunesine ait SEM görüntüsü a) 10 µm-1 KX b) 2 µm- 10 KX c) 2µm-20 KX.....	60
Şekil 4.5.	30F-PU numunesine ait SEM görüntüsü a) 10 µm-1 KX b) 1 µm- 10 KX c) 1µm-20 KX.....	61
Şekil 4.6.	35F-PU numunesine ait SEM görüntüsü a) 10 µm-1 KX b) 1 µm- 10 KX c) 1µm-20 KX.....	61
Şekil 4.7.	40F-PU numunesine ait SEM görüntüsü a) 10 µm-1 KX b) 2 µm- 10 KX c) 2µm-20 KX.....	62
Şekil 4.8.	45F-PU numunesine ait SEM görüntüsü a) 10 µm-1 KX b) 2 µm- 10 KX c) 2µm-20 KX.....	62
Şekil 4.9.	50F-PU numunesine ait SEM görüntüsü a) 10 µm-1 KX b) 1 µm- 10 KX c) 2µm-20 KX.....	62
Şekil 4.10.	55F-PU numunesine ait SEM görüntüsü a) 10 µm-1 KX b) 2 µm- 10 KX c) 2µm-20 KX.....	63

Şekil 4.11.	60F-PU numunesine ait SEMgörüntüsü a) 20 µm-1 KX b) 2 µm-10 KX c) 2µm-20 KX.....	63
Şekil 4.12.	Fotokromik boyarmadde katkılı nanolif numunelerin ortalama çapları....	64
Şekil 4.13.	Nanolif numunelerin EDX analiz grafiği.....	65
Şekil 4.14.	Fotokromik boyarmadde partikülüne ait FTIR spektrumu.....	66
Şekil 4.15.	Poliüretan (PU) granüllere ait FTIR spektrumu.....	67
Şekil 4.16.	Referans (PU) nanolif yüzeye ait FTIR spektrumu.....	67
Şekil 4.17.	20F-PU nanolif yüzeye ait FTIR spektrumu.....	68
Şekil 4.18.	25F-PU nanolif yüzeye ait FTIR spektrumu.....	69
Şekil 4.19.	30F-PU nanolif yüzeye ait FTIR spektrumu.....	69
Şekil 4.20.	35F-PU nanolif yüzeye ait FTIR spektrumu.....	70
Şekil 4.21.	40F-PU nanolif yüzeye ait FTIR spektrumu.....	70
Şekil 4.22.	45F-PU nanolif yüzeye ait FTIR spektrumu.....	71
Şekil 4.23.	50F-PU nanolif yüzeye ait FTIR spektrumu.....	71
Şekil 4.24.	55F-PU nanolif yüzeye ait FTIR spektrumu.....	72
Şekil 4.25.	60F-PU nanolif yüzeye ait FTIR spektrumu.....	72
Şekil 4.26.	Fotokromik Boyarmaddeye ait DSC grafiği.....	73
Şekil 4.27.	PU granüllerine ait DSC grafiği.....	74
Şekil 4.28.	Referans PU nanolif yüzey ve 20F-PU numunelerine ait DSC grafiği.....	74
Şekil 4.29.	25F-PU ve 30F-PU numunelerine ait DSC grafiği.....	75
Şekil 4.30.	35F-PU ve 40F-PU numunelerine ait DSC grafiği.....	75
Şekil 4.31.	45F-PU ve 50F-PU numunelerine ait DSC grafiği.....	76
Şekil 4.32.	55F-PU ve 60F-PU numunelerine ait DSC grafiği.....	76
Şekil 4.33.	Fotokromik boyarmadde miktarı ile 110 °C’de açığa çıkan enerji miktarı arasındaki ilişki.....	77
Şekil 4.34.	Fotokromik boyarmadde miktarı ile 142 °C’de açığa çıkan enerji miktarı arasındaki ilişki.....	78
Şekil 4.35.	Fotokromik boyarmadde miktarı ile 325-343 °C’de açığa çıkan enerji miktarı arasındaki ilişki.....	78
Şekil 4.36.	Fotokromik boyarmaddeye ait TGA (µm/dk) grafiği.....	79
Şekil 4.37.	PU polimerine ait granül (a) ve Referans nanolif yüzeye (b) ait TGA (µm/dk) grafiği.....	79

Şekil 4.38.	Ref, 20F-PU, 25F-PU ve 30F-PU nanolif yüzey numunelere ait TGA grafiği.....	80
Şekil 4.39.	Ref, 35F-PU, 40F-PU ve 45F-PU nanolif yüzey numunelere ait TGA grafiği.....	80
Şekil 4.40.	Ref, 50F-PU, 55F-PU ve 60F-PU nanolif yüzey numunelere ait TGA grafiği.....	81
Şekil 4.41.	Fotokromik boyarmaddeye (a) ve PU granüle (b) ait dTG grafiği.....	82
Şekil 4.42.	Ref, 20F-PU, 25F-PU ve 30F-PU nanolif yüzeylere ait DTG grafiği	83
Şekil 4.43.	Ref, 35F-PU, 40F-PU ve 45F-PU nanolif yüzeylere ait DTG grafiği	83
Şekil 4.44.	Ref, 50F-PU, 55F-PU ve 60F-PU nanolif yüzeylere ait DTG grafiği.....	84
Şekil 4.45.	Nanolif yüzeylere ait kalınlık değerleri.....	86
Şekil 4.46.	Ref nanolif yüzeye ait MD-CD yönü Kopma - %Uzama Eğrisi.....	86
Şekil 4.47.	20F-PU nanolif yüzeye ait MD-CD yönü Kopma - %Uzama Eğrisi.....	87
Şekil 4.48.	25F-PU nanolif yüzeye ait MD-CD yönü Kopma - %Uzama Eğrisi.....	87
Şekil 4.49.	30F-PU nanolif yüzeye ait MD-CD yönü Kopma - %Uzama Eğrisi.....	88
Şekil 4.50.	35F-PU nanolif yüzeye ait MD-CD yönü Kopma - %Uzama Eğrisi.....	88
Şekil 4.51.	40F-PU nanolif yüzeye ait MD-CD yönü Kopma - %Uzama Eğrisi.....	89
Şekil 4.52.	45F-PU nanolif yüzeye ait MD-CD yönü Kopma - %Uzama Eğrisi.....	89
Şekil 4.53.	50F-PU nanolif yüzeye ait MD-CD yönü Kopma - %Uzama Eğrisi.....	90
Şekil 4.54.	55F-PU nanolif yüzeye ait MD-CD yönü Kopma - %Uzama Eğrisi.....	90
Şekil 4.55.	60F-PU nanolif yüzeye ait MD-CD yönü Kopma - %Uzama Eğrisi.....	91
Şekil 4.56.	Tüm nanolif yüzeye ait MD yönü Kopma - %Uzama Eğrileri.....	92
Şekil 4.57.	Tüm nanolif yüzeye ait MD yönü Kopma - %Uzama Eğrileri.....	92
Şekil 4.58.	Fotokromik nanolif yüzeylerin gün ışığı altındaki görünütüsü.....	94
Şekil 4.59.	Nanolif yüzeylere ait K/S değerleri.....	95
Şekil 4.60.	Xenotest 150 S+ cihazına numunelerin hazırlanması.....	96

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 1.1.	Elastan liflerinin fiziksel özellikleri.....	29
Çizelge 3.1.	Nanolif yüzeylerin boya katkı oranları, genel çözelti oranı ve elektro çekimparametreleri.....	57
Çizelge 4.1.	Üretilen fotokromik katkılı PU nanolif yüzeylerin ortalama lif çapları.....	64
Çizelge 4.2.	Fotokromik boyarmadde katkılı poliüretan nanolif yüzeylere ait EDX analizi	65
Çizelge 4.3.	Fotokromik boyarmadde katkılı nanolif yüzeylerin DSC analizinde tespit edilen enerji miktarları	77
Çizelge 4.4.	Numunelerin TGA analizi sonucu elde edilen veriler.....	81
Çizelge 4.5.	Numunelere ait bozunma hızının maksimum olduğu sıcaklık (T_{max}) ve maksimum bozunma hızı (dTG_{max}) değerlerinin karşılaştırılması	84
Çizelge 4.6.	Nanolif yüzeylerin kalınlık ölçümleri.....	85
Çizelge 4.7.	Nanolif yüzey numunelerin maksimum kuvvet altında uzama değerleri...	91
Çizelge 4.8.	Tüm numunelerin CIE L a b renk analizi karşılaştırma çizelgesi.....	93
Çizelge 4.9.	Tüm nanolif yüzeylerin K/S değerleri verilmiştir.....	95
Çizelge 4.10.	Nanolif numunelerin hava şartlarına karşı haslık değerleri.....	96

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Å	: Angstrom
a	: Renk tonunun yeşil-kırmızı renk değeri
Δa	: Referans ile son renk arasındaki a farklılığı
b	: Renk tonunun mavi-sarı renk değeri
Δb	: Referans ile son renk arasındaki b farklılığı
ΔE	: Renk farklılık değeri
L	: Renk tonunun açıklık koyuluk değeri
ΔL	: Referans ile son renk arasındaki L farklılığı
h	: Kırmızıdan sarıya geçişi gösteren açış değeri
C	: Kroma değeri
K/S	: Işık absorpsiyonunun ışık yansımaya oranı
A	: Absorpsiyon katsayısı
C	: Konsantrasyon
R	: Yansıma (reflectance)
X, Y, Z	: Renk uzayı koordinat sistemi
EDX	: Enerji dağılımı X-ray
FTIR	: Fourier Dönüşümlü Kızılötesi
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
MD	: Üretim Yönü
CD	: Üretim Yönüne Dik
PU-G	: Poliüretan Granülü
F-G	: Fotokromik Boya Granülü
TEM	: Geçirmeli Elektron Mikroskobu
TGA	: Termogravimetrik Analiz
dTGA	: Diferansiyel Termogravimetrik Analiz
DSC	: Diferansiyel Taramalı Kalorimetri Analizi
ASTM	: Amerikan Test ve Malzeme Derneği
TS	: Türk Standartları
MPa	: Basınç (kuvvet) birimi-Mega pascal
kPa	: Basınç (kuvvet) birimi-kilo pascal

DMA	: Dimetil asetamid
DMF	: Dimetil formamid
DMSO	: Dimetil sülfoksit
PAA	: Poli akrilik asit
PA 6.6	: Poliamid 6.6
PA	: Poliamid
PAN	: Poliakrilonitril
P(AN-VAc)	: Poli(akrilonitril vinil asetat)
PC	: Polikarbonat
PCL	: Polikaprolakton
PE	: Polietilen
PEN	: Polietilen-2,6-naftalat
PEO	: Polietilen oksit
PET	: Polietilen teraftalat
PLA	: Polilaktikasit
PMMA	: Polimetilmetakrilat
PP	: Polipropilen
PS	: Polistiren
PU	: Poliüretan
PVA	: Polivinil alkol
PVC	: Polivinilklorür
F-PU	: Fotokromik Boyarmadde/Poliüretan
UV	: Ultra viole ışığı

1. GİRİŞ

İnsanlığın refah seviyesinin artmasıyla tekstil ürünlerinden beklenen örtünme, korunma ve süslenme gibi özelliklerin karşılaması değil, sağlık, enformasyon ve güvenlik alanları ile birlikte daha ileri konfor özellikleri de aranır olmuştur (Demir ve ark., 2010). Bu sebepten dolayı günümüzde insanlar yaşam koşullarına bağlı olarak giysilerinde çok fonksiyonlu ürünleri tercih etmektedir (Şener ve Bulat, 2009; Samatya, 2015).

Teknolojinin hızlı bir şekilde gelişmesine paralel olarak, günümüz tekstil sektöründe de hammadeden son ürüne kadar büyük değişiklikler meydana gelmektedir. Bunun en büyük göstergesi tekstil malzemelerinin, gerek endüstriyel gerekse de günlük kullanım amaçlı ürünlerde kullanımının artması ve bu alanlarda yeni uygulama alanlarının bulunmasıdır. Bu alanlar, günlük giysilerden çok özelleşmiş “teknik tekstiller” olarak adlandırılan, askeri amaçlı, tıbbi amaçlı ve benzeri alanlara kadar değişmektedir.

Tekstillerin yapı taşı olan liflerin, yapı içindeki düzenlenme ve dağılımı tekstil ürünlerine istenen son özellikleri kazandırdığından tekstil yapılarında önemi büyüktür. Lifin yapısında oluşturulan bir değişiklik öncelikle tekstil üretim zincirinde ipliklerin, daha sonra bu ipliklerden oluşturulan kumaşların yapısını ve kumaşlardan oluşan giysi ve buna benzer son ürünlerin yapısal özelliklerini etkileyecektir. Mevcut lif üretim tekniklerinin, lifin yapısal ve boyutsal özelliklerinde değişiklik yapabilmeye sınırlı kalmaları nedeniyle, yeni lif üretim teknikleri araştırılmakta ve geliştirilmektedir (Kozanoğlu, 2006).

Günlük hayatımızda kullandığımız pek çok ürün, günümüz dünyasında daha akıllı hale gelmiştir. Günümüzde gelişen teknoloji sayesinde, tüm alanlarda olduğu gibi tekstil ve lif ürünlerinde de işlevsel ürünler elde edilebilmektedir. Belirli bir işlevi karşılamak için üretilen ürünler, sağlık, koruyucu, antibakteriyel, nefes alabilir, güvenlik, mukavemetli, enformasyon ve iletişim gibi özellikleri ile başta endüstriyel alanlarda sonra da hayatımızın her alanında kullanılmaya başlanmıştır (Kayacan, 2008).

Akıllı Tekstiller; sıcaklık, ısı, kuvvet, su, ışık, elektrik, kimyasal reaksiyonlar, manyetik gibi dışardan gelen aksiyonlarla müdahale edildiğinde, uyarıcıları algılayarak bunlara tepki veren malzemelerdir. Akıllı tekstiller, yukarıda belirtilen etmenlerin yalnızca birine olduğu gibi, birden fazla etmen karşısında da değişim gösterip tepki verebilirler (Uçar, 2006). Tüketicilerin gelişen teknolojiyi benimsemesiyle ve bu yeniliklerin insan yaşamı ile bütünleşmesi sonucu hem bitmiş tekstil ürünü hem lif olarak ileri teknoloji ile donatılmış akıllı tekstiller, araştırmacılarının yeni keşif alanı olmuştur. İleri teknoloji ürünü

tekstiller, fonksiyonel nitelikleri ile sadece savunma, güvenlik, iletişim, sağlık vb alanlarında değil, moda dünyasında da günlük giysilerde kullanılan ve tercih edilen ürünler haline gelmiştir. Moda tasarımcıları ileri teknolojiyi kullanarak ürettikleri tekstil ürünlerinin yüzeylerine kazandırılan, tuşe ve performansları ile çok büyük etki yapmışlardır (Önlü ve Halaçeli, 2007; İşmal ve Yüksel, 2016).

Standart tekstil ürünleri doğal şartlardan (ısı, ışık, rüzgâr) koruma ve süsleme özelliklerine sahipken; akıllı tekstil ürünleri, herhangi bir etki değişikliğini veya etkiyi algılama ve bu etkiye bir tepki verme özelliğine sahip ürünlerdir. Bir tekstil ürünü etkiyi veya değişikliği sadece algılıyorsa “pasif akıllı tekstil ürünü”, etkiyi veya etki değişikliğini algılayıp bir de buna tepki veriyorsa, “aktif akıllı tekstil ürünü” olarak adlandırılmaktadır (Coşkun, 2007).

1.1. Teknik Tekstiller

Özel olarak tasarlanan, herhangi bir üründe, süreç dâhilinde veya yalnız başına belirli bir özelliği yerine getirmek amacıyla kullanılan malzemelere “teknik tekstil” denir (İTKİB Genel Sekreterliği, 2005). Bu malzemeler yüksek teknik ve kalite gereksinimlerini (mekanik, termal, elektriksel, dayanıklılık vb.) karşılayabilme kapasitesine sahiptirler. Teknik tekstiller bu terimlerden başka, endüstriyel tekstiller, yüksek performanslı tekstiller, yüksek teknik tekstiller, geleneksel olmayan tekstiller ve mühendislik tekstilleri diye de isimlendirilebilir (Emek, 2004). Teknik tekstillerin kullanım alanları aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

1. Taşımacılık teknik tekstilleri (mobitech)
2. Hijyen ve tıbbi teknik tekstiller (medtech)
3. Jeotekstiller (geotech)
4. Endüstriyel tekstiller (indutech)
5. Koruyucu tekstiller (protech)
6. Bina ve inşaat teknik tekstilleri (builtech)
7. Tarım teknik tekstilleri (agrotech)
8. Aktif spor ve boş zaman teknik tekstilleri (sporttech)
9. Ev teknik tekstilleri (homotech)
10. Ambalaj teknik tekstilleri (packtech)
11. Giyim teknik tekstilleri (clothtech)
12. Ekolojik ve çevre teknik tekstilleri (ecotech)

13. Gıda teknik tekstilleri (foodtech)
14. Elektronik tekstiller (e-tech)
15. Akıllı tekstiller (smarttech)

1.1.1. Taşımacılık teknik tekstilleri

Taşımacılık alanında kullanılan teknik tekstiller dekorasyon, izolasyon, filtreleme gibi işlevlerin yanı sıra araçlarda konfor da sağlamaktadır. Taşıt teknik tekstilleri öncelikle güvenliğin artırılması ve çevresel zararın azaltılması daha sonra ise mevcut fonksiyonların daha iyi seviyelere getirilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Örnek olarak; araba, tren ve uçak döşemelerinde kullanılan tekstil ürünlerinin alev almaya karşı direncinin, aşınma ve UV dayanıklılığının daha yüksek değerlere ulaştırılması verilebilir. Ayrıca, teknik tekstiller taşıtların zırh kaplamalarında da yoğun olarak kullanılmaktadır. Taşımacılıkta kullanılan teknik tekstil ürünlerini emniyet kemerleri, hava yastıkları, koltuk kumaşları, kompozit takviyeleri, oto aksesuarları, oto kılıfları, filtreler, halı tabanları, kord bezi, hortum ve kayış takviyeleri gibi ürünler oluşturmaktadır (Emek, 2004; Teknik tekstil, 2013).

1.1.2. Hijyen ve tıbbi teknik tekstiller

Tıbbi tekstiller geleneksel tekstil üretim yöntemleri ile üretilen ürünlerden nano ölçekli, ileri teknoloji gerektiren yenilikçi üretim yöntemlerine kadar çok çeşitli makine, ekipman ve yöntemlerle elde edilebilen; insan ve hayvan sağlığını, hijyenini ve hatta kozmetiğini ilgilendiren çok geniş bir ürün çeşitliliğini kapsamaktadır (Teknik tekstil, 2013). Gelişen teknolojiyle beraber üretimi artan tıbbi tekstillerden; ıslak mendiller, çocuk ve yetişkin bezleri, ameliyat giysileri ve örtüleri, ameliyat iplikleri, tıbbi maskeler, sterilizasyon paketleri, bakım ve pansuman sargıları, ilaç salınım bantları, yapay kemik bağları, damarlar, deriler, diyaliz makinaları için içi boş lifler vb. bakım ve hijyen ürünlerinin tüketimi de hızla artmaya devam etmektedir. Bütün tıp ve sağlık hizmetleri sektörü, teknik tekstillerin önemli kullanıcısı olmasıyla beraber ürünlerin birçoğunun tek kullanımlık olması da üretim ihtiyacını artıran ve satışı pozitif etkileyen etmenler arasındadır (Kara ve Özüş, 2014; Meriç, 2016).

1.1.3. Jeo tekstiller

Jeo tekstiller, filtre edebilme, destek, kuvvetlendirme ve ayırma yeteneğine sahip malzemeler olup, bu işlevlerin kombinasyonları için kullanılmaktadırlar. Tüm teknik tekstil ürünleri ile karşılaştırıldığında Jeotekstillerin en fazla büyüme oranına sahip sınıf

olduğu görülmektedir. Jeo tekstiller pamuk, yün gibi doğal elyaflardan ziyade sentetik elyaflardan üretilen tekstil ürünleridir. Jeo tekstillerin üretiminde sentetik lif olarak daha çok; polipropilen, polietilen, polyester, poliamid ve polivinilklorür kullanılmaktadır (Emek, 2004; Kara ve Özüş, 2014).

1.1.4. Endüstriyel tekstiller

Endüstriyel teknik tekstil üretiminde nonwoven, dokuma ve örme kumaşlar kullanılabilir. Ancak diğer teknik tekstil gruplarında da olduğu gibi son yıllarda dokusuz yüzeylerin kullanımı dokuma ve örme ürünlerin önüne geçmiş durumdadır. Endüstriyel tekstiller tekstiller geniş bir uygulama alanına sahiptir; filtreler, aşındırma bantları, sigara filtre çubukları, cam pil ayırıcılar, baskılı devre plakeleri, temizlik bezleri, contalar, sızdırmazlık elemanları ve diğer endüstriyel ekipmanlar gibi endüstriyel ürünlerin içine dâhil edilen tekstil ürünlerini kapsamaktadır (Kara ve Özüş, 2014).

1.1.5. Koruyucu tekstiller

Koruyucu tekstiller, yaralanma veya ölüm ile sonuçlanabilecek dış etkenlere karşı korunmak için dizayn edilmiş önemli bir teknik tekstil sınıfıdır. Bireysel korumada yaşanan gelişmeler, hem sivil hem de askeri personel için koruma sağlama amacına odaklıdır. Koruyucu tekstil ürünlerine balistik koruyucu giysiler, yangın geciktirici giysiler, yangın geciktirici döşemelik kumaşlar, radyasyondan koruyucu ürünler, yüksek görünürlük sağlayan giyim malzemeleri, kimyasal koruyucu giysiler, endüstriyel eldivenler örnek verilebilir (Uçar, 2006; Kara ve Özüş, 2014).

1.1.6. Bina ve inşaat teknik tekstilleri

Günümüzde bina yalıtım kaplamaları, hava alanları, stadyumlar, spor salonları, fuar ve gösteri salonları ile askeri ve endüstriyel depolarda kapalı alan oluşturmada, mevcut binaları deprem, deniz ve rüzgâr gibi tabii afetlere karşı sağlamlaştırma faaliyetlerinde ve hafif yüksek mukavemetli taşınabilir binaların inşa edilmesi gibi birçok çeşitli alanda inşaat tekstilleri yaygın biçimde kullanılmaya başlanmıştır. Betonların kuvvetlendirilmesi, kopma ve eğilme mukavemetlerinin artırılması amacıyla lif kullanmak (fiber-reinforced concrete) artık tüm inşaat sektöründe yaygın olarak başvurulan bir yöntemdir (Coşkun, 2007; Kara ve Özüş, 2014)

1.1.7. Tarım teknik tekstilleri

Tarım teknik tekstilleri; tarımsal ürünlerin paketlenmesi, bitkilerin büyüme sürecinin hızlandırılması, ürünlerin UV ışınlarından korunması, tarımsal alanların ilaçlanması, yabani otların büyümesinin önlenmesi, tarımsal amaçlı drenaj ve erozyon kontrolü, besicilikte hayvanların hava şartlarından korunması, balıkçılık vb. gibi pek çok alanda çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır. Bu uygulama alanlarında teknik tekstiller; ağlarda, çuvallarda, bitkilerin korunması için gölgeliklerde, seralarda, filizlendirme aşamasında tohumların korunmasında, zemin kuvvetlendirmede, koruyucu giysilerde, buzlanmayı önleyici örtülerde, hortumlarda, filtrelerde vs. birçok farklı amaçla kullanılmaktadır (Emek, 2004; Kara ve Özüş, 2014).

1.1.8. Aktif spor ve boş zaman teknik tekstilleri

Spor tekstilleri, sporcuların giydiği kıyafet, kullandıkları malzeme ve ayakkabıları içermektedir. Bunlara örnek olarak sporda kullanılan kompozit malzemeler, yapay çim, paraşüt kumaşları, balon kumaşları, yat ve yelken giysi ve kumaşları, kayak giysi ve malzemeleri, uyku çantaları, çadırlar, yüzücü kıyafetleri, ağlar, atlet ayakkabıları, tenis ayakkabıları vb. sayılabilir. Örneğin yüzücü mayoları, jimnastik ve kayak giysileri, orijinal boylarının 5 katı daha fazla uzama özelliğine sahip Spandex, Lycra ve Elastan olarak isimlendirilen poliüretan köpük liflerinden yapılmaktadır (Uçar, 2006; Kara ve Özüş, 2014).

1.1.9. Ev teknik tekstilleri

Geçmişe baktığımızda ev tekstili ürünleri genel olarak mefruşat tarzı ürünlerden oluşurken, günümüzde bunların yerini ev teknik tekstil ürünlerinin aldığı görülmektedir. Tekstillerin kullanıldığı diğer birçok alanda olduğu gibi gelişen teknolojiyle beraber bu alanda da teknik tekstil ürünleri kullanılmaya başlanmıştır. Bunlara örnek olarak, çeşitli kaplama kumaşlardan yapılan stor perdeler, yüksek yalıtım özellikli içi boş liflerden üretilen yatak ve uyku tulumları, güç tutuşur lif veya güç tutuşurluk kazandıran kaplama yöntemleriyle üretilen çeşitli ev ürünleri, döşemelikler vs. verilebilir. İlave olarak halı arka yüzeyleri, perdeler, mobilya ve yatak ürünlerinin astar ve telaları, yastık ve yorgan dolgu malzemeleri gibi pek çok ev ürününde teknik tekstiller yer almaktadır (Kara ve Özüş, 2014; Meriç, 2016).

1.1.10. Ambalaj teknik tekstilleri

Teknik tekstillerin önemli alt dallarından bir tanesi; endüstriyel ürün ve malzemelerin, tarım ürünlerinin taşınması ve depolanmasında yaygın olarak kullanılan ambalaj tekstilleridir. Hammadde olarak çoğunlukla polipropilen olmak üzere, pamuk, keten ve jüt kullanılmaktadır. Başlıca ambalaj tekstilleri çuvallar, poliolefin dokuma çuvallar, jüt çuvallar, big-bag'ler, leno çuvallar, kağıt güçlendiriciler, sargı ambalaj malzemeleri, yumuşak valiz ve çanta malzemeleridir (Uçar, 2006; Kara ve Özüş, 2014).

1.1.11. Giyim teknik tekstilleri

Günümüzde giyim teknik tekstilleri 2 farklı alt gruba ayrılmış durumdadır. Bunlardan biri hazır giyim ve ayakkabı sektörlerinde kullanılan telalar, vatkalı, dikiş iplikleri ve ayakkabı bağı gibi aksesuar/yardımcı malzemeler olarak düşünülmektedir. Diğerisi ise dokuma, örme veya dokusuz yüzey gibi malzemelerden üretilmiş fonksiyonel konfeksiyon malzemeleri ve ürünleridir. Fonksiyonel konfeksiyon malzemeleri ve ürünleri, katma değeri yüksek ve ileri teknoloji gerektiren ürünler olarak değerlendirilmektedir (Coşkun, 2007; Kara ve Özüş, 2014).

1.1.12. Ekolojik ve çevre teknik tekstilleri

Ekolojik ve çevre teknik tekstilleri taşıt araçlarında ve sanayide kullanılan filtreler, erozyonu önlemede kullanılan jeo tekstiller gibi diğer alanlarda kullanılan ürünlerden oluşmaktadır (Coşkun, 2007; Kara ve Özüş, 2014).

1.1.13. Gıda teknik tekstilleri

Gıda ürünlerinin üretim ortamında taşınması, raflarda bekletilmesi işlemlerinde, artık kolay temizlenebilir teknik tekstiller tercih edilmektedir. Gıdaların ısıtılması, kaynatılması ve servis edilmesi safhalarında da koruma amaçlı non-woven ve teknik tekstil ürünlerinin ilk örnekleri büyük ilgi görmüştür. Çok yeni bir kategori olması ve hijyenik faydaları bu teknik tekstillerin önemini artırmaktadır (Cognis, 2005; Kara ve Özüş, 2014).

1.1.14. Elektronik tekstiller

Akıllı giysi kapsamında değerlendirilen ve elektronik işlevleri sağlayan sistemlerin giysilere entegrasyonu konusundaki gelişmeler 1990'lı yılları takiben giyilebilen bilgisayarların gelişimi ile hız kazanmıştır (Cognis, 2005; Cherenack and Pieterston, 2012). İlk giyilebilen bilgisayar 1955 yılında Edward Thorpe ve Claude Shannon tarafından

geliştirilmiştir. Elektronik özelliklere sahip akıllı tekstiller, üç yöntemle üretilebilirler (Cherenack ve Pieterston, 2012). Bunlar;

- Tekstil liflerine elektriksel ya da optik özellikler eklenerek
- Devre ya da LED sistemlerini tekstil yüzeyleri ile bütünleştirerek ve
- Ticari ve tekstil kaynaklı işlevsellik kaygılarını birleştiren hibrit yaklaşımlar geliştirerek (Meriç, 2016).

Gelecekte giysiler sadece gerektiği gibi kişileri sıcak veya serin tutmakla kalmayacak, aynı zamanda yetenekleri sayesinde dış etkiler ve tehlikeler konusunda kişileri uyarabilecek, tedavi amaçlı kullanılacak, herhangi biri kaybolduğunda bulunduğu yeri saptayabilecek ve fiziksel olarak herhangi bir aktivite yerine getirilemediği durumlarda başkaları ile iletişim kurulmasını sağlayabilecektir (Türkant, 2009).

1.2. Akıllı Tekstiller

Akıllı tekstil kavramını tanımlamak için önce akıllı tekstilin düşünce bazında temellerini oluşturan teknik tekstil kavramından bahsetmek yerinde bir başlangıç olacaktır. Farklı alanlardaki teknolojik gelişmeler, yeni polimer, malzeme ve üretim yöntemlerinin bulunması tekstil malzemelerinin bilinen geleneksel uygulamaları (giysi ve ev tekstili) dışında da kullanım alanı bulmasına ön ayak olmuştur. Çeşitli ihtiyaçlar doğrultusunda geliştirilmiş, kullanım yerine göre farklı fonksiyonel özelliklere sahip tekstillerin üretimi sonucu teknik tekstil kavramı ortaya çıkmıştır. “Estetik veya dekoratif özelliklerinden ziyade esasen sahip oldukları teknik ve performans özellikleri için imal edilen tekstil ürünleri” (McIntyre ve Daniels, 1995) olarak tanımlanan teknik tekstiller gün geçtikçe daha fazla uygulama alanı bulmaktadır.

Akıllı materyaller ve yapılar, mekanik, ısı, kimyasal, manyetik ve diğer çevresel kaynaklardan gelen etkileri algılayan ve bunlara tepki gösteren yapılar ve materyaller olarak tanımlanır. Akıllı tekstil materyalleri elektrik iletme özelliklerine, yumuşak tutuma ve sıcak tutma özelliğine sahiptirler.

Teknik tekstillerin ihtiyaçlar doğrultusunda geliştirilen fonksiyonların sonucunda ortaya çıkan ürünler olduğundan bahsederken bu ürünlerin öne çıkan özellikleri dört başlık altında toplanabilir:

- Mekanik özellikler, kendi aralarında mukavemet, takviyelendirme ve elastikiyet olarak üç gruba ayrılmaktadır.
- Değiştirme özellikleri, gözenekli malzemeler olan teknik tekstillerde partikül büyüklüğüne göre geçirgenlik özelliği ile ısı, elektrik vb. iletim veya yalıtımını etkileyerek değişikliklere sebebiyet verirler. bu özellikler filtrasyon, izolasyon ve iletkenlik, drenaj, su geçirmezlik ve emicilik olarak beş grupta toplanmaktadır.
- İnsan sağlığı ile ilgili özellikler, mikroorganizmalara karşı korunma, protez, ameliyat malzemeleri, dokulara uyumlu parçalar veya biyolojik olarak vücutta çözünebilen malzemeler olarak insan sağlığı açısından önemli olan bir çok alanda kullanılan teknik tekstillerde gözlemlenmektedir.
- Koruma özellikleri, çok çeşitlilik göstermektedir. Isıl, mekaniksel ve radyolojik etkilerden korunma sağlanabilir. Başlıca koruma özellikleri; elektrik yalıtımı, UV koruması, NBC (nükleer, biyolojik ve kimyasal) koruması, fosforesan ve flüoresan özellik göstermesi, elektro-manyetik alanlardan koruma olarak sıralanabilir (Özdizdar, 2004)

Akıllı tekstiller, belirlenmiş bir teknik özelliğin iyileştirilmesi prensibi ile geliştirilen teknik tekstillerin yanı sıra herhangi bir etkiyi veya etki değişikliğini algılama ve buna bir tepki verme özelliğine sahip tekstil ürünleridir

Akıllı giysi uygulamaları şunlardır:

- Biyolojik, kimyasal etkileri algılama ve bunlara cevap verme
- Bilgisayardan bilgi ve polimer pilden enerji iletimi
- RF sinyallerinin gönderilmesi ve alınması, kimyasal ve biyolojik kirlenme olduğunda sesle otomatik uyarı sistemi
- Kendini onarma, yüksek mukavemetli lifler ile takviye edilen kumaşlar kişiyi darbeye karşı korumak amacıyla kullanılmakta
- Bariyer tabakaları içeren kumaşlar kişiyi zehirli maddelerden koruyabilir.
- Yer bildirme
- Işık yayma
- Güneş enerjisini depolama ve kullanma
- Optik kamuflaj
- Isıya göre uzayıp kısılma

1.2.1. Akıllı tekstiller ve sınıflandırılmaları

Akıllı tekstiller, teknik tekstiller içerisinde katma değeri en yüksek ve ileri teknoloji kullanılan alanlarından birisidir. Akıllı tekstiller tıbbi tekstiller, koruyucu ve askeri teknik tekstiller, taşımacılık teknik tekstilleri gibi birçok alanın kapsamına giren ancak yüklendikleri işlev ve yapıları itibarıyla ayrı bir kategoride değerlendirilen bir gruptur.

Akıllı tekstiller; tekstil teknolojisi ve sentetik elyaflardaki gelişmelerle birlikte malzeme bilimi, tasarım, elektronik ve bilgisayar mühendisliği, tıp gibi disiplinler arası bir çalışma sonucu ortaya çıkmıştır. Başlangıçta daha ziyade tıp alanı, bebekler, yaşlılar ve özürlüler gibi bakıma muhtaç kişilerle askeriye ve uzay yolcuları için önem taşıyan akıllı tekstiller, son bir kaç yıl içerisinde tekstil ve hazır giyim sektörleri içerisinde önemli bir yer edinmeye başlamıştır. Gelecekte de akıllı tekstillerin değer yönünden tekstil ve hazır giyim sektörünün en önemli bölümünü oluşturacağı tahmin edilmektedir.

Normal tekstil ürünlerinin doğal atmosfer şartlarından koruma ve süsleme özelliklerine ilaveten; akıllı tekstiller, herhangi bir etkiyi veya etki değişikliğini algılama ve buna bir tepki verme özelliğine sahip tekstil ürünleridir. Eğer tekstil ürünü etkiyi veya değişikliği sadece algılıyorsa “pasif akıllı tekstil ürünü”, etkiyi veya etki değişikliğini algılayıp bir de buna tepki veriyorsa, “aktif akıllı tekstil ürünü” denilmektedir (Çoşkun, 2007).

Akıllı tekstiller, basınç, ısı, ışık, kuvvet, kimyasal reaksiyonlar, elektrik, nem, manyetik gibi dışarıdan gelen etkenlerle müdahale edildiğinde, bu uyarıcıları algılayıp tepki veren malzemelerdir. İleri teknoloji ile üretilen teknik tekstil ürünleri, örneğin yanmaz, nefes alan, leke tutmayan, çok dayanıklı kumaşlar vb. teknolojileri ne kadar yüksek olursa olsun, akıllı tekstil ürünleri olarak sınıflandırılmazlar. Akıllı tekstil ürünü olmaları için yukarıda belirtilen etkenlerden birine ya da birkaçına karşı değişim, gösterip tepki verebilmeleri gerekmektedir. (Zhang ve Tao, 2001; Kayacan, 2008; Meriç, 2016).

Günümüzde akıllı materyaller ve akıllı yapılar üzerine yapılan araştırmalar ve geliştirme faaliyetleri savunma sektörü, iletişim, akıllı bina, gibi alanlarda “akıllı ürün” uygulama çalışmalarının artmasında önemli rol oynamıştır (Şahin ve ark., 2005; Kahraman ve ark., 2008). Akıllı ürünler her ne kadar yeni bir yaklaşım olsa da özellikle tekstil sektöründe yapılan çeşitli uygulamalar geliştirilmiştir (Brower, 2001; Cognis, 2005; Kahraman ve ark., 2008). Literatürdeki çalışmalarda akıllı tekstillerin sınıflandırılmaları ile

ilgili çeşitli amaçlar için farklı sınıflandırmalar olduğu görülmüştür. Bunlardan bazıları açıklanmaya çalışılmıştır.

Hohenstein Araştırma Enstitüsü tarafından akıllı tekstiller; Adapte olabilen sistemler, Akıllı giysiler, Aktarıcı sistemler, Transfer sistemleri, Mikro teknoloji, ve Nano teknoloji olarak beş grup olarak sınıflandırılmıştır. (Coşkun, 2007; Erdem İşmal ve Yüksel, 2016; Meriç, 2016).

- Adapte Olabilen Sistemler; kendiliğindenvücuttaki değişen ve çevredeki şartlara adapte olabilen sistemlerdir, bunlar ısı, nem, ışık ve basınçgibi dış etkilere karşı reaksiyon göstermektedirler.
- Transfer Sistemleri; moleküler depolar, mikro kapsüller, veya nano kapsüller ile birleştirilmiş tekstil yüzeylerinin neme, suya, basınca ve ısıya maruz bırakıldığında belirli aktif maddeler yayan sistemlerdir.
- Aktarıcı Sistemler; lazer kodları veya radyo frekans alanları kullanılarak içeriği değiştirilebilen elektronik depo araçlarından oluşan sistemlerdir.
- Akıllı Giysiler; giysiler ile elektronik aksamaları bütünleştiren tekstil temelli iletişim ve bilgi teknolojilerinden oluşan sistemlerdir.
- Nanoteknoloji ve Mikroteknoloji; gözle görünmeyecek nano ve mikro malzemelerin kullanımıyla çok küçük parçaların ve elektronik algılayıcıların tekstil ürünlerine yerleştirilmesiyle yapılan sistemlerdir. Tekstil ürünleriyle elektroniğin birleştirildiği, kontrol, otomatik izleme ve düzenleme yapabilen tekstil ürünleri de elde edilmektedir.

Nano boyutlu malzemeler, alışlagelmiş boyutlarına göre (yani moleküler ve atomik boyutlarına göre) tamamen farklı reaksiyonlar gösterebilmektedir. Nanomalzemeler daha farklı şekillerde veya daha hafif, elektrik ve ısı iletişimine sahiptir. Bu çokküçük boyutlardaki nanomalzemelerin renklerinde de bazı reaksiyonlar sonucu değişimler gözlenebilir ve kimyasal reaktiviteleri normal boyutların dışına çıkabilir (Gürsoy, 2010).

Akıllı tekstiler, gösterdikleri tepkimeye göre 3 ana gruba ayrılmıştır; Çok akıllılar, Aktif akıllılar, Pasif akıllılar , (Zhang ve Tao, 2001; Kayacan, 2008; Meriç, 2016).

- Pasif Akıllı Tekstiller: Yalnızca ortam şartlarını (ısı, ışık, basınç) ve uyarılmaları algılayabilen tekstiller
- Aktif Akıllı Tekstiller: Hem ortam şartlarını hem de uyarılmaları algılayıp tepkiler verebilen tekstiller

- Çok Akıllı Tekstiller: Ortam şartlarını bununla birlikte uyarılmaları algılayıp tepki verip ve kendilerini oluşturan yeni durumlara adapte edebilen tekstillerdir.

1.2.2. Pasif akıllı tekstiller

Akıllı malzemelerde 3 ana bileşen bulunmaktadır. Kontrol birimleri, sensörler ve aktivatörler. Sensörler, gelen sinyalleri algılayan bir sinir ağı gibi çalışmaktadırlar. Bununla birlikte pasif akıllı tekstil yapılarında sensörlerin bulunma zorunluluğu vardır. Bazı akıllı materyaller sadece sensörler gibi tepki göstermektedirler. İletken kumaşlar ile optik lif yerleştirilmiş kumaşlar pasif akıllı tekstil yapılarına model olarak gösterilebilir (Zhang ve Tao, 2001).

Optik lif sensörler, normalin üzerindeki ortam sıcaklıkları, kimyasal-biyolojik silahlar ve toksik maddeler gibi türlü tehditlerin tayin edilmesinde kullanılabilir. Poliüretan diasetilen kopolimeri sıcaklık algılama uygulamalarında termokromatik malzeme olarak kullanılmaktadır. Polianilin polimeri ise foto-kimyasal polimeri olarak kimyasal algılama uygulamalarında kullanılmaktadır. Bu uygulamalar sayesinde algılayıcı sistem yapıları tekstil malzemelerine entegre edilebilmiştir (Kayacan, 2008).

1.2.3. Aktif akıllı malzemeler

Aktif akıllı yapılar, pasif akıllı malzemelerden bir adım önde giderek sensör yapılarını kullanmanın yanı sıra aktivatör olarak adlandırılan yapıları da içermektedirler. Aktivatörler, merkezi bir kontrol birimi tarafından algılanan sinyaller uyarınca görev yapan veya direkt olarak ve belirli mekanizmaları harekete geçirici tesir eden sistemler olarak tanımlanmaktadır. Aktif akıllı tekstil yapılarına; su itici, buhar geçirgen, biyomimetik hafızaya sahip, bukaletimsiz, buhar absorbe eden, ısı üreten kumaşlar, ısı depolayan ve ısı düzenleyen veya elektrikle ısıtılabilir giysiler örnek olarak verilir (Kayacan, 2008; Meriç, 2016).

Yukarıdaki açılardan incelendiğinde akıllı tekstil ürünlerinin üretim tekniklerine göre gruplandırılması yapılmıştır (Norstebo, 2004; Kayacan, 2008)

- Faz değiştiren malzemeler (PCM) elde edilen akıllı tekstiller,
- Biyomimetik hafızalı malzemeler (SMM) elde edilen akıllı tekstiller,
- Kromik materyallerden elde edilen akıllı tekstiller,
- Elektronik / İletken tekstillerden, elyaflardan elde edilen akıllı tekstiller,
- Diğer akıllı kumaşlar/tekstiller

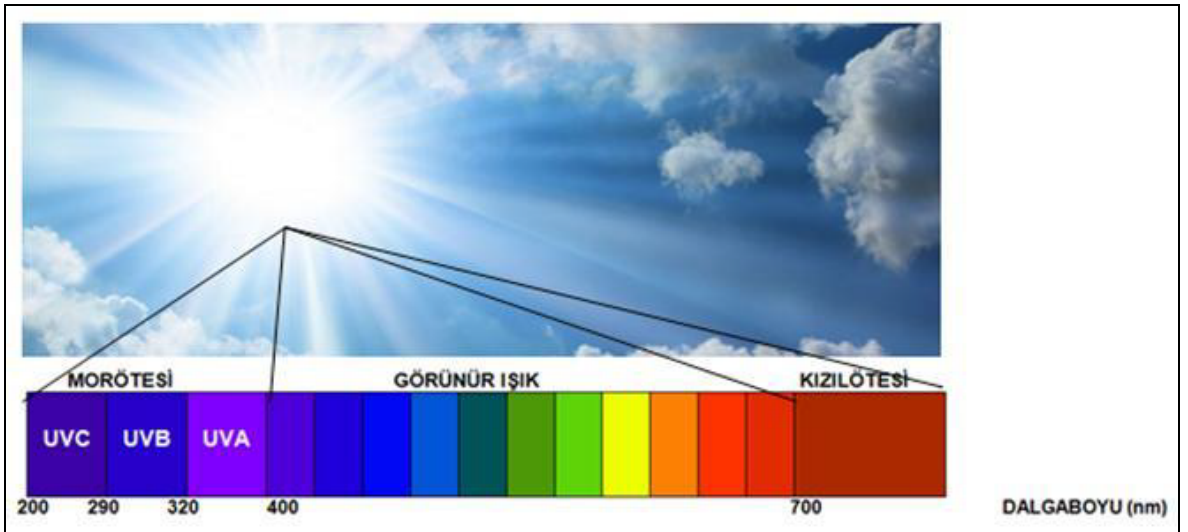
1.2.4. Çok akıllı tekstiller

Tekstil endüstrisinin geleceği olarak adlandırılan çok akıllı tekstil yapıları çevresel ortam şartlarını algılayabilen, içinde bulunduğu duruma göre reaksiyon gösteren ve kendini bu duruma adapte edebilen yapılardır. Çok akıllı tekstil yapıları geleneksel tekstil ve konfeksiyon ürünleriyle yapısal mekanik, malzeme bilimi, iletişim, yapay zeka, sensör-algılayıcı teknolojisi, biyoloji vs. gibi bilim dallarının biraraya gelmesiyle doğmuştur (Kayacan, 2008; Bedeloğlu ve ark., 2010).

Günümüzde günlük yaşamda en çok karşılaşılan akıllı giysiler, ceplerine mobil aygıtlar (MP3 çalar, radyo, telefon vb.) yerleştirilmiş konfeksiyon ürünleridir. Giyilebilen bilgisayarlar ile akıllı tekstil yapılarının birlikte ya da farklı anlamlarda kullanılması da burada ortaya çıkmaktadır. Giyilebilen bilgisayar kavramı, belirli bir işlevi yerine getirebilmek için üretilmiş elektronik sistemlerin hazır giyim ürünleri üzerine monte edilerek taşınabilir hale getirilmesidir (Kayacan, 2008).

1.3. UV Işınları ve Etkileri

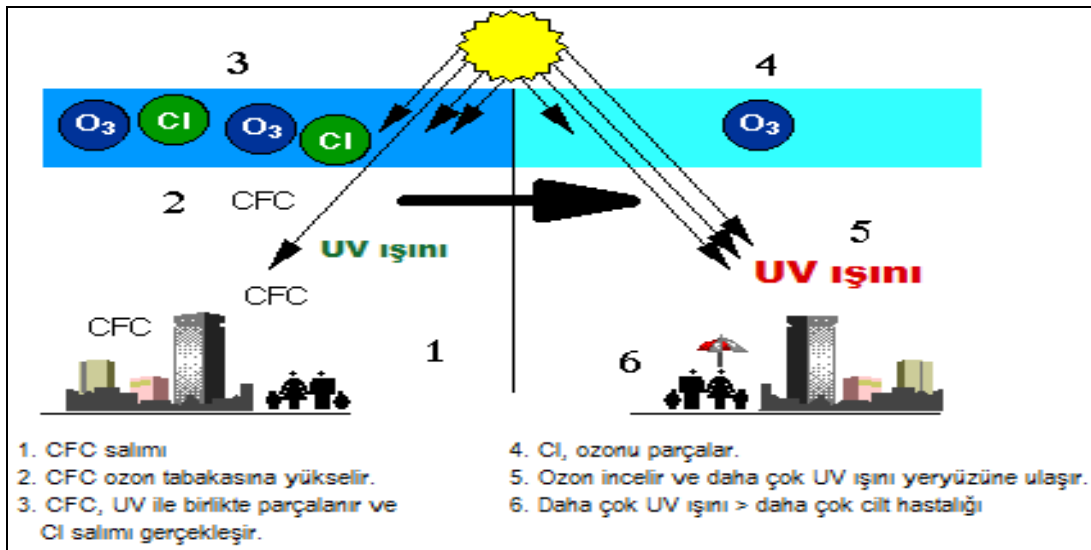
Güneşten yayılan ve yeryüzüne erişebilen ışık enerjisinin bir türü olan UV (mor ötesi) ışınları, 320-400 nm arası UVA, 290-320 nm arası UVB ve 200-290 nm arası ise UVC olmak üzere üç kategoride sınıflandırılmaktadır. Yeryüzüne ulaşan güneş ışınlarının yaklaşık %5'ini UV ışınları oluşturmaktadır. Bunun, % 95-98'i UVA, % 2-5'i UVB'dir, UVC ise yeryüzüne ulaşmadan stratosferik ozon tabakası tarafından emilmektedir (Elsner ve ark., 2007; Dubrovski ve Brezocnik., 2009; Das, 2010; Girard ve ark., 2011).



Şekil 1.1. UV spektrumları ile birlikte elektromanyetik spektrum (Houseman, 2019).

Yeryüzüne ulaşan UV ışınlarının %95-98'ini oluşturan UVA ışını, ozon tabakası tarafından tutulmamaktadır (Dubrovski, 2010). UVA ışınlarının etkisi sabah erken saatlerde ve öğleden sonraki vakitlerde daha şiddetli olmakta ve pencere camından geçebilmektedir. UVB ışınları her ne kadar ozon tabakasında tutuluyor olsa da bir kısmı yeryüzüne ulaşabilmektedir. Yeryüzündeki bir bölgeye ulaşan toplam UVB ışını o bölgenin enlemine ve yükseltisine (kutuplarda maruz kalınan ortalama UVB, ekvatordakinden bin kat daha azdır), bulut örtüsüne ve endüstriyel alana olan yakınlığa (fabrikaların ürettiği dumanlı sis UVB ışınlarını absorblar) bağlıdır. UVB ışını pencere camından geçemez ve daha çok gün ortasında etkilidir (World Health Organization, 2003; Saravanan, 2007; Dubrovski, 2010; Boucher, 2010).

Yeryüzündeki canlılar ozon tabakası sayesinde zararlı UV ışınlarından korunmaktadır. Ancak ozon tabakası kloroflorokarbonlar (CFC), hidroflorokarbonlar gibi insan yapımı kimyasallar ile zarar görmektedir. Bu tip kimyasallar atmosfere karıştığında stratosfer tabakasını geçebilmektedirler. Böylece yoğun UVC ışını ile birlikte parçalanarak klor gazı (Cl) açığa çıkarmaktadırlar. Klor gazı, ozon molekülüne (O_3) etki ederek ozonu, oksijene (O_2) indirgemektedir. Klor gazı, katalizör gibi davranmakta ve bir (1) klor atomu 100.000 ozon molekülünü parçalayabilmektedir. Bu şekilde oluşan reaksiyon sonucu, ozon tabakası incelmekte ve insan sağlığına zararlı güneş ışınları yeryüzüne daha çok ulaşabilmektedir (Dubrovski, 2010). Söz konusu sonsuz döngü Şekil 1.2'de şematize şeklinde açıklanmaya çalışılmıştır. Bu durum göz önüne alındığında, gün geçtikçe artan çevre kirliliği ile birlikte ozon tabakasının ve dolayısı ile insan sağlığının da daha büyük tehlikeye karşı karşıya kaldığı açıkça görülmektedir.



Şekil 1.2. Ozon tabakasının incelmesi.

Ozon tabakasının incelenmesi, son zamanların en ciddi çevre ve yaşam problemlerinden birisi haline gelmiştir. Yapılan son çalışmalarda Yeni Zelanda, Avustralya, Avrupa ve Kuzey Amerika'daki insanların UV ışınlarına maruz kalma oranının arttığı araştırmacılar tarafından belirtilmiştir. Ozon tabakasındaki %1'lik incelve yeryüzüne ulaşan UVB ışın miktarında, %2 artışa neden olmaktadır. Buna bağılı olarak insanların yaşadığı deri kanseri vakalarında %2,3'lük artış görölmektedir (Roy ve ark., 1995; Dubrovski, 2010). UVA, UVB ve UVC ışınlarının insan sağığı üzerine etkileri açısından birbirleri arasında büyük farklılıklar bulunmaktadır. Dalga sayısı uzadıkça, derinin alt tabakalarına giriş miktarı artmakta, buna karşılık kızarıklık (eritem) oluşturma özelliğı azalmaktadır. Buna göre UVA, deriye en derin giriş yapabilen ancak çok yüksek dozlarda uygulandığında kızarıklık oluşturan bir UV ışınıdır (Elsner ve ark., 2007; Dubrovski, 2010; Girard ve ark., 2011).

Basit bir pencere camı 300 nm altındaki ışınların %90'ını engellerken 350 nm civarındaki dalga sayısına sahip UVA ışınlarını geçirmektedir. UVA ışını, kollajen liflerine zarar verip derideki A vitaminini parçalayarak derinin erken yaşlanmasına ve kırışmasına neden olmaktadır. Derinin derin tabakalarına kadar etkili olan UVA ışını tehlikeli güneş yanığına neden olmamakla birlikte derinin bronzlaşmasına neden olmaktadır. Bronzlaşma derinin bir savunma mekanizmasıdır. Kahverengi melanin pigmenti UVA ışınını absorbe ederek zararsız ısı enerjisi halinde dağıtmakta ve deri dokusunu UV ışınının zararlı etkisinden korumaktadır. UVA ışınları oldukça reaktif kimyasal ara ürünler oluşturabilmekte ve DNA yapısına dolaylı da olsa zarar vererek deri kanserine neden olmaktadır (World Health Organization, 2003; Elsner ve ark., 2007; Girard ve ark., 2011).

Genel olarak incelendiğinde ozon tabakasındaki incelve ile birlikte UV ışınlarının yeryüzüne ulaşma oranındaki artışa bağılı olarak özellikle çocukların güneş ışınlarından gördüğü zararlar artmakta ve bu da beraberinde ileriki yaşlarda ortaya çıkabilecek deri hastalıkları riskini arttırmaktadır. Bu nedenle UV ışınlarından korunma yöntemleri daha da önem kazanmaktadır.

1.3.1. UV ışınlarından korunma

UV ışınlarından korunmak için ışık kaynağından (güneş, yapay ışık kaynağı vs.) uzak durulması önerilebilir ancak günümüz sosyal yaşamında bu öneri pratik bir çözüm değildir. Bunun dışında koruyucu kremler ile UV ışınlarından korunma sağlanabilmektedir. Ancak bazı koruyucu kremler sadece UVB ışınlarını engellemekte ve

tam bir koruma sağlayamamaktadır (Scarlett, 2003; Mahltig ve ark., 2005). Ayrıca sık uygulanma gerekliliklerinin yanı sıra koruyucu kremler insan teninde rahatsız edici bir his uyandırmakta ve dış koşullara (rüzgâr, nem, sıcaklık vs.) bağlı olarak bu kremlerin etkileri düşebilmektedir. Bu tip koruyucu kremlerin içerdikleri kimyasallardan dolayı altı aydan küçük bebeklerde kullanımı da önerilmemektedir (Öztürk, 2015).

UV ışınlarından korunmanın en basit ve en pratik yollarından birisi giyinmedir. Kumaşın üzerine direkt ışık düştüğünde, ışınların bir kısmı yansımakta, bir kısmı kumaş tarafından absorblanmakta ve diğer bir kısmı da kumaşın içinden geçmektedir. Bir kumaşın UV ışınlarına karşı ne kadar koruma sağladığını anlayabilmek için kumaştan geçen UV ışınlarının ne kadar olduğunun bilinmesi gerekmektedir.

Bir tekstil ürününün UV ışınlarına karşı sağladığı koruma derecesi “Ultraviyole Koruma Faktörü (UPF)” olarak bilinmektedir. UPF, korunmamış deri için hesaplanan etkili ultraviyole radyasyon (UVR) ışıma ortalamasının, test edilen kumaş ile korunan deri için hesaplanan etkili UVR ışıma ortalamasına oranıdır. Tekstil malzemesinin UPF değeri, tekstilin, altındaki deride kızarıklık oluşturmada, tekstilin giyilmesi süresince koruma süresinin ne kadar uzatılabileceğini göstermektedir (Gambichler ve ark., 2001; Han ve Yu, 2006).

1.3.2. UV koruma özelliklerini etkileyen faktörler

1.3.2.1. Kumaş yapısı

UV ışınlarından koruma faktörü, kumaşın iplikleri tarafından örtülen kumaş yüzeyi ile belirlenen örtme faktörüne bağlı olarak değişmektedir. Kumaşın gözenekliliği, örtme faktörü, ağırlığı, inceliği vb. yapı özellikleri kumaşın UV geçirgenlik özelliklerini etkilemektedir (Dubrovski, 2010; Hoffmann ve ark., 2001; Davis ve ark., 1997; Riva ve Algaba, 2006). Genel olarak kumaşın örtücülüğü yüksek ve buna bağlı olarak gözeneklilik değerinin düşük olduğu durumlarda UV koruma özellikleri iyi derecelerde olmaktadır.

1.3.2.2. Lif cinsi

Her lifin kendisine özgü UV geçirgenlik davranışı bulunmaktadır. Poliester ve yün kumaşların UV absorpsiyon özelliklerinin iyi olmasına karşın yazlık giysilerde kullanımı uygun değildir. Yazlık giysilerde rahatlığı sebebiyle tercih edilen pamuklu kumaşların ise UV korumaları yeterli seviyede değildir. Doğal liflerde en iyi koruma yün ile sağlanırken yünü sırası ile ipek, keten ve pamuk izlemektedir. Bunun yanı sıra ham pamuklu kumaş,

içerdiği pektin, yağ, mum vb. maddeler nedeniyle ağartılmış pamuklu kumaşa göre daha yüksek UV koruma göstermektedir. Ayrıca sentetik lifler doğal liflere nazaran daha iyi UV koruma sağlamaktadır. Aromatik yapısı nedeniyle UV korumada poliester en yüksek korumayı sağlayan liflerdendir (Davis ve ark., 1997; Riva ve Algaba, 2006).

1.3.2.3. Life yapılan katkılar

Life yapılan katkılar ile UV koruyuculuğun geliştirilmesi genellikle sentetik liflerde uygulanmaktadır. Bu amaçla çinkooksit (ZnO), titanyumdioksit (TiO₂) gibi maddeler kullanılmaktadır. Polimer üretimi sırasında mikro pigmentler polimer matriksi içerisine yerleştirilmekte ve UV koruma etkisi sağlanmaktadır. Pigment içeriğine bağlı olarak absorpsiyon zayıftan çok güçlüye kadar değişebilmektedir. Bu tür katkı maddeleri ayrıca tekstil malzeme yüzeyine uygulanarak da UV koruma sağlanmaktadır (Han ve Yu, 2006; Kathirvelu ve ark., 2009; Sundaresan ve ark., 2011).

1.3.2.4. UV absorbanlar

Günümüzde UV korumayı arttırmak için tercih edilen yöntemlerden birisi de UV absorbanların tekstil malzemelerinde kullanımıdır. Liflere UV absorbe edebilen maddeler aktararak, UV geçirgenlik değerlerini düşürmek yani liflerin absorpsiyon ve refleksiyon özelliklerini iyileştirmek mümkündür. UV absorbanlar, UV ışınlarını seçimli olarak absorbe ederek ısıya dönüştürmektedirler. Ancak bu tip ürünler tek başlarına tüm UV spekturumunda absorpsiyon yapamamalarından dolayı tam bir koruma sağlamamaktadır (Crews ve Reagan, 1987; Mahltig ve ark., 2005).

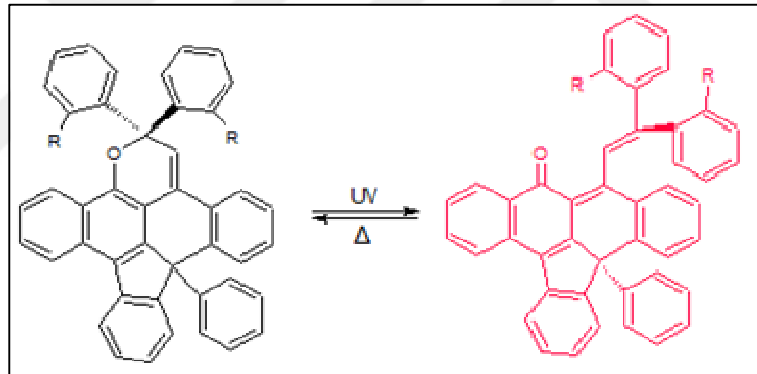
1.3.2.5. Boyalar

Boyama, baskı gibi işlemler gören tekstil malzemelerinin UV ışınlarına karşı davranışları da dâhil olmak üzere spektroskopik özellikleri değişmektedir. Genellikle boyalar kumaşların UV absorpsiyonunu yükseltmekle birlikte kullanılan boyanın miktarına ve yapısına bağlı olarak kumaşların UV koruma özellikleri gelişmektedir. Boyalı kumaşların UV koruma etkisi koyu tonlardan açık tonlara doğru gittikçe düşmektedir. Boyaların çoğu yapısına bağlı olarak görülebilen spektruma ek olarak UV aralığında da absorpsiyon yapabilmektedir (Dubrovski ve Golob, 2009; Davis ve ark., 1997; Grifoni ve ark., 2011). Ancak geleneksel boyalar daha çok görünür bölgedeki ışınları absorbe ederek renklilik sağlamaktadır. UV ışınlarını absorbe ederek renk değiştirebilen boyalar olarak bilinen fotokromik boyaların fonksiyonel tekstil malzemelerinin elde edilmesinde kullanımı ise ilgi çekici olmaktadır.

UV koruyucu tekstil malzemeleri ile ilgili yapılan daha önceki çalışmalarda, kullanılan lif cinsi, kumaş yapısı, dokuma sıklığı, nem içeriği, kullanılan boyanın tipi ve konsantrasyonu, UV absorban maddelerinin varlığı gibi faktörlerin UV geçirgenliğine etkileri incelenmiştir. Ancak fotokromik boyaların UV koruyucu tekstil malzemelerinin geliştirilmesi konusunda kapsamlı bir çalışmaya literatürde rastlanmamıştır. Bu nedenle bu çalışma kapsamında oluşturulan UV koruyucu tekstil malzemelerinde fotokromik boyaların kullanım olanakları araştırılmıştır.

1.4. Fotokromik Boyarmaddeler

Genel olarak fotokromik boyalar karanlık bir ortamda renksiz durumdadırlar ve güneş ışığı ya da UV ışını uygulandığında malzemenin moleküler yapısı değişerek renklenmektedir. İlgili ışık kaynağı uzaklaştırıldığında ise renk kaybolmaktadır (Şekil 1.3) (Bouas-Laurent ve Dürr, 2001; Bamfield, 2001; Crano ve Guglielmetti, 2002; Corns ve ark., 2009; Dawson, 2010;).



Şekil 1.3. Fotokromik boyanın UV ışık etkisi ile tersinir renk değişimi (Sousa ve ark., 2015).

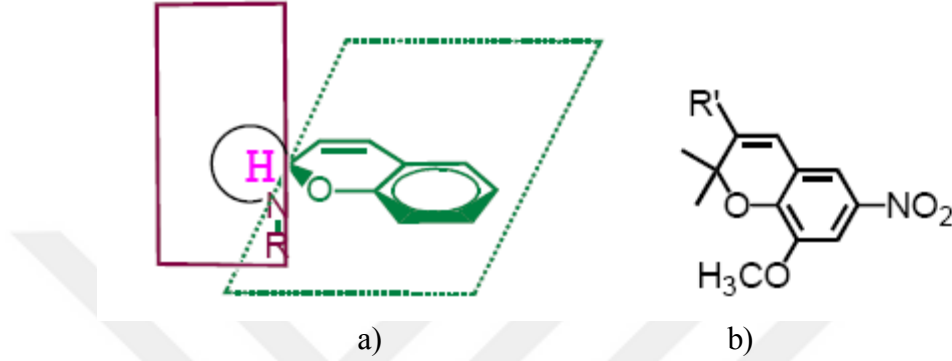
1.4.1. Fotokromik Bileşikler

Fotokromizm bileşiğin UV ışını altında tersinir olarak renk değişimidir. Bu fenomen için kullanılan malzemeler genel olarak iki ayrı sınıfta toplanabilir (Menning ve ark; 1996). Metal bileşikleri özellikle geçiş metallerinin bazı bileşikleri fotoelektriksensör, yüksek yoğunlukta hafıza aygıtları gibi teknolojik uygulama potansiyeline sahip olmalarından dolayı büyük ilgi görmektedirler. Dolayısıyla, bu uygulamalaramacıyla WO₃, MoO₃, V₂O₅ gibi birçok geçiş metal oksitleri araştırılmakta ve uygulamaya yönelik çalışmalar yapılmaktadır (Feng ve ark, 2006).

Fotokromik etki amacıyla kullanılan diğer yapılar ise spiropirazin, spiropiran, diarylethen, chromen olarak adlandırılan organik boyalardır.

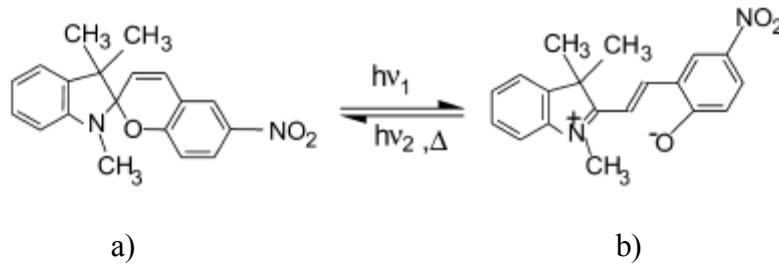
1.4.1.1. Spiropiran Yapısı

Spiropiran yapısı, organik fotokromiklerin ticari amaçlı kullanılan en eski ve neredeyse en çok çalışılan sınıfı içinde yer alır. İlk sentezlenmeleri 1951 yılına dayanır. Spiropiran yapısındaki 'piran' 2H-1-benzopiran yapısını temsil etmektedir, genel olarak tüm yapı heterosiklik ikinci halka sistemine sahip süstituentin halka yapısındaki 2-karbon atomuna bağlı olmasıyla oluşur, bileşiğin genel yapısı Şekil 1.4'te verilmiştir (Mehl, 2003).



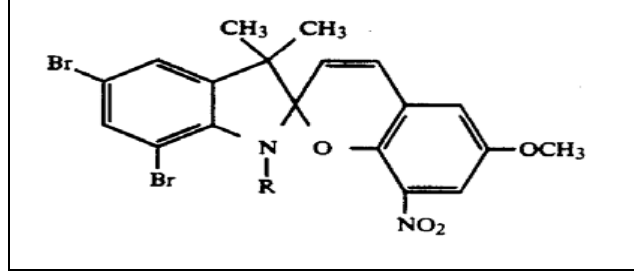
Şekil 1.4. Fotokromik spiropiran bileşiğindeki yapılar; (a) heterosiklik ve (b) piran yapısı

Fotokromik etki gösteren ve fotokromik yapı ailesinin en eski üyelerinden biri olan spiropiran genel olarak Şekil 1.5'deki (a) yapısındadır, UV ışınması sonucu C-O bandındaki açılma sonucu (b) merosiyanin adlı yapıya dönüşür ve renkli hal alır. Proses termal olarak ya da görünür ışın altında ışıma sonucunda tersinir olarak eski haline geri döner, yapının ışıma sonucu fotokromik dönüşümü Şekil 1.5'de verilmiştir. (Zhang ve Feng, 2002)



Şekil 1.5. Spiropiran yapısının UV ışınması sonucu renk değişimi ile fotokromik etkiyi göstermesi, (a) Işımadan önce spiropiran yapısı, (b) UV ışınmasından sonra oluşan renkli merosiyanin yapısı (Ayçam ve Utkutuğ, 1999)

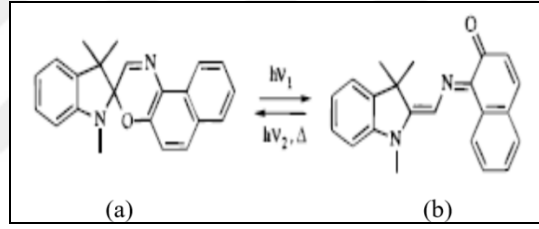
Spiropiran yapısının fotokromik etkiyi gösterebilmesi için UV ışınması 340 nm'de gerçekleşir merosiyanin adlı yapıya dönüşerek kırmızı renk halini alır, tersinir reaksiyon spiropiran yapısına dönüş ise 580 nm'de görünür ışın altında gerçekleşir. Spiropiran yapısı genel olarak Şekil 1.6'da gösterilen yapıya sahiptir, burada R; 1-30 karbon atomuna kadar değişen alkil grubunu temsil etmektedir (Shah ve Grumblin, 1989)



Şekil 1.6. Spiropiran yapısının genel gösterimi

1.4.1.2. Spirooksazin yapısı

İlk fotokromik spirooksazin yapısı 1970 yılında sentezlenmiştir. Bu yapı katı halde ve solüsyon halinde fotokromik özellik gösterebilir. Fotokromik yapı UV ışıması altında mavi renge döner, ışık kaynağının ortadan kaldırılmasıyla renksiz halini alır. Fotokromik etkinin oluşması için gereken dalga sayısı aralığı 315–380 nm ve tersinir reaksiyonun gerçekleşerek malzemenin orijinal haline dönmesi için gerekli görünür ışın dalga sayısı aralığı 600 nm’dir. Spirooksazin yapısında UV ışıması altında C-O bağı açılır ve açık yapıdaki merosiyanin yapı oluşur, yapı oluşumu Şekil 1.7’de gösterilmiştir.

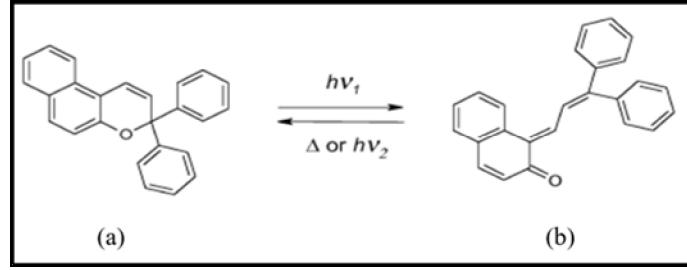


Şekil 1.7. Spirooksazin yapısının UV ışıması ile fotokromik etkiye dönüşümü (a) ve görünür ışın ile tersinir olarak eski halini alması (b) (Crano ve Grumbling, 1989)

Spirooksazin yapılarının fotokromik mekanizmaları spiropiran yapılarına benzer şekilde gerçekleşir, ancak spirooksazin yapısı fotokimyasal bozunmaya karşı daha dirençlidir, bu nedenle daha kararlı yapıdadır. Bu özelliğinden dolayı uygulanabilirlik açısından daha uygundur ve ticari alanda kullanımı daha fazladır.

1.4.1.3. Chromen yapısı

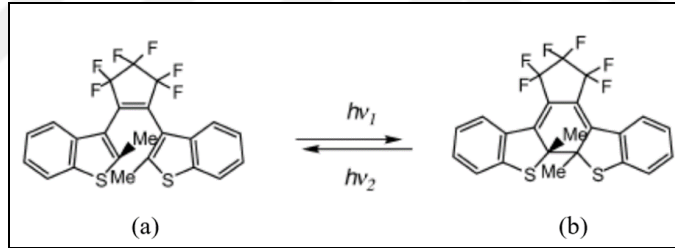
Bu yapı gerçekte spiropiran yapısına benzerdir ve chromens adı genelde benzopyran ve diğer sınıftaki organik boyalar için kullanılır. Yapı genel itibariyle özellikle oksidasyon, fotodegradasyon gibi istenmeyen reaksiyonlara karşı dirençlidir. Şekil 1.8’de görüldüğü gibi UV ışıması sonucu yapıdaki değişimlerle renksiz halden renkli hale geçiş gerçekleşir (Crano ve Grumbling, 1989).



Şekil 1.8. Chromen yapısının UV ışınması ile (a) renkli ve (b) renksiz hale dönüşümü (Crano ve Grumbling, 1989).

1.4.1.4. Diarylethen yapısı

Fotokromik organik yapılardan biri olan Diarylethen, iki aromatik grubu çift bağ ile bağlanmasından oluşur. Bu malzemeler tasarlanabilir, bu nedenle renkli ve renksiz halleri kararlı yapılardır. Diğer bir ifadeyle renkli ve renksiz hal arasında değiştirilebilirler. Diğer avantajları; bu malzemeler kimyasal olarak sağlam yapılardır, kimyasal yapısı ve buna bağlı olarak maksimum absorpsiyonu kolayca modifiye edilebilir. Bu özelliklerinden dolayı diarylethen sınıfı yoğun olarak en çok araştırılan fotokromik malzemelerden biridir. Diarylethen yapısının kimyasal değişim süreci Şekil 1.9’da verilmiştir (Mehl, 2003).



Şekil 1.9. Diarylethen yapısının fotokromik etkiye bağlı olarak değişimi, (a) Işımadan önceki yapı ve (b) ışımadan sonraki yapı (Mehl, 2003).

1.4.2. Fotokromizm

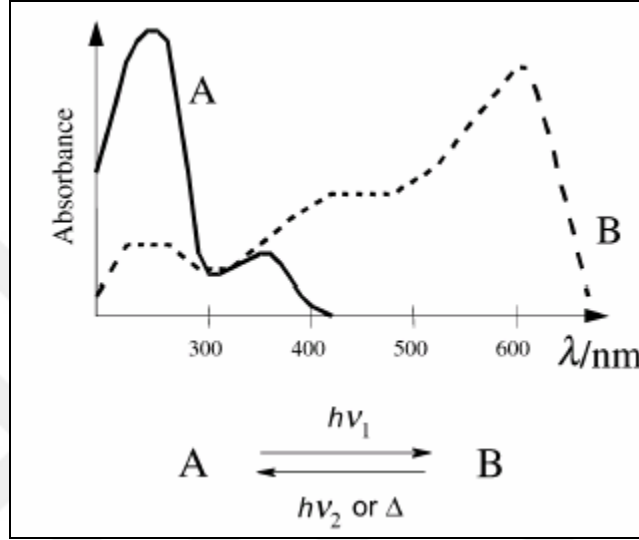
Fotokromizm kısaca rengin ışığa duyarlı (UV) tersinir değişimi olarak tanımlanabilir (Organik Fotokromizm, 2001). Fotokromizm ismi birçok insan tarafından bilinmeye başlanmıştır çünkü insanlar güneş ışığı altında koyulaşan ve gözü zararlı ışınlarla karşı koruyan, gölgede de (güneş ışığı etkisi kalkınca) normal, renksiz yapıya geri dönen fotokromik camlı gözlükleri günlük hayatlarında kullanmaktadırlar. İlk ticari camlar inorganik tuzlardan (özellikle gümüş) hazırlanmış cam lensler olmuştur. Son yıllarda organik fotokromik lensler dünya pazarlarında önemli bir paya sahip olmuştur.

Bazı kimyasal özellikler tersinir fotokromik reaksiyonların etkisi altında, değişken optik geçişlerin varlığında oluşur ve tersinir fiziksel bir görünüm içerirler. Örneğin optik hafızalar ve optik değişkenler, değişken elektriksel akım, membranlar arası iyon transferi

vb. Organik fotokromik bileşikler sık sık polimerlerin, sıvı kristalinlerin veya diğer matrikslerin yapısını içerirler.

1.4.2.1. Genel tanımlar ve kavramlar

Fotokromizm bir kimyasal yapının iki formu arasında elektromagnetik ışınının absorplanması sonucu oluşan tek veya çift yönlü tersinir değişimdir. Oluşan A ve B yapıları farklı absorpsiyon spektrumlarına sahiptirler (Laurent, 2001).



Şekil 1.10.Fotokromizm sonucu oluşan iki farklı yapının absorpsiyon spektrumları (Laurent, 2001).

Termodinamiksel olarak kararlı olan A formu, ışınla uyarılmanın etkisisonucu B yapısına dönmektedir. A ile B yapısı arasında ters reaksiyon, termal veya fotokimyasal olarak meydana gelir. En yaygın organik fotokromik sistemler ise unimoleküler reaksiyonları da içerir. Enyaygın fotokromik moleküller, renksiz veya soluk sarı renkli A yapısına ve renkli bir B yapısına sahiptir (kırmızı, mavi gibi). Bu olağanüstürenk değişimi pozitif fotokromizmolarak adlandırılır. Diğer sistemler bimoleküllerdir. Bunlar da foto halka katılmareaksiyonları içerirler. $\lambda_{\max} (A) > \lambda_{\max} (B)$ olduğunda fotokromizm negatif veya ters yöndedir.

Katı fotokromik spiropiranlar veya çözeltileri (etanol, toluen, eter, keton, ester'deki) renksiz veya çok hafif renklidir. UV ışının etkisi altında renkli yapıyadönerler. Renkli çözeltiler ısıtılarak orijinal renklerine dönerler. Ne olursa olsun UV ışın etkisi kalkınca (görünür ışık altında) eski renklerine dönerler. Birkaç spiropiran molekülü negatif fotokromizm gösterir. Bu moleküller karanlıkta renklidirler ve UV ışığı etkisiyle renkleri

kaybolur. Birçok spiropiran molekülü aynı zamanda termokromiktir ve renkli yapılarının spektrumu, fotokimyasal yöntemle oluşanların yapıları ile özdeşir.

Fotokromik malzemeler yaygın kullanım alanlarına sahiptirler. Bunlargaenel olarak; güneş gözlükleri üretimi, bilgi depolama aygıtları, sensor üretimi, ısıtasarrufu sağlayan akıllı camlar, tekstil sanayi ve kozmetik sanayi olarak sıralanabilir (Mehl, 2003).

1.4.2.2. Fotokromik Etki Parametreleri

Fotokromizm, farklı absorpsiyon spektrallarına sahip bu nedenle farklı renkler gösteren iki hal arasında kimyasal parçacığın tersinir olarak değiştiğikimyasal bir prosestir. Bir yöndeki değişim UV ışınması gibi elektromagnetik radyasyon altında diğeri ise ışık kaynağının ortamdanda uzaklaştırılması ya datermal olarak geri dönüşümdür. Fotokromik malzeme;

- Renk Oluşumu: Malzeme UV ışınması ile hızlı bir biçimde renk oluşumu göstermelidir.
- Renksiz Hale Dönüşümünün Kontrol Edilmesi: Reaksiyon sonucu geri dönüşümde renksiz hale geçişin kontrol edilebilir olması gerekir.
- Geniş Renk Aralığı: Malzeme görünür spektrum boyunca geniş bir renk aralığı sağlamalıdır.
- Uzun Ömür: Renklenme döngülerinde ortaya çıkan tepki sabit olmalıdır.
- Orijinal Hale Dönüş: Malzeme tersinir reaksiyon sonucu orijinal haline döndüğünde olabildiğince az renkli ya da tercihen renksiz olmalıdır (Bamfield, 2001).

1.4.2.2.1. Verimlilik

Verim genel olarak absorbe edilen ışık miktarına bağlı olarak fotokromik değişim etkinliğidir. Verim, fotokromik parametrelerin geneline bağlı olarak değişir (Atay, 2008).

1.4.2.2.2. Bozunma direnci

Fotokromik malzemeler, oksidasyon, kimyasal bozunma ve gerçekleşen bazı yan reaksiyonlar nedeniyle bir miktar geri dönüşümlülüğünü kaybeder. Bütün fotokromik malzemeler zamanla bu bozunmayı gösterir ve bozunma oranı malzeme ve ışık kaynağının özelliklerine göre değişmektedir. Örneğin; bazı tek kristal malzemeler 100 °C sıcaklıkta kararlı haldedir ve 105 °C'den fazla dönüşüm gerçekleştirebilirler. Fakat foto izomerleşme reaksiyonu esnasında yüzeyin yeniden oluşumundaki fiziksel tahribat ile dönüşüm 104 °C değerinin altına düşebilmektedir (Atay, 2008).

1.4.2.2.3. Okuma sayısı

Özellikle hafıza aygıtlarında örneğin; ROM gibi yalnızca okunabilen hafıza aygıtlarında sürekli ışımada okunabilme sayısı yararlı bir parametredir. Okuma süresinin yaklaşık 10 µs olduğu varsayıldığında, hafıza cihazında her gün ortalama 8x10⁹ kez okuma yapılabilir (Laurent ve Dürr, 2001).

1.4.2.2.4. Yarı ömür

Bir dönüşüm esnasında; termal ağarma geri dönüşüm reaksiyonunun, belli renkli durumun bir dalga boyundaki absorpsiyon değeri yarıya düşmesi için gereken süredir (Atay, 2008).

1.4.2.2.5. Dönüşüm sayısı

Belirli şartlar altında (çözelti, matris, konsantrasyon, sıcaklık) sistemin gerçekleştirebildiği dönüşüm sayısı önemli bir parametredir. Bir dönüşümde A adı verilen bileşik ışımaya ile B'ye dönüşür, sonrasında termal ya da fotokimyasal olarak tersinir reaksiyonla A yapısına geri döner. İdeal olarak bu iki reaksiyonun verimi nicel bir veridir, bir dönüşüm esnasında bozunma derecesi x ile gösterildiğinde, bozunmadan kalan kısım y ve dönüşüm sayısı n olacaktır, buna göre;

$$y = (1-x)^n \quad (1.1)$$

Çok küçük x değerinde ve büyük n değerinde bu denklem şu şekilde ifade edilebilir;

$$y = 1-nx \quad (1.2)$$

Böylelikle, x = 0.001 olduğunda verim, %99.9 olmakta ve 103 dönüşümden sonra A maddesinin %63'ü kaybolmaktadır, 104 kez dönüşümden sonra ise A maddesi tamamen yok olur (Atay, 2008).

1.4.2.3. Tekstil üretiminde fotokromizmin kullanımı

Uzun yıllardan beri yapılan araştırma, geliştirme ve tüketici taleplerine daha iyi cevap verebilmek adına ortamın sıcaklığına ve çevresel faktörlere bağlı olarak renk değiştiren tekstiller üretilmiştir. İnsan vücudunun sıcaklığı ve ultraviyole ışınların etkisine bağlı olarak renk değiştiren bu giysilerin elde edilmesinde çeşitli özel materyaller ve bunlara uygun yöntemler geliştirilmiştir. Bu amaçla ortamın sıcaklığına bağlı olarak renk değiştiren termokromik ve ultraviyole ışınların etkisine bağlı olarak renk değiştiren

fotokromik boyarmaddeler kullanılmaktadır. Her iki sistemde de fizikokimyasal ve kimyasal işlemler kullanılarak, mikrokapsülasyon yöntemi ile üretilmekte olup, bu sistemlerin gelişmesi ile daha geniş kullanma alanına sahip olacağı düşünülmektedir. Gerek termokromik gerekse fotokromik sistemlerde mikrokapsüllenen boyarmaddelerin yıkama ömürleri sınırlı olup genelde 20 yıkamanın üstündedir. Ancak aşırı yıkama ve çok yüksek sıcaklıklar da bu yıkamasayısı daha da düşmektedir (Atay, 2008; Aldib ve Christie, 2011).

Kullanılan mikro kapsüller camdan yapılmış, 3–4 mm çapında olup zarf şeklindedir. Ortamın sıcaklığına duyarlı boyarmaddeler ile homojen olarak permanent (kalıcı) yapıştırıcılar ya da reçineler ile kumaş yüzeyin aplane edilir. Camdan yapılmış bu mikrokapsüllerin içine boyar madde, kromofor grup (elektron alıcı-verici) ve renk nötrleyici (alkol vb.) gruplar bulunur. Tüm boyarmaddelerin etkisi ile materyalin hangi tepkimeye gireceği, ortaya çıkacak renk ve ortamın sıcaklığına bağlı olarak değişir. Bu şekilde renk değiştiren tekstiller beyazdan maviye doğru ultraviyole dalga boyunda 350–400 nm aralığındadır (Atay, 2008; Little ve Christie, 2010b).

1.5. Poliüretan Polimeri

Poliüretan kauçuğun elastikliği ile metallerin sertlik ve dayanımını birleştiren üstün bir malzemedir. Termoplastik PU mühendislik uygulamaları için gerekli olan kauçuk ve plastiğin aşınma dayanımına, kimyasal dayanımına ve mekanik özelliklerine sahip olduğu için büyük ölçüde dikkat çekmektedir (Lee, 2005). Poliüretan, katkı maddesi olarak kullanıldığında tokluk ve dayanımı iyileştirir.

Bütün elastan elyafların yapısında gevşek (amorf) yapı oranı yüksektir. Elastan filamentlerinin yaklaşık % 85’lik oranını bu gevşek yapı oluşturur. Katı yapı ve gevşek yapı arası bağlantılar mevcuttur. Örneğin bir uzamaya maruz kaldığında gevşek yapı giderek kristalize olur ve düzgünlük artar. Filamentte sonradan meydana gelen kristalizasyon, serbest kaldığında tekrar yok olur (Kul, 2005).

Poliüretan elyafı; makromolekül zincirleri, fonksiyonel üretan gruplarının bir tekrarı şeklinde olan lineer makromoleküllerden oluşan elyaf çeşididir. Poliüretan makromoleküllerinin esneklik ve dayanıklılık özelliklerini artırmak için, yeterli esnekliği sağlayabilecek yumuşak ve sert karakterli segmentlerin oluşması sağlanmıştır. Böylece;

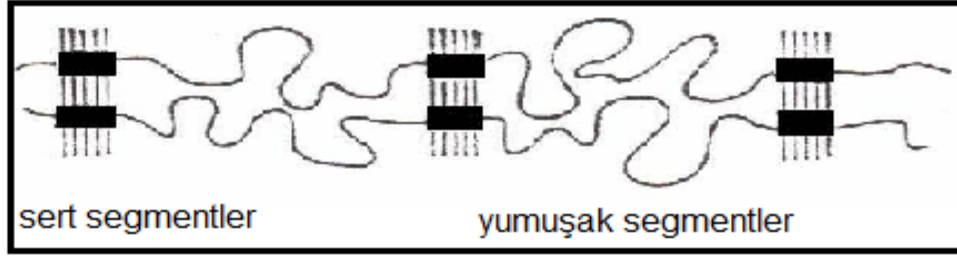
poliüretan lifinin uzama yeteneği artırılırken makromoleküller arasındaki bağların dayanma gücü de artırılmıştır (Yakartepe ve Yakartepe, 1995).

Poliüretanın moleküler yapısı; uzun, hareketli gevşek kısımlar ile kısa ve sert kısımlardan oluşmaktadır (Şekil 1.11). Yapıdaki gevşek kısımlar; reaksiyonlar sırasında kullanılan yüksek molekül ağırlıklı polioller (polieter ya da poliester) tarafından oluşturulmaktadır. Gevşek (yumuşak) segmentler oda sıcaklığında neredeyse sıvı formdadırlar. Bu hal, yumuşak segmentlerin yüksek hareketliliğini garanti ederek, üretilen elastan lifinin yüksek derecede esnek olmasını sağlamaktadır (Kul, 2005).

Yapıdaki izosiyanat tabanlı sert kısımlar üretan gruplarını içermektedir. Bu segmentlerin yapısını ise diizosiyanat ve zincir uzatıcısı olarak kullanılan etilen daimin belirlemektedir. Sert segmentler, elastan lifinin sağlamlık, sertlik, termoplastiklik ve ısıya dayanıklılık özelliklerini oluşturmaktadır. Gevşek segmentleri oluşturan poliollerin kimyasal yapıları (poliester ya da polieter oluşu) ve molekül büyüklükleri, üretiminde kullandıkları poliüretanların soğuk ya da ısıya dayanıklılık, hidroliz stabilitesi, çözücüler karşısındaki dayanıklılık gibi özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle gevşek segmentleri oluşturanın polyester veya polieter oluşuna göre elastan liflerini poliester ve polieter tipi olarak iki gruba ayırmak mümkündür (Kul, 2005).

Polieter tipi elastan lifler; tekstilde uygulanan alkali ağartma, boyama gibi muamelelere karşı dayanıklı iken, poliester tipi olanlar hassastırlar. Fakat; poliester tipi elastanlar, polieter tipi elastanlara nazaran kuru temizlemede kullanılan kimyasallara karşı daha fazla dirençlidirler. Poliester tipi elastan lifler, polieter tipi poliüretan elyaflarından daha karmaşık bir yapıda olup Vyrene ticari adı ile bilinmektedir. Bu lifler bazlardan kolaylıkla etkilenirler ve ester grupları hidroliz olur. Bu liflerden üretilen mamullere poliklor etilen ile kuru temizleme yapılabilir.

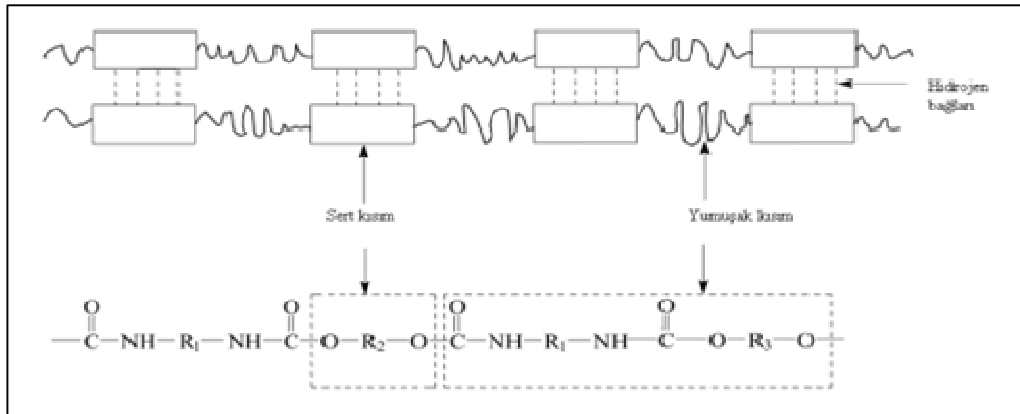
Her iki poliüretan elyafında üretan grubunun aromatik halka içeren fenil metil grupları lif yapısında kristalin bölgeyi oluşturmaktadır. Bu gruplar kimyasal bakımdan inerttir ve polimerin stabilliğini sağlar. Elyaf yapısındaki polietilen glikol grupları ise amorf bölgeleri oluşturmaktadır. Bunlar lineer fakat değişik yönere yönelmiş durumdadır.



Şekil 1.11 Serbest haldeki elastan lifi molekülleri (Akçan, 2001)

Termoplastik poliüretan yapısı, sert ve yumuşak kısımların uyumsuzluğu sebebiyle mikrofaz ayrımına maruz kalır. Poliüretanın yapısında yumuşak kısmın içinde dağılmış sert kısımlar ve iki kısım arasında oluşmuş üretan bağları vardır. Yumuşak kısım matrisinde sert kısım çapraz bağlayıcı gibi davranır. Faz ayrımı için ise başlıca itici güç üretan bağlarının güçlü moleküller arası etkileşimidir. Bu üretan bağları moleküller arasında hidrojen bağları oluşturur. Üretan bağlarının güçlü moleküller arası etkileşimi sayesinde sert kısım yumuşak kısmın içinde dağılmış haldedir. Hatta yumuşak kısmın içinde çözülmüş halde sert kısımlar vardır. Bu da üretanın NH grubu ile ester ya da eter bağlarının oksijeni arasındaki hidrojen bağının kanıtıdır (Şekil 1.12). Kısa zincirli diol ve izosiyanatlarla hazırlanan poliüretanlar yüksek miktarda üretan bağlarına sahiptir. Bu sebeple $-NH$ ve $C=O$ grupları arasındaki hidrojen bağlarının sayısı fazladır. Uzun zincirli poliol ve izosiyanattan oluşan polimerde üretan bağ sayısı azdır, sertlik ve mukavemeti düşüktür.

Termoplastik poliüretanlar, poliol izosiyanat ve zincir uzatıcının reaksiyonu sonucu oluşan yüksek molekül ağırlıklı polimerlerdir. Elastomerin özelliği poliol tipine, molekül ağırlığına ve yumuşak ve sert kısmın oranına göre belirlenir (Sen, 2001; Njuguana ve Pielichowski, 2004).



Şekil 1.12 Poliüretanın şematik gösterimi (Njuguana ve Pielichowski, 2004).

Elastan liflerinde gerildikten sonra tekrar ilk durumuna geri dönme gücü çok yüksektir. Yani, herhangi bir şekilde uzatıldığı, esnetildiği zaman ilk haline dönmeye çok meyillidir. Bu özellik Lycra gibi elastik olan bütün elyaf ve ipliklerin karakteristik özelliğidir. Bütün elastan elyafların yapısında gevşek (amorf) yapı oranı yüksektir. Elastan filamentlerinin yaklaşık % 85’lik oranını bu gevşek yapı oluşturur. Katı yapı ve gevşek yapı arası bağlantılar mevcuttur. Örneğin bir uzamaya maruz kaldığında gevşek yapı giderek kristalize olur ve düzgünlük artar. Filamentte sonradan meydana gelen kristalizasyon, serbest kaldığında tekrar yok olur (Yakartepe ve Yakartepe, 1995)

1.5.1. Poliüretan liflerin üretimi

Yüksek uzama kabiliyetine sahip lif çeşitleri elastomer lifleri olarak tanımlanabilir. Elastomerik lifleri tarihsel gelişimleri ile de ilişkili olarak, kauçuk (tabii ve suni), Anidex (çapraz bağlanmış poliakrilat) lifler ve poliüretan esaslı elastomerik lifler şeklinde üç grup altında incelemek mümkündür. Özellikle poliüretan esaslı elastomerik lif, son yıllarda aşırı önem kazanmıştır.

Uluslararası sözleşmelere göre “Elastan Lif” olarak adlandırılan poliüretan elastomer elyafın sadece esnekliği yüksek olmayıp, aynı zamanda yırtılma direnci de çok yüksektir. Poliüretan lifleri, doğal kauçuk liflerinden daha üstün esneklik özelliğine sahiptir. Uzunluğunun % 800’ü oranında uzama gösterebilir. Bunun yanında; poliüretan elyafının boya alması, kimyasal kararlılığı ve aşınmaya karşı mukavemeti daha iyidir. Bu avantajlarından dolayı poliüretan elyafı günümüzde doğal kauçuğun yerine kullanılmaktadır (Akçan, 2001).

Poliüretan esaslı elastomerik lif sentezinin esası, 1937 yılında Otto Bayer, H.Rinke ve arkadaşları tarafından geliştirilen diizosiyanat-poliadisyon prosesine dayanmaktadır. Endüstriyel anlamda ilk poliüretan esaslı elastomerik lif üretimi, J.C.Shvers ve arkadaşları Dupont firması firması araştırma bölümlerinde kuru çekim prosesiyle gerçekleştirilmiştir. DuPont firması bu geliştirdiği poliüretan esaslı multi filament yapıdaki elastomerik elyafı Lycra adı altında 1962 yılından beri üretmeye devam etmektedir. Amerikan Federal Ticaret Komisyonu’nun yaptığı tanımlamaya göre yapısında en az %85 oranında bölünmüş poliüretan bulunan sentetik polimerizasyon zincirlerine “Spandex” adı verilmektedir. Avrupa’da ise poliüretan esaslı elastomerik liflerin genel adı olarak “Elastan” adıyla kullanıldığı görülmektedir (Akçan, 2001).

Endüstride poliüretan üretimi çok adımlı bir prosestir. İlk adımda basit lineer poliüretan; glikol ve diizosiyanat bileşiklerinin poliadisyon (katılma) prosesi ile elde edilir. Müteakip adımlarda ise; bölümlenmiş blok poliüretan yapısının oluşumu ve zincir uzaması gerçekleşmektedir. Daha önce bahsedilen gevşek-sert segmentler oluşması ve üretanların birbirlerine bağlanmaları genellikle organik bir çözücü (dimetilformamid – DMF ya da Dimetil asetamid - DMAc) içerisinde gerçekleşmektedir (Atış, 2001).

Elastomerik poliüretan üretiminde eğer polimer lineer ise eriyikten, eğer polimer çözücüde çözülmüş ise kuru çekim ve yaş çekim olarak çözeltiden, eğer polimer lineer değil de çapraz bağlar polimerizasyon işlemi sırasında oluşuyorsa, polimer çözülemez veya eritilemez ise kimyasal veya reaksiyon lif çekimi uygulanabilir.

Günümüzde elastan filamentleri üzerinde dünyada en fazla kullanılan sistem kuru çekim prosesidir. Kuru çekim işleminde; elastan lifini oluşturan kimyasal hammaddelerin bir çözücü içerisinde çözünmesiyle oluşan yüksek viskoziteye sahip çekim eriyiği, sabit sıcaklıktaki çekim bölgesine tek ya da çok delikli düzelerden geçirilerek sevk edilir. Eğirme ünitesine üstten beslenen ve eriyikle birlikte hareket eden sıcak hava, birçok noktadan ısıtılarak sabit sıcaklıkta tutulan çekim kanalı içerisinde buharlaşan çözücü maddeyi (dimetilasetaamid-DMAc ya da dimetilformamid-DMF) absorbe eder ve hava çıkış noktası yardımıyla sistemden hızlı bir şekilde uzaklaştırır. Buharlaşma hızlı gerçekleşirse, sadece filamentin yüzeyi çabuk sertleşir, iç kısımlar yumuşak, jel halinde kalır, bu da büzölmeye neden olur. Burada kullanılan çözücünün kolay elde edilebilir, ucuz ve geri kazanımın kolay olması için buharlaşma ısısının düşük olması istenir. Poliüretan lifleri ilk üretildiklerinde genelde yapışkandır. Bu durum tutumda zorluklara ve yağlama metotlarında ise başarıya sebep olur.

Yaş çekim prosesiyle elde edilen elastan liflerinin, kuru çekim sistemi ile elde edilenlere nazaran zayıf özellikler göstermeleri ve çekim banyosunda kalan çözücü artıklarının geri kazanımının, düşük konsantrasyon nedeniyle çok pahalı olmasından dolayı bu yöntem günümüzde çok az uygulanmaktadır. Tüm bu sistemler göz önüne alındığında; elastomer lif üretiminin %80'ini kuru çekim yöntemi, %10-15'ini yaş çekim yöntemi, geriye kalan kısmını da eriyikten çekim yöntemi oluşturmaktadır (Atış, 2001).

1.5.2. Poliüretan liflerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Poliüretan liflerin yaklaşık 250°C civarında eriyen liflerin en önemli özelliği %400-700 arasında değişen kopma uzaması değeridir. Elastiklik gerektiren uygulamalarda %2-10

arasında kullanılırlar (Yanılmaz, 2011). Poliüretan liflerinin diğer önemli fiziksel özellikleri Çizelge 1.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 1.1 Poliüretan liflerinin fiziksel özellikleri (Yakartepe ve Yakartepe, 1995)

Kriterler	Fiziksel Özellikleri
Mikroskobik Görünüş	Nispeten pürüzsüz ve düzgün görünümlüdür. Enine kesitleri üretim şekline göre değişmekle beraber, genelde yuvarlaktır.
Yoğunluk	Elastan tipi ve üretim şekline göre değişir. Genelde 1.24 gr/cm ³ civarındadır. Polyester ve yünden düşük, poliamidden yüksektir.
Uzunluk	Sonsuz (filament) uzunlukta üretilir ve genelde bu şekilde kullanılır. İstenilirse kullanım yerine göre stapel (kesikli) hale getirilebilir.
İncelik	11-2600 dtex arası, kullanım yerine göre istenilen incelikte üretilebilir.
Renk	Renksizdir.
Parlaklık	Mat, parlak veya çok az parlak olarak üretilebilir.
Mukavemet	Diğer sentetik elyaflara nazaran dayanıksızdır. Yaş sağlamlığında çok az düşme gösterir.
Uzama Elastikiyeti	Elastikiyeti mükemmeldir. Elyafın en belirgin karakteristiği budur. %700’leri geçen uzamaya sahiptir.
Rezilyans (Yaylanma)	Elastikiyetine bağlı olarak iyi bir rezilyans derecesine sahiptir.
Nem Alma	Hidrofobik bir elyaf olduğu için çok düşüktür. %65 nispi nem ve 20°C’de, %1 civarı nem alır. Sudan pek etkilenmez.
Sıcaklık	Tipine bağlı olarak ısıya karşı direnci değişir. 150°C’de sertleşme görülür. 150-200°C arasında yumuşar ve 230-290°C arasında erir. Ütüleme sıcaklığı 150°C’yi geçmemelidir. Yüksek sıcaklıklar elyafın bozulmasına neden olur.
Alev Alma	Eriyerek ve ıssız yanar.
Statik Elektriklenme	Kuru ortamlarda statik elektriklenme olabilir.
Boncuklanma (Pilling)	Boncuklanma özelliği yoktur.

1.6. Nanoteknoloji ve Nanomalzemeler

“Nano” kelimesi Yunanca’da cüce anlamına gelen fiziksel bir büyüklüğün milyarda biri olarak tanımlanmaktadır (Çıracı, 2005). Nanobilim ise malzemenin atomik, moleküler, makromoleküler aralıkta işlenmesi ve değişen özelliklerinin incelenmesi olarak tanımlanabilir. 1-100 nm boyutları arasında ki yapılarla ilgilenen bilim dalına nanoteknoloji adı verilmektedir. Nanoteknoloji ve nano bilim alanında temel olarak, nano boyutta malzemelerin üretimi, karakterizasyonu ve uygulama alanları ile ilgili araştırmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar neticesinde, eşsiz fiziksel ve kimyasal özellikleri araştırılan nano malzemeler daha hafif, daha ekonomik, daha dayanıklı ve üstün özelliklere sahip ürünler üretilmesi hedeflenmektedir (Schmid, 2008). Nano boyuttaki malzemeler, aynı malzemenin büyük parçası ile kıyaslandığında boyutuna bağlı yeni ve üstün özelliklere sahip olduğu görülmüştür (Ateş ve ark., 2015). Kuantum etkisi ile malzemelerin fiziksel ve elektronik özellikleri parçacıkların büyüklüğünün azalması ile durumda farklılıklar gözlemlenebilir. Makro seviyede ki silikon malzeme yalıtkan iken, nano boyuta ulaştığında bu malzeme iletken olur, normal şartlarda reaksiyona girmeyen altın, nano boyuta indirildiğinde çok aktif bir element haline dönüşmesi, mikro ve nano boyut arasındaki dünyaların farklılığını ortaya koymaktadır (Ateş, 2015).

1.6.1. Nanofiberler ve elektroçekim yöntemi

Nano malzemeler, nano teknolojiye kullanılan ve her bir boyutu nanometrik olan malzemeler olarak açıklanırsa, nano fiberler için söz konusu boyut, fiberlerin çapı ile ilgili olacaktır. Literatürde çapı 1 µm den küçük olan fiberler, nanofiber olarak tanımlanacaktır (Kılıç, 2008). 1 mikrondan daha küçük çapa sahip olan nanofiberler, nanobilim ve nanoteknolojinin liderlik köşesinde yer alan en önemli yapıları temsil etmektedirler (Ebadzadeh, 2010). Fiberler mikrometreden nanometre boyutuna indirildiğinde, birim hacme oranla daha yüksek yüzey alanına, yüksek mekanik rijitliğe ve fiber boyunca artan gerilme dayanımına sahip olurlar. Nanofiberler sayesinde katma değeri yüksek son ürünlerin elde edilmesi, geniş kullanım alanlarını mümkün kılmaktadır.

Nanofiberler, filtrasyon sistemleri, polimerik piller, sensör yapımı, katalizör desteği ve kompozit destekleyicisi alanlarında birçok uygulamaya sahiptir (Li, 2004). Tekstilde yanmaz, antibakteriyel, su geçirmez, UV ışınlarına karşı dayanıklı ve kendi kendine temizleme özelliğine sahip kumaşların ayrıca, koruyucu maskelerin nanofiberlerden üretilmesi mümkündür (Kang, 2007; Lee, 2007). Zararlı maddeleri geçirmeyen ve

mikrobiyolojik arıtma sağlayan, hava ve su filtreleri nanofiberler yardımıyla üretilmektedir (Zhanga, 2011).

İnsana ait doku ve organlar biyolojik açıdan nanofiberli yapılardan oluşmaktadırlar. Buna örnek olarak kemik, diş, kıkırdak ve deri verilebilir. Tamamı nanometre boyutunda fiberli yapılardır. Bu sebeple nanofiberlerin günümüzdeki önemli araştırmalarından biride biyomühendislik alanındaki uygulamalardır. Tıp alanında, yara kapatmak ve kemik dokusu oluşturmak ya da etken maddesi cilt üzerinden vücuda nüfuz eden trans termal ilaçların ve ilaç taşıyıcı sistemlerin üretimi de nanofiberler yardımıyla geliştirilmektedir (Khil, 2003; Kenawy, 2009). Ayrıca Gıda zenginleştirmeleri için enkapsüle edilen vitamin ve antioksidanlar, daha az ve daha doğal bir katkı ile raf ömrü uzayan gıdalar ya da tüketiciye içindeki gıdanın durumunu bildiren akıllı ambalajlar da gıda sektöründe yapılan çalışmalara verilebilecek örnekler arasındadır (He, 2015; Pérez-Masiá, 2013). 1990'lı yıllardan beri nanoteknoloji alanındaki büyüme özellikle mikron altı boyutlara sahip fiberlerin oluşumu, çok büyük oranda teknolojik avantajları mümkün kılmaktadır. Elektro çekim yöntemi ise basit olması ve çok yönlülüğü sayesinde polimer çözeltilerinden mikron altı çaplara sahip fiberleri oluşturmak için uygulanan en yaygın yöntemlerden birisidir (Kim, 2010).

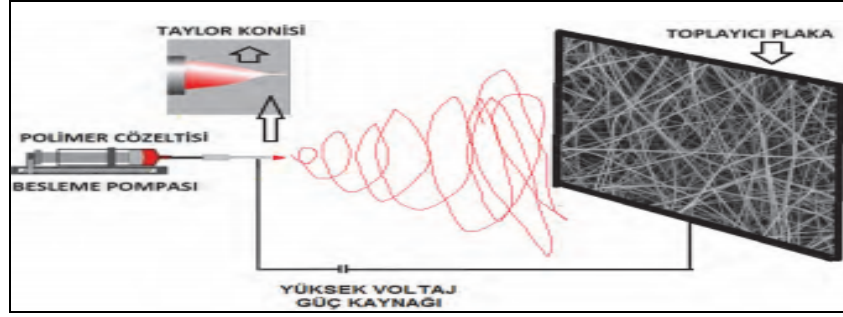
1930'lardan beri bilinen elektro çekim yöntemi ile nano-ölçekli fiberler polimerlerden tek basamaklı işlem ile elde edilebilmektedir. Bu yöntemde, polimer çözeltisi veya polimer eriği ile doldurulmuş şırıngaya bağlı olan elektroda 5 ile 50kV arasında bir değerde yüksek voltaj uygulanarak, nanofiberlerin elektrostatik kuvvetler altında üretimi olarak özetlenebilir. Elektro çekim yöntemi ile üretilen nanofiberlerde kullanılan polimer çeşidinin oldukça fazla olması, çok çeşitli malzeme üretiminin gerçekleşmesine olanak sağlamaktadır. Bunun sonucunda bu yöntem ile oluşturulan nanofiberlerin kullanım alanları oldukça geniş olmaktadır. Elektro çekim ile elde edilen nanofiberler, malzemelerin bilinen diğer formları ile karşılaştırıldığında üstün mekanik performansları, oldukça geniş yüzey alanları ve yüzey işlevlerindeki esneklik nedeniyle, son 10 yıldır üzerinde yapılan araştırmalarda artış göstermektedir. Alışılmadık bu özellikler nanofiberleri gelişmiş birçok uygulamaiçin uygun bir aday haline getirmektedir. Biyomedikal mühendislik ve biyoteknoloji, çevre mühendisliği, enerji depolama, ilaç dağıtımı, doku mühendisliği, afinite membranlar ve enzim immobilizasyonu bu uygulama alanlarından bazılarıdır.

1882 yılında Lord Rayleigh, elektrik yüklü damlaların elektroçekim anında gösterdiği düzensiz hareketler ile ilgili çalışmalar yapmıştır. Rayleigh yalıtılmış yüklü bir damlacığın sahip olduğu yüke, kararlı olmasını sağlayan yüzey geriliminin üzerinde bir değer uygulandığında, damlacığın kararsız hale geldiğini ve ardından parçalanmanın başladığını gözlemlemiştir. Bu sonuçlara göre damlayı etkileyen iki kuvvet bulunmaktadır. Bunlardan biri elektrik kuvveti, diğeri elektrik kuvvetine zıt yönde yüzey gerilimi kuvvetidir. Elektrik kuvveti yüzey gerilimi kuvvetini yendiği anda damla çok ince jet yapılarına ayrılarak akmaya başlamaktadır. Elektroçekim düzenekleri genel olarak üç temel bölümü oluşturmaktadır. Birinci bölüm, içerisinde polimer çözeltisinin bulunduğu ve ucunda bulunan metal bölmeden polimerin çıkışının gerçekleştirildiği ince bir tüptür. Bu bölümde ya çözelti yer çekimi etkisiyle harekete başlatılır ya da bir şırınga pompası yardımıyla çözeltinin ilerlemesi sağlanır. İkinci bölüm, polimerin jet (fiskiye) yörüngesi boyunca, yüksek voltaj sayesinde oluşturulan elektrik alan bölgesidir. Üçüncü bölüm ise, nanofiberlerin toplandığı metal bir toplayıcıdan oluşmaktadır.

Bir elektro üretim sisteminin ana parçaları:

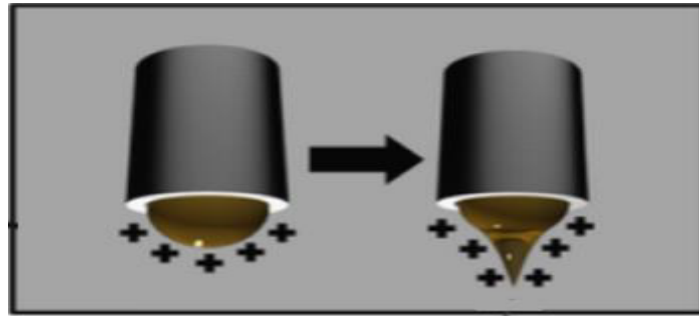
- Yüksek voltaj güç kaynağı,
- Besleme ünitesi (pompa, şırınga, metal iğne v.b.),
- Toplayıcı (Şekil 1.13) (Terada, 2012).

Elektroçekim ile nanolif üretim yönteminde, uygun bir çözücüde çözülen veya ısı yardımıyla eriyik haline getirilen polimer çözeltisi, ucunda metal iğnesi olan bir pipetin içerisine doldurulur. Pipetin arka kısmında bulunan ve sürekli basınç uygulayan bir pompa yardımıyla, polimer çözeltisinin veya eriğinin pipet boyunca ilerlemesi sağlanır. Daha sonra pipetin ucunda bulunan metal iğneye ve pipetin karşısına yerleştirilmiş olan toplayıcı levhaya anot ve katot elektrot uçları bağlanır. Zıt kutuplar sayesinde metal iğne ucu ve toplayıcı arasında elektriksel alan oluşmaktadır. Elektroçekim yöntemi iki farklı polaritede de çalışabilmektedir. Ancak şırınganın pozitif polariteye sahip olması ve toplayıcı levhanın topraklanması ile fiber özellikleri ve verimlilik bakımından daha iyi sonuçlar elde edilmiştir (Kılıç, 2008).

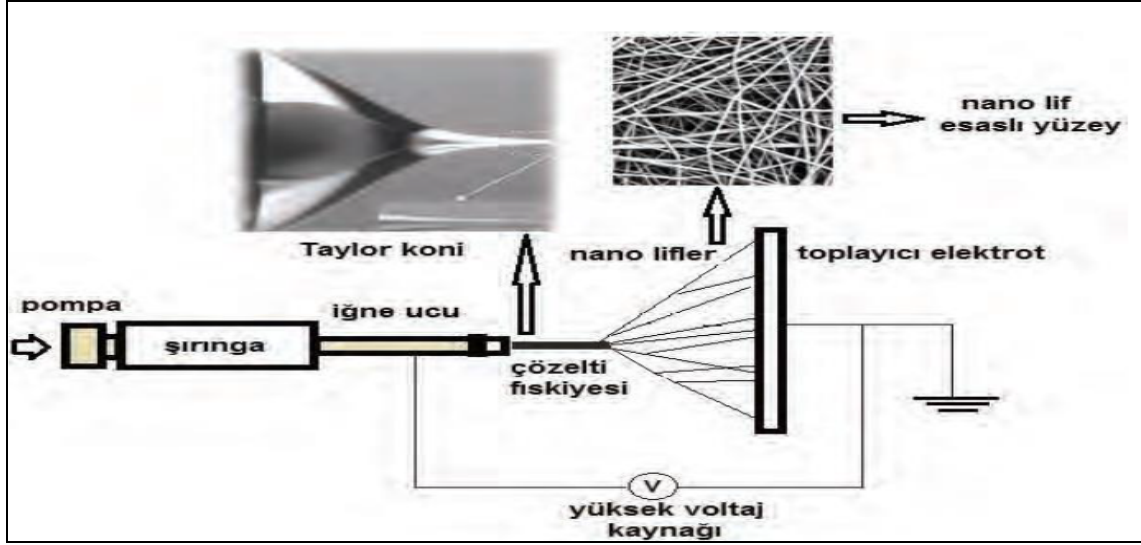


Şekil 1.13. Elektro çekim düzeneğinin şematik gösterimi

Nanolif oluşumu sırasında iki elektrot arasında, giderek artan bir elektrik alan uygulanarak iğne yüksek bir voltaj ile yüklenir. Kritik voltaj değerine kadar, yüzey gerilimi tarafından uygulanan kuvvetler nedeniyle besleyici üniteye bağlı duran polimer çözeltisi küresel bir damla şeklini alır. Bu sırada elektrik alan etkisi içerisinde kalan polimer iyonları pozitif kutuplanarak toprak doğrultusunda ilerlemeye başlar ve pozitif yükler metal iğne ucunda toplanır. Elektriksel alan büyüklüğü ve çözelti akışı ayarlanarak nanofiberlerin çekim hızı kontrol edilir. Elektriksel alan uygulanmaması durumunda iğne ucundaki çözelti damlası yerçekimi sebebiyle yere damlayacaktır. Uygulanan potansiyel fark eşik değerine ulaştığı sırada, elektrostatik kuvvetler yüzey gerilimi kuvvetlerine eşitlenir. Bu esnada küresel şekilde bulunan polimer çözeltisi artık koni şeklini alır. Bu koni şekline Taylor konisi adı verilir (Şekil 1.14 ve 1.15).



Şekil 1.14. Taylor konisi

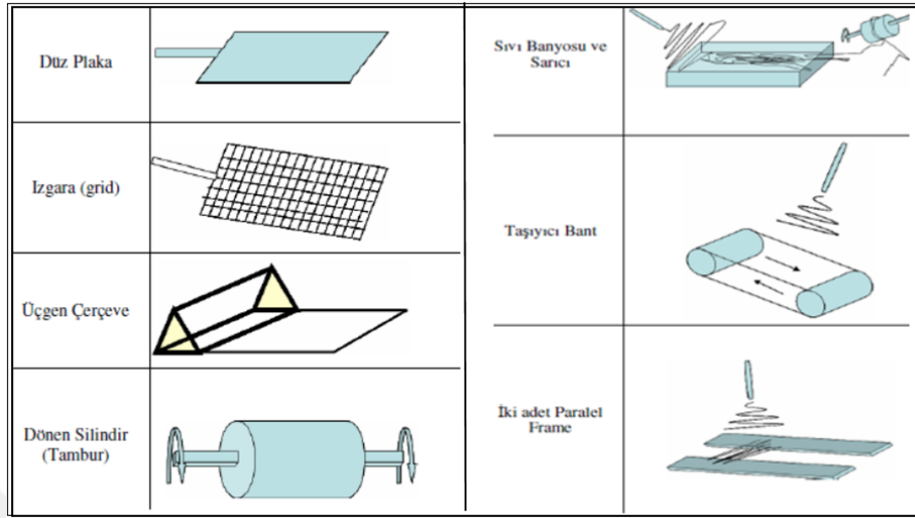


Şekil 1.15. Elektroçekim yöntemi ve Taylor konisi

Sıvı yüzeyinin elektrik alan etkisi ile yüklenmesi ve karşılıklı yüklerin birbirini itmesi sonucu bir dış kuvvet oluşur. Eşik değeri geçildikten sonra elektrostatik kuvvet ile damlacık koni sekline dönüşür ve fazla yükler koni ucunda bulunan yüklenmiş jetten karşıya doğru akar. Elektriksel kuvvetlerin yüzey gerilimine eş değer olduğu kritik noktada koni oluşur. Polimer çözeltisine uygulanan potansiyel fark belirli bir eşik değeri üzerine çıktığında, uygulanan elektrostatik kuvvet polimer iyonlarının yüzey gerilimini yener ve polimer jeti Taylor koni yapısını terk eder. Artık bir yüzey gerilimi bulunmayan polimer çözeltisi, çok ince olan jet çıkışından geçirilerek karşısına yerleştirilmiş topraklı hedefe doğru akmaktadır. Taylor konisi elektrik yüklü polimer çözeltisini oldukça hızlı bir şekilde çıkışına neden olur. Bu işlem 10^{-4} m gibi küçük bir çapta gerçekleşir. Nanofiberler sabit bir toplayıcı üzerine rastgele veya düzenli şekilde toplanarak ya da hareketli bir toplayıcı üzerine yönlendirilmiş şekilde toplanarak elde edilebilirler. Geleneksel yöntem ile sabit bir toplayıcı üzerine rastgele düzenli halde toplanan nanofiberler yüksek gözenekli ve hacimli yapılara sahip olup, çapları 10-1000 nm arasında değişmektedir. Bu yöntem ile oldukça hızlı olan fiber çekim işlemi sayesinde kuru nanofiber üretimi mili saniyeler içerisinde oluşturmaktadır. (Zhang, 2008).

Literatürde, toplayıcı üzerine, yönlendirilmiş şekilde toplanarak elde edilen nanofiber yapılarından bazıları ise döner silindir (Pan, 2006), döner disk (Theron, 2001), döner silindir ile su banyosu (Cengiz, 2009) aralarında boşluk bulunan iletken metal plakalar/halkalar (Wu, 2007) ya da teller ile eşit aralıklı kaplanmış tambur (Katta, 2004) kullanılarak üretilirler (Şekil 1.16). Nanofiber yapıları, daha çok fiber kırılmalarının gözlenmeyeceği tıbbi uygulamalar için kullanılmaktadır. Bu şekilde üretilen elyaflar

havada asılı bir şekilde üç boyutlu olarak üretilebilir. Bağımsız nanofiberler hizalanmış yapıları bozulmadan kolayca toplanabilirler (Doğan G., 2009).



Şekil 1.16. Sabit toplayıcı ve yönlendirilmiş toplayıcılardan bazıları

1.6.2. Elektro çekim yöntemini etkileyen parametreler

Elektro çekim ile elde edilen nano ölçekli fiberlerin çap ve morfolojileri elektro çekim çözeltisinin özelliklerine ve elektro çekim proses şartlarına bağlıdır. Elde edilen fiberlerin kütle oranına göre yüzey alanlarını en üst düzeye çıkarmak için, boncuklanma içermeyen daha küçük fiber çapları üretebilmek başarı göstergesidir.

Son zamanlarda elektro çekim yöntemi ile elde edilmiş nanofiberlerin çapları ve morfolojileri üzerindeki etkilerin sistematik araştırmaları büyük ilgi görmektedir. Elektro çekim yönteminin geniş endüstriyel uygulamalarda kullanımının sağlanabilmesi için küçük ve eş boyutlu fiber yapılarının üretimine ihtiyaç duyulmaktadır. Elektro çekim sonucunda elde edilen fiber çapları, son ürünün fonksiyonel özelliklerini belirleyen önemli bir faktördür. Fiberlerin Taylor konisi yapısını terk ettikleri andakı kararlılığı, bazı değişkenlere bağlıdır. Elde edilen fiberlerin morfolojik yapı ve boyutlarını etkileyen değişkenler sistem ve işlem parametreleri olarak ikiye ayrılmaktadır.

Sistem parametreleri; polimer çözeltisinin özelliklerini oluşturan molekül ağırlığı, polimer konsantrasyonu, viskozite, iletkenlik ve yüzey geriliminden oluşmaktadır. Ayrıca çözücü tipide fiber çap ve morfolojilerini etkileyen parametreler arasındadır.

İşlem parametreleri ise uygulanan voltaj değeri, polimer çözeltisinin akış hızı, pipet ucu ve toplayıcı arası mesafe, polimer jetinin ilk çıkışının gerçekleştiği metal uç yarıçapı

ve ortam parametrelerinden (sıcaklık, nem, yer çekimi ve hava sürtünmesi) oluşmaktadır. (Ramakrishna, 2005).

Elektro çekim esnasında polimer jetinin iğne ucunu terk etmesi ve polimer çözeltisinin toplayıcıya doğru ilerlemesi sırasında polimer gerilir ve uzar. Bu gerilme ve uzama anında polimer zincirlerinin birbirine dolanması ile jetin ayrılıp kopması engellenir ve jetin sürekliliği sağlanır. Bu sebeplerden dolayı, monomerik çözeltilerden elektroçekim ile fiber eldesi mümkün olmamaktadır. Bu yöntem ile fiber elde edilebilmesi için polimerin yeterli derecede molekül ağırlığına sahip olması ve çözeltinin uygun viskozitede olması gerekmektedir.

Viskozitenin artması ile jet üzerindeki yükler çözeltinin tam olarak gerilme ve uzamasını sağlayacaktır. Çözeltinin uygun viskozitede olabilmesi için uygulanan bir diğer yol, polimer konsantrasyonu ile ilgilidir. Konsantrasyonun artırılması ile polimer zincirleri birbirine daha çok dolanır ve neticede sürekli bir jet sağlanmış olur. Polimer konsantrasyonun çok düşük olması ise polimerin fiber şekline dönüşmesini engellemekte ve yüzeye damlacıklar şeklinde düşmesine yol açmaktadır (Munir, 2009). Yüksek polimer konsantrasyonu aynı zamanda bükülme kararsızlığının pipet ucundan daha uzak bir bölgede gerçekleşmesini sağlar. Bu durum, jetin izlediği dairesel yörüngeçapını azaltır ve sonuç olarak elde edilen fiber topluluğu daha küçük bir alana yayılmış olur.

Viskozitenin çok yükseltilmesi çözeltinin pompalanmasını da zorlaştıracaktır. Ayrıca yüksek viskozite sebebiyle işlem başlamadan çözeltinin şırınga ucunda kuruması gözlenebilir. Aynı zamanda viskozitenin çok artırılması, elde edilecek fiber çaplarında artıracaktır.

Çözelti viskozitesi düşük ise yani çözelti içerisinde yüksek oranda çözücü molekülleri varsa, jet yapısı boyunca yüzey gerilimi kuvvetlerinin baskın bir etkisi olmaktadır. Bunun üzerine çözücü moleküller kendi yüzey gerilimlerini azaltabilmek için bir araya gelir ve boncuklaşmaya sebep olurlar. Eğer viskozite oranı yüksek ise çözücü molekülleri arasında etkileşim oranı daha yüksek olacağından çözelti yüklerin etkisi nedeniyle gerilir ve uzar. Bu esnada çözücü moleküller, polimer zincirleri arasında dağılır ve bu durum çözücü moleküllerin yüzey gerilimi sebebiyle toplanma olasılıklarını düşürür.

Yüzey gerilimini düşürebilmek için düşük yüzey gerilimine sahip çözücülerin kullanılmasının yanısıra çözeltilere yüzey aktif maddelerde eklenebilir.

Elektro çekim işleminde elektriksel iletkenliği yüksek olan çözücülerin kullanılması boncuksuz, düzgün morfolojiye sahip fiberler elde edilmesini sağlarken, sıfır iletkenliğe sahip olan çözücüler kullanıldığında fiber oluşumu gözlenmez. Elektro çekim, çözelti üzerinde bulunan yüklerin birbirini itmesi ve polimer jetinin gerilip uzaması prensibine dayanmaktadır. Çözeltinin iletkenliği artırıldığında, jet daha fazla yük taşıyacağı için daha düzgün fiber eldesi sağlanmaktadır.

Kullanılan çözücülerin yüksek dielektrik sabitine sahip olmaları boncuk oluşumunu ve fiber çaplarını azaltır. N,N-dimetilformamid gibi yüksek dielektrik sabitine sahip çözücülerin kullanılması düzgün morfolojide fiber oluştururken aynı zamanda jetin bükülme kararsızlığını da artırmaktadır. Bu durum polimer jetinin kat edeceği yolu artırarak fiber çaplarını düşürmektedir (Çay, 2015).

Taylor konisini oluşturabilmek için belirli bir gerilme ve besleme hızı gereklidir. Besleme hızı arttırıldığında, düzeden çekilen çözeltinin hacmi artacağından, dolayısıyla da lif çapında ya da boncuk boyutlarında artış gerçekleşir. Yüksek ve düşük besleme hızına bağlı olarak lif çapındaki artışta bir limit söz konusudur (Ramakrishna ve ark., 2005; Selbes, 2013; Şirin ve ark., 2013).

Voltaj uygulandığında, elde edilen elektrik alan sayesinde jet gerilir ve hızlanmasına sebep olur (Çallıoğlu, 2013). Daha yüksek voltaj uygulandığında, jet içindeki coulomb kuvvetlerinin de etkisini arttıracığından çözelti daha fazla gerilecektir. Böylece, lif çapının azalacak ve çözücünün daha hızlı buharlaşmasını sağlayacaktır. Sonuç olarak daha kuru liflerin elde edilmesini sağlar (Ramakrishna ve ark., 2005; İkiz, 2010).

Çözelti sıcaklığı, elektro çekim işleminde hem buharlaşma hızının artmasında hem de çözelti viskozitesinin düşmesinde etkili bir parametredir. Bunun yanı sıra çözelti sıcaklığının artırılması sonucunda polimer moleküllerinin hareketliliği artacağından coulomb kuvvetlerinin oluşan Taylor polimer jeti üzerindeki çekim etkisi daha fazla olmaktadır (Ramakrishna ve ark., 2005).

Düzenin (iğnenin) iç çapı küçüldükçe, düze (iğne) ucunda oluşan damlacık daha küçük çapta olacağından, damlacığın yüzey gerilimi artar. Bu durumda daha fazla Coloumb itme kuvveti gerekecek ve jetin ivmesi düşecektir. Doğal olarak jetin toplayıcıya ulaşmadan önce havada ilerlediği ve gerildiği süre artacağından daha ince lifler oluşacaktır. Şayet elektro çekim işleminde çok küçük düze çapları kullanılacak olursa, çözeltinin

püskürtülmesini zorlaştırarak tıkanmalara neden olacak ve bu durum boncuk oluşumunun artması gibi olumsuzlukları oluşturacaktır (Selbes, 2013; Li ve Xia, 2004).

Elektro çekim işlemi toplayıcı ile düze arasındaki bölgede gerçekleşir. Doğal olarak Taylor polimer jetinin, toplayıcıya ulaşana kadar geçirdiği uçuş süresi ve elektrik alan kuvveti, nanoliflerin oluşumunu etkileyen faktörlerdir (Cengiz Çallıoğlu, 2013). Düze ile toplayıcı arasındaki mesafe değiştirilerek hem uçuş süresi hem elektrik alan kuvveti değiştirilebilir. Ayrıca, toplayıcı ile düze arasındaki mesafe azaltıldığında elektrik alan kuvveti artacak ve dolayısıyla jet hızı yükselecektir. Böylece, polimer jeti toplayıcıya daha erken ulaşacaktır. Mesafe gerekenden kısa olduğunda jetin taşınım süresi azalacak, çözücünün tamamı buharlaşmayacaktır (Ayutsede ve ark. 2005; Ramakrishna ve ark., 2005).

Toplayıcı malzemesinin cinsi/türü kadar, şekli de elektro çekim ve elde edilen nanoliflerin ve yüzeyin yapısı üzerinde etkilidir. Nanoliflerin potansiyel kullanım alanlarını artırmak için nanoliflerin X ve Y yönlerinde belirli bir miktar boyuta ulaşması gerekmektedir. Bu sebepten farklı toplayıcı tipleri kullanarak kontrollü nanolif yüzey üretimi sağlanmaya çalışılmıştır. Yapılan çalışmalarda hareketli ve sabit pek çok farklı toplayıcı tasarımı uygulanmıştır. En sık kullanılan toplayıcı, alüminyum plakalardır. Bunun yanı sıra, metal ızgaralar, dönen tambur, dönen disk, taşıyıcı bant, üçgen çerçeve, paralel bilezik ve sıvı banyosu, elektro çekim ile oluşturulan nanolifleri toplamak için kullanılan malzemeler arasındadır (Ramakrishna ve ark., 2005; Kozanoğlu, 2006).

1.6.3. Elektro çekim tekniğinin avantaj ve dezavantajları

Nanofiberler, çekme; kalıp sentezi, faz ayırma, kendiliğinden düzenlenme, eriyik üfleme ve elektroçekim tekniği gibi çok farklı yöntemle üretilirler. Elektro çekim tekniği diğer nanofiber üretim yöntemleri ile karşılaştırıldığında, çok çeşitli polimer çözeltilerinin kullanılabilmesi ve eriyikten nanofiber elde edilmesinde, basit ve çok yönlü tekniğe sahip olması nedeniyle son yıllarda ön plana çıkartılmıştır.

Elektro çekim tekniğinin aşağıda bazı üstün özellikleri sıralanmıştır;

- Düşük üretim maliyetlerine sahip olması,
- Basit bir düzeneğe sahip olması,
- Tekrar edilebilirliğinin yüksek olması,
- Proses parametrelerinin kolayca değiştirilebilmesi,
- Fiber çaplarının kontrol edilebilmesi

- Diğer yöntemlere göre daha geniş çeşitliliğe sahip polimerlerin kullanılabilmesidir.

Elektro çekim tekniği tüm bu avantajlarına rağmen fiberlerin yapısı ve dizilimi bakımından rastgelelik içermektedir. Çok sayıda hassas parametrenin sisteme etki etmesi sebebiyle karmaşık bir üretime sahiptir. Düzgün dizilimli ve kontrollü fiberler elde etmek için yapılan çalışmalarda kullanılan mekanik düzenekler, fiber yapılarının oldukça düşük çaplara sahip olmasına neden olmuştur. Bu hassasiyette toplayıcı düzeneklerden elde edilen fiberlerde, uygulama bakımından bir takım problemlerle karşılaşmaktadır. Düşük ürün miktarı sistemin endüstriyel anlamda yaygınlaşmasını engellemiştir. Ayrıca metal ucun tıkanması, çözücünün buharlaşması, düşük moleköl oryantasyonu ve yetersiz mekanik özellikler diğer problemleri oluşturmaktadır.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Tez çalışmasında ultraviyole ışını (güneş ışığı) etkisi altında renk değiştiren (fotokromik) boyarmaddeler ile poliüretan polimeri, elektro çekim cihazında nanolif yüzey elde edilmeye çalışılmıştır. Bu sebepledir ki literatür araştırması, UV ışığı etkisi altında renk değiştiren tekstiller ve elektro çekim yöntemi ile nanolif üretimi üzerine gerçekleştirilmiştir. ,

İlk olarak fotokromizm, fotokromik malzemeler ve fotokromik tekstil yüzeyleri hakkında literatür çalışması yapılmıştır;

Zimehl ve ark. (2004), spiropiran türü fotokromik boyayı sol-jel yöntemi ile poliester kumaşa aktarmış ve sonrasında üretilen malzemenin gün ışığı (UV ışık) altında renk değişimini incelemiştir.

Atay (2008), nanoboyutlu SrTiO_3 ve Fe_2O_3 tozlarını kullanılarak, seramik yüzeylerde fotokromik nanofilm kaplamalar üretmiştir. Uygulama yöntemi (elektrosprey) parametrelerinin nanofilm kaplama özelliklerine etkisi ve üretilen film tabakasının fotokromik özellikleri araştırılmıştır. Nanofilm kaplamanın morfolojik yapısı taramalı elektron mikroskobu (SEM), X ışınları difraktometresi (XRD), stereo mikroskop ve renk değiştirme performansları spektrofotometre cihazları ile incelenmiştir.

Uludağ (2014), faz değiştiren malzemelerin (FDM'lerin) ısı düzenlemesi amacıyla tekstillerde kullanımlarını ve aynı zamanda ısıya/sıcaklığa duyarlı polimerlerin (IDP'lerin) tekstil materyallerinde kullanımlarını incelemiştir. Polimer çözeltileri %20'lik ve %25'lik konsantrasyonda IDP içermektedir ve bu çözeltilere FDM'ler uygun oranlarda eklenmiştir. Toplamda 6 farklı polimer reçetesi hazırlanmıştır. IDM katkılı FDM malzemelerin SEM, DSC ve TGA analizleri incelenmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Hazırlanan kumaşların, sıcaklık değişimine göre boyut değişimi özellikleri, referans kumaş numunesine göre boyutsal stabilitesinin artış gösterdiği ifade edilmiştir.

Billah ve ark. (2008a), çalışmalarında 2 adet spirooksazin türü fotokromik boya sentezlenmiştir. Bu boyalar akrilik, poliester ve naylon kumaşlara aktarılmıştır. Yapılan üretim denemelerinde uzun süre asidik sulu ortamda ve yüksek sıcaklıkta (135°C) işlem görmesi sonucunda boyanın, bozulduğu ve renk değişimi işlevini gerçekleştiremediği anlaşılmıştır. Daha sonraki çalışmalarda zayıf asidik-nötr ortamda, 90°C 'de yapılan deneme çalışmalarında kumaşların UV ışığı altında renk değiştirebildiğini belirlenmiştir.

Daha sonra Billah ve arkadaşları (2008b) bu kez, bazı çözücülerin (etanol, asetonitril, toluen ve diklormetan) fotokromik özelliklere olan etkilerini araştırmışlardır. Solventler ile ıslatılan (ön işlem gören) kumaşlar, su ile ıslatılan (ön işlem gören) kumaşlara göre UV ışığı etkisi altında daha yüksek renk değişimi seviyesi ve hızı göstermişlerdir. Ayrıca solventler arasında da karşılaştırmalar yapılmış ve en yüksek polarite değerine sahip çözücü, asetonitril ile ıslatılan (ön işlem gören) kumaşın UV ışığı etkisi altında en yüksek K/S değerini verirken, en düşük polarite değerine sahip toluen ile ıslatılan (ön işlem gören) kumaşın en düşük K/S değerini gösterdiğini belirtmişlerdir.

Little ve Christie (2010a), çalışmalarında pamuklu dokunmuş kumaşa baskı yöntemi ile naftopiran ve spirooksazin yapısındaki 4 farklı fotokromik boyarmaddeyi aktarmışlardır. UV ışığı altındaki renk değişimlerinin ölçümü üzerine incelemeler yapılmıştır. Her iki tipteki fotokromik boyarmadde ile baskı uygulanan kumaşların, UV ışığı etkisi altında renk değiştirdiğini, ancak ortam sıcaklığı yükseldikçe kumaşların renk değişimlerinin daha düşük olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu durumu, renk değiştirme mekanizmasının, ekzotermik bir reaksiyon olmasına bağlamışlardır. Ayrıca aynı koşullarda spirooksazin boyaların, naftopiran boyalara göre daha az/düşük renk değişimi gösterdiği vurgulamışlardır. Bir başka çalışmalarında (Little ve Christie (2010b)), fotokromik boya ile baskı uygulanmış pamuk ve poliester kumaşların renk değişim özellikleri incelenmiştir. Poliester kumaşın baskı işleminden sonra renksiz olduğunu, ancak ısı fiksaj sonrasında yeşil renge dönüştüğü ifade edilmiştir. Bu farkındalık, kullanılan fotokromik boyanın yüksek sıcaklıklarda boyarmaddenin, poliester polimerinin kristalin yapısına hapsolmesiyle kalıcı renk oluşumuna sebep olduğu ifade edilmiştir. Pamuk kumaşa yapılan baskıların, poliester kumaşlara göre, UV ışığına maruz bırakıldığında daha yüksek renk değerleri elde edilmiştir. Bu duruma Poliester aromatik yapısından dolayı belirli bir miktar UV ışığını absorplama yapması ile açıklanmıştır. Little ve Christie (2011) spirooksazin türü fotokromik boya ile baskı yaptıkları kumaşların yıkama sonrası renk değişimlerini inceledikleri çalışmada, anormal olarak kumaşların yıkama işlemi sonrası yıkama işlemi öncesine göre UV ışığı altında ile fotokromizmin performansının arttığını ifade etmişlerdir.

Durasevic ve ark. (2011), çalışmada aseton çözücüsü ile fotokromik boyalar çözülmüş ve hazırlanan bu çözeltilerle, 100°C’de kumaşlar boyanmıştır. UV ışığı altında tutulan kumaşlarda yapılan renk ölçümleri sonucunda, poliamid kumaşların, poliester kumaşlara göre daha yüksek K/S değerleri elde ettiği vurgulanmıştır. Bu durum poliester lif yapısının poliamid lif yapısına göre daha sıkı bir yapıda olmasına (kristalin alanların

fazlalığına) bağlanmış ve bundan dolayı boyama işleminde taşıyıcı (carrier) kullanılmasının ve boyama prosesinin 100°C'den daha yüksek sıcaklıklarda yapılması ifade etmiştir.

Kumbasar ve Morsümbül (2017), fotokromik boyarmadde mikrokapsüllerini farklı aktif maddeler kullanarak, pamuklu kumaşlara hem baskı yöntemi ile hem de emdirme yöntemiyle uygulamışlardır. Üretilen kumaşların UV koruma ve UV ışığı altında renk değişimini, çoklu yıkamalara göre gözlemlemişlerdir. Yapılan çalışmalar sonucunda, numune kumaşların UV koruma özelliklerinin iyileştiğini ve akrilat ve poliüretan esaslı binderler kullanılarak hazırlanan kumaşların yüksek yıkama verimliliğine sahip olduğunu ifade etmişlerdir.

Aldib ve Christie (2013), fotokromik boyarmaddenin sudaki çözünürlüğünün düşük olmasından dolayı boya çözeltisinin hazırlanması sırasında, su yerine diklormetan çözücü kullanılmıştır. Çalışma kapsamında boyarmadde konsantrasyonu, çözelti/kumaş oranı ve fiksaj sıcaklığı değerleri esas alınarak proses optimize edilmiştir.

Vikova ve Vik (2014a) çalışmalarında, elektromanyetik radyasyonun alt kırılımı olan UV-A kısmına tepki veren ve esneklik özelliğine sahip olan tekstil esaslı sensörler ve çalışma yöntemleri incelenmiştir. Yayında, UV sensörünün, dokuma kumaş ve dokumasız tekstillere uygulanmasıyla ve test edilmesiyle ilgili bilgi verilmektedir. Çalışma sonucunda üretilen sensörlerin, UV ışığına tepki süresine göre hassaslık gösterdiğini, bu şekilde de ışınlamanın şiddetinin tespit edilebildiğini belirtmişlerdir. Vikova ve Vik (2014b) fotokromik sensörlerin, fotokromik tekstillerin kolorimetrik ve spektral özelliklerini test etmesine ve renk değişiminde kararlılığın kontrolü testlerinin yapılmasına izin veren cihaz ile ürettikleri numuneleri analiz etmişlerdir. Çalışmada fotokromizm, spirooksazin ve kromen gibi geri dönüşümlü fotokromik boyarmadde sistemleri hakkında literatür bilgisi verilmiş, seçilmiş numunelerin termal ağartma işlemleri ile birlikte renk değişim hızının arttığını ifade etmişlerdir.

Tez çalışmasında elektro çekim yöntemi ile fotokromik özellikli nanolif yüzeyler elde edileceğinden, literatürün bu kısmında elektro çekim ve poliüretan polimerine dair literatür çalışması gerçekleştirilmiştir;

Demir ve ark. (2002), çalışmalarında elastomerik poliüretan kopolimerinin elektro çekim işlemi sırasındaki davranışını analiz etmişlerdir. Çözelti sıcaklığının, viskozitesinin, elektrik alanının ve çözelti iletkenliği parametrelerinin lif çekim işlemine, lif morfolojisine

ve nanolif yüzey özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Elektro çekim için %2,5 ile %17,7 poliüretan/DMF çözeltileri hazırlanmış ve elde edilen sürekli lifler %3,8- 12,8 aralığında elde edilmiştir.

Khil ve ark. (2003), yaptıkları çalışmada poliüretan polimerinielektro çekim işlemi sonucu elde edilen nanoliflerden üretilmiş tekstil yüzeyini, yarıiyileştirici sargı olarak kullanmışlardır. Yapılan çalışmada, poliüretan, N,N dimetilformamid (DMF) ve DMF'in tetrahidrofuran (THF) ile farklı oranlarda hazırlanan çözücüler ile çözülmüştür. Sonuçların analizinde, lif çaplarının dağılımında viskozitenin önemli bir rol oynadığını; voltajın artırılmasıyla, lif çapı değerlerinin düştüğü buna karşın üretim verimliliğinin arttığı ifade edilmiştir. İğne ve toplayıcı arasındaki mesafenin arttırılmasıyla, lif çapı değerlerindedüşüş göstermiştir. Yara iyileştirici sargı olarak üretilen nanolif yüzey membran, 3,25 mikrometre kalınlığında, su geçirgenlik ölçümü $6,525 \times 10^6$ bariyer ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm} / \text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{cm Hg}$) (oda sıcaklığında) olarak tespit edilmiştir.

Pedicini ve Farris (2003), çalışmalarında elektro lif çekimi yöntemi ile üretilen nanolif yüzeylerin mekanik özelliklerini gerilme testleri, SEM ve IR spektroskopi test yöntemleri ile incelemişler. Geleneksel materyaldan farklı gerilme uzama eğrisi göstermelerinin sebepleriniile açıklamışlardır. Nenolif yüzeylere kuvvet uygulandığında, lifler kuvvet yönünde yönlenir ve uzama gösterirler. Nanoliflerin yoğunluğunun geleneksel malzemelere göre 3'te 1 seviyesinde olduğu bilinmektedir. Bu iki sebep %50 nin altındaki uzamalarda gerilmenin diğer formdaki malzemedan düşük oluşunu açıklar.

Lee ve ark. (2005), termoplastik PU polimerinden elektro lif çekim metodu ile nanolif yüzeyler elde etmişlerdir. Döngülü gerilme testleri ile nanoliflerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Nanolif yüzey, lineer olmayan elastik ve aynı zamanda elastik olmayan karakter göstermiştir. Nanolife sabit yük uygulandığında ise kopma gerçekleşene kadar lineer elastik davranış göstermiştir. Bu durum için bağlı olmayan ya da zayıf bağlı liflerin birbirleri üzerinden kaymaları ve lif kopmaları ile açıklanmıştır. Mekanik özellikler, öncelikle bağlantı noktalarının yapısı, sayısı ve nanolif geometrilerinden etkilendiğini ifade etmişlerdir.

Lee ve Obendorf (2007), dokusuz yüzeylere PU nanolifleri elektro çekim yöntemi ile kaplayarak bariyer performanslarını incelemişlerdir. Bu çalışmada dokusuz yüzeylerin kumaş mekanik özellikleri iyileştirmek için nanolif yüzeyler kullanılmıştır. Nanolif yüzey kaplamalı malzemenin yoğun hava ve su buharı geçiş özellikleri, ısı konforu etkileyen en

önemli parametre olduğunu belirtmişlerdir. Çalışanın sonucunda ise çok ince nanolif yüzey kaplamanın dahi bariyer özelliklerini büyük ölçüde iyileştirdiği ifade edilmiştir.

Zhuo ve ark. (2008), Yılmaz (2011) ve Jahangiri (2013) yaptıkları çalışmalarda poliüretan polimer çözeltisinden iğnelielektro çekim işlemi ile üretilen nanolif yüzeyler üzerindeki çözelti konsantrasyonu, voltaj ve besleme oranı gibi proses parametrelerinin etkileri incelenmiştir. Proses parametrelerinin, nanolif çapı ve morfolojisi üzerinde etkili olduğu ifade edilmiştir. Özellikle polimer çözeltisinden ince lifler elde edilmesinde konsantrasyon artışı, lif çapında artışa sebep olmuştur.

Li, Lou ve Song (2009), yaptıkları çalışmada, elektro çekim yöntemi ile üretilen Poliüretan nanolif yüzeyin, kopma-uzama eğrisini ve maksimum yük altında göstermiş olduğu davranışı incelemiştir. Poliüretan polimer çözeltisi, oda sıcaklığında DMF/THF içinde çözülerek hazırlanmıştır. Elektro çekim yöntemi ile üretilen nanolif yüzey kalınlığı ile mekanik özellikleri arasında ilişki incelendiğinde, yüzey kalınlığının artmasının maksimum kopma uzama değerini etkilemediği ifade edilmiştir. Fakat maksimum yük değeri ile nanolif yüzey kalınlığı doğru orantılıdır. Kopma noktasındaki maksimum gerilim ise kalınlık artışıyla ters orantılı olarak tespit edilmiştir.

Lakshman ve ark. (2010), elektro çekim yöntemi ile gümüş nano partikülleri içeren poliüretan nanolif yüzeylerden yara sargısı elde etmişlerdir. Üretilen nanolif yüzeylerin su emicilik özelliği ve anti bakteriyel özelliği özellikleri incelenmiştir. Poliüretan tetrahidrofuran (THF) çözücüsü içinde, değişik çözelti oranlarında üretilen nanolif çapları 1,2-1,5 μm arasındadır. Farklı oranlarda gümüş nano partiküller içeren poliüretan nanolif yüzeylerin iletkenliği $96\mu\text{'e}$ kadar artmıştır. Gümüş nano partiküllerine sahip olmayan poliüretan nanolif yüzeylerde bu değer $1,75\mu\text{S}$ olarak tespit edilmiştir. PU-Ag nanoliflerden oluşan nanolif yüzeylerde, PU nanoliflerden oluşan nanolif yüzeylerden daha yüksek su emicilik özelliği, daha yüksek gözeneklilik ve yüzey alanına sahip olduğunu ve yara sargı uygulamaları için kullanılabileceğini gösterdiğini ifade etmişlerdir.

Samatya (2015), çalışmasında PPy, Pedot gibi iletken polimerleri ve PU polimerini belirli oranlarda karıştırarak buhar fazı polimerizasyon, elektro çekim ve film dökme gibi üretim yöntemleri ile kompozit tekstil yüzeyleri üretmiştir. Üretilen tekstil yüzeylerin spektroskopik (FTIR-ATR, XRD), morfolojik (SEM), fiziksel (DMA), termal (TGA) ve dielektrik/elektriksel (DBS) karakterizasyon yöntemleriyle analizleri gerçekleştirilmiştir.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Materyal

3.1.1. Çalışmada kullanılan kimyasallar

Elektro çekim karışımlarında polimer çözeltisi için kullanılan ve 2000 g/mol molekül ağırlıklı Poliüretan (PU) polimeri Ravago Petrokimya/İzmir/Türkiye firmasından temin edilmiştir. Çözücü olarak Dimetilformamid (DMF), Tetrahidrofuran (THF) Sigma Aldrich/Almanya firmasından temin edilmiştir. Fotokromik boyarmadde Hali Industrial Co. Ltd. Niutang/Çin firmasından temin edilmiştir. UV ışığı altında renksiz halden pembe renge dönüşebilen bir fotokromik boyarmadde, maksimum 220°C çalışma sıcaklığına ve 350°C bozunma sıcaklığına ve 5µm-10µm partikül boyutuna sahiptir. Fotokromik boyarmadde %1-5 oranında çapraz bağlayıcı madde olarak melamin formaldehit reçinesi ($C_{15}H_{30}N_6O_6$), %1-5 oranında fotokromik bileşik [6-trifluoromethyl-1,3,3-trimethyl-6'-piperidino -spiro[indolino-2,3'-[3H]naphth-[2,1-b][1,4] oxazine]] ve %80-90 oranında renksiz, kokusuz ve yapışkan özelliği olan trioctanoin ($C_{27}H_{50}O_6$) gruplarından oluşmaktadır. Trioctanoin ($C_{27}H_{50}O_6$) suda çözünmeyen bir yapıda olup, 9-10 °C'de erime, 233°C kaynama sıcaklığına sahip ve 20 °C'de 0,956 g/mL yoğunluğunda bir bileşiktir. Melamin formaldehit reçinesi ($C_{15}H_{30}N_6O_6$) kaynama sıcaklığı 118 °C'de olup, 25 °C'de 1,2 g/mL yoğunluğa sahiptir. Bu bileşikler ile elde edilen fotokromik boyarmaddenin kokusuz olduğu ve de bozunma sıcaklığının 350°C olduğu bildirilmiştir.

3.1.2. Çalışmada kullanılan ekipman ve cihazlar

Elektro çekim işlemi için öncelikle çözelti hazırlamak gerektiğinden; ultrasonik banyo, manyetik karıştırıcı ve hassas terazi cihazlarına ait bilgiler sırasıyla verilmiştir.

Ultrasonik banyo; çözelti içeriğindeki partiküllerin parçalanıp daha homojen karışım sağlanması amacıyla kullanılmıştır. Bu işlemi yüksek frekanslı ses dalgaları gerçekleştirmektedir. Tez çalışmasında kullanılan ISOLAB Laborgate marka ultrasonik banyolu homojenizatörün ses gücü; 180 W, frekansı 40 kHz ve 300W ısıtma gücüne sahiptir. Ayrıca 5-80 °C sıcaklık aralığında ve 6 L su ile çalışabilmektedir.



Şekil 3.1. Ultrasonik banyolu homojenizatör (ISOLAB Laborgate)

Sıcaklık kontrollü ısıtıcılı manyetik karıştırıcı; homojen çözelti elde etmek amacıyla manyetik alan etkisi ile çözelti ve/veya karışımların hazırlanmasında kullanılmaktadır. Aynı zamanda sahip olduğu prob ile çözeltinin/karışımın istenen sıcaklık değerinde hazırlanmasını sağlamaktadır. Manyetik karıştırıcı, maksimum 15000 d/dk dönme hızı ve 20-300 °C'ye kadar ısıtma yeteneğine sahiptir.



Şekil 3.2. Sıcaklık kontrollü ısıtıcılı manyetik karıştırıcı

Hassas terazi; Tez çalışmasında Şekil 3.3'te verilen Radwag marka AS 220.R2 model analitik terazi, $\pm 0,0002$ g hassasiyette ve otomatik kalibrasyon sistemine sahiptir.



Şekil 3.3. Hassas terazi (Radwag)

Yarı endüstriyel elektro çekim cihazı; Elektro çekim yönteminde elyaf özellikleri, çalışma alanın düzgünlüğü, polimer viskozitesi, elektrik alanının kuvvetli olması ve iğne-toplayıcı arasındaki mesafeye bağlıdır (Güçlü, 2012, Cengiz-Çallıoğlu, 2013). Tez çalışmasında Şekil 3.4’de resimleri verilen İnovenso marka NanoSpinner PilotLine model yarı endüstriyel çok iğneli elektro çekim cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3.4. Yarı endüstriyel elektro çekim cihazı (Inovenso)

Yarı endüstriyel elektro çekim cihazı, 10-40 bin voltaj aralığında maksimum 5 set (5*9 adet düze, toplam 45 adet düzeye kadar) ile çalışabilme kapasitesine, ayarlanabilir iğne-toplayıcı mesafesine (50-200 mm aralığı), 80 x 65 cm boyutlarında toplayıcı sistem ve sürekli taşıyıcı kumaş besleme sistemine sahiptir. Kumaş besleme/ve sarım hızı 100-1000 mm/dk olup, 0,1-1000 mL/h pompa besleme hızına ve 80 mm kumaş makine yönüne dik

doğrultuda homojenizasyon hareketine sahiptir. Çok iğneli elektro çekim cihazında kullanılan çoklu düzler (iğneler) Şekil 3.5’te verilmiştir.



Şekil 3.5. Inovenso elektroçekim cihazının düze sistemi

3.1.3. Analizlerde kullanılan cihazlar

3.1.3.1. Taramalı elektron mikroskobu (SEM-EDX)

Elektron-numune etkileşimlerinden elde edilen sinyaller ile malzemenin yüzeysel morfolojik yapısı, kimyasal bileşimi hakkında bilgi verir. Genişliği yaklaşık 1 cm ile 5 mikron arasında olan alanlar, klasik SEM teknikleri görüntülenebilir. Fotokromik özellikli nanoliflerin ve nanolif yüzeylerin görüntülerinin analiz edilmesi amacıyla KSÜ-ÜSKİM merkezinde bulunan Zeiss EVO LS10 marka taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır (Şekil 3.6). Bruker 123 eV Quantax Microanalysis System cihazı (Şekil 3.6b) ile Enerji-Dispersive X-Ray Spektroskopisi (EDX) analizi gerçekleştirilmiştir. Fotokromik nanolif yüzey numunelerinin, elemental analizini gerçekleştirmek amacıyla kullanılmıştır (KSÜ, ÜSKİM, Kahramanmaraş, Türkiye).



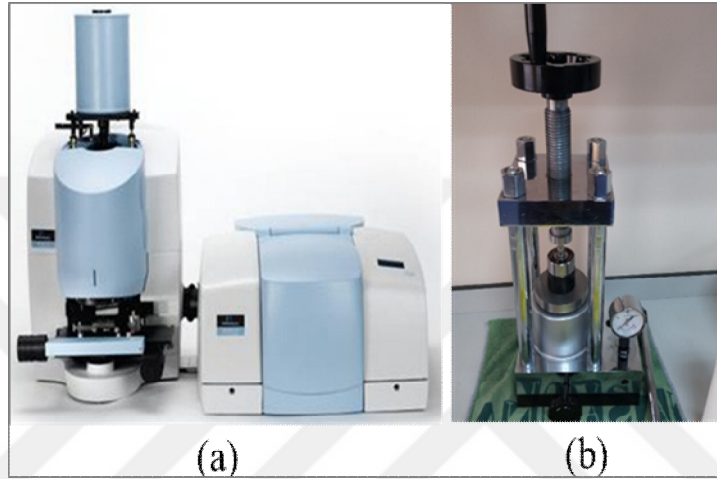
Şekil 3.6. SEM ve EDX cihazı

3.1.3.2. Fourier dönüşüm kızılötesi spektroskopisi (FTIR)

Kızılötesi (IR) absorpsiyon spektroskopisi yönteminde, moleküler bağ karakterizasyonu yapılmaktadır. Katı, sıvı gaz halindeki organik bileşiklerin, içeriğinde

bulunan fonksiyonel grupları, yapıdaki bağların durumunu ve bağlanma yerlerini, iki bileşiğin aynı olup olmadığını ve yapının alifatik ve ya aromatik olup olmadığını belirler.

Tez çalışmasında Fourier dönüşüm kızılötesi spektroskopisi (FTIR) analizi, 500-4000 cm^{-1} dalga sayısı aralığında analiz etmekte venanolif numunelerin yapılarında bulunan bağları tespit etmek amacıyla Şekil 3.7’ de verilen ÜSKİM’de bulunan Perkin Elmer Spectrum 400 cihazı ile kullanılmıştır. Fotokromik nanolif yüzeylere ait numuneler ATR aparatı ile incelenmiştir (KSÜ, ÜSKİM, Kahramanmaraş, Türkiye).



Şekil 3.7. Perkin elmer spectrum 400 FTIR analizi cihazı (a) ve Petlet aparatı (b)

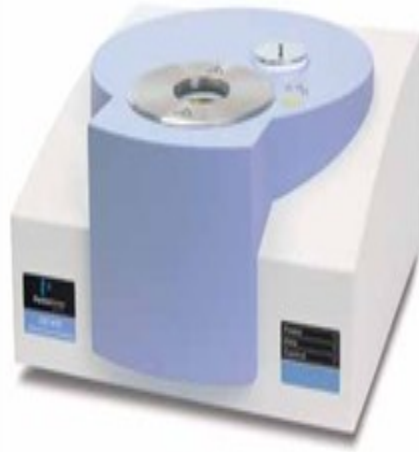
3.1.3.3. Diferansiyel taramalı kalorimetri analizi (DSC)

Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) analizinde, numune ve referans numunenin, ısı akışları arasındaki farkı, kontrollü bir sıcaklık programı uygulayarak, sıcaklığın fonksiyonunu inceleyen bir termal analiz yöntemidir. Numune ısıtılırken, soğutulurken veya sabit bir sıcaklıkta tutulurken soğurulan ya da salınan enerji miktarı ölçülür. DSC termal analiz yönteminde, numuneye olan ısı akışı, grafikte yukarı doğru hareket şeklinde gösterilir. DSC grafiklerinde endotermik reaksiyonlar yukarı yönlü, egzotermik reaksiyonlar aşağı yönlü pik vermektedir. Poliüretan granülü DSC grafiklerinde endotermik reaksiyonlar aşağı yönlü, egzotermik reaksiyonlar yukarı yönlü pik vermektedir.

Diferansiyel taramalı kalorimetri analizleri 25-360 $^{\circ}\text{C}$ sıcaklık aralığında, 10 $^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ sıcaklık artış ve 100 ml/dk azot akış hızına sahip Şekil 3.8’de verilen Shimadzu DSC-60 cihazında gerçekleştirilmiştir (Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Orman Fakültesi). Poliüretan granülünün testi Perken Elmer DSC-8000 cihazında gerçekleştirilmiştir.



a)



b)

Şekil 3.8. a) Shimadzu DSC-60 cihazı b) Perkin Elmer DSC 8000 cihazı

3.1.3.4. Termogravimetrik analizi (TGA-dTG)

Termogravimetrik analizi (TGA) yönteminde, numunenin kütlesinin sıcaklığına ya da zamana göre değişiminin ölçümüdür. Numune genel olarak sabit sıcaklık değerinde ısıtılır ya da sabit bir sıcaklıkta tutulur. Ayrıca TGA sonuçlarının zamana veya sıcaklığa göre birinci türevlerinin alınması ile elde edilen grafiklere de diferansiyel termogravimetrik analizi (dTG) olarak bilinir. dTG eğrilerinde ordinatta ağırlık kayıp hızı (dw/dt), apsiste ise sıcaklık ($^{\circ}C$) bulunur.

Exstar TG/DTA 6300 model cihazda (Şekil 3.9), $10^{\circ}C/dk$ artış hızında, $0-1000^{\circ}C$ sıcaklık ve 100 ml/dk azot çıkış hızında KSÜ-ÜSKİM’de yapılmıştır (KSÜ, ÜSKİM, Kahramanmaraş, Türkiye).



Şekil 3.9. Exstar TG/DTA 6300

3.1.3.5. Çekme dayanımı testleri

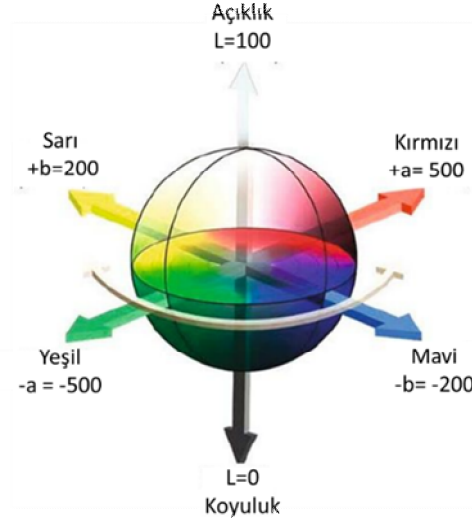
Çekme dayanım testi malzemelerin, mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla kullanılan en yaygın analiz yöntemlerinden biridir. Çekme dayanımı testinde, bir malzemenin statik ve yavaş uygulanan bir yüke karşı dayanımı ölçülür. Bu analiz yöntemiyle elde edilen bilgiler; maksimum çekme gerilmesi, maksimum uzama ve alandaki azalmadır. Nanolif yüzeyli numunelerinin kopma mukavemeti ve kopma uzaması KSÜ-ÜSKİM’de bulunan Zwick-Roell BT-1 cihazında (Şekil 3.10) yapılmıştır (KSÜ, ÜSKİM, Kahramanmaraş, Türkiye). Nanolif yüzeyler ASTM-D 638 – Tip I standardına (ASTM D638-14, 2014) göre 50 mm/dk çene hızı ve 110 mm çene mesafesi ile 0,05 MPa ön gerilme uygulanarak testler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.10. Zwick-Roell BT-1 çekme dayanımı test cihazı

3.1.3.6. Spektrofotometre (CIE L a b) renk analizi

Tekstil endüstrisinde yaygın şekilde kullanım alanı olan CIELab Sistemi, L, a ve b şeklindeki üç koordinat olarak da adlandırılan sistem olarak tanımlanmıştır. a ve b eksenlerinin dik açıyla ve nötral noktada kesişen; üçüncü eksen L, parlaklığın (açıklık/koyuluk), a ve b eksenleri tarafından oluşturulan düzleme dik pozisyonundadır. Aynı rengin farklı tonları, a ve b eksenleri tarafından oluşturulan düzlem içerisinde nötral noktadan dışarıya doğru uzanan bir hat üzerinde yer almaktadır. Bu düzlemde, kırmızıdan sarıya doğru artış gösteren “h” (derece cinsinden) açısı, renk ölçüsü olarak ifade edilmektedir (Erenler, 2009; Yeşil, 2010).



Şekil 3.11. CIE L a b renk uzayı değerleri

CIE L a b renk sisteminde L, a, b, C, h değerleri, analiz edilecek rengin belirlenmesinde kullanılan ana parametrelerdir ve X, Y ve Z değerleri kullanılarak Denklem (3.1,,3.5)'e göre hesaplanmaktadır (Erenler, 2009; Yeşil, 2010):

$$L = 116(Y/Y_n)^{1/3} - 16 \quad (3.1)$$

$$a = 500[(X/X_n)^{1/3} - (Y/Y_n)^{1/3}] \quad (3.2)$$

$$b = 200[(Y/Y_n)^{1/3} - (Z/Z_n)^{1/3}] \quad (3.3)$$

$$C = [(a)^2 + (b)^2]^{1/2} \quad (3.4)$$

$$h = \text{Arctan} (b / a) \quad (3.5)$$

CIE L a b renk uzayında referans olarak kabul edilen renk ile numunenin renk koordinatları arasındaki doğrusal uzaklık, ΔE ile gösterilmektedir. ΔE değeri pozitif değerde tespit edilmiş ise renk farkındaki artışı, yani istenilen renkten uzaklaşma değerini ifade etmektedir (Erenler, 2009; Yeşil, 2010). ΔE 'nin hesaplanmasına dair Denklemler (3.6'dan 3.9'a kadar) verilmiştir (Atılğan ve ark., 2011).

$$\Delta L = L_i - L_s \quad (3.6)$$

$$\Delta a = a_i - a_s \quad (3.7)$$

$$\Delta b = b_i - b_s \quad (3.8)$$

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (3.9)$$

Renk analizinde kullanılan bir diğer önemli parametre ise K/S değeridir. Boyarmadde konsantrasyonu ile boyadaki ışığın yansıma (refleksiyon) değerleri arasında ilişki K/S olarak gösterilmektedir. Bu ilişkiyi açıklayan Kubelka-Munk teorisine göre, renkli bir örnek için iki büyüklük tarif edilmektedir. Bunlardan K, ışık absorpsiyonu; S ise ışık yansıması olarak belirtilmiştir. K büyük oranda boyarmaddeden (ışığı absorbe eden), S ise sadece tekstil materyali tarafından (ışığı yansıtan) belirlenir (Utaç, 2006; Koca, 2006). K/S değeri, absorblanan ışığın, yansıyan ışığa oranı şeklinde ifade edilir ve bilindiği üzere göz, cisimlerden yansıyan ışığı görebilmektedir. K/S ve ΔE değerleri birlikte değerlendirilerek renk verimliliği hakkında fikir yürütülmektedir (Önem ve ark., 2012; Tutak ve ark., 2014a; Tutak ve ark., 2014b). Tekstil materyalinin herhangi bir dalga boyundaki emisyon ve K/S değerleri arasındaki bağıntı, Kubelka-Munk teorisine göre hesaplanır ve formülasyon Denklem 3.10'da verilmiştir (Utaç, 2006; Koca, 2006):

$$K/S = (1-R)^2 / 2R = f(R) \quad (3.10)$$

Fotokromik boyarmaddelerin renk analizleri için Şekil 3.12'de verilen ÜSKİM'de bulunan ColorQuest XE HunterLab küresel spektrofotometre kullanılmıştır. Ölçümler CIE L a b renk sistemine göre yapılmıştır.



Şekil 3.12. ColorQuest XE HunterLab(CIE L a b) spektrofotometre

Numunelerin renk analizi cihazına yerleştirilmeden önce renk değişimlerinin sağlanması için 2 dakika süre ile Prowhite PL B065A Colour Light Box yapay UV ışığına masuz bırakılma işlemi Şekil 3.13'de verilen ışık kabininde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.13. Prowhite PL B065A Colour Light Box ışık kabini

3.1.3.7. Hava şartlarına karşı renk haslığı testleri

Hava şartlarına karşı renk haslığı, boyalı veya baskılı bir tekstil materyalinin üretim aşamalarında ve kullanımı sırasında karşılaştığı ışık ve nem etkilerine karşı içerdiği boyarmaddeyi vermeme, koruma direncidir (İçoğlu, 2006; Erenler, 2009).

Hava şartlarına karşı renk haslığı analizi ise TS 4460 EN ISO 105-B04 standardına uygun olarak yapılmaktadır. Bu standarda göre kabin içerisindeki ksenon ark lambası ile bir (1) dk yağmurlama, 29 dk yapay gün ışığı altında 5, 10, 20, 40, 80, 160, 320, 640 saatlik soldurma sürelerine maruz bırakılmak suretiyle gerçekleştirilen bir test yöntemidir (Sarıduman, 2005; Akan, 2007).

Üretilen nanolif yüzey numuneleri 6 IR ve 1 UV filtre sistemine sahip Xenotest 150 S+ ATLAS cihazında hava şartlarına karşı renk haslığı testine tabi tutulmuştur. TS 4460 EN ISO 105-B04 standardına göre 2x7 cm ebatlarında hazırlanan numuneler ile standart mavi yün skala bezleri (1-8 kadar olan) makine ekipmanlarından levhalara yerleştirilmek suretiyle, numuneler 20 saat süre ile işlem görmesidir. Daha sonra numuneler, ÜSKİM’de bulunan Prowhite PL B065A Colour Light Box UV ışık kutusunda, 4 dk boyunca UV ışığı altında tutulmuş ve referans mavi yün skalasına göre 1-8 aralığında değerlendirilmiştir. Hava şartlarına karşı renk analizleri Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, ÜSKİM merkezinde bulunan ve Şekil 3.14’de verilen Xenotest 150 S+ ATLAS cihazında yapılmıştır.



Şekil 3.14. ATLAS marka Xenotest 150 S+ cihazı

3.2. Metot

Tez çalışmasının amacı, UV ışınlarına maruz kaldığında renk değiştirebilen fotokromik nanolif yüzeyler elde etmektir. Yarı endüstriyel elektro çekim cihazı ile PU polimer esaslı nanolif yüzey elde edilecektir. Bu çalışma ile ilgili işlemler sırasıyla izah edilmiştir.

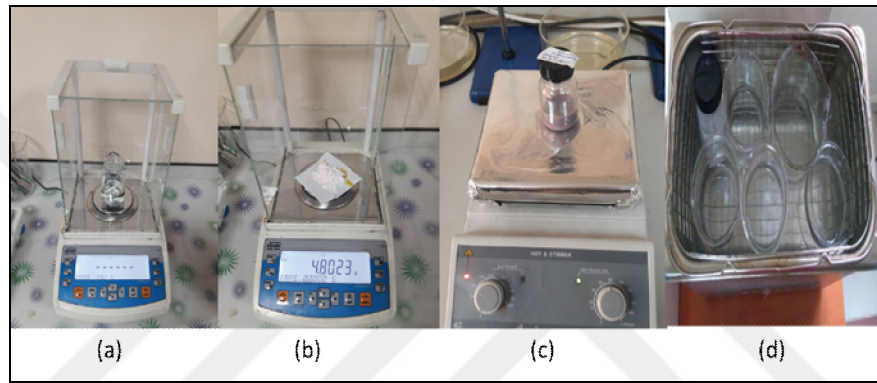
3.2.1. Fotokromik boyarmadde katkılı PU nanolif yüzeylerin üretilmesi

Çalışmada, fotokromik boyarmadde miktarı sistematik olarak yüzde (%) oranında artırılmış, boya katkı oranı %20-%60 aralığında çalışılmış ve hem nanolif yüzey özellikleri incelenmiş hem elektro çekim parametreleri belirlenmiş hem de katkılanan boyarmadde miktarının renk üzerindeki etkileri incelenmiştir. 2000 g/mol molekül ağırlığındaki PU polimerleri ile fotokromik boyarmadde katkılı nanolif yüzeylerin üretilmesinde karar verilen elektro çekim parametreleri ve hazırlanan çözeltilere ait bilgiler sırasıyla verilmiştir.

Elektrospinning yöntemiyle lif çekimi için yapılan ön denemelerde fotokromik boyarmadde ile PU polimerinin çözelti oluşturmada, birkaç çözücü denenmiştir. Aseton, tolüen, dimetilformamid (DMF) ve tetrahidrofuran (THF) gibi çözücüler ile yapılan bu ön

denemelerde DMF ve THF çözücülerin belirli oranda kullanılması ile başarılı şekilde çözeltiler hazırlanabilmiştir.

Öncelikle fotokromik boyarmadde DMF/THF (%50-%50) çözelti içerisinde 40-45 °C sıcaklık aralığında 1 saat süre ile ısı kontrollü manyetik karıştırıcı ile 5 saat süre ile ultrasonik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Daha sonra PU polimeri yine DMF/THF (%50-%50) çözeltisi içerisinde 1 saat süre ile 40 °C sıcaklığında karıştırılarak, polimer çözeltisi hazırlanmıştır. Daha sonra her iki çözelti de tek bir beher içerisinde 18 saat süre ile manyetik karıştırıcı ile karıştırılarak elektro çekim işlemine hazır hale getirilmiştir. Bu işlemler Şekil 3.15'te verilmiştir.



Şekil 3.15. Elektro çekim çözeltisinin hazırlanması (a) Çözücülerin tartımı,(b) Fotokromik boyarmaddenin tartımı,(c) Fotokromik boyarmadde, PU polimeri ve çözücülerin karıştırılması,(d) Çözeltisinin ultrasonik karıştırıcıda karıştırılması

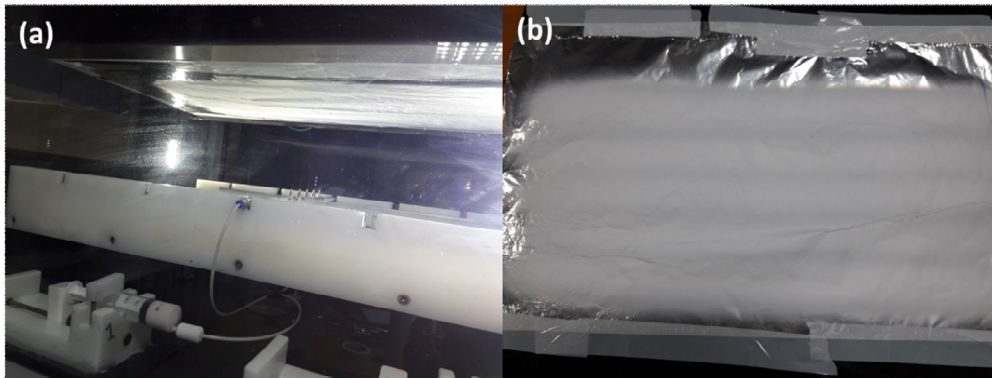
Tez çalışmasında nanolif yüzey numunelerin test ve analiz işlemlerinde takibinkolaylığı açısından kodlama yapılmıştır. Kodlamada, PU polimeri için PU, fotokromik boyarmadde için F ve de elektro çekim çözeltisindeki fotokromik boyarmaddenin yüzdesini ifade eden sayılar kullanılmıştır. Örneğin, 20F-PU ifadesi, %20 fotokromik boyarmadde katkılı PU çözeltisi ve aynı zamanda nanolif yüzey numunesi anlamına gelmektedir.

Toplam çözelti ağırlığı 80 g olarak hazırlanan çözeltinin %13'lük kısmı katı madde oranıdır. Bu oran içerisinde hem fotokromik boyarmadde hemde PU polimeri vardır. Örneğin, %20'lik oranına sahip numunede, 2,08 g ($80 \times \%13 \times \%20$) fotokromik boyarmadde, 8,32 g PU ($80 \times \%13 \times \%80$) ve 69,6 g çözücü [DMF+THF (%50-%50)] kullanılmıştır. Üretimi gerçekleştirilen nanolif numunelerin boya katkı oranları, genel çözelti oranı ve elektro çekim parametreleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Nanolif yüzeylerin boya katkı oranları, genel çözelti oranı ve elektro çekim parametreleri

Çözelti Bileşeni	PU içine katılanan Fotokromik Boya Oranı (%)	Çözücü: DMF/THF Oranı (%)	Çözelti Oranı (%)	Elektro Çekim Parametreleri		
				Voltaj (V)	Toplayıcı Düzey Arası Mesafe (mm)	Besleme Miktarı (mL/sa)
Ref	0	50/50	13	19	165	4
20F-PU	20		13	20,5	165	10
25F-PU	25		13	19	160	6,5
30F-PU	30		13	20	160	9
35F-PU	35		13	19	160	7
40F-PU	40		15	19	160	4,5
45F-PU	45		15	18	160	6
50F-PU	50		15	20	160	4,5
55F-PU	55		15	19	160	7
60F-PU	60		15	21	165	6,2

Üretim esnasında yarı endüstriyel elektro çekim cihazında 40F-PU numunesi ile birlikte yaşanan lif çekimi problemleri sebebiyle çözelti içerisindeki katı madde oranı %13'ten %15'e çıkartılmıştır. 5 düze içeren bir adet düze seti ile üretimi gerçekleştirilen nanolif numunelere ait resimler Şekil 3.16'de gösterilmiştir.



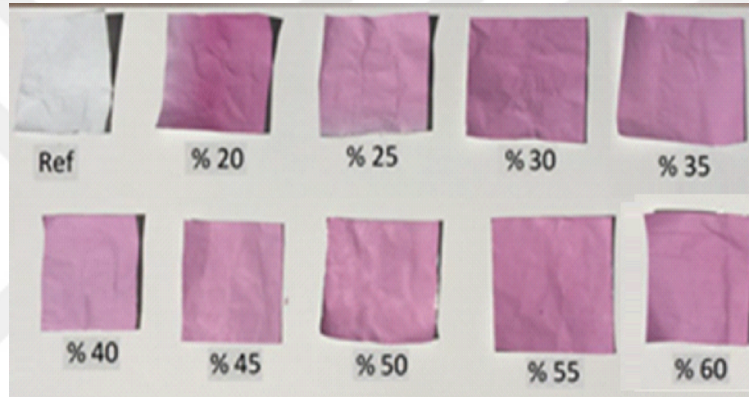
Şekil 3.16. Elektro çekim üretimi ve numuneye ait görüntü

Üretimler sırasında elektro çekim cihazının kumaş sarım hızı 10 cm/dk olarak ayarlanmıştır. İlk denemelerde spunbond kumaş üzerine nanolifler aktarılmış ancak hareket halindeki kumaş ile nanolifler arasındaki esneme farklılıklarından dolayı nanolif yüzeyde bozunmalar, yırtılmalar görülmüştür. Bu sebepten alüminyum folyo denenmiş, fakat ileri geri sarım hareketlerinden folyoda yırtıldığından, spunbond kumaş üzerine yerleştirilen

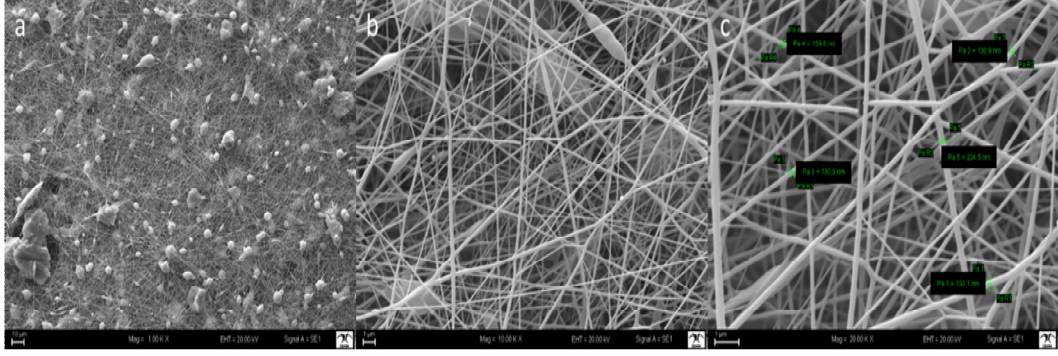
alimünyum folyo üzerine nanolif yüzeylerin aktarılması ile hatasız, tahribatsız nanolif yüzeyler elde edilmiştir.

Öndenemelerde PU polimerinden kaynaklı nanolif yüzey kalınlığının düşük gelmesinden dolayı çalışmada ileri ve geri yönde toplam 26 kez (13 tur) hareket ettirilerek üretim gerçekleştirilmiştir. Burada “tur” kavramı, kumaşın ileri ve geri yönde birim mesafede 1 kez sarılması olarak ifade edilmiştir. Fotokromik boyarmadde katkılı nanolif yüzeyler 45 cm X 35 cm ebatlarında olacak şekilde üretim gerçekleştirilmiştir.

Üretilen nanolif yüzeylerin güneş ışığına maruz bırakılması sonucu (UV ışığına olan tepkisi) göstermiş olduğu tepkiler sonucu dönüştükleri renkler Şekil 3.17’de verilmiştir.

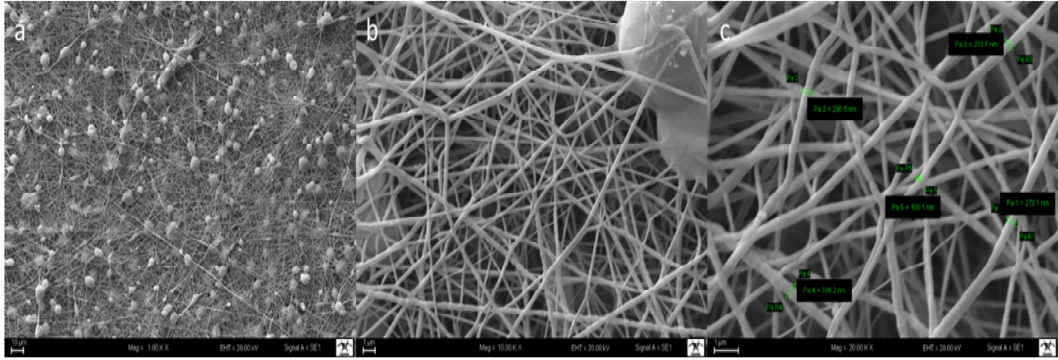


Şekil 3.17. Nanolif yüzeylerin UV ışığına verdiği tepki



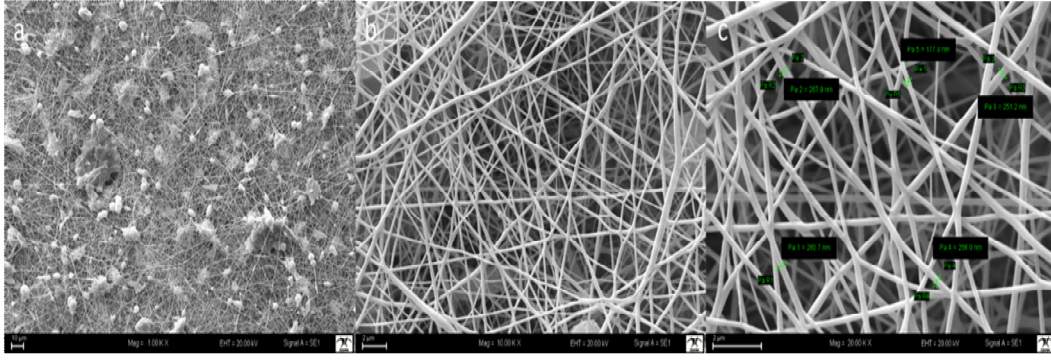
Şekil 4.5. 30F-PU numunesine ait SEM görüntüsü a) 10 μm -1 KX b) 1 μm -10 KX c) 1 μm -20 KX

Şekil 4.6'daki %35 fotokromik boyarmadde katkılı 35F-PU kodlu nanolif yüzeyin SEM görüntüleri incelendiğinde fotokromik boyarmadde partiküllerinin yüzey içerisindeki görünürlüğü arttığı ve dağınık halde yerleştiği görülmektedir. Ortalama lif çapı değerleri analizinde 267 ± 100 nm boyutunda nanolifler elde edilmiştir.



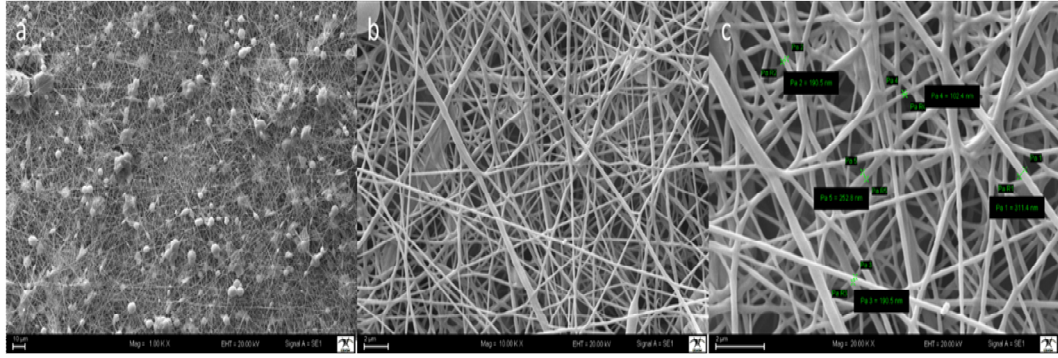
Şekil 4.6. 35F-PU numunesine ait SEM görüntüsü a) 10 μm -1 KX b) 1 μm -10 KX c) 1 μm -20 KX

Şekil 4.7'deki %40 fotokromik boya katkılı 40F-PU kodlu nanolif yüzeyin SEM görüntüleri incelendiğinde fotokromik boyarmadde partiküllerinin yüzey içerisindeki homojen görüntünün bozulduğu yine de nanolif yüzey içerisine yerleştiği görülmektedir. Ortalama lif çapı değerleri analizinde 242 ± 36 nm boyutunda nanolifler elde edilmiştir.



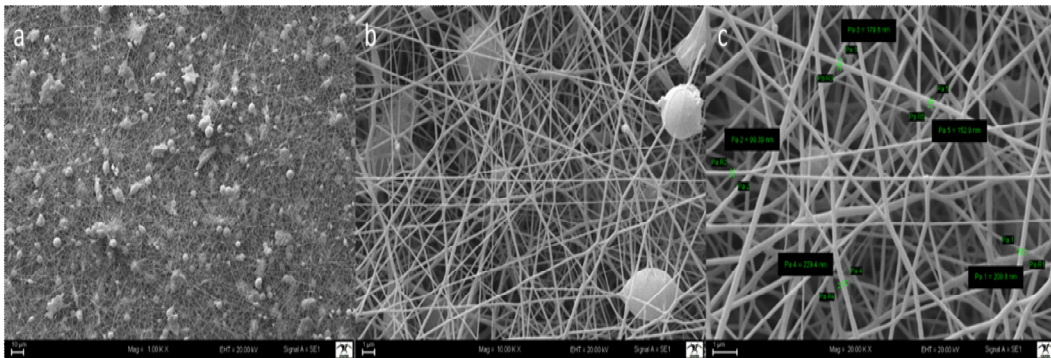
Şekil 4.7. 40F-PU numunesine ait SEMgörüntüsü a) 10 μm -1 KX b) 2 μm -10 KX c) 2 μm -20 KX

Şekil 4.8'deki %45 fotokromik boyarmadde katkılı 45F-PU numunesinin SEM görüntülerinden boya partiküllerinin homojen olmayan bir şekilde nanolif yüzey içerisine yerleştiği ve 209 ± 78 nm ortalama lif çapına sahip nanolifler elde edildiği tespit edilmiştir.



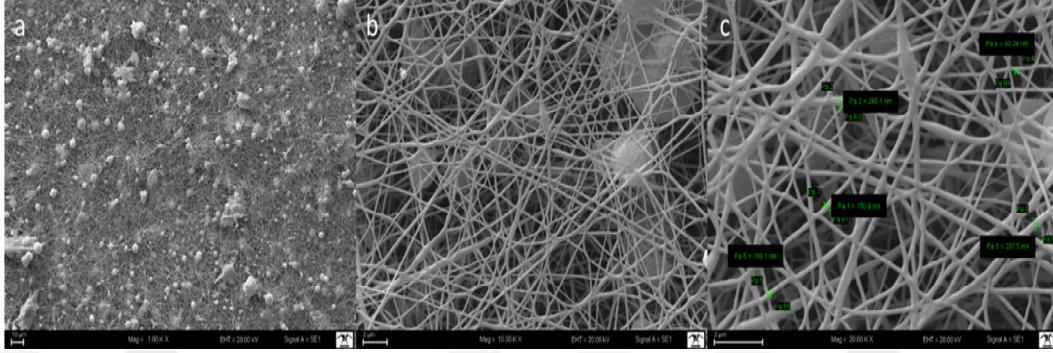
Şekil 4.8. 45F-PU numunesine ait SEMgörüntüsü a) 10 μm -1 KX b) 2 μm -10 KX c) 2 μm -20 KX

Şekil 4.9'da verilen %50 fotokromik boyarmadde katkılı 50F-PU kodlu nanolif yüzeyin SEM görüntüleri incelendiğinde nanolif yüzey içerisindeki fotokromik boya partiküllerinin homojen olmayan bir şekilde nanolif yüzey içerisine yerleştiği ve 172 ± 49 nm ortalama lif çapına sahip nanolifler elde edildiği tespit edilmiştir.



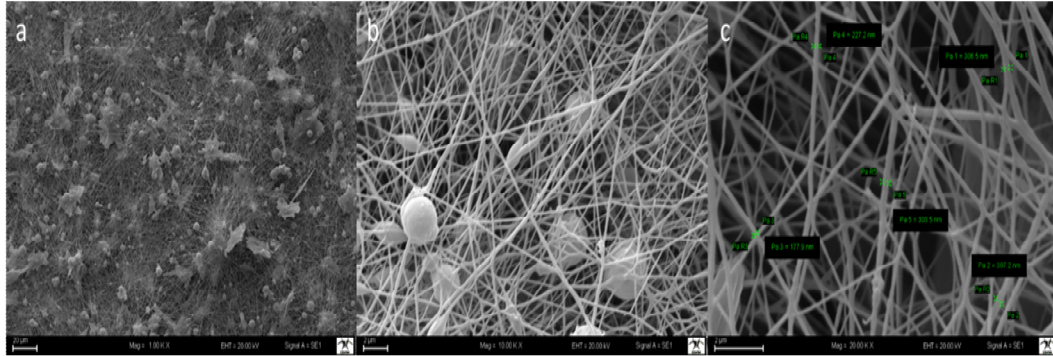
Şekil 4.9. 50F-PU numunesine ait SEMgörüntüsü a) 10 μm -1 KX b) 1 μm -10 KX c) 2 μm -20 KX

Şekil 4.10’da verilen %55 fotokromik boyarmadde katkılı 55F-PU kodlu nanolif yüzeyin SEM görüntüleri incelendiğinde nanolif yüzey içerisindeki fotokromik boya partiküllerinin homojen olmayan bir şekilde nanolif yüzey içerisine dağıldığı ve 170 ± 94 nm ortalama lif çapında nanolifler elde edildiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.10 55F-PU numunesine ait SEMgörüntüsü a) 10 µm-1 KX b) 2 µm-10 KX c) 2µm-20 KX

Şekil 4.11’deki %60 fotokromik boyarmadde katkılı 60F-PU kodlu nanolif yüzeyin SEM görüntüleri incelendiğinde nanolif yüzey içerisindeki fotokromik boya partiküllerinin rastgele dağıldığı ve elde edilen nanoliflerin 264 ± 59 nm ortalama lif çapına sahip olduğu tespit edilmiştir.

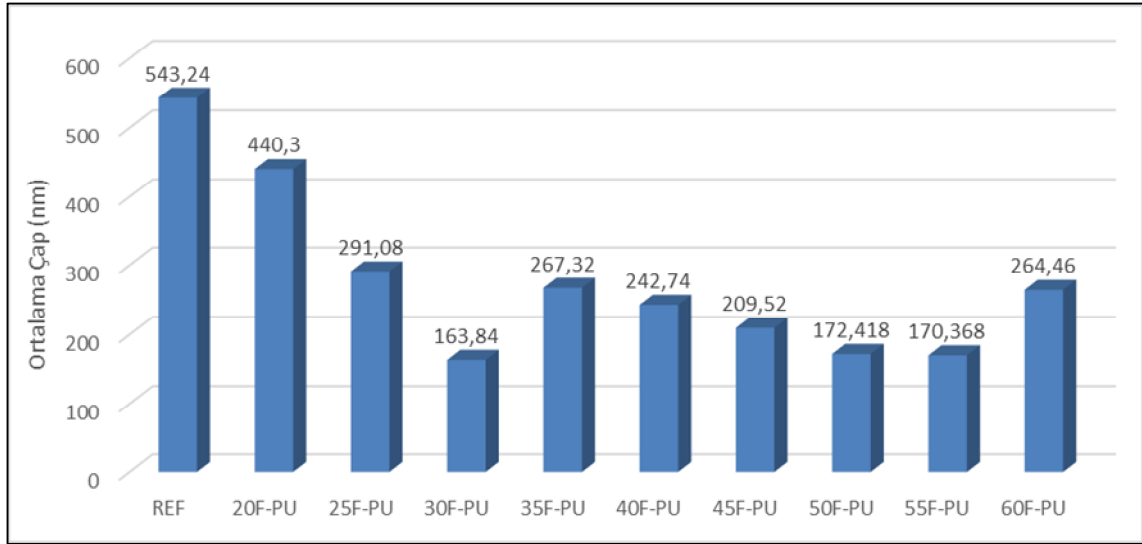


Şekil 4.11. 60F-PU numunesine ait SEMgörüntüsü a) 20 µm-1 KX b) 2 µm-10 KX c) 2µm-20 KX

Üretilen mumumelere ait ortalama nanolif çapları Çizelge 4.1’de ve lif çaplarının değişim grafiği ise Şekil 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Üretilen fotokromik katkı PU nanolif yüzeylerin ortalama lif çapları

Numuneler	Ortalama Lif Çapı (nm)	Standart Sapma
REF	543,2	±175,2
20F-PU	440,3	±189,9
25F-PU	291,1	±75,4
30F-PU	163,8	±42,7
35F-PU	267,3	±100,5
40F-PU	242,7	±36,8
45F-PU	209,5	±78,2
50F-PU	172,4	±49,5
55F-PU	170,4	±94,5
60F-PU	264,5	±59,2



Şekil 4.12. Fotokromik boyarmadde katkı nanolif numunelerin ortalama çapları

Çizelge incelendiğinde referans PU numunesinin ortalama lif çapı değeri 543 nm olarak elde edilmiştir. Fotokromik boyarmadde katkısının nanoliflerin ortalama çapının azalmasına sebep olduğu ve ayrıca fotokromik boya oranı arttıkça nanolif ortalama çaplarında da genel olarak bir düşüş olduğu tespit edilmiştir. Ancak %60 fotokromik boya içeren numunelerin bu genel eğilime uymadığı görülmüştür.

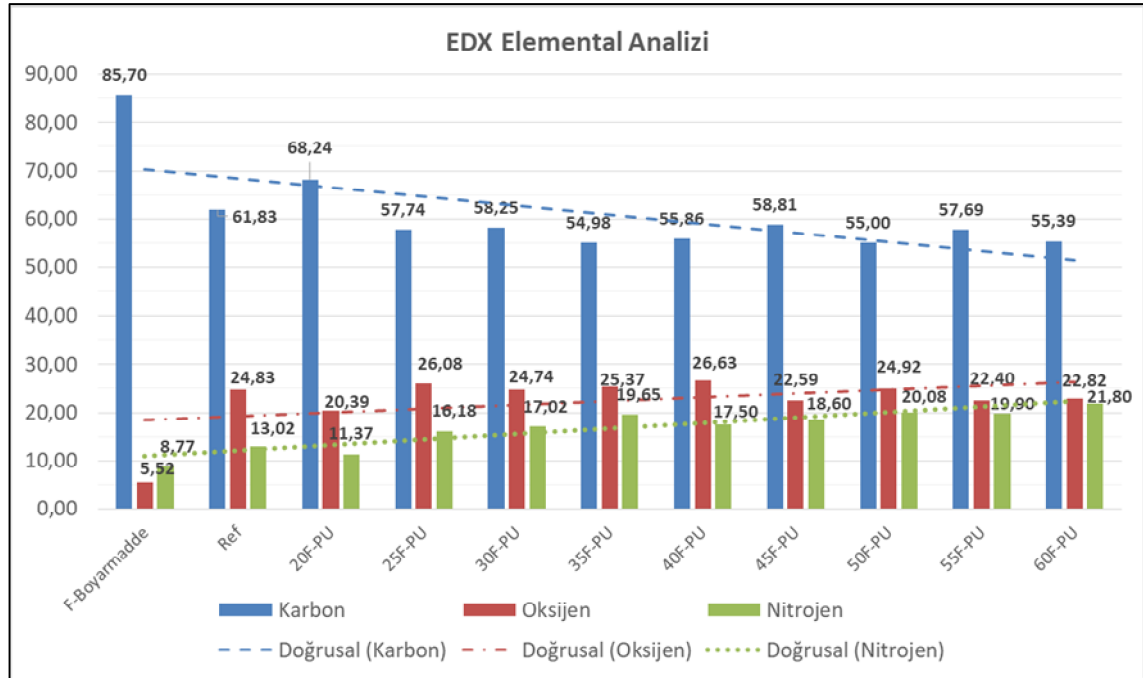
4.2. EDX Analizi

Tez çalışması sırasında hazırlanan nanolif numunelerin ve fotokromik boyarmadde partikülünün elemental analizleri (EDX) yapılmış ve elde edilen veriler Çizelge 4.2 ve Şekil 4.13'te verilmiştir.

Çizelge 4.2. Fotokromik boyarmadde katkıli poliüretan nanolif yüzeylere ait EDX analizi

Elementler	Karbon		Oksijen		Nitrojen	
Numuneler	%-Oran	Std. Sap.	%-Oran	Std. Sap.	%-Oran	Std. Sap.
F-Boyarmadde	85,70	±1,43	5,52	±0,29	8,77	±0,48
Ref	61,83	±4,97	24,83	±1,95	13,02	±3,29
20F-PU	68,24	±4,36	20,39	±3,65	11,37	±2,11
25F-PU	57,74	±5,03	26,08	±1,01	16,18	±4,02
30F-PU	58,25	±3,88	24,74	±1,28	17,02	±2,62
35F-PU	54,98	±4,20	25,37	±2,51	19,65	±1,72
40F-PU	55,86	±1,31	26,63	±0,48	17,50	±0,95
45F-PU	58,81	±8,79	22,59	±6,29	18,60	±3,82
50F-PU	55,00	±6,12	24,92	±2,52	20,08	±3,60
55F-PU	57,69	±2,08	22,40	±2,39	19,90	±2,47
60F-PU	55,39	±7,22	22,82	±4,77	21,80	±2,62

Referans numune, fotokromik boyarmadde partikülü ve fotokromik boyarmadde katkıli numunelerin EDX analizine göre tüm numunelerde karbon, oksijen ve nitrojen (azot) elementlerine ait bulgular elde edilmiştir. Çizelge 4.2’de verilen veriler incelendiğinde karbon miktarının ref numunesinde 61,83, oksijen miktarının 24,83 ve nitrojen 13,02 oranında fotokromik boyarmadde partikülünde karbon miktarının 85,70, oksijen miktarının 5,52 ve nitrojen miktarının 8,77 olduğu tespit edilmiştir.



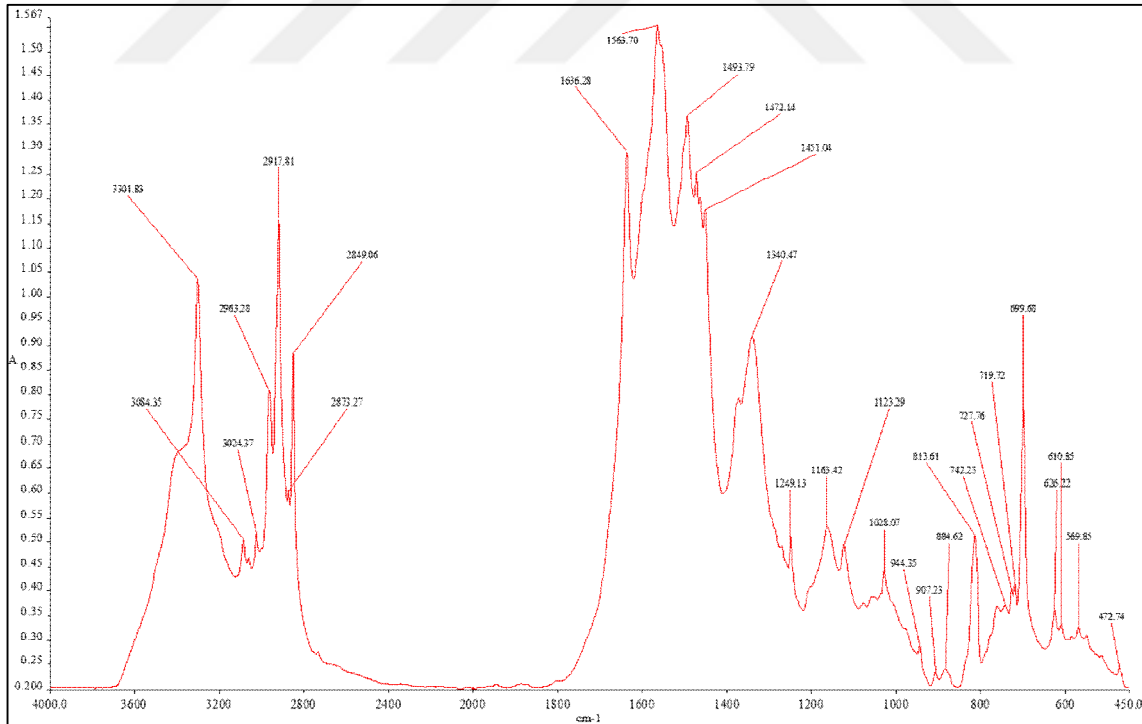
Şekil 4.13. Nanolif numunelerin EDX analiz grafiği

Şekil 4.13’deki grafik incelendiğinde, fotokromik boyarmadde katkı oranı arttıkça karbon miktarının düşüş içerisinde olduğu ancak bu düşüşün belirli bir eğim içerisinde

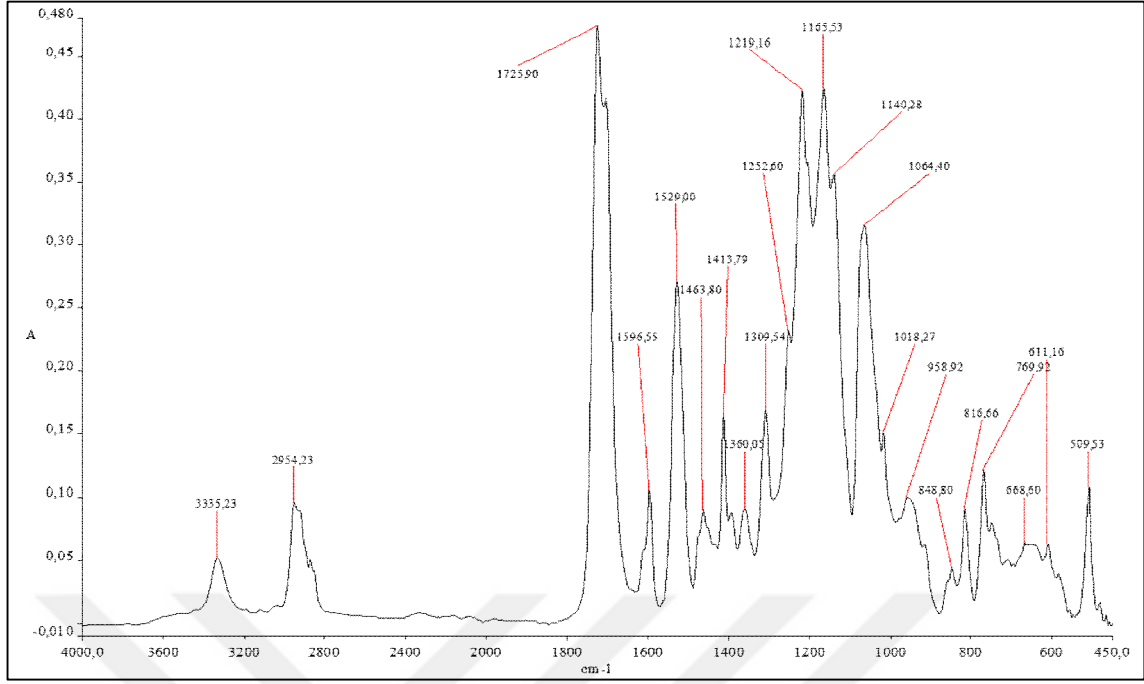
olmadığı, dalgalı bir şekilde yer aldığı görülmektedir. Fotokromik boyarmaddenin karbon miktarının yüksek olması sebebiyle PU polimeri içeriğindeki katkı oranının artmasıyla karbon oranının daha da artması beklenirken, tersi bir durum ortaya çıkmıştır. Ancak standart sapmalar göz önüne alındığında fotokromik boyarmadde miktarının, nanolif içeriğindeki karbon miktarındaki değişimi etkilemediği görülmüştür. Nanolif yüzeyler içeriğindeki oksijen miktarı ise tüm numunelerde birbirine yakın değerlerde tespit edilmiştir, eğim ise düşüş veya artış görülmemiştir. Nitrojen (azot) miktarı incelendiğinde karbon oranının tersi bir durum gözlemlenmiştir. Nanolif yüzey içeriğindeki boyarmadde miktarı ile azot nitrojen miktarı dalgalı bir şekilde olsa da artış şeklinde bir eğim içerisinde tespit edilmiştir.

4.3. FTIR Analizi

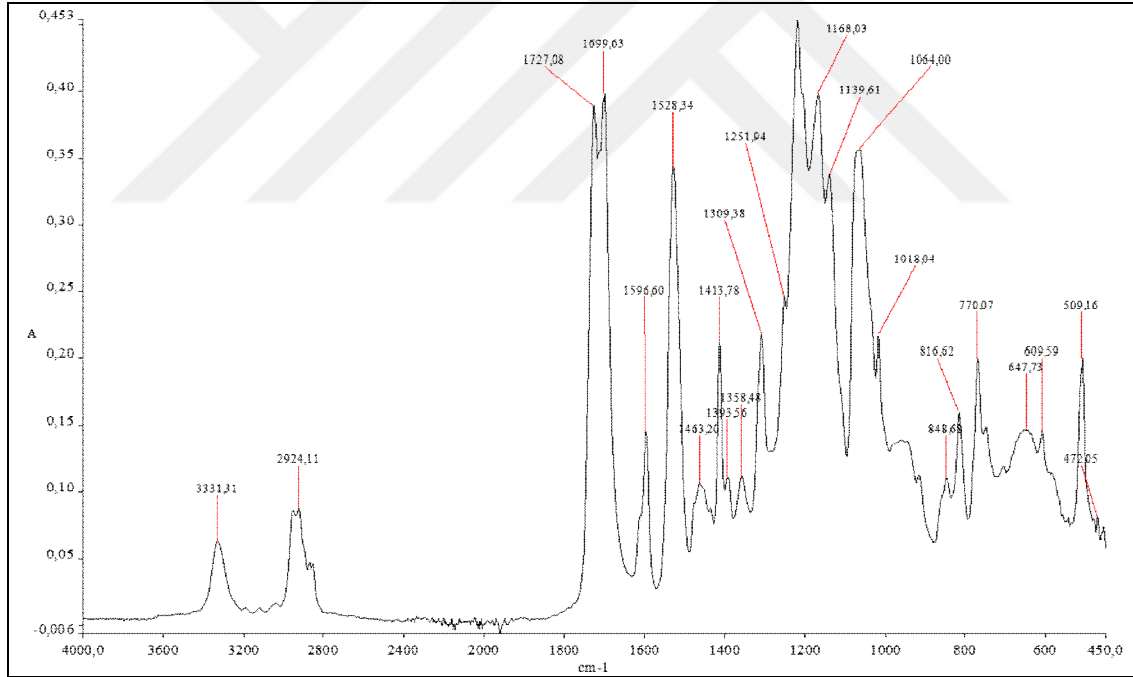
Ref ve fotokromik boyarmadde katkılı nanolif yüzey numunelerin FTIR analizleri ATR modunda $450-4000\text{ cm}^{-1}$ dalga sayısında yapılmıştır. Fotokromik boyarmadde, poliüretan granül ve referans nanolif yüzeye ait FTIR spektrumu Şekil 4.14, Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da verilmiştir.



Şekil 4.14. Fotokromik boyarmadde partikülüne(F-G) ait FTIR spektrumu



Şekil 4.15. Poliüretan granüllere (PU-G) ait FTIR spektrumu

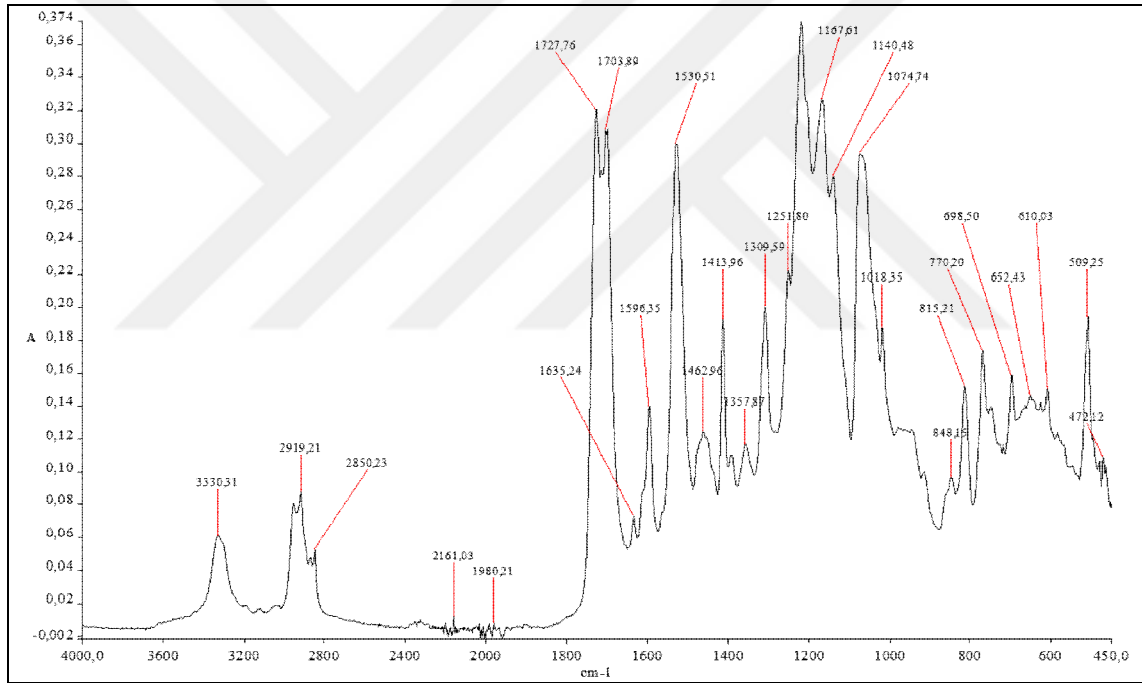


Şekil 4.16. Referans (PU) nanolif yüzeye ait FTIR spektrumu

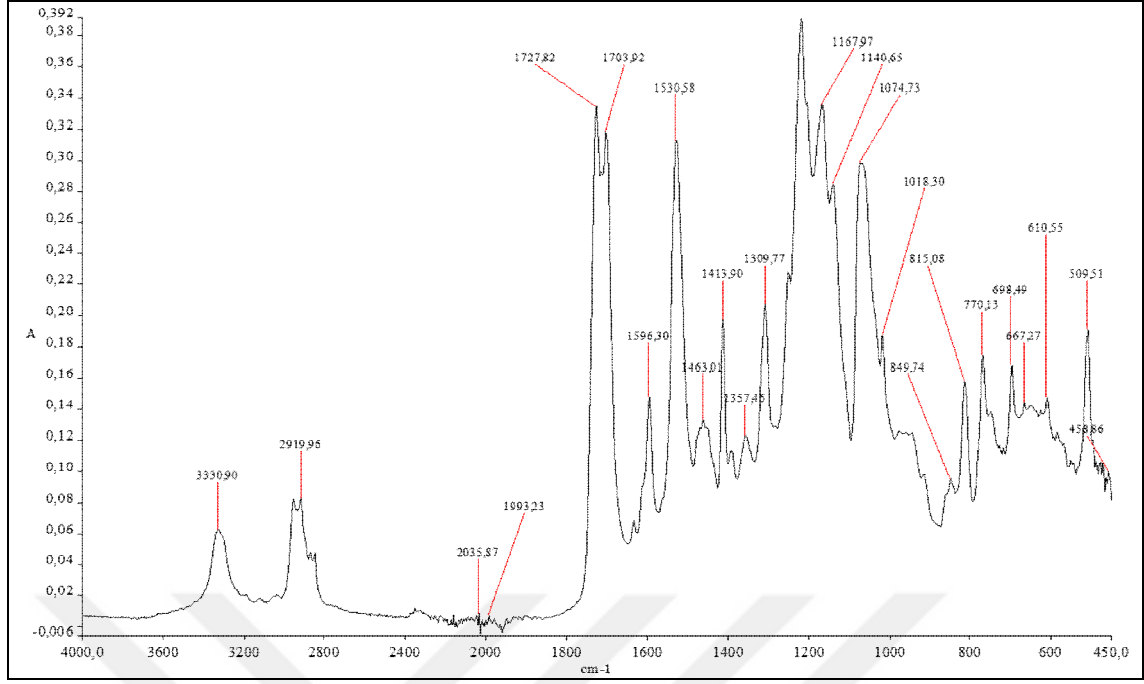
Poliüretan polimerinin 3200-3500 cm^{-1} arasında görülen N-H grubuna ait pik (Sonnenschein, 2015) hem granüle hem de referans nanolif yüzeye ait FTIR spektrumunda görülmüştür. Genel anlamda PU granül ile nanolif yüzey FTIR spektralarında aynı pikler hemen hemen aynı dalga boylarında görülmüştür. Birkaç dalga sayısında meydana gelen farklılığı nanolif üretimi sırasında kullanılan çözücülerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Referans nanolif yüzeye ait FTIR spektrumunda görülen 2924 cm^{-1} piki CH gerilme

titreşimine, 1727 cm^{-1} ve 1699 cm^{-1} pikleri C=O gerilmesine karşılık gelmektedir. 1596 cm^{-1} de görülen pik aromatik C=C grubuna ait karakteristik PU pikidir. 1528 cm^{-1} 'de görülen pik (N-H)+(C-N), 1463 cm^{-1} de görülen pik CH_2 , 1413 cm^{-1} de görülen pik C-C, 1358 cm^{-1} 'de görülen pik CH_2 gerilme titreşimlerine ve 1309 cm^{-1} de görülen pik (N-H)+(C-N)+(C-H) titreşimlerine, 1251 cm^{-1} karbonil grubuna bağlı C-O-C grubu titreşimlerine, 1064 cm^{-1} C-O-C (ester grubu) titreşimlerine aittir. Elde edilen bu sonuçlar literatürle karşılaştırıldığında üretilen Poliüretan nanolif yüzeye ait FTIR spektrumunun literatürdeki veriler ile uyumlu olduğu görülmüştür (Saafan vd., 2006; Yanılmaz, 2011; Pradhan ve Nayak, 2012; Samatya, 2015; Sonnenschein, 2015).

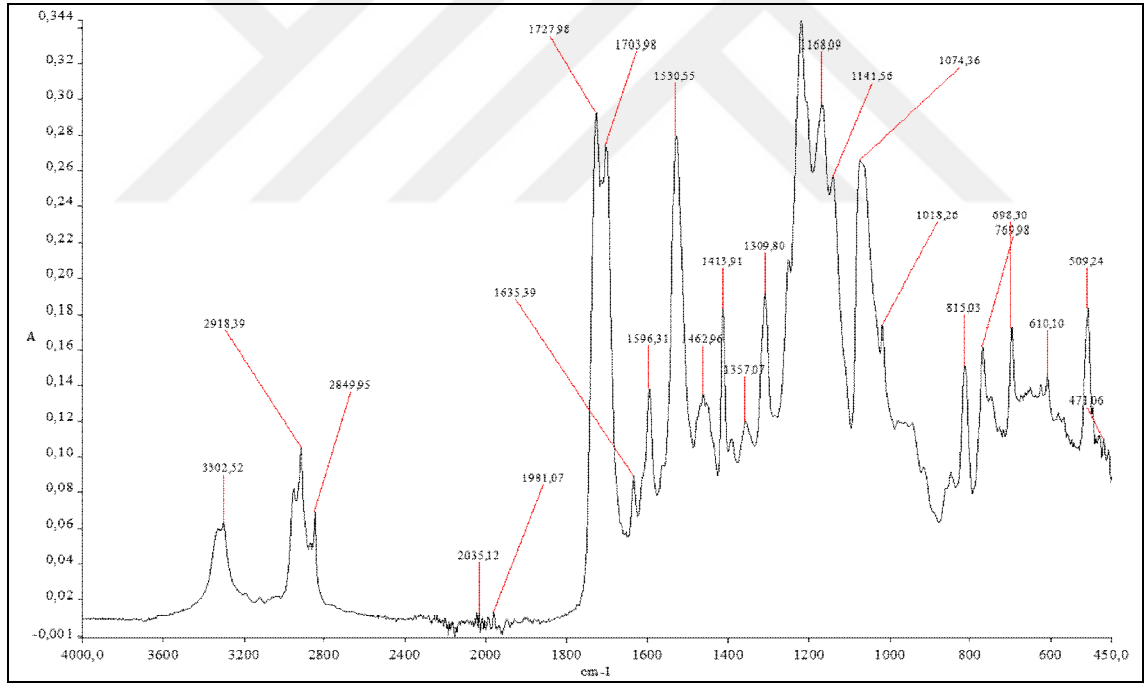
Fotokromik boyar madde katkılı nanolif yüzeylere ait FTIR spektraları sırasıyla Şekil 4.17 - 4.25'te verilmiştir.



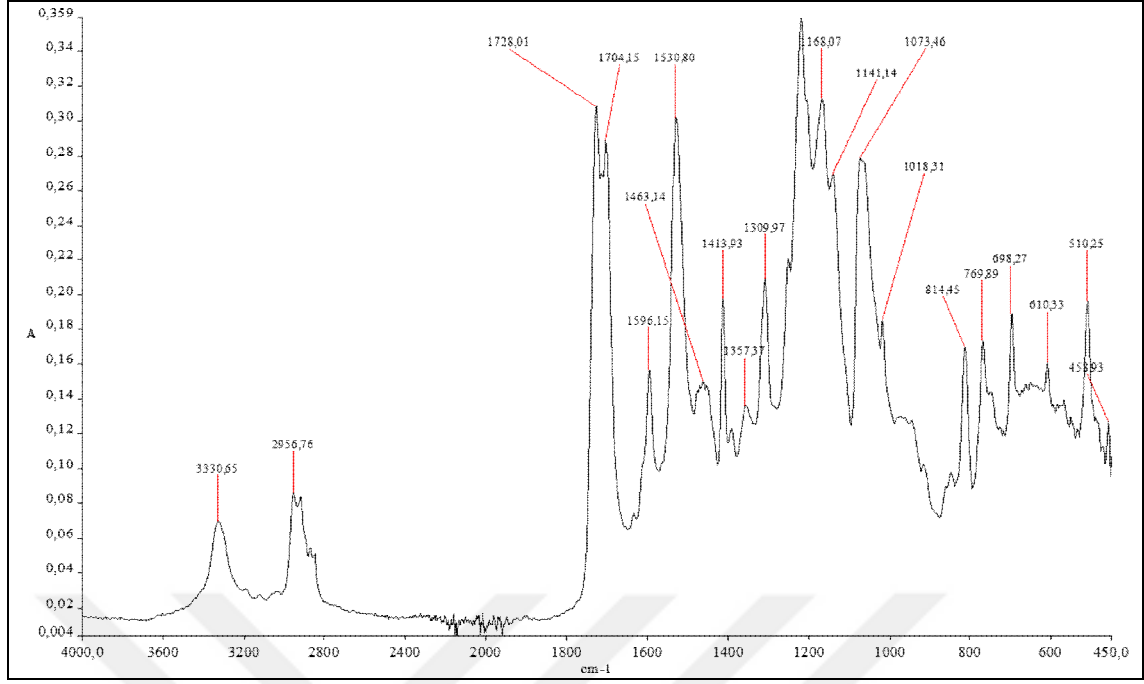
Şekil 4.17. 20F-PU nanolif yüzeye ait FTIR spektrumu



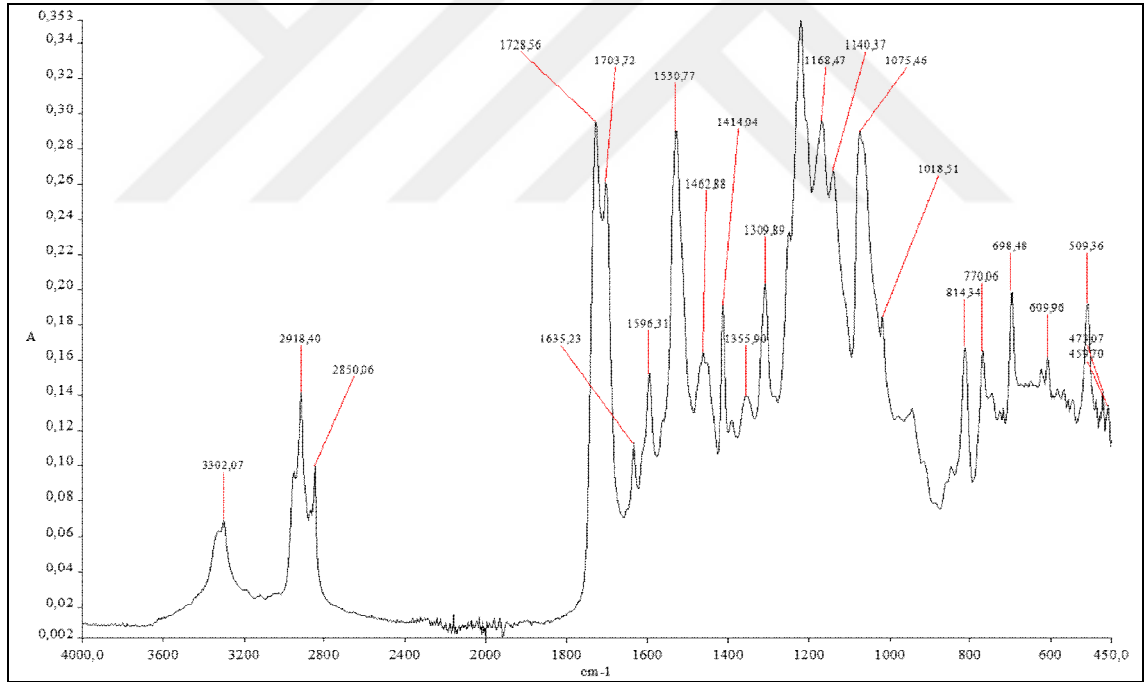
Şekil 4.18. 25F-PU nanolif yüzeye ait FTIR spektrumu



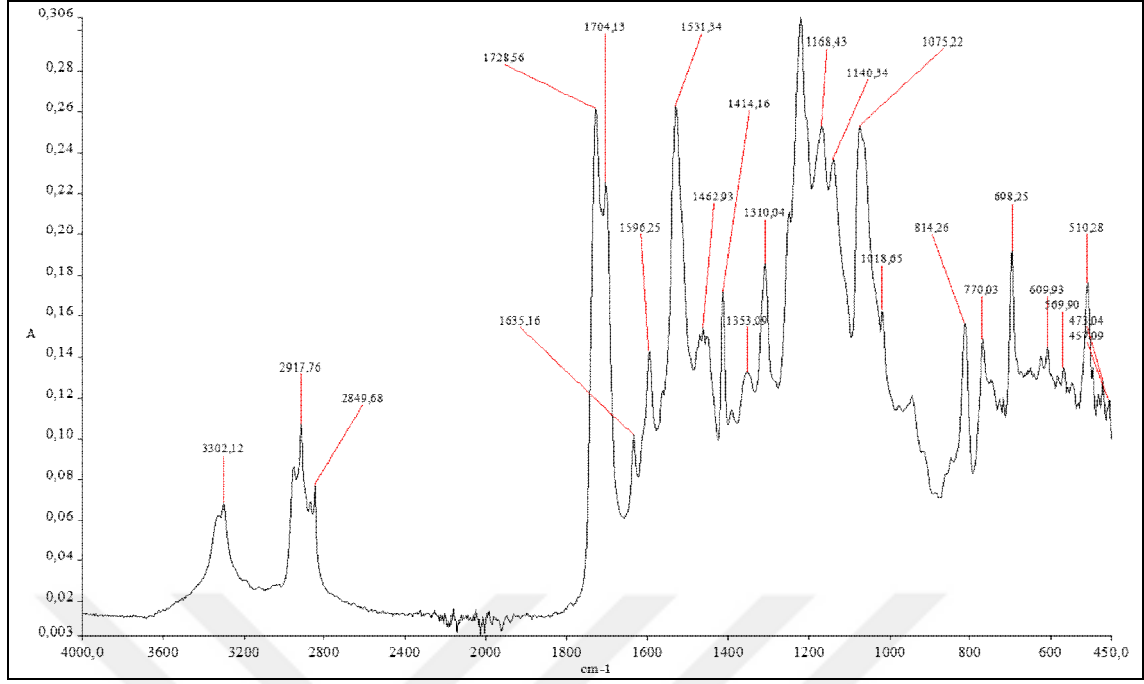
Şekil 4.19. 30F-PU nanolif yüzeye ait FTIR spektrumu



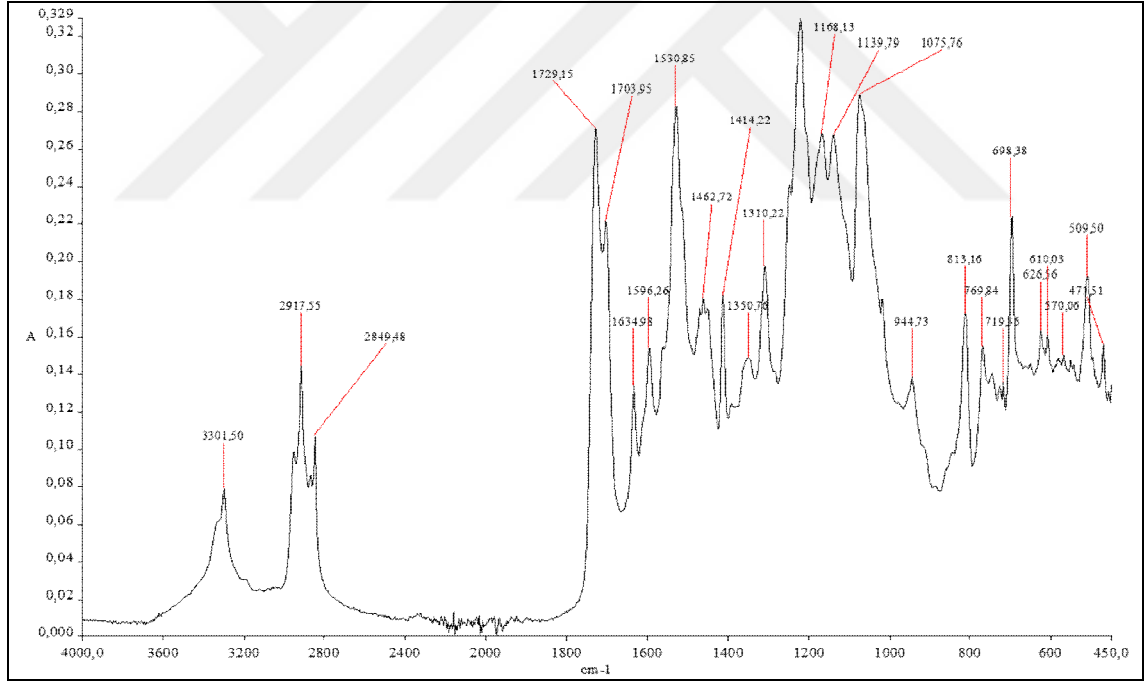
Şekil 4.20. 35F-PU nanolif yüzeye ait FTIR spektrumu



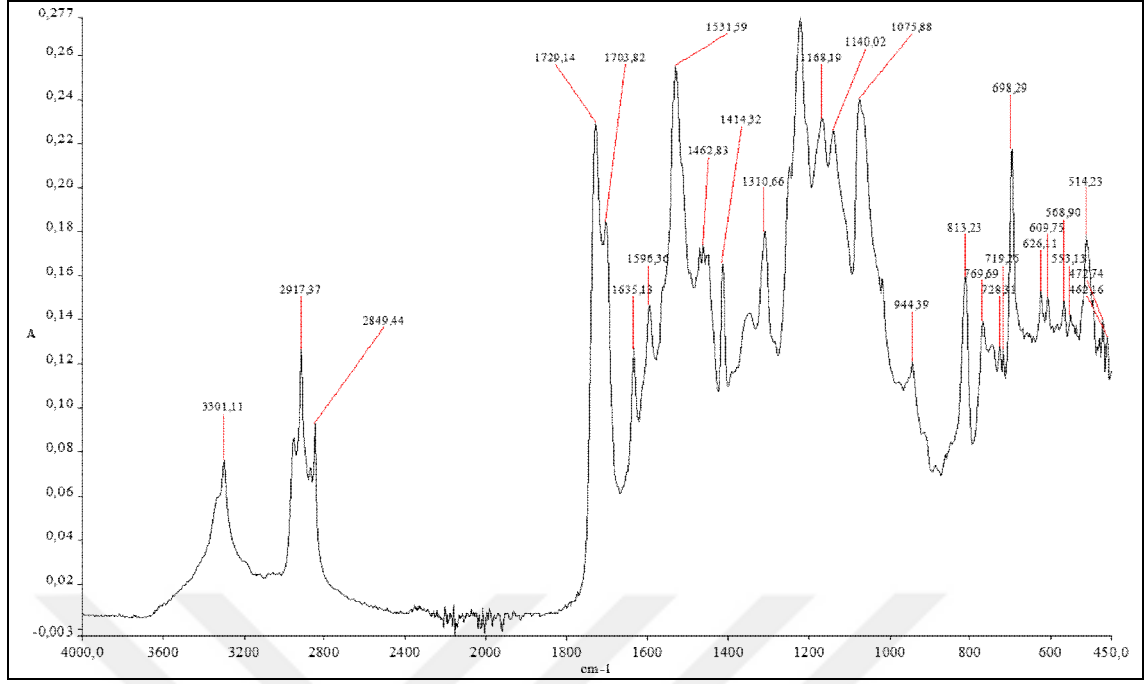
Şekil 4.21. 40F-PU nanolif yüzeye ait FTIR spektrumu



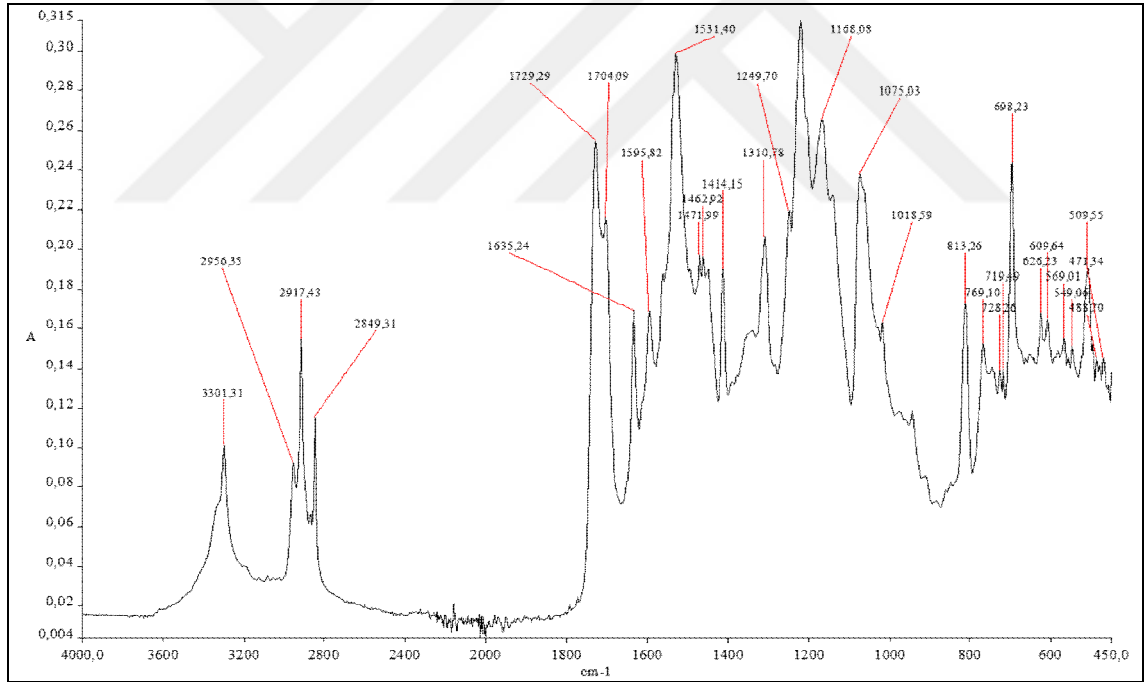
Şekil 4.22. 45F-PU nanolif yüzeye ait FTIR spektrumu



Şekil 4.23. 50F-PU nanolif yüzeye ait FTIR spektrumu



Şekil 4.24. 55F-PU nanolif yüzeye ait FTIR spektrumu



Şekil 4.25. 60F-PU nanolif yüzeye ait FTIR spektrumu

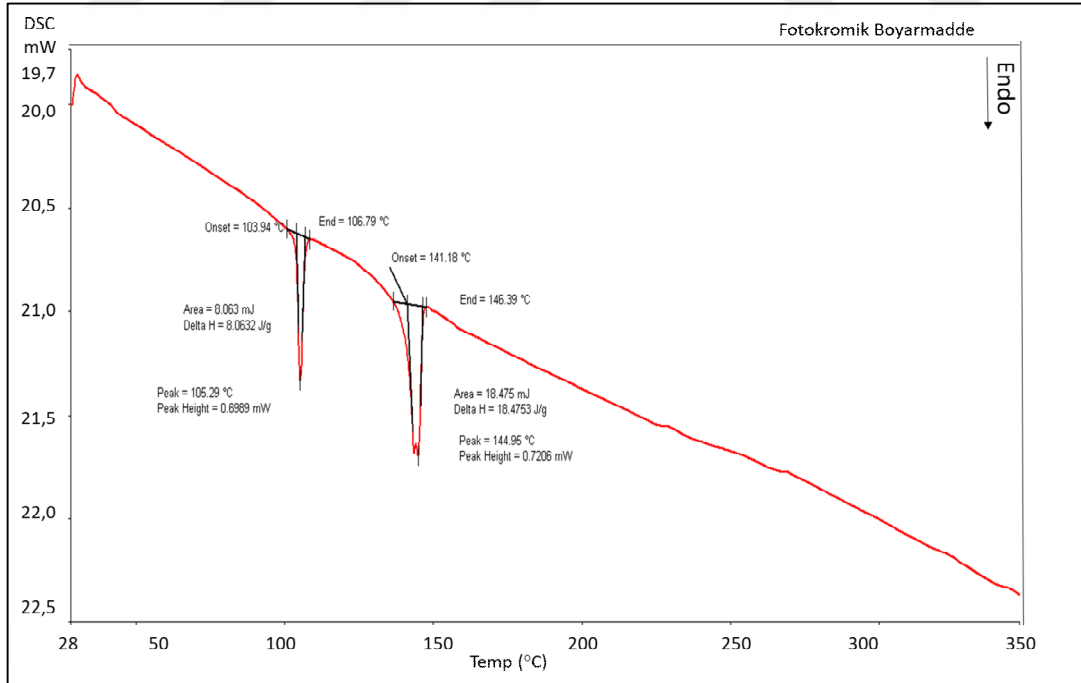
Fotokromik boyarmadde katkılı nanolif yüzeylerde PU ile fotokromik boyaların benzer gruplarına veya yakın dalga sayısında pik veren farklı bazı gruplara ait piklerin çıktığı, bu piklerin bazılarında ise bir miktar kaymalar olduğu gözlemlenmiştir. FTIR spektrumunda görülen spirooxazinin 1596 cm^{-1} 'deki aromatik C=C gerilme titreşim piki, 1530 cm^{-1} 'deki karakteristik aromatik N=O absorpsiyon piki, 1309 cm^{-1} 'de C-O gerilme titreşim piki PU ile yakın piklerdir.

PU'nun N-H gruplarına ait 3331 cm^{-1} 'deki pikin, fotokromik boyarmadde katkılı numunelerin FTIR spektrumunda 3300 cm^{-1} civarına kaymasının ve fotokromik boyarmadde oranının artmasıyla absorbans değerinin de artmasının fotokromik boyarmadde yapısındaki spirooxazine ait 3230 cm^{-1} civarında pik veren –OH gruplarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu numunelerde PU'nun FTIR spektrumunda bulunmayan, ancak kullanılan fotokromik boyarmadde içeriğindeki spirooxazin yapısına ait pikler de gözlemlenmiştir.

FTIR spektrumundaki bu pikler 1635 cm^{-1} civarındaki spirooxazinin C=N gerilme titreşimine, 1249 cm^{-1} 'deki spirooxazinin C-O gerilme titreşimine ve 745 cm^{-1} 'deki spirooxazinin aromatik halka eğilme titreşimine ait piklerdir. Fotokromik boyarmadde katkılı nanolif yüzeylerin FTIR spektrumunda görülen fotokromik boyarmadde içeriğindeki spirooxazine ait pikler literatür ile uyumlu çıkmıştır (Peng vd., 2018).

4.4. DSC Analizi

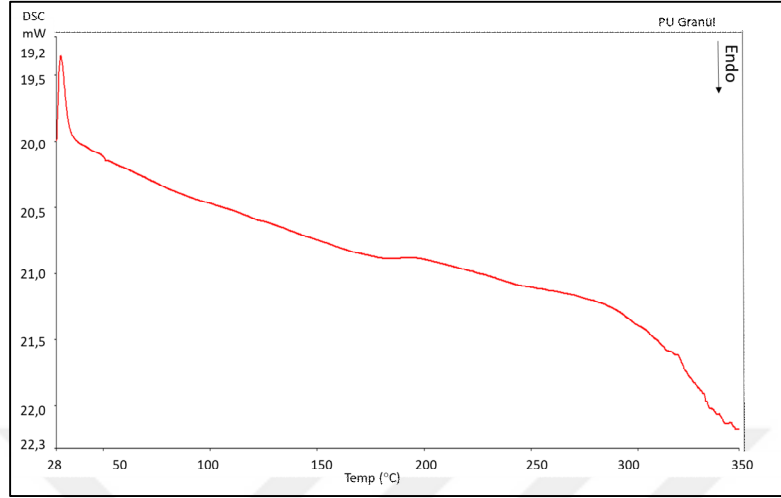
Diferansiyel taramalı kalorimetri analizleri dakikada $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklık artışı ile $20\text{--}360\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkları arasında yapılmıştır. Fotokromik boyarmaddeye ait DSC grafiği Şekil 4.26'da verilmiştir.



Şekil 4.26. Fotokromik Boyarmaddeye ait DSC grafiği

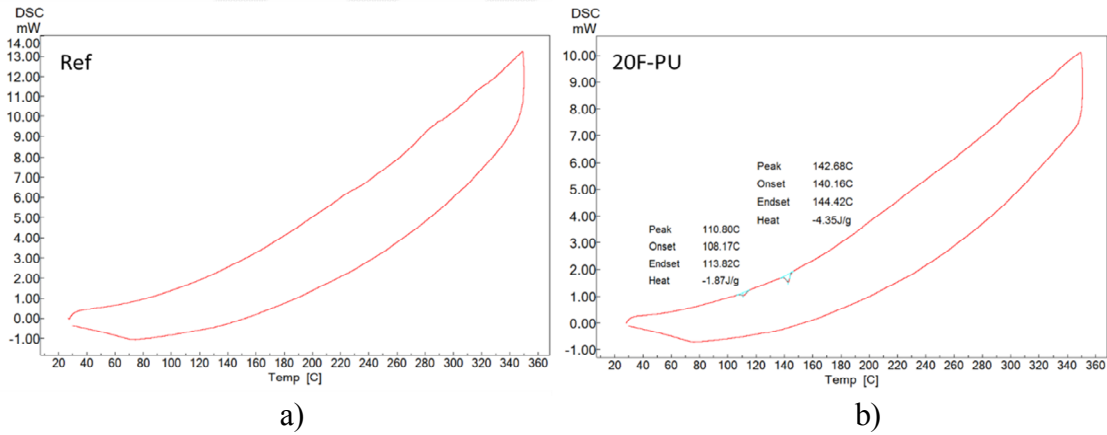
Fotokromik boyarmaddeye ait DCS analizi pik yönü grafikte belirtildiği gibi aşağı yöndedir. Grafikten de görüleceği üzere 2 adet enerji çıkışı tespit edilmiştir. İlki $105,29\text{ }^{\circ}\text{C}$

sıcaklığında 8,06 J/g olarak, ikinci enerji çıkışı ise 144,95 °C sıcaklığında ve 18,47 J/g olarak tespit edilmiştir. PU polimer (PU-G) granülleri için yapılan DSC analizleri ise Şekil 4.27’de verilmiştir.



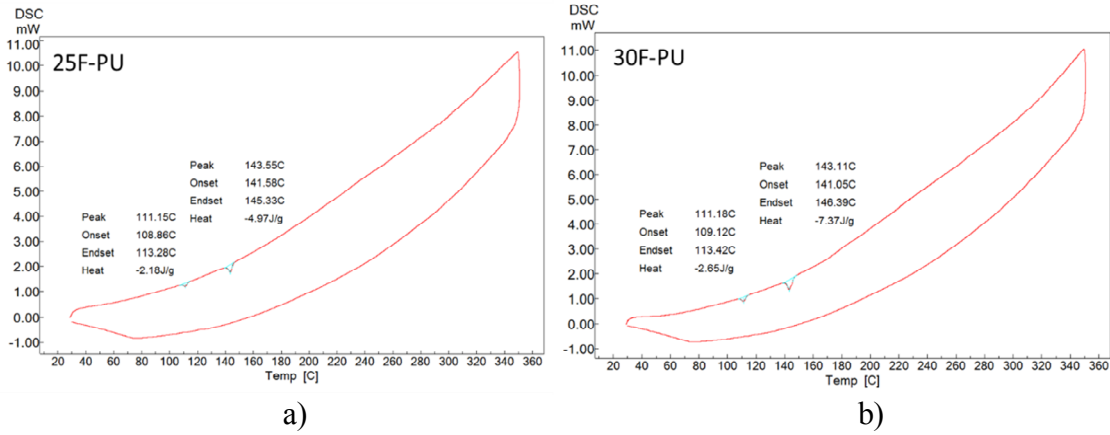
Şekil 4.27. (PU-G) ait DSC grafiği

Referans PU ve %20 fotokromik boyarmadde katkılı numunelere ait DSC grafiği Şekil 4.28’de verilmiştir.



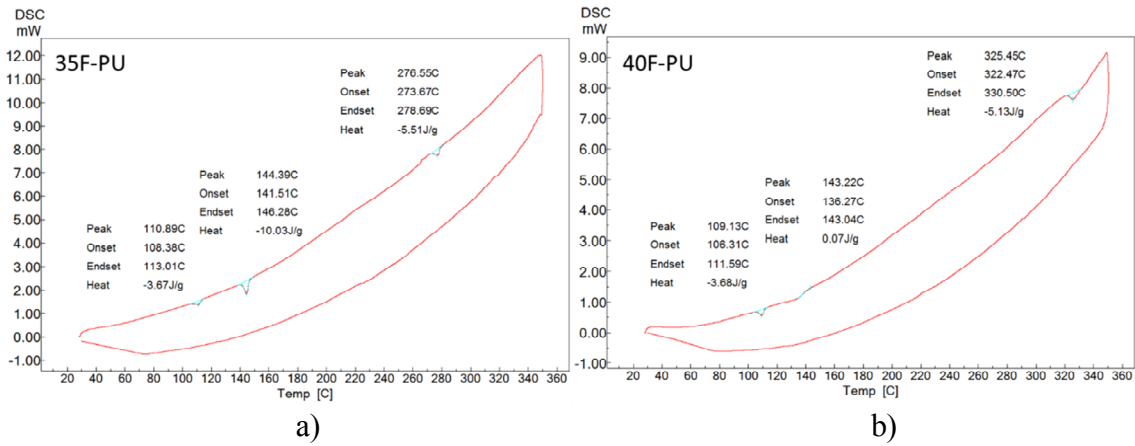
Şekil 4.28. a) Referans PU nanolif yüzey b) 20F-PU numunelerine ait DSC grafiği

DSC grafikleri incelendiğinde, 20-360 °C sıcaklığı aralığında referans PU numunesinde belirgin bir ısı değişimine rastlanmamıştır. Ancak 20F-PU numunesinde 110,8 °C ve 142,6 °C sıcaklıklarında iki adet ekzotermik reaksiyon ile bu sıcaklık değerlerinde sırasıyla 1,87 J/g ve 4,35 J/g değerinde ısı enerjisi tespit edilmiştir. %25 ve %30 fotokromik boyarmadde katkılı numunelere ait DSC grafiği Şekil 4.29’da verilmiştir.



Şekil 4.29. a) 25F-PU b) 30F-PU numunelerine ait DSC grafiği

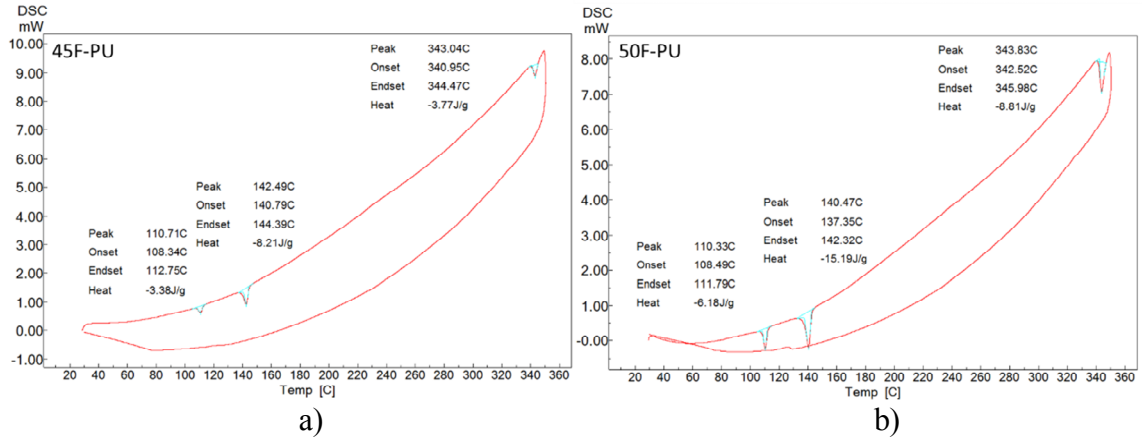
Numunelerden %25 ve %30 boya katkılı 25F-PU ve 30F-PU numunelerin DSC analizinde iki adet ekzotermik reaksiyon tespit edilmiştir. 25F-PU kodlu nanolif numune 110,1 °C sıcaklık değerinde, 2,18 J/g ekzotermik enerji, 143,5 °C sıcaklık değerinde 4,97 J/g ekzotermik enerji açığa çıkmıştır. 30F-PU numunenin DSC grafiğinde 111,1 °C sıcaklığında meydana gelen ekzotermik reaksiyonda 2,65 J/g, 143,1 °C sıcaklıktaki reaksiyonda 7,37 J/g enerji açığa çıkmıştır. Fotokromik boyarmadde miktarının artması ile aynı sıcaklık değerlerindeki açığa çıkan ısı değerinin arttığı anlaşılmıştır. %35 ve %40 fotokromik boyarmadde katkılı numunelere ait DSC grafiği Şekil 4.30’da verilmiştir.



Şekil 4.30. a) 35F-PU b) 40F-PU numunelerine ait DSC grafiği

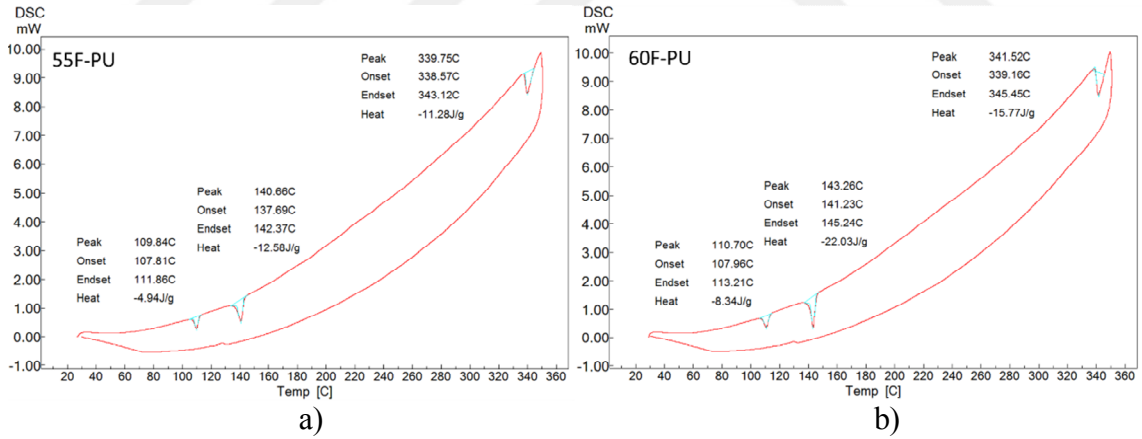
%35 ve %40 fotokromik boyarmadde katkılı numunelere ait DSC grafikleri incelendiğinde, daha düşük katkı oranına sahip numunelerde tespit edilemeyen bir ekzotermik reaksiyon daha tespit edilmiştir. 35F-PU kodlu nanolif yüzeye ait DSC grafiğinde 110,8 °C sıcaklıkta 3,67 J/g enerji, 144,3 °C sıcaklıkta 10,03 J/g enerji ve 276 °C sıcaklıkta 5,51 J/g ekzotermik enerji tespit edilmiştir. 40F-PU kodlu numunede 109,1 °C sıcaklık değerinde 3,68 J/g enerji, 143,2 °C sıcaklık değerinde 0,07 J/g ve 325,4 °C

sıcaklıkta 5,13 J/g ekzotermik enerji tespit edilmiştir. %45 ve %50 fotokromik boyarmadde katkılı numunelere ait DSC grafiği Şekil 4.31’de verilmiştir.



Şekil 4.31.a) 45F-PU b) 50F-PU numunelerine ait DSC grafiği

45F-PU nanolif yüzeyin DCS grafiğinde 110,7 °C sıcaklıkta 3,38 J/g, 142,4 °C sıcaklıkta 8,21 J/g ve 343 °C sıcaklıkta 3,77 J/g ekzotermik reaksiyon tespit edilmiştir. 50F-PU numunede ise 110,3 °C sıcaklıkta 6,118 J/g, 140,4 °C sıcaklıkta 15,1 J/g ve 343,8 °C sıcaklıkta 8,81 J/g enerji tespit edilmiştir. %55 ve %60 fotokromik boyarmadde katkılı numunelere ait DSC grafiği Şekil 4.32’de verilmiştir.



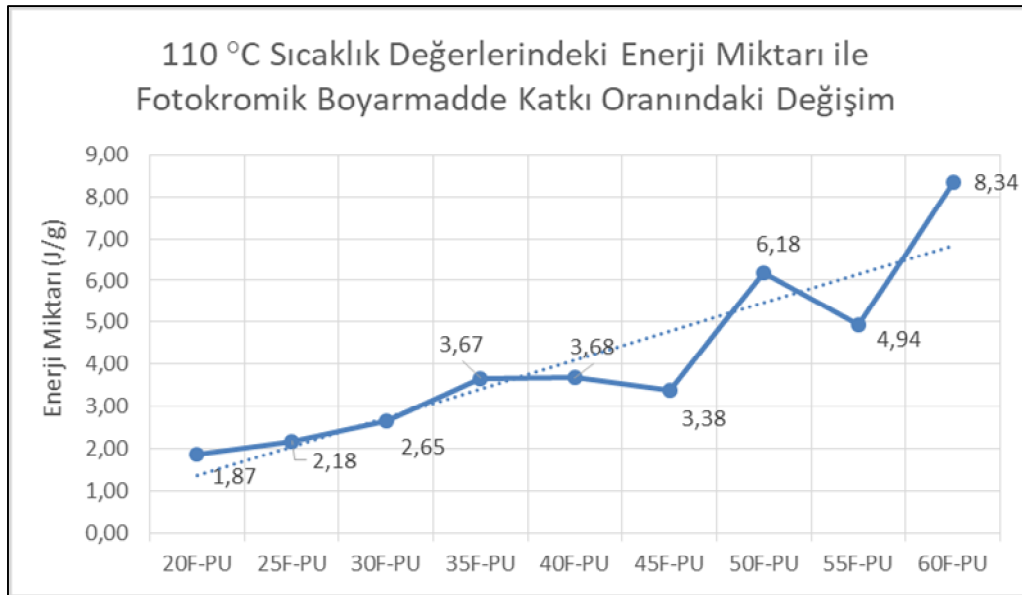
Şekil 4.32. a) 55F-PU b) 60F-PU numunelerine ait DSC grafiği

55F-PU kodlu numunede 109,8 °C sıcaklıkta 4,94 J/g enerji, 140,6 °C sıcaklıkta 12,5 J/g enerji ve 339,7 °C sıcaklıkta ise 11,28 J/g ekzotermik reaksiyon sonucu enerji tespit edilmiştir. 60F-PU kodlu numunede 110,7 °C sıcaklıkta 8,34 J/g, 143,2 °C sıcaklıkta 22,03 J/g ve 341,5 °C sıcaklıkta 15,77 J/g enerji tespit edilmiştir.

Çizelge 4.3. Fotokromik boyarmadde katkılı nanolif yüzeylerin DSC analizinde tespit edilen enerji miktarları

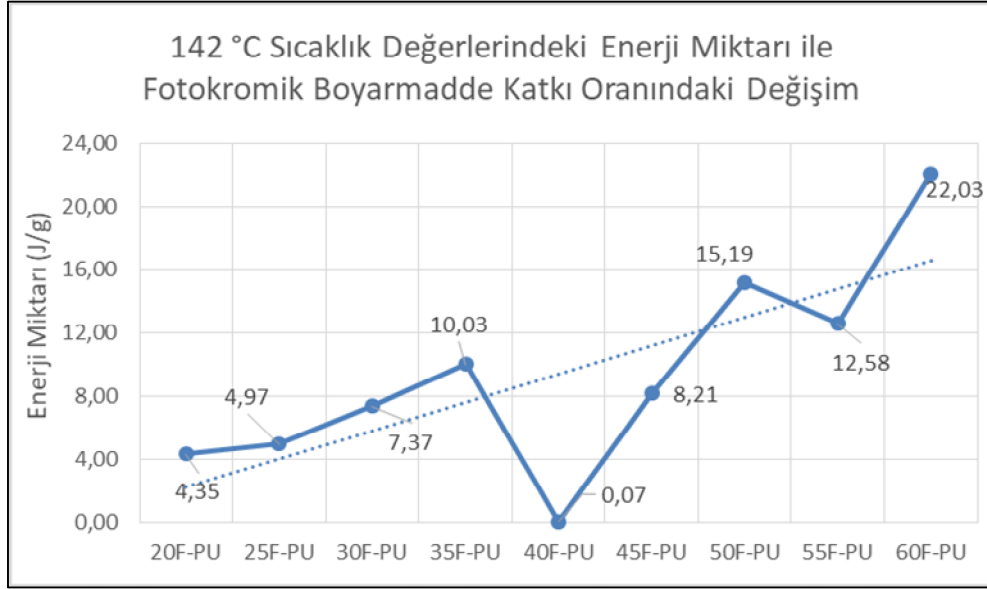
Numuneler	Sıcaklık (°C)	Enerji (J/g)	Sıcaklık (°C)	Enerji (J/g)	Sıcaklık (°C)	Enerji (J/g)
F-Boyarmadde	105,3	8,06	144,95	18,47	-	-
20F-PU	110,8	1,87	142,68	4,35	-	-
25F-PU	111,15	2,18	143,55	4,97	-	-
30F-PU	111,18	2,65	143,11	7,37	-	-
35F-PU	110,89	3,67	144,39	10,03	276,55	5,51
40F-PU	109,13	3,68	143,22	0,07	325,45	5,13
45F-PU	110,71	3,38	142,49	8,21	343,04	3,77
50F-PU	110,33	6,18	140,47	15,19	343,83	8,81
55F-PU	109,84	4,94	140,66	12,58	339,75	11,28
60F-PU	110,7	8,34	143,26	22,03	341,52	15,77

Çizelge 4.3'ten görüldüğü üzere 3 ana sıcaklık değerinde enerji çıkışları tespit edilmiştir. Açığa çıkan enerjiler incelendiğinde, fotokromik boyarmadde miktarı arttıkça; 110 °C sıcaklık değerinde 55F-PU numunesine kadar düzenli bir enerji artışı görülmüş, bu numuneden sonra inişli çıkışlı bir durum sergilemiştir. 110 °C sıcaklıkta tespit edilen enerji miktarlarına ait grafik Şekil 4.33'te verilmiştir.



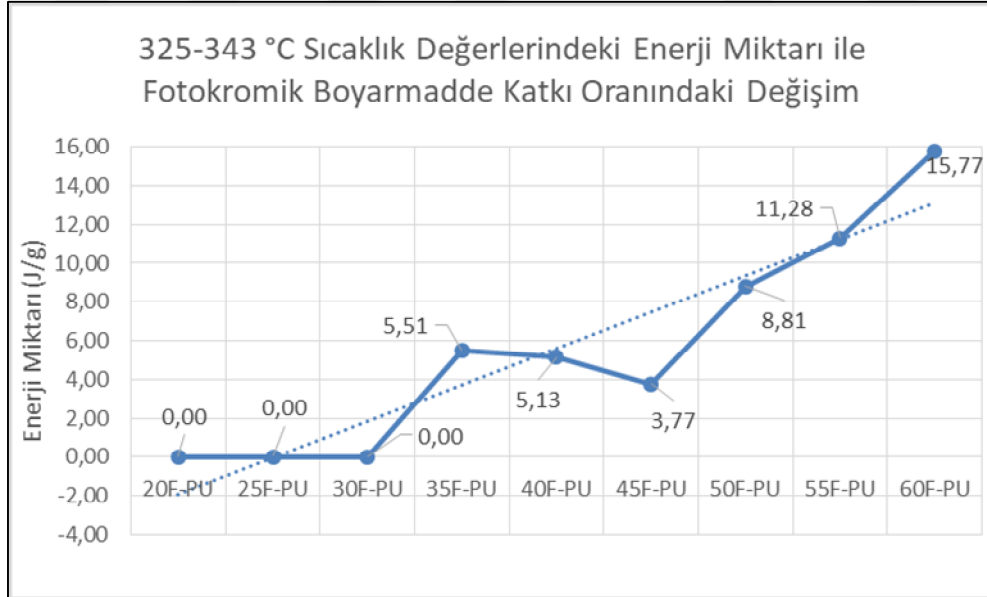
Şekil 4.33. Fotokromik boyarmadde miktarı ile 110 °C'de açığa çıkan enerji miktarı arasındaki ilişki

Çizelge 4.3'te verilen verilerden 142 °C sıcaklık değerinde ise yine dalgalı bir şekilde seyir etmekle birlikte tespit edilen enerjinin arttığı görülmüştür. 142 °C sıcaklıktaki açığa çıkan enerjinin trendini gösteren grafik Şekil 4.34'te verilmiştir.



Şekil 4.34. Fotokromik boyarmadde miktarı ile 142 °C’de açığa çıkan enerji miktarı arasındaki ilişki

Yine 325-343 °C sıcaklık bandında fotokromik boyarmaddenin artmasıyla tespit edilen enerji miktarları inişli çıkışlı artış göstermiştir. Ancak %35-%60 fotokromik katkılı ürünler dışında 325-343 °C sıcaklık aralığında enerji tespit edilememiştir. Bu istikrarsız durum elektro çekim sistemindeki homojen üretimin kontrolsüz oluşu ile açıklanabilir.



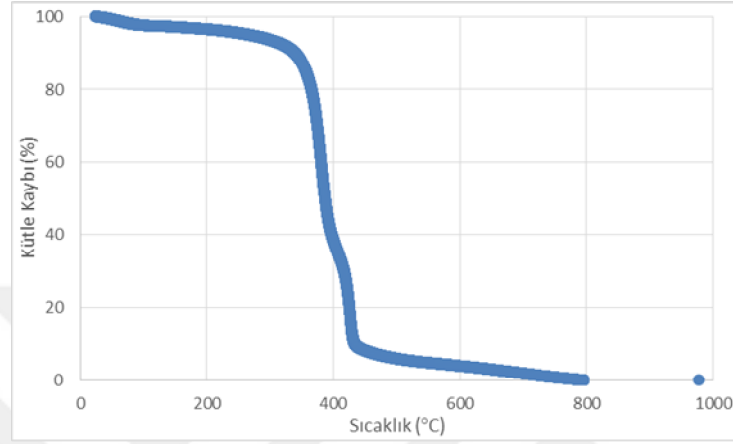
Şekil 4.35. Fotokromik boyarmadde miktarı ile 325-343 °C’de açığa çıkan enerji miktarı arasındaki ilişki

4.5. TGA Analizi

Numunelerin sıcaklığa bağlı olarak % ağırlık değişimleri TGA analizi ile hesaplanabilmektedir. Belirlenen çalışma sıcaklığına ve analiz numunesinin özelliklerine

göre (alüminyum pan, alümina-platin pan, alümina, alümiyum veya platin pan şeklinde) pan malzemesi seçilir. Referans ve boş pan yerleştirildikten sonra tartılarak daraları alınır TGA cihazı sıcaklığa göre kütle değişimini hesaplayarak sonucu analiz etmiş olur.

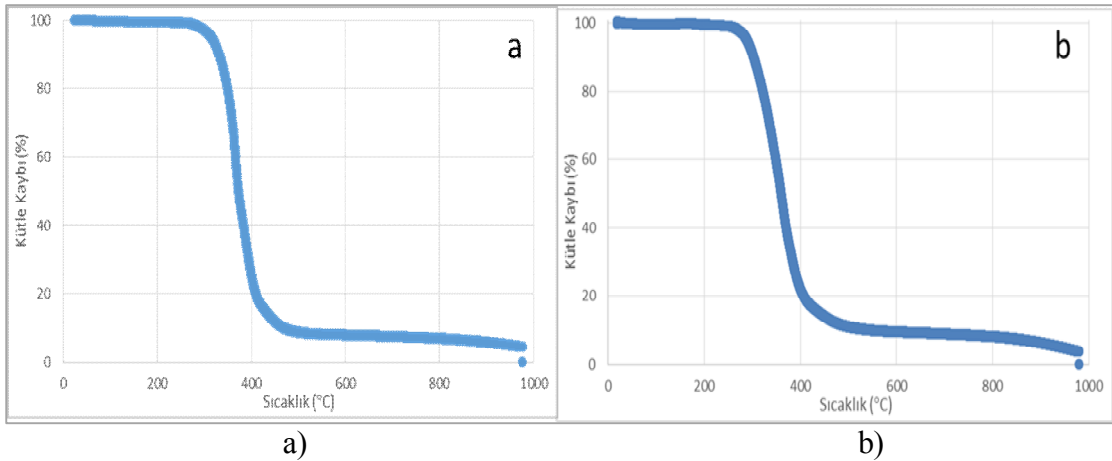
Fotokromik boyarmaddeye ait 0-1000 °C sıcaklık aralığındaki kütle kaybı grafiği Şekil 4.36’da verilmiştir.



Şekil 4.36. Fotokromik boyarmaddeye ait TGA (µm/dk) grafiği

Fotokromik boyarmadde partiküllerinin 340-420 °C sıcaklık değerlerinde hızlı bir kütle kaybı yaşadığı tespit edilmiştir. Daha sonra 800 °C sıcaklık değerinde fotokromik boyarmaddenin tamamen karbonlaşıp yandığı görülmüştür.

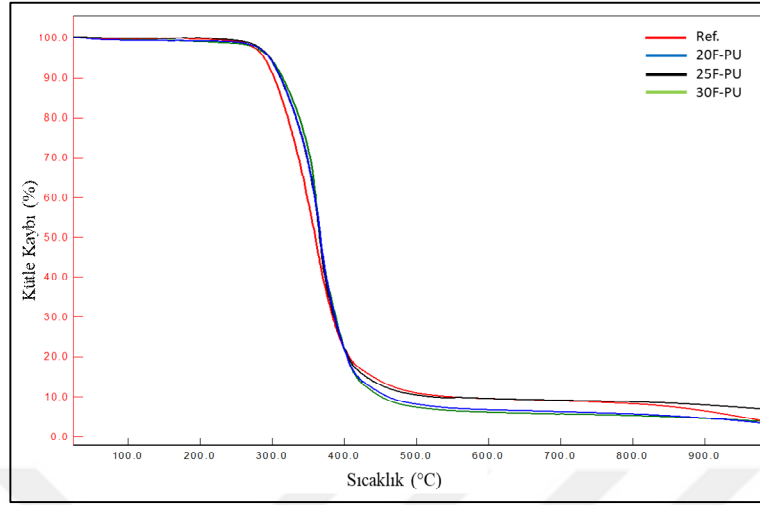
PU granül yapıya ve Referans nanolif yüzeye ait 0-1000 °C sıcaklık aralığındaki kütle kaybı grafikler Şekil 4.37’da verilmiştir.



Şekil 4.37. (PU-G) (a) ve Referans nanolif yüzeye (b) ait TGA (µm/dk) grafiği

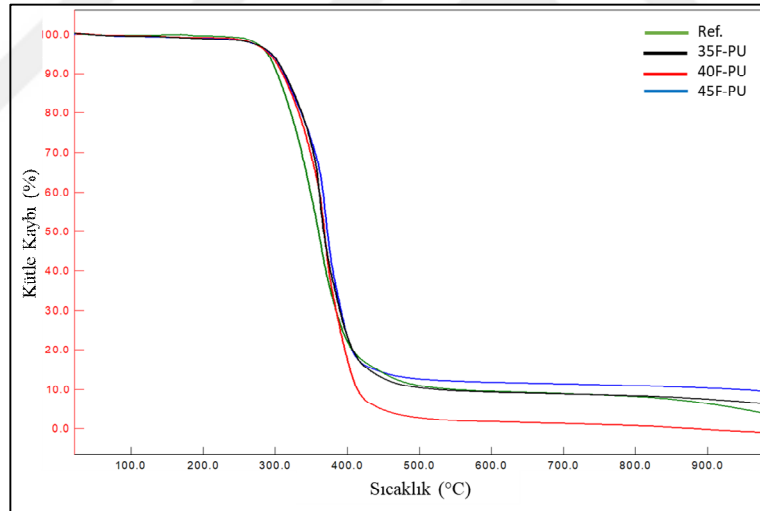
Poliüretan (PU) polimerine ait granül ve nanolif yüzey haline getirilen numunelerin TGA grafikleri incelendiğinde, elektro çekim işlemi sırasında polimerin yapısında termal bozunmayı etkileyecek bir değişimin yaşanmadığı tespit edilmiştir.

Referans, 20F-PU, 25F-PU ve 30F-PU nanolif yüzeye ait 0-1000 °C sıcaklık aralığındaki kütle kaybı grafiği karşılaştırmalı olarak Şekil 4.38’de verilmiştir.



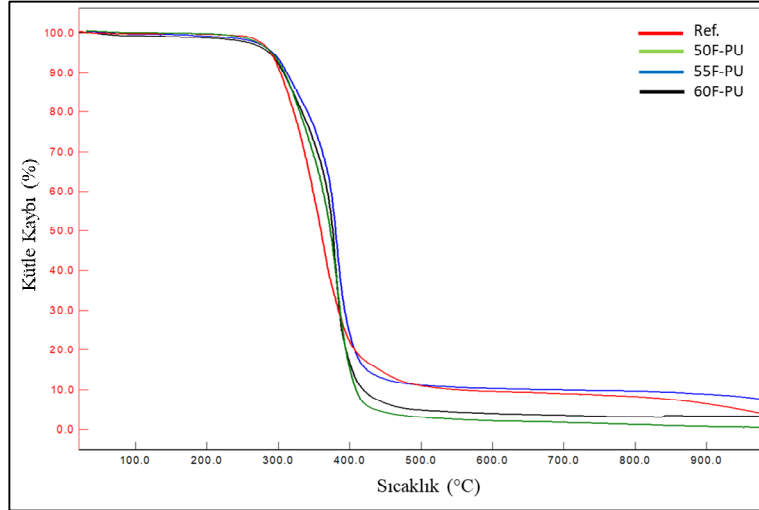
Şekil 4.38. Ref, 20F-PU, 25F-PU ve 30F-PU nanolif yüzey numunelere ait TGA grafiği

0-1000 °C sıcaklık aralığındaki kütle kaybı grafiği karşılaştırmalı olarak Şekil 4.39’da verilmiştir.



Şekil 4.39. Ref, 35F-PU, 40F-PU ve 45F-PU nanolif yüzey numunelere ait TGA grafiği

Referans, 50F-PU, 55F-PU ve 60F-PU nanolif yüzeye ait 0-1000 °C sıcaklık aralığındaki kütle kaybı grafiği karşılaştırmalı olarak Şekil 4.40’da verilmiştir.



Şekil 4.40. Ref, 50F-PU, 55F-PU ve 60F-PU nanolif yüzey numunelere ait TGA grafiği

Ref ve boya katkılı nanolif yüzeyine ait TGA grafikleri incelendiğinde, 270-360 °C ile 360-500 °C sıcaklık aralıklarında, iki önemli termal bozunma gözlemlenmiştir. TGA analizi ile fotokromik boyar maddenin etkisini inceleyebilmek için iki sıcaklık aralığında kıyaslama yapılmıştır. TGA eğrilerinden elde edilen bazı parametre değerleri Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Numunelerin TGA analizi sonucu elde edilen veriler

Numune Kodu	Ağırlık kaybı (%)			Bozunmaya başlama sıcaklığı (°C)	Yarılanma sıcaklığı (°C)	Maksimum TGA Sıcaklığında Kalan Kütle Oranı (%)
	270°C	270°C-500 °C Aralığında	500 °C - Max. TGA Sıcaklığı			
F-Boyarmadde	12,00	76,95	3,75	277-282	387	0
Ref	1,92	87,02	7,26	270-275	359	3,80
20F-PU	1,51	90,42	4,85	280-285	366	3,22
25F-PU	1,18	88,24	3,80	280-285	365	6,79
30F-PU	1,85	90,76	3,76	280-285	365	3,63
35F-PU	2,18	87,40	4,17	280-285	366	6,25
40F-PU	2,45	94,79	2,76	275-280	367	0
45F-PU	2,30	84,99	3,21	285-290	372	9,50
50F-PU	2,45	94,64	2,48	285-290	372	0,43
55F-PU	2,45	86,37	3,72	275-280	380	7,46
60F-PU	3,10	92,04	1,80	285-290	376	3,07

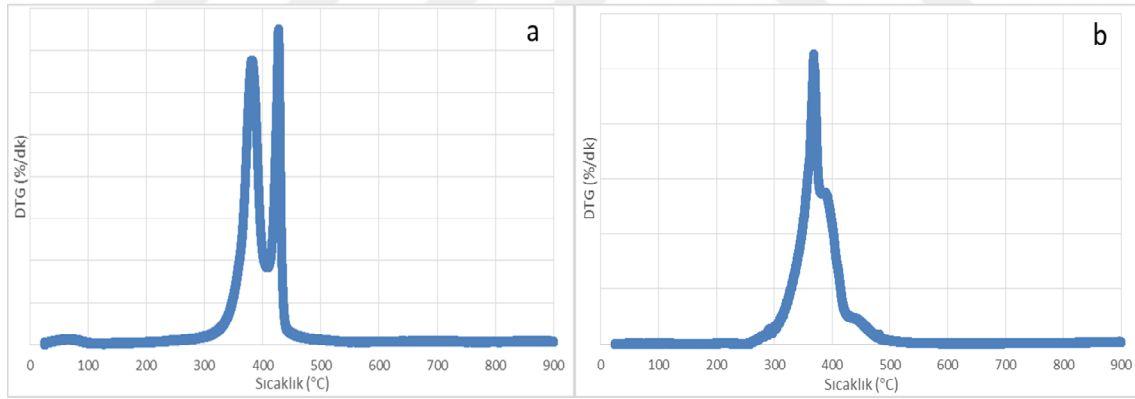
Çizelge 4.4'te verilen, fotokromik boyarmadde katkılı nanolif yüzeylerin TGA analizinde elde edilen veriler incelendiğinde boya katkı oranı arttıkça 270-360 °C sıcaklık

aralığındaki kütle kaybı (%) sistematik olmasa da bir düşüş içerisinde olduğu görülmektedir. Bu durumun tam tersi ise 360-500 °C sıcaklık aralığında görülmektedir. Fotokromik boyarmaddenin nanolif yüzeye etkisi 270-360 °C sıcaklık aralığındaki kütle kaybını 360-500 °C sıcaklık aralığına ötelediği anlaşılmaktadır.

Fotokromik boyarmaddenin nanolif yüzeye etkisi yarılanma sıcaklığı değerlerinde de görülmektedir. Yine düzenli olamamakla birlikte yarılanma sıcaklığı boya oranı ile birlikte artış gösterdiği söylenebilmektedir. Burada nanolif yüzeyin üretimi sırasında bir tutarsızlık olduğu ya da analiz sırasında testi etkileyecek olumsuz bir etken olduğu söylenebilir. Çünkü hiçbir numunenin TGA analizinde vermediği şekilde kırılmalar ve dalgalanmalar gözlemlenmiştir.

4.6. dTG Analizi

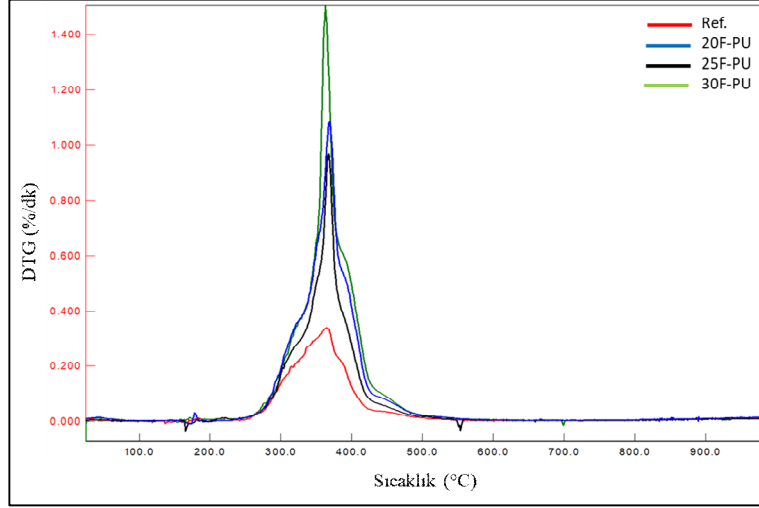
dTG (diferansiyel termalgravimetrik analiz) analizinde ağırlık kaybı hızı, sıcaklığın veya sürenin fonksiyonu olarak incelenmektedir. dTG termal analizinde ağırlık kaybının en yüksek (maksimum) olduğu sıcaklığın tespitinde kullanılmaktadır. PU polimerine ait granül ve nanolif yüzeye ait dTG grafikleri Şekil 4.41’de verilmiştir.



Şekil 4.41. (a) Fotokromik boyarmaddeye ve (b) PU granüle ait dTG grafiği

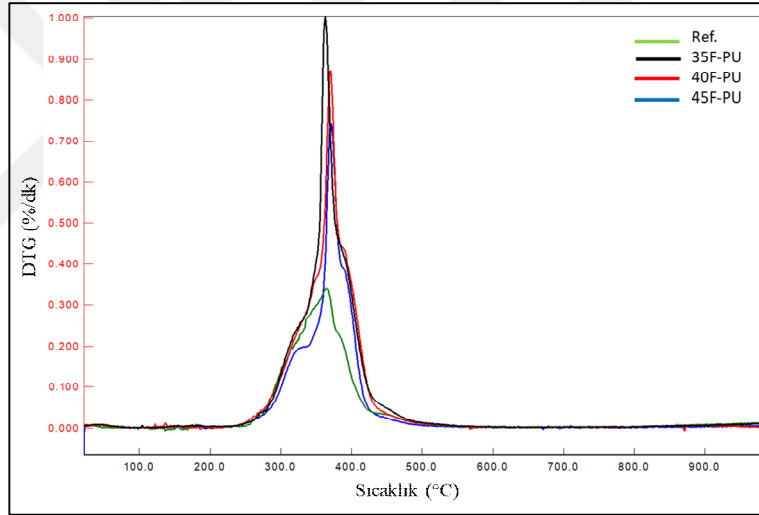
Fotokromik boyarmaddeye ait dTG grafiğinde 381 °C ve 427 °C sıcaklık değerinde hızlı bir enerji çıkışı tespit edilmiştir. PU granüllerinde ise 367 °C sıcaklık değerinde ve nispeten daha düşük bir enerji çıkışı da 390 °C sıcaklık değerinde tespit edilmiştir.

Ref ve %20-30 katkılı fotokromik boyarmaddeli nanolif yüzeylerine ait TGA analizi sonucunda elde edilen dTG grafiği Şekil 4.42’de verilmiştir.



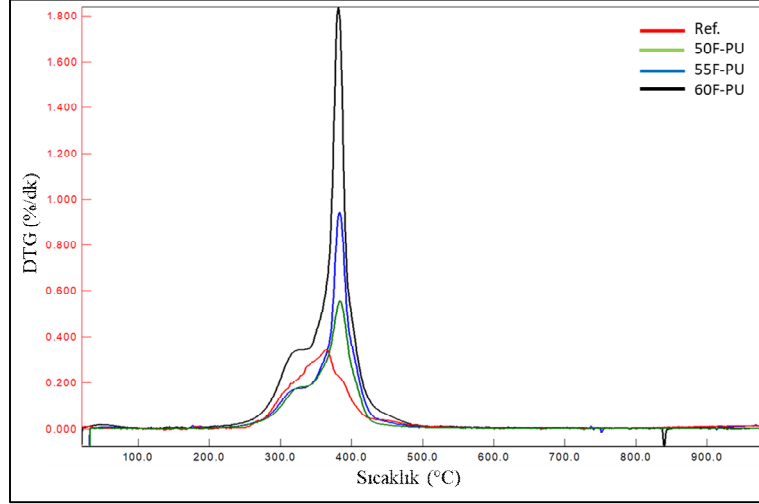
Şekil 4.42. Ref, 20F-PU, 25F-PU ve 30F-PU nanolif yüzeylere ait dTG grafiği

%35-45 fotokromik boyarmadde katkılı nanolif yüzeylerine ait TGA analizi sonucunda elde edilen dTG grafiği Şekil 4.43'te verilmiştir.



Şekil 4.43. Ref, 35F-PU, 40F-PU ve 45F-PU nanolif yüzeylere ait dTG grafiği

%50-60 fotokromik boyarmadde katkılı nanolif yüzeylerine ait TGA analizi sonucunda elde edilen dTG grafiği Şekil 4.44'de verilmiştir.



Şekil 4.44. Ref, 50F-PU, 55F-PU ve 60F-PU nanolif yüzeylere ait DTG grafiği

Şekil 4.41-4.44'ten de görüleceği üzere dTGA grafikleri numunelerin TGA cihazındaki kütle kayıplarını vermektedir ve maksimum kütle kayıp hızı ise pik olarak görülmektedir. Bütün numunelere ait maksimum kütle kayıp hızlarını gösteren pik değerleri ile bu piklerin görüldüğü sıcaklık değerleri Çizelge 4.5'te toplu olarak verilmiştir.

Çizelge 4.5. Numunelere ait bozunma hızının maksimum olduğu sıcaklık (T_{max}) ve maksimum bozunma hızı (dTG_{max}) değerlerinin karşılaştırılması

Numuneler	T_{max} (°C)	dTG_{max} (% dk ⁻¹)
F-Boyarmadde	432	17,97
Ref	375	9,88
20F-PU	365	15,9
25F-PU	368	15,1
30F-PU	362	23,1
35F-PU	365	15,4
40F-PU	380	17,9
45F-PU	384	17,3
50F-PU	391	16,2
55F-PU	391	19,7
60F-PU	382	22,6

Çizelge 4.5 incelendiğinde, fotokromik boyarmadde oranının artması ile nanolif yüzeylerin maksimum kütle kayıp hızlarının görüldüğü sıcaklık değerlerinin de genel bir artış eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu durum fotokromik boyarmadde miktarının kütle kayıp hızını yaşandığı sıcaklık değerleri üzerinde olumlu bir etkisi olduğunu ve üretilen

numunelerin daha geç yani daha yüksek sıcaklıklarda bozunmasına sebep olduğunu göstermektedir. Maksimum bozunma hızı değerleri incelendiğinde fotokromik boyarmadde katkılı numunelerin maksimum bozunma hızlarının arttığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte kullanılan fotokromik boyarmadde oranının maksimum bozunma hızı üzerinde belirli bir yönde veya düzende etkisi olmadığı ve maksimum bozunma hızının düzensiz bir şekilde değiştiği görülmektedir. En yüksek maksimum bozunma hızı 30F-PU numunesinde (23,1 %/dk) ve en düşük maksimum bozunma hızı ise 25F-PU numunesinde (15,1 %/dk) gözlemlenmiştir.

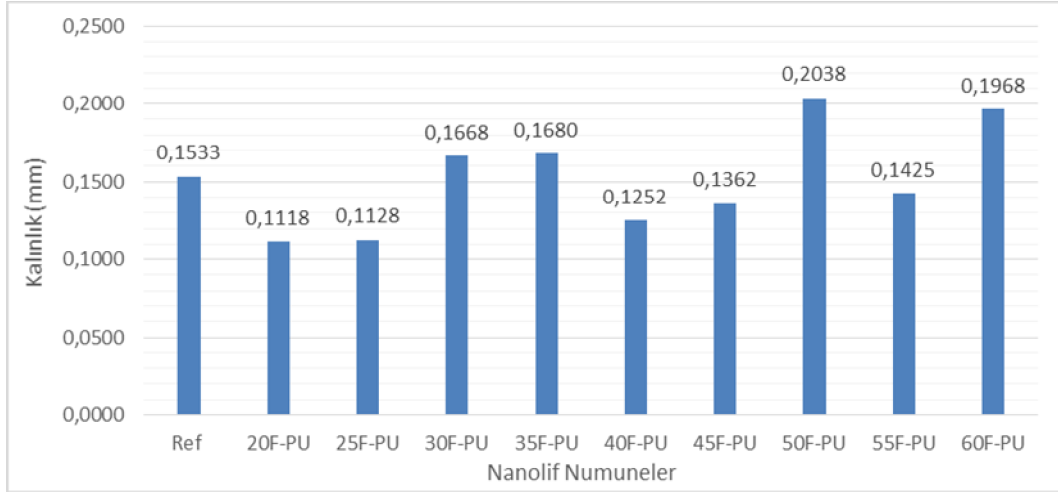
4.7. Kalınlık Ölçümleri

Çok iğneli elektroçekim cihazında üretilen nanolif yüzey numunelerin kalınlık ölçümleri, KSÜ-ÜSKİM de yer alan Malzeme Araştırma Laboratuvarında bulunan 0,001 mm hassasiyetindeki LYK 5318 marka kumaş kalınlık ölçüm cihazı ile ölçülmüş ve sonuçlar Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Nanolif yüzeylerin kalınlık ölçümleri

Numuneler	Kalınlık (mm)	Standart Sapma
Ref	0,1533	$\pm 0,1358$
20F-PU	0,1118	$\pm 0,0303$
25F-PU	0,1128	$\pm 0,0292$
30F-PU	0,1668	$\pm 0,0320$
35F-PU	0,1680	$\pm 0,0174$
40F-PU	0,1252	$\pm 0,0340$
45F-PU	0,1362	$\pm 0,0365$
50F-PU	0,2038	$\pm 0,0477$
55F-PU	0,1425	$\pm 0,0222$
60F-PU	0,1968	$\pm 0,0208$

Çizelge 4.6’da elde edilen verilere ait kalınlık ölçümü grafiği Şekil 4.4’te verilmiştir.

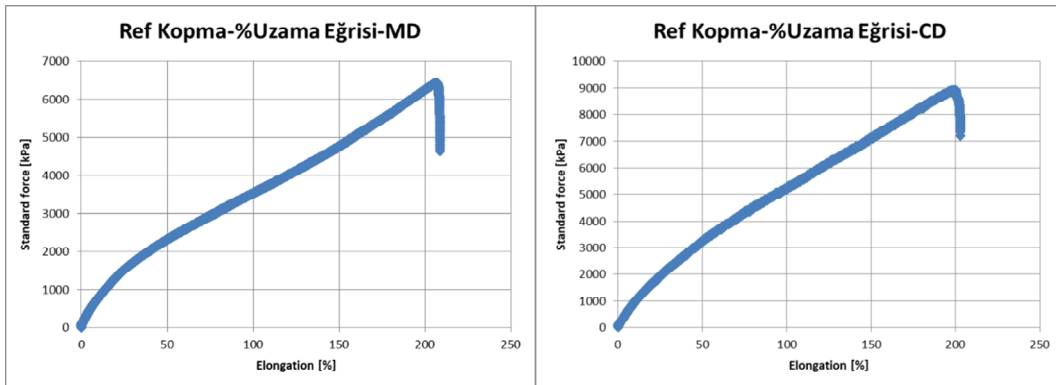


Şekil 4.45. Nanolif yüzeylere ait kalınlık değerleri

Fotokromik boyarmadde katkılı nanolif yüzeylerin kalınlık ölçümlerinde çözelti içerisindeki boyarmadde miktarının artışı ile nanolif yüzeylerin kalınlık değerleri arasında bir korelasyon tespit edilememiştir. Bazı numuneler referans numuneye göre daha ince bazıları ise daha kalın olarak tespit edilmiştir. Nanolif kalınlığı ile fotokromik boyarmadde miktarı arasında bir ilişkinin olmadığı söylenebilir.

4.8. Çekme Dayanımı Analizi

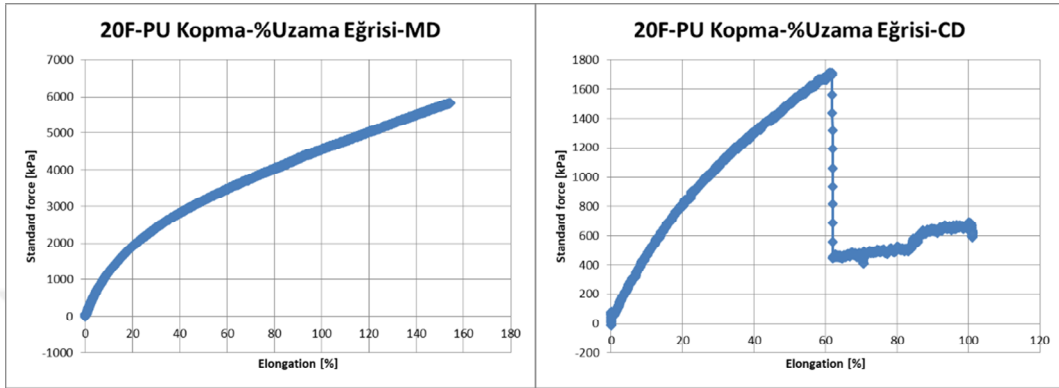
Ref ve PF nanolif yüzeylerin kopma kuvveti, kopma uzaması ve Young's modülü gibi parametreler Zwick-Roell BT-1 cihazındayapılmıştır. Nanolif yüzeyler ASTM-D 638 – Tip I standardına göre 0,05 MPa ön gerilme, 50 mm/dk çene hızı ve 110 mm çene mesafesi ile testleri gerçekleştirilmiştir. Ref nanolif yüzey numunesine ait üretim yönü (MD) ve üretim yönüne dik yönde (CD) çekme dayanımı grafiği Şekil 4.46'da verilmiştir.



Şekil 4.46. Ref nanolif yüzeye ait MD-CD yönü Kopma - %Uzama Eğrisi

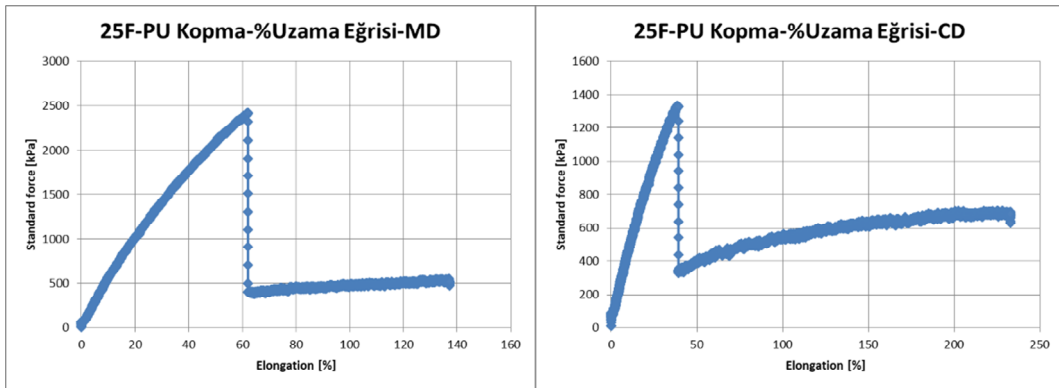
Ref numunesine ait kopma-%uzama eğrileri incelendiğinde CD yönü (kumaş eni) mukavemet değerinin daha iyi olduğu görülmektedir. Bu sonuç doğrudan elektro çekim yönteminin kumaş oluşum tekniği ile ilgilidir.

20F-PU nanolif yüzeye ait kopma - %uzama eğrisine ait grafik Şekil 4.47’de verilmiştir.



Şekil 4.47. 20F-PU nanolif yüzeye ait MD-CD yönü Kopma - %Uzama Eğrisi

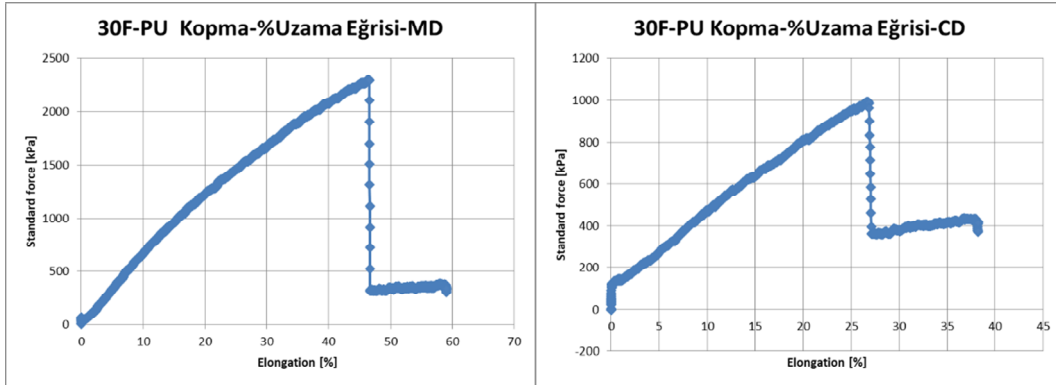
20F-PU nanolif numunesine ait kopma - %uzama eğrileri incelendiğinde MD yönü (kumaş boyu) mukavemet değerinin daha iyi olduğu görülmektedir. Elektro çekim yöntemindeki kontrolsüz üretimden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ref numunesi ile kıyaslandığında; MD yönünde %uzama değerinin daha düşük olduğu görülmektedir; CD yönünde ise daha düşük mukavemet ve %uzama değeri göstermiştir. 25F-PU nanolif yüzeye ait kopma - %uzama eğrisine ait grafik Şekil 4.48’de verilmiştir.



Şekil 4.48. 25F-PU nanolif yüzeye ait MD-CD yönü Kopma - %Uzama Eğrisi

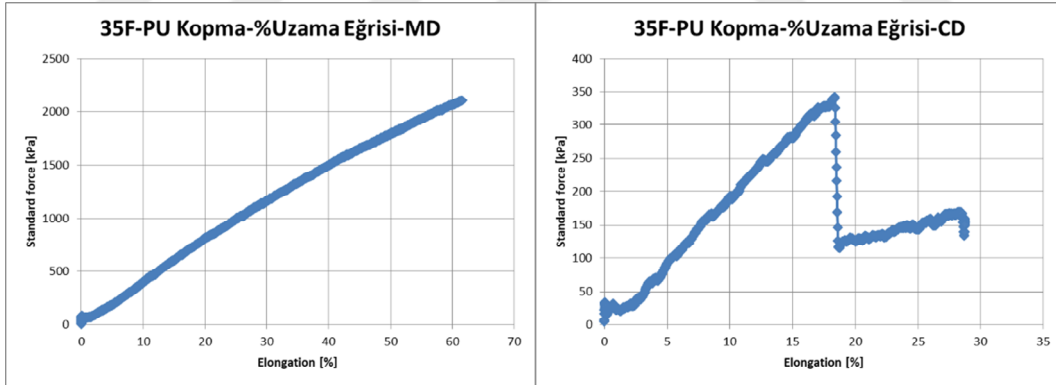
25F-PU nanolif numunesine ait kopma-%uzama eğrileri incelendiğinde CD yönü (kumaş boyu) mukavemet değerinin daha iyi olduğu görülmektedir. 20F-PU nanolif numunesi ile kıyaslandığında; MD yönünde %uzama değerinin daha düşük olduğu

görülmektedir; CD yönünde de daha düşük mukavemet ve %uzama değeri göstermiştir. 30F-PU nanolif yüzeye ait kopma - %uzama eğrisine ait grafik Şekil 4.49'da verilmiştir.



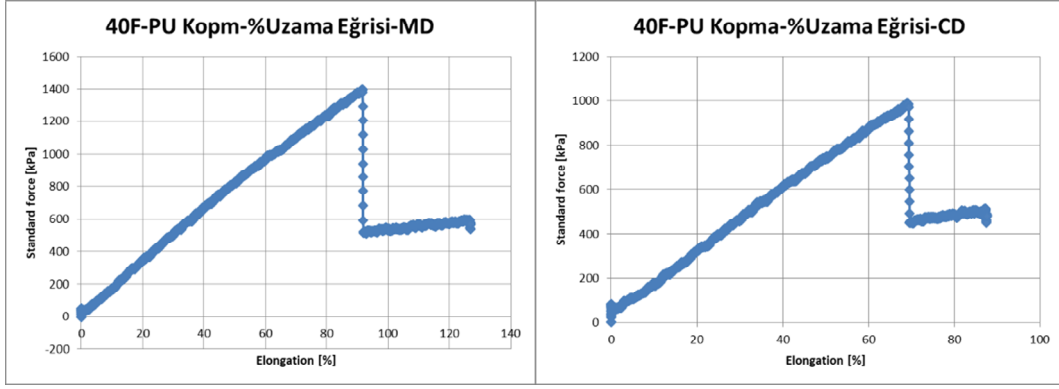
Şekil 4.49. 30F-PU nanolif yüzeye ait MD-CD yönü Kopma - %Uzama Eğrisi

30F-PU nanolif numunesine ait kopma-%uzama eğrileri incelendiğinde CD yönü (kumaş boyu) mukavemet değerinin daha iyi olduğu görülmektedir. Daha düşük fotokromik boyarmadde katkılı nanolif yüzeylerin kopma - %uzama değerleri ile karşılaştırıldığında; MD yönünde %uzama değerinin daha düşük olduğu görülmektedir; CD yönünde de daha düşük mukavemet ve %uzama değeri göstermiştir. 35F-PU nanolif yüzeye ait kopma - %uzama eğrisine ait grafik Şekil 4.50'de verilmiştir.



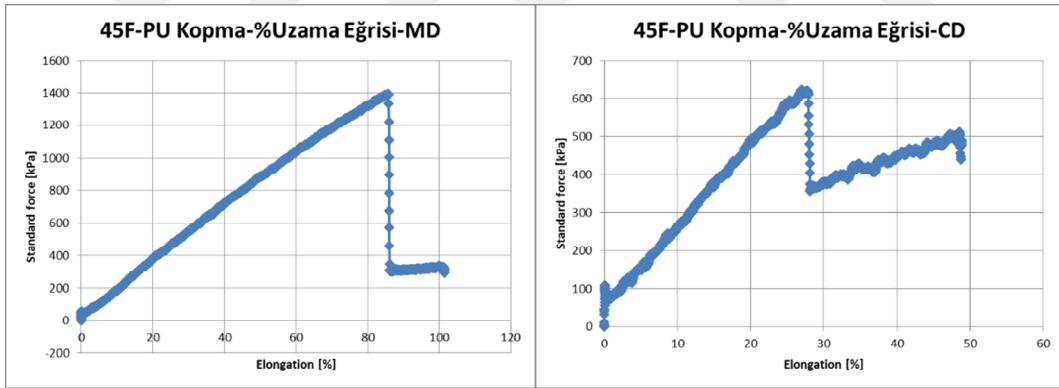
Şekil 4.50. 35F-PU nanolif yüzeye ait MD-CD yönü Kopma - %Uzama Eğrisi

35F-PU nanolif numunesine ait kopma-%uzama eğrileri incelendiğinde MD yönü (kumaş boyu) mukavemet değerinin daha iyi olduğu görülmektedir. Daha düşük fotokromik boyarmadde katkılı nanolif yüzeylerin kopma-%uzama değerleri ile karşılaştırıldığında; MD yönünde birbirlerine yakın değerlerde olduğu; CD yönünde ise daha düşük mukavemet ve %uzama değerinde olduğu görülmüştür. 40F-PU nanolif yüzeye ait kopma - %uzama eğrisine ait grafik Şekil 4.51'de verilmiştir.



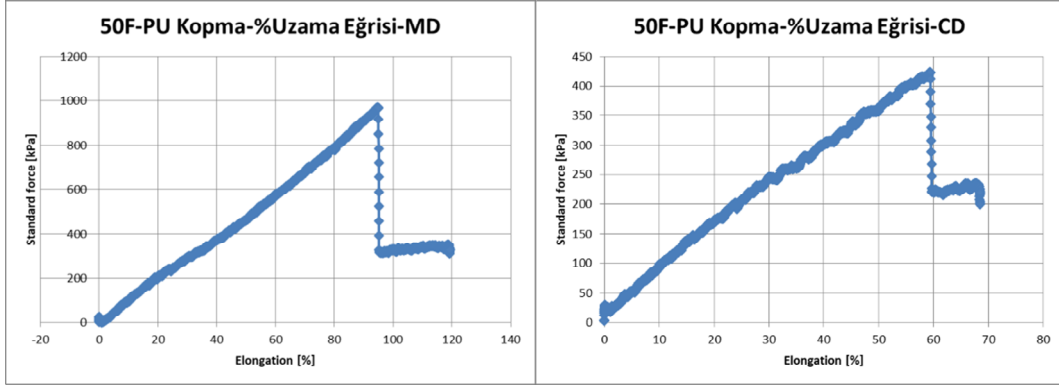
Şekil 4.51. 40F-PU nanolif yüzeye ait MD-CD yönü Kopma - %Uzama Eğrisi

40F-PU nanolif numunesine ait kopma - %uzama eğrileri incelendiğinde MD yönü (kumaş boyu) mukavemet değerinin daha yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. Daha düşük fotokromik boyarmadde katkılı nanolif yüzeylerin kopma- % uzama değerleri ile karşılaştırıldığında; MD yönünde düşük mukavemet, daha yüksek uzama değeri gösterdiği; CD yönünde ise 35F-PU numunesine göre daha yüksek mukavemet ve %uzama değerinde olmasına rağmen 30F-PU, 25F-PU, 20F-PU numunelerine göre ise benzer değerlerde olduğu görülmüştür. 45F-PU nanolif yüzeye ait kopma - %uzama eğrisine ait grafik Şekil 4.52’de verilmiştir.



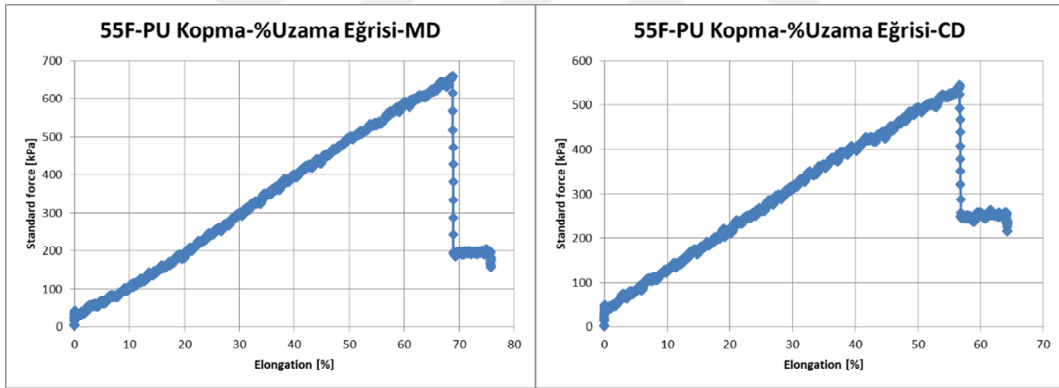
Şekil 4.52. 45F-PU nanolif yüzeye ait MD-CD yönü Kopma - %Uzama Eğrisi

45F-PU nanolif numunesine ait kopma - %uzama eğrileri incelendiğinde MD yönü (kumaş boyu) mukavemet değerinin daha yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. 40F-PU nanolif yüzeyler ile 45F-PU nanolif yüzeylerin kopma-%uzama değerleri ile karşılaştırıldığında; MD yönünde benzer değerler göstermiştir; CD yönünde ise 45F-PU numunesine göre daha düşük mukavemet ve %uzama değerinde olduğu görülmüştür. 50F-PU nanolif yüzeye ait kopma - %uzama eğrisine ait grafik Şekil 4.53’te verilmiştir.



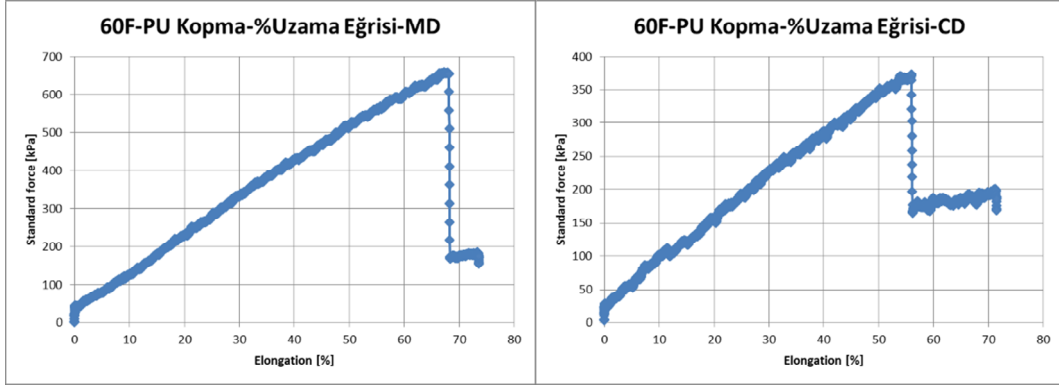
Şekil 4.53. 50F-PU nanolif yüzeye ait MD-CD yönü Kopma - %Uzama Eğrisi

50F-PU nanolif numunesine ait kopma - %uzama eğrileri incelendiğinde MD yönü (kumaş boyu) mukavemet değerinin daha yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. 50F-PU nanolif yüzeylerin kopma - %uzama değerleri hem MD hem de CD yönünde düşüş göstermiştir. Bu durumun fotokromik boyarmadde oranının PU içerisindeki oranının artmasından kaynaklandığı görülmüştür. 55F-PU nanolif yüzeye ait kopma - %uzama eğrisine ait grafik Şekil 4.54’te verilmiştir.



Şekil 4.54. 55F-PU nanolif yüzeye ait MD-CD yönü Kopma - %Uzama Eğrisi

55F-PU nanolif numunesine ait kopma - %uzama eğrileri incelendiğinde MD yönü (kumaş boyu) mukavemet ve %uzama değerinin, daha yüksek değerde olduğu gözükse de fotokromik boyarmadde katkısı daha düşük olan numunelerde bu farkın daha yüksek olduğu görülmüştür. 55F-PU nanolif yüzeylerin kopma - %uzama değerleri MD yönünde daha düşük değerlerde; CD yönünde ise kopma mukavemeti değerinin nanolif yüzeyin içeriğindeki boyarmadde miktarı arttıkça bir düşüş eğilimi içerisinde olduğu ancak 50F-PU numunesine göre daha yüksek mukavemet ve % uzama değerleri göstermiştir. 60F-PU nanolif yüzeye ait kopma - %uzama eğrisine ait grafik Şekil 4.55’te verilmiştir.



Şekil 4.55. 60F-PU nanolif yüzeye ait MD-CD yönü Kopma - %Uzama Eğrisi

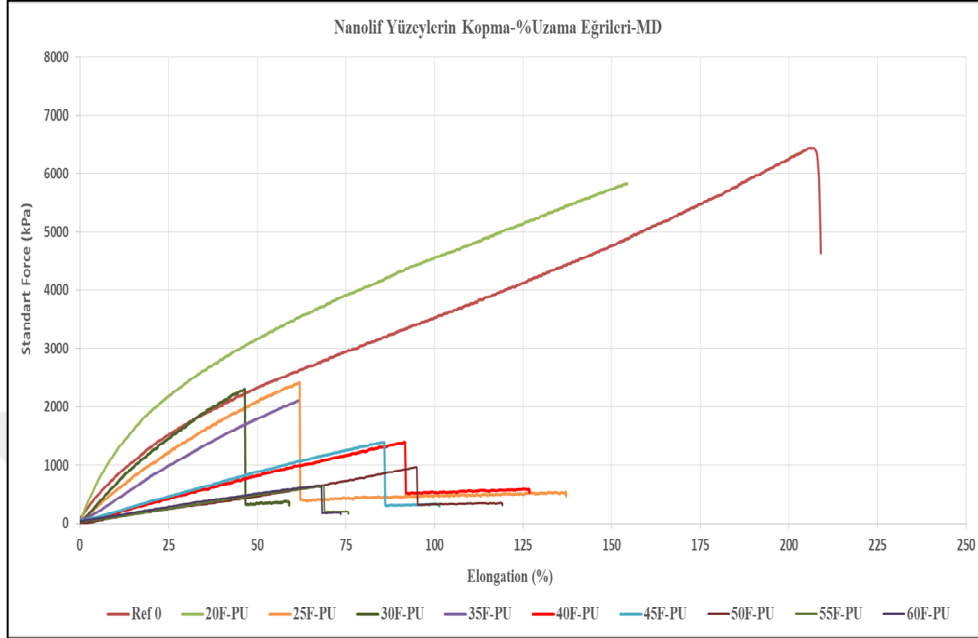
60F-PU nanolif numunesine ait kopma - %uzama eğrileri incelendiğinde, MD yönü (kumaş boyu) mukavemet ve %uzama değerinin, daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. 60F-PU nanolif yüzeylerin kopma - %uzama değerleri daha düşük fotokromik boyarmadde içeriğindeki nanolifler ile kıyaslandığında, MD ve CD yönünde benzer değerlerde olduğu; bu durumun nanolif yüzeyin içeriğindeki boyarmadde miktarı arttıkça mukavemet değerlerinin bir düşüş eğilimi içerisinde olduğu görülmüştür. Elektro çekim cihazında nanolif üretimi gerçekleştirilen numunelere ait maksimum kopma dayanımı ve %-uzama değerleri Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Nanolif yüzey numunelerin maksimum kuvvet altında uzama değerleri

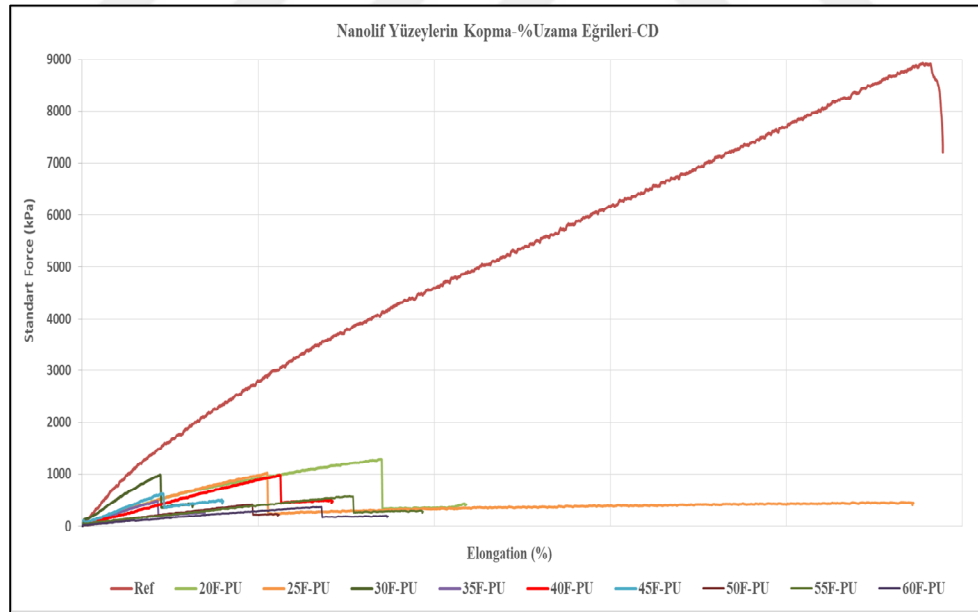
Numuneler	MD Yönü		CD Yönü	
	Maksimum Kopma Değeri	%-Uzama Değeri	Maksimum Kopma Değeri	%-Uzama Değeri
Ref	6405	204,9	8900	199,4
20F-PU	5787	151,9	1700	60,9
25F-PU	2357	60,1	1299	37,4
30F-PU	2269	45,7	981	26,3
35F-PU	2082	60,7	388	18,1
40F-PU	1369	90,3	975	68,3
45F-PU	1376	84,2	613	26,7
50F-PU	956	94	418	59,1
55F-PU	655	68,2	536	56,3
60F-PU	657	67,2	368	55,3

Değerler incelendiğinde nanolif yüzey içerisindeki fotokromik boyarmadde miktarı arttıkça maksimum kuvvet anında kopma mukavemeti değerleri her iki kumaş yönünde de

düşüş göstermiştir. %-uzama değerleri için ise istatistiki bir yorum getirmek çok zordur. İnişli çıkışlı değerler göstermiştir. Tüm nanolif yüzeylerin kopma - %uzama değerlerinin birlikte verildiği grafik Şekil 4.56 ve Şekil 4.57’de verilmiştir.



Şekil 4.56. Tüm nanolif yüzeye ait MD yönü Kopma - %Uzama Eğrileri



Şekil 4.57. Tüm nanolif yüzeye ait CD yönü Kopma - %Uzama Eğrileri

Nanolif numunelere ait MD ve CD yönüne ait kopma-%uzama verileri incelendiğinde fotokromik boyarmadde katkılı numunelerin mukavemet ve uzama değerlerinde düşüş görülmüştür. MD yönüne mukavemet değerinin CD yönüne göre daha yüksek olduğu görülmektedir.

4.9. CIE L a b spektrofotometre renk analizi

Poliüreten nanolif yüzeylere farklı oranlarda katkılanmış fotokromik boyarmaddeli nanolif yüzeylerin renk analizi işlemi iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Öncelikle test cihazı içerisinde UV ışık kaynağı bulunmadığından, nanolif yüzeyler ışık kabininde 2 dakika süre boyunca UV ışığı altında tutulmuş numunelerin renk değişiminin tamamlanması gerçekleştirilmiştir. İkinci aşama olarak zaman kaybetmeden hızlı bir şekilde renk analizi için CIE L a b spektrofotometre cihazı numune 6 haznesine yerleştirilmiştir. Analiz esnasında ilk olarak referans numunenin ölçümü gerçekleştirilmiş daha sonra ölçülecek numune yerleştirilmiştir. Yapılan her bir numune 5'er saniye aralıklar ile 5 ölçüm gerçekleştirilmiş ve ortalamaları hesaplanmıştır. Ref nanolif yüzeyin rengi, içeriğinde boya olmadığı için beyazdır. ΔE renk farklılığının hesaplanması beyaz renge göre yapılmıştır. ΔE değerinin yüksek olması PF nanolif yüzeylerin renginin Ref nanolif yüzeyine ait renkten ne kadar uzaklaştığını ifade etmektedir. Referans ve fotokromik boyarmadde katkılı numunelerin CIE L a b spektrofotometre renk ölçümleri yapılmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Tüm numunelerin CIE L a b renk analizi karşılaştırma çizelgesi

Numuneler	L	a	b	ΔE
Ref	97.32	-0,24	-0,3	-
20F-PU	86.91	6.32	-3.92	9.70
25F-PU	87.26	7.14	-4.33	10.26
30F-PU	87.07	8.70	-5.30	11.95
35F-PU	89.81	5.21	-2.65	6.83
40F-PU	85.85	8.88	-5.24	12.67
45F-PU	87.37	6.97	-4.14	10.00
50F-PU	87.18	9.91	-5.25	12.82
55F-PU	85.65	13.19	-6.32	16.54
60F-PU	85.41	13.84	-7.42	17.63

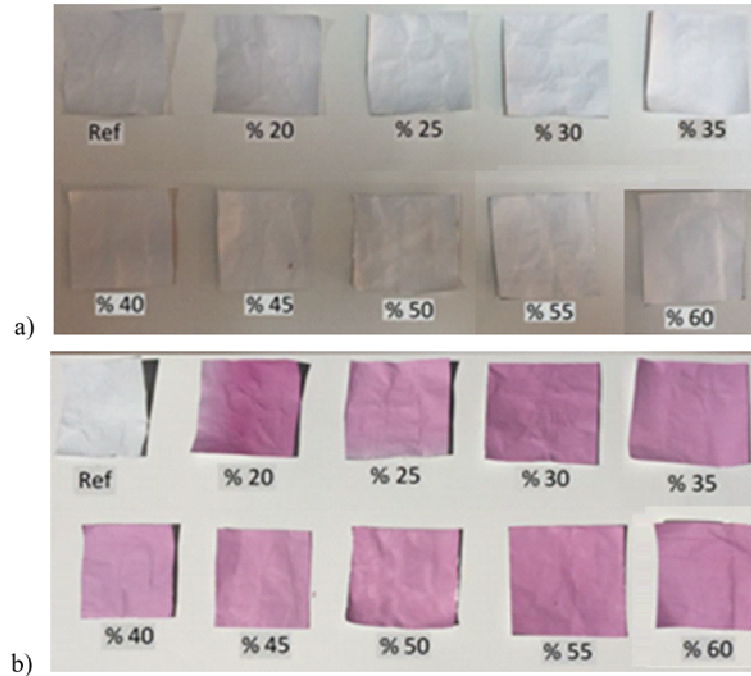
Bilindiği üzere L değeri açıklık-koyuluk değerini ifade etmektedir. Referans poliüretan nanolif yüzey numunesine ait L değeri 97,32 olarak tespit edilmiştir. UV ışığı ile renk değiştirmiş olan diğer numunelerin L değerinin karşılaştırmalı değerleri daha düşük tespit edilmiştir. Nanolif yüzey içeriğindeki fotokromik boyarmadde miktarı arttıkça L değerinde belirgin bir artış-azalış rastlanmamış olup, 85-90 bant aralığında tespit edilmiştir.

Renk analizi çizelgesinde “a” değeri (kırmızılık-yeşillik değeri) açısından incelendiğinde REF değerinin negatif yönde yani yeşil renk yönünde çok küçük de olsa bir değer vermesine karşın diğer tüm nanolif yüzey numuneler pozitif yani kırmızı yönünde değerlerde tespit edilmiştir. Ayrıca istikrarlı olmasa da katkı oranı arttıkça kırmızılık değerinin de arttığı görülmektedir.

Diğer bir skala değeri “b” (mavilik-sarılık) incelendiğinde ise tüm numuneler negatif yönde, yani mavi renkte tespit edilmiştir. Fotokromik boyarmadde miktarı arttıkça mavilik değeri belirli bir artış ya da azalış tespit edilememiş, inişli çıkışlı bir gösterge tespit edilmiştir.

Çizelgede verilen ΔE değerleri incelendiğinde REF nanolif yüzey numunenin renginden uzaklaşan diğer bir değişle pembe renge doğru bir değişim göstermiştir. Ancak veriler istikrarlı bir artış ya da azalış göstermemektedir. Ref numuneden en uzak pembe renge en yakın numuneler 55F-PU ve 60F-PU nanolif yüzeyleri olarak tespit edilmiştir.

Üretilen nanolif yüzeylerin güneş ışığına maruz bırakılmadan önceki renkleri ile güneş ışığına maruz bırakıldıktan sonra UV ışığına göstermiş olduğu tepkiler sonucu dönüştükleri renkleri gösteren fotoğrafları sırasıyla Şekil 4.58 a) ve b)’de verilmiştir.



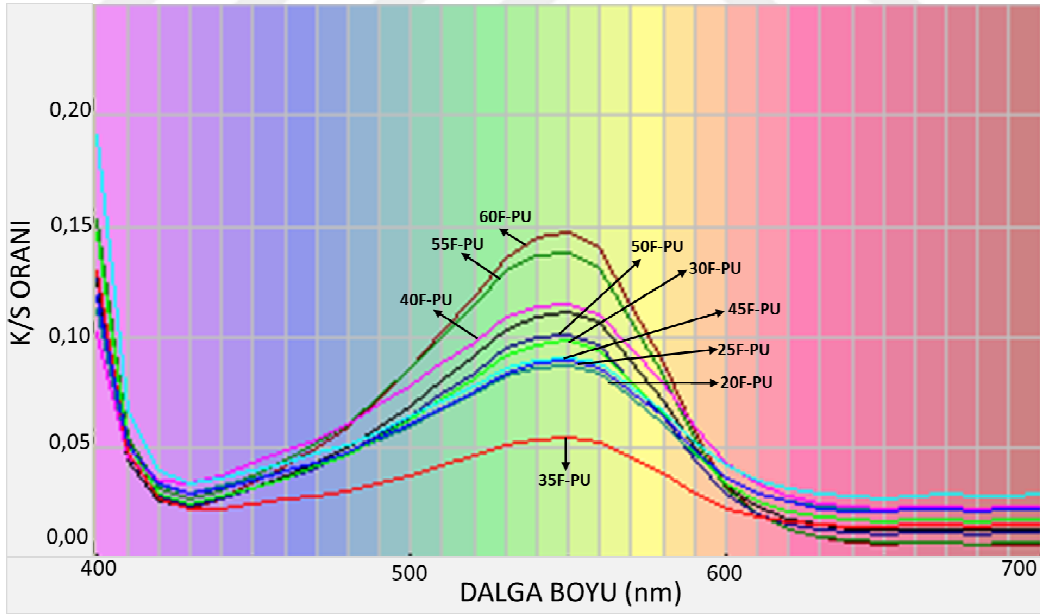
Şekil 4.58. Fotokromik nanolif yüzeylerin a) gün ışığına maruz bırakılmadan önceki, b) gün ışığı altındaki görüntüleri

İstenilen renk ile elde edilmeye çalışılan renk arasındaki yakınlığın/uzaklığının belirlenmesinde, ΔE değeri ile K/S renk verimliliğinin birlikte değerlendirilmesi sonucunda ulaşılabilir. Numuneler arasındaki renk verimliliği farklarının daha iyi anlaşılması için Çizelge 4.9’da tüm nanolif yüzeylerin K/S değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.9. Tüm nanolif yüzeylerin K/S değerleri verilmiştir.

Numuneler	K/S Oranı
20F-PU	0,080
25F-PU	0,082
30F-PU	0,098
35F-PU	0,055
40F-PU	0,120
45F-PU	0,085
50F-PU	0,100
55F-PU	0,140
60F-PU	0,148

Spektrofotometre renk analizinde, boyarmaddenin, kullanılan yöntemin veya değiştirilen herhangi bir parametrenin boyama kalitesine etkisinin değerlendirildiği K/S oranlarını gösterir grafik Şekil 4.59’da verilmiştir.



Şekil 4.59. Nanolif yüzeylere ait K/S değerleri

K/S oranının yüksek olduğu numunelerin boya verimliliğinin yüksek olduğu bilinmektedir. Şekil 4.59’daki grafik incelendiğinde, 60F-PU nanolif yüzeyin K/S değeri en yüksek tespit edilmiştir. Daha sonra ise 55F-PU nanolif yüzeyin boya verimliliği değeri

gelmektedir. En düşük K/S renk verimliliği değerleri ise 20F-PU ve 25F-PU nanolif yüzeylerde tespit edilmiştir.

4.10. Hava Şartlarına Karşı Renk Haslığı Analizi

Nanolif numunelerin hava şartlarına karşı renk haslığı testleri, ISO 105-B04 standardına göre yapılmıştır. Teste göre 20 saat süre ile işlem gören fotokromik özellikli nanolif numunelerin, işlem görmeyen nanolif numunelere göre renk solması karşılaştırılmıştır. Analiz için numune hazırlılık işlemleri Şekil 4.60'da verilmiştir.



Şekil 4.60. Xenotest 150 S+ cihazına numunelerin hazırlanması

Aynı süreyle hava şartlarına maruz kalan nanolif numuneler, mavi yün referanslarda oluşan renk solma dereceleri (3 numaralı mavi yün referans alınarak) kullanılarak, hava şartlarına karşı renk haslığı derecesi değerlendirilmiştir. Üretilen nanolif numunelerinin hava şartlarına karşı renk haslığı değerleri Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Nanolif numunelerin hava şartlarına karşı haslık değerleri

Numuneler	Haslık Değeri
20F-PU	3
25F-PU	4
30F-PU	4
35F-PU	4
40F-PU	4
45F-PU	4
50F-PU	3/4
55F-PU	4
60F-PU	4

Fotokromik boyarmadde katkılı nanolif yüzeylerin hava şartlarına karşı renk haslığı değerlerinin verildiği Çizelge 4.10 incelendiğinde, hava şartlarına karşı renk haslığı değerlerinin iyi seviyede olduğu görülmüştür. Referans mavi yün skalaya (1 en kötü, 8 en iyi) göre F-PU kodlu nanolif yüzeyler genellikle 4 aralığında (20F-PU, 3 ve 50F-PU, 3/4 hariç) değerler vermiştir.

5. SONUÇLAR

Poliüretan (PU) polimer kullanılarak fotokromik boyarmadde katkısı ile UV ışığı altında renk değiştiren nanolif yüzey üretimini amaçlanan bu çalışmada, çok iğneli yarı endüstriyel elektro çekim cihazında 5 adet düzeden oluşan bir üretim gerçekleştirilmiştir. Tez çalışmasında %20-%60 aralığında fotokromik boyarmadde PU çözeltisi içerisine eklenerek UV ışığı altında renk değiştiren 9 adet nanolif yüzey ve bir de fotokromik boya içermeyen (%100 PU) referans nanolif yüzey üretimi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen referans ve fotokromik boyarmadde katkılı nanolif yüzeylerin karakterizasyon analizleri için SEM, EDX, DSC, TGA, dTG ve FTIR analizleri yapılmıştır. Nanolif yüzeylerin performans testleri ise Kalınlık Ölçümü, Çekme Dayanımı Testi, CIE Lab Renk Analizi ve Hava Şartlarına Karşı Renk Haslığı Testleri olarak seçilmiştir.

SEM analizinde, çözelti içerisine karıştırılan fotokromik boyarmadde partiküllerinin homojen olarak yerleştiği, fotokromik boyarmadde katkısının nanolif çapında incelmeye sebep olduğu ve ayrıca karışım içerisindeki fotokromik boyarmadde oranının artmasıyla ortalama lif çapının genel olarak bir düşüş (incelme) eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. Bu durumu elektro çekim işleminde fotokromik boyarmadde partiküllerinin elde edilen nanolif çaplarında etkin bir parametre olduğunu göstermiştir.

EDX analizinde nanolif yüzey içeriğinde karbon (C), oksijen (O) ve nitrojen (N) elementlerinin varlığı tespit edilmiştir. Fotokromik boyarmaddenin artmasıyla C oranında düşüş, N oranında artış ve O oranında ise değişimin olmadığı görülmüştür.

FTIR analizinde görülen PU polimerine ait karakteristik pik değerleri PU'nun nanolif yüzeyler içerisinde bozunmadan bulunduğunu göstermektedir. Fotokromik boyarmadde katkılı nanolif yüzeylerde görülen fotokromik boyarmadde içeriğindeki spirooxazin yapısına ait karakteristik pikler ise fotokromik boyarmaddelerin nanolif yüzeyler içerisine yerleştiğini göstermektedir.

DSC termal analizinde referans PU-G ve PU nanolif yüzeyde herhangi bir enerji pik görülmezken F-G ve fotokromik boyarmadde katkılı nanolif yüzeylerde ise 2 veya 3 farklı sıcaklıklarda enerji piki tespit edilmiştir. İlk 2 pik değerlerinde fotokromik boyarmadde oranındaki değişim ile kayda değer bir değişiklik olmadığı görüldüğünden fotokromik boyarmadde oranının bu pik değerleri üzerinde önemli bir etkisi olmadığı tespit edilmiştir. Fotokromik boyarmadde içeriği düşük olan 20F-PU, 25F-PU ve 30F-PU nanolif yüzeylerde 109-111 °C ve 140-144 °C aralıklarında sadece 2 adet enerji piki tespit

edilmiştir. Fotokromik boyarmadde oranı yüksek olan 35F-PU 40F-PU, 45F-PU 50F-PU, 55F-PU ve 60F-PU numunelerinde ise bu iki pikle birlikte üçüncü bir ekzotermik enerji piki gözlemlenmiştir. Fotokromik boyarmadde oranı arttıkça bu üçüncü pik değeri 276 °C'den 341 °C'ye yükselerek genel bir artış eğilimi göstermiştir. Bu durum üçüncü pik bölgesinde fotokromik boyarmadde oranının etkili olduğunu göstermektedir. Ancak 55F-PU numunesinde üçüncü pik değeri bir miktar düşmüş ve 60F-PU numunesinde tekrar az bir artış göstermiştir. Pik değerlerindeki enerji değerlerinin negatif olması yani ekzotermik bir enerji piki olması bir bozunma reaksiyonuna işaret etmektedir. Ayrıca bu piklerin referans PU numunesinde görülmeyip fotokromik boyarmadde katkılı numunelerde görülmesi bu sıcaklıklarda fotokromik boyarmaddenin yapısında bozunmalar meydana geldiğini göstermektedir.

TGA termal analizinde 270 °C – 360 °C sıcaklığı aralığında ve 360 °C-500 °C sıcaklık aralığında olmak üzere iki adet büyük kütle değişimi tespit edilmiştir. İlk sıcaklık aralığında, çözelti içeriğindeki fotokromik boyarmaddenin artmasıyla bozunan kütle miktarının düştüğü görülmüştür. Bu sıcaklık aralığındaki bozunan madde miktarındaki bu düşüşün fotokromik boyarmaddenin sıcaklık dayanımının PU polimerinden daha iyi olmasına bağlanabilir. Sıcaklık aralığı 360 °C - 500 °C olan ikinci bozunmada, bozunan madde miktarı fotokromik boyarmadde miktarı arttıkça artmaktadır. Bu durumu bozunan fotokromik boyarmaddenin bu sıcaklık aralığında daha çok bozunmaya eğilimli olduğu rahatlıkla söylenebilir. Nanolif numunelerin yarılanma sıcaklıklarına bakıldığında, fotokromik boyarmadde miktarının artmasıyla yarılanma sıcaklık değerinin arttığı tespit edilmiştir.

dTGA termal analizinde, fotokromik boyarmadde oranının artmasıyla maksimum bozunma hızının gerçekleştiği sıcaklık değerlerinin de arttığı gözlemlenmiştir. Fotokromik boyarmadde katkısı ile maksimum bozunma hızının arttığı gözlemlenmiş olup ancak fotokromik boyarmadde oranı arasında maksimum bozunma hızı arasında bir ilişki tespit edilememiştir.

Fotokromik boyarmadde katkılı nanolif yüzeylerin performans testlerinin incelemesinde ilk test kopma çekme dayanımı testidir. Testler makine yönü (MD) ve kumaş eni (CD) yönü olarak tek tek incelenmiştir. Kopma mukavemeti testinde, MD yönü kopma dayanımı değeri CD yönü kopma dayanımı değerinden daha yüksek tespit edilmesi, yarı endüstriyel elektro çekim üretim makinesindeki 8 adet iğne ile üretilmesinden ve

Üretim yönteminden kaynaklanmaktadır. Çözelti içerisindeki fotokromik boyarmadde miktarı arttıça MD yönünde kopma dayanımı değerinin düştüğü görülmüştür. CD yönündeki kopma mukavemeti değeri incelendiğinde referans numunenin kopma dayanımı değerinden oldukça düşük değerlerde olduğu ve fotokromik boyarmadde arttıça kopma dayanımı değerinin düştüğü görülmüştür. MD yönünde % uzama değeri incelendiğinde boyarmadde miktarı arttıça %uzama değeri artış göstermiş ancak belli bir değerden sonra düşüş içerisine girmiştir. CD yönündeki % uzama değeri ise boyarmadde miktarı arttıça, azalma eğilimi göstermiştir. Bu durumda kopma mukavemeti ve % uzama değerleri boyarmadde miktarı arasında ters orantı olduğu söylenebilir. Bu durumda nanolif numunelerin renk değiştirme kapasitesi ile mukavemetleri arasında ters orantı olduğu görülmektedir.

Spektrofotometre renk analizi değerleri incelendiğinde; fotokromik boyarmadde miktarı arttıça referans renkten uzaklığı ifade eden ΔE değerlerinin de arttığı görülmüştür. Ayrıca K/S renk verimliliği değerleri incelendiğinde fotokromik boyarmadde miktarı arttıça K/S oranının arttığı görülmüştür. Bu sonuçlar polimer çözeltisi içerisinde, fotokromik boyarmaddenin elektro çekim nanolif üretim yöntemi ile başarılı bir şekilde üretilbildiğini göstermiştir.

Hava şartlarına karşı renk haslığı testi sonuçları incelendiğinde tüm numunelerin haslık değerinin 4 seviyelerinde tespit edilmesi, kullanılan fotokromik boyarmaddenin renk solmasına karşı vermiş olduğu tepkinin normal, hatta iyi seviyelerde olduğunu göstermiştir. Hava şartlarına karşı renk haslığına karşı iyi değerler gösteren fotokromik boyarmadde katkılı nanolif yüzeylerin günlük kullanıma uygun olduğunu göstermiştir.

Fotokromik boyarmadde katkılı nanolif yüzeylerin göstermiş olduğu performanslar, bu tür ileri teknolojik ürünlerin kullanım alanlarının daha gündelik ürünlere indirgenebileceğini göstermiştir. Çalışmalarda en iyi değerleri %55 boyarmadde katkılı ürünlerin verdiği nanolif yüzeylerin elektro çekim işleminde de sorun yaşamadığı karakterizasyon analizlerinde görülmüştür. Nanolif yüzeylerin kullanıldıkları ve gün işığı altında renk değiştiren bu yeni ürünler öncelikle moda ve hazır giyim sektöründe kendine yer bulması beklenmektedir. Bu durumu sadece moda ve hazır giyim sektörü ile sınırlamamak gerekmektedir. Güneş işığı ya da UV işığının etken madde/etken kuvvet olduğu alanalarda ve kullanım yerlerinde bu tür ürünlerin kullanımları kolay ve uygulanabilir olduğu bu çalışma ile ortaya koymaktadır.

Ayrıca PU polimeri ile yapılan bu çalışma diğer polimer ile yapılabilirliğine bir ön çalışma oluşturmaktadır. 5 iğne ile yapılan çalışmanın endüstriyel uygulamalarda da kullanılabilir olduğunu da açıklamıştır. Tekstil ürünü olarak üretilen nanolifli yüzeyler, üstün özellikleri ile tercih edilmeye başladığı bu yıllarda, moda sektörüne farklı bir bakış açısı getirecektir.



KAYNAKLAR

- Akan, M., 2007. Uygun Renk, Işık Ve Sürtünme Haslığı Değerlerine Sahip Bitkisel Boyalarla Boyanmış İlmelik Yün Halı İpliklerinde En Az Kopma Mukavemeti Kaybına Yönelik Boyama Yönteminin Geliştirilmesi. Doktora Tezi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 174s.
- Akçan A., 2001. Lycra'lı Dokuma Kumaşların Üretimi Lycra'lı Kumaşlarda Boyut Değişimi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, 104s.
- Aldib, M., Christie, R.M., 2013. Textile Applications Of Photochromic Dyes. Part 5: Application Of Commercial Photochromic Dyes To Polyester Fabric By A Solvent-Based Dyeing Method. *Coloration Technology*, 129, 131-143.
- Atay, B., 2008. Nanofilm Fotokromik Kaplamalar. Yüksek Lisans Tezi. Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 76s.
- Ateş, H., 2015. Nano Parçacıklar ve Nano Teller. *GU J Sci Part:C*, 3(1): 437-442 s.
- Ateş, H., Bahçeci, E., 2015. Nano Malzemeler için Üretim Yöntemleri, *GU J Sci Part:C*, 3(2): 483-499 s.
- Atılğan, A., Göktaş, O., Peker, H., 2011. Pinar Bitki Ekstraktından Elde Edilen Doğal Boyanın Ahşap Malzemeye Üst Yüzey Olarak Uygulanması. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 12 (2):139-147
- Atış, S., 2001. Lycra'lı Kumaşlara Uygulanan Terbiye İşlemleri ve İncelenmesi, Tekstil Projesi, Çukurova Üniversitesi.
- Ayçam, İ., Utkuğlu G.S., 1999. Farklı Malzemelerle Üretilen Pencere Tiplerini Isıl Performanslarının İncelenmesi ve Enerji Etkin Pencere Seçimi, İzmir, Türkiye. IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği ve Kongresi, 4-7 Kasım 1999, TMMOB Makina Mühendisleri Odası. s61-73 .
- Ayutsede, J., Gandhi, M., Sukigara, S., Micklus, M., Chen, H. E., Ko, F. 2005. Regeneration of Bombyx Mori Silk by Electrospinning. Part 3: Characterization of Electrospun Nonwoven Mat. *Polymer*, 46(5), 1625-1634.
- Balık, M., 2006. Tekstilde Renk Değiştiren Giysiler, Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. İzmir, 113s.
- Bamfield, P., 2001. Chromic Phenomena The Technological Applications of Colour Chemistry, Royal Society of Chemistry, U.K.
- Billah, S.M.R., Christie, R.M., Shamey, R., 2008a. Direct Coloration Of Textiles With Photochromic Dyes. Part 1: Application Of Spiroindolinonaphthoxazines As Disperse Dyes To Polyester, Nylon And Acrylic Fabrics, *Coloration Technology*, 124, 223-228.

- Billah, S.M.R., Christie, R.M., Morgan, K.M., 2008b. Direct Coloration Of Textiles With Photochromic Dyes. Part 2: The Effect Of Solvents On The Colour Change Of Photochromic Textiles, *Coloration Technology*, 124, 229–233.
- Boucher, O., 2010. Stratospheric Ozone, Ultraviolet Radiation And Climate Change, *Weather*, 65 (4):105-110 s.
- Brower B., 2001. Soldier Systems, *Army Research Office Nanoscience for the Soldier Workshop*.
- Cengiz Çallıoğlu, F., 2013. Silindirli Elektro Lif Çekim Yöntemi ile Nano Lif Üretimi. *Tekstil ve Mühendis*, 20: 91, 35-49.
- Cengiz, F., Jirsak O., Dayık M., 2009. Ortam Rutubetinin Silindirli Elektro Fiber Çekim Yöntemi ile Nanofiber Üretimi Üzerine Etkilerinin İncelenmesi. *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 3(3) 24-32.
- Cireli, A., Kayacan, Ö. Ve Erdoğan, Ü.H., 2002. Teknik Tekstiller ve Kullanım Olanakları, İzmir, Türkiye. Uluslararası Teknik Tekstiller Kongresi. 11-12 Ekim 2002. Dokuz Eylül Üniversitesi, 13-14. İzmir. Proceedings Book, 13-31.
- Cherenack, K. and Pieterse, L., 2012. Smart Textiles: Challenges And Opportunities. *Journal of Applied Physics*, 112(9), 091301.
- Cognis, R.M., 2005. Günümüzde ve Gelecekte Akıllı Tekstiller, *Nonwoven Technical Textiles*, 3, s.105-110.
- Corns, S.N., Partington, S.M. and Towns, A.D., 2009. Industrial Organic Photochromic Dyes, *Coloration Technology*, 125: 249-261 s.
- Coşkun E., 2007. Akıllı Tekstiller Ve Genel Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Adana. 116s.
- Crano, J.C., Guglielmetti, R.J., 2002. Organic Photochromic and Thermochromic Compounds, Kluwer Academic Publishers, New York.
- Crews, P.C. and Reagan, B.M., 1987. Ultraviolet Absorbers: A Treatment To Reduce Fading And Degradation Of Textiles, *Ars Textrina*, 8: 43-56 s.
- Çay, A., Kumbasar P.E.A., Akduman Ç., 2015. Effects Of Solvent Mixtures On The Morphology Of Electrospun Thermoplastic Polyurethane Nanofibres, *Tekstil ve Konfeksiyon* 25(1).
- Çıracı, S., Süzer, Ş. Erdemir, A., Dağ, Ö., Bengü, E., Bayındır, M., İlday, Ö., Senger, T., Dana, A., Aydın, A., Gemici, Z., Yılğör, İ., Özgür, H., Yeşilyurt, Ö., Durgun, E., Kocabaş, A., Köylü Ö., Gürsen, İ., 2005. Türkiye'de Nanoteknoloji, *Bilim ve Teknik Dergisi - Yeni Ufuklara*, 469, 1-23 s.
- Das, B.R., 2010. UV Radiation Protective Clothing. *The Open Textile Journal*, 3: 14-21 s.

- Davis, S., Capjack, L., Kerr, N. and Fedosejevs, R., 1997. Clothing As Protection From Ultraviolet Radiation: Which Fabric Is Most Effective? *International Journal Of Dermatology*, 36 (5): 374–379 s.
- Dawson, T.L., 2010. Changing Colours: Now You See Them, Now You Don't. *Coloration Technology*, 126: 177-188 s.
- Demir, A., Uçar, N., Pehlivaner R, Ö., Onbaşı, Ç., Şen, B., Koç, O., 2010. Yeni Geliştirilmiş Kompozit Bir Lifin Su Buharı Emme Performansı. *Tekstil ve Konfeksiyon*, Sayı:1, 4-8.
- Demir, M.M., Yilgor, I. ,Yilgor, E., 2002, Electrospinning of Polyurethane Fibers. *Polymer*, 43, 3303.
- Doğan, G., Basal G., 2009. Elektrofiber Yöntemine Göre Çekilen Biyopolimer Nanofiberlerin İlaç Salınım Sistemleri, Yara Örtüsüne Doku Iskelesi Olarak Kullanımı. *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 3(2) 58-70.
- Dubrovski, P.D., 2010, Woven fabric and ultraviolet protection. *Woven Fabric Engineering*, Sciyo, Croatia, 436 s.
- Dubrovski, P.D., and Brezocnik, M., 2009. Prediction Of The Ultravioletprotection Of Cotton Woven Fabrics Dyed With Reactive Dystuffs. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 17(72): 55-59 s.
- Dubrovski, P.D., and Golob, D., 2009. Effects of Woven Fabric Construction And Color On Ultraviolet Protection. *Textile Research Journal*, 79(4): 351–359 s.
- Durasevic, V., Osterman, D.P., Sutlovic, A., 2011. From Murex Purpura To Sensory Photochromic Textiles. *Textile Dyeing*, Peter J. Hauser (Ed.), ISBN: 978-953-307-565-5, CROATIA, 392p. InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/textile-dyeing/from-murex-purpura-to-sensory-photochromic-textiles>.
- Ebadzadeh, T, Shojaee N, Aghaei A., 2010. Effect Of Concentration And Heating Conditions On Microwave-Assisted Hydrothermal Synthesis Of Zno Nanorods. *Mater Charact.* 61:1418–23.
- Elsner, P., Hölzle, E., Diepgen, T., Grether-Beck, S., Hönigsmann, H., Krutmann, J., Scharffetter-Kochanek, K., Schwarz, T. and Luger, T., 2007. Recommendation: Daily Sun Protection In The Prevention Of Chronic UV-Induced Skin Damage. *JDDG: Journal der Deutschen Dermatologischen Gesellschaft*, 2: 166-173 pp.
- Emek, A., 2004. Teknik Tekstiller Dünya Pazarı, Türkiye'nin Üretim ve İhraç İmkanları. T.C. Başbakanlık DışTicaret Müsteşarlığı, İhracat Geliştirme Etüd Merkezi, Ankara.
- Erdem İşmal, Ö., ve Yüksel, E., 2016. Tekstil ve Moda Tasarımına Teknolojik Bir Yaklaşım: Akıllı ve Renk Değiştiren Tekstiller. *Dokuz Eylül Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi (Yedi)*, 15(16), 87-98.

- Erenler, A., 2009. Biyoenzimler Ve Biyoenzimlerin Örne Kumaş Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 111s.
- Feng, W., Ding, Y., 2006. The Photochromic Process of Polyoxometalate-Based Nanocomposite Thin Film by in Situ AFM and Spectroscopy, *Materials Chemistry and Physics*, 98, 347–352 s.
- Gambichler, T., Avermaete, A., Bader, A., Altmeyer, P. and Hoffmann, K., 2001. Ultraviolet Protection By Summer Textiles. Ultraviolet Transmission Measurements Verified By Determination Of The Minimal Erythema Dose With Solar-Simulated Radiation, *British Journal of Dermatology*, 144: 484-489 s.
- Girard, P.M., Francesconi, S., Pozzebon, M., GrainDorge, D., Rochette, P., Drouin, R., and Sage, E., 2011. UVA-induced Damage to DNA and Proteins: Direct Versus Indirect Photochemical Processes. *Journal of Physics: Conference Series*, 261:1-10s.
- Grifoni, D., Bacci, L., Zipoli, G., Albanese, L. and Sabatini, F., 2011. The Role Of Natural Dyes In The UV Protection Of Fabrics Made Of Vegetable Fibres, *Dyes And Pigments*, 91: 279-285 s.
- Gürsoy A.T., 2010. Giyim Kültürü ve Moda Cilt-2/Mesleki Bilgiler, Türkiye Tekstil Sanayi İşverenleri Sendikası Yayınları, ISBN 9789750143366, TÜRKİYE, 704s.
- İçoğlu, H.İ., 2006. Pamuklu Dokunmuş Kumaşların Reaktif Boyarmaddelerle Boyanması Ve Uygulama Yöntemlerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 205s.
- İkiz, Y., 2009. Elektro Çekim Yöntemi İşlem Parametrelerinin PVA Nanofiber Morfolojisine Etkileri, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 15, Sayı 3.
- İTKİB, İstanbul Tekstil Konfeksiyon İhracatçı Birlikleri, 2005. Teknik Tekstil Üzerine Genel ve Güncel Bilgiler. İTKİB Genel Sekreterliği Ar&Ge ve Mevzuat Şubesi, Mart 2005. İstanbul. <http://www.ithib.org.tr/tr/bilgi-bankasi-raporlar-arastirma-raporlari.html>
- Jahangiri, S., 2013. Investigation Of The Effect Of Electrospinning Parameters On Polyurethane Nanofiber Diameter And Fiber Morphology. M.Sc. Thesis. İstanbul Technical University Graduate School Of Science Engineering And Technology, İstanbul, 80s.
- He, X., Zhu G., Zheng H., Xu S., Yuan B., Feng Y., 2015. Facile Synthesis Of Polyaniline-Coated SiO₂ Nanofiber And Its Application In Enrichment Of Fluoroquinolones From Honey Samples, *Talanta* 140, 29–35.
- Han, K. and Yu, M., 2006. Study Of The Preparation And Properties Of Uv Blocking Fabrics Of A PET/TiO₂ Nanocomposite Prepared By In Situ Polycondensation. *Journal Of Applied Polymer Science*, 100: 1588–1593 s.

- Hoffmann, K., Laperre, J., Avermaete, A., Altmeyer, P. and Gambichler, T., 2001. Defined UV Protection By Apparel Textiles. *Arch Dermatol*, 137: 1089-1094 s.
- Houseman, A., 2019, Lighting for reptiles. URL (Erişim tarihi: 18 Mayıs 2019) <https://www.lampshoponline.com/advice/lighting-for-reptiles>
- Kahraman, G., şahin, Ö., Kayacan, O., & Yazgan, E. 2008. Akıllı Giysilerde Isıtma Kontrolü (Heating Control In Smart Clothes), *Deü Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi* Cilt:10 Sayı:3, 33-42.
- Kang, Y.K., Park, C.H., Kim, J. And Kang, T.J., 2007. Application of Electrospun Polyurethane Web to Breathable Water-proof Fabrics, *Fibers and Polymers*, Vol. 8, 564-570.
- Kara E. ve Özüş, G., 2014. Teknik Tekstile Geçişte Model Uygulamalar, Teknik Tekstil Üretimine Nasıl Geçilir, Teknoloji Değerlendirme Raporu-2014, Bursa Tekstil ve Konfeksiyon Arge Merkezi, Eylül 2014, Bursa.
- Kathirvelu, S., D'Souza, L. and Dhurai, B., 2009. UV Protection Finishing Of Textiles Using ZnO Particles, *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, 34: 267-273 s.
- Kayacan, O., 2008. Akıllı Giysi Dizaynı Üzerine Bir Araştırma. Doktora Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İzmir. 232s.
- Kenawy, E., Abdel-Haya F., El-Newehya M., Wnekb G., 2009. Processing of Polymer Nanofibers Through Electrospinning As Drug Delivery Systems, *Materials Chemistry and Physics*. 113, 296–302.
- Kılıç, A. 2008. Eriyikten Elektro Üretim Yöntemiyle Polipropilen Nanofiber Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 143s.
- Kılıç, A., Oruç, F., Demir, A., 2008. Effects of Polarity On Electrospinning Process, *Textile Research Journal*, 78(6), 532-539.
- Kim, H.Y., 2010. Method of Manufacturing A Continuous Filament By Electrospinning. US Patent 7,799,262.
- Khil, M.S., Cha, D.I., Kim, H.Y., Kim, I.S. and N. Bhattarai, 2003. Electrospun Nanofibrous Polyurethane Membrane As Wound Dressing. *J. Biomed. Mater. Res. Part B:Appl. Biomater.*, Vol. 67B, 675-679.
- Kozanoğlu, G.S., 2006. Elektrosponing Yöntemi İle Nanolif Üretim Teknolojisi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul. 161s.
- Kul, E., 2005. Pes/Vis/Elastan İçerikli İplik Tiplerinde Kalite İyileştirici Proses Çalışmaları ve Dokuma Kumaşlarda Kalite Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 176s.
- Kumbasar E.P.A., ve Morsümbül, S., 2017. Fotokromik Boyaların Tekstil Sanayinde Kullanımı, 16. Uluslararası Tekstil Teknolojisi ve Kimyasındaki Son Gelişmeler Sempozyumu, 4-6 Mayıs 2017, Bursa, 250s.

- Lakshman L., Shalumon, K.T., Sreeja, V., Jayakumar R., & Nair, S.V., 2010. Preparation of Silver Nanoparticles Incorporated Electrospun Polyurethane Nano-fibrous Mat For Wound Dressing. *Journal of Macromolecular Science, Part-A: Pure and Applied Chemistry*, Volume 47, Issue 10, 1012 – 1018.
- Laurent, H., Dürr, H., 2001. Organic Photochromism, *Pure Ap. Chem.*, 73, 639-665 s.
- Lee, K., 2005. Stress-Strain Behavior of the Electrospun Thermoplastic Polyurethane Elastomer Fiber Mats. *Macromolecular Research*, 13: (5), 441-445 s.
- Lee K.H., Lee B., Kim, C., Kim, H., Kim, K., Nah, C., 2005. Stress-Strain Behavior of the Electrospun Thermoplastic Polyurethane Elastomer Fiber Mats, *Macromol. Research*, Vol. 13, 441.
- Lee, S., and Obendorf, S.K., 2007. Use of Electrospun Nanofiber Web for Protective Textile Materials as Barriers to Liquid Penetration, *Textile Research Journal*, Vol. 77, 696-702.
- Li X., Lou, W., Song, R., 2009. Experimental Investigation of Polyurethane Electrospun Nanofibers Mat - Relationship Between Mechanical Property and Thickness, IEEE 3rd International Conference on Nano/Molecular Medicine and Engineering, 1-4.
- Li, D., Xia Y., 2004. Electrospinning of Nanofibers: Reinventing The Whell. *Adv. Mater.* 16 1151–1170.
- Little, A.F., Christie, R.M., 2010a. Textile Applications Of Photochromic Dyes. Part 1: Establishment Of A Methodology For Evaluation Of Photochromic Textiles Using Traditional Colour Measurement Instrumentation. *Coloration Technology*, 126, 157–163.
- Little, A.F., Christie, R.M., 2010b. Textile Applications Of Photochromic Dyes. Part 2: Factors Affecting The Photocoloration Of Textiles Screen-Printed With Commercial Photochromic Dyes. *Coloration Technology*, 126, 164–170.
- Little, A.F., Christie, R.M., 2011. Textile Applications Of Photochromic Dyes. Part 3: Factors Affecting The Technical Performance Of Textiles Screen-Printed With Commercial Photochromic Dyes. *Coloration Technology*, 127, 275–281.
- Mahltig, B., Böttchera, H., Rauchb, K., Dieckmannb, U., Nitschec, R. And Fritzc, T., 2005. Optimized UV Protecting Coatings By Combination Of Organic And Inorganic UV Absorbers, *Thin Solid Films*, 485: 108 – 114 s.
- McIntyre, J.E. & Daniels, P.N., 1995. Textile Terms And Definitions. Manchester, United Kingdom: Textile Institute.
- Mehl, G., 2003. Introduction to Photochromism, The University of Hull.
- Menning, M., Fries, K., Schmidt H., 1996. Development of Fast Switching Photochromic Coatings on Transparent Plastics and Glass, *Thin Solid Films*, 351, 230–234 s.

- Meriç, D., 2016. Akıllı Tekstillerin Ürün Tasarımında Kullanım Olanakları Ve Moda Tasarımına Yönelik Uygulamalar. Yüksek Lisans Tezi. Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Eskişehir, 153s.
- Munir, M., Suryamas A., Iskandar F, Okuyama K., 2009. Scaling Law On Particle-To-Fiber Formation During Electrospinning. *Polymer*; 50: 4935e43.
- Njuguna, J., ve Pielichowski, L., 2004. Review Recent Developments in Polyurethane-Based Conducting Composites, *Journal of Materials Science*, 39, 4081-4094 s.
- Norstebo, C.A., 2004. Intelligent Textiles, Soft Products. Norwegian University of Science and Technology, Department of Product Design NTNU, Norway.
- Önem, E., Mutlu, M.M., Günay, S., Azeri H., 2012. Soğan (Allium Cepa) Yumru Dış Kabuğundan Doğal Boyarmadde Ekstraksiyonu ve Deri Boyamada Kullanımı. *Tekstil ve Mühendis*, 19, 88, 1-8.
- Önlü, N. ve Halaçeli, H., 2007. İleri teknoloji Ürünü Tekstillerde Tasarım, Günümüz Modasındaki Yeri ve Önemi, İstanbul, Türkiye. III. Uluslararası Teknik Tekstiller Kongresi, İstanbul Fuar Merkezi, 10-12 Aralık 2007. s.72-72
- Öztürk, G., 2015, Güneşten Koruyucular, *Fotodermatoloji*, Türkiye, 509 s.
- Özdizdar, A., 2004. Teknik Tekstil Sektör Araştırması. İstanbul Ticaret Odası. İstanbul.
- Pan, H., Li L., Hu L., Cui X., 2006. Continuous Aligned Polymer Fibers Produced By A Modified Electrospinning Method, *Polymer*, 47, 4901–4904.
- Pradhan, K.C., Nayak, P.L., 2012. Synthesis and Characterization of Polyurethane Nanocomposite from Castor Oil- Hexamethylene Diisocyanate (HMDI), *Pelagia Research Library*, 3(5), 3045-3052.
- Pedicini A., and Farris R.J., 2003. Mechanical Behavior Of Electrospun Polyurethane. *Polymer*. 44, 6857–6862.
- Peng, L., Guo, R., Lan, J., Jiang, S., 2018. Fabrication and Characterization of Photochromic Spirooxazine/Polyvinylidene Fluoride Fiber Membranes via Electrospinning, *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 26, 4(130): s.34-38. DOI: 10.5604/01.3001.0012.1310
- Pérez-Masiá, R., López-Rubio, A., Lagarón, J.M., (2013). Development Of Zein-Based Heat-Management Structures For Smart Food Packaging, *Food Hydrocoll.* 30, 182.
- Ramakrishna, S., Fujihara, K., Teo, W. E., Lim, T. C., Ma, Z., 2005. Electrospinning and Nanofibers 382 s. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore.
- Riva, A. and Algaba, I., 2006. Ultraviolet Protection Provided By Woven Fabrics Made With Cellulose Fibres: Study Of The Influence Of Fibre Type And Structural Characteristics Of The Fabric, *The Journal of The Textile Institute*, 97 (4): 349-358 s.

- Roy, C. R., Gies, H. P., and Toomey, S., 1995. The Solar UV Radiation Environment: Measurement Techniques And Results, *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 31(1-2): 21-27 s.
- Saafan S.A., El-Nimr M.K., El-Ghazzawy E.H., 2006. Study of Dielectric Properties of Polypyrrole Prepared Using Two Different Oxidizing Agents. *Journal of Applied Polymer Science*, 99:3370-3377,.
- Samatya S., 2015. İletken Polimerik Poliüretan Kompozit Tekstil Yüzeyleri Üretimi Ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kahramanmaraş. 125s.
- Saravanan, D., 2007, UV Protection Textile Materials. *Autex Research Journal*, 7(1): 53-62 s.
- Sarıduman, S., 2005. Endüstriyel Olarak Üretilmekte Olan Çeşitli Atkı Fitilli Kadife Kumaş Özellikleri Üzerine Bir İnceleme. Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 183s.
- Scarlett, W.L., 2003. Ultraviolet Radiation: Sun Exposure, Tanning Beds, And Vitamin D Levels. What You Need To Know And How To Decrease The Risk Of Skin Cancer, *The Journal of the American Osteopathic Association*, 103(8): 371-375 s.
- Schmid, G., 2008. Nanotechnology Volume 1: Principles and Fundamentals. Weinheim: Wiley-VCH, ISBN: 978-3-527-31732-5.
- Selbes, M., 2013. Elektro-Eğirme Yöntemiyle Nanofiber Tabakalı Hava Filtresi Üretimi ve Performans Testleri. Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Konya. 117s.
- Sen, A.K., 2001. Coated Textiles, Principles and Applications, *Technomic Publications*, No:1-58716-023-4.
- Shah M.J., Grumbling, M.V., 1989. Photochromic Spiropyran Compounds, *Japan*, 5241075.
- Soane, D., Milward, D., 1995. Photochromic Glass Nanoparticles and Methods of Preparation, *Adv. In Coll and Interface Science*, 55, 241–269 s.
- Sonnenschein, M.F., 2015. Polyurethanes: Science, Technology, Markets and Trends, *Wiley Series on Polymer Engineering and Technology*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 431s.
- Sundaresan, K., Sivakumar, A., Vigneswaran, C. and Ramachandran, T., 2011. Influence Of Nano Titanium Dioxide Finish, Prepared By Sol-Gel Technique, On The Ultraviolet Protection, Antimicrobial, And Selfcleaning Characteristics Of Cotton Fabrics. *Journal of Industrial Textiles*, 41(3): 259- 277 s.
- Şahin O., Kayacan O., Bulgun E., 2005. Smart Textiles for Soldier of the Future, *Defence Science Journal*, Vol.55, No.2, 195-205.

- Şener, F., Bulat, F., 2009. Nano Teknoloji ile Üretilen Akıllı Tekstiller ve Tüketici Beklentilerinin Belirlenmesine Yönelik Bir Araştırma. *Hacettepe Üniversitesi Sosyolojik Araştırmalar e-Dergisi*. Sayı: 2009, 1-14.
- Uçar S., 2006. Teknik/Akıllı Tekstiller Ve Tasarımda Kullanımları. Yüksek Lisans Tezi. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. İstanbul. 259s.
- Uludağ, B., 2014. Isıya Duyarlı Ve Isı Yönetimi Yapabilen Akıllı Tekstillerin Geliştirilmesi Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 123s.
- Umaroğulları, F., Kartal, S., 2005. Binalarda Kullanılan İleri Teknoloji Ürünü Saydam Elemanların Isıl ve Optik Özellikleri. *Trakya Univ. J. Sci.*, 6, 1–8.
- Utaç, E., 2006. Kırmızı Reaktif Boyanın (Reaktif Kırmızı 195) Örülmüş Pamuklu Kumaşa Uygulanmasında Değişik Parametrelerin Renk Verimi Üzerine Etkilerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 100s.
- Terada, D., Kobayashi H., Zhang K., Tiwari A., Yoshikawa C. and Hanagata N., 2012. Transient Charge-Masking Effect Of Applied Voltage On Electrospinning Of Pure Chitosan Nanofibers From Aqueous Solutions. *Sci. Technol. Adv. Mater.* 13, 015003 (9s).
- Tomonaga. H., Morimoto, 2001. Photochromic Coatings Including Silver Halide Microcrystals via Sol-gel Process, *Thin solid Films*, 392, 355–360 s.
- Tutak, M., Sıdar, B., Şahan, S., 2014a. Pamuklu Kumaşa Çinko Klorür Uygulamasının Renk Performansı Üzerine Etkisi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 30(3):180-183
- Tutak, M., Acar, G., Akman, O., 2014b. Nane (*Mentha Spicata* L.) ve Kekik (*Thymus Vulgaris* L.) Bitkileri Kullanarak Yün Lifinin Doğal Boyanması. *Tekstil ve Mühendis*, 21, 93, 18-23.
- Türkant, B., 2008. Türkiye’de ve Dünya’da Teknik Tekstiller Üzerine Genel ve Güncel Bilgiler, İTKİB, İstanbul Tekstil Konfeksiyon İhracatçı Birlikleri, İTKİB Genel Sekreterliği Ar&Ge ve Mevzuat Şubesi, Haziran 2008. İstanbul. <http://www.ithib.org.tr/tr/bilgi-bankasi-raporlar-arastirma-raporlari.html>
- Türkant, B., 2009. 2009’da Tekstilde Yenilikler Tıbbi, Endüstriyel ve Konfeksiyona Yönelik Uygulamalar İçin Akıllı, Nano ve Teknik Tekstiller Konferansı Özet Notu, Londra, İngiltere. 18-19 Mart 2009. <https://www.itkib.org.tr/Home/KbDownload/2009da-tekstilde-yenilikler-tibbi-endustriyel-ve-konfeksiyona-yonelik-uygulamalar-Icin-akilli-nano-ve-teknik-tekstiller-konferans-notu-18-19-mart-2009-londra>
- Yakartepe, M., Yakartepe, Z., 1995. T.K.A.M., Tekstil Terbiye Teknolojisi, Cilt-1, İstanbul.

- Yanılmaz, M., 2011. Poliüretan/Polipirol Kompozit Nanolif İnce Film Üretimi ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 83s.
- Yeşil Y., 2010. Melanj Elyaf Karışımlarında Renk Değerlerinin Yeni Bir Algoritma Geliştirilerek Tahmin Edilmesi. Doktora Tezi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 288s.
- Yılmaz, Z., 2011. Elektrospinning Yöntemiyle Elde Edilen Poliüretan Nonolifler Üzerinde Sistem Parametrelerinin Analizi. Yüksek Lisans Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 132s.
- Zdraveva, E., Pejnovic N., Mijovic B., 2011. Electrospinning of Polyurethane Nonwoven Fibrous Mats, International Interdisciplinary Journal of Young Scientists from the Faculty of Textile Technology TEDI, Vol 1, 55 – 60 / 55.
- Zimehl, R., Textor, T., Bahners, T., Schollmeyer, E., 2004. Smart Textiles – When Colloid Chemistry Bears A Challenge. *Progress in Colloid and Polymer Science*, Vol. 125, 49-53.
- Zhang, R., Feng, W., 2002. Synthesis and Characterization of Polyoxometalate Based Photochromic Inorganic-Organic Nanocomposites. *Thin Solid Films*, 402, 237–241.
- Zhang, X.X., Tao, X.M., 2001. Smart Textiles(1): Passive Smart, *Textile Asia*, June pp.45-48
- Zhang, Y.Z., Su B., Ramakrishna S., Lim C.T., 2008. Chitosan Nanofibers from an Easily Electrospinnable UHMWPEO-Doped Chitosan Solution System. *Biomacromolecules*, 9, 136–141.
- Zhuo, H., Hu, J., Chen, S., 2008. Electrospun Polyurethane Nanofibres Having Shape Memory Effect. *Materials Letters*, 62 ,2074–2076.
- World Health Organization, 2003. Sun Protection: A Primary Teaching Resource. URL (Erişim Tarihi: 18 Mayıs 2019). <http://www.who.int/uv/publications/en/primaryteach.pdf>
- Wu, H., Guo, L., Zhang, J., Miao S., Hea, C., Wang, B., Wua, Y., Chen, Z., 2016. Polyelectrolyte-Free Layer By Layer Self-Assembled Multilayer Films Of cationic Phthalocyanine Cobalt(II) And Carbon Nanotube For The efficient Detection Of 4-Nitrophenol. *Sensors and Actuators B* 230, 359–366 s.
- Wu, Y., Carnell L.A., Clark R.L., 2007. Control of Electrospun Mat Width Through The Use Of Parallel Auxiliary Electrodes. *Polymer*, 48, 5653-5661.
- Vikova, M., & Vik, M., 2014a. Photochromic Textiles And Measurement Of Their Temperature Sensitivity. *Research Journal of Textile and Apparel*, 18(3), 15-21.
- Vikova, M., & Vik, M., 2014b. Colorimetric Properties Of Photochromic Textiles. In Applied Mechanics and Materials. *Trans Tech Publications* Vol. 440, 260-265.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı, soyadı : Büşra BAHAR
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 20.08.1991, Kahramanmaraş.
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (344) 300 1647

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi / Tekstil Mühendisliği A.B.D	2019
Lisans	Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi / Tekstil Mühendisliği Bölümü	2014

Yabancı Dil

İngilizce (Okuma; İyi- Yazma; Orta- Konuşma; Orta)

Uluslararası (Posterler)

2017 Tiyek, İ., Bahar, B., Elektroçekim Yöntemi ile Termokromik Özellikli Nanolif Yapılı Yüzeylerin Üretimi Ve Karakterizasyonu, Harran Üniversitesi Harran I. Ar-Ge Proje Pazarı, 12 Mayıs 2017, Şanlıurfa.

Proje Deneyimi

2017-2019 Elektro Çekim Yöntemi ile Fotokromik Özellikli Nanolifli Tekstil Yüzeylerinin Üretimi ve Karakterizasyonu, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi, Proje No: 2017/2-14YLS, Proje Bütçesi: 7.000 TL.

İş ve Staj Tecrübesi

2018-Devam Planlama Mühendisi, Dokuma Boya İşletmesi, Matesa Tekstil San. Ve Tic. A.Ş., Kahramanmaraş.

Eğitim ve Sertifikalar

- Kahramanmaraş Teknokent / “Fikir Üreten Öğrenci Arıyoruz” (Teşekkür Belgesi)

- Kahramanmaraş Teknokent / “Fikir Üreten Öğrenci Arıyoruz” (3. Ödülü)
Proje Adı: Yumurta Kabuğu Katkılı Tekstil Ürünleri (Radyasyon Kalkanlama)
- VI. Uluslararası UTİB AR-GE Proje Pazarı / BURSA (Katılım Belgesi)
- Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Ve Mimarlık Fakültesi III. AR-GE Proje Pazarı (Katılım Belgesi)
- Kahramanmaraş Uluslararası Tekstil Zirvesi U.T.Z (Katılım Belgesi)
- Harran I. Uluslararası AR-GE Proje Pazarı (Katılım Belgesi)
- Girişimcilik Destek Programı Uygulamalı Girişimcilik Eğitimi (KOSGEB)
Girişimcilik (Eğitim Sertifikası)
- Liderlik ve Yönetim Becerileri (Eğitim Sertifikası)
- Mülakat Teknikleri (Eğitim Sertifikası)
- ISO 14001- Çevre Yönetim Sistemi (MEB Onaylı)
- ISO 9001:2008 - Kalite Yönetim Sistemi (MEB Onaylı)
- OHSAS 18001 - İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetimi (MEB Onaylı)
- ISO 9001:2008 - İç Tetkikçi Eğitimi (MEB Onaylı)
- İş Güvenliği ve İşçi Sağlığı (MEB Onaylı)
- Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi “TTNET’le Geleceğini Netleştir!”
(Katılım Belgesi)
- Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi “Açılmamış Kanatların Büyüklüğü
Bilinmez” (Katılım Belgesi)

Araştırma Alanları

Teknik Tekstiller, Polimerik malzemeler, Akıllı tekstiller, İleri teknolojiler, Fotokromik ve Termokromik Tekstiller, Nano teknoloji,