

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FONKSİYONEL EĞRİLMİŞ İPLİK ÜRETİMİ İÇİN YENİLİKÇİ İPLİK
EĞİRME PROSESİ GELİŞTİRİLMESİ VE İLETKEN İPLİK ÜRETİMİ**

Gizem KAYABAŞI

**Danışman
Doç. Dr. Demet YILMAZ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2019**



© 2019 [Gizem KAYABAŞI]

TEZ ONAYI

Gizem KAYABAŞI tarafından hazırlanan "**Fonksiyonel Eğrilmiş İplik Üretimi İçin Yenilikçi İplik Eğirme Prosesi Geliştirilmesi Ve İletken İplik Üretimi**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Doç. Dr. Demet YILMAZ
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Doç. Dr. Sennur ALAY AKSOY
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Çağlar SIVRI
Bahçeşehir Üniversitesi



Enstitü Müdürü

Doç. Dr. Şule Sultan UĞUR



TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Gizem KAYABAŞI



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Teknik Tekstiller	2
1.2. Elektronik Tekstiller	7
1.2.1. Elektronik tekstillerin üretim metotları	24
1.2.1.1. Elektro-iletken liflerin kullanımı	24
1.2.1.2. Elektro-iletken ipliklerin üretimi	27
1.2.1.3. Tekstil yüzeylerini iletken malzemeler ile kaplama.....	31
1.2.1.4. İletken polimer ve partikül içeren iletken iplikler	33
1.2.1.5. Tekstil yüzeylerine elektronik bileşenler ekleme	40
2. KAYNAK ÖZETLERİ	42
3. MATERYAL VE METOT	63
3.1. Materyal.....	63
3.1.1. Karbon siyahı.....	64
3.1.2. Çözücüler	66
3.1.3. Poliüretan (PU) ve poliakrilonitril (PAN).....	67
3.2. Metot.....	67
3.2.1. İletken çözeltinin hazırlanması	71
3.2. İletken çözeltinin elyafa uygulanması	73
3.2.2. İletken özelliğe sahip fonksiyonel ipliğin üretimi	74
3.2.3. İletken ipliğin elektrostatik lif çekim yönteminde toplayıcı olarak kullanımı.....	76
3.3. Test ve Analizler	79
3.3.1. İplik görüntüleri	79
3.3.2. İletkenlik ölçümü	80
3.3.3. Yıkama işlemi	90
3.3.4. İplik mukavemeti ve kopma uzaması testleri	90
3.3.5. İplik numarasının belirlenmesi	91
3.3.6. İplik büküm testleri.....	91
3.4. Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	91
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	93
4.1. İplik Görüntüleri.....	93

4.2. İplik iletkenliği	95
4.3. Yıkama Sonrası İplik İletkenliği.....	101
4.4. İplik Mukavemeti ve Kopma Uzaması.....	104
4.5. İplik Numarası.....	110
4.6. İplik Bükümü	113
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	121
KAYNAKLAR	125
ÖZGEÇMİŞ.....	135



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FONKSİYONEL EĞRİLMİŞ İPLİK ÜRETİMİ İÇİN YENİLİKÇİ İPLİK EĞİRME PROSESİ GELİŞTİRİLMESİ VE İLETKEN İPLİK ÜRETİMİ

Gizem KAYABAŞI

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Demet YILMAZ

Gelişen teknoloji spesifik özelliklere sahip tekstil ürünlerine olan talebi arttırmıştır. Klasik iplik, dokuma, örme ve terbiye gibi tekstil teknolojileri bu talebi gerçekleştirmeye yönelik olarak modifiye edilmektedir. Araştırmacılar ve makine üreticileri tekstil ürünlerinin temel performans özellikleri yanında antibakteriyellik, kir iticilik, güç tutuşurluk, iletkenlik, UV koruyuculuk, kendi kendini temizleme gibi çeşitli teknik özelliklerin eldesine yönelik olarak çalışmalar yapmaktadır. Bu araştırmalardan yola çıkarak bu tez çalışmasında, iplik üretimi esnasında fonksiyonellik sağlayan çeşitli malzemelerin klasik iplik eğirme sisteminde kullanılmasına imkan veren bir prosesin geliştirilmesi ve böylece fonksiyonel özellik/özellikler taşıyan ipliklerin üretilmesi amaçlanmıştır. Proses, istenilen fonksiyonel özelliğe uygun polimer, partikül vb. bir malzemenin iplik eğirme işlemi sırasında açık haldeki kesikli elyaf demetine uygulanması ve daha sonra ipliğin bükülerek sarılması esasına dayanmaktadır. Bu çalışmada, fonksiyonel özellik olarak iletkenlik fonksiyonu seçilmiştir. İletkenlik sağlayıcı malzeme olarak ise “karbon siyahı” tercih edilmiştir. Çalışma kapsamında geliştirilen metodun farklı elyaflardaki çalışma davranışı ile elyaf türü açısından sınırlaması olup olmadığının belirlenmesi amacıyla çeşitli elyaflar (% 100 pamuk, % 70/30 pamuk/PES, % 100 PES, % 100 akrilik, % 100 viskon) kullanılmış ve hazırlanan karbon siyahı dispersiyonunun söz konusu elyaflara uygulanması ile Ne 30/1 ve Ne 16/1 numaralarda iplikler üretilmiştir.

Tez çalışması; metodun geliştirilmesi, iletken iplik üretimi ve üretilen iletken ipliğin elektrostatik lif çekim yönteminde toplayıcı olarak kullanılması olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır.

Çalışmanın ilk bölümünde, iletken dispersiyonun eğrilme sırasında uygulanması için ring iplik eğirme makinesi üzerinde uygun pozisyon belirlenmiş, modifikasyon yapılmıştır ve kompozit iplik üretimi gerçekleştirilmiştir. İkinci bölümünde; üretilen iletken iplikler elektrostatik lif çekim yönteminde direkt toplayıcı olarak kullanılmış, farklı özellikler kazandırmak ve böylece farklı kullanım alanları sağlamak amacıyla nano/mikro yapılar ile kaplanmıştır. Son bölümünde ise, ipliklerin numara, büküm, mukavemet, kopma uzaması ve iletkenlik özellikleri, ilgili test metotları ile belirlenmiştir.

İki uç yöntemi ile ölçümü yapılan ipliklerin 0.026-1,429 Ω .m özdirenç değerlerine sahip oldukları belirlenmiş ve geliştirilen yöntemin kullanılan malzemeye bağlı olarak iletken özelliğe sahip iplik üretimini sağladığı sonucuna varılmıştır. Tez çalışması sonunda, kesikli liflerden fonksiyonel iplik üretimine imkan sağlayan yeni bir metot literatüre kazandırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Fonksiyonel tekstiller, iletken tekstiller, iletken pamuk ipliği, karbon siyahı, nanolif, giyilebilir elektronikler.

2019, 137 sayfa



ABSTRACT

M.Sc. Thesis

A STUDY ON DEVELOPMENT OF AN INNOVATIVE SPINNING PROCESS FOR THE FUNCTIONAL SPUN YARN PRODUCTION AND CONDUCTIVE YARN PRODUCTION

Gizem KAYABAŞI

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Textile Engineering**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Demet YILMAZ

The developing technology has increased the demand for textile products with specific properties. Textile technologies such as classical yarn, weaving, knitting and finishing are modified to fulfil this demand. In addition to the basic performance characteristics of the textile products, researchers and machine manufacturers work on various technical features such as antibacteriability, hidrobicity, flame retardancy, conductivity, UV protection, self-cleaning etc. Based on these researches, in this thesis, it was aimed to develop a process that allows the use of a variety of materials that provide functionality during yarn production in the classical ring spinning system and thus allows the production of yarns with functional properties. The process is based on application of proper materials depending on the desired functional property such as polymer, particle etc. to the opened fibre bundle during the spinning process and then twisting the yarn. In this study, it was focused on the conductivity function. Carbon black was chosen for the conductivity. Various fibres (100% cotton, 70/30% cotton/PES, 100% PES, 100% acrylic, 100% viscose) were used to determine the suitability of the developed method regarding the fibre type and prepared carbon black dispersion was applied to fibres and the yarns having Ne 30/1 and Ne 16/1 yarn counts were produced.

This thesis consists of three parts and they are the development of the method, conductive yarn production and usage of the produced conductive yarn as a collector during the electrostatic nano/micro fibre spinning method.

In the first part of the study, an appropriate position was determined on the ring spinning machine for the application of the conductive dispersion during the spinning and it was modified for the production of composite yarn. In the second part of the study; conductive yarns produced are used as direct collector in electrostatic fiber drawing method and covered with nano/micro fibers in order to gain different properties and thus to provide different usage areas. Fineness, twist, tenacity, breaking elongation and conductivity of the produced yarns were tested.

After the conductivity measurement, specific resistance values of the produced yarns were determined between 0.026-1,429 Ω .m. The results indicated that the developed method is capable to produce the conductive yarns from any types of staple fibres. At the end of the thesis, it was possible to present a method to the literature for the production of the yarns having functional properties during the conventional ring spinning process.

Keywords: Functional textiles, conductive textiles, conductive cotton yarns, carbon black, nanofibers, wearable electronics.

2019, 137 pages



TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli danışman hocam Doç. Dr. Demet YILMAZ'a ve çalışmamın her basamağında görüşleriyle araştırmama destek veren hocam Doç. Dr. Sennur ALAY AKSOY'a, Arş. Gör. Nazife KORKMAZ MEMİŞ'e, Sena DEMİRBAĞ GENÇ'e ve Selda TÖZÜM'e teşekkürlerimi sunarım. Laboratuvar çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarım, Burak SÖĞÜT, Heval SUCU, Süleyman KAYA ve Özgü ÖZEN'e, manevi katkılarından dolayı sevgili arkadaşım Serkan Yasin ARSLAN'a teşekkür ederim.

Araştırmamın yürütülmesinde yardımlarını gördüğüm Süleyman Demirel Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü öğretim üyeleri Prof. Dr. Nevzat Özgü YİĞİT ve lisans üstü öğrencilerine, kimyasal malzeme temini konusunda Nanografi-Nano Teknoloji Bilişim İmalat ve Danışmanlık Ltd. Şti.'nden Zafer YİĞİT'e, çalışmada kullanılan SEM görüntülerinin alınmasında büyük yardımları dokunan Süleyman Demirel Üniversitesi Enerji Araştırmaları Uygulama ve Araştırma Merkezi'nden Öğr. Gör. Salih AKYÜREKLİ'ye teşekkür ederim.

4644-YL2-16 numaralı proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Hayatımın her anında olduğu gibi yüksek lisans çalışmam sırasında da tüm varlıkları ve imkanlarıyla beni yalnız bırakmayan, zor anlarımda yanımda olan ve heyecanımı paylaşan annem Nurhan KAYABAŞI'na ve babam Mehmet Ali KAYABAŞI'na sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Gizem KAYABAŞI
İSPARTA, 2019

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Farklı türde tekstil/kumaş imalatları ve davranışları (a) nakış; (b) dikiş; (c) dokuma; (d) dokusuz yüzey; (e) örme; (f) eğirme; (g) örgü (bredding); (h) baskı; (i) kaplama/laminasyon; (j) kimyasal işlem.....	2
Şekil 1.2. (a) eğilmeye/burulmaya karşı duyarlı kumaş, (b) nemi algılayan kumaş, (c) teması karşı duyarlı kumaş	6
Şekil 1.3. Elektronik tekstillerin multidisipliner ilişkisi.....	8
Şekil 1.4. (a)bilirubin battaniyesi, (b)mamagoose bebek pijaması, (c)akıllı ceket	11
Şekil 1.5. Kalp sensörlü tenis büstiyeri.....	11
Şekil 1.6. Vücuttaki ve giysideki akupunktur noktalarının yerleri ve akupunktur tişörtünün tasarımı.....	12
Şekil 1.7. Marjan Kouroshnia tasarımı tıbbi maske	12
Şekil 1.8. Elektronik dövme.....	13
Şekil 1.9. Tasarımın ve buluşun sahibi Fredrik Lundqvist olan elektrotulum.....	13
Şekil 1.10. Life-Shirt®	14
Şekil 1.11. Giyilebilir vücut monitörü	14
Şekil 1.12. Levi's teknolojik denim ceket.....	16
Şekil 1.13. Fotokromik gölgelik (OR2-2013).....	17
Şekil 1.14. Cute Circuit'e ait 'Galaksi Elbise'	17
Şekil 1.15. Cute Circuit'e ait 'Aurora Elbise'	18
Şekil 1.16. Tasarımı Ermenegildo Zegna'ya ait solar ceket (2009)	18
Şekil 1.17. Christina von Dorrien tasarımı interaktif yastıklar	19
Şekil 1.18. Giyilebilir elektronikler üzerine üretim yapan Cutecircuit'e ait buluş, Time Dergisi tarafından 2006 yılının en iyi buluşları arasında yer almıştır.....	19
Şekil 1.19. <i>Eleksten</i> firması tarafından üretilmiş kumaş klavye.....	20
Şekil 1.20. Ortam sıcaklığına göre renk değıştiren kumaş.....	21
Şekil 1.21. Ekranlama etkinliğı uygulama alanları örnekleri (a)duvar kağıdı; (b)cibinlik; (c)yatak örtüsü, battaniye; (d)perde.....	23
Şekil 1.22. Bazı metal içerikli iplik yapıları.....	28
Şekil 1.23. Ring iplik makinesinde özlü iplik eğrilmesi.....	29
Şekil 1.24. Dref III iplik eğirme makinesi.....	30
Şekil 1.25. Konjüge çift bağ	33
Şekil 1.26. Elektrostatik lif çekim yöntemi ile nanolif üretiminin şematik gösterimi.....	36
Şekil 1.27. Elektrostatik lif çekimi prosesinin aşamaları	37
Şekil 1.28. Bikomponent üretim prensibi ve bikomponent ipliklerin farklı kesit alanlardaki görüntüleri.....	39
Şekil 1.29. Esnek elektronik modülün nakış yoluyla iletken iplik ile bağlanması ve kot kumaşı üzerinde kapsülasyon yapılması	40
Şekil 2.1. Rotor-wrapping-twister ile iletken hibrit iplik üretimi ve iletken dokuma-örme kumaşların üretimi.....	47
Şekil 2.2. Üç iplik örneğı.....	48

Şekil 2.3.	Open-end rotor iplik eğirme sisteminde sarımlı iletken ipliklerin üretilmesi.....	51
Şekil 2.4.	DREF III, açık uç friksiyon eğirme yöntemi (1-1, 1-3, 1-5: kesikli liflerden oluşan kılıf tülbent, 1-2, 1-4:kesikli paslanmaz çelik liflerinden oluşan kılıf tülbent, 2:çekim ünitesi, 3:taraklama tamburu, 4:sıkıştırılmış hava, 5:sürtünme tamburu, 6:paslanmaz çelik telle öz besleme, 7:çekme silindiri, 8:özlü iplik, 9:sarım silindiri)	52
Şekil 3.1.	Tez kapsamında yapılan çalışmaların şematik gösterimi	63
Şekil 3.2.	Karbon siyahı granülleri.....	64
Şekil 3.3.	İletken iplik üretimine yönelik geliştirilen alternatif metot (a) ve üretilen iplik numunesi (b)	69
Şekil 3.4.	Özel besleme aparatı.....	71
Şekil 3.5.	Konvansiyonel ring iplik eğirme sistemi (a) ve çekim bölgesi (b).....	71
Şekil 3.6.	İletken çözeltinin manyetik ve ultrasonik karıştırıcı kullanılarak hazırlanması prosesi	72
Şekil 3.7.	Rieter G10 model ring iplik eğirme makinesi	75
Şekil 3.8.	İletken iplik üretiminin şematik görünümü	75
Şekil 3.9.	Elektro-eğirmede kullanılan bazı toplayıcı tipleri (a) sabit plaka, (b) dönen tambur, (c) dönen disk, (d) paralel bilezikler, (e) taşıyıcı bant, (f) sıvı banyo, (g) metal ızgara	77
Şekil 3.10.	Manyetik karıştırıcı ile poliüretan solüsyonunun hazırlanışı (a) ve nanolif çekiminde iletken ipliğin toplayıcı olarak kullanımı (b)	78
Şekil 3.11.	Bhor Atom Modeline göre elektron düzeni.....	81
Şekil 3.12.	İletken, yarı iletken ve yalıtkan atomlarında enerji seviyeleri....	81
Şekil 3.13.	İki uç yöntemi (a), multimetre ölçüm cihazı (b) ve kumaş numunesi üzerinde yapılan ölçüm (c)	84
Şekil 3.14.	Dört uç yöntemine göre iletkenlik ölçümü.....	85
Şekil 3.15.	Ölçüm cihazı	87
Şekil 3.16.	Numunelerin elektriksel direnç ölçümü	88
Şekil 3.17.	Numunelerin elektriksel direnç ölçümü (1:numune, 2:kelepçe veya kısaç şekline sahip elektrotlar, 3:iplik dağıtıcı, 4:iplik sarımı, 5:cihaz tutacağı)	88
Şekil 3.18.	İplik iletkenliğinin ölçümü amacıyla tasarlanan ilk düzenek	89
Şekil 3.19.	İplik iletkenliğinin ölçümü amacıyla tasarlanan ikinci düzenek	89
Şekil 4.1.	Karbon siyahı dispersiyonu applike edilmemiş Ne 16/1 numara % 100 pamuk ipliklerine ait görüntüler (5500 dev/dak iğ hızı)	93
Şekil 4.2.	Karbon siyahı dispersiyonu applike edilmiş Ne 16/1 numara % 100 pamuk ipliklerine ait görüntüler (5500 dev/dak iğ hızı ve 60.000 mL/dak besleme miktarı).....	94
Şekil 4.3.	% 1.0 konsantrasyonda karbon siyahı dispersiyonu applike edilmiş Ne 30/1 numara % 100 pamuk ipliklerine ait görüntüler	95
Şekil 4.4.	% 0.5 konsantrasyonda karbon siyahı dispersiyonu applike edilmiş Ne 30/1 numara % 100 akrilik ipliklerine ait görüntüler	95

Şekil 4.5. Farklı tür lifler ve iğ devirleri için % 0.5 karbon siyahı dispersiyonu aplike edilmiş Ne 30/1 numara ipliklerin alansal direnç değerleri	96
Şekil 4.6. Farklı tür lifler ve iğ devirleri için % 0.5 karbon siyahı dispersiyonu aplike edilmiş Ne 30/1 numara ipliklerin yüzeysel direnç değerleri.....	97
Şekil 4.7. Farklı iğ devri ve dispersiyon besleme miktarı için % 0.5 karbon siyahı dispersiyonu aplike edilmiş Ne 16/1 numara ipliklerin alansal direnç değerleri	99
Şekil 4.8. Farklı iğ devri ve dispersiyon besleme miktarı için % 0.5 karbon siyahı dispersiyonu aplike edilmiş Ne 16/1 numara ipliklerin alansal iletkenlik değerleri	99
Şekil 4.9. Farklı konsantrasyon ve dispersiyon besleme miktarı için karbon siyahı dispersiyonu aplike edilmiş Ne 16/1 numara % 100 pamuk ipliklerin direnç sonuçları	100
Şekil 4.10. Farklı konsantrasyon ve dispersiyon besleme miktarı için karbon siyahı dispersiyonu aplike edilmiş Ne 16/1 numara % 100 pamuk ipliklerin öz direnç sonuçları.....	101
Şekil 4.11. Farklı konsantrasyon ve dispersiyon besleme miktarı için karbon siyahı dispersiyonu aplike edilmiş Ne 16/1 numara % 100 pamuk ipliklerin iletkenlik sonuçları	101
Şekil 4.12. Farklı şartlarda yıkanmış Ne 16/1 numara % 100 pamuk iletken ipliklerin öz direnç sonuçları (5500 dev/dak iğ devri)....	102
Şekil 4.13. Farklı şartlarda yıkanmış Ne 16/1 numara % 100 pamuk iletken ipliklerin iletkenlik sonuçları (5500 dev/dak iğ devri) ..	102
Şekil 4.14. Karbon siyahı dispersiyonu aplike edilmiş ve edilmemiş Ne 16/1 numara iletken %100 pamuk ipliklerin iplik mukavemeti sonuçları (5500 dev/dak iğ devri)	105
Şekil 4.15. Karbon siyahı dispersiyonu aplike edilmiş ve edilmemiş Ne 16/1 numara iletken %100 pamuk ipliklerin iplik mukavemeti sonuçları (5500 dev/dak iğ devri)	106
Şekil 4.16. Farklı tür lifler ve iğ devirleri için % 0.5 karbon siyahı dispersiyonu aplike edilmiş ve edilmemiş Ne 30/1 numara iletken ipliklerin iplik mukavemeti değerlerindeki değişim.....	108
Şekil 4.17. Farklı tür lifler ve iğ devirleri için % 0.5 karbon siyahı dispersiyonu aplike edilmiş ve edilmemiş Ne 30/1 numara iletken ipliklerin kopma uzaması değerlerindeki değişim	109
Şekil 4.18. Farklı iğ devirleri için % 0.5 karbon siyahı dispersiyonu aplike edilmiş ve edilmemiş Ne 16/1 numara % 100 pamuk iletken ipliklerin iplik numara sonuçları	111
Şekil 4.19. Farklı tür lif ve farklı iğ devirleri için % 0.5 karbon siyahı dispersiyonu aplike edilmiş ve edilmemiş Ne 30/1 numara iletken ipliklerin iplik numara değerleri.....	112
Şekil 4.20. Farklı tür lif ve farklı iğ devirleri için % 0.5 karbon siyahı dispersiyonu aplike edilmiş Ne 30/1 numara iletken ipliklerin alınan madde miktarı değerleri.....	113
Şekil 4.21. Farklı iğ devirleri için % 0.5 karbon siyahı dispersiyonu aplike edilmiş ve edilmemiş Ne 16/1 numara iletken % 100 pamuk ipliklerin iplik büküm değerleri	114

Şekil 4.22. Farklı tür lifler ve iğ devirleri için % 0.5 karbon siyahı dispersiyonu aplike edilmiş ve edilmemiş Ne 30/1 numara iletken ipliklerin iplik büküm değerlerindeki değişim.....	114
Şekil 4.23. Elektrostatik lif çekiminde toplayıcı olarak kullanılan iletken Ne 16/1 numara % 100 pamuk (a) ve Ne 30/1 numara % 100 akrilik (b) ipliğine ait görüntüler (% 0.5 karbon siyahı oranı ve 60.000 mL/dak besleme oranı)	117
Şekil 4.24. Üzerinde PAN nanolifler bulunan ipliklere ait görüntüler (a: Ne 16/1 numara % 100 pamuk ipliği, b: Ne 30/1 numara % 100 akrilik ipliği).....	118
Şekil 4.25. PAN nanolifleri ile kaplanan ipliklerin çap dağılımları (a: Ne 16/1 numara iletken pamuk ipliği, b: Ne 30/1 numara iletken akrilik ipliği).....	119
Şekil 4.26. Elektrostatik lif çekiminde toplayıcı olarak kullanılan % 0.5 karbon siyahı oranı ve 60.000 mL/dak besleme oranı ile üretilmiş iletken Ne 30/1 numara % 100 pamuk (a) ve üzerinde nano/mikro yapı bulunan Ne 30/1 numara pamuk ipliğine ait görüntüler (b)	120

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Kullanılan karbon siyahı granüllerinin teknik özellikleri	65
Çizelge 3.2. Ethanol çözücüsünün teknik özellikleri.....	66
Çizelge 3.3. DMF çözücüsünün teknik özellikleri.....	66
Çizelge 3.4. Optimize edilen iletken dispersiyonu	73
Çizelge 3.5. İletken iplik üretim parametreleri	76
Çizelge 3.6. Elektrostatik lif çekiminde kullanılan proses parametreleri.....	79
Çizelge 3.7. Çeşitli malzemelerin 20 °C'deki yüzey dirençleri	82
Çizelge 4.1. Yıkama öncesi ve sonrası direnç değerlerine ait t-testi sonuçları.....	103
Çizelge 4.2. Yıkama şartlarına göre ANOVA LSD analizi sonuçları.....	103
Çizelge 4.3. Ne 16/1 numara % 100 pamuk ipliklerinin farklı konsantrasyonlardaki mukavemet ve kopma uzaması değerlerine ait ANOVA LSD analizi sonuçları (5500 dev/dak iğ devri)	106
Çizelge 4.4. Ne 30/1 numara farklı elyaf çeşitlerinin farklı iğ devirlerindeki mukavemet değerlerine ait t-testi sonuçları	108
Çizelge 4.5. Ne 30/1 numara farklı elyaf çeşitlerinin farklı iğ devirlerindeki kopma uzaması değerlerine ait t-testi sonuçları.....	110
Çizelge 4.6. 16/1 numara % 100 pamuk ipliklerinin farklı çözelti miktarlarında, farklı konsantrasyonlarda ve farklı dispersiyon besleme oranlarındaki numara değerlerine ait ANOVA LSD analizi sonuçları (5500 dev/dak iğ devri)	111
Çizelge 4.7. Ne 30/1 numara farklı elyaf çeşitlerinin farklı iğ devirlerindeki numara değerlerine ait t-testi sonuçları.....	112
Çizelge 4.8. Farklı elyaf çeşitlerinin farklı iğ devirlerine göre büküm değerlerine ait t-testi sonuçları.....	115

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

EMI	Elektromanyetik koruyuculuk
EMSE	Elektromanyetik PU Poliüretan
GHz	Giga Hertz
MHz	Mega Hertz
PAN	Poliakrilonitril
PES	Polyester
SE	Kalkanlama etkinliği kalkanlama etkinliği
SEM	Taramalı elektron mikroskobu görüntüsü
Ω	Ohm
Ω/sq	Ohm/square
S/cm	Siemens/santimetre



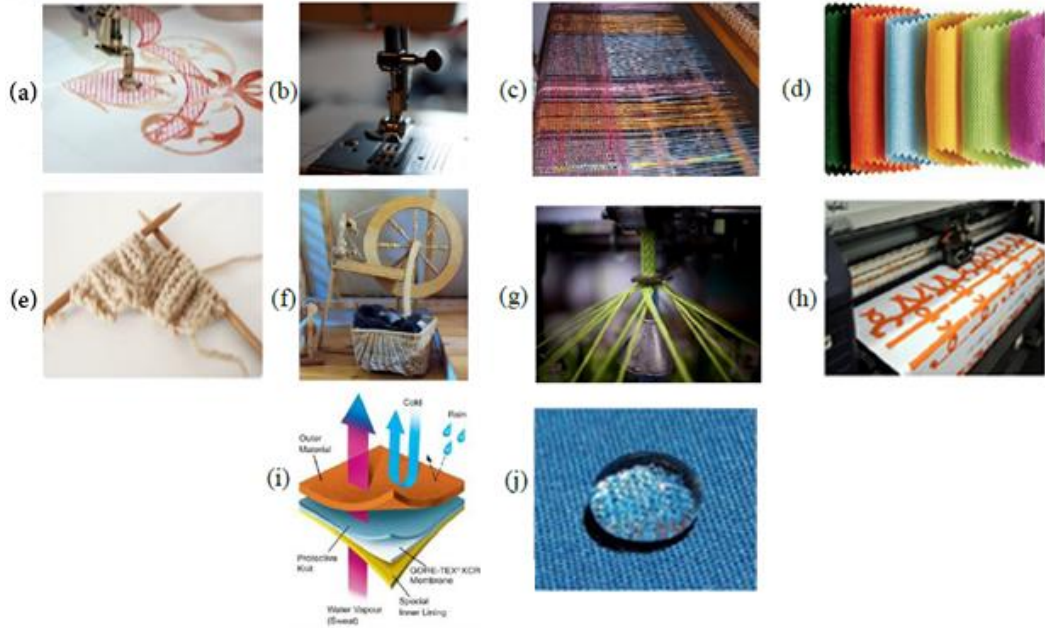
1. GİRİŞ

Bilim ve teknolojinin her geçen gün hızla ilerlemesi, çeşitlenerek artan insan ihtiyaçlarını da karşılamak amacıyla, yeni ve pratik pek çok ürünün geliştirilmesini sağlamıştır. Tüketiciler de günlük giysilerinde, ev tekstilinde ve diğer teknolojik ürünlerde daha fonksiyonel ürünler talep etmektedir. Bilinen tekstil ürünlerinin kullanım alanlarında da artık yüksek performanslı giysi, elektronik tekstil (e-tekstil) ve teknik ürünler tercih edilmektedir.

Tekstil ürünleri başlarda örtünme, barınma ve dekorasyon gibi ihtiyaçları karşılarken yıllar geçtikçe tekstil sektöründe önemli gelişmeler yaşanmıştır. Tekstil biliminin, çağın endüstrileri arasında yer alan elektronik endüstrisine yönelik çalışmaları ile koruma, savunma, sağlık, iletişim, otomasyon amacıyla kullanılabilecek tekstil ürünleri, endüstri, askeri, uzay, tıp gibi birçok alanda rol almaya başlamıştır. Mobil telefon veya mp3 çalarlar ile bağlantı kurarak müzik dinlemeye ve iletişim kurmaya olanak sağlayan giysiler, kalp atışlarını kontrol edebilen yatak çarşafı, vücut sıcaklığını ölçüp uydu aracılığıyla doktorunuzun bilgisayarına gönderen sensörler, mantar üremesini engelleyerek ayağı koruyan çoraplar, ne kadar hızlı koştuğumuzu söyleyen ayakkabılar, basınç duyarlı halılar, ter tutmayan veya yanmayan kumaşlar, ortam sıcaklığına göre renk değiştiren giysiler ve döşemeler, çelikten 15 kata varan daha dayanıklı elyaflar, uyumak üzere olan sürücülerini uyandırabilen araba koltukları, kumaş piyanolar gibi farklı amaçlarda çok sayıda yeni ürünler üretilmeye ve kullanılmaya başlanmıştır. Bu hızlı ilerleyişi destekleyen "endüstriyel tekstil" terimi zamanla yetersiz kalınca, onun yerini "teknik tekstil" terimi almıştır.

Akıllı tekstiller, elektronik tekstiller gibi teknik tekstiller insan hayatı üzerinde yenilikçi etkiler sağlamasından dolayı son zamanlarda dikkatlerin odağı haline gelmiştir. Akıllı tekstil ürünlerine olan talebin artması ile birlikte lif ve iplik sektöründen de beklentiler artmıştır. Klasik tekstil iplikleri yanında kullanım alanına bağlı olarak farklı özellikler sağlayan iplik ve ürünlerin üretimi önem kazanmıştır.

Günümüzde doğal lifler, suni ve sentetik polimer lifleri fonksiyonel tekstil ürünlerinin hazırlanmasında kullanılmaktadır. Malzemeye yeni özellikler katabilmek için sayısız uygulama olanakları bulunmaktadır. Ana yöntemler, fonksiyonel katkı maddelerinin life ilave edilmesi ve fonksiyonel kaplamalar ile lif yüzeyinin kaplanması şeklindedir. Nanoteknolojinin gelişimi malzeme özelliklerinin de geniş çapta gelişmesini mümkün hale getirmiştir. Ayrıca, yüksek teknolojiler ile üretilen bu lifler ve iplikler sektörlerin talepleri doğrultusunda farklı özellikler ile zenginleşmekte ve şekillenmektedir. Özel amaçlar nedeniyle üretilen pek çok teknolojik tekstil ürününün, ekonomik üretim yöntemlerinin geliştirilmesi ile günlük hayatımızda daha da yaygınlaşacağı açıktır (Şekil 1.1) (Çukul, 2013).



Şekil 1.1. Farklı türde tekstil/kumaş imalatları ve davranışları (a) nakış; (b) dikiş; (c) dokuma; (d) dokusuz yüzey; (e) örme; (f) eğirme; (g) örgü (bredding); (h) baskı; (i) kaplama/laminasyon; (j) kimyasal işlem (Stoppa ve Chiolerio, 2014)

1.1. Teknik Tekstiller

Teknik tekstil terimi 1980'li yıllarda görünüş ve estetik karakteristiklerindense teknik özellikleri ve performansları için geliştirilen ve çeşitliliği her geçen gün artan ürünleri ve üretim tekniklerini tarif etmek üzere ortaya konmuştur.

Günümüzde, birincil amacı bazı teknik ihtiyaç ve fonksiyonları karşılamak olan tekstil ürünleri "teknik tekstil" olarak adlandırılmaktadır. Bu nedenle, geleneksel giyim ürünleri bugün teknik tekstil alanının dışında kalmış durumdadır. Teknik tekstil sektörü, tekstil endüstrisinin en dinamik ve en ümit verici alanı olarak değerlendirilmektedir. Ürünlerinin kullanım alanı itibarıyla çok geniş olan bir sektördür. Tıp, elektronik, inşaat, taşıt araçları, tarım gibi pek çok alanda farklı form ve özelliklere sahip teknik tekstil ürünleri kullanılmaktadır. Bununla birlikte, teknik tekstiller yeni ürünlerin keşfi, yeni ihtiyaçları karşılaması ve geleneksel ürün ve malzemelerin yerine ikame edilmesi nedeniyle, büyük potansiyel arz etmektedir. Bu nedenle, teknik tekstil pazarının geleneksel tekstil ürünlerinden daha fazla büyümesi beklenmektedir (Çukul, 2013).

Teknik tekstil üretiminin başlangıcı olarak gemiler için yelken bezlerin üretilmesi kabul edilmektedir. 1927 yılında ilk sentetik lifin üretiminden önce yelken bezleri, hayvan postlarının ya da doğal elyaftan dokunmuş kumaşların dikilerek birleştirilmesiyle üretilmekteydi. Yelken bezlerinin çok su çekerek ağırlaşması, pürüzlü yüzeyinin sürtünmeden kaynaklanan sürüklenmeye yol açması, gerilimin yüksek olması gibi problemler doğal liflerin yerini alan sentetik lif üretimiyle çözülmüştür. 1940'lı yıllarda naylon1 üretiminden bu yana sentetik lifler, mukavemet, su geçirmezlik, antibakteriyellik gibi özellikleri sayesinde birçok alanda doğal lifler yerine kullanılmaya başlanmıştır. Polyester, polipropilen, naylon, viskon ve cam elyafı örnek olarak verilebilir. Yelken bezleri de; hafiflik, patlamaya karşı direnç, yüksek yırtılma mukavemeti, rüzgar ve su geçirmeme, UV ışınlarına karşı dayanım gibi gereksinimlere cevap veren kumaşlar ile üretilmeye başlanmıştır (Uçar, 2012).

Vizyon 2023 Teknoloji Öngörüsü Projesi-Tekstil Paneli'nde teknik tekstiller; "Tekstil pazarının yaklaşık % 20'sini oluşturmaktadır. Önümüzdeki 15-20 yıl içinde teknik tekstillerin miktarının ve öneminin artması beklenmektedir. Buna ilaveten, tekstil elyaf ve malzemelerini diğer polimer ve/veya malzemelerle karıştırarak oluşturulan kompozit malzemelerin önemi büyük ölçüde artacaktır" şeklinde ifade edilmiştir (Anonim, 2003).

İnsan yaşamında vazgeçilmez bir hal alan teknik tekstiller, gün geçtikçe önemlerini arttırmakta, kullanım alanlarını da sektörler itibariyle çeşitlendirerek genişletmektedir. Teknik tekstillerin çok çeşitli kullanım alanları bulunmaktadır. Bunlar;

- 1) Ambalaj tekstilleri (packtech); ambalaj malzemeleri
- 2) Endüstriyel tekstiller (indutech); filtrasyon, nakil, temizleme, sanayi tipi uygulamalar için tekstiller
- 3) Ekolojik tekstiller (oekotech); çevre koruma amaçlı tekstiller
- 4) Ev tekstilleri (homotech); mobilya, yer kaplamalarının teknik bileşenleri
- 5) Koruyucu tekstiller (protech); kişisel ve mülki koruma için tekstiller
- 6) İnşaat tekstilleri (buildtech); bina ve inşaatlarda kullanılan tekstiller
- 7) Jeolojik tekstiller (geotech); jeolojik tekstiller ile inşaat mühendisliği malzemeleri
- 8) Teknik giysiler (clothtech); giysi ve ayakkabıların astar ve benzeri teknik bileşenleri
- 9) Tıbbi tekstiller (medtech); hijyenik ve tıbbi ürünler için tekstiller
- 10) Taşıt araçları için tekstiller (mobiltech); otomotiv, gemi, tren ve hava taşıtları için tekstiller
- 11) Sportif tekstiller (sportech); spor ve serbest (gündelik) giysiler için tekstiller
- 12) Zirai tekstiller (agrotech); tarım, bahçivanlık, ormancılık ve su ürünlerinde kullanılan tekstiller

Teknik tekstillerin bir bölümünü oluşturan ve tüm dünyada büyük ilgi gören diğer bir alan ise akıllı tekstillerdir. Akıllı tekstiller; kuvvet, sıcaklık, ısı, ışık, kimyasal reaksiyonlar, elektrik, manyetik gibi dışarıdan gelen etkilerle müdahale edildiğinde, bu uyarıcıları algılayarak tepki veren malzemelerdir. Akıllı malzeme kavramı, ilk olarak 1989 yılında Japonya'da tanımlanmıştır. İlk 'akıllı tekstil' yapısı olarak 1979 yılındaki şekil hafızalı ipek ipliği kabul

edilmektedir. Ancak Vigo ve arkadaşları, 1929 yılında Marsh ve arkadaşları tarafından tasarlanan ıslak ve kuru şartlarda selülozik kumaşların kıvrım kazanma yeteneklerini akıllı malzemelerin ilk örneği olarak kabul etmektedir (Kayacan, 2008'dan aktarılmıştır). Uzun vadede çok işlevli akıllı tekstil ürünlerinin ciddi boyutlu pazar payı alacağı beklenmektedir. Ciddi Ar-Ge çalışmaları sonucu geliştirilecek bu ürünlerin üretimi uzun yıllar güçlü Ar-Ge imkanlarına sahip bilgi toplumu ülkelerin tekelinde kalacak ve dolayısıyla sağladıkları katma değer de yüksek olacaktır (Anonim, 2003).

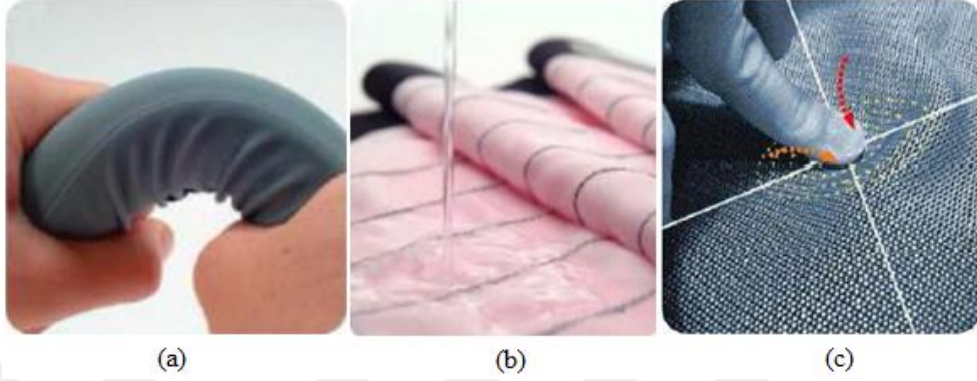
Akıllı tekstiller fonksiyonlarına göre üçe ayrılmaktadır (Uçar, 2012);

Pasif akıllı malzemeler: sadece aldıkları etkiye bağlı olarak tepki verebilen ve çevresel uyarıcılara karşı sensör (algılayıcı) fonksiyonuna sahip malzemelerdir. Hava, sıcaklık gibi değişimlerden etkilenmeden ısı yalıtımı sağlayan ve vücut ısını koruyan, alev almayan, UV korumalı giysiler, optik sensörlü kumaşlar, iletken iplik ve dokumalar, seramik kaplamalı tekstiller pasif akıllı malzemelere örnek oluşturabilirler.

Aktif akıllı malzemeler: uyarıları algılayan ve tepki veren malzemelerdir. Çevresel koşulları sensörlerle (algılayıcı) hissedip; aktivatörle (etkinleştirici) ile tepki verirler. Sensörlerin tespit ettiği sinyal üzerinden, kumaşlar aktivatör sayesinde doğrudan ya da merkezi bir kontrol ünitesinden etkin hale geçer. Örneğin; nefes alabilen bir kumaş aynı zamanda su geçirmezlik özelliğine sahip olabilir. Benzer şekilde, kimyasal atık ve toksinleri absorbe ederek geçirgenliğini önleyen bir tekstil malzemesi etkisiz gazların geçişine izin verebilir. Şekil hafızalı malzemeler, faz değiştiren malzemeler gibi ısıya duyarlı tekstiller aktif akıllı malzemeler grubuna girmektedir.

Çok akıllı malzemeler: algılama ve tepki verme kabiliyetiyle birlikte adapte etme kabiliyetine sahiptirler ki bu sistemlerde beyin gibi çalışacak başka bir ünite daha bulunması gerekmektedir. Çevresel koşulları hisseder, tepki verir ve kendilerini ona göre adapte ederler (Şekil 1.2). Örneğin; uzay giysileri, müzikal ceketler, e-tekstiller, veri işleyip aktarabilen malzemeler, giyilebilir

elektronikler bu gruba girer. Elektroniklerin, faz değiştiren malzemelerin ve çevresel uyarıcılara cevap veren polimerlerin entegre edilerek fonksiyonelliği artırılan bu üst düzey tekstil malzemelerinin üzerinde yeni araştırma ve uygulamalar devam etmektedir.



Şekil 1.2. (a) eğilmeye/burulmaya karşı duyarlı kumaş, (b) nemi algılayan kumaş, (c) temasa karşı duyarlı kumaş (Coşkun, 2007; Sünter, 2011)

Son yıllarda gerek tüketici taleplerinin gerekse endüstriyel alanda kullanılan tekstil ürünlerine olan taleplerin değişerek artması, üretilmesi ihtiyacını ortaya çıkartmıştır. Bu ihtiyaç, değişik yapı ve özelliklerde lifler kullanılarak değişik tekniklerle farklı yapılarda ipliklerin üretilmesine yönelik çalışmalarını arttırmış ve sonuçta çok değişik yapı ve özellikte iplikler üretilmeye başlanmıştır. Bazı teknik ihtiyaç ve fonksiyonları karşılamak amacıyla üretilen iplikler teknik iplik olarak adlandırılmaktadır. Ultraviyole (UV) koruyucu, antibakteriyel-antimikrobiyal, yansıtıcı, biyo-bozunur, yüksek mukavemetli, iletken, antistatik iplikler öne çıkan bazı teknik ipliklerdir. Ayrıca auxetic (negatif poisson oranına sahip) iplikler, şekil hafızalı iplikler, antistres iplik, antialerjik iplik, çözünebilen iplik özel amaçlı kullanılan bazı teknik ipliklerdir.

Bu tez çalışmasında da, geleneksel tekstil liflerinden klasik iplik üretimi yanında çeşitli fonksiyonel özelliklere sahip iplik üretimine imkan sağlayan bir eğirme prosesinin geliştirilmesi ve fonksiyonel iplik üretimi amaçlanmıştır. Bilindiği gibi, ülkemiz modern ve yüksek iş sayısı kapasitesi bulunan makine parklarına sahiptir. Tez çalışması kapsamında geliştirilen proses, mevcut makine olanaklarımız ile günümüz beklentilerini karşılayacak katma değerli ürün

üretimi avantajı sunmaktadır. Proses, kullanılacak malzeme çeşitliliğine göre farklı fonksiyonel ürünlerin üretimine uygun olmakla birlikte bu çalışmada iletkenlik fonksiyonu tercih edilmiştir. Bu doğrultuda tez çalışması, iletken tekstil malzemeleri (lif, iplik, kumaş vd.) elde etme yöntemlerini ve bu malzemelerin kullanım alanlarını, bu konuda yapılmış olan çalışmalar çerçevesinde açıklamaya çalışmaktadır. İletken tekstiller, sahip olduğu ileri özellikler ve üretim yöntemlerinin çeşitliliği ile gelecekte de pek çok alanda ilgi çekici uygulamalarda kullanılmaya devam edeceği öngörülmektedir.

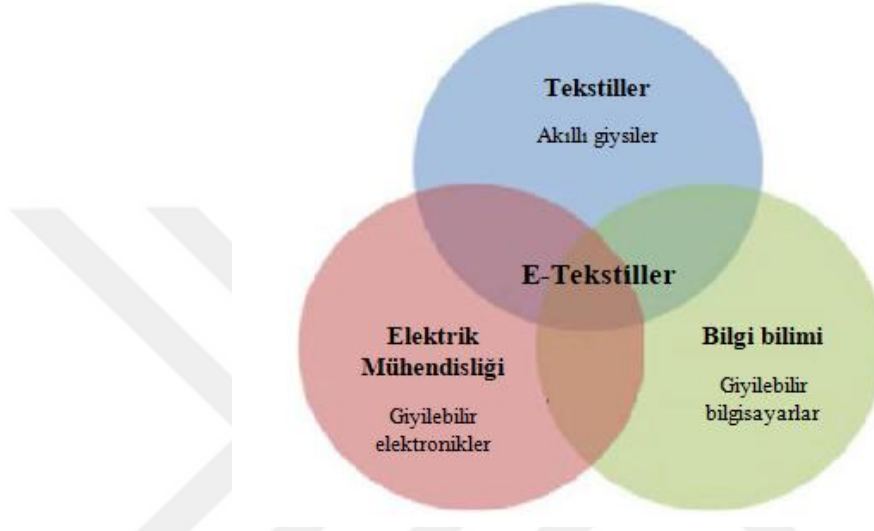
1.2. Elektronik Tekstiller

İlk olarak elektroniğin tanımı ile başlayacak olursak; elektronik, serbest elektronların etkisiyle oluşan olayları inceleyen bilim dalıdır. Günümüzde bilinen 118 elementten bazılarının atomlarının son yörüngelerinde bulunan eksi (-) yüklü elektronların hareketlerinden (davranışlarından) yararlanarak çeşitli donanımları yapma bilimine elektronik denir. Elektronik; elektrik akımını geçiren, yarı iletken, üstün iletken, direnç, kondansatör, indüktans, vakum tüpleri ve nano ölçekli yapılarla imal edilen elemanların ve bu elemanların montajıyla meydana gelen cihazların geliştirilmesiyle ilgilenen bir mühendislik dalıdır.

Elektronik tekstiller (e-tekstiller), bir elektrik devresi gibi davranış gösterebilen (çalışan) tekstillerdir. Elektronik tekstiller aslında kumaş dokusunun içinde bir devre ya da devre elemanı meydana getirmektedirler. Örneğin bir anten, sensör ya da mekanik bir düğme yapılabilmektedir ve bu dokumalar iletken ipliklerden üretilmektedir. Bu özelliklerinden ötürü, elektronik tekstiller, “elektronik fonksiyonelliğe ve aynı zamanda da tekstil özelliklere sahip malzemeler” olarak tanımlanmaktadır.

Elektronik tekstiller normal tekstil yapılarının elektronik sistemlerle birleşmesiyle meydana gelmektedir. Elektronik bileşenlerin ve gelişmiş liflerin, tekstillere birleşimi malzeme ve elektronik bilimlerini bir araya getirmektedir. Elektronik ve tekstil ürünlerinin birleştirilmesi yaklaşık 120 yıl önce

doktorların, tüberküloz hastalarının açık havada uyuması için elektrikli battaniyeleri tavsiye etmesi ile başlamıştır. Günümüzün modern elektronik tekstillerinde ise iletken iplikler direkt olarak kumaşa dokunmaktadır. Günlük giysilerimiz ile bilgi teknolojilerinin buluşması 1990 yılına uzanan bir geçmişe sahiptir. Elektronik tekstiller; Şekil 1.3’de görüldüğü gibi tekstil, elektronik ve bilgi biliminin kesiştiği potansiyel bölgede yer almaktadır (Suh, 2010).



Şekil 1.3. Elektronik tekstillerin multidisipliner ilişkisi (Honarvar ve Latifi, 2016)

Elektriksel açıdan baktığımızda, iletkenlik en önemli unsurdur. Metal, karbon ve optik lifler en çok bilinen iletkenlerdir. İleri bilgi teknolojileri bu malzemelerden işlenebilir lif ve iplik üretmek için gereklidir. Tekstil açısından baktığımızda ise, elektronik tekstillerin geleneksel tekstil yapılarının fiziksel özelliklerini sergileyecekleri bir şekilde dizayn edilmeleri gerekmektedir. Elektronik tekstiller; iyi elektrik iletkenliği özelliklerini korurken aynı zamanda bükülebilir, elastik ve yıkanabilir olmalıdır (Sezgin, 2012). Hem tekstil malzemelerinin konvansiyonel özelliklerini hem de iletkenlik fonksiyonunu bünyelerinde birleştiren iletken tekstiller; tıbbi ve askeri uygulamalar, mimari tekstiller ve ev tekstilleri, spor ve serbest zaman gibi pek çok konuda uygulama alanı bulmaktadır. Birçok uygulamada metal folyolar veya tel ızgaralar yerine iletken özellikli tekstil malzemelerinin kullanılmasının hafiflik, çok çeşitli formlar halinde üretilbilme, paslanmaya karşı dayanıklılık ve metallere göre düşük maliyet gibi avantajlar sunduğu bilinmektedir (Kadoğlu ve Duran, 2012).

Giyilebilir elektronik tekstiller; sıcaklık değişimi, ışık, nem gibi çevresel uyarıcıları saptayabilen, bu uyarıcılara tepki verebilen, veri depolayabilen, bu verileri iletişim ve bilgi üretmek amacı ile kullanabilen malzemelerdir. Giyilebilir elektronik tekstiller, temel anlamda elektronik parçaların giysilere entegre edilmesiyle elde edilmektedir. Bu parçalar, sinyallerin alınması/iletilmesi, elektrik akımının taşınması, statik elektriğin boşaltılması, elektromanyetik dalgalardan canlıların ve hassas cihazların korunması gibi çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır. Kumaşın yapısına ya da yüzeyine yerleştirilen elektronik sistemlerden hafiflik ve rahat kullanım özellikleri istenilmektedir. Elektronik tekstillerde kullanılan sistemlerin hafif ve mobil olmasının dışında sık yıkanmadan dolayı oluşabilecek aşınmaya karşı dirençli olması da beklenmektedir (Uçar, 2012). Tekstil materyalinin gerginlik, elastikiyet, dökümlülük, tutum, vücutta oluşturduğu kaşıntı ve batma hisleri gibi özellikleri dokunsal konfor açısından önem taşımaktadır. Dokunsal konfor, deriyle temas sonucu ortaya çıkan nörolojik algılardır. Elektronik tekstiller için de dokunsal konfor özellikleri oldukça önemlidir. Bu nedenle, kumaş üretiminde kullanılan lifler ince ve düşük ağırlıkta olmalıdır. Elektronik tekstil ürünleri üretiminde tekstil materyallerine elektrik iletkenliği kazandırmak için çeşitli metotlar kullanılmaktadır. Bu metotlar içerisinde, bir tekstil yapısında metalik tel kullanımı, iplik/kumaşlara iletken malzeme emdirme veya kaplama ve iletken polimerlerden lif çekimi en yaygın olanlarıdır. Ayrıca elektronik bileşenler konvansiyonel dielektrik kumaşlara devre olarak gömülebilmektedir.

Kullanım alanları

1. Sağlık sektöründe kullanılan elektronik tekstiller

Son zamanlarda elektronik tekstiller, elektronik tıp adıyla tıbbi tekstillerde de kullanılmaya başlanmıştır. Elbise içine yerleştirilen sensörler ve iletişim sistemleri, hasta ve doktorlar mekân ve mesafe olarak birbirinden ayrıldığı zaman hastanın tıbbi göstergelerinin elde edilmesi, izlenmesi ve bunların

doktora, hastaneye veya acil servise bildirilmesine olanak vermektedir (Emek, 2004).

Bilirubin battaniyesi: yenidoğan sarılığı tedavisinin verimliliğini yükseltmek ve minik hastalara sağladığı konforu artırmak için Philips tarafından geliştirilen battaniye, kumaşın mavi LED'lerle birlikte dokunmasıyla elde edilmiştir (Şekil 1.4a). Küçük, güçlü ve etkili LED'ler kumaşın içinden geçen iletken tellerle birbirine bağlandıktan sonra ışığı yayan bir katmanla kaplanarak ışığın hastanın cildine eşit şekilde yayılmasını sağlamaktadır. Yenidoğan sarılığı bebeklerin bilirubin adlı maddeyi parçalayamamasından kaynaklanmaktadır. Bilirubinin mavi ışık altında doğal olarak parçalanması sebebiyle bu durumdaki bebekler bilirubin seviyeleri normale dönene dek düzenli olarak mavi ışık altında tutulmaktadır (Uçar, 2012).

Mamagoose bebek pijamaları: tıp literatüründe "Sudden Infant Death Syndrome (SIDS)" olarak tanımlanan ani bebek ölümlerinin önlenmesi konusunda Belçika merkezli *Verhaerth Design and Development* firması ile *Brüksel Üniversitesi'nin* ortak çalışmaları sonucunda elektronik fonksiyonlara sahip yeni bir ürün geliştirilmiştir. Yeni doğan bebeklerin uyku sırasında vücut fonksiyonlarını gözlemlemeye yarayan bu ürün bir bebek pijaması olarak tanımlanmaktadır (Şekil 1.4b). Bu yeni interaktif pijamalara anne uyaran anlamındaki "Mamagoose" adı verilmiştir (Kayacan, 2008).

Akıllı ceket: küvezdeki yenidoğan bebeğin hayati fonksiyonlarını devamlı görüntülemek amacıyla tasarlanmıştır (Şekil 1.4c). Hem ebevyne hem de hastane personeline yeterli geri bildirimler sağlamaktadır. Yıkanamayan parçalar rahatlıkla ayrılabilir (Sezgin, 2012).



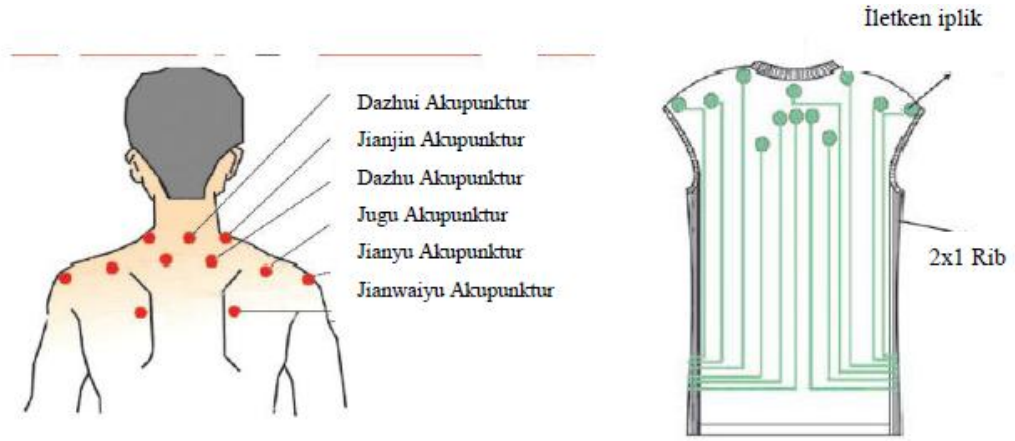
Şekil 1.4. (a)bilirubin battaniyesi, (b)mamagoose bebek pijaması, (c)akıllı ceket

Kalp sensörlü tenis büstiyeri: Stella McCartney'nin tasarladığı 2012 koleksiyonuna ait tenis büstiyeri, eş zamanlı olarak kardiyο verilerini kaydeden Adidas'ın "micoach 5" adını verdiği mini cihazı içermektedir. Aynı zamanda büstiyer, terin hızla dışarı atılmasını sağlayan kumaştan üretilmiştir (Şekil 1.5).



Şekil 1.5. Kalp sensörlü tenis büstiyeri (Uçar, 2012).

Giyilebilir elektronik giysi: deri içerisinden elektriksel sinir simülasyonu (TENS) ile Li ve arkadaşları tarafından tasarlanmıştır. Bu giysi vücuttaki çeşitli ağrı ve hastalıkların tedavisinde Çin akupunktur tedavi metodunu kullanmaktadır. Şekil 1.6'da görüldüğü gibi altı tane akupunktur noktası vardır. Omuz ve boyun ağrılarının tedavisi için TENS giysi tasarımında bu noktalar baz alınarak çalışılmıştır. Şekilde akupunktur tişörtünün tasarımı da görülmektedir. Tişörtteki yeşil noktalar boyun ve omuz bölgesindeki akupunktur noktalarıdır. Bu tişörtte intarsia örgü tekniğiyle iletken iplikler gizlenmektedir ve daha estetik bir görüntü elde edilmektedir (Li vd., 2010).



Şekil 1.6. Vücuttaki ve giysideki akupunktur noktalarının yerleri ve akupunktur tişörtünün tasarımı (Li vd., 2010)

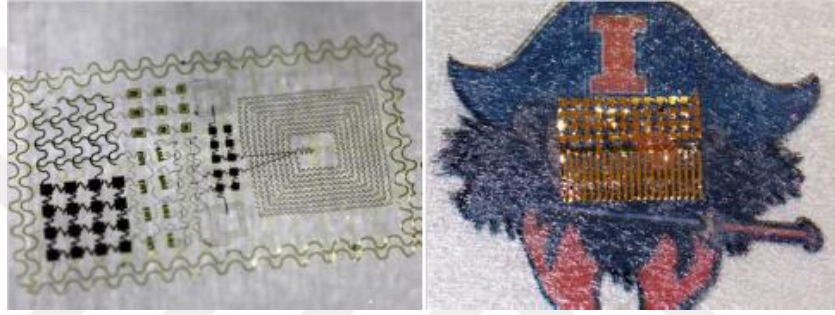
Tıbbi maske: İsveçli bir tekstil tasarım öğrencisi olan Marjan Kouroshnia tarafından tasarlanan yüz maskeleri, domuz gribi gibi ağır solunum yolları enfeksiyonlarında vücut ısısında artış olması halinde termokromik mürekkeple basılmış olan desenlerin renk değiştirmesi esasına dayanılarak geliştirilmiştir (Şekil 1.7).



Şekil 1.7. Marjan Kouroshnia tasarımı tıbbi maske (İşmal ve Yüksel, 2016)

Elektronik dövme: oldukça ince, kendinden yapışkanlı elektroniklerle geliştirilen sistem kalp atışı, beyin dalgaları, kas aktivitesi gibi verileri karmaşık cihazlara gerek duymadan görüntülemeye imkan vermektedir. A.B.D., Singapur ve Çin'den birkaç üniversitenin işbirliğiyle gerçekleştirilen buluş, "epidermal elektronik sistem" olarak adlandırılmaktadır. Neredeyse hiçbir ağırlığı olmayan mikro-elektronik sistem, minyatür sensörler, Led'ler, minik verici ve alıcılar ile tel örgülerden meydana gelmektedir (Şekil 1.8). Çok küçük değerlerdeki enerji ihtiyacını minyatür solar kolektörler ya da elektromanyetik radyasyon ile

sağlayabilmektedir. Cihaz, herhangi bir yapıştırıcıya gerek duymadan elektrostatik çekim gücüyle 24 saate kadar deri üzerinde kalabilmektedir. Elektronik bandajlar, dirsek gibi vücudun bazı bölgelerinde aplikasyona uygun olmasa da tıbbi uygulamalarda tercih edilen el, ayak, alın ve göğüs gibi bölgeler için idealdir. Bu cihazın, ses tellerinde problem olan ya da solunum zorluğu çeken hastaların iyileştirilmesinde kullanılması düşünülmektedir. Konuşma sırasında kas hareketlerini gözlemleyen araştırmacılar, kelimeleri ayırt etmeyi başarmış; hatta sesle kumanda edilen bir bilgisayar oyunu ara yüzü geliştirmişlerdir.



Şekil 1.8. Elektronik dövme (Uçar, 2012)

Elektro-tulum; multipl skleroz (MS hastalığı), parkinson, serebral palsi (beyin felci) gibi sinir sistemi rahatsızlığı olan hastalar için geliştirilmiştir. Hastalarda iyileştirici etkisi olan tulum; giysiye entegre edilmiş elektrotlar kasları uyarak, hastayı rahatlatan, vücudun hareket kabiliyetini artıran ve sonunda vücut fonksiyonlarını iyileştiren bir titreşim terapisinin yaratılması prensibine dayanmaktadır (Şekil 1.9) (Uçar, 2012).



Şekil 1.9. Tasarımın ve buluşun sahibi Fredrik Lundqvist olan elektro-tulum

Yaşam gömleği (Life-Shirt®): ABD merkezli medikal bilişim ve gözlem cihazları üreten bir firma olan *VivoMetrics tarafından* geliştirilmiştir. 30'dan fazla fizyolojik parametre ürüne gömülü algılayıcılar ve bir dijital kumanda paneli aracılığıyla izlenmekte ve kaydedilmektedir (Şekil 1.10). Toplanan veriler bir hafıza kartı yardımıyla bilgisayara aktarılabilir ve tıbbi yardım, analiz ve destek amacıyla internet kanalıyla gerekli yerlere ulaştırılabilir.



Şekil 1.10. Life-Shirt® (Kayacan, 2008)

Giyilebilir vücut monitörü: *Body Medya Araştırma Grubu* tarafından 2004 yılında tasarlanan monitör, çok sensörlü iletken liflerden dokunmuştur. Yapışkan bant gibi vücuda tutturulan Şekil 1.11'deki bu cihaz, cilde duyarlı tekstilden üretilmiştir. Monitör, fizyolojik verileri toplayıp, kaydetmektedir. Daha sonra bu bilgiler, bir doktora göstermek üzere bilgisayara aktarılabilir.



Şekil 1.11. Giyilebilir vücut monitörü (Sezgin, 2012)

2. Askeri-Savunma alanında kullanılan elektronik tekstiller

Koruyucu kamuflaj olarak tasarlanan uygulamalarda, özel boyanmış iletken lifler kullanılıp elektrik sinyaliyle renk yansıması sağlanarak giysi rengi araziye uygun hale getirilerek değiştirilebilmektedir. Askerler için düşünülen bu tip koruyucu akıllı giysiler, polis ve itfaiyeci kıyafetleri için de kullanım alanlarına göre uyarlanabilmektedir (Coşkun, 2007).

Elektrik üreten güneş enerjili üniformalar; İngiliz bilim adamları, askerlerin yükünü hafifleterek % 50'ye varan oranlarda hareket kabiliyetlerini artıran bir sistem üzerinde çalışmalar yürütmüşlerdir. *İngiliz Savunma Bakanlığı* ile *Mühendislik ve Fen Bilimleri Araştırma Kurulu* tarafından geliştirilen bu yeni tip üniformalarda güneş enerjisini depolayıp elektrik enerjisine çeviren fotovoltaiik hücreler kullanılmıştır. "Güneş enerjili sistem" askerlerin fiziksel yükünü hafifletmekle kalmayıp, ekipmanları şarj etmek için üsse geri dönme ihtiyacını ortadan kaldırarak askeri operasyonların potansiyel süresini ve sayısını da artıracaktır. Güneş enerjili askeri üniformalar yeni bir buluş olmamasına rağmen termoelektrik aygıtları güneş enerjisiyle birleştirilerek 7-24 kesintisiz elektrik üretimi bu proje ile sağlanmıştır (Uçar, 2012).

Akıllı iç çamaşırları; savaş sırasında askerlerin hayati verilerini görüntülemeye yarayan Sistem6, *Amerika Birleşik Devletleri Ordusu Tıbbi Araştırma ve Malzeme Komutanlığı* ile *Gelişmiş Teknolojiler Araştırma Merkezi'nin Foster-Miller ve Malden Mills Endüstrisi* işbirlikleriyle geliştirilmiştir. "Giy ve unut" adını verdikleri fizyolojik duyu sistemi sensörler yardımıyla solunum, kalp atışı, tansiyon, vücut ısısı gibi değerleri görüntüleyen bir elektronik veri ağı oluşturmaktadır. Bilgisayar algoritmalarını kullanarak verilerin okunmasını sağlayan teknoloji, askeri personelin eğitimi ve göreve alınmasında kullanılabileceği gibi kritik zayıtın belirlenmesinde de kullanılabilmektedir. Teknolojinin daha da geliştirilerek, askerin kan basıncı, metabolik aktivitesi, solunum bilgileri ile kimyasal, biyolojik, radyolojik ve nükleer risklerin saptanması hedeflenmektedir (Uçar, 2012).

3. Eğlence sektöründe kullanılan elektronik tekstiller

Teknolojik denim ceket: jean pantolonun mucidi olarak tanınan *Levi Strauss & Co.*, *Google* ile yaptığı iş birliği sonucu giyilebilir teknoloji geliştirdi. Levi's ceket içerisine dokunmuş Jacquard teknolojisi, kullanıcının giysinin kollarını hızlıca kaydırarak müzikler, navigasyon, iletişim, metin ve aramalara erişmesine izin vermektedir. Bu ceket sayesinde, bisiklet, motorsiklet vb. araçlar kullanılırken gelen acil çağrılar ceketin kolundaki sinyal sayesinde fark edilecek ve bu şekilde akıllı telefonlar ile iletişim sağlanabilecektir. Dijital bağlantı, ceketin manşetine tutturulmuş jakarlı etiket ile sağlanmaktadır (Şekil 1.12).



Şekil 1.12. Levi's teknolojik denim ceket

Fotokromik gölgelik: Christoph Klemmt'in 'OR2' tasarımı, fotokromik gölgelik yapısı ile tasarım ödülü kazanmış bir üründür. Tasarımcı, tasarımını şöyle açıklamaktadır: "OR2 güneş ışığına tepki veren tek yüzeyli çatı yapısıdır. Gölgede kaldığı süre içerisinde olan beyaz saydam ürün, güneş ışınlarının yoğunluğuna göre renkli hale dönüşmektedir." (Şekil 1.13).

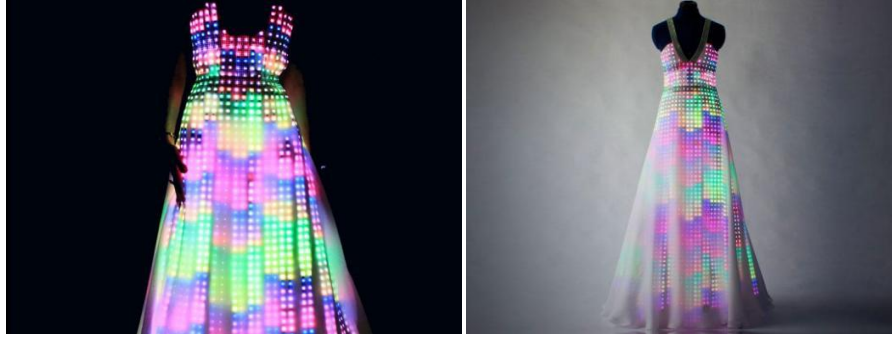


Şekil1.13. Fotokromik gölgelik (OR2-2013) (İşmal ve Yüksel, 2016)

Led'li elbiseler: giyilebilir teknoloji alanında başı çeken İngiliz moda markası *Cutecircuit* ilk olarak 2009'da Led'lerle tasarladığı "Galaxy" elbisesini 2012 yılında "Aurora" adıyla geliştirerek *haute-couture* koleksiyonuna dahil etmiştir. Chicago Bilim ve Endüstri Müzesinin kalıcı koleksiyonunda bulunan "Galaksi Elbise" müzenin 75. yıl dönümünde (2009 yılında) açılan "Hızlı İleri Sarma: Geleceği Keşfetmek" isimli sergide yer almıştır (Şekil 1.14). 24 bin renkli Led'le ışıklandırılan giyside 2x2 mm ölçekli en küçük Led'ler kullanılmıştır ve sergilendiği yıl dünyadaki en büyük giyilebilir ekran olarak tarihe geçmiştir. Adını güneşi karşılamak için her gece gökyüzüne uçan mitolojik tanrıçadan alan "Aurora Elbise" ise bir opera sanatçısı için tasarlanmıştır (Şekil 1.15). Elbise ilk giyildiğinde Led'ler hafifçe parıldamakta; giyen kişi hareket ettikçe daha yoğun bir şekilde parlamaktadır. Işığı isteğe bağlı olarak kapatıp açılabilen elbisenin pilleri ortalama sekiz saat dayanmaktadır (Uçar, 2012).



Şekil 1.14. Cute Circuit'e ait 'Galaksi Elbise' (2009)



Şekil 1.15. Cute Circuit'e ait 'Aurora Elbise' (2012)

Geri dönüşümlü plastikten üretilmiş solar ceket: ceketin dışı, nefes alabilen membran'dan; iç astarı, elyaf dolgusu, dikiş biyeleri tamamen geri dönüşümlü plastikten üretilmiştir. Ceketin koluna yerleştirilen solar panel fotovoltaik hücrelerden oluşmaktadır. Bu sayede güneş enerjisini yenilenebilir enerjiye dönüştürerek ceketin içindeki gizli bateryi şarj etmektedir. 4-5 saatlik güneş enerjisiyle i-pod ya da cep telefonunu şarj edilebilmektedir. Solar panel ve bateryi takıp çıkarılabilmekte; böylece ceket hem rahatlıkla yıkanabilmekte hem de cihaz ceketten bağımsız olarak kullanılabilmektedir (Şekil 1.16).



Şekil 1.16. Tasarımı Ermenegildo Zegna'ya ait solar ceket (2009)

İnteraktif yastıklar: estetik, sosyal ve duygusal yönleri üzerinde odaklanarak kişilerarası iletişim için cihazlar fikrinden yola çıkarak uzak mesafelerdeki insanların birbirlerini hissetmesi için tasarlanmıştır (Şekil 1.17). Biri yastığa sarıldığı zaman uzaktaki yastıkta ışık ve sıcaklık etkisi oluşacaktır. Bir cep telefonu aracılığıyla internet üzerinden bağlantı kurulabilmektedir (İşmal ve Yüksel, 2016).



Şekil 1.17. Christina von Dorrien tasarımı interaktif yastıklar

Sarılma gömleği: uzak mesafelerde olan insanların birbirine sarılabilmesine imkan vermektedir. Sarılma hissini karşı tarafa ileten kişinin dokunuşunu, ten sıcaklığını ve kalp atışını hisseden sensörler gömleğin içine entegre edilmiştir. Aktivatörler de sarılmanın verdiği sıcaklık ve dokunma hissini yeniden meydana getirip uzaktaki kişinin hissetmesini sağlamaktadır. "Hug shirt" sensör ve aktivatörlerle çalışan bluetooth sistemi içermektedir. Java destekleyen cep telefonlarına yüklenebilen özel programı sayesinde kişi tarafından gönderilen veriler sensörler yardımıyla bluetooth ile cep telefonuna aktarılmakta, cep telefonu ise sarılma hissi verilerini karşı tarafın cep telefonuna göndermektedir. Alıcının cep telefonundaki veriler de bluetooth yardımıyla kendi gömleğine aktarılarak sarılma duygusunu hissetmesini sağlamaktadır (Şekil 1.18).



Şekil 1.18. Giyilebilir elektronikler üzerine üretim yapan Cutecircuit'e ait buluş, Time Dergisi tarafından 2006 yılının en iyi buluşları arasında yer almıştır (Uçar, 2012)

Kumaş klavye: sıra ve sütunlar oluşturacak şekilde birbirine dikilmiş iletken ve yalıtkan kumaş parçalarından oluşmaktadır. İletken sütunlar, iletken sıralardan keçe, kadife gibi yumuşak ve kalın kumaşlarla izole edilmiştir. İzole eden kumaş

katmanının üzerindeki delikler, basıldığında sıra ve sütunlardaki iletkenlerin birbirlerine temas etmelerine olanak sağlamaktadır. Her sıra ve sütundaki temas bir kısaçla yapılmaktadır. Her kısaç klavyenin devre sistemlerini kodlamasını sağlayan bir kabloya lehimlenmiştir. Bu klavye istenildiğinde katlanabilir, yıkanabilir ve hatta fırın eldiveni olarak bile kullanılabilir (Şekil 1.19). Kumaş klavyelerin kullanımı sağlık açısından da kullanıcıya avantaj sağlamaktadır. Bir çok hastalık bilindiği gibi el yoluyla bulaşır. Kumaş klavyenin hafiflik ve kolay taşınabilirlik özellikleri sayesinde ortak kullanım alanlarında insanlar kendi klavyelerini yanlarında götürüp kullanarak bu riski ortadan kaldıracırlar (Sezgin, 2012).



Şekil 1.19. Eleksen firması tarafından üretilmiş kumaş klavye

Ortam koşullarına göre renk değiştiren kumaşlar; elektrotlar ve termokromik mürekkep ile donatılmış kumaşlar, oda sıcaklığındaki değişimlere tepki olarak renk değiştirebilmektedir. Daniel Cooper'ın tasarladığı hava kirliliğini ölçen bukalemun ceketteki dedektörler; ortamdaki nitrojen dioksit, sülfür dioksit ve ozon miktarlarını saptayabilmektedir. Ölçüm sonucunda ortamdaki hava kirliliği sıfır veya az miktarda olduğunda ceket maviye, kirlilik seviyesi yüksek bir seviyeye geldiğinde ise turuncuya dönüşmektedir. MIT tarafından geliştirilen Electric Plaid™ olarak bilinen kumaş bulunduğu ortama göre renk değiştirmektedir. Şekil 1.20'deki kumaş, boyanmamış sert ipliklerin ve elektronik güç sağlayan termokromik mürekkepler ile boyanmasıyla üretilen ipliklerin birlikte dokunması ile oluşmaktadır. Esnek olan bu kaplamalar, değişik programlar yüklenerek, elektronik kablolardan gelen ısıya göre renk değiştirilebilmektedir.



Şekil 1.20. Ortam sıcaklığına göre renk değiştiren kumaş (Sezgin, 2012)

4. Elektromanyetik alanlara karşı koruma amaçlı kullanılan elektronik tekstiller

Elektromanyetik koruyuculuk, iletken ipliklerin en önemli uygulama alanları arasında yer almaktadır. Elektromanyetik enerji, elektrikli ve elektronik aletlerin çalışma performansını olumsuz yönde etkileyerek istenmeyen tepkilere ve hatta işleyişte komple bozukluklara sebep olan bir enerji türüdür. Elektromanyetik etkileşimin temel kaynağı, elektrikli cihazların çevresinden yayılan veya iletilen elektriksel sinyallerle istenmeden etkileşime giren elektromanyetik radyasyondur. Elektromanyetik radyasyon kaynağı elektromıknatıslar, bobin bileşenleri, radyo frekans enerjisiyle yayınlayabilecek olan frekanslarda büyük alternatif veya doğru akım taşıyan dijital aletler ve kablolar olabilmektedir. Elektrikli bileşenleri bu tür radyasyonlara karşı korumak ve ekranlama amaçlı çözümlerin geliştirilmesi konusunda yoğun bir talep bulunmaktadır. Elektromanyetik etkileşimin önlenmesi için ekranlama gerekmektedir. Elektromanyetik ekranlama sayesinde kişiler, elektronik cihaz ve sistemler elektromanyetik radyasyonun zararlı etkilerine karşı korunabilmektedir.

EE (ekranlama etkinliği) veya SE (shielding efficiency) ekranlamanın ne derece etkili olduğunu gösteren bir parametre olup, desibel (dB) olarak ifade edilmektedir. SE, kaynak ile gözlem noktası arasında ekran yok iken ölçülen

elektrik alan (E_0) şiddetinin ekran var iken oluşan şiddetine (E_1) desibel (dB) olarak oranıdır; şu şekilde hesaplanır:

$$SE \text{ (dB)} = 20 \times \log_{10} (E_0/E_1) \quad (1.1)$$

Genel olarak 30 dB ekranlama etkinliği ortalama değer olarak kabul edilmektedir. Pratikte birçok sorunu 40 dB ekranlama etkinliği çözebilmektedir. Askeri sistemlerde 100-120 dB ekranlama etkinliği istenmektedir. Telefon kabloları için şartnamelerde istenen değerler 80-90 dB'dir (Kılıç ve ark., 2008; Kılıç, 2010; Alpyıldız, 2018).

Elektriksel iletkenlik özelliğine sahip olan tekstil malzemeleri, elektromanyetik ekranlama için geliştirilmiş çözüm yollarından biridir. İletken ipliklerle üretilen kumaşlar, elektromanyetik ekranlama ve antistatik amaçlar için savunma, elektrik-elektronik sanayi gibi uygulama alanlarında gittikçe daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun nedeni, mekanik özellikleri, esneklikleri, iyi form alabilmeleri, elektromanyetik ve radyofrekans etkilerine karşı koruyabilmeleridir. Tekstil malzemelerinin elektromanyetik koruyucu malzemeler olarak kullanıldıkları yerler aşağıdaki gibi özetlenebilmektedir (Şekil 1.21);

- Yüksek frekanslı elektromanyetik alanlara karşı koruma
- Radyoloji ve fizyoterapi alanında çalışan personelin kıyafetleri
- Fizyoterapi odalarının duvarlarının kaplanması
- Hassas elektronik cihaz ve sistemlerin çevredeki elektromanyetik alana karşı korunması
- Gizli odalar
- Evde kullanılan elektrikli ve elektronik cihazların (kablosuz telefonlar, cep telefonları, bilgisayarlar ve çeşitli elektronik cihazlar) ekranlanması
- Uçakların elektronik kontrol sistemlerinin ekranlanması
- Uyku konforu sağlamaya yarayan cibinlik, çarşaf ve yatak örtüleri (Kadoğlu ve Duran, 2012).



Şekil 1.21. Ekranlama etkinliği uygulama alanları örnekleri (a)duvar kağıdı; (b)cibinlik; (c)yatak örtüsü, battaniye; (d)perde (Alpyıldız, 2018)

5. Akıllı e-tekstil cihazları

Kumaş antenleri; sensörlerden bilgi ünitelerine bilgi aktarımının sağlanması ya da diğer elektronik parametrelerin izlenmesi amaçlanmıştır. Giyilebilir bir anten, giysileri iletişim sistemine entegre eden ve elektronik cihazları daha az rahatsız edici kılan bağıdır. İyi sonuçlar elde etmek için giyilebilir antenler; ince, hafif, düşük bakım gerektiren, sağlam, ucuz ve radyo frekanslı (RF) devrelere kolayca entegre edilebilir olmalıdır. Düzlemsel yapılar, esnek iletken ve dielektrik malzemeler giyilebilir antenler için özel gereksinimlerdir. Minyatür olmaları ve kolay entegre edilebilmeleri önemli avantajlarıdır (Grupta vd., 2010, Zhang vd., 2012).

Kumaş devreleri; kumaş devrelerinin giyilebilir elektronikler açısından geniş bir kullanım alanı bulunmaktadır. Kumaş devresinin avantajı; tekstile daha iyi entegre olabilmesidir. Dezavantajları ise performansının istikrarsız olması ve yeterli esneklik gösterememesidir. Bu bağlantılar esnek olmanın yanı sıra sağlam olmalı, bu da günlük kullanım sırasında sürtünmeyi, deformasyonu ve çevresel değişimi tolere edebilir olmalıdır. Ancak birçok pratik uygulamada, bu uzama ve bükülme özelliklerinden kaynaklanan fiber elektronların çatlaması veya sert ortamlarda bağlantı hatası gibi arızalanmalar rapor edilmiştir (Zou vd., 2012).

Sensörler ve algılama ağları; tüm lif içerikli elektronik teknolojiler arasında, en eski ve başarılı olanı, sadece prototip olmayıp, aynı zamanda giyilebilir gerçek uygulamalarda yaygın olarak kullanılan kumaş bazlı sensörlerdir. Lif tabanlı

sensörler; gerilim sensörleri, basınç sensörleri, kimyasal sensörler ve ayrıca optik ve nem sensörleri vb. içerir. Algılama özelliklerine sahip kumaşlara akıllı kumaş sensörleri (SFS'ler) denir. Bunlar, diğerlerinin yanı sıra sıcaklık, basınç, kuvvet ve elektrik akımı değişiklikleri gibi çoklu fiziksel ve kimyasal uyarılara duyarlıdır. Algılama elemanları, değiştirilmekte olan veya hassaslaştırılan yapısal kumaş elemanına bağlı olarak herhangi bir seviyede kumaşa dahil edilebilmektedir.

1.2.1. Elektronik tekstillerin üretim metotları

Doğal kaynaklı tekstil malzemelerinin elektriği iletmemesi, sentetik liflerin hammaddesi olan polimerlerin de gerekli olan serbest elektronları sağlayamaması sebebiyle tekstil materyallerine iletkenlik kazandırılması yolunda çalışmalar yoğunlaşmıştır (Coşkun, 2007). Son zamanlarda teknolojinin ilerlemesiyle popüler bir konu olarak görülen iletken tekstil yüzeylerinden (dokuma, örme, dokusuz yüzeyler) beklentiler de değişmekte ve çeşitlenmektedir. İletken malzemelerin tekstil yüzeylerine entegrasyonu genel olarak;

- Elektriksel olarak iletken liflerin kullanımı
- Elektriksel iletkenlik kazandıracak kaplama tekniklerinin uygulanması
- Elektronik bileşenlerin tekstil yüzeylerine devre olarak gömülmesi şeklinde gerçekleştirilmektedir.

1.2.1.1. Elektro-iletken liflerin kullanımı

İletken liflerin farklı amaçlarla kullanımlarına çok eski zamanlarda rastlanmaktadır. Endüstriyel devrim ile beraber tel çekme işleminin gelişmesiyle pek çok farklı uygulamada, katma değeri yüksek fonksiyonel tekstil malzemelerinin üretiminde kullanıldıkları görülmektedir.

İletken lifler; doğal olarak iletkenlik özelliğine sahip olan lifler ve sonradan iletkenlik özelliği kazandırılan lifler olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır.

a) Doğal olarak iletkenlik özelliğine sahip olan lifler (metal lifleri)

Karbon, bakır, alimünyum, titanyum, nikel gibi saf metallerden veya alaşımlardan oluşmaktadır. Metal liflerin tipik olarak üretimi demet halindeki metalin çekilerek inceltmesi veya metal bir yaprağın kenarlarından tıraşlanması şeklinde yapılmaktadır. Metal eriyiğinden lif çekilmesi de mümkündür. Dokuma ve örme yüzeylerde iletken elyaf ve filamentler kumaşa genellikle iplik formuyla entegre edilmektedir.

Antik çağlardan beri insanlar dekoratif tekstil üretiminde metalik malzemeleri kullanmışlardır. MÖ 3000 yıllarında Çin'de altın iplikler üretildiği bilinmektedir. Bununla birlikte, antik dünyada metalik iplikler çoğunlukla metallerin dayanıklılığı sebebiyle zırh üretiminde kullanılmıştır (Latifi ve Payvandy, 2010). İlk modern metalik lif *The Dobeckmum Company* tarafından 1946'da üretilmiştir. Üretilen bu metalik liflerde temel olarak alüminyum kullanılmıştır. Metalik terimi ise *US Federal Ticaret Komisyonu* tarafından verilmiştir ve metal, plastik kaplı metal, metal kaplı plastik ya da metalle tamamen kaplanmış çekirdekten meydana gelen insan yapımı lifleri tanımlamaktadır (Bedeloğlu vd., 2010).

Yapısında iletken lif bulunduran tekstil malzemeleri dokuma, örme veya nonwoven olarak üretilebilmektedir. Yüksek iletken özeliğine sahip metalik liflerin kumaşın ağırlığını artırmak, esnekliği azaltmak gibi dezavantajları bulunmaktadır. Metal liflerinin iletken ve kırılgan yapılarından ötürü işlendikleri iplik eğirme makinesi belirli bir süre sonra zarar görebilmektedir. Ayrıca, ağırlıklarının doğal liflere kıyasla fazla olmasından ötürü doğal liflerin tam homojen bir şekilde karışımını sağlamak oldukça güçtür (Kadoğlu ve Duran, 2012).

Paslanmaz çelik tel (SS) ve alaşımları; alaşımlama ile çeliklerin kullanım özelliklerinin (tokluk, aşınma dayanımı, sertleşebilme kabiliyeti, korozyon dayanımı, yüksek sıcaklık dayanımı, elektriksel, manyetik özellikler vb.) geliştirilmesi mümkün olabilmektedir (Göral, 2014). Literatür incelendiğinde, elektromanyetik kalkanlama amaçlı kullanılmak üzere, genelde tekstile

uygunluğu nedeniyle paslanmaz çeliklerin araştırmalarda (Kılıç, 2010; Bilgin vd., 2011; Okyay vd., 2011) en fazla tercih edilen metallerin arasında olduğu görülmektedir.

Bakır tel ve alaşımları; bakır, insanlar tarafından kullanılan ilk metal, ağlar boyunca kullanım açısından da demirden sonra gelen ikinci metaldir. Bakırın gümüşten sonra en iyi elektrik iletkenliğine ve gümüş ile altın arasında ise çok yüksek ısı iletkenliğine sahip olduğu belirtilmiştir (Gral, 2014). Ticari bakırın direnci saf bakırdan yüksektir. Bunun nedeni ticari bakırın içinde bulunan katışıkların birer kafes kusuru olarak elektron hareketliliğini düşürmesidir. Dolayısıyla, bakırın alaşımları oluşturulurken içine katılan farklı elementlerin - belirtilen kafes kusurundan dolayı- direnci arttırarak bakırın iletkenliğini düşürdüğü ifade edilmektedir (Aran, 2008). Yapılan bazı araştırmalarda (Cheng vd., 2003; Cheng vd., 2006; Dağ, 2010) znde bakır tel bulunan ipliklerden oluşturulan çeşitli tekstil yüzeyleriyle elektromanyetik dalgaların vcoda girişi önlenerek önemli derecede korunma sağlandığı tespit edilmiştir.

Karbon lifleri; karbon liflerinden yapılmış kompozitler diğer metallere oranla daha dayanıklı ve daha hafiflerdir. Ayrıca karbon liflerinin yorulma davranışı bilinen tüm metallerden daha iyidir. Katran esaslı karbon liflerinin elektriksel iletkenliği bakırdan 3 kat daha fazladır (Yalçınkaya ve Yılmaz, 2011). Lif yapısına, iletken karbon ekleyerek iletken özellikler taşıyan tekstil ürünü elde etmek mümkündür. Bu zellik, lif veya mikro/nano partiküller formundaki karbonun life eklenmesi ile kazandırılabilir. Karbon lifleri ve karbon eklenmiş lifler iyi iletken özellikler gösterir ve bunlar bilinen tekstil imalat sistemlerinde kolayca işlem görebilmektedir. Yüksek konsantrasyondaki karbon ile lifleri doldurarak, öz-mantodan oluşan bikomponent lifte ze karbon ekleyerek, yan yana bikomponent lifte bir tanesini karbon lifinden oluşturarak ve karbonu lifin yüzeyine kaplayarak karbon içeren iletken lifler elde edilebilir (Kalaoğlu vd., 2015).

b) Sonradan iletkenlik özelliği kazandırılmış lifler

Organik polimerler doğaları gereği zayıf elektriksel iletkenlik özelliği göstermekte ve polimerlerin yüzeyinde elektriksel yük birikebilmektedir. Bu elektriksel yük birikimini önlemek veya yük transferi olasılığını artırmak için tekstil malzemelerinin iletken hale getirilmesi gerekmektedir (Kadoğlu ve Duran, 2012). Elektriksel iletkenlik ya da yarı iletkenlik özelliği liflere farklı yöntemler ile kazandırılabilir. Bu yöntemlerden bazıları, metal levha veya bantlardan liflerin elde edilmesi, farklı üretim ve çekim yöntemleri kullanılarak lif elde edilmesi, liflerin metaller, metal oksitleri veya tuzları, iletken karbon ve kendiliğinden iletken olan polimerlerle çeşitli yöntemler kullanılarak muamele edilmesi olarak söylenebilir (Bedeloğlu vd., 2010). Ancak son dönemlerde daha kısa işlem süresi ile daha düşük güçlerde, kimyasal atık oluşturmada iletkenlik özelliği sağlayan daha ekonomik ve çevreci yöntemler aranmaktadır.

Elektrik iletkenliği özelliğinden dolayı iletken lifler antistatik uygulamalarda da yoğun olarak kullanılmaya başlanmıştır. Elektrostatik deşarj olarak da bilinen bu olayla sürtünen yüzeylerde oluşan fazla elektriği, vücuttaki oluşan statik elektriği ve elektronik malzemelerle çalışma yapılan tüm ortamlarda oluşabilecek statik yükü deşarj etmeye yardımcı olarak kullanılmaktadır. Kessler ve Fisher (1997) çalışmalarında halılarda sürtünme ile oluşan statik elektrik yükünün olumsuz etkisine ve iplikte ve bu ipliklerden üretilen halılarda iletken lifler kullanarak bu etkinin giderildiği ifade edilmiştir (Bedeloğlu vd., 2010'den aktarılmıştır).

1.2.1.2. Elektro-iletken ipliklerin üretimi

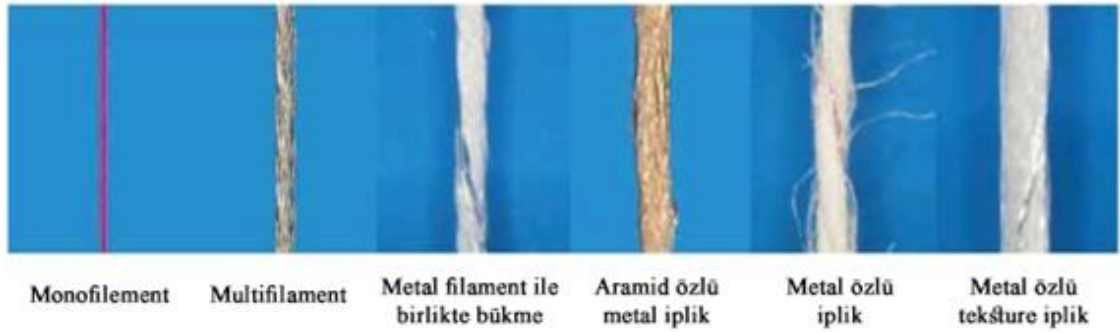
İletken iplikler; iletken filamentlerden, kesikli iletken liflerden veya iletken lif veya tellerin iletken olmayan tekstil lifleri ile birlikte eğrilmesi ile elde edilebilmektedir. Ayrıca iletken olmayan ipliklerin, iletken metal malzemelerle sarılması ile de iletken iplikler üretilmektedir (Bedeloğlu vd., 2010). Bu yöntemleri şu şekilde açıklayabiliriz;

a) Karıştırma, harmanlama yöntemi

Kesikli iletken lifler, iletken olmayan tekstil lifleri ile iplik eğirme işlemi öncesinde belirli oranda karıştırılıp birlikte eğrilebilmektedir.

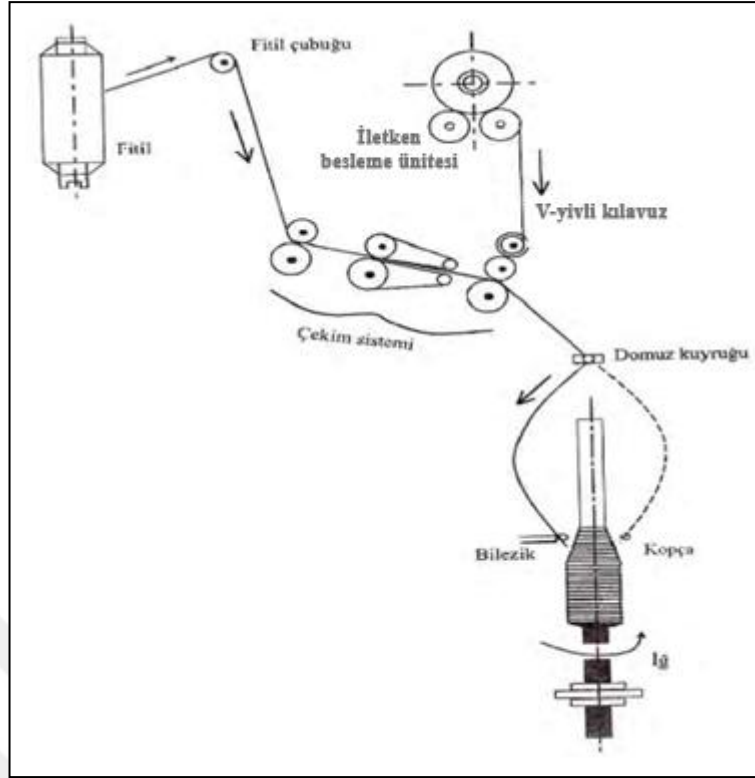
b) Özlü iplik üretim yöntemi

İletken tel veya ipliğin iletken olmayan kesikli liflerle sarılıp bükülmesi yöntemidir. İki farklı özellikteki bileşenin özelliklerinden aynı anda optimum ölçüde yararlanabilmek için geliştirilmiş öz ve manto liflerinden oluşan bir iplik yapısı özlü iplik (core spun) olarak adlandırılmaktadır. Bu iplik yapısında öz kısmı, yüksek mukavemet ve diğer fonksiyonel özellikleri sağlarken, manto kısmı geleneksel görünüm, tutum ve konfor özelliklerini yerine getirmektedir. İletken fonksiyonellik özelliğini sağlayan öz kullanılarak iletken özlü iplikler üretilebilmektedir. Çeşitli metal içerikli iplik yapıları Şekil 1.22’de gösterilmektedir.



Şekil 1.22. Bazı metal içerikli iplik yapıları (Kadoğlu ve Duran, 2012)

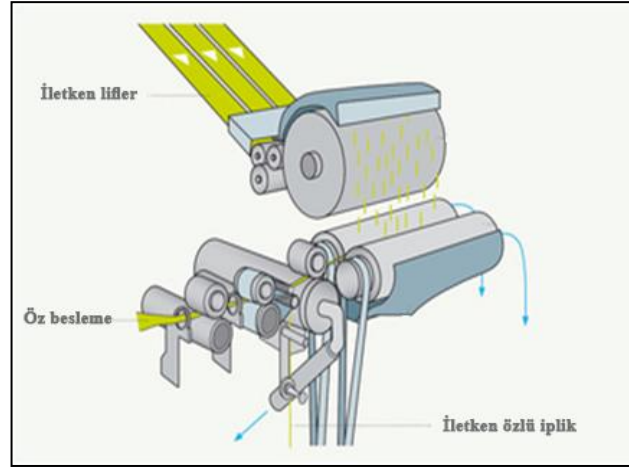
Özlü iplik üretimi, yaygın olarak modifiye edilmiş ring ve friksiyon iplik eğirme makinelerinde gerçekleştirilmektedir. Modifiye edilmiş ring iplik eğirme makinelerinde, öz filament ipliği üzerine doğal veya sentetik kesikli lifler sarılmaktadır. Kısa stapel lifler ile filament, çekim sisteminin ön silindir çiftinin kıştırma noktasında birbirleri ile birleşmektedirler. Filamentin çekim sistemine belirli bir gerilim altında beslenebilmesi için ring iplik eğirme makinesine ilave bir besleme tertibatı eklenmektedir. Şekil 1.23’de görüldüğü gibi bu tertibat, çıkış silindirlerinin üzerine yerleştirilerek filamentin, ipliğin özüne ve bükümden önce eğirme üçgeninin tam ortasına beslenmesini sağlamaktadır.



Şekil 1.23. Ring iplik makinesinde özlü iplik eğrilmesi

Üretilen ipliğin özelliği, bazı öz filament besleme parametrelerine bağlıdır. Bunlar; öz besleme klavuzu ve ön silindir arasındaki açı, ön silindirde öz ipliğin pozisyonu (merkezde veya merkez dışında) ve öz ipliğin gerginliğidir. Öz filament ön silindirin ortasından beslendiğinde bu filament manto elyaf tarafından kaplanırken, silindirin kenarlarından (uçlarından) beslendiğinde bu filament manto elyaf üzerine sarılmaktadır (Latifi ve Payvandy, 2010).

Friksiyon iplik eğirme sistemi, özlü iplik eldesinde kullanılan yaygın yöntemlerden biridir. Open-end friksiyon özlü iplikler otomotiv sektörü, havacılık, spor, inşaat sektörü, elektrik ve elektronik sektörü vb. birçok teknik ve endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır. Şekil 1.24'te DREF III ile iletken iplik eğrilmesi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.24. Dref III iplik eğirme makinesi

Dref-III özlü iplik eğirme sisteminde, özde bulunan filament, eğirme işlemi sırasında büküm almamaktadır. Delikli eğirme silindirleri tarafından sağlanan hava emiş basıncı ile açıcı silindir tarafından açılan manto lifleri, eğirme silindiri yüzeyine tutunmaktadır. Eğirme silindirlerinin dönüşü ile meydana gelen sürtünme sonucunda mantodaki lifler, özdeki filament etrafına sarılmakta ve özlü iplik yapısı oluşmaktadır. Dref ipliklerinin özünde genellikle filament, manto kısmında ise kesikli lifler kullanılmaktadır. İletken iplik özellikleri bu yöntemde kullanılan bileşenlere ve besleme yönüne doğrudan bağlıdır (Latifi ve Payvandy, 2010).

c) Katlama ve sarım yöntemi

İletken olmayan ipliklerin, iletken metal malzemelerle sarılması ile de iletken iplikler üretilebilmektedir (Bedeloğlu vd., 2010).

Her üç yöntem ile elde edilen ve yapısında iletken lif bulunduran tekstil malzemeleri dokuma ve örme kumaş üretim yöntemleriyle yüzey haline getirilebilmektedir. Özlü iplik üretiminde iplik, merkezi konumdaki fonksiyonel elyaf bileşeninin kırılma olmadan, istenilen mukavemete sahip olacak şekilde tam olarak kaplanması ve örtülmesiyle başarılı bir şekilde üretilmiş olmaktadır. Aynı şekilde iletken ipliklerin bir başka iplik etrafına sarılması yönteminde de iletken ipliğin kırılmadan, deforme olmadan diğer iplik üzerine sarılması durumunda iletken iplikten beklenen performans elde edilebilmektedir. Ancak,

iletkenliği sağlayan bileşenin deforme olmadan, tam istenilen şekilde ipliğe konumlandırılması ve kumaş formunda deforme olmaması oldukça zordur.

Hem tekstil malzemelerinin konvansiyonel özelliklerini hem de iletkenlik fonksiyonunu bünyelerinde birleştiren iletken iplikler; en yaygın olarak askeri ve tıp alanında (EKG (elektrokardiyografi) ölçen tişörtler, kumaş içine entegre edilen sensörler ile kalp atışlarının izlenmesi ve 2001'den beri fizyoterapi uygulamalarında) kullanılmaktadır. Askeri giysilerde, tekstil malzemesi içerisinde çeşitli fonksiyonların sağlanması için elektriğın iletilmesi ve iletişimin sağlanması amaçlarıyla kullanılmaktadır. Ayrıca çevresel tehlikelere karşı uyarı veren giysiler, MP3, cep telefonu ve küçük kontrol aygıtları entegre edilmiş ceketler, küresel yer bildirim uydusu ile ailelerin çocuklarını gittikleri yerlerde izleyebilme imkanı sağlayabildikleri çocuk tişörtleri ve optik lif ve sensor içeren gömlekler, iletken ipliklerin kullanıldıkları ürünlere örnek olarak verilebilir (Bedeloğu vd., 2017).

1.2.1.3. Tekstil yüzeylerini iletken malzemeler ile kaplama

Tekstil yapısına karbon, bakır, gümüş, çelik gibi metallerin tel, elyaf, mikro ve nano partiküller gibi farklı formlarda eklenmesiyle iletken özellikli tekstil malzemelerinin eldesi mümkündür. İletken materyaller kumaş yapısına lif veya iplik formunda eklendiğinde birbirlerine yakın olarak yerleştiklerinden iletken ağlar kolaylıkla kurulabilmektedir. Karbon lifleri veya karbon ile doldurulmuş lifler iyi iletkenlik özelliği sergilemekte, ancak estetik bakımından sorunlar yaratmaktadır. Metal elyaf ve filamentler, ağırlık, maliyet, üretim sırasında makinelere zarar verme gibi bazı dezavantajları bulunsa da yüksek iletkenlik özellikleri nedeniyle sıklıkla tercih edilmektedir (Lam Po Tang ve Stylios, 2006). Kumaşların iletken maddelerle kaplanması veya yüzeylerine metal folyolar gibi iletken özellikli malzemelerin lamine edilmesi de iletken özellikli tekstil malzemesi üretmenin yollarındandır. Bu tür kumaşlar daha çok elektromanyetik koruyuculuk gibi yüksek uygulamalar için tercih edilmektedir. Kumaş kaplamanın dezavantajı; kumaş gözeneklerinin kapanması nedeniyle

hava ve su buharı geçirgenliğinin, esnekliğin azalması ve kumaş konforunun olumsuz etkilenmesidir (Kadoğlu ve Duran, 2012).

Kaplama metodunun farklı uygulama türleri bulunmaktadır. Bunlar;

Elektriksiz kaplama, bir tekstil malzemesinin içinde kimyasal reaksiyonların olduğu kaplama çözeltisi içerisine daldırılması işlemine dayanır. Kullanılabilen farklı metal tiplerinin içerisinde en çok nikel ve bakır ile çalışılabilmektedir. Bunun nedeni, nikel ve bakırın diğer metallerden daha kolay biçimde kumaş yüzeyine yapışabilme yeteneğidir. Bu yöntem ile düzgün ve elektriksel olarak iletken kaplamalar elde edilebilmektedir, ancak maliyeti yüksektir (Liu vd., 2010).

Püskürtme işlemi, kaplama malzemesi tek atomlar halinde tekstil malzemesi üzerine fırlatılmakta ve çok ince bir kaplama tabakası meydana getirmektedir. Sistem katot ve anot kaplanması için sağlanan vakum odasından oluşmaktadır. Katot ve anot arasındaki elektrik potansiyeli, iki elektrot arasında plazma olarak bilinen düşük ısıtlı deşarj üretmektedir. Isıtlı deşarj, serbest elektronlardan, nötr parçacıklardan ve pozitif şarjlı argon atomlarından oluşmaktadır. Plazma ile pozitif iyonlar hedefe doğru hızlanır ve gaz fazının içine fırlatılır. Fırlatılan atomlar, altyapıda yüksek hıza ulaşmakta ve yoğunlaşarak ince tabaka haline gelmektedir. Yöntem düzgün kaplama meydana getirmesine rağmen hızı çok düşüktür ve yüksek maliyetlidir (Sünter, 2011).

Buharlaştırma ile biriktirme, tekstil malzemesi buharlaştırılan metale doğrudan maruz kalmaktadır. Genelde alüminyum, bakır, gümüş veya altın olan metal, tekstil yüzeyinde işlem süresince giderek yoğunlaşarak bir kaplama oluşturur. Kaplamanın kalınlığına göre iletkenlik değişmektedir (Sen ve Damewood, 2001).

1.2.1.4. İletken polimer ve partikül içeren iletken iplikler

Polimerler, monomer adı verilen küçük moleküllerin art arda dizilmesiyle oluşan uzun zincirli yapılardır. Polimerlerin elektronik parçaların iç kısımlarında kullanımına sık rastlanmaktadır. Kendi örgüsü içerisindeki elektronlarla yeterli düzeyde elektriksel iletkenliği sağlayabilen polimerler iletken polimer olarak tanımlanmaktadır. Polimerlerin elektronik iletkenlik düzeyine ulaşması için polimer örgüsünde, elektronların zincir boyunca taşınmasını sağlayan uygun yerlerin bulunması gerekir. Bu koşulu ana zincirinde konjuge çift bağlar bulunan polimerler sağlar (Şekil 1.25) (Köse, 2010'den aktarılmıştır).



Şekil 1.25. Konjüge çift bağ

Kendiliğinden iletken polimerlere; poliasetilen (C_2H_2), polianilin ($C_6H_5NH_2$) ve polipirrol (C_4H_5N) örnek olarak verilebilir. İlk iletken polimer olan poliasetilen, uzun yıllardır iletken olmadığı düşünülen ve normalde siyah toz halinde bir polimerdir. 1974'te H. Shirakawa, Ziegler-Natta katalizörü kullanarak metalik görüntüde ancak yeterince iletken olmayan gümüş renginde poliasetilen filmler hazırlamıştır. 1977 yılında H. Shirakawa, A. J. Heeger ve A. G. MacDiarmid sözü edilen poliasetilen filmlerin iyot, flor veya klor buharlarına tutularak yükseltgendiğinde, iletkenliğin 10^9 kat artarak 10^5 S/m (10^{-5} Ω .m) düzeyine çıktığını gözlemişlerdir. Bu değer, yalıtkan karakterli teflonun iletkenliği olan 10^{-18} S/m'den çok yüksektir ve gümüş, bakır gibi metallerin iletkenliği olan 10^6 S/m düzeyine yakındır. Shirakawa, Heeger ve MacDiarmid bu çalışmalarından dolayı 2000 yılı Kimya Nobel Ödülü'nü almışlardır. 1970'lerde üretilen poliasetileni daha sonraki yıllarda polivinilfenil, polivinilsülfid ve polivinilfenilpirrol kopolimerizasyonları izlemiştir. 1979'da polipinol olarak adlandırılan malzemenin, elektrolitik yöntemlerle elektrot üzerinde üretildiğinde kendiliğinden iletken hale geldiği saptanmıştır. Bir süre sonra da pirrol ve tiyofen adı verilen malzemelerin türevlerinden iletken maddelerin

sentezlenmesi gerçekleştirilmiştir. Polipirol (PPy) özellikle ticari uygulamalarda iyi çevresel stabilite, sentez kolaylığı ve diğer iletken polimerlerden daha yüksek iletkenliğe sahip olması nedeni ile önem kazanmıştır. Monomer fiyatı düşük, sentezi kolay, özellikleri ayarlanabilir ve stabilitesi diğer iletken polimerlerden daha iyi olan polianilin (PANI), termal stabilite açısından en iyisidir. Bunun yanı sıra polianilinin çözünürlüğü çok düşüktür, hidroskobik bir yapısı vardır ve metallerle karşılaştırıldığında iletkenliği daha düşüktür. Tüm kendiliğinden iletken polimerlerin ortak bir özelliği olarak polianilin çoğu organik solventlerde düşük çözülebilirlik ve bunun sonucu olarak işlenebilirlik zorluğuna sahiptir. Bu polimerler, bazı özel uygulamalar için çok düşük akımlar üretmeleri ve çok uzun ömürlü olmaları nedeniyle kalp pillerinde elektrot olarak kullanılmışlardır. Bu malzemelerin elektromanyetik ekranlamada da kullanılabileceği anlaşılmıştır. Radyo frekansı ya da kızılötesi dalgalar gibi gönderilen bütün radyasyonu emdikleri için bu polimerler radar dalgalarına karşı görünmez cihazların yapımında kullanılmışlardır. Günümüzde poliasetilen, polipirol, polianilin polimerlerinin yanı sıra politiyofen, polifuran, poli(N-vinil karbazol) gibi çok sayıda polimerin iletken olduğu bilinmekte; bazılarının toz, süspansiyon, film veya levhalar halinde ticari üretimi yapılmaktadır (Aussawasathien, 2006; Kılıç, 2010; Yıldız, 2011).

Polimerlerden iletken lifler aşağıdaki yollar ile üretilebilmektedir:

a) Polimer yapısında modifikasyon yapılması

Bazı polimerler, yapılarında elektronca zengin konjuge molekül orbitalleri yaratılarak iletken özellikte üretilebilmektedirler. Bu polimerler yapılarındaki güçlü moleküller arası etkileşimler nedeniyle, çözünemez ve işlenemez özelliktedir. Bu sebeple, konvansiyonel polimerlerle yapılan yüksek kalitedeki iletken karışımlar, hâlâ gelişme halindedir. Bu yolla üretilen liflerin esneklikleri sınırlı olup, yalnızca konvansiyonel liflerle karıştırılarak kullanıma uygundurlar.

b) Lif çekimi sırasında iletken partiküllerin eklenmesi

Polimer eriyiklerine, polimer veya organik ve inorganik maddeler eklenerek iletken lifler üretilebilmektedir. En sık kullanılan katkı maddeleri; gümüş

iyonları, bakır tuzları ve karbon karası olmaktadır. Genellikle karbon karası olarak seçilen iletken katkı maddesi, bikomponent teknolojisi kullanılarak life entegre edilmektedir. Böylelikle, daha yüksek iletkenlikler elde etmek için, daha az miktarda katkı maddesi yeterli olmaktadır.

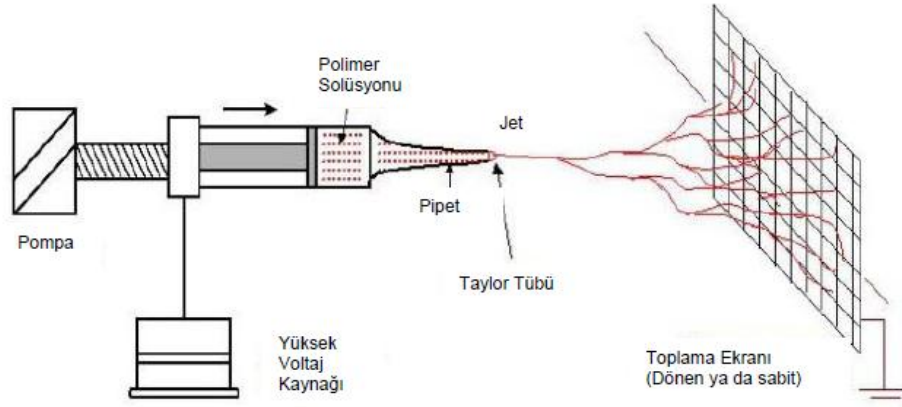
c) Liflerin iletken maddelerle kaplanması

Bu tür iletken liflerin sentetik liflerle kombinasyonu, kumaşın dokunabilme ve örülebilme özelliklerini iyileştirmektedir. Metalik kaplama ile elde edilen ipliklerin çok yüksek iletkenlik özelliğine sahip olmasına karşın bu ipliklerin yapışma ve korozyona karşı olan düşük dayanımı problem yaratmaktadır. Galvaniz kaplamalar diğerlerine göre oldukça fazla oranda iletkenlik göstermekte, fakat sadece grafit ve karbon liflerine uygulanabilmektedir. Üretiminin zor, pahalı olmasından ve yıkama sırasında çıkmasından ötürü galvaniz kaplama tekstillerde çok fazla kullanılmamaktadır. Birçok lif geleneksel tekstil makineleri kullanılarak metalik tuzlarla kaplanabilmektedir. Bu kaplamalar çok düşük bir elektrik iletkenliği sağlamakta ve yıkama sırasında zamanla azalmaktadır. Kaplama işleminde yapılacak geliştirmeler ile bu olumsuz özelliklerin azaltılması amaçlanmaktadır (Kadoğlu ve Duran, 2012).

d) Polimerlerden elektrostatik lif çekim metodu ile lif çekimi

Bu yöntem ile pek çok polimerden, mikro ve nano boyutta tekstil yüzeylerinin eldesi ve karakterizasyonu mümkündür. Elektrik alan ile lif çekimi prensibine dayanan ilk patentlerin 20. yy başlarında dispers sıvılar kullanılarak çok ince yapay liflerin elde edildiğinden bahseden Cooley (1900 ve 1902) ve Morton (1902)'a ait olduğu görülmektedir. Bu yöntem ile iplik üretimine yönelik ilk özgün yaklaşım ise Formhals'a ait olup, araştırmacıya ait 1934-1944 yılları arasında alınmış 7 ayrı patentte farklı teknikler açıklanmaktadır.

Bu yöntemde polimer çözeltisi veya polimer eriyiğinin elektriksel olarak yüklenmesiyle oluşan jetten nanolif elde edilmektedir. Elektroegirme deney cihazı genel olarak üç kısımdan oluşmaktadır (Şekil 1.26). Bunlar; yüksek voltaj güç kaynağı, polimer besleme ünitesi ve toplayıcıdır.

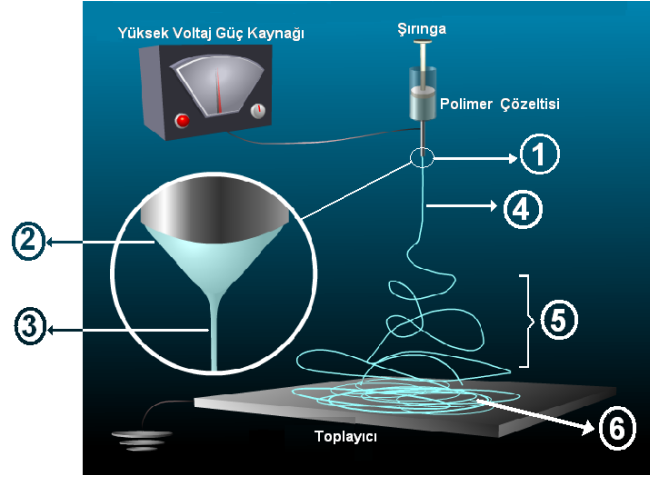


Şekil 1.26. Elektrostatik lif çekim yöntemi ile nanolif üretiminin şematik gösterimi (Uslu, 2009)

Polimer uygun bir çözücünde çözülür veya ısı ile eritilir, ardından bir şırınga içine aktarılır. Daha sonra polimer çözeltisi/eriyiği ile şırınga iğnesi (veya düze) ucunun karşısındaki bir toplayıcı levha arasına yüksek gerilim uygulanır. Besleyici ünite üzerindeki iğnenin ucunda asılı durumda duran polimer damlası kritik bir voltaj değerine kadar, yüzey geriliminin uyguladığı kuvvetlerden dolayı, küresel bir biçimde bulunur. Uygulanan potansiyel fark bir eşik değerine ulaştığı anda, elektrostatik kuvvetler yüzey gerilimi kuvvetlerine eşitlenir. Bu noktada polimer damlası şekil değiştirerek koni biçimini alır. Bu koniye, Taylor Konisi denir. Elektrostatik alan kuvvetinde kritik bir değerin ötesindeki bir artış ile birlikte, itme kuvveti yüzey gerilimini geçer. Bunun sonucunda da, polimer çözeltisi toplayıcı levha üzerine püskürtülerek yüzey eldesi sağlanır.

Elektrostatik lif çekimi prosesi özetle(Şekil 1.27);

1. damlacık oluşumu,
2. taylor konisi oluşumu,
3. elektro çekim jetinin oluşumu,
4. kararlı bölgede jetin uzaması,
5. kararsız bölgenin oluşması
6. lif formunda katılaşma (yüzey eldesi) basamaklarından oluşmaktadır.



Şekil 1.27. Elektrostatik lif çekimi prosesinin aşamaları (Üstündağ, 2009)

Yöntemin; üretim maliyetlerinin uygun olması, düzeneğinin basit olması, proses parametrelerinde rahatlıkla değişiklik yapılabilmesi, kullanılabilecek polimerlerin diğer yöntemlere göre daha geniş bir çeşitlilik göstermesi gibi önemli avantajları vardır. Bunun yanı sıra düşük üretim miktarı, düze tıkanması, çözücünün buharlaşması, düşük molekül oryantasyonu, yetersiz mekanik özellikler, yüksek çap dağılımı gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Ayrıca üretimde tüm parametrelerin hassas olarak ayarlanması gereklidir.

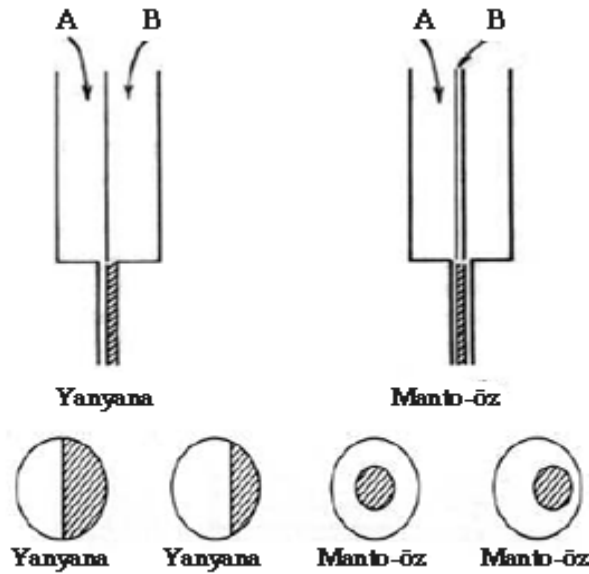
Endüstride elektro lif çekimi uygulaması için çok fazla alan bulunmaktadır. Bunların içinde hava ve sıvı filtreleri, yara bantları, doku mühendisliği, yüzey modifikasyonları, ses emici malzemeler, tıbbi ve hijyenik filtreler yer almaktadır. Nanolifler dokusuz yüzey üretiminde önemli uygulama sahası bulmuştur. Çeşitli dokusuz kumaşların yüzeyindeki küçük miktardaki nanoliflerin dahi su tutma özelliklerini arttırdığı ve su temas açısını düşürdüğü bulunmuştur. Hava direnci, nefes alabilirlik gibi diğer özelliklerde de dokusuz kumaşların yüzeylerinde nanolifler kullanıldığında büyük çapta iyileştirme göstermektedir. Elektrostatik çekim nanolifleri, çok geniş yüzey alanı/hacim oranı, yüzey işlevselliği esnekliği ve üstün mekanik performansa bağlı olarak, biyoteknoloji, ilaç dağıtım, yara iyileşmesi, mikroelektronik, çevresel koruma, enerji toplama ve depolama gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır.

Elektrostatik lif çekim yöntemiyle lif yüzeyi nanometre incelikte tabaka ile kaplanabilmektedir. Örnek olarak gümüş kaplamalı bir lif, yüksek elektrik iletimine, oldukça düşük statik elektrikleşmeye sahip olur ayrıca antibakteriyel ve antifungisid özellik kazanabilmektedir. *Japon Toray Ind.* firması, konvansiyonel tipten 1000 kez daha ince, higroskopik nemi pamuktan daha fazla naylon üretmiştir. Benzer şekilde *Japon Kanepe Ltd.* firması, yüzeyine birkaç nanometre kalınlıkta bir film tabakasıyla kaplayarak konvansiyonel poliester lifinin higroskopik nemini 30 kat arttırmıştır (Balcı, 2006).

Çözelti konsantrasyonu, iğne ve toplayıcı plaka arasındaki mesafe, uygulanan voltaj ve çözelti akış hızı elektro lif çekimi ile elde edilmiş liflerin morfolojik görüntüsünü ve çaplarını direk olarak etkilemektedir. *Sukigara ve arkadaşları*, çok düşük konsantrasyonda boncuklar oluştuğunda, optimum çözelti konsantrasyonunun elde edilmesi gerektiğini ileri sürmüşler; buna karşın, çok yüksek konsantrasyonlarda, çözeltinin akışı sürdürülemediğinden dolayı sürekli lif elde edememişlerdir. *Fong ve arkadaşları*, daha yüksek polimer konsantrasyonlarının, daha az boncuklu yapıya neden olduğunu göstermişlerdir. *Koshi ve arkadaşları*, çeşitli moleküler ağırlıklardaki nanofiberlerin yapısını araştırmışlardır. Çok düşük molekül ağırlıklı bir polimer kullanarak konsantrasyonu sabit tutmanın, liflerden ziyade boncukların oluşumuna neden olduğunu keşfetmişlerdir; buna karşın çok yüksek bir molekül ağırlığı çok büyük nanolif çaplarının oluşumuna neden olmuştur. *Reneker ve arkadaşları*, uygulanan voltajın, polietilen oksidin elektrostatik lif çekim yönteminde nanolif çapı üzerinde önemli bir etkisi olmadığını gözlemlemişlerdir. Diğer araştırmacılar, uygulanan gerilimdeki artışın elyaf çapının azalttığını; boncuk oluşumunun gerilimdeki ve elektrostatik itme kuvvetindeki artışa bağlı olduğunu saptamışlardır. *Thompson ve arkadaşları*, farklı parametre değerlerini incelemişlerdir. Elde edilen lif çapının; volumetrik yük yoğunluğuna, iğne ile kolektör arasındaki mesafeye, jet/delik yarıçapına ve viskoziteye bağlı olduğunu belirtmişlerdir (Karakaş, 2016).

e) İki bileşenli (bicomponent) üretim

İki farklı polimerin aynı düzeden geçirilmesi ile elde edilen lifler bikomponent lifler olarak tanımlanmaktadır. Özlü iplikler ile aynı görünüme sahip olmalarına rağmen, farklı metotlar ile üretilmektedirler. İlk olarak yün ipliklerinden esinlenerek üretilmiş ve kıvrılma özelliği sağlanmış olan bikomponent iplikler, sıcaklığa karşı yalıtkan ve hacimli yapıdadırlar. Başarılı bir şekilde bikomponent iplik üretimi sağlayabilmek için, iki bileşenin yüzeye yeterince bağlanması ve çözelti ve eriyiklerin viskozitesinin uyumlu olması önemli bir husustur. Bir polimer şerit (veya şeritler), manto (kılıf), çekirdek (öz), dallanmış çekirdek veya bir eğilim çizgisi içinde birleşim formlarındaki katı iletken malzemeler ile doludur. İkinci polimer (taşıyıcı veya dolgusuz polimer) direnç, uzama ve gerilme özellikleri sağlar. Bikomponent lif içerisindeki polimer oranları ve polimerlerin yerleşimleri üretim tekniğine ve kullanım amacına göre farklı olabilmektedir. Bikomponent lif üretimindeki temel amaç, bir polimerin tek başına sağlayamadığı özelliklerin diğer polimer ile geliştirilmesine çalışmaktır. Bikomponent liflerin enine kesit şekilleri ve geometrileri çok farklı şekilde olabilmektedir (Şekil 1.28) (Köse, 2010).



Şekil 1.28. Bikomponent üretim prensibi ve bikomponent ipliklerin farklı kesit alanlardaki görüntüleri

1.2.1.5. Tekstil yüzeylerine elektronik bileşenler ekleme

İletken filamentlerin kumaş yapısına dokuma işlemi sırasında doğrudan entegre edilmesi de mümkündür. Bu tür uygulamalarda genellikle metal teller kullanılmakta ve dokuma işlemi sırasında makinelerde bazı modifikasyonlar yapılmaktadır. Dokuma ve örme kumaşlarda iletken elyaf ve filamentler kumaşa genellikle iplik formunda entegre edilmektedir. Günümüze kadar, iletken özellik gerektiren uygulamalarda en iyi mekaniksel özellikler, paslanmaz çelik ve bakırdan elde edilmiştir.

Linz ve arkadaşları (2005) tarafından yapılan çalışma, elektroniklerin nakış yoluyla tekstil mamülüne dikilmesi esasına dayanmaktadır (Şekil 1.30). Mekanizmada iletken iplikler kullanılarak esnek elektronik modüller boyunca nakış yapılmış ve böylece sensörler, bataryalar ve tekstil klavyeleri gibi diğer modüllerin bağlantıları da gerçekleştirilmiştir. Esas amaç, farklı koşullar altında tekstil bağlantılarının iletkenliğinin ölçülmesi ve kontakların sağlamlığının test edilmesidir. Araştırmacılar deneylerinde, bükümlü gümüş kaplı polyamid filament iplik kullanmışlar ve malzemenin direncini $5 \times 10^3 \text{ M}\Omega$ civarında ölçmüşlerdir. Sonuç olarak; nakış işlemi uygulanarak esnek kablo ile elektronik aksamaların bağlanması giyilebilir elektroniklerde başarı ile gerçekleştirilmiş bir yöntemdir.



Şekil 1.30. Esnek elektronik modülün nakış yoluyla iletken iplik ile bağlanması ve kot kumaşı üzerinde kapsülasyon yapılması (Linz vd., 2005)

Elektronik bileşenlerin kullanılması giysinin kullanımında konfor sorunu ortaya çıkarmaktadır. % 100 metal telin sürekli halde çıplak olarak kumaş üretiminde kullanımı üretim ve kullanım esnasında (insan cildine temas ettiğinde rahatsızlık) çeşitli problemlerin oluşmasına ve ayrıca kumaşın estetik performansının kötüleşmesine neden olmaktadır. Bununla birlikte, bu ürünlerin işlevlerini yerine getirmesi için gerekli olan enerji maliyeti önemli bir sorundur. Bu nedenle, genellikle metal tellerin çeşitli sentetik/doğal lif ve ipliklerle farklı yöntemlerle birleştirildiği kompozit ipliklerin kumaş üretiminde kullanımı tercih edilmektedir (Erman, 2007; Bedeloğlu vd., 2010). Günümüzde, aktif olarak algılama yapabilen, basınç, sıcaklık gibi uyarıcılara karşılık vermek gibi fonksiyonel tasarımları içeren karmaşık iletken kumaşlar mevcuttur. Bu tekstil ürünlerinin çeşitliliklerinin geliştirilmesi, uygun elektriksel iletkenliğe sahip tekstil malzemelerinin oluşturulmasıyla doğrudan bağlantılıdır (Bedeloğlu vd., 2017).

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Bu tez çalışmasında, fonksiyonel tekstillerde özellikle elektronik tekstiller alanında kullanılabilecek özelliklere sahip iplik üretimine imkan sağlayan bir metodun geliştirilmesi ve iletken iplik üretimi amaçlanmıştır. Bu nedenle, iletken tekstillerin üretimine yönelik yapılmış daha önceki çalışmalar incelenmiştir. İletken iplik üretiminde kullanılan farklı yöntemler taranmış ve konu ile ilgili daha önce yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Elektro-iletken liflerin kullanımı (lif karışımları)

Safarova ve Militky (2014) çalışmalarında elektromanyetik kalkanlama sağlayan yüksek performanslı hibrit kumaş tasarımı amaçlamışlardır. Dokuma kumaşlar metal ve meta aramid liflerinin karışımından oluşan hibrit ipliklerden üretilmiştir. Çalışmada kumaşların modül değerleri, hacimsel ve yüzeysel elektriksel dirençleri ve elektromanyetik kalkanlama etkinliği ölçülmüştür. Katkı oranının modül ve direnç değerlerine etkisi, direnç ve elektromanyetik kalkanlama etkinliği arasındaki ilişkiye bakılmıştır. Ayrıca % 5 metal % 95 meta aramid hibrit ipliklerle, % 5 metal % 95 polipropilen hibrit ipliklerin modül değerleri kıyaslanmıştır.

Erdoğan vd. (2012) çalışmalarında iletken politiyofen/poliester kompozit lifler üretmişlerdir. Kompozit liflerin polimerizasyon koşulları (polimerizasyon sıcaklığı, zamana bağlı politiyofen içeriği gibi) ve yüzeysel elektriksel direnci detaylı olarak incelenmiştir. Kompozit lifler, % 5,7 politiyofen katkı oranında 80 k Ω en düşük yüzey direncine sahip olmuştur. Elektromanyetik kalkanlama etkinliği, artan frekansla birlikte 2-4 dB aralığında elde edilmiştir.

Wörle ve Krüger (2002) tekstillere koruyucu özellik ve elektriksel iletkenlik kazandırılması konularında ayrıntılı bilgi veren çalışmalarında; özellikle ince metalik liflerin kullanımının daha uygun olduğunu, bu malzemeler ile yün, PES, aramid veya akrilik lif karışımlarının da olumlu sonuçlar verdiğini ve maliyet açısından avantaj sağladığını vurgulamışlardır. İletken ipliklerin kullanım

alanlarının sadece akım iletimi veya veri transferi olmadığını belirtmişlerdir. Elektronik endüstrisinde statik elektrik yüklenmelerinden korunma, kıvılcım ve patlama oluşmasının önlenmesi, radyo vericileri, radar, kaynak tesisleri ve indüktif fırınların yanında elektromanyetik dalgalara maruz kalan kişilerin korunması gibi uygulama alanlarının da bulunduğunu belirtmişlerdir.

Elektro-iletken ipliklerin farklı yöntemlerle üretimi

Erdumlu ve Sarıçam (2015) tarafından yapılan çalışmada yer alan kumaşlara ait dökümlülük katsayıları incelendiğinde, metal tel sarımlı hibrid iplik içeren kumaşlardan üretilen giysilerin görünüm ve vücuda uygunluk açısından metal tel içermeyen kumaşlarla benzer davranış sergileyeceği sonucuna varılmıştır. Dolayısıyla, metal tel sarımlı hibrid ipliklerin atkı ipliği olarak kullanıldığı dokuma kumaşların, sağlık gözetimi, kablolu iletişim, elektromanyetik kalkanlama gibi çeşitli amaçlara yönelik olarak fonksiyonel giysi üretiminde kullanılabileceği görülmüştür.

Kutluk (2014) tarafından yapılan yüksek lisans tez çalışmasında, metal lif takviyeli pamuk ipliklerinden örülmüş spacer kumaşların elektromanyetik kalkanlama özellikleri araştırılmıştır. İletken hammadde olarak bakır ve paslanmaz çelik filament kullanılmıştır. Konvansiyonel ring iplik eğirme makinesinde, özlü iplik üretim prensibine göre iletken tel/pamuk özlü iplikleri üretilmiştir. Üretilen iplikler kullanılarak düz örme makinesinde iletken özelliğe sahip spacer örme kumaşlar elde edilmiştir. Kumaş numuneleri dört farklı ilmek sıklık ayarında (N_p 20, 23, 26, 32) ve tek katmanlı iletken, iki katmanlı iletken ve üç katmanlı iletken olacak şekilde üretilmiştir. Elektromanyetik kalkanlama etkinliği (EMSE), ASTM-D 4935 standardı esas alınarak koaksiyel tutucu metodu ile 15-3000 MHz frekans aralığında ölçülmüştür. Yapılan ölçümler sonucunda, iletken yapılı spacer örme kumaşlarda, genel olarak sıklık ve iletken katman sayısının artmasıyla orantılı olarak elektromanyetik kalkanlama seviyelerinin arttığı ve bakır filament takviyeli iletken spacer örme kumaşların kalkanlama değerlerinin genel olarak çelik filament takviyeli spacer örme kumaşlara göre yüksek olduğu belirlenmiştir. İletkenlik testleri sonucunda, bakır tel takviyeli

iletken ipliklerden elde edilen spacer örme kumaşların yüzey dirençlerinin, çelik tel takviyeli iletken ipliklere ait spacer örme kumaşlara kıyasla daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Rajendrakumar ve Thilagavathi (2012), metal tel içeren özlü ipliklerden elde edilen kumaşların elektromanyetik kalkanlama özelliklerini inceledikleri çalışmalarında, konvansiyonel ring iplik eğirme makinesi ile örme makinesine metal tel besleyerek iki tip özlü iplik elde etmişlerdir. Örme makinesinde elde edilen kumaşların ring özlü ipliklere ait kumaşlara kıyasla % 200 daha fazla hava geçirgenliği ve daha fazla metal tel içermesi nedeniyle elektromanyetik kalkanlama, özlü ring ipliklerin ise örme kumaşlara kıyasla % 20 daha yüksek patlama mukavemeti değerleri verdiği belirlenmiştir. Kumaşlarda ilmek boyutu azaldıkça, daha yüksek metal içeriği ve böylece elektromanyetik kalkanlama sağladığı tespit edilmiştir. Çalışmada, ayrıca metal tel içeren kumaşların antibakteriyel özellik gösterdiği belirtilmiştir.

Örtlek vd. (2012) çalışmalarında kompozit ipliklerden üretilen süprem kumaşların elektromanyetik ekranlama ve konfor özelliğini incelemişlerdir. Üç farklı numarada pamuk ipliği ve üç farklı incelikte paslanmaz çelik teller bir araya getirilerek kompozit iplik üretmişlerdir. Kompozit iplikler ve % 100 pamuk iplikler yuvarlak örme makinesinde kumaş formuna getirilmiştir. Üretilen kumaşların ekranlama etkinliği incelendiğinde metal tel katkılı kompozit iplikle üretilen kumaşların, % 100 pamuk ipliklerinden üretilen kumaşa göre daha yüksek ekranlama verimliliği gösterdiğini bulmuşlardır. Ayrıca Örtlek ve arkadaşları, kumaşların üretiminde kullanılan metal tel içerikli hibrid ipliklerde metal telin kalınlığı arttıkça, kumaşın hava geçirgenliğinin ve dikey kılcal ıslanma değerinin azaldığını kaydetmişlerdir.

Çeven vd. (2011) çalışmalarında, aynı yapısal parametrelere sahip metal ilavesiz kumaşlar ile metal ilaveli kumaşlar hava geçirgenlik özellikleri açısından karşılaştırıldığında, metal ilaveli dokuma kumaşların daha yüksek hava geçirgenliğine sahip olduğunu belirlemişlerdir.

Örtlek vd. (2011), konvansiyonel ring, siro ve kompakt iplik eğirme makinelerinde metal tel içerikli özlü iplik üretim imkanını araştırdıkları çalışmalarında, Ne 18, Ne 24 ve Ne 30 numaralarında paslanmaz çelik tel içeren iplik numuneleri üretmişlerdir. Çalışmada, yapıdaki paslanmaz çelik tel varlığının üretilen ring ipliklerin mukavemet, kopma uzaması ve tüylülük özelliklerini olumsuz etkilediği, siro ve kompakt eğirme metotlarının metal içerikli özlü iplik eğirmede kullanımının, metal tel varlığına bağlı olarak ipliklerin mukavemet, kopma uzaması ve tüylülük özelliklerinde görülen olumsuzlukların azaltılmasında faydalı olabileceği görülmüştür. Bununla birlikte, eğirme metodu, iplik numarası ve metal çapı faktörleri ile bu faktörlerin ikili kesişimlerinin iplik mukavemeti ve kopma uzamasını önemli şekilde etkilediği belirlenmiştir. Özlü ipliklerdeki metal oranı arttıkça, genelde her üç eğirme yönteminde de RKM ve kopma uzaması değerlerinin düştüğü tespit edilmiş ve bu durum iplik yapısındaki metal tel miktarı artışıyla birlikte kesikli lif miktarının azalması ile açıklanmıştır. Merkezdeki metalin kalınlaşması durumunda, iplik gövdesinden dışarıya doğru çıkan lif ucu sayısının ve böylece iplik tüylülüğünün arttığı belirlenmiştir. En yüksek RKM ve uzama ile en düşük tüylülük değerleri siro özlü ipliklerde, en kötü değerler ise ring özlü ipliklerde elde edilmiştir.

Örtlek vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada, metal tel içeren farklı özlü ipliklerden örülen kumaşların, eğirme metodu, metal tel oranı, optik ağartma ve boyamanın konsantrasyonu göz önüne alınarak ağartma ve renk özellikleri değerlendirilmiştir. İplik tiplerinin üretimi için ring, siro ve kompakt eğirme metotları kullanılmıştır. Metal tel içeren ring, siro ve kompakt ipliklerden örülmüş kumaşlarda metal oranının artmasıyla kumaşların beyazlık ve renk kuvvetinde azalma meydana geldiği gözlenmiştir.

Perumalraj ve Dasaradan (2010), 2 ve 3 katlı olarak üretilmiş bakır/pamuk ipliklerinin elektromanyetik ekranlama uygulamalarında kullanılabilirliğini inceledikleri çalışmalarında, katlama makinesi kullanılarak üretilmiş olan ipliklerden dokuma kumaş numuneleri elde edilmiştir. Çalışmada, ekranlama etkinliğinin kumaş yapısı, atkı ve çözgü sıklığı, örtücülük faktörü, iplik türü ve

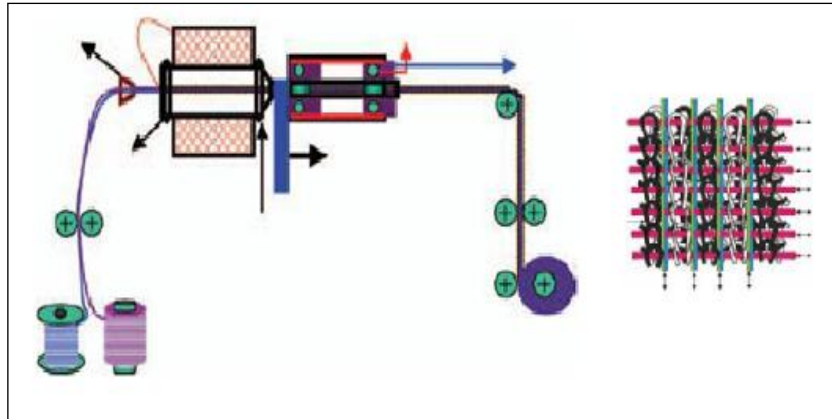
bakır tel çapı parametreleri ile değişimi incelenmiştir. İplik üretimi, 30 tex inceliğindeki pamuk ipliğinin 0.10, 0.11 ve 0.12 mm çaplarındaki bakır tellerle bir ring katlama makinesi yardımıyla katlanmasıyla gerçekleştirilmiştir. Katlanmış ipliklerin numaraları 188 tex, 83 tex ve 51 tex'tir. Dokuma kumaş yapısı olarak dimi ve bezayağı seçilmiştir. Dokuma kumaş üretimi sırasında katlı ipliklerle çalışmanın, tek katlı ipliklerle çalışmaya göre daha kolay olduğu gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, kumaşlarda atkı sıklığı, çözgü sıklığı ve örtücülük faktörü arttıkça, birim alandaki iletken materyal miktarındaki artıştan dolayı ekranlama etkinliğinin arttığını göstermiştir. Aynı sebepten dolayı, 3 katlı ipliklerden 2 katlılara kıyasla daha yüksek değerler elde edildiği belirlenmiştir. Öte yandan, dimi yapısında bezayağı dokuma türüne göre daha iyi değerlerin elde edildiği tespit edilmiştir. Bakır tel çapının artmasının ekranlama etkinliğinde azaltıcı etkiye neden olduğu da belirtilmiştir. Üretilen kumaşların, 700-5000 MHz frekans aralığında 40-74 dB koruma etkisi gösterdiği belirlenmiş ve bu tür kumaşların evdeki elektronik cihazlar, AM/FM yayınları, cep telefonları, kablosuz telefonlar, bilgisayarlar, binalar ve gizli odalar gibi uygulamalarda kullanılabileceği bildirilmiştir.

Baykal ve Sıgnak (2009), günlük kullanıma yönelik, aynı konstrüksiyonda metal iplikli ve metal ipliksiz olarak üretilen dokuma kumaşların performans özelliklerini incelemişlerdir. İki adet penye pamuk ipliğinin metal filamentler ile birlikte bükülmesiyle elde edilen iplikler, dokuma prosesinde atkı ipliği olarak kullanılmış ve üretilen kumaşlar boyutsal stabilite, kopma ve yırtılma dayanımı, dikiş kayması ve boncuklanma özellikleri açısından değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, % 3-7 oranında metal iplik içeren dokuma kumaşların, giysilerde rahatlıkla kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

Ramachandran ve Vigneswaran (2009) öz-mantodan oluşan iletken ipliklerin tasarlanması ve geliştirilmesi üzerine yaptıkları çalışmalarında, DREF III iplik eğirme makinesinde iletken özlü iplik üretmişlerdir. Öz kısmında bakır filament, manto kısmında ise pamuk lifleri kullanarak farklı karışım oranlarında özlü iplikler elde etmişlerdir. İletken ipliğin elektriksel özelliklerinin tespitinde üç ayrı voltaj değeri (6V, 12V ve 24V) kullanmışlardır. İletken özlü ipliklerin, 3-28

mΩ arasında değişen çok düşük dirence sahip olduğu görülmüştür. Bu ipliklerin atkı ve çözgüde kullanılmasıyla üretilen iletken kumaşların elektromanyetik ekranlama etkinliği sonuçları incelendiğinde, 67/33 öz/manto oranına sahip ipliklerin 760-860 MHz frekans aralığında en yüksek ekranlama etkinliği (EMSE) değerlerini sağladığı gözlenmiştir. Çalışmanın sonunda, bu çalışmada geliştirilen kumaşın askeri, tıbbi, telekomünikasyon, sağlık vb. uygulamalarda kullanılabilmesi için daha ileriki çalışmaların yapılması gerektiği belirtilmiştir.

Chen vd. (2008), Lin ve Lou (2003) tarafından geliştirilen cihaz (rotor-wrapping-twister) ile örme ve dokuma işleminde kullanılmak üzere iletken hibrit iplikler üretmişlerdir. Bakır tel ve polyamid filament öz materyali ve paslanmaz çelik tel ise sarıcı iplik olarak kullanılmıştır. Rotor twister olarak adlandırılan ve OE-rotor makinesinin rotoruna benzer bir eleman içerisine beslenen öz materyali, sarıcı filament ile sarılmıştır. Cihaz ile üretilen iletken hibrit iplikler, örme ve dokumayı birlikte yapan makinede, iletken dokuma-örme kumaşlar üretmek için kullanılmıştır (Şekil 2.1). İletken örme-dokuma kumaşlar, farklı açılarda dört ve altı kat olmak üzere lamine edilmiştir. Elde edilen malzemelerin yüzey özgül direnci, elektromanyetik koruma etkinliği ve statik elektrik yük boşaltımı araştırılmıştır.

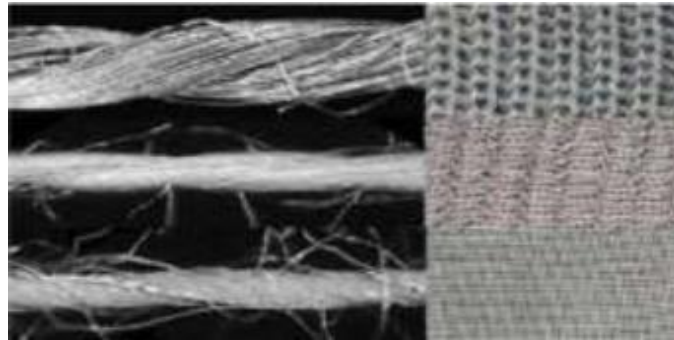


Şekil 2.1. Rotor-wrapping-twister ile iletken hibrit iplik üretimi ve iletken dokuma-örme kumaşların üretimi

Roh vd. (2008) çalışmalarında, ürettikleri metal içeren çok fonksiyonlu kompozit kumaşların elektromanyetik koruma, elektriksel iletkenlik, konfor

(termal yalıtım gibi) ve estetik özelliklerini incelemişlerdir. Metal kompozit kumaşların üretiminde, metal kompozit iplikler kullanılmıştır. İpliklerde kullanılan metal filamentler, gümüş kaplı bakır (Cu) ve paslanmaz çelik (SS) olarak seçilmiştir. İpliğin yapısı; PET/Cu/PET özlü iplik, PET/SS/PET özlü iplik, PET/PET özlü iplik şeklindedir. İplik üretimi boş iğ iplik eğirme makinesinde gerçekleştirilmiş ve bezayağı dokuma kumaşlar üretilmiştir. Toplam elektromanyetik koruma etkisinin metal içerik ile artmakta olduğu ve farklı sıklıktaki metal ızgara yapılarının boyutu ile ilişkili olduğu gözlenmiştir.

Rattfalt ve Linden (2007) tarafından yapılan çalışmada, tekstil elektrotlarının yapılarından kaynaklanan davranışlar ele alınmıştır. Çalışmada, örnek olarak alınan üç elektrot, elektrot empedans ve polarizasyon potansiyeli açılarından test edilmişlerdir. Birinci iplik, % 100 paslanmaz çelik ve elektrotu süprem örgü kumaştır. İkinci iplik, % 20/80 paslanmaz çelik/polyesterden oluşan kesikli lif ipliği ve elektrotu örme kumaştır. Üçüncü iplik, özlü polyester liflerinden oluşan ve gümüş kaplı bakır bir mono filamentin bu özün etrafına sarıldığı bir iplik, elektrotu ise dokuma kumaştır (Şekil 2.2). Birinci çoklu filamentten oluşmuş iplik, düşük iplik direnci nedeniyle uygun olmasına rağmen, bu ipliklerden örme kumaşlar elde edildiğinde, kesikli lif ipliği (ikinci) daha iyi değerinde elektrot empedansına sahip olmuştur. Çoklu filamentten oluşmuş iplik, daha düşük polarizasyon potansiyel çekimine sahip olmuştur. Üçüncü monofilament iplik ise yüksek elektrot empedansına sahiptir. Sonuçta, tekstil elektrotlarının performanslarının üretim tekniklerine göre değiştiği belirlenmiştir.



Şekil 2.2. Üç iplik örneği

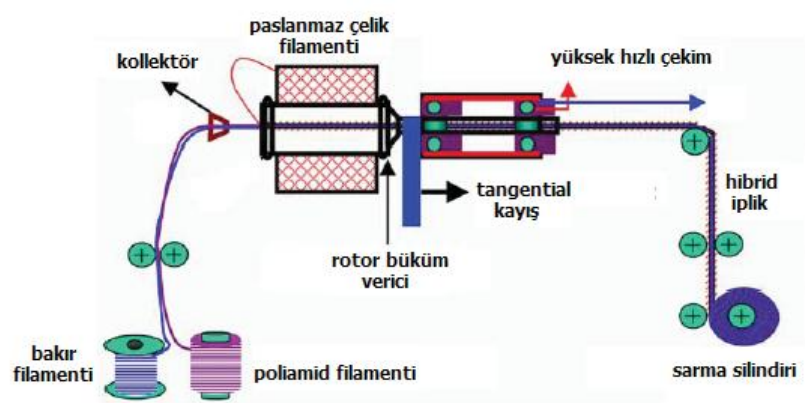
Cheng vd. (2006) çalışmalarında 3/1 dimi örgü yapısında bakır tel içeren dokuma kumaşlar üreterek, atkı ve çözgü sıklığı, bakır tel çapı, kumaş kat sayısı ve iplik yerleşim açıları gibi parametre değişimlerinin elektromanyetik kalkanlama (EMSE) üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Ayrıca, bu parametrelerden iplik sıklığı ve bakır tel çapı değişimlerinin, kumaşların yüzey ve hacim dirençlerine olan etkilerini de incelemişlerdir. Çalışmada, iletken olarak 0.10 mm, 0.12 mm ve 0.15 mm çaplarında bakır teller ve 3 farklı atkı ve çözgü sıklığı tercih edilmiştir. EMSE ölçüm sonuçlarına göre, çözgü ve atkı sıklığındaki ve iletken kumaş kat sayılarındaki artışların EMSE değeri üzerinde artışa neden olduğu ifade edilmiştir. İletken tel çapındaki kalınlık artışının ise EMSE değeri üzerinde azalmaya neden olduğu belirtilmiştir. Frekans aralığı boyunca, düşük frekanslarda ekranlama etkinliğinin düşük değerlerde olduğu, yüksek frekanslara çıkıldıkça ise bu değerlerin yükselerek özellikle 1800-2000 MHz aralığında maksimum ekranlama değerlerine ulaştığı tespit edilmiştir. Bu frekans aralığından 3000 MHz'e doğru yaklaştıkça ise, EMSE değerlerinde bir azalmanın olduğu görülmüştür. Bakır tel içeren kumaşların yüzey dirençlerinin $1.5 \times 10^{-3} \Omega/\text{cm}^2$ arasında düşük değerlerde olduğu görülmüştür. Bunun nedeni, atkı ve çözgü sıklıkları, kumaş gramajı ve örtücülük faktörü gibi bazı parametrelere bağlanmıştır. Bu parametrelerdeki artışla birlikte birim alanda kullanılan iletken miktarı artacağı ve iletkenler arasındaki mesafe azalarak oluşan iletken ağlar kuvvetleneceği için yüzey ve hacim direncinin azalmasıyla iletkenliğin artacağı yorumlarına yer verilmiştir.

Lou (2005), çalışmasında, modifiye edilmiş ring iplik eğirme makinelerinde öz materyali olarak elastan yerine bakır ve paslanmaz çelik tel, kaplama materyali olarak da viskon ve polyester/viskon fitilleri kullanmıştır. Eğirme prosesi süresince metal tel, makinenin ön çekim silindirinden beslenmiştir. Çalışma sırasında, besleme açısı (0° , 50° , 70° , 90°), öz materyalinin cinsi (bakır ve çelik tel), fitil hammaddesi (rayon ve polyester/rayon), büküm miktarı (α 2,4-7,5 arası) ve iplik numarası (Ne 15, 20, 25, 30, 35) gibi çeşitli proses parametrelerinin özlü ipliklerin tüylülük ve mukavemet özelliklerine etkisi incelenmiştir. Sonuçta, büküm artışının iplik tüylülüğünü azalttığı ve viskon liflerinden üretilen özlü ipliklerin diğer ipliklerden daha tüylü olduğu

belirlenmiştir. İletken kompozit özlü ipliklerin, antistatik ve elektromanyetik radyasyona karşı ekranlama özelliğine sahip örme ve dokuma kumaşların üretiminde kullanılabileceği belirtilmiştir.

Chen vd. (2004), bakır ve paslanmaz çelik liflerini yapıda kullanarak iletken hibrid iplikler üretmişler ve daha sonra bu ipliklerle ürettikleri kumaşları kompozit takviyesinde kullanarak, bu kompozitlerin elektromanyetik ekranlama etkinliği, yüzey direnci ve elektrostatik deşarj zayıflatma yüzdesi özelliklerini incelemişlerdir. Kumaşları “co-weaving-knitting” olarak isimlendirdikleri, dokuma ve örme kumaş üretim prensiplerini birleştiren bir yöntemden yararlanarak üretmişlerdir (Lin ve Lou (2003) tarafından geliştirilen cihaz). Çalışmada, paslanmaz çelik/polipropilen, bakır/polipropilen ve bakır/paslanmaz çelik/polipropilen hibrid iplikleri üretilmiştir. İpliklerin bir grubunun üretilmesinde poliamid lifleri öz olarak kullanılmış ve etrafları paslanmaz çelik tel ile sarılmıştır. Diğer grup ipliklerin üretiminde, poliamid liflerinin etrafı benzer şekilde bakır tel ile sarılmıştır. Üretilen iplikler arasında, poliamid ile bakırın özde kullanılıp, etrafının paslanmaz çelik tel ile sarıldığı hibrid iplikler de bulunmaktadır. Daha sonra bu hibrid iplikler örme kumaşın üretiminde kullanılmıştır. Atkı ipliğinin üretimi ise dokusuz yüzey kumaş kenarının öz olarak kullanılarak üzerine iletken filament sarılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Hibrid ipliklerin üretimi, modifiye edilmiş yeni bir rotor eğirme yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.3). Bu üretim tekniğinde, bir teğetsel kayış aracılığıyla motordan hareket alan içi oyuk bir rotor kullanılmakta, özde kalacak iplikler rotorun ortasındaki oyuktan geçirilerek üzerlerine rotorun üzerine daha önce yerleştirilmiş olan bobinden sağılan filament sarılarak birlikte bükülmektedir. Özde kalacak olan bakır tel ile poliamid filamentini sarma silindirinin hareketiyle ileri çekilmekte, bu sırada rotorun dönüşüyle iplik büküm almaktadır. Rotorun ve sarma silindirinin hızının değiştirilmesiyle verilen büküm miktarı değiştirilebilmektedir. Rotor sabit hızla dönerken, sarma silindirinin hızının azaltılmasıyla büküm miktarı artırılabilir. Hibrid ipliğin bir ucu sarma silindiri tarafından tutulmakta, rotorun her dönüşüyle bir büküm almaktadır. Büküm alan hibrid iplik, sarma silindiri üzerine sarılmaktadır. Rotorun oyuk iç yüzeyi, artan bükümle birlikte

lif-yüzey sürtünmesinin artmaması için pürüzsüz olarak üretilmektedir. Elde edilen sonuçlar, iletken hibrid ipliklerle üretilen dokuma-örme kumaşlarla desteklenmiş kompozitlerin elektromanyetik ve elektrostatik ekranlama uygulamalarında kullanılabileceğini; yüzey direnci, elektromanyetik ve elektrostatik ekranlama etkinliklerinin yapıdaki bakır ve çelik tel miktarından ve temas noktalarının sayısından önemli derecede etkilendiğini göstermiştir. Bakırın iletkenliğinin paslanmaz çeliğe göre daha yüksek olmasından dolayı, tek kat olarak kullanılan kompozitlerden bakır içerikli olanlar, çelik içerikli olanlara göre daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir. Atkısında hem bakırlı hem de paslanmaz çelikli atkı ipliği bulunduran kompozitler, yalnızca bakır ve yalnızca paslanmaz çelik ile üretilenlere göre daha iyi değerler sağladığı tespit edilmiştir. Bunun nedeni, iletken atkılarının güçlendirilerek iletkenliğin artırılmış olması olarak açıklanmıştır. Frekansın etkisi incelendiğinde, ekranlama etkinliği değerlerinin 500 MHz'de maksimuma ulaştığı ancak daha sonra frekanstaki artışla azaldığı gözlenmiştir.

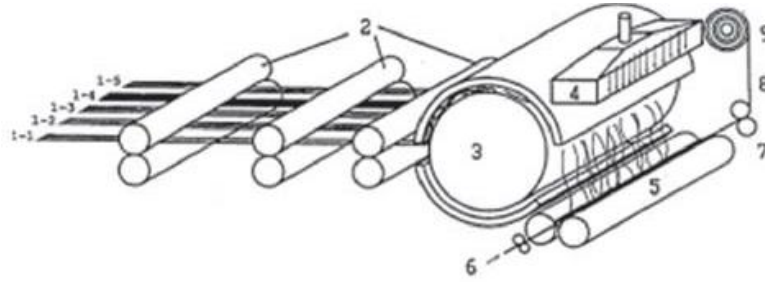


Şekil 2.3. Open-end rotor iplik eğirme sisteminde sarımlı iletken ipliklerin üretilmesi

Lin ve Lou (2003), rotor-wrapping-twister olarak adlandırılan yeni bir cihaz geliştirmişlerdir. Cihazda, paslanmaz çelik filamentler OE-rotor makinesinin rotoruna benzer bir eleman ile beslenmektedir. Polipropilen dokusuz yüzey şeritler ve takviye filamentleri içeren iplikler üretmişlerdir. Kancalı dokuma makinasında, bu iplikler kullanılarak karmaşık kumaşlar dokunmuştur. 170 °C'de ısıtılan lamine yapılar ve kumaşların farklı sürelerde (60, 90, 120 ve 150 saniye) elektriksel özellikleri ölçülmüştür. Bu çalışmada, termoplastik

karıştırılmış laminatların iletkenliğini belirlemek için ağırlıkça % 3.65-4.89 paslanmaz çelik filamentler kullanılmıştır. Bu laminatların yüzey direnci, 10^3 ila 10^5 ohm/sq aralığındadır. Malzemelerin koruma verimi 30-60 dP arasında elde edilmiş ve elektromanyetik koruma amaçlı ürünlerde kullanılmak üzere yeterli bulunmuştur.

Cheng vd. (2003), açık-uç friksiyon iplik eğirme tekniği ile çalışan DREF III model makinede merkezinde paslanmaz çelik tel (öz), örtü lifi olarak ise paslanmaz çelik tel, kevlar ve viskon kesikli elyaflarının (kılıf) kullanıldığı iplikler üretmişlerdir (Şekil 2.4). Farklı karışım oranlarında üretilen iletken özlü iplikleri, elektromanyetik koruma amaçlı olarak farklı konstrüksiyonlardaki dokuma kumaşların (bezayağı, 2/2 dimi ve 4lü çözgü sateni) üretiminde kullanmışlardır. Çalışmanın sonunda, 2100 MHz'in altındaki frekanslarda iletken özlü iplik içeren dokuma kumaşların elektromanyetik koruma verimliliğini arttırdığı belirlenmiştir. Ayrıca, tüm frekanslarda atkı ve çözgü sıklığının arttırılmasının olumlu etki gösterdiği tespit edilmiştir. Aynı iletken öz içeren viskon kılıflı ipliklere ait kumaşların, kevlar kılıf içeren kumaşlara kıyasla daha yüksek elektromanyetik koruma verimliliği gösterdiği belirlenmiştir.



Şekil 2.4. DREF III, açık uç friksiyon eğirme yöntemi (1-1, 1-3, 1-5:kesikli liflerden oluşan kılıf tülbent, 1-2, 1-4:kesikli paslanmaz çelik liflerinden oluşan kılıf tülbent, 2:çekim ünitesi, 3:taraklama tamburu, 4:sıkıştırılmış hava, 5:sürtünme tamburu, 6:paslanmaz çelik telle öz besleme, 7:çekme silindiri, 8:özlü iplik, 9:sarım silindiri)

Tekstil yüzeylerini iletken malzeme ile kaplama

Yıldız (2011), tez çalışmasında ipliklerin iletken bir yapıya kavuşturulması amacıyla poliester ve pamuk iplikleri üzerinde, pirol monomeri buhar fazında

polimerizasyon işlemine tabi tutulmuştur. Polipirol ile kaplanan iplikler dokuma kumaş haline getirilip kumaşın elektrik ve elektromanyetik kalkanlama özellikleri incelenmiş, bu özelliğin dört farklı FeCl_3 konsantrasyonlarındaki değişimleri araştırılmıştır. Poliester kumaşta en iyi kalkanlama değeri 150 g/l FeCl_3 konsantrasyonunda elde edilmiştir. Pamuklu kumaşta ise en iyi kalkanlama değeri 100 g/l lik FeCl_3 konsantrasyonunda elde edilmiştir.

Babu vd. (2009) yaptıkları bir çalışmada, polipirolle kimyasal ve elektrokimyasal olarak kaplanmış pamuklu kumaşların iletkenlik özelliklerini karşılaştırmışlardır. Ağırlık artışı, elektrokimyasal metotta kimyasala oranla daha fazla olduğu belirlenmiştir. Ayrıca elektrokimyasal yolla kaplamada, kumaşın iletkenliği 1.9×10^{-2} – 3.5×10^{-1} S.cm⁻¹'dir ve kimyasal kaplı kumaştan daha fazladır. Kimyasal kaplı olan kumaşın iletkenliği ise 3.9×10^{-3} – 9.4×10^{-2} S.cm⁻¹'dir (Yıldız, 2011'den aktarılmıştır).

Shim vd. (2008), CNT'lü (karbon nanotüp) polielektrolit esaslı bir kaplama kullanılarak pamuk iplerini akıllı elektronik tekstiller haline dönüştüren basit bir yöntem geliştirmişlerdir. CNT'lü iletim ağı üzerinden etkin yük taşınımı 20 Ω /cm olarak belirlenmiştir. Entegre nem algılamanın yanı sıra, CNT-pamuk ipliklerinin, kanın ana proteini olan albumini yüksek duyarlılık ve seçicilik ile algılamak için kullanılabileceğini tespit etmişlerdir. Boya-baskı yöntemi kullanılarak, CNT'ler elektrik ileten bir katman oluşturmak için polyester multifilament ipliklerin üzerlerine doğrudan uygulanmıştır. Bu yöntemde, 10^3 – 10^9 Ω /cm'ye kadar elektriksel dirence sahip ipliklerin elde edildiği belirlenmiştir. 10^3 Ω /cm dirence sahip ipliklerin kumaş içine düz ve dikey olarak örülerek elektrikli taşınabilir ısıtıcılarda, 10^5 Ω /cm dirence sahip ipliklerin anti-statik giysilerde ve 10^9 Ω /cm dirence sahip ipliklerin fotokopi makinelerindeki fırçalama bölümünde kullanılabileceği belirtilmiştir.

Adamhasan (2008) tarafından yapılan tez çalışmasında pamuk ve polyester ipliklerden üretilmiş dokuma kumaşlar polianilin ile kaplanarak, iletken kompozit kumaşlar üretilmiştir. Sıcaklık ve nem sabit tutulup kullanılan anilin oranları değiştirilerek iletkenlik oranındaki değişim gözlenmiştir. Yapılan bir

deneyde anilin çözeltisine gümüş nitrat (AgNO_3) ilave edilerek iletkenliğe olan etkisi incelenmiştir. Anilin/ AgNO_3 /pamuk ve anilin/pamuk kompozitleri dışında elde edilen kumaşların iletkenlik değeri oldukça düşük çıkmıştır. Anilin/pamuk kompozit kumaşın elektriksel direnci $15 \times 10^3 \, \Omega/\text{cm}$, Anilin/ AgNO_3 /pamuk kompozit kumaşın elektriksel direnci $15 \times 10^5 \, \Omega/\text{cm}$ bulunmuştur. AgNO_3 'ün iletkenliğe olumlu etkileri olduğu tespit edilmiştir.

Akşit vd. (2007) çalışmalarında polianilin ve polipirol kaplanan pamuklu kumaşların iletkenlik, dielektrik ve elektromanyetik özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. İletken polimerlerle yapılan kaplamalar kumaşa $10^{-2} \, \text{S/cm}$ mertebesinde iletkenlik kazandırmıştır. Ortalama elektromanyetik kalkanlama etkinliği polianilin için 3.8 dB, polipirol için 6 dB elde edilmiştir. İki malzemenin elektriksel iletkenlik ve elektromanyetik koruyuculuk özellikleri arasında büyük farklılıklar görülmemiştir.

De Bondt ve Decrop (2007) patent çalışmalarında, bir matriks malzeme içerisinde yer alan paslanmaz çelik tellerden demetten çekim yöntemi ile paslanmaz çelik liflerinin elde edilmesini açıklamışlardır. Paslanmaz çelik liflerin kompozisyonunu başlıca, demir olmak üzere, karbon, manganez, silisyum, nikel, krom, bakır, azot, kükürt, fosfor elementlerinden oluşturulmuştur. Lif üretim aşamasında, paslanmaz çelik teller demet haline getirilmiş ve birlikte çekim işleminden geçirilmiştir. Tek teller uygun bir matriks malzeme ile kaplanarak birbirinden ayrılmış ve bir kaplama malzemesi içine konulmuştur. Kaplanmış tellerin oluşturduğu demet istenilen inceliğe gelinceye kadar çekilmiş, kaplama malzemesi ve matriks malzeme kimyasal yolla temizlenmiştir.

Xue vd. (2007) tarafından yapılan çalışmada, polivinilalkol (PVA) ve karbon nanotüplerden (CNT) oluşan elektriksel iletken iplikler yaş eğirme ve kaplama olmak üzere iki metotla üretilmiştir. Yaş eğirme işleminde CNT/PVA karışım çözeltisi, yüksek konsantrasyonda koagülasyon faktörü içeren koagülasyon banyosundan geçirilmiştir. Kaplama işlemi, CNT ve PVA karışımı ile sentetik ve doğal lifler (pamuk, polyester, naylon, ipek, polipropilen, yün) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu işlemin ardından iletken iplikler, PVA'nın

çözünürlüğünü azaltmak için asetilasyon işlemi ile muamele edilmiştir. Yaş eğirme işlemi ile elde edilen CNT/PVA kompozit liflerin, iletkenliklerinin artış gösterebilmesi için bazı fonksiyonel grupların artması gerekmektedir. Kaplama tekniği, daha pratik bir metot olarak değerlendirilmiştir. CNT/PVA kaplı ipliklerin iletkenliği, taşıyıcı tabaka ile değiştiği ve CNT/PVA kaplanmış polyester, polipropilen ve ipek ipliklerinin, diğer iletken ipliklerden daha iyi iletkenlik özelliği gösterdiği tespit edilmiştir. Yaş eğirme işleminde yapılan asetilasyon işleminin, yün/naylon karışım ipliklerin mukavemetini yüksek oranda düşürdüğü belirlenmiştir.

Najar vd. (2007), kontinü buhar polimerizasyon tekniği ile polipirol kaplı iletken yün ipliği hazırlamışlardır. Üretimi 1 m/dak hızla, oksidan olarak farklı konsantrasyonlarda FeCl_3 ile gerçekleştirmişlerdir. Daha sonra üretilen bu iplikleri elektriksel özdirenç, mukavemet özellikleri, boyuna ve enine kesit görünüşleri açısından değerlendirmişlerdir. 500 tur/m büküme sahip iplikte optimum özdirenç $2.96 \Omega \cdot \text{g}/\text{cm}^2$ ile 80 g/L FeCl_3 çözeltisinde, 400 tur/m büküme sahip iplikte ise optimum özdirenç $1.69 \Omega \cdot \text{g}/\text{cm}^2$ ile 70 g/L'lik FeCl_3 çözeltisinde elde edilmiştir. PPy kaplı iplikler kaplı olmayan ipliklere göre daha fazla uzama ve mukavemet göstermiştir. Enine ve boyuna kesit görünüşleri, PPy'un iplik içerisine derin bir şekilde nüfuz ettiğini ve kaplamanın iplik yüzeyinde uniform bir şekilde gerçekleştiğini göstermiştir.

Kim vd. (2004), eriyikten lif çekim ve kaplama prosesleri sonucunda elde ettikleri iletken lifleri incelemişlerdir. Polipropilen (PP) esaslı iletken lifler elde etmek amacıyla eriyikten lif çekim metodu ve hammadde olarak polianilin (PANI), polipirol (PPy) ve grafit kullanılmıştır. Kaplama işlemi olarak da, polianilin kaplamalı PET iplikler incelenmiştir. Eriyikten lif çekimi ile elde edilen yapıların iletkenliği, homojenite problemi ve iletken malzemelerin yapı içinde kümelenmesi sebebiyle tatmin edici bulunmamıştır. Homojenitenin sağlanması amacıyla eriyiğin hazırlanması işleminin geliştirilmesi gerektiği belirtilmiştir. Polianilin kaplı PET iplikler, çok daha iyi elektriksel özellikler göstermiştir. Polianilin konsantrasyonu yükseldikçe, ipliklerin direnç değerlerinde azalma meydana geldiği belirlenmiştir. Kimyasal yapıları sebebiyle

polianilin moleküllerinin ipliklere entegrasyonunun daha kolay olduğu ve bu nedenle olumlu sonuçlar elde edildiği vurgulanmıştır. Üretim proseslerinin her bir aşamasının elde edilen iletkenlik derecesine etki ettiği ve yapılacak optimizasyon çalışmaları ile daha iyi sonuçlar elde edilebileceği belirtilmiştir (Kayacan, 2008'den aktarılmıştır).

Jiang vd. (2002), polianilin kaplı polyester kumaşların biostabilitesini araştırmışlardır. Numuneler steril sodyum klorid çözeltisi içinde 37 °C'de 1-2 hafta bekletilmiş ve her periyot sonundaki elektriksel yüzey direncindeki değişimler gözlenmiştir. Tekrar katkılama işlemi uygulanmış ve daha sonra ölçümler yinelenmiştir. Yüzey morfolojisindeki değişimlerin gözlenmesi için SEM görüntüleri alınmıştır. Yapılan analizler sonucunda bekletme işlemlerinin ilerlemesi ile polipirol kaplı kumaşların elektriksel yüzey dirençlerinin arttığı görülmüştür. Bir çok numunenin yüzey direncinin bir haftalık uygulama periyodunun ardından 10^3 - 10^4 Ω /cm mertebesine ulaştığı tespit edilmiş ve bu seviyenin de kısa süreli elektriksel uyarım uygulamaları açısından uygun olduğu belirtilmiştir.

İletken polimer ve partikül kullanımı

Usta vd. (2014) yaptıkları çalışmada, polyester kumaş üzerine polianilin (PANI) ve karbon siyahı (CB) çöktürülerek iletken tekstil yüzeyleri üretimini amaçlanmıştır. Karbon siyahı parçacıklarına karboksilik grupların eklenmesi amacı ile bu parçacıklar önce nitrik asit (HNO_3) ile ön işleme alınmıştır. Kumaş örneklerine, anilin polimerizasyonundaki oksidant oranı değiştirilerek CB/PANI tabakası çöktürülmüştür. Daha sonra bu örnekler, elektriksel yüzey direnci ve ağırlık artışı açısından ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Elektriksel iletkenliğe CB partiküllerinin etkisini gözlemlemek amacı ile en iyi iletkenliğin olduğu γ -aminopropiltrimetoksisilan (APS) konsantrasyonu CB ilavesi olmadan üretilmiştir. Sonuçlara göre, en iyi iletkenlik değeri ($1,35 \times 10^5$ Ω /sq) ve en yüksek ağırlık artışı (0,061 g) CB içermeyen 0.2 M'lık APS konsantrasyonunda elde edilmiştir.

Ermel vd. (2008), Platin (Pt), Paladyum (Pd), Gümüş (Ag) ve Bakır (Cu) metallerini, poliester ve poliamid kumaşlar üzerine implante etmiş, ardından bunların 1 saat asidik ter çözeltisinde tutulduklarında değişen etkilerini incelemişlerdir. İmplant edilmiş kumaşların elektriksel dirençleri, birkaç k Ω ile 1 Ω arasında değiştiği belirlenmiştir. Ardından yapılan asidik ter çözeltisinde bekletme işlemi sonrasında, işlem sırasında metal içeriklerinde kayıp olduğu ve bunun da iletkenlikleri düşürdüğü gözlenmiştir. En dayanıklı olanın Pt, en dayanıksız olanın da % 98 kayıpla Cu olduğu bulunmuştur. Bunun nedeni, bakırın hava oksijeninden de etkilenmesi olarak açıklanmıştır. Bu nedenle, iletkenlik amacıyla Cu implante etmenin, tekstil materyalleri için uygun olmadığı sonucuna varmışlardır (Köse, 2010'dan aktarılmıştır).

Lee vd. (1999) yaptıkları çalışmada, polianilin ile gümüş, grafit ve karbon siyahı gibi iletken tozların karışımlarının EMI ve SE değerlerini, ASTM D4935-89 tekniği ile 10 MHz–1 GHz frekans aralığında ölçmüşlerdir. Polianilin, polipirol ve poliasetilenin, bakıra kıyasla yüksek ekranlama verimliliği gösterdiğini belirlemişlerdir (Kılıç, 2010'dan aktarılmıştır).

Polimerlerden lif çekimi

Literatürde, iletken lif elde edilmesinde eriyikten ve yaş çekim işleminin kullanıldığı çalışmalar bulunmaktadır. Eriyikten lif çekimi tekniğinde polimerin, belli bir viskoziteye ulaşması için ısıya ihtiyaç duyulmakta olup, polimer esaslı lif, ekstrüzyon işlemi ile düzeden çekilmektedir. Kuru lif çekimi tekniğinde, polimer uygun bir çözücü içinde çözülüp sıvı hale getirilerek, sıcak havanın da yardımıyla düzeden çıkan filamentlerdeki çözücü buharlaştırılarak lif oluşturulmaktadır. Yaş lif çekimi tekniğinde ise, polimer çözücüsüyle birlikte düzeden geçirilmekte ve daha seyreltik olan çözücülü banyoda, difüzyonun etkisiyle liflerdeki fazla çözücü banyoda bırakılarak lif oluşturulmaktadır.

Zhang vd. (2006), PANI liflerinin farklı koagülasyon çözeltilerini kullanarak yaş çekim sistemine göre çekmişler ve en iyi sonuçları polianyonun sulu çözeltisini kullanarak elde etmişlerdir. Sulu banyo içerisindeki PSS (poli sodyum-4-

stirensulfonat) konsantrasyonuna bağı olarak liflerin özelliklerini ve iletkenliklerini incelemişlerdir. Denemeler sonrasında, % 20 PSS konsantrasyonu kullanıldığında elektriksel özellik 22.7 Scm^{-1} , % 2.5 PSS kullanıldığında ise 35.2 Scm^{-1} olarak elde edilmiştir (Köse, 2010'dan aktarılmıştır).

Jiamming vd. (2005), PANI-DBSA (dodesilbenzen sülfonik asit)/Co(kobalt)-PAN kompozit lifler ile yaş çekim sistemine göre çalışmışlar ve 10^{-3} Scm^{-1} iletkenlik değeri elde etmişlerdir (Köse, 2010'dan aktarılmıştır).

Koncar vd. (2004), polipropilen (PP) eriyiğine polianilin (PANI) ve PPy (polipirol) koyarak eriyikten lif çekmişlerdir. Ancak, elde edilen iletken materyal/PP monofilamentlerinde yeterli düzeyde iletkenlik elde edememişlerdir.

Bu tez çalışması ile ilişkilendirilebilecek diğer çalışmalar;

Bedeloğlu (2013a) yaptığı çalışmalarda; düz ve rib yapıdaki hibrid kumaşlar, iki farklı çapa sahip paslanmaz çelik tel içeren akrilik (PAC) iplikler ile elde edilen tek ve çift katlı hibrit iplikler kullanılarak örülmüştür. İletkenlik, hava geçirgenliği, boncuklanma ve aşınma direncinin yanı sıra elektromanyetik ekranlama özelliği (EMSE) gibi fiziksel özellikler ölçülmüştür. Tel içeriğindeki artışın iletkenliği önemli ölçüde arttırdığı görülmüştür. Rib kumaşlar, düz kumaşlara kıyasla daha iyi EMSE değerleri sergilemiştir. Daha ince tel kullanılarak elde edilmiş kumaşlar daha yüksek ve iki katlı iplikler kullanılarak üretilmiş kumaşlar daha iyi EMSE değerleri sergilemiştir. En yüksek EMSE değeri 35 mikrometre (μm) paslanmaz çelik tel ile rib örme kumaş için elde edilmiştir. Ayrıca paslanmaz çelik tel içeren hibrit ipliklerin örme ve dokuma kumaşlarda boncuklanma ve aşınma dayanımını artırdığını tespit etmişlerdir.

Šafářová ve Militký (2012) yaptıkları çalışmada; toplam elektrik direncinin $[R]$, teorikte iletken tel uzunluğunun $[L]$ doğrusal olarak artan bir fonksiyonu olduğunu belirtmişlerdir. Fakat iletken metal lifleri içeren iplikler için elektrik

direncinin L'ye olan bağımlılığının doğrusal olmadığı bulunmuştur. Çalışmanın temel amacı, bu anormal uzunluk bağımlılığını tanımlayan basit mekanistik modelin oluşturulmasıdır. Bu modelin karakteristik parametresi, özgül rezistivite (α) olarak adlandırılmıştır. Çalışmada, iletken elyafların rastgele dağıldığı elektro-iletken ipliklerin üretilmesi için geleneksel harmanlama ve eğirme teknikleri uygulanmıştır. Paslanmaz çelik/polipropilen liflerinden oluşan hibrid ipliklerin elektrik direnci [R], farklı (0.01; 0.025; 0.05; 0.075; 0.1; 0.125; 0.15; 0.175; 0.20; 0.25; 0.3 ve 0.35 m) uzunluklarda iki uç yöntemi ile ölçülmüş ve direncin uzunluğa bağlı değişimi geliştirilen model ile incelenmiştir. Üretilen çelik/polipropilen iletken ipliklerin kuadratik modele uygun olduğu belirlenmiştir. Hesaplanan özgül öz direnç faktörünün, sızdırmazlık eşiğinin tahmini için, yani bu ipliklerin birleşiminin optimizasyonunda kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Bu çalışmada sızdırma eşiği, iletken bileşenin yaklaşık % 10'u olarak bulunmuştur. Elektrik direncinin sıkıştırma (clamping) uzunluğunun artmasıyla arttığı gözlenmiş; metal lif yüzdesinin artmasıyla iletkenliğin arttığı, özgül direnç faktörünün ise azaldığı belirtilmiştir.

Bekaert firmasından Holvoet ve Verstraeten (2006) yaptıkları patent çalışmasında, demet halinde çekilmiş metal lifleri, en az üç eş merkezli metal katman (bir öz tabakası, bir yüzey tabakası ve en az bir ara tabaka) içeren radyal kesit alana sahip olarak elde etmişlerdir. Yüzey tabakası demetten çekilen metal lifin dış yüzeyini oluşturmaktadır ve metal lifin eşdeğer çapının % 30'undan daha az bir ortalama kalınlık değerine sahiptir. Demet halinde çekilme işlemi için, en az üç katmandan oluşan metal liflerin etrafı kimyasal madde ile kaplanmaktadır. Ardından istenilen çapa gelinceye kadar çekim işlemi gerçekleştirilmektedir. Çekme işleminden sonra kompozit telin etrafındaki tabaka ve makriks temizlenmektedir. Elde edilen demet halindeki lifler istenilen miktarda bükülerek iplik üretilmektedir. Böylece demet halinde çekilmiş lifler, ince ve eşit çaplarda daha uygun formda elde edilmiş olmaktadır (Holvoet ve Verstraeten, 2006).

Çakar vd. (2006) yaptığı çalışmada, yalıtkan bir malzeme olan naylon 6'nın elektrik akım direnci ağırlık olarak % 5 oranında karbon siyahı katkısıyla yarı

iletken seviyesine çekilmiştir. Ağırlık olarak % 10 ve daha fazla karbon siyahı içeren kompozitlerin elektriksel özellikleri çok fazla değişmemektedir. Kompozitlerin karbon siyahı oranına paralel olarak iletkenliğinin de arttığı görülmüştür. Kompozitin karbon siyahı içeriği arttıkça, çekme testi esnasında karbon siyahı kümelerinin mikro-çatlak oluşturma ihtimali artmaktadır. Oluşan mikro-çatlaklar, malzemenin mukavetini azaltır. Buradaki deneysel çalışmada, dolgu maddesi oranı arttıkça, çekme mukavemeti çok az miktarda azalmaktadır. Çekme mukavemetinden başka, karbon siyahı oranına bağlı olarak kompozitlerin çekme modüllerinin arttığı ve kopmadaki uzama değerlerinin ise saf naylon 6'ya göre etkili bir biçimde azaldığı gözlenmiştir. Çalışmada, iki değişik karıştırma yöntemi (öğütme ve mekanik karıştırma) uygulanarak epoksi reçine ve karbon siyahından oluşan iletken kaplama malzemeleri hazırlanmıştır. Deney sonuçlarına göre, öğütme yönteminin çok daha verimli olduğu anlaşılmıştır ve bu yöntem uygulanarak elde edilen malzemede kritik karışım değeri hacimce % 2 olarak bulunmuştur. Bu karışımla elde edilen malzemenin elektriksel direnci yaklaşık $10^7 \Omega \cdot \text{cm}$ 'dir. Elektriksel direnci daha fazla miktarda azaltmak için öğütme yöntemi ile hazırlanan hacimce % 2 karbon siyahı içeren örneklerle ultrasonik karıştırma uygulanmıştır. Üç farklı ultrasonik karıştırma zamanı denenmiş, fakat elektriksel özellikler üzerinde olumlu bir etki gözlenmemiştir. Karbon siyahı katılması malzemenin işlenebilirliğini zorlaştırdığı için, karbon siyahının yüzeyini değişik silan bağlayıcıları ve formamid ile değiştirerek istenen elektriksel iletkenliği daha düşük kritik bileşimlerde elde etmek amaçlanmıştır. Elektriksel iletkenlik açısından en iyi sonuç, öğütme yöntemi kullanılarak hazırlanan ve formamid ile yüzeyi değiştirilen karbon siyahı ile üretilen malzemede elde edilmiştir. Hacimce % 1 karbon siyahı derişiminde elektriksel direnç yaklaşık $10^6 \Omega \cdot \text{cm}$ olarak bulunmuştur.

Novak vd. (2003) dolgulu elektro-iletken epoksi bazlı yapıştırıcılarda, sızma (percolasyon) konsantrasyonları ve kopma uzaması arasındaki korelasyon analizini incelemişlerdir. Dolgu tipinin sızma konsantrasyonu ve elektriksel iletkenlik üzerindeki etkisini belirlemek için dört farklı iletken dolgu maddesi; karbon siyahı, grafit, gümüş kaplı bazalt partikülleri ve lifleri kullanılmıştır.

Sızma konsantrasyonları epoksi/karbon siyahı için % 14, epoksi/grafit için % 22, epoksi/gümüş kaplı bazalt partikülleri ve lifler için % 28-29 olarak bulunmuştur. Ayrıca, tüm durumlarda dolgu maddesi içeriğindeki artışla doldurulmuş reçinelerin kopma uzamasının azaldığı görülmüştür.

El-Tantawy vd. (2002) farklı konsantrasyonlarda karbon siyahı ve sinterlemenin, epoksi kompozitlerin elektriksel iletkenliği üzerindeki etkilerini, ısıtma ve soğutma çevrimleri sırasında sıcaklığın bir fonksiyonu olarak araştırmışlardır. Artan karbon siyahı içeriği ile elektriksel iletkenliğin arttığı görülmüştür. Ayrıca, elektrik iletkenliğinin sıcaklık bağımlılığının karbon siyahı konsantrasyonuna bağlı olduğu ve sinterleme prosesi ile geliştirilebildiği bulunmuştur. Ayrıca, epoksi-karbon siyahı kompozitlerin iyi termal stabilite gösterdiği sonucuna varılmıştır.

İletken tekstillerin tekstil olarak nitelendirilebilmeleri için; esneklik, burulma gibi etkiler altında kalıcı deformasyona karşı direnç yeteneğinin olması ve gerilme-uzama özelliklerinden en az birini koruması gerekmektedir. Ayrıca elektronik tekstiller, esneklik açısından değerlendirildiğinde ürünün giyilebilir, hafif, rahat ve sağlam olması gerekmektedir (Orth ve Post, 1997). Metal tel içerikli iplikler kullanılarak elde edilen iletken tekstil yapılarına ilişkin çalışmalar, genel olarak bu yapıların elektriksel iletkenlik, elektromanyetik ve elektrostatik kalkanlama özelliklerini incelemek amacıyla yapılmıştır. Ancak, fonksiyonel özelliklere sahip tekstil yapıların giysi üretiminde kullanımı amaçlandığında, söz konusu yapıların fiziksel performansları, estetik özellikleri ve konfor özellikleri de önemli olmaktadır (Erdumlu ve Sarıçam, 2015).

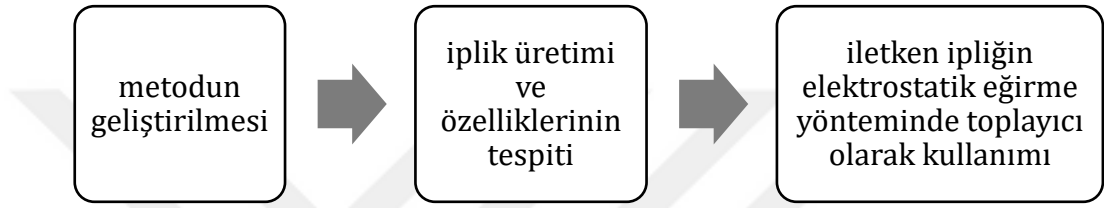
Literatür çalışmasının sonucu olarak; fonksiyonel özelliklerin, çeşitli özelliklere sahip liflerin karıştırılması, özlü iplik eğirme metodu, katlama veya sarma yöntemlerinin yanı sıra fonksiyonel malzemeler ile iplik veya kumaşların kaplanması, lif çekimi gibi yöntemlerle elde edildiği belirlenmiştir. Tekstil sektöründe, üretimin daha kaliteli ve düşük maliyetle yapılabilmesi için her geçen gün yeni araştırmaların yapıldığı gözlenmiştir. Bu konuda, yeni üretim yöntemlerinin geliştirilmesinin yanı sıra, mevcut sistemlerin iyileştirilmesi de

önem kazanmaktadır. Çünkü, yeni üretim yöntemleri çoğu zaman yüksek yatırım maliyeti gerektirmektedir. Bu bağlamda, klasik ring iplik eğirme makineleri hibrit iplik üretimi için daha uygundur. İncelenen çalışmalarda, bu tez çalışması kapsamında öngörülen yönteme dair bulguya rastlanamamıştır. Bu nedenle, çalışmanın literatüre önemli bilgi ve bulguların kazandırılmasına fırsat sağlayacağı düşünülmektedir.



3. MATERYAL VE METOT

Bu tez çalışmasında, çeşitli fonksiyonel özellik/özellikler sağlayan malzemelerin kesikli liflerin eğrilmesi sırasında lif demetine uygulanması ile fonksiyonel iplik üretilmesine imkan sağlayan bir metodun geliştirilmesi amaçlanmıştır. Tez çalışmasında, metodun geliştirilmesi açısından öncelikle iletken özelliğe sahip iplik üretimine odaklanılmıştır. Tez kapsamında yapılan çalışmalar üç bölümden oluşmaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Tez kapsamında yapılan çalışmaların şematik gösterimi

3.1. Materyal

Bu çalışmada, fonksiyonel iplik üretimine imkan sağlayan inovatif bir metodun geliştirilmesi ve bu metod kullanılarak iletkenlik fonksiyonuna sahip iplik üretiminin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. İletkenlik sağlayıcı malzeme olarak, özellikle ucuz ve kolay temin edilebilir olması nedeniyle "karbon siyahı" tercih edilmiştir. Karbon siyahının liflere entegre edilebilmesi için sulu bir dispersiyon veya solüsyon formunda olması gerekmektedir. Bu nedenle, içerisinde belirli miktarda karbon siyahı bulunan su veya farklı bir çözücü ortamında homojen bir şekilde dağılmış bir dispersiyonun hazırlanması gerekmektedir. Bu tez çalışmasında, çözücü olarak ethanol (C_2H_6O) kullanılmıştır. Öte yandan, metodun farklı liflerdeki çalışma davranışı ile elyaf türü açısından sınırlaması olup olmadığının belirlenmesi amacıyla çeşitli elyaflar (% 100 pamuk, % 70/30 pamuk/PES, % 100 PES, % 100 akrilik, % 100 viskon) kullanılmış ve hazırlanan karbon siyahı dispersiyonu söz konusu liflere uygulanmıştır. İpliklerin iletkenlik başta olmak üzere çeşitli özellikleri incelenmiştir. Üretilen iplikler, iletkenlik yanında farklı özelliklerin

kazandırılması veya iletkenliklerinin daha da iyileştirilmesi amacıyla, elektrostatik lif çekimi yönteminde toplayıcı olarak kullanılmıştır. Bu bölümdeki denemelerde, özellikle kompozit veya hibrit bir yapıya sahip ipliklerin eldesinin mümkün olup olmadığı araştırılmıştır.

3.1.1. Karbon siyahı

Karbon siyahı; elastomerler, plastik, boya maddeleri, elektriksel ve optik özellikli materyaller içerisinde dolgu maddesi olarak kullanılarak UV koruma, elektriksel iletkenlik, renk verme, ışık geçirmezlik ve sağlamlık gibi pek çok özellik sağlamaktadır. Karbon siyahında kullanıldığı alana göre dikkat edilmesi gereken en önemli parametreler; partikül boyutu, morfolojisi ve mikro yapısıdır (Şekil 3.2). Bunun yanında yüzey yapısı ve yüzey alanı diğer önemli faktörlerdir. Karbon siyahı taneleri birbirlerine zincir şeklinde bağlanarak, kümeler oluşturmaktadırlar. Bu kümeler adeta üzüm salkımı gibidir. Kümeleşme ne kadar fazla ise yapı o kadar yüksektir. Yüksek yapılı yani çok fazla agrega kollarından oluşan karbon siyahı daha sert ve elektrik iletkenliği daha fazladır (Akyıldız, 2011).



Şekil 3.2. Karbon siyahı granülleri

Karbon siyahının fiziksel özellikleri, kullanım alanlarına göre farklılıklar göstermektedir. Karbon siyahı, sahip olduğu Van der Waals bağları sayesinde çok daha büyük (5000 nm ve üstü) topak veya aglomere yapı halinde bulunabilmektedir. Aynı zamanda, karıştırma veya pelletleme işlemleri sırasında kolayca ayrılabilir. Dünyada ticari olarak üretilen karbon siyahı türlerinin genel olarak boyutu, 10-500 nm arasında değişmektedir. Karbon siyahının partikül boyutu, elde edilme yöntemlerine göre de değişiklik göstermektedir (Parkash, 2010). Bu tez çalışmasında kullanılan ve Nanografi

Nano Teknoloji Bilişim İmalat ve Danışmanlık Ltd. Şti.'den temin edilen karbon siyahı granüllerine ait teknik özellikler Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Kullanılan karbon siyahı granüllerinin teknik özellikleri

Saflık	≥ % 95
Toplam yüzey alanı	min 1000 m ² /g
Kütle yoğunluk	450 ± 20 kg/m ³
Partikül boyutu	0.36 - 0.6 mm
Özdirenç	0.2 (Ω.cm)
Renk	siyah
Şekil	toz
Kül oranı	max % 12
Nem oranı	max % 4
İyot no.	min 1050 m ² /g

Karbon siyahı, organik pigmentlere göre daha yüksek boyama gücüne sahiptir ve yaygın olarak mürekkep, püskürtmeli mürekkep veya toner için siyah pigment olarak kullanılmaktadır. UV radyasyona (güneş ışığı) maruz kalan su borularının polimer bozulması ve mekanik dayanım sonrası bozulmalara karşı korunması yanında yaygın olarak reçine ve filmlerde, özellikle hava direnci gerektiren otomobil tamponları, tel kaplama ve çelik boru astarları gibi pek çok plastik eşya üretiminde de kullanılmaktadır. Ayrıca karbon siyahı pek çok üründe iletkenliği sağlayan yarı iletken bir malzemedir ve plastik eşya yapımında antistatik özelliğinden dolayı tercih edilmektedir (Parkash, 2010; Akyıldız, 2011).

İnsan sağlığına etkileri; karbon siyahının akut toksisitesini incelemek amacıyla yapılan bir çalışmada fırın ve kanal yöntemiyle elde edilen karbon siyahlarının sulu çözeltileri hazırlanmış ve oral yolla farelere verilmiştir. Çalışmada, 10 g/kg vücut ağırlığını geçmediği sürece toksik etki gözlenmemiştir. Fare ve tavşanlar üzerinde yapılan bir başka çalışmada ise, vücuda peritondan enjekte edilen karbon siyahının sulu çözeltisinin herhangi bir iltihaba neden olmadığı ve deri ile temasında da herhangi bir irritasyon olmadığı görülmüştür. Ancak Romanya'da lamba yöntemi ile çalışan bir karbon siyahı fabrikasında karbon siyahına uzun süre maruz kalmış işçilerde, hiperkeratozik lezyonlar (deride

kabarmalar) görülmüştür. Karbon siyahının 1-5 µm çapındaki tanecikleri, soluma yoluyla bronşitlerde birikmektedir. Burundaki partiküller ise burun boşluğu ve gırtlakta mukoza yardımıyla temizlenerek yutulmakta ve sindirim sistemine kadar gitmektedir. Alveollerdeki partiküllerin temizlenmesi, aylar almaktadır. Yapılan araştırmalarda, lastik üretiminde karbon siyahı ile çalışanlarda kronik solunum rahatsızlıklarına, çeşitli kanser tiplerine ve kardiyovasküler sistem rahatsızlıklarına rastlanmıştır. Ancak bu durumun birincil sebebi karbon siyahı değil çalışanların ortamdaki çözücülere uzun süreli maruz kalmasıdır (Akyıldız, 2011).

3.1.2. Çözücüler

Karbon siyahı solüsyonunun hazırlanması işleminde, Sigma-Aldrich firmasından temin edilmiş ethanol (C_2H_6O), elektrostatik lif çekim işleminde kullanılacak polimer solüsyonunun hazırlanmasında ise Merck Co. (Almanya) firmasından temin edilmiş N,Ndimethylformamide (DMF) çözücü olarak kullanılmıştır. Kullanılan çözücülere ait teknik özellikler, Çizelge 3.2 ve 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Ethanol çözücüsünün teknik özellikleri

Saflık	≥ % 99.9
Molekül ağırlığı	46.07 g/mol
Yoğunluk	0.79 g/cm ³ (20 °C)
Erime noktası	-114.5 °C
Buhar basıncı	59 hPa (20 °C)

Çizelge 3.3. DMF çözücüsünün teknik özellikleri

Saflık	≥ % 99.8
Molekül ağırlığı	73.09 g/mol
Yoğunluk	0.94 g/cm ³ (20 °C)
Erime noktası	-61 °C
Buhar basıncı	3.77 hPa (20 °C)

3.1.3. Poliüretan (PU) ve poliakrilonitril (PAN)

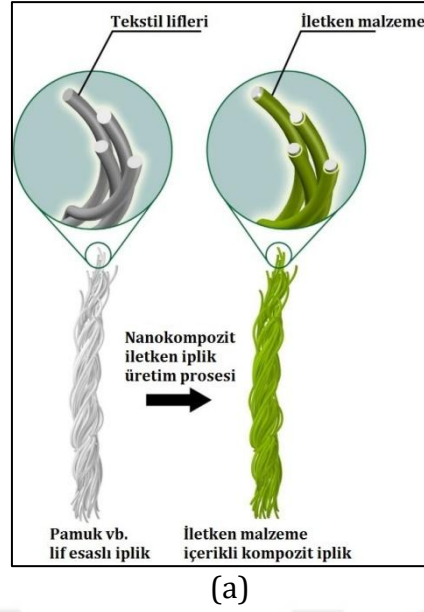
Tez çalışmasında, fonksiyonel iplik üretimine yönelik olarak geliştirilen metot ile üretilen iletken ipliklere farklı özellikler kazandırmak ve böylece farklı kullanım alanları sağlamak amacıyla elektrostatik lif çekim yöntemiyle nanoliflerle kaplanması amaçlanmıştır. Konvansiyonel ring iplik eğirme makinesinin modifikasyonuna dayanan metot ile üretilen iletken ipliklerin, elektrostatik lif çekim yönteminde toplayıcı olarak kullanılması planlanmıştır. Elektrostatik lif çekim yöntemi ile ilgili yapılan denemelerde, polimer olarak poliüretan granülleri ve poliakrilonitril (PAN) kullanılmıştır. Poliüretanın bu çalışmada kullanılmasının öncelikli sebepleri, elektrostatik lif çekimi ile kolay çekilebilen ve sağlığa uygun bir malzeme olmasıdır. Çalışma kapsamında kullanılan poliüretan, polyester esaslı termoplastik yapıdadır (Polyester-based TPU C95) ve BASF Corporation (Almanya) firmasından temin edilmiştir. Bir lineer segmentli blok polimer olan Polyester-based TPU C95 sert ve esnek (yumuşak) segmentlerden oluşmaktadır ve aşınma direnci, kimyasal direnç, berraklık ve gerilme direncine sahiptir. Polimerin bu özellikleri tekstil, membran yapıları, koruyucu giysiler ve filtrasyon gibi birçok farklı alanda kullanılabilmesi için gerekli olan kimyasal yapıyı oluşturmaktadır. Polyester esaslı termoplastik poliüretanın ortalama molekül ağırlığı 107,010 g/mol ve polidispersite indeksi (PDI) ise 1,81 dir. Çalışma kapsamında kullanılan poliakrilonitril ise Sigma-Aldrich firmasından temin edilmiştir. Ortalama molekül ağırlığı, 150.000 (tipik) mol; yoğunluğu, 25°C'de 1.184 g/mL; geçiş sıcaklıkları ise T_m 317 °C, T_g 85 °C'dir.

3.2. Metot

Bu tez çalışmasında, fonksiyonel iplik üretimine yönelik olarak yenilikçi bir iplik üretim metodunun geliştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada, elektronik veya iletken tekstillerin önemli hale gelmesi ve giyilebilir elektroniklere karşı artan ilgi sebebiyle iletken özelliğe sahip fonksiyonel iplik üretim amacına odaklanılmıştır. Bugün elektronik tekstil uygulamalarında, hafiflik ve rahat kullanım özellikleri yanında sürtünme veya sık yıkanmadan dolayı oluşabilecek

aşınma ve deformasyona karşı direnç beklenmektedir (Uçar, 2012). Nanoteknoloji sayesinde iletken tekstil ürünlerin eldesi alanında önemli ilerlemeler sağlanmış olmasına karşın; hafiflik, esneklik, eğilip bükülme, katlanma ve yıkanabilme yönünden üretilen ürünler halen yeterli olmayıp, beklentileri karşılayamamaktadırlar. Dolayısıyla, elektronik tekstillerin tekstil materyallerinin esneklik, dökümlülük, eğilip bükülebilme, yıkama ve sürtünme gibi etkiler sonucu ortaya çıkan deformasyonlara dayanıklı, incelik ve hafiflik gibi özelliklerinden kayıp vermeden elde edilmesi gerekmektedir. Elektronik tekstil ürünleri üretiminde, tekstil materyallerine elektrik iletkenliğinin kazandırılması için çeşitli metotlar kullanılmaktadır. Bu metotlar içerisinde, bir tekstil yapısında metalik tel kullanımı, iplik/kumaşlara iletken malzeme emdirme veya kaplama ve iletken polimerlerden lif çekimi en yaygın olanlarıdır. Ayrıca elektronik bileşenlerin konvansiyonel dielektrik kumaşlara devre olarak gömülmesi bir diğer uygulama yöntemidir. Ancak, var olan uygulama örnekleri ve sağlanan iyileşmelere rağmen kullanılan metal, iletken polimer ve nanopartikül esaslı malzemelerin yetersiz uzama özellikleri nedeniyle giysi konforu ve ürün ömrü azalmaktadır. Buna ilaveten, sürtünme, deformasyon gibi etkiler sonrasında meydana gelen kırılmalar sonucu e-tekstil ürünün işlevi de riske girmektedir. Dolayısıyla, direkt olarak giyilebilen, hafif ve esnek aynı zamanda da vücutla birlikte şekil alan sistemlerden oluşan giyilebilir elektroniklerin üretimi, bu alandaki nihai hedeflerden biridir.

İki boyutlu yapılara kıyasla tek boyutlu iplikler, yeterli elastikiyet ve çeşitli yapıların içerisine kolay bir şekilde entegre edilebilme avantajlarına sahiptir. Bu nedenle, tez çalışmasında esneklik ve dayanıklılık gibi birçok tekstil özelliğini korumak için elektronik fonksiyonların lif seviyesinde entegre edilmesi tercih edilmiştir. Bu noktadan hareketle, çalışmada eğirme prosesi ile iletken iplik üretimine imkan sağlayan bir metodun geliştirilmesine odaklanılmıştır. Metot, istenilen fonksiyonel özelliğe uygun polimer, partikül vb. bir malzemenin iplik eğirme işlemi sırasında açık haldeki kesikli elyaf demetine uygulanması ve daha sonra ipliğin bükülerek sarılması esasına dayanmaktadır (Şekil 3.3).

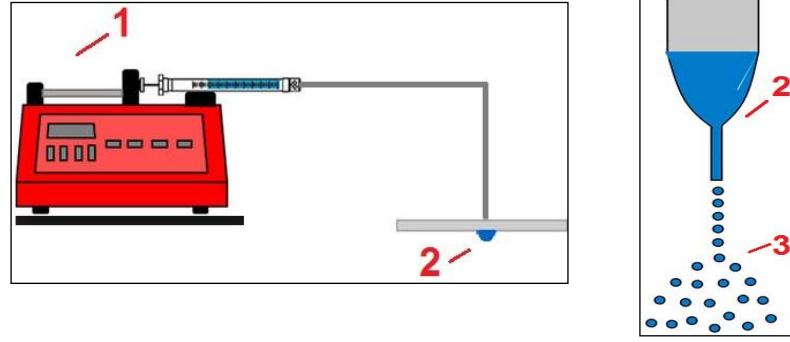


Şekil 3.3. İletken iplik üretimine yönelik geliştirilen alternatif metot (a) ve üretilen iplik numunesi (b)

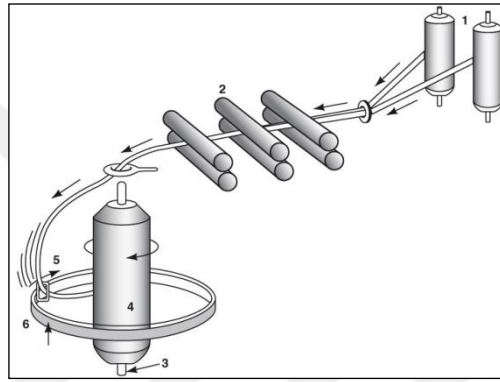
Tez çalışmasında; iletkenlik özelliğe sahip polimer, partikül vb. malzemeler ile kaplama, emdirmeye, özlü iplik üretimi, iletken lif karışımları gibi mevcut yöntemlerden farklı olarak lif bazında iletkenliğin kazandırılması konusunda çalışılmıştır. Eğrilmiş ipliklerin boşluklu, nefes alabilir, hacimli, esnek ve eğilip bükülebilen yapılarının faydalı olacağı düşünülmüş ve bu nedenle kesikli liflerden iplik eldesine imkan sağlayan konvansiyonel ring iplik eğirme işlemi kullanılmıştır. Açık haldeki elyaf demetine iletken özelliğe sahip malzeme içeren bir dispersiyonun uygulanması esasına dayanan alternatif bir yöntem geliştirilmiştir. Yöntemde prensip, iletken malzeme içeren bir dispersiyon hazırlanması ve dispersiyonun ring iplik üretimi sırasında açık haldeki elyaf demetine özel bir aparat ile farklı besleme hızlarında (30.000-70.000 mL/h) uygulanmasıdır. Dolayısıyla, yöntemde iletken malzemeden oluşan sulu bir dispersiyon hazırlanmaktadır. Hazırlanan dispersiyonun, elyaf demetine uygulanabilmesi için besleme pompası ve düzeden oluşan özel bir besleme aparatı tasarlanmıştır (Şekil 3.4). Besleme pompası (1) istenilen miktarda ve kontrollü bir şekilde dispersiyonun elyaf demetine beslenmesini, düze (2) ise karışımın açık haldeki elyaf demetine applike edilmesini sağlamakla görevlidir. Geliştirilen besleme aparatı, taşınabilir olup, istenilen aplikasyon noktasına yerleştirilebilmektedir. Yöntem, nanolif çekiminde yaygın olarak kullanılan

elektrostatik lif çekimi metodundan esinlenerek geliştirilmiştir. Dolayısıyla, besleme pompası ve düzenin kullanılması açısından yöntem elektrostatik lif çekim metoduna benzerlik göstermektedir.

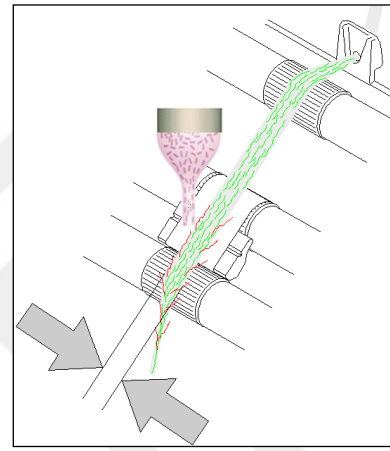
İplik üretimi için konvansiyonel ring iplik eğirme sistemi kullanılmıştır (Şekil 3.5). Ring iplik eğirme sisteminin tercih edilmesinin nedenlerinden biri, kesikli liflerden elde edilen ipliklerin yapı ve özelliklerinin iletken tekstil yüzeylerine yapacağı olumlu katkılardır. Diğer bir neden ise ring iplikçiliğin dünyada ve ülkemizde en yaygın olarak kullanılan iplik eğirme metodu olması ve hemen hemen her iplik işletmesinde kullanılması nedeniyle geliştirilen yöntemin gelecekte ticarileşme olanağının bulunmasıdır. İplik üretimi sırasında iletken malzeme uygulamasının hangi aşamada yapılacağının belirlenmesinde; iplik üretiminin tamamlandığı, bükümlü ve kompakt bir forma sahip iplik formundan ziyade özellikle açık elyaf demetine odaklanılmıştır. Bu nedenle, taşınabilir besleme aparatı, ring iplik eğirme makinesinin çekim sistemine yerleştirilmiştir. Bilindiği gibi ring iplik üretiminde, çağlığa asılan fitil masurasından (1) çıkan fitil ön ve ana çekim işleminden (2) geçirilerek, istenilen iplik inceliğine getirilmekte ve daha sonra iğ-bilezik-kopça üçlüsü (3, 5, 6) ile bükülüp kops halinde (4) sarılmaktadır (Şekil 3.5a). İplik üretimi sırasında, ipliğin sadece dış değil iç kısmında yer alan liflere de iletken malzeme içeren dispersiyon uygulamasının gerçekleştirilebildiği ve liflerin açık bir formda bulunduğu ana çekim bölgesi tercih edilmiştir (Şekil 3.5b). Pamuk, polyester veya viskon fitilleri ön (kırıcı) çekim işleminden geçirildikten sonra ana çekim bölgesinde, çekilmiş açık haldeki elyaf demetine besleme aparatı ile sulu iletken dispersiyonu aplike edilmiştir. Ana çekim bölgesinde yapılan aplikasyon sonrasında iplikler, ön çekim silindirisinin çıkışında iğ-bilezik-kopça sayesinde oluşan büküm ile bükülmüş ve daha sonra iplik klavuzdan geçip kopsa sarılmıştır.



Şekil 3.4. Özel besleme aparatı



(a)



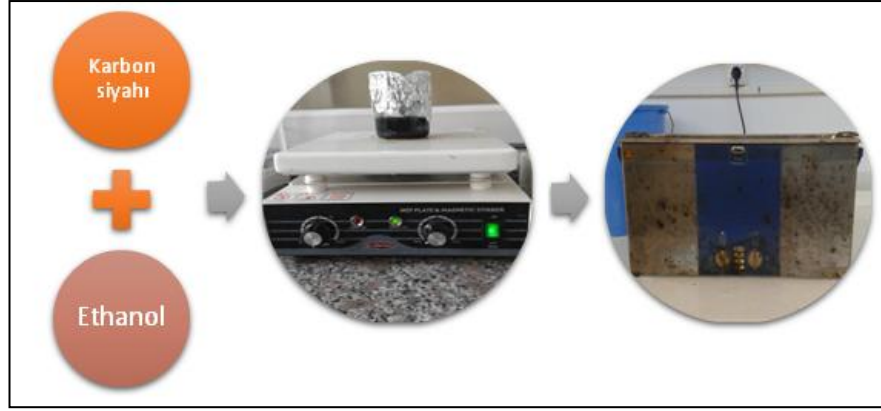
(b)

Şekil 3.5. Konvansiyonel ring iplik eğirme sistemi (a) ve çekim bölgesi (b)

3.2.1. İletken çözeltinin hazırlanması

İletkenlik özelliğinin elde edilmesi amacıyla, ucuz ve temin edilmesi kolay olduğu için tez çalışmasında karbon siyahı (tozu) kullanılmıştır. Karbon siyahının kesikli tekstil liflerine uygulanabilmesi için, sulu bir çözelti haline getirilmesi gerekmektedir. Tez çalışmasında, ilk olarak ethanol ile çözeltiler hazırlanmıştır. Uygulama sırasında, yaş bir ortamın neden olacağı problemleri elimine etmek amacıyla uçucu özelliği nedeniyle ethanol tercih edilmiştir. Bununla birlikte, tez çalışmasının devamında yapılan çalışmalarda su ortamında hazırlanan iletken diğer malzemelerle çalışmalar yapılmış ve suyun eğirme işleminde probleme neden olmadığı gözlenmiştir. Çözeltiler, Süleyman Demirel Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Laboratuvarında bulunan manyetik karıştırıcı

ve Çevre Mühendisliği Laboratuvarında bulunan ultrasonik karıştırıcı kullanılarak hazırlanmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. İletken çözeltinin manyetik ve ultrasonik karıştırıcı kullanılarak hazırlanması prosesi

İletken malzemesinin elyaf demetine uygulanmasında, özellikle içerisinde homojen dağılmış bir dispersiyonun hazırlanmasına önem verilmiştir. Bu nedenle, farklı karıştırma süresi, iletken malzeme ve etanol miktarı gibi dispersiyon hazırlık parametreleri konusunda çeşitli denemeler yapılmıştır. Denemelere ilk olarak 30 mL'lik % 1 konsantrasyonda karbon siyahı/etanol karışımının manyetik karıştırıcıda 2 saat karıştırılması ile başlanmıştır. Bu deneme sonucunda, çözeltide homojen karışımın elde edilememesi nedeniyle çökme olayının meydana geldiği gözlenmiştir. Bu soruna çözüm olarak, manyetik karıştırıcı sonrasında ultrasonik karıştırıcının kullanılması tercih edilmiştir. Bu doğrultuda çözelti, 3 saat manyetik karıştırıcıda karıştırılıp, ardından 1 saat ultrasonik banyoda karıştırılarak hazırlanmıştır. Bu denemede, ultrasonik karıştırıcının önemli etkisi gözlenmiş ve manyetik karıştırıcı süresinin kısaltılarak, ultrasonik banyodaki karıştırma süresinin artırılmasına karar verilmiştir. Minimum karbon siyahı kullanımı ile iletken iplik üretimi amacına yönelik olarak farklı konsantrasyonlarda (% 0.5 - % 0.75 - % 1.0) denemeler yapılmıştır. Her bir konsantrasyon çeşidine ait ayrı bir reçete belirlenmesi gerektiği gözlenmiştir. Reçete belirlenmesi sürecine 30 mL'lik % 0.5 konsantrasyonda karbon siyahı/etanol karışımının 2 saat manyetik karıştırıcı, 75 dakika ultrasonik banyo kullanılarak hazırlanması ile devam edilmiştir. Daha sonra, bu gözlemler ve iyileştirmeler sonucunda çözelti

hazırlama reçetesi optimize edilmiştir. Optimizasyon sonucu çözelti hazırlama; 1 saat manyetik karıştırıcı ardından 90 dakika ultrasonik banyoda karıştırma aşamalarıyla sabitlenmiş ve tez çalışmasındaki deneme üretimleri gerçekleştirilmiştir (Çizelge 3.4).

Dolayısıyla, iletken iplik üretimine yönelik olarak geliştirilen alternatif metotta iletken dispersiyonun hazırlanması;

- Karıştırıcı türü,
- Karıştırma süresi,
- İletken malzeme miktarı (karbon siyahı),
- Çözücü miktarı (ethanol) parametrelerinden oluşmaktadır.

Çizelge 3.4. Optimize edilen iletken dispersiyonu

Karbon siyahı miktarı (%)	Karışım miktarı (mL)	Ethanol miktarı (mL)	Karıştırıcı türü	
0.50	30	29.85	manyetik	60 dakika
	40	39.8		
	50	49.75		
	60	59.7		
0.75	30	29.77	ultrasonik	90 dakika
	40	39.7		
	50	49.62		
	60	59.55		
1.0	30	29.7	ultrasonik	90 dakika
	40	39.6		
	50	49.5		
	60	59.4		

3.2. İletken çözeltinin elyafa uygulanması

Literatürdeki çalışmalar yanında bugün mevcut ticari uygulamalarda, kaplama başta olmak üzere kullanılan yöntemlerde iletken malzeme içeren bir çözelti ipliğin/kumaşın dış yüzeyine uygulanmaktadır. Bununla birlikte, genellikle kumaşa emdirme işlemi yapılmaktadır. Ancak, bu yöntemlerde tekstil materyalinin esnekliğinden kayıp verilmesi, yıkama sonrasında fonksiyonelliğin azalması gibi önemli sorunlarla karşılaşmaktadır. Bu nedenle, son yıllarda

araştırmalar ipliğin fonksiyonel hale getirilmesi konusunda yoğunlaşmaktadır. Yapılan bu tez çalışmasında da, mevcut metotlara alternatif olarak, eğirme işlemi sırasında açık durumda olan elyaf demetine iletken özelliklere sahip nanopartiküller eklenmiş ve ipliğin i ve dış yapısına iletkenliğin kazandırılması konusunda çalışmalar yapılmıştır. Yöntem yaygın olarak kullanılan kaplama, zl iplik üretimi, iletken lif karışımları gibi metotlardan farklı olup, yapıyı oluşturan tüm liflerin her birinin iletken olması prensibine dayanmaktadır. Bu yapının, meydana gelen kırılmalar nedeniyle iletkenlik performans azalışının önüne geçeceği düşünülmektedir.

Tez çalışmasında besleme sistemi ile belirli miktarda beslenen zlti, çalışma kapsamında tasarlanan ve imal edilen bir sabitleme aparatına yerleştirilen iğne vasıtasıyla konvansiyonel ring iplik eğirme sisteminin büküm işlemi öncesinde elyaf demeti açık formda iken uygulanmıştır. İğnenin elyaf demetinin tam orta noktasına ayarlanmasıyla, zltinin elyaf demetinin genişliği boyunca yayılarak tüm elyaflara aktarılması sağlanmıştır. İletken zltinin elyafa uygulanması için kullanılan besleme sistemi; besleme pompası, hortum, bir şırınga ve bir iğneden oluşmaktadır. Hazırlanan zlti, şırınga içerisine alınıp besleme pompasına yerleştirilmekte ve 0.8 mm çapa sahip iğne vasıtasıyla farklı besleme hızlarında (30.000-70.000 mL/h) elyafa uygulanmaktadır.

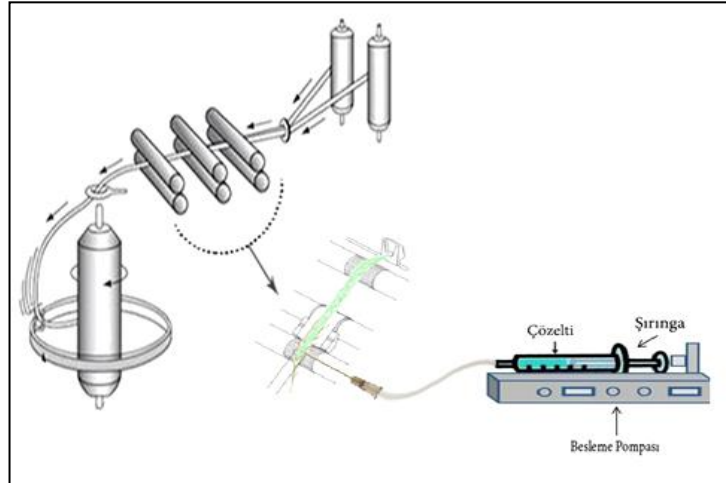
3.2.2. İletken özelliğe sahip fonksiyonel ipliğin retimi

İletkenlik sağlayan fonksiyonel iplik retimi, Süleyman Demirel Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Laboratuvarı Penye İşletmesinde bulunan Rieter G10 model ring iplik eğirme makinesinde gerçekleştirilmiştir (şekil 3.7).



Şekil 3.7. Rieter G10 model ring iplik eğirme makinesi

Konvansiyonel ring iplik eğirme makinesi, birkaç silindir çiftinden oluşan çekim sistemi, büküm ve sarım mekanizmalarından oluşmaktadır. Doğal ve sentetik lifler kullanılarak çok çeşitli inceliklerde, iplik üretimi yapılmaktadır. Bu çalışmada, iletken iplik üretimi için konvansiyonel ring iplik eğirme sistemi üzerinde modifikasyon yapılmıştır. Modifikasyonda, eğirme makinesine iletken bir malzemenin uygulamasına yönelik bir aparat ilave edilmiştir. Karbon siyahı dispersiyonu, tasarlanan aparat sayesinde çekim bölgesinden geçen elyaf demetine beslenmiş ve eğrilerek iplik üretimi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. İletken iplik üretiminin şematik görünümü

Çalışma kapsamında, % 100 pamuk, % 70/30 pamuk/PES, % 100 PES, % 100 akrilik ve % 100 viskon olmak üzere beş farklı fitil numunesi kullanılmış ve Ne 30/1 numara iplikler üretilmiştir. İplik üretiminde problem yaşanmamasına

rağmen, iletkenlik ölçümünde kullanılan uçların ipliğe tam olarak temas edememesi nedeniyle ölçümde sıkıntılar yaşanmıştır. Bu nedenle, ölçüm yapan uçların ipliği algılayabilmesi için daha kalın bir iplik numarası seçilmiş ve % 100 pamuk lifleri ile Ne 16/1 numara iplikler elde edilmiştir. İplik eğirme işleminde, iletken malzeme içeren dispersiyonun ipliğe daha fazla aplike edilebilmesi amacıyla düşük iplik üretim hızı tercih edilmiş ve 5500 dev/dak gibi düşük iş hızında çalışılmıştır. Tez çalışmasında, 6500, 7500 ve 8500 dev/dak olmak üzere toplam dört farklı iş hızında denemeler gerçekleştirilmiş ve söz konusu iş hızlarında da iplik üretiminin mümkün olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.5). Triko büküm (α_e 3.6) değerinde çalışılmış ve C tipi kopça türü, Ne 30/1 numara iplikler için 38 mm Orbit ve Ne 16/1 numara iplikler için 40 mm T-flanş bilezikler kullanılmıştır. Tez çalışmasında, dispersiyon besleme miktarı yanında farklı elyaf türü, iplik numarası ve iş hızı gibi üretim parametrelerinin etkileri incelenmiştir.

Çizelge 3.5. İletken iplik üretim parametreleri

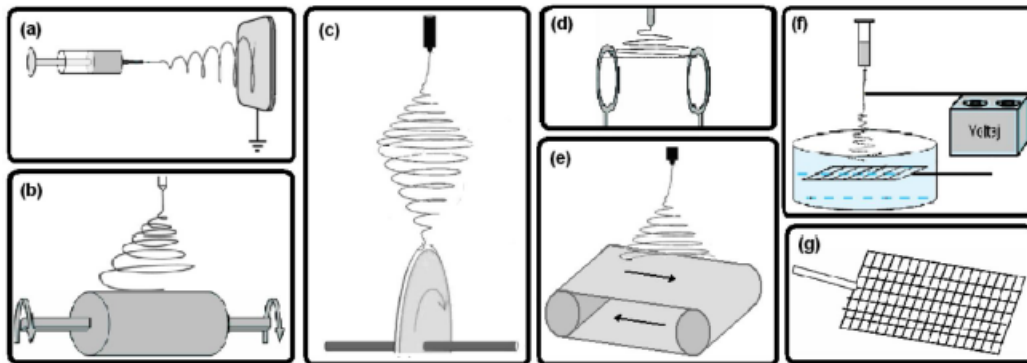
Hammadde	Fitel Numarası	Büküm Katsayısı (α_e)	Toplam Çekim	İplik Numarası
% 100 Pamuk	Ne 0.81	$\alpha_e = 3.44$	38.8	Ne30
		$\alpha_e = 3.6$	20.7	Ne16
% 70/30 Pamuk/PES	Ne 0.87	$\alpha_e = 3.44$	36.2	Ne30
% 100 PES	Ne 1.25		25.2	Ne30
% 100 Akrilik	Ne 1.25		25.2	Ne30
% 100 Viskon	Ne 1.25		25.2	Ne30

3.2.3. İletken ipliğin elektrostatik lif çekim yönteminde toplayıcı olarak kullanımı

Bilindiği gibi, elektrostatik lif çekim yöntemi başta olmak üzere farklı yöntemler ile üretilebilen nanolifler pek çok gelişmiş özellik sergilemekte olup, bu eşsiz özellikleri ile filtreler, sensörler, nano ve mikro elektrik gereçleri, elektromanyetik koruma, fotovoltailer, nanolif esaslı elektrotlar, lif takviyeli kompozitlerin yanı sıra ilaç taşıyıcı sistemler, yapay organlar ve yara örtüleri gibi biyomedikal uygulamalarda önemli bir kullanım potansiyeline sahiptir.

Elektrostatik veya elektrik alan ile lif çekimi (elektrospinning), nano boyutlu lif üretimi için en etkili ve en basit metottur. Elektrostatik lif çekim yöntemi ile ağsı doku/yığın halinde nanolifler elde edilmektedir. Son yıllarda, nanoliflerin tekstil sektöründe ağsı doku yapısının yanı sıra farklı formlarda kullanımına yönelik çeşitli araştırmacılar tarafından farklı yaklaşımlar ortaya konulmaktadır. Bu yaklaşımlardan biri de, filament, iplik ve özellikle de kumaş yüzeyinin direkt nanoliflerle kaplanması ile farklı işlevlere sahip tekstil ürünlerinin elde edilmesidir (Greiner ve Wendorff, 2007; Dabirian vd., 2012). Bu çalışmada da, iletken ipliklerin elektrostatik lif çekiminde toplayıcı olarak kullanılması ve ipliğin nanoliflerle kaplanması amaçlanmıştır. Böylece, iletkenliğin yanı sıra lif çekiminde kullanılan polimere bağlı olarak çeşitli özelliklerin ipliğe kazandırılması ve ipliklere farklı alanlarda kullanım olanağının sağlanması hedeflenmiştir. Kompozit veya hibrit özelliğe sahip iplik üretimi mümkün hale gelmiştir.

Tez çalışmasında, karbon siyahı dispersiyonu kullanılarak üretilen iletken iplikler, elektrostatik eğirme yönteminde direkt kollektör olarak kullanılmış ve iplikler poliüretan ve poliakrilonitril polimerleri ile kaplanmıştır. Elektrostatik eğirme yönteminde deneysel düzenek genel olarak; yüksek voltaj güç kaynağı, polimer besleme ünitesi ve toplayıcı kısımlarından oluşmaktadır. Günümüze kadar yöntemde, çeşitli çözelti besleme aparatları ve toplayıcı türleri kullanılmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Elektro-eğirmede kullanılan bazı toplayıcı tipleri (a) sabit plaka, (b) dönen tambur, (c) dönen disk, (d) paralel bilezikler, (e) taşıyıcı bant, (f) sıvı banyo, (g) metal ızgara (Üstündağ, 2009)

Çalışmada; literatürden farklı olarak, elektrostatik lif eğirme işlemi sırasında oluşan nano/mikro boyuttaki yüzeylerin toplanmasında kullanılan topraklanmış metal kollektör yerine, bir tekstil yapısı kollektör olarak kullanılmıştır. Bu bölümdeki denemelerde, öncelikle iletken ipliğin toplayıcı olarak kullanılıp kullanılamayacağı amacına odaklanılmış ve bu nedenle lif çekiminde tecrübemiz bulunması açısından poliakrilonitril (PAN) ve poliüretan (PU) polimerleri tercih edilmiştir. % 6'lık (ağırlıkça) PU solüsyonu, DMF çözücüsü içerisinde oda sıcaklığında yaklaşık 6 saat manyetik karıştırıcı kullanılarak hazırlanmıştır (Şekil 3.10a). Uygulanan voltaj 10 kV, iplik ile iğne arası mesafe 15 cm olup 5 dakika lif çekimi yapılmıştır. % 6'lık (ağırlıkça) PAN solüsyonu ise DMF çözücüsü içerisinde sabit bir sıcaklıkta yaklaşık 6 saat mekanik karıştırıcı kullanılarak hazırlanmıştır. Uygulanan voltaj 14 kV ve iplik ile iğne arası mesafe 15 cm olup, 5 dakika lif çekimi yapılmıştır (Çizelge 3.6). Elektrostatik lif çekiminde kullanılan deney düzeneğinde; güç kaynağı, polimer besleme ünitesi ve çözeltinin çekim bölgesine besleyen bir düze vazifesi görmek üzere 1.2 mm çapa sahip ucu kesilmiş şırınga iğnesi, toplayıcı olarak ise birbirine 35 cm uzaklıkta bulunan iki direk arasına tutturulmuş iletken iplikler kullanılmıştır (Şekil 3.10b). Lif çekiminde, daha önceki çalışmalarda optimize edilen proses parametreleri ile çalışılmıştır. Elektrostatik lif çekiminde nanolifler, herhangi bir metal yüzey kullanılmaksızın direkt olarak karbon siyahı uygulanmış iletken Ne 16/1 numara pamuk ve Ne 30/1 numara akrilik ipliklerin üzerine toplanmıştır. Nanolif çekimi sonrasında elde edilen ipliklerin görüntüleri Taramalı Elektron Mikroskopunda (SEM) incelenmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.10. Manyetik karıştırıcı ile poliüretan solüsyonunun hazırlanışı (a) ve nanolif çekiminde iletken ipliğin toplayıcı olarak kullanımı (b)

Çizelge 3.6. Elektrostatik lif çekiminde kullanılan proses parametreleri

Polimer (% 6)	Uygulanan voltaj (kV)	İğne ve toplayıcı arasındaki mesafe (cm)	Bağıl nem (%)	Ortam sıcaklığı (C°)	Akışkan hızı (ml/h)	İğne çapı (mm)
PU	10	15	65	20±2	1.00	1.2
PAN	14	15	65	20±2	1.00	1.2

3.3. Test ve Analizler

Tez çalışmasında, fonksiyonel iplik üretimine yönelik olarak geliştirilen alternatif yöntem ile üretilen ipliklerin, iletkenlik başta olmak üzere mukavemet, kopma uzaması, numara ve büküm özellikleri belirlenmiştir. İplik üretiminde iletken malzeme içeren bir dispersiyonun eğirme işlemi sırasında uygulanması nedeniyle iplik numarası ve bükümündeki değişimi görmek amacıyla iplik numara ve büküm ölçümleri yapılmıştır. Bununla birlikte, karbon siyahının ipliklerin yapısına etkisini değerlendirmek amacıyla iplik mukavemeti ve kopma uzaması özellikleri test edilmiştir. Çalışmalar, Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölüm Laboratuvarında standart atmosfer koşulları altında (20±2 °C ve % 65 bağıl nem) gerçekleştirilmiştir.

3.3.1. İplik görüntüleri

Tez çalışması kapsamında iletken iplik üretimine yönelik olarak geliştirilen alternatif metot ile üretilen ipliklerin yapılarını incelemek amacıyla, Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile iplik görüntüleri alınmıştır. Geliştirilen metot ile karbon siyahı aplike edilen ring ipliklerin görüntüleri analiz edilmiş ve herhangi bir malzeme entegre edilmeyen ring ipliklerle karşılaştırılmıştır. Tez çalışması kapsamında, üretilen iletken ring iplikler elektrostatik lif çekiminde toplayıcı olarak kullanılmış ve nanoliflerle kaplanmıştır. İpliklerin görüntüleri yine Taramalı Elektron Mikroskobunda (SEM) incelenerek, nanolif entegrasyonu ve elde edilen ipliklerin yapıları analiz edilmiştir.

3.3.2. İletkenlik ölçümü

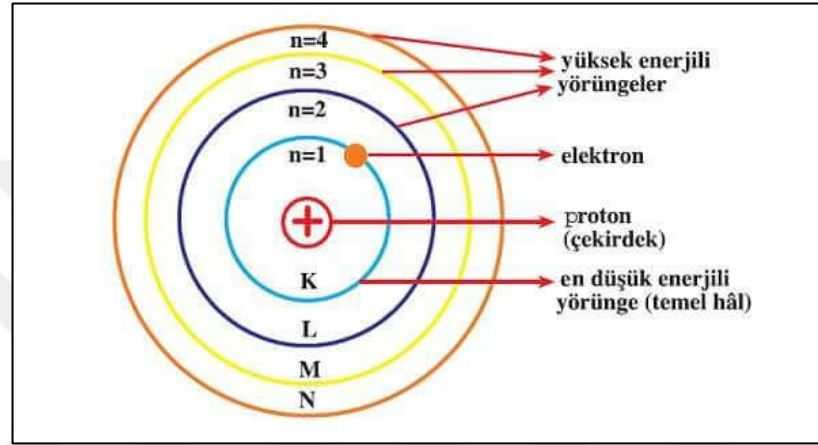
Bir katı maddenin elektrik iletme kâbiliyeti iletkenlik olarak tanımlanmaktadır. İletkenlik, maddenin yapısındaki atom ya da moleküllerin dış kabuklarında bulunan elektronların serbest hareketiyle ilgilidir. Elektrik akımını iletebilmesi veya iletememesi, bir maddenin temel özelliklerden bir tanesidir. Bu özelliğe göre maddeler; iletken, yarı iletken ve iletken olmayan (yalıtkan veya dielektrik de denilir) diye sınıflandırılmaktadır.

İletkenlik, malzeme içerisinde taşınan yüklerin (elektronların) sayısına ve hareketliliğine bağlıdır. Yalıtkanlar sıkıca bağlanmış elektronlara sahip olduklarından, elektron akışı hemen hemen hiç olmamaktadır. Malzeme, yük akışına yüksek direnç göstermektedir. İletkenlik için serbest elektronlara ihtiyaç bulunmaktadır. Metaller gibi iletken malzemelerde ise, dış elektronlar yükleri taşımakta özgürdür. Yarı iletkenler, normal şartlar altında yalıtkan (elektriği iletmeyen) özellik gösterip, dışarıdan bir etki uygulanmasıyla iletken hale gelebilen maddelerdir. Uygulanan etki sona erdiğinde, tekrar yalıtkan duruma dönmektedirler.

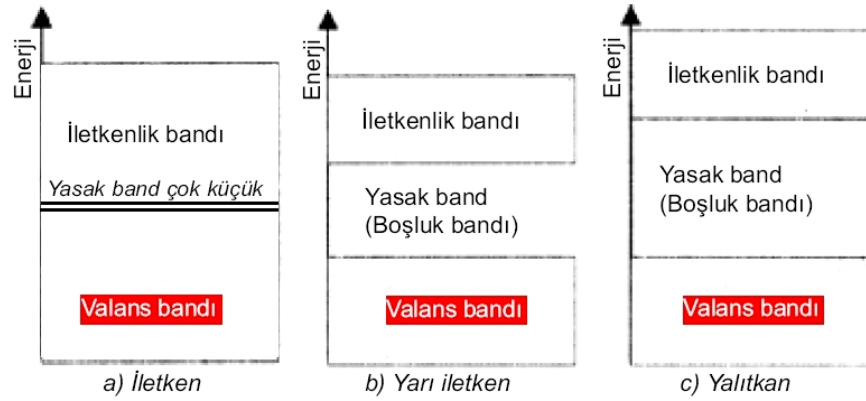
Bakır (Cu), gümüş (Ag), altın (Au), platin (Pt) ve demir (Fe) gibi yapısında d orbitali bulunan metaller (yani periyodik cetveldeki 1. ve 8. grup elementleri), yalıtkan ve yarı iletkenlere göre daha yüksek iletkenlik özelliği göstermektedirler. Yarı iletken elementler, karbon (C), silikon (Si), germanyum (Ge) ve elektrik iletkenliğinin materyalin nanokristalin yapısına bağlı olduğu bazı diğer kombine orbital yapılarını içermektedir (Kadoğlu ve Duran, 2012).

Bir elektron, çekirdekten ne kadar uzakta ise, enerji durumu da o kadar yüksektir. Herhangi bir yolla, elektronlara sahip olduğu enerjinin üzerinde bir enerji uygulanırsa, ana yörüngedeki elektron bir üst yörüngeye geçmektedir. Böylece, bir elektronun enerji seviyesi değişmektedir. Dolayısıyla, ana atomdan ayrılmış ve üst yörüngelere geçmiş olan bir elektron, atomik yapıdaki herhangi bir elektrondan daha yüksek bir enerji durumuna sahip demektir. Her yörünge, kendi alt yörüngelerine sahiptir (Şekil 3.11). Kısacası, bir atomda çok sayıda

ayrılmış, fakat birbirine yakın yerleşmiş enerji seviyeleri mevcuttur ve bunlar enerji bandı olarak isimlendirilmektedir. Valans banttaki bir elektron, çeşitli etkilerle bulunduğu enerji bandından koparılıp serbest hale gelirse, elektronun bu anda bulunduğu banda “iletim bandı” denir. Valans bandı ile iletim bandı arasındaki band ise “yasak band” olarak adlandırılmaktadır. İletkenlerde, yasak band aralığı elektronların alabileceği bir enerji seviyesine sahip değildir (Şekil 3.12).



Şekil 3.11. Bhor Atom Modeline göre elektron düzeni



Şekil 3.12. İletken, yarı iletken ve yalıtkan atomlarında enerji seviyeleri

İletkenlik, yarı iletkenlik ve yalıtkanlık kavramları; rezistivite ρ ($\Omega.m$) birimiyle aşağıdaki gibi tanımlanabilmektedir (Çizelge 3.7):

- Çok kullanılan metaller $\rho \pm 2 = 10^{-8} \Omega.m$
- Yarı iletkenler $10^{-5} \Omega.m < \rho < 10^9 \Omega.m$
- Yalıtkanlar $\rho > 10^9 \Omega.m$

Çizelge 3.7. Çeşitli malzemelerin 20 °C'deki yüzey dirençleri (Kadoğlu ve Duran, 2012).

Malzeme	Yüzey Direnci ($\Omega.m$)
Gümüş	1.59×10^{-8}
Bakır	1.68×10^{-8}
Altın	2.44×10^{-8}
Alüminyum	2.82×10^{-8}
Kalsiyum	3.36×10^{-8}
Nikel	6.99×10^{-8}
Demir	1.0×10^{-7}
Platin	1.06×10^{-7}
Kalay	1.09×10^{-7}
Kurşun	2.2×10^{-7}
Civa	9.8×10^{-7}
Karbon	3.5×10^{-5}
Cam	$10^{10} - 10^{14}$
Sert Kauçuk	10^{13}
Parafin	10^{17}
PET	10^{20}
Teflon	$10^{22} - 10^{24}$

İletkenliğin tam tersi olan direnç kavramı, en basit ifade ile elektrik akımına karşı gösterilen zorluğu ifade etmektedir. Dolayısıyla, direnç azaldıkça iletkenlik artmaktadır. Bir iletkenin direnci $R (\Omega)$;

- iletkenin uzunluğu $l (m)$,
- kesit alanı $A (m^2)$,
- telin veya ipliğin veya lifin çapı $d (mm)$
- ve iletkenin yapıldığı malzemenin öz direnci olan $\rho (\Omega.m^2/m)$ 'ye bağlıdır.

Belirli bir malzeme için belirli bir sıcaklıkta sabit olan elektrik öz direnci, şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} \quad \text{veya} \quad \rho = \frac{R \cdot A}{l} = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot R}{4l} = \Omega \cdot m \quad (3.1)$$

Elektriksel yüklerin, herhangi bir etki sonucunda bir yönde veya her iki yönde de hareketi “elektriksel iletkenlik” olarak tanımlanmaktadır (Bozoklu, 2007). Elektrik öz direncinin tersi, elektriksel iletkenlik S terimi ile ifade edilmektedir. Elektriksel iletkenliğin birimi $(\Omega \cdot m)^{-1}$ ya da SI birim sisteminde Siemens'tir.

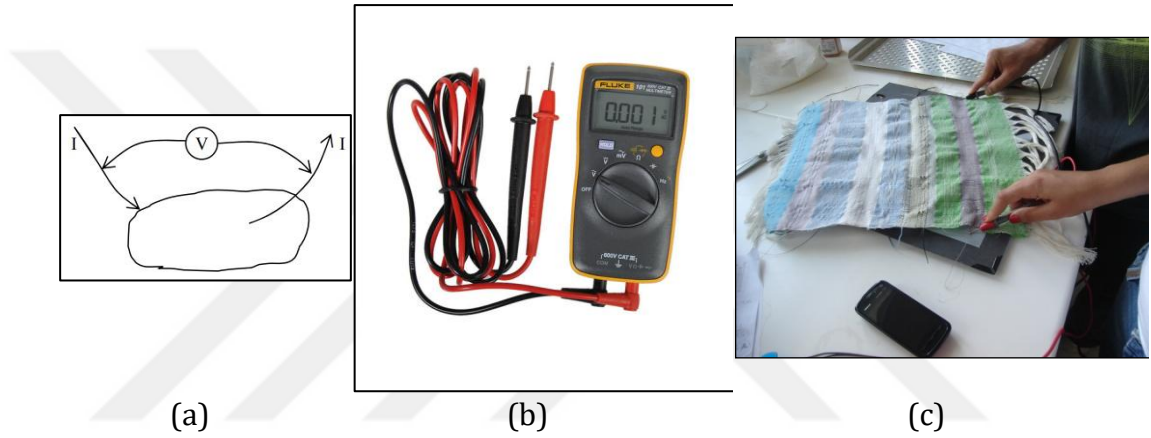
$$S = 1/\rho \quad (3.2)$$

İletkenliğin belirlenmesi için bir elektrik alan yaratacak olan bir güç kaynağına, bu elektrik alan nedeniyle numune içinde meydana gelen “I” elektrik akımının büyüklüğünün ve keyfi seçilen herhangi iki nokta arasında meydana gelen “V” potansiyel düşmesinin belirlenmesine ihtiyaç bulunmaktadır. Maddenin bu amaç için belirlenmesi gereken elektrik direnci, maddenin üzerinden geçen I akımı ve bunun meydana getirdiği V geriliminin oranı ile bulunmaktadır. Tekstillerde elektriksel iletkenlik ölçümü için farklı teknikler ve farklı cihazlar kullanılmaktadır. Tekstil ürünlerinde genellikle iletkenliğin ölçümü, iki uç (two probe) ve dört uç (four probe) tekniği olmak üzere iki yöntem ile gerçekleştirilmektedir.

İki uç yöntemi

İki uç tekniğinde, bir güç kaynağı tarafından uygulanan elektrik alanın numune içerisinde oluşturduğu elektrik akımı ve voltaja bağlı olarak elde edilen direnç değerinin ölçümü esasına dayanan benzer prensip ile ölçüm yapılmaktadır (Şekil 3.13a). Güç kaynağı ve prob olarak adlandırılan iletken iki metal uçtan oluşan Multimetre cihazı ile ölçüm yapılmakta olup, ölçüm sonucunda direnç değeri elde edilmektedir (Şekil 3.13b). Multimetre cihazında, iletken uçlar ayrı ayrı ölçümü yapılacak numunenin üzerine belirli aralık ile yerleştirilmektedir. Güç kaynağı ile numune üzerinde belirli ve sabit bir değerde elektrik alan oluşturulmaktadır. Numunenin elektrik akımının geçişine izin vermesine bağlı olarak, cihazın ekranından direnç değeri (R) elde edilmektedir (Şekil 3.13c). Multimetre cihazı basit bir yapıya sahip olduğu için yöntem, uygulama kolaylığı

avantajına sahiptir. Ancak yöntemde, ölçüm yapılacak uçlar arasındaki mesafe, uçlara uygulanan basınç ve ölçüm yapılan ortamın nem ve sıcaklık koşullarına bağlı olarak direnç değerleri değişmektedir. Söz konusu durum, literatürde de farklı araştırmacılar tarafından belirtilmiştir (Adamasan, 2008; Bedeloğlu vd., 2010; Şat, 2010). Aynı numune üzerinde farklı ölçüm mesafelerinde veya farklı kişiler tarafından yapılan ölçümlerde farklı direnç değerleri elde edilmektedir. Yine farklı zamanlar ve ortamlarda yapılan ölçümlerde, direnç değerleri değişmektedir. Dolayısıyla, iki uç yönteminde tekrarlanabilir sonuçları elde etmek oldukça zordur.



Şekil 3.13. İki uç yöntemi (a), multimetre ölçüm cihazı (b) ve kumaş numunesi üzerinde yapılan ölçüm (c)

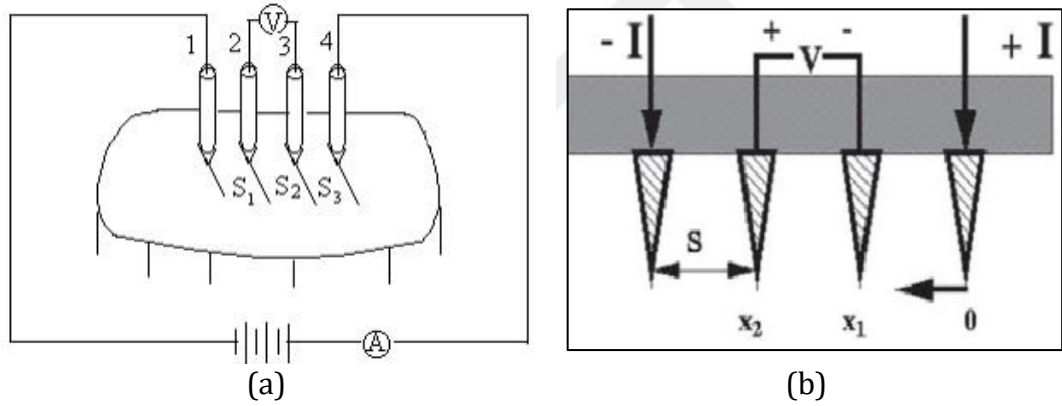
Bununla birlikte, iki uç yöntemi ile yapılan ölçümlerde elde edilen R , iletken metal uçların direncini de içermektedir. Bu durumda, elde edilen R direnci ve buna bağlı elde edilen ρ öz direnç değeri sadece numuneye ait olmamaktadır ve toplam direnç (R_{Toplam}) değeri, numunenin direncinin dışında başka ek dirençleri de içermektedir. Bu ek dirençler,

- iletken numunenin direnci (R_{numune}),
- numuneye akımı aktaran iletken uçların (prob) direnci (R_{prob}),
- bağlantı ucu ve numune temas noktasındaki ara yüzeyin direnci ve eğer gerekli halde kullanılmışsa bağlantı uçlarını numuneye tutturarak iletken lehimin (pasta) direncinin (R_{pasta}) toplamıdır.

Bu nedenle, numunenin bu yöntemle ölçülen direnç ve hesaplanan ρ öz direnci değeri, gerçek değerden daha yüksek olmaktadır (Yılmaz, 2008; Şat, 2010).

Dört uç yöntemi

İletkenlik ya da elektriksel direnç ölçümleri için dört uç tekniği, en çok kullanılan yöntemlerden biridir (Şekil 3.14). Bu yöntemde, birbirinden belirli uzaklıkta olan dört uç, iletkenliği ölçülecek olan örneğin yüzeyine yerleştirilmektedir ve alternatif akım veya doğru akım uygulanmaktadır. Uygulanan akım, iki nokta arasındaki örnek direnci ile orantılı olarak voltaj veya gerilim düşmesine neden olmaktadır ve içindeki iki uç arasındaki voltaj farkı bulunmaktadır. Diğer bir deyişle, eşit aralıklı dört probun yer aldığı yöntemde, dıştaki iki prob arasında sabit bir akım geçirilmektedir. İç kısımdaki iki prob boyunca meydana gelen voltaj düşüşü okunarak, iletkenlik hesaplanmaktadır.



Şekil 3.14. Dört uç yöntemine göre iletkenlik ölçümü

Şekil 3.14a'da, S proplar arası uzaklığı, A devredeki akımı, V potansiyeli ve 1-2-3-4 ise probları göstermektedir. Ohm yasasına göre, potansiyel (V) ve akım (I) arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir.

$$V=IR \quad (3.3)$$

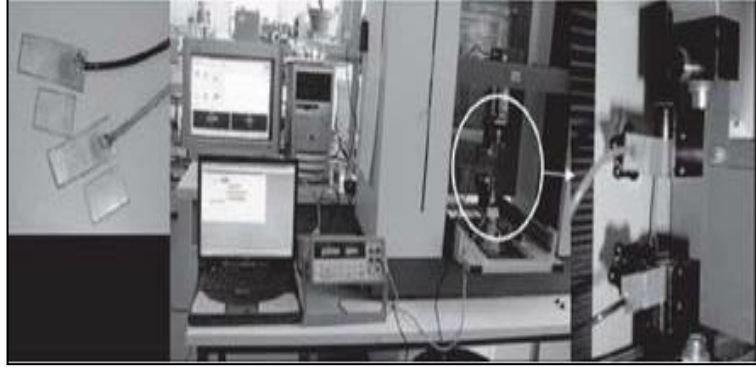
Eşitlikte yer alan potansiyel volt; akım amper birimindedir. R ise ohm biriminden direnci göstermektedir. Direncin tersi, iletkenlik olarak bilinmektedir. Ohm yasasına uygun şekilde elektriği ileten maddelerin

dirençleri örnek uzunluğu (L) ile doğru, kesit alanı (A) ile ters orantılı olarak değişmektedir.

Modifiye iki uç yöntemi

Tez çalışması kapsamında, üretilen ipliklerin iletkenlikleri AATCC Test Metodu 84-2005 no'lu standardı esas alınarak iki uç yöntemi ile ölçülmüştür. Ölçümlerde, Fluke Multimetre cihazı kullanılmıştır. Cihaza ait iki uç veya prob, iplik numuneleri üzerine yerleştirilmiş ve direnç değerleri belirlenmiştir. Testler, % 65 bağıl nem ve 20 ± 2 °C koşullarında 4 saat süreyle kondüsyonlama sonrası gerçekleştirilmiştir. 10 mm uzunluğundaki iplik numunesi üzerinde yapılan ölçüm sonucunda, "ohm (Ω)" cinsinden direnç değerleri elde edilmiştir. Her bir numuneden, 20 adet ölçüm yapılmıştır. Ölçümler sırasında, problemlerin dik şekilde tutulmasına ve iplik numunesine temas etmesine dikkat edilmiştir. Ancak, ölçümlerde problemlere uygulanan kuvvete bağlı olarak direnç değerlerinin değiştiği belirlenmiştir. Ölçüm yapan kişiye bağlı olarak direnç değerlerinin değişmesi nedeniyle, tekrarlanabilir sonuçlara ulaşmanın oldukça zor olduğu tespit edilmiştir. Gerek takip edilen standart, gerekse de literatürde ölçüm yapılacak iplik veya kumaş numunesine ne kadar kuvvet uygulanması gerektiği konusunda net bir bilgi ile karşılaşılmamıştır. Bununla birlikte, literatürde ölçüm uzunluğu konusunda da farklı uygulamaların olduğu belirlenmiştir.

Devaux vd. (2007), iletken ipliklerin elektriksel direncini Agilent 34401A multimetre kullanarak % 60-65 bağıl nem, 20-25°C sıcaklık altında ölçmüşlerdir. Ölçümler 1-20 cm aralığında farklı uzunluklardaki ipliklere 20 defa tekrarlanmış ve ortalama değerler hesaplanmıştır. Ölçümlerde, multimetreye ait iki elektrot (bakır elektrotlar) iletken liflere temas ettirilmiştir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Ölçüm cihazı (Devaux vd., 2007)

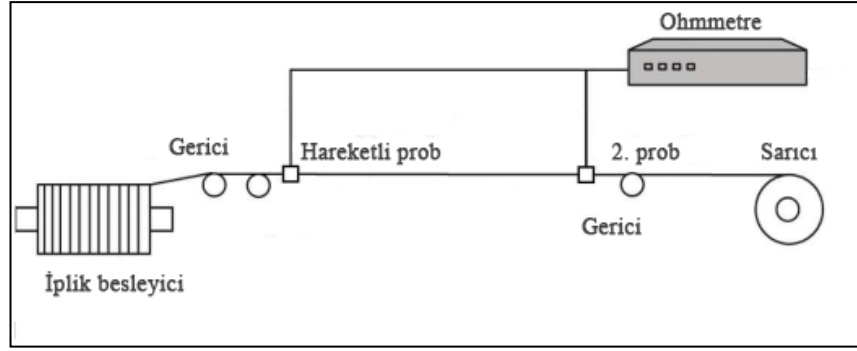
Kaynak vd. (2008) yaptıkları çalışmada, iplik numuneleri testten önce standart koşullar altında 24 saat bekletilmiş ve tüm ölçümler bu koşullarda gerçekleştirilmiştir. 0.1 g/tex'lik sabit bir ön gerilim uygulanırken, iplik numunelerinin elektriksel direnci Fluke 83 III multimetre ile ölçülmüştür. Çalışmada, tekstil yüzeyi, iplik ve lifler için elektriksel direncin kütleye bağlı direnç (R_s) olarak açıklanmasının daha uygun olacağı belirtilmiştir. Kütleye bağlı direnç R_s ($\Omega \cdot g/cm^2$), öz direnç ρ ($\Omega \cdot m$) ve materyalin yoğunluğuna D (g/cm^3) bağlı olarak ifade edilmiştir.

$$R_s = \rho \cdot D \quad (3.4)$$

$$R_s = R \cdot N \cdot T / l \cdot 10^5 \quad (3.5)$$

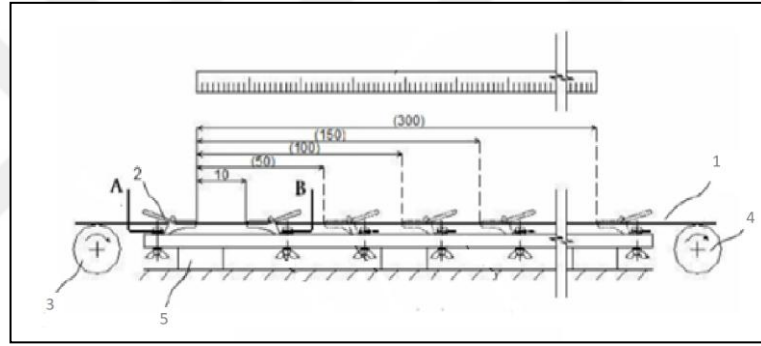
R (Ω) direnç, l numune uçları arasındaki uzaklık (cm), N iplik veya lifteki uçların sayısı, T iplik veya lifin lineer yoğunluğu (g/m^3 , tex)'dur (Bedeloğlu vd., 2010).

Šafářová ve Grégr (2010) yaptıkları çalışmada, farklı karbon liflerinin elektriksel iletkenliklerini araştırmış ve elektriksel direncin belirlenmesi için bir yöntem geliştirmişlerdir. İpliklerin iletkenlik ölçümü için iki uç yöntemine göre çalışan Agilent 34401A Dijital Multimetre kullanmışlardır (Şekil 3.16). Ölçümler, % 40 bağıl nem ve 21 ± 2 °C'de gerçekleştirilmiştir. Farklı uzunluklardaki numunelerin (0.05; 0.1; 0.15; 0.2; 0.25; 0.3 m) özgül direnç değerleri ölçülmüştür.



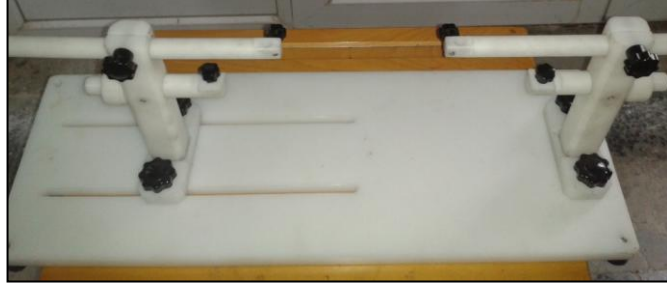
Şekil 3.16. Numunelerin elektriksel direnç ölçümü (Šafářová ve Grégr, 2010)

Benzer bir ölçüm tekniğini kullanan Militký ve Šafářová (2011) çalışmalarında; toplam elektrik direncinin (R), iletken tel uzunluğuna (L) olan bağımlılığını gösteren bir model geliştirmişlerdir (Şekil 3.17).



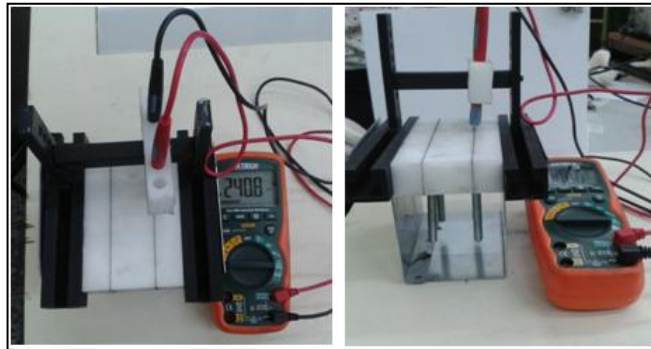
Şekil 3.17. Numunelerin elektriksel direnç ölçümü (1: numune, 2: kelepçe veya kısaç şekline sahip elektrotlar, 3: iplik dağıtıcı, 4: iplik sarımı, 5: cihaz tutacağı) (Militký ve Šafářová, 2011)

Yukarıda belirtilen çalışmalarda da görüldüğü gibi, ölçüm uzunluğu ve ölçüm sırasında numuneye uygulanması gereken gerginlik hakkında kesin ve açık bir bilgi bulunmamaktadır. Bu nedenle, tez çalışmasında üretilen ipliklerin iletkenliklerinin belirlenmesinde kullanılan iki uç yönteminin modifiye edilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Tez çalışmasında, problemlerin aşılması için herhangi bir kullanıcıya bağımlı olmadan ve iletkenliğin iplik uzunluğu boyunca değişimini belirlemek amacıyla farklı iplik uzunluklarında ölçüm yapılmasına imkan sağlayacak şekilde bir düzenek tasarlanmıştır. Böylece, farklı numune uzunluklarında ve sabit bir gerginlik altında ölçüm yapılarak, tekrarlanabilir sonuçların elde edilmesi amaçlanmıştır (Şekil 3.18).



Şekil 3.18. İplik iletkenliğinin ölçümü amacıyla tasarlanan ilk düzenek

Tasarlanan ve üretilen düzeneğin kullanımı sırasında, problemlerin ipliğe tam olarak temas etmediği ve bu nedenle ölçüm yapılamadığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, düzeneğin yapımında kullanılan malzeme nedeniyle problemlerin asıldığı askıların rahat şekilde kaymaması nedeniyle farklı iplik uzunluklarda ölçüm yapılmasının da oldukça zor olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle, düzenek tekrar modifiye edilmiştir. Geliştirilen ikinci düzende, problemlerin ipliğe tam olarak temas edebilmesi için bir kanal açılmış ve iplik ölçüm sırasında bu kanala yerleştirilmiştir (Şekil 3.19). İplik sıkıştırılarak, stabil kalması sağlanmıştır. Multimetre cihazına ait iki prob bir askıya asılmış ve ipliğe temas ettirilmiştir. Farklı zamanlarda aynı iplik üzerinde yapılan ölçümlerde, benzer sonuçların elde edildiği gözlenmiştir. Böylece, tez çalışması kapsamında geliştirilen alternatif metot ile üretilen ipliklerin dirençleri belirlenmiş ve iletkenlikleri hesaplanmıştır.



Şekil 3.19. İplik iletkenliğinin ölçümü amacıyla tasarlanan ikinci düzenek

Sonuç olarak; iletkenlik ölçümü öncesinde numuneler, % 65 bağıl nem ve 20 ± 2 °C koşullarında 4 saat süreyle kondüsyonlanmıştır. Ölçümler, 4 cm aralıklı olan problemler ile ipliğin sürekli uzunluğu boyunca 20 tekrarlı olacak şekilde

gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde, Fluke Multimetre DL MULT3999D cihazı kullanılmış ve ipliğin direnç değerleri elde edilmiştir. Buna bağlı olarak, elektriksel öz direnç değerleri hesaplanmış ve ipliklerin iletkenlikleri konusunda değerlendirme yapılmıştır.

3.3.3. Yıkama işlemi

Elektronik tekstillerin geleneksel tekstil yapılarının fiziksel özelliklerini koruyabilecek şekilde üretilmeleri beklenmektedir. Giyilebilir elektronik tekstillerin; iyi elektrik iletkenliği yanında bükülebilir, elastik ve yıkanabilir olma özellikleri bulundurması gerekmektedir. "Dikilebilir teknoloji tasarımı" adını vererek çalışma yürüten araştırmacılar; kablolar yerine iletken ipliklerin, sert iletken yüzeyler yerine iletken olan her türlü kumaşların ve en önemlisi kullanılan çipler ve yan ürünlerin yıkanabilir olmasının tasarımın giyilebilirliğini besleyen en önemli unsurlar olduğunu belirtmektedirler.

Bu nedenle, tez çalışması kapsamında çeşitli şartlarda yapılan yıkama işlemi sonrasında ipliklerin iletkenlik değerlerindeki değişimi belirlemek ve yıkamanın etkisini değerlendirmek amacıyla 40 °C'de 10, 20 ve 30 dakika ve 60 °C'de 10 dakika deterjansız yıkama yapılmıştır. İpliklerin yıkama işlemi öncesinde ve sonrasındaki direnç değerleri iki uç yöntemi ile belirlenmiş, öz direnç ve iletkenlik değerleri hesaplanmıştır.

3.3.4. İplik mukavemeti ve kopma uzaması testleri

Çeşitli oranlarda karbon siyahı aplikasyonu sonucu ipliklerin gerilme özelliklerindeki değişimi belirlemek amacıyla iplikler Llyod mukavemet test cihazında TS EN ISO 2062 no'lu "ipik mukavemeti ve kopma uzamasının belirlenmesi" standardı esas alınarak test edilmiştir. Her iplik numunesi için tesadüfi olarak 1 adet kops seçilmiş ve bu kopstan 500 mm/dak test hızı ve 500 mm test uzunluğunda 10 adet test yapılmıştır.

3.3.5. İplik numarasının belirlenmesi

İplik eğirme işlemi sırasında ana çekim bölgesine karbon siyahı dispersiyonu aplikasyonu esasına dayanan metotta, çekim bölgesine yapılan uygulama nedeniyle ipliklerin numara değerlerindeki değişim incelenmiştir. Aplikasyonun, iplik numarasına etkisi analiz edilmiştir. İplik numara tayininde testler, TS 244 EN ISO 2060 no'lu "Tekstil-İplikler-Doğrusal Yoğunluk Tayini-Çile Metodu" standardı esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Her bir elyaf türü ve iplik numarası için 10 adet test yapılarak, ipliklerin ortalama numara değerleri "Ne" olarak tespit edilmiştir.

3.3.6. İplik büküm testleri

Ana çekim bölgesinde karbon siyahı dispersiyonu aplikasyonu esasına dayanan fonksiyonel iplik üretim metodunun, ipliklerin büküm almasına etkisini değerlendirmek amacıyla, karbon siyahı uygulanmış ve uygulanmamış ipliklerin büküm değerleri test edilmiştir. İpliklerin büküm değerleri, TS 247 EN ISO 2061 no'lu "Tekstil-İpliklerde Büküm Tayini Doğrudan Sayma Metodu" standardı esas alınarak belirlenmiştir. Ölçümlerde, büküm kısalması (açma/kapama) metoduna göre çalışan Officine Brustio büküm ölçüm cihazı kullanılmıştır. Her iplik numunesi için tesadüfi olarak 1 adet kops seçilmiş ve bu kopstan 50 cm uzunluklarla 10 tekrarlı test yapılarak, ortalama büküm değerleri tespit edilmiştir.

3.4. Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Sonuçların analizinde; çalışma kapsamında geliştirilen metot ile üretilmiş ipliklerin karbon siyahı aplikasyonu öncesi ve sonrası iletkenlik, mukavemet, kopma uzaması, numara ve büküm özellikleri, farklı elyaf çeşitleri, farklı iğ devirleri, karbon siyahı konsantrasyonu, dispersiyon besleme miktarı gibi üretim parametrelerine bağlı olarak birbirleriyle öncelikle grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.

Test sonuçları ayrıca üretilen ipliklerin performans ve fonksiyonellik özellikleri açısından karbon siyahı aplikasyonu öncesi ve sonrası arasında istatistiksel açıdan anlamlı fark olup olmadığını araştırmak amacıyla, SPSS 16.0 istatistik programı ile ikili karşılaştırma için t-testi, üçlü karşılaştırma için ise Tek-Yönlü (One-Way) ANOVA LSD metodu kullanılarak analiz edilmiştir.

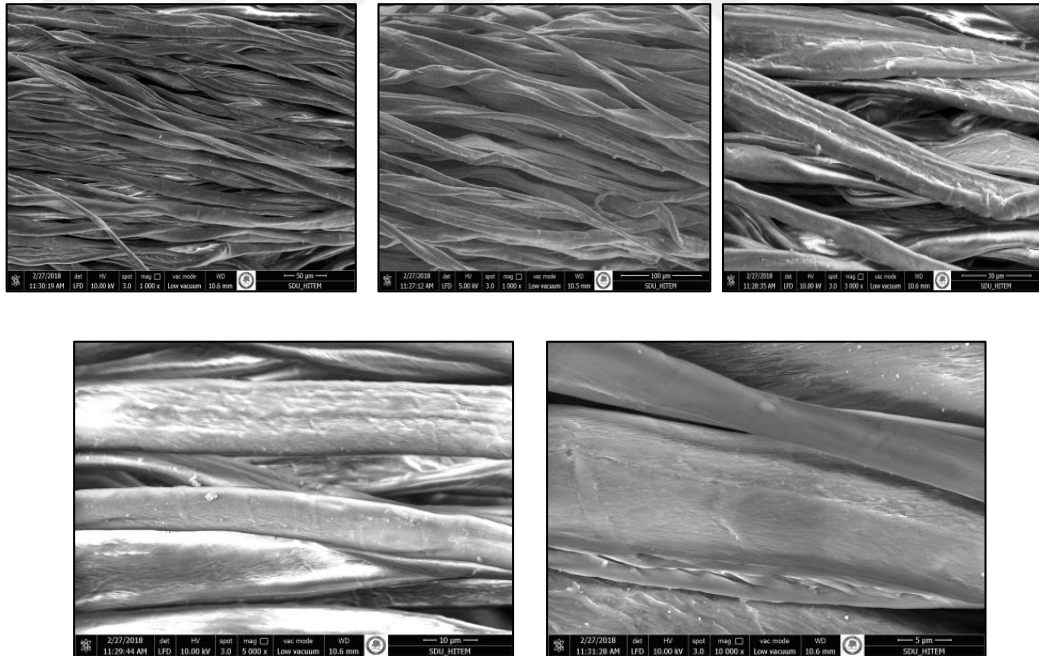


4. ARAŞTIRMA BULGULARI

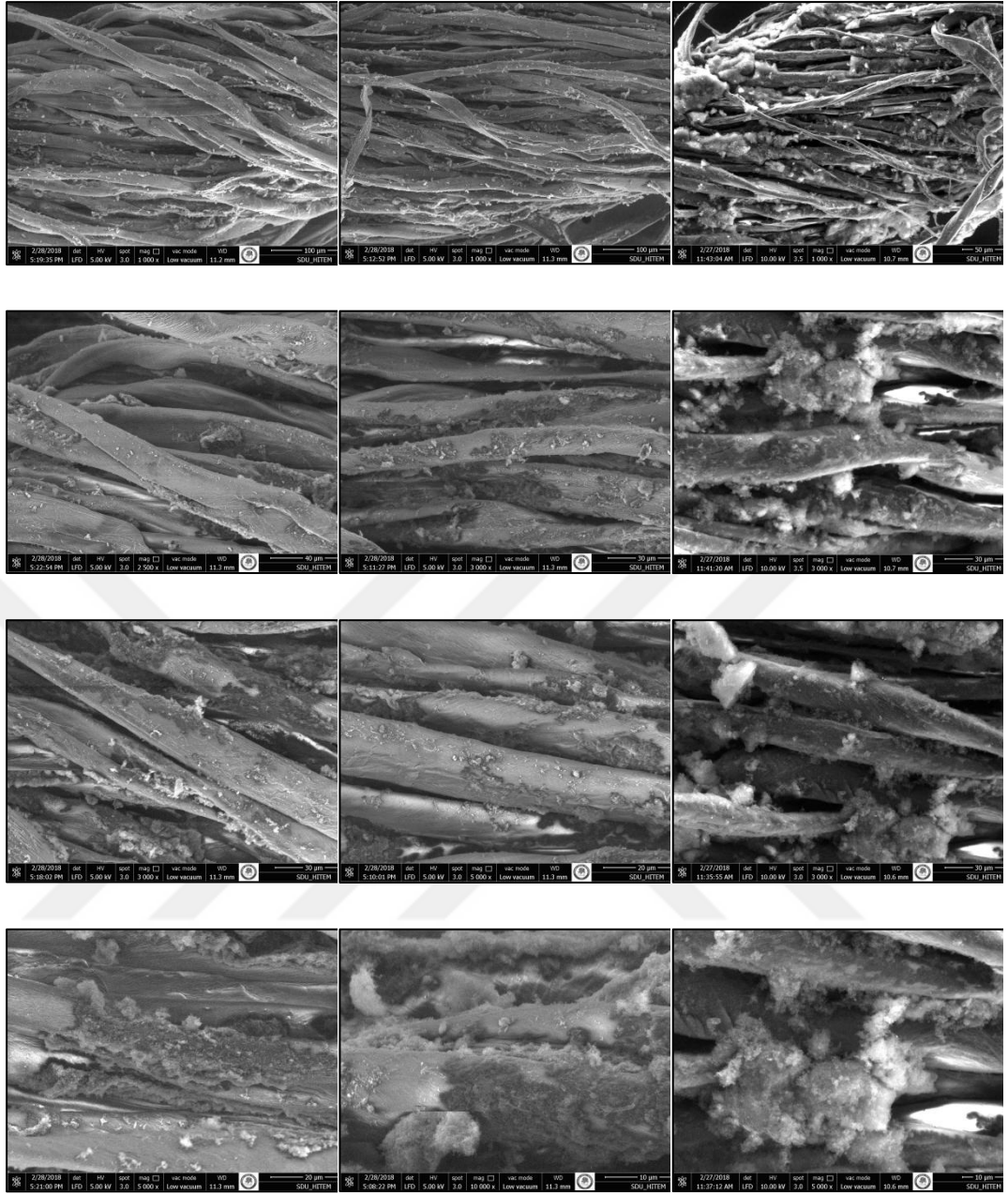
Tez çalışması kapsamında, kesikli liflerden iletkenlik başta olmak üzere fonksiyonel özelliklere sahip iplik üretimine yönelik olarak geliştirilen alternatif metot ile üretilen ipliklerin yapı, iletkenlik, mukavemet, kopma uzaması, numara ve büküm özellikleri test edilmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir. Sonuçlar değerlendirilirken, karbon siyahından oluşan dispersiyonun uygulandığı iplikler “işlemlı” ve dispersiyon uygulanmayan iplikler “işlemsiz” olarak adlandırılmıştır.

4.1. İplik Görüntüleri

Geliştirilen metot ile karbon siyahı aplike edilerek üretilen ring ipliklerin Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) görüntüleri alınarak analiz edilmiş ve herhangi bir malzeme entegre edilmeyen ring ipliklerle karşılaştırılmıştır. İpliklere ait SEM görüntüleri Şekil 4.1-4.4’de verilmektedir.



Şekil 4.1. Karbon siyahı dispersiyonu aplike edilmemiş Ne 16/1 numara % 100 pamuk ipliklerine ait görüntüler (5500 dev/dak iğ hızı)



% 0.5

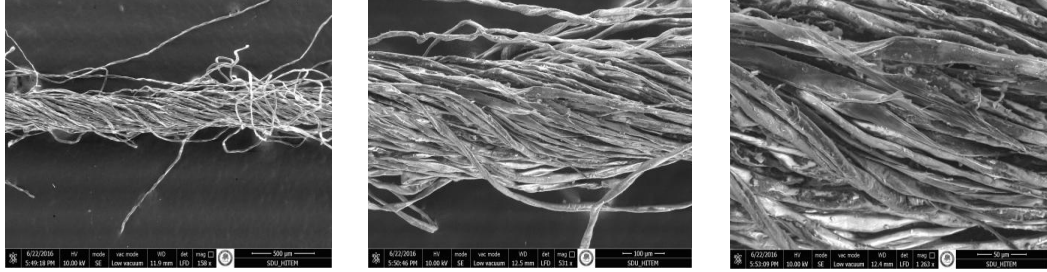
% 0.75

% 1.0

Şekil 4.2. Karbon siyahı dispersiyonu aplike edilmiş Ne 16/1 numara % 100 pamuk ipliklerine ait görüntüler (5500 dev/dak iğ hızı ve 60.000 mL/dak besleme miktarı)

Şekil 4.1-4.2’de görülen karbon siyahı uygulanmış ve uygulanmamış ipliklere ait görüntüler incelendiğinde, karbon siyahı uygulaması sonucu ipliklerin üzerinde partiküllerin bulunduğu gözlenmiştir. Konsantrasyon arttıkça, partiküllerin topak şeklinde liflerin üzerine yerleştiği belirlenmiştir. Beklendiği gibi, % 1.0 konsantrasyon değerinde karbon siyahı partikülleri ve topaklanma belirgin

şekilde gözlenmektedir. Bununla birlikte, iplik eğirme işlemi sırasında bilezik-kopça ile verilen büküm nedeni ile liflerin helisel bir yol izlediği gözlenmiştir. Dolayısıyla, ipliklerin halen ring iplik karakteri taşıdığı belirlenmiştir (Şekil 4.3, 4.4).



Şekil 4.3. % 1.0 konsantrasyonda karbon siyahı dispersiyonu applike edilmiş Ne 30/1 numara % 100 pamuk ipliklerine ait görüntüler



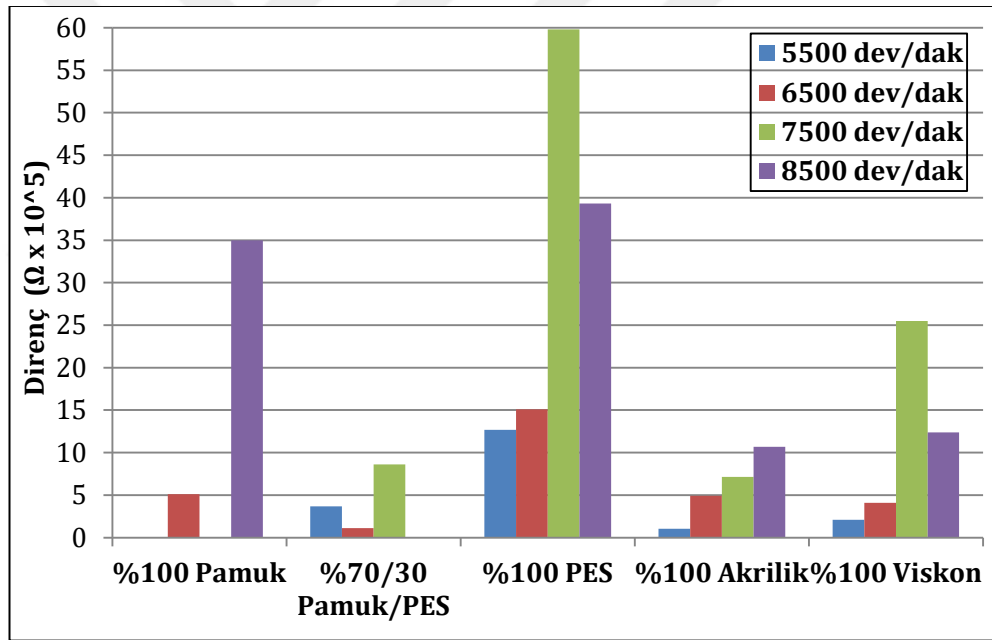
Şekil 4.4. % 0.5 konsantrasyonda karbon siyahı dispersiyonu applike edilmiş Ne 30/1 numara % 100 akrilik ipliklerine ait görüntüler

Tez çalışması kapsamında, üretilen iletken ring iplikler elektrostatik lif çekiminde toplayıcı olarak kullanılmış, poliüretan ve poliakrilonitril esaslı nanoliflerle kaplanmıştır. İpliklerin görüntüleri yine Taramalı Elektron Mikroskobunda (SEM) incelenerek, nanolif entegrasyonu ve elde edilen ipliklerin yapıları analiz edilmiştir. Sonuçlar, "iletken ipliğin toplayıcı olarak kullanımı " başlığı altında ilerleyen bölümde verilmiştir.

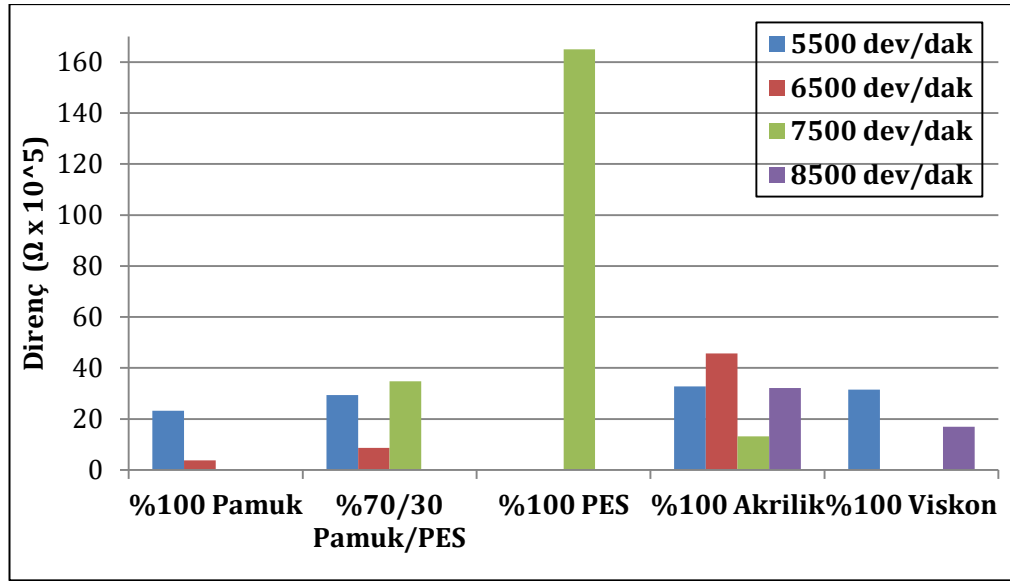
4.2. İplik iletkenliği

Daha önce belirtildiği gibi tez kapsamında, gerek geliştirilen yöntemin iletken iplik üretiminde başarılı olup olmadığının belirlenmesi gerekse de ölçüm cihazı

ile tekrarlanabilir sonuçlara ulaşma yönünde çok sayıda üretim denemesi ve çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Çalışmaların ilk bölümünde, Ne 30/1 iplik numarasında farklı elyaf türleri kullanarak iletken iplik üretimi yapılmış ve bilinen iki uç yöntemi ile ölçümler gerçekleştirilmiştir. Üretilen ipliklerin ince olması nedeniyle iki uç yönteminde kullanılan ölçüm uçlarının veya problemlerin ipliğe tam olarak temas etmemesi nedeniyle zaman zaman iplik üzerinde direnç değeri belirlenememiştir. İpliklerin sarılı olduğu kopslar üzerinde yapılan ölçümlerde direnç değeri tespit edilmesine karşın, iplik üzerinde herhangi bir direnç değeri gözlenememiştir. Bu nedenle, iplik ve iplik numunelerinin sarılı olduğu kopslar üzerinde ölçümler yapılmıştır. Kops üzerinde yapılan ölçümler “alansal” ve iplik üzerinde yapılan ölçümler “yüzeysel” olarak adlandırılmıştır. İpliklere ait direnç değerleri, Şekil 4.5-4.9’da görülmektedir.



Şekil 4.5. Farklı tür lifler ve iğ devirleri için % 0.5 karbon siyahı dispersiyonu aplike edilmiş Ne 30/1 numara ipliklerin alansal direnç değerleri



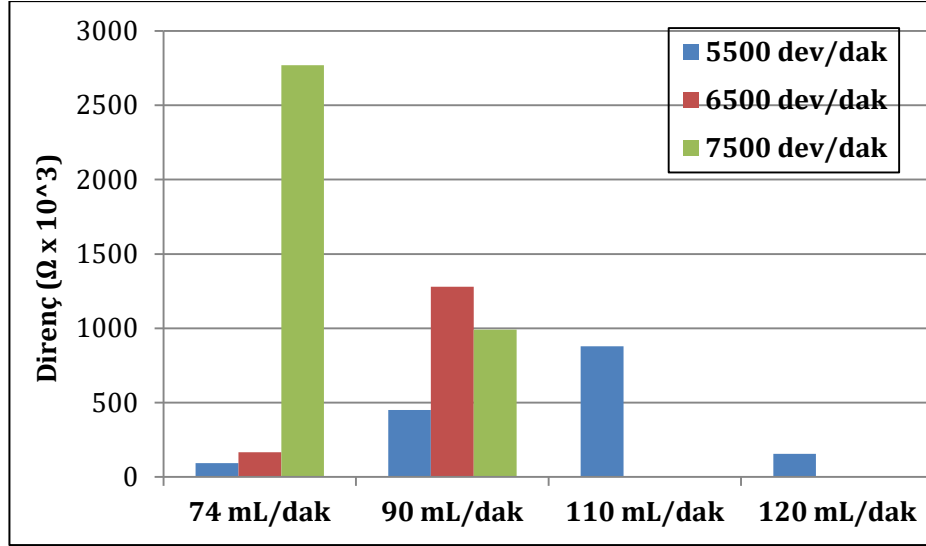
Şekil 4.6. Farklı tür lifler ve iğ devirleri için % 0.5 karbon siyahı dispersiyonu applike edilmiş Ne 30/1 numara ipliklerin yüzeysel direnç değerleri

İpliklere ait alansal ve yüzeysel direnç değerleri incelendiğinde, üretilen iplik numunelerinin çoğunda 0.005-59.8 Megaohm ($M\Omega$) civarında alansal ve 3.8-165 Megaohm ($M\Omega$) civarında yüzeysel direnç değeri tespit edilmiştir. Direnç değerleri, elyaf türü ve iğ hızına bağlı olarak değişim göstermektedir. Ancak, yukarıda da belirtildiği gibi iplik üzerinde yapılan ölçümlerde yaşanan sıkıntılar nedeniyle alansal direnç değerlerine kıyasla yüzeysel direnç değerlerinde net bir eğilim belirlenememiştir. Alansal direnç değerleri, pamuk ipliklerinde 0.005-35 $M\Omega$, pamuk/PES ipliklerinde 1.13-8.62 $M\Omega$, polyester ipliklerinde 12.7-59.8 $M\Omega$, akrilik ipliklerinde 1.05-10.7 $M\Omega$ ve viskon ipliklerinde 2.1-25.5 $M\Omega$ arasında değişmektedir. Dolayısıyla, tez çalışması kapsamında geliştirilen yöntem ile üretilen ipliklerin iletken özelliğe sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Hemen hemen tüm elyaf türlerinde, direnç değeri tespit edilmiştir. Ancak, özellikle alansal direnç değerleri değerlendirmeye alındığında, % 100 pamuk ve pamuk-polyester karışımı liflerle yüksek iğ devirlerinde çalışıldığında üretilen ipliklerin iletkenlik özelliği göstermediği belirlenmiştir. Elyaf türü açısından değerlendirildiğinde, akrilik liflerinden elde edilen ipliklerde daha düşük, polyester liflerinde daha yüksek direnç değerleri belirlenmiştir. İğ devri açısından ise iğ devri arttığında hemen hemen tüm liflerde direnç değerinin arttığı gözlenmiştir. Bu durumun, aplikasyon bölgesinde liflerin iletkenlik

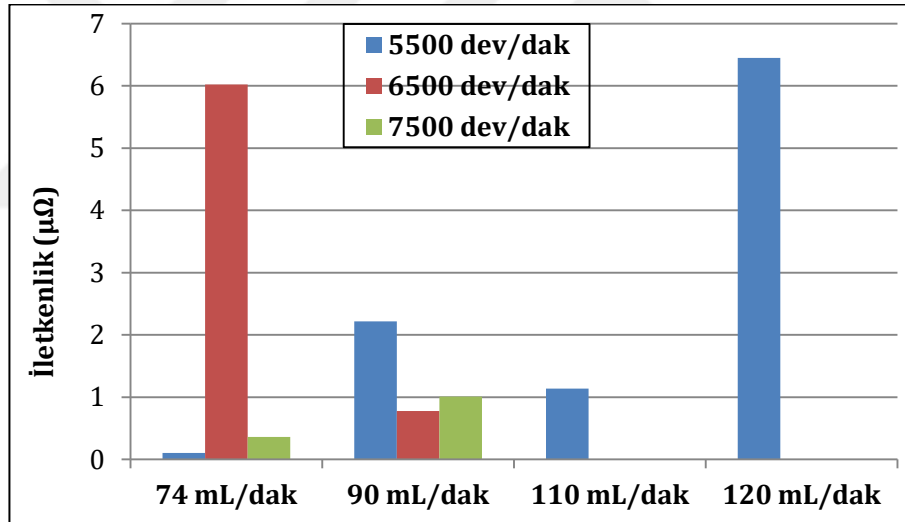
özelliğe sahip dispersiyon ile etkileşim süresinin kısılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Bilindiği gibi, direnç değeri arttıkça iletkenlik azalmaktadır. Dolayısıyla, yüksek iletkenlik için düşük direnç değerlerine ihtiyaç bulunmaktadır. İpliklerin iletkenlikleri pamuk ipliklerinde 0.286-2000 mikroohm ($\mu\Omega$), pamuk/PES ipliklerinde 0.272-1.16 $\mu\Omega$, polyester ipliklerinde 0.167-0.787 $\mu\Omega$, akrilik ipliklerinde 0.935-9.52 $\mu\Omega$ ve viskon ipliklerinde 0.392-4.76 $\mu\Omega$ arasında değişmektedir.

Çalışmanın devamında, direnç ve böylece iletkenlik ölçümlerinde yaşanan problemler nedeniyle Ne 16/1 gibi kalın iplik numarasına odaklanılmış ve % 100 pamuk liflerine % 0.5 karbon siyahı dispersiyonu aplike edilerek iletken iplikler üretilmiştir. Denemelerde, iğ devri ve böylece üretim hızı ile dispersiyon besleme miktarı gibi üretim parametrelerinin etkisini incelemek amacıyla dört farklı dispersiyon besleme miktarı ve üç farklı iğ hız değeri ile çalışılmıştır. Üretilen ipliklerin alansal direnç ve iletkenlik sonuçları, Şekil 4.7 ve 4.8’de görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde, Ne 30/1 numara ipliklerde olduğu gibi üretilen ipliklerde özellikle çalışılan iğ hızına bağlı olarak belirli değerlerde direnç veya iletkenlik değerlerinin olduğu gözlenmiştir. 5500 dev/dak gibi düşük iğ hızında tüm besleme değerlerinde iletken iplik üretiminin mümkün olduğu belirlenmiştir. En yüksek iletkenlik, 5500 dev/dak iğ hızı ile 120 mL/dak gibi en yüksek besleme değerinde elde edilmiştir. İletkenlik değerlerinin 0.106-6.45 $\mu\Omega$ ve direnç değerlerinin ise 94-2770 Kiloohm ($k\Omega$) arasında değiştiği tespit edilmiştir.



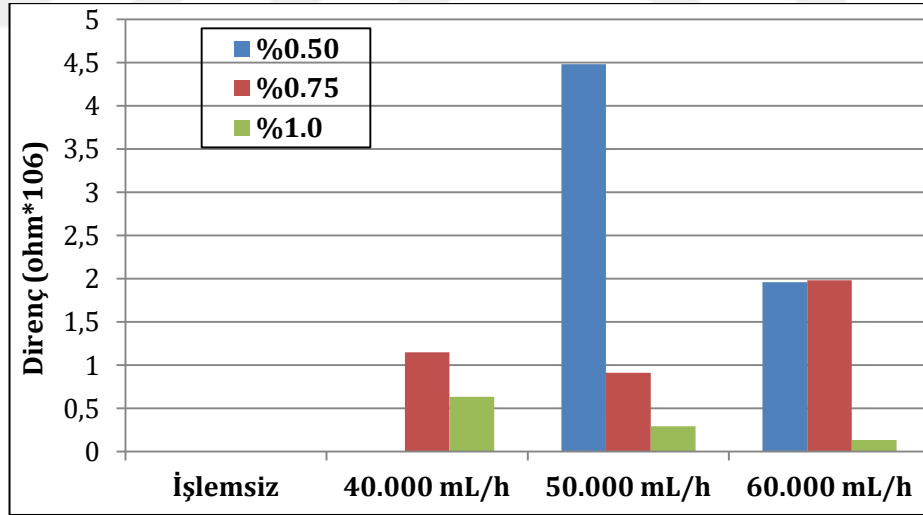
Şekil 4.7. Farklı iğ devri ve dispersiyon besleme miktarı için % 0.5 karbon siyahı dispersiyonu aplike edilmiş Ne 16/1 numara ipliklerin alansal direnç değerleri



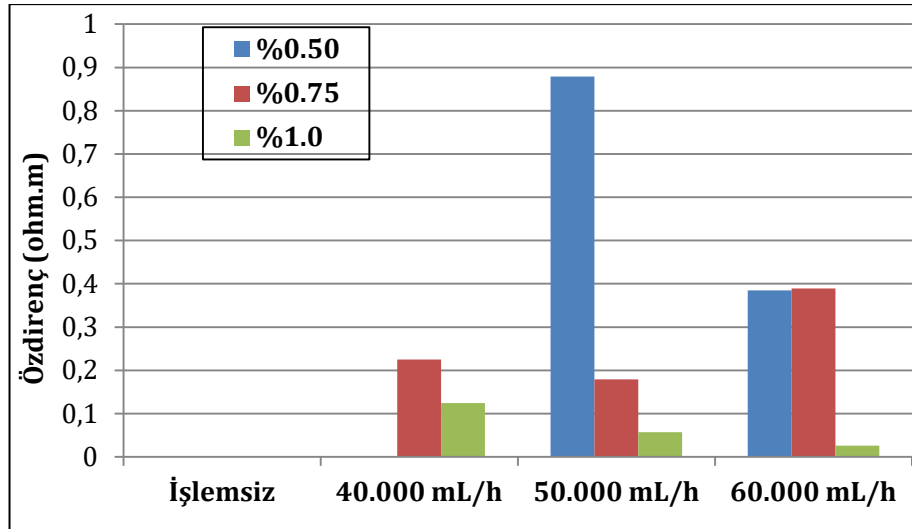
Şekil 4.8. Farklı iğ devri ve dispersiyon besleme miktarı için % 0.5 karbon siyahı dispersiyonu aplike edilmiş Ne 16/1 numara ipliklerin alansal iletkenlik değerleri

Tez çalışmasının bir sonraki bölümünde, iki uç yöntemi modifiye edilmiş ve daha yüksek ve tekrarlanabilir ölçümlerin elde edildiği Ne 16/1 iplik numarasında ve 5500 dev/dak iğ hızında % 100 pamuk lifleri ile iletken iplik üretimi konusunda denemeler yapılmıştır. Bu bölümde, üç farklı karbon siyahı konsantrasyonu ve dispersiyon besleme oranı kullanılmıştır. Üretilen ipliklerin direnç değerleri incelendiğinde, en düşük besleme oranı olan 40.000 mL/dak ve

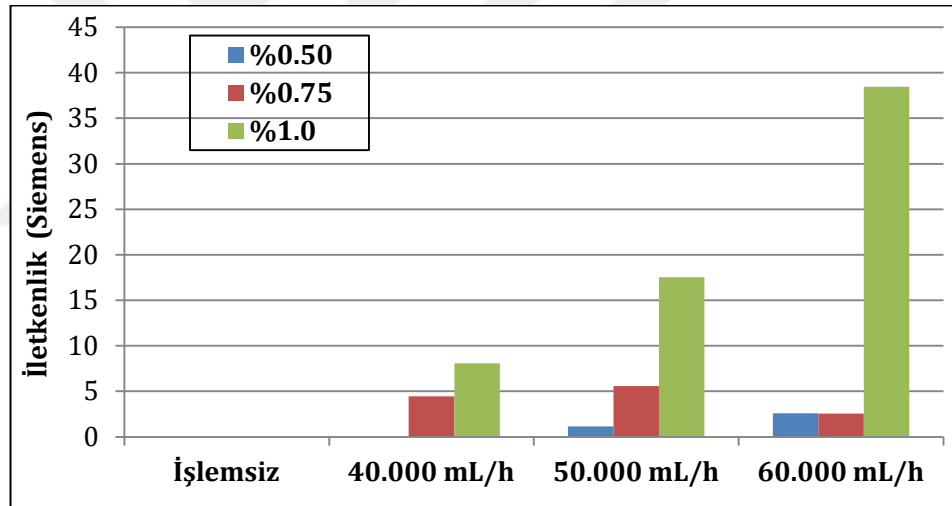
en düşük karbon siyahı konsantrasyonu olan % 0.5 değerinde herhangi bir direnç değeri tespit edilememiştir. Bununla birlikte diğer konsantrasyon ve besleme oranlarında belirli miktarda direnç değeri belirlenmiş ve dolayısıyla iletken iplik üretimi gerçekleştirilmiştir. Direnç değerleri kullanılarak, iplik çapı 0.1 mm ve ölçüm uzunluğu 40 mm alınarak öz direnç ve öz direncinin tersi alınarak elektriksel iletkenlik değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, ipliklerin direnç değerlerinin 0.134-4.481 Megaohm (M Ω), öz direnç değerlerinin 0.026-0.124 Ω .m ve iletkenlik değerlerinin 1.14-38.46 Ω .m⁻¹ (Siemens) arasında değiştiği belirlenmiştir (Şekil 4.9-4.11). Konsantrasyon ve besleme oranının etkisi değerlendirildiğinde, besleme oranı ve karbon siyahı konsantrasyonu arttığında, iletkenliğin arttığı gözlenmiştir ve % 1.0 karbon siyahı konsantrasyonu ve 60.000 mL/h besleme oranında en yüksek iletkenlik değeri elde edilmiştir. Besleme oranına kıyasla karbon siyahı konsantrasyonun, iletkenlik değerleri üzerinde daha etkili olduğu gözlenmiştir olmakla birlikte, % 0.5 ve % 0.75 konsantrasyonuna kıyasla % 1.0 konsantrasyon değerinde iletkenliğin önemli derecede arttığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.9. Farklı konsantrasyon ve dispersiyon besleme miktarı için karbon siyahı dispersiyonu applike edilmiş Ne 16/1 numara % 100 pamuk ipliklerin direnç sonuçları



Şekil 4.10. Farklı konsantrasyon ve dispersiyon besleme miktarı için karbon siyahı dispersiyonu aplike edilmiş Ne 16/1 numara % 100 pamuk ipliklerin özdirenç sonuçları

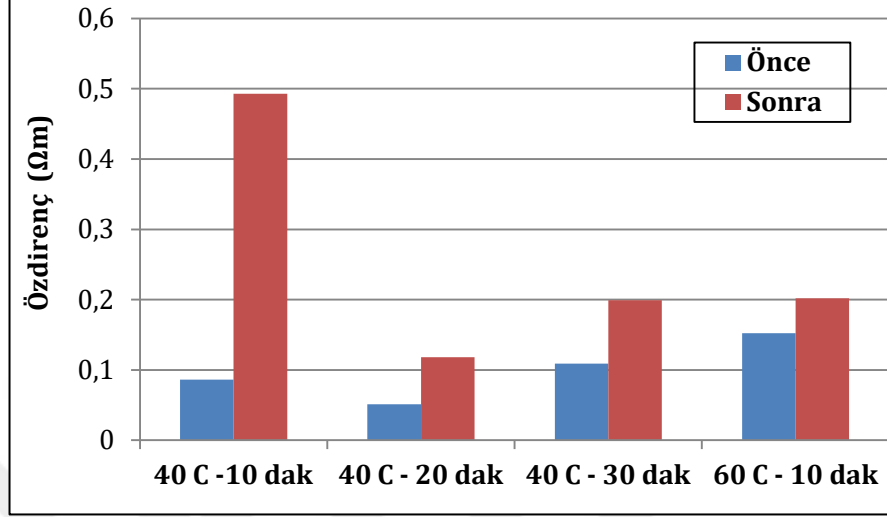


Şekil 4.11. Farklı konsantrasyon ve dispersiyon besleme miktarı için karbon siyahı dispersiyonu aplike edilmiş Ne 16/1 numara % 100 pamuk ipliklerin iletkenlik sonuçları

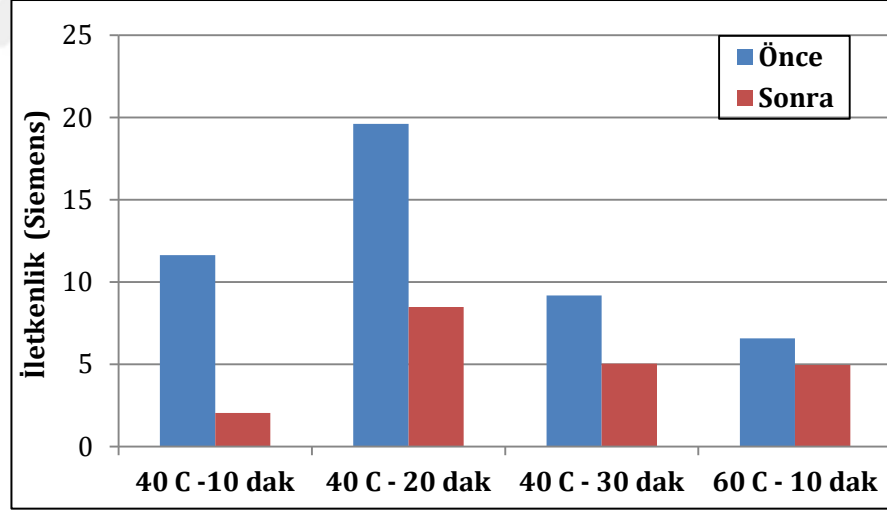
4.3. Yıkama Sonrası İplik İletkenliği

% 1.0 oranında karbon siyahı içeren dispersiyonun 60.000 mL/dak besleme oranında % 100 pamuk liflerine uygulanması ile elde edilen Ne 16/1 numara iletken ipliklerin, yıkama sonrası iletkenliğinin belirlenmesi amacıyla iplikler, 40°C ve 60°C sıcaklıklarında ve farklı sürelerde deterjansız olarak yıkanmıştır.

İpliklerin yıkama öncesinde ve sonrasındaki direnç değerleri, iki uç yöntemi ile belirlenmiş ve öz direnç ve iletkenlik değerleri hesaplanmıştır. İpliklerin öz direnç ve iletkenlik sonuçları, Şekil 4.12 ve 4.13’de görülmektedir.



Şekil 4.12. Farklı şartlarda yıkanmış Ne 16/1 numara % 100 pamuk iletken ipliklerin öz direnç sonuçları (5500 dev/dak iğ devri)



Şekil 4.13. Farklı şartlarda yıkanmış Ne 16/1 numara % 100 pamuk iletken ipliklerin iletkenlik sonuçları (5500 dev/dak iğ devri)

İpliklerin öz direnç değerleri incelendiğinde, çeşitli şartlarda yapılan yıkama işlemi sonrasında direnç değerlerinin arttığı ve iletkenlik değerlerinin azaldığı belirlenmiştir. Dolayısıyla, yıkama işlemi ipliklerin iletkenliklerini olumsuz yönde etkilemiştir. İletkenlik değerlerindeki azalma yıkama şartlarına göre

değişmekle birlikte, 40°C 10 dakika için % 82.5, 20 dakika için % 56.8, 30 dakika için % 45.2 ve 60°C 10 dakika için % 24.8'dir.

Çizelge 4.1. Yıkama öncesi ve sonrası direnç değerlerine ait t-testi sonuçları

Yıkama	40°C 10 dakika	40°C 20 dakika	40°C 30 dakika	60°C 10 dakika
Öncesi ve sonrası	0.000*	0.001*	0.001*	0.011*

* : 0.05 seviyesinde istatistiksel açıdan önemli bir fark vardır.

** : Yıkama öncesi ve sonrası direnç değerleri arasında istatistiksel açıdan önemli bir fark vardır.

Çizelge 4.2. Yıkama şartlarına göre ANOVA LSD analizi sonuçları

Yıkama şartları		Önem (Sig.)
40°C 10 dakika	40°C 20 dakika	0.000*
	40°C 30 dakika	0.000*
	60°C 10 dakika	0.000*
40°C 20 dakika	40°C 30 dakika	0.069
	60°C 10 dakika	0.058
40°C 30 dakika	60°C 10 dakika	0.933

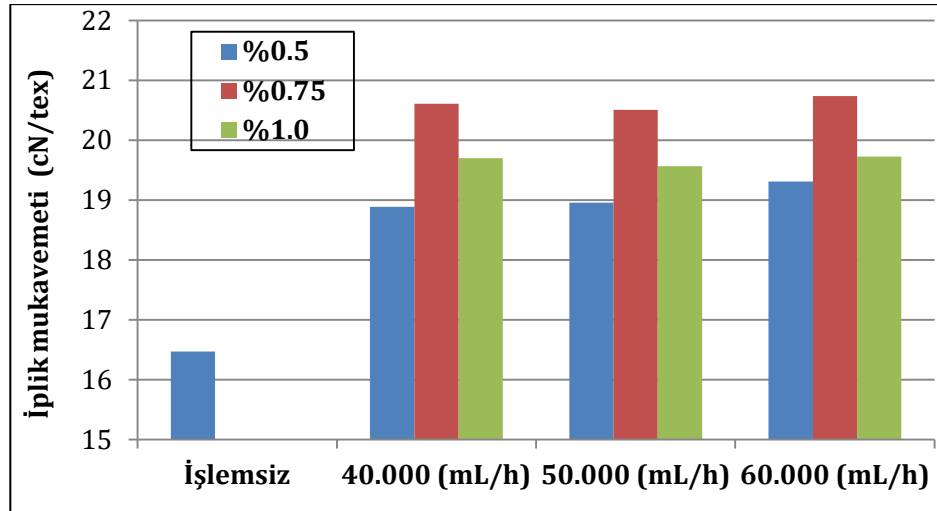
* : 0.05 seviyesinde istatistiksel açıdan önemli bir fark vardır.

Çizelge 4.1 ve 4.2'de verilen istatistiksel analiz sonuçlarına göre, yapılan yıkama işlemi sonrasında elde edilen direnç değerleri ile yıkama öncesindeki direnç değerleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemlidir. Tez çalışması kapsamında, geliştirilen alternatif yöntem ile iletken iplik üretiminde karbon siyahı gibi iletken malzemenin ipliğe bağlanması için herhangi bir bağlayıcı madde kullanılmamıştır. Dolayısıyla, yıkama sonrasında karbon siyahının bir kısmının uzaklaşması nedeniyle iletkenlikte kayıp meydana gelmiştir. Bu sonuç, iletkenlik için kullanılan malzemenin ipliğe bağlanmasını sağlayıcı bir yardımcı maddenin kullanılmasının kalıcı iletkenlik için gerekli olduğunu göstermektedir.

4.4. İplik Mukavemeti ve Kopma Uzaması

Üç farklı karbon siyahı konsantrasyonu ve besleme oranında üretilen Ne 16/1 numara % 100 pamuk iletken ipliklerin, iplik mukavemeti ve kopma uzaması özellikleri incelenmiş ve karbon siyahı uygulamasının ipliklerin gerilme özelliklerine etkisi değerlendirilmiştir. İplik mukavemeti değerleri incelendiğinde, karbon siyahı applike edilmiş ipliklerin işlem görmemiş ipliklere kıyasla daha yüksek iplik mukavemeti değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Mukavemet değerlerinde, % 15-25 oranında artış meydana geldiği tespit edilmiştir. Konsantrasyonun etkisi incelendiğinde, konsantrasyon % 0.5'den % 0.75'e arttırıldığında iplik mukavemeti artarken, % 0.75'den % 1.0'a arttırıldığında mukavemet artış değerleri her üç besleme oranında da azalma eğilimi göstermektedir. Dolayısıyla, % 0.75 sınır değerine kadar konsantrasyonun etkisi ile iplik mukavemeti % 25'e kadar artış gösterirken, söz konusu değerin üzerinde mukavemet değerinde % 15 gibi daha düşük oranda artış meydana gelmektedir. Ancak, her üç konsantrasyon değerinde de karbon siyahı uygulanmış ipliklerin uygulanmamış ipliklerden daha mukavim olduğu belirlenmiştir. Dispersiyon besleme miktarının etkisi konusunda ise besleme miktarı arttıkça, az da olsa iplik mukavemeti değerlerinin artış gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 4.14).

En yüksek iplik mukavemeti 60.000 mL/dak besleme miktarı ve % 0.75 konsantrasyon değerinde, en düşük değer 40.000 mL/dak besleme miktarı ve % 0.5 karbon siyahı konsantrasyonunda tespit edilmiştir.

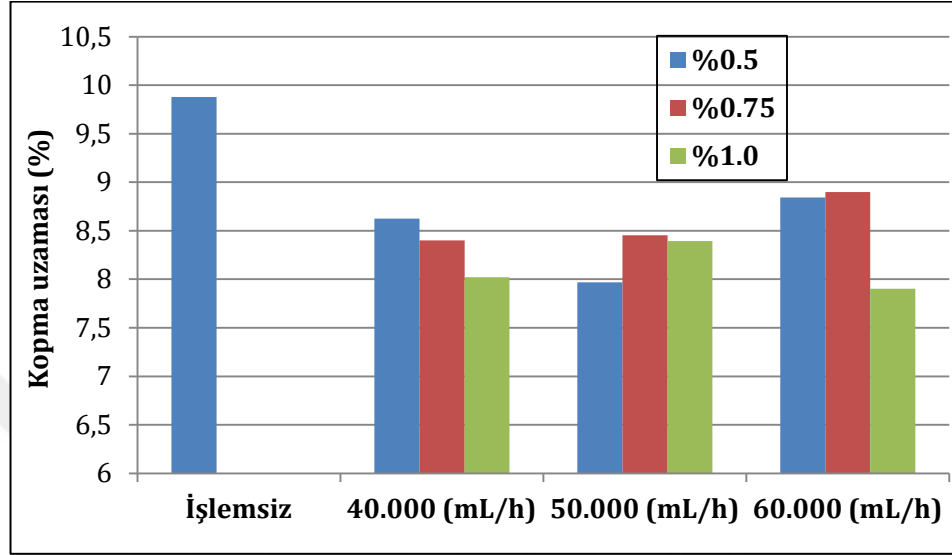


Şekil 4.14. Karbon siyahı dispersiyonu aplike edilmiş ve edilmemiş Ne 16/1 numara iletken %100 pamuk ipliklerin iplik mukavemeti sonuçları (5500 dev/dak iğ devri)

İplik kopma uzaması değerleri incelendiğinde, karbon siyahı aplike edilmiş ipliklerin işlem görmemiş % 100 pamuk ipliklerinden daha düşük kopma uzaması değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Novak vd. (2003) dolgulu elektro-iletken epoksi bazlı yapıştırıcılarda, sızma (percolasyon) konsantrasyonları ve kopma uzaması arasındaki korelasyon analizini incelemişlerdir. Dolgu tipinin sızma konsantrasyonu ve elektriksel iletkenlik üzerindeki etkisini belirlemek için dört farklı iletken dolgu maddesi; karbon siyahı, grafit, gümüş kaplı bazalt partikülleri ve lifleri kullanılmıştır. Dolgu maddesi içeriğindeki artışla doldurulmuş reçinelerin kopma uzamasının azaldığı görülmüştür. Kopma uzaması değerlerindeki kayıp, % 9.8-19.5 arasında değişmektedir.

Konsantrasyonun etkisi incelendiğinde, özellikle 50.000 mL/dak ve 60.000 mL/dak besleme değerlerinde iplik mukavemeti değerlerindeki değişime benzer bir eğilimin olduğu gözlenmiştir. Konsantrasyon % 0.5'den % 0.75'e arttırıldığında kopma uzaması değerleri artarken, % 0.75'den % 1.0'a arttırıldığında uzama değerleri her iki besleme oranında da azalma eğilimi göstermektedir. 40.000 mL/dak besleme oranında ise konsantrasyon arttıkça, ipliklerin kopma uzaması değerleri azalmıştır. Dispersiyon besleme miktarının etkisi konusunda ise her üç konsantrasyon için net bir eğilimin olmadığı

gözlenmiştir (Şekil 4.15). En yüksek iplik kopma uzaması 60.000 mL/dak besleme miktarı ve % 0.75 konsantrasyon değerinde, en düşük değer 60.000 mL/dak besleme miktarı ve % 1.0 karbon siyahı konsantrasyonunda tespit edilmiştir.



Şekil 4.15. Karbon siyahı dispersiyonu aplike edilmiş ve edilmemiş Ne 16/1 numara iletken % 100 pamuk ipliklerin kopma uzaması sonuçları (5500 dev/dak iğ devri)

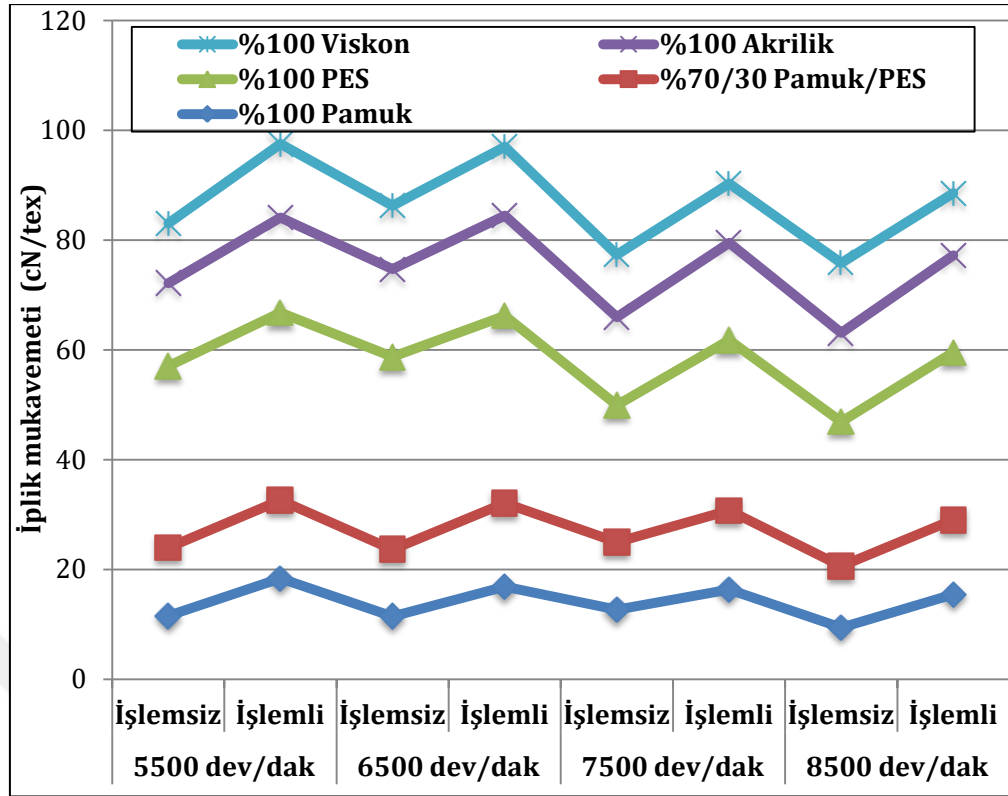
Çizelge 4.3. Ne 16/1 numara % 100 pamuk ipliklerinin farklı konsantrasyonlardaki mukavemet ve kopma uzaması değerlerine ait ANOVA LSD analizi sonuçları (5500 dev/dak iğ devri)

Konsantrasyon (%)		Mukavemet (cN/tex)			Uzama (%)		
		40.000 mL/h	50.000 mL/h	60.000 mL/h	40.000 mL/h	50.000 mL/h	60.000 mL/h
0	0.50	0.001*	0.000*	0.000*	0.001*	0.000*	0.001*
	0.75	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.198	0.002*
	1.0	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*
0.5	0.75	0.016*	0.020*	0.022*	0.504	0.000*	0.852
	1.0	0.234	0.346	0.489	0.076	0.198	0.002*
0.75	1.0	0.192	0.148	0.100	0.256	0.002*	0.001*

* : 0.05 seviyesinde istatistiksel açıdan önemli bir fark vardır.

Çizelge 4.3'de verilen istatistiksel analiz sonuçlarına göre; işlemsiz Ne 16/1 numara % 100 pamuk iplikler ve üç farklı konsantrasyon (% 0.50, 0.75 ve 1.0) ile işlem görmüş ipliklerin mukavemet ve kopma uzaması değerleri arasında tüm besleme miktarlarında önemli ölçüde fark gözlenmiştir.

Tez çalışmasının ilk denemelerinde, farklı tür lifler kullanılarak üretilen ve karbon siyahı dispersiyonu ile işlem görmüş ve görmemiş Ne 30/1 numara ipliklerin mukavemet değerleri karşılaştırılmıştır. İpliklerin sonuçları incelendiğinde, farklı iğ hızlarında % 0.5 oranında karbon siyahı aplike edilmiş ipliklerin, aplike edilmemiş ipliklerden daha yüksek iplik mukavemeti değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.16). Karbon siyahı içeren ipliklerin daha mukavim olması, Ne 16/1 numara ipliklerle benzerlik göstermektedir. Mukavemet değerlerindeki artış, pamuk ipliklerinde % 29-64, pamuk/polyester ipliklerinde % 14.5-25, polyester ipliklerde % 2.8-16, akrilik ipliklerde % 9-14.5 ve viskon ipliklerde % 5-23 arasında değişmektedir. Dolayısıyla, farklı tür tüm liflerden elde edilen iletken ipliklerin mukavemet değerlerindeki artış, karbon siyahı uygulamasının söz konusu değişime neden olduğu düşündürmektedir. Öte yandan, iğ hızı arttıkça karbon siyahı aplike edilmiş ve edilmemiş her iki tür ipliğin mukavemet değerleri genellikle azalma eğilimi göstermektedir. 6500 dev/dak iğ hızının üzerinde mukavemet değerleri azalmaktadır (Çizelge 4.4).



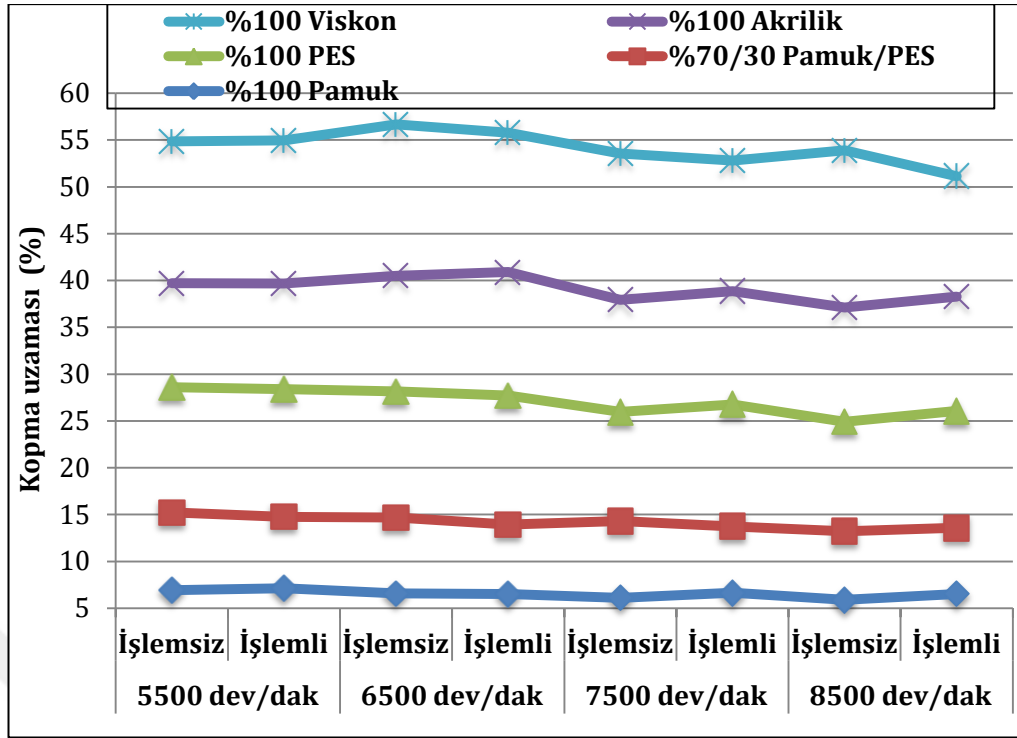
Şekil 4.16. Farklı tür lifler ve iğ devirleri için % 0.5 karbon siyahı dispersiyonu apliche edilmiş ve edilmemiş Ne 30/1 numara iletken ipliklerin iplik mukavemeti değerlerindeki değişim

Çizelge 4.4. Ne 30/1 numara farklı elyaf çeşitlerinin farklı iğ devirlerindeki mukavemet değerlerine ait t-testi sonuçları

İğ devri (dev/dak)	Pamuk	%70/30 Pamuk/PES	PES	Akrilik	Viskon
5500	0.000*	0.303	0.973	0.883	0.992
6500	0.000*	0.496	0.579	0.340	0.113
7500	0.000*	0.004*	0.774	0.914	0.679
8500	0.000*	0.199	0.775	0.098	0.958

* : 0.05 seviyesinde istatistiksel açıdan önemli bir fark vardır.

% 0.5 oranında karbon siyahı dispersiyonu ile işlem görmemiş ve işlem görmüş ipliklerin kopma uzaması sonuçları incelendiğinde, iğ hızına bağlı olarak ipliklerin kopma uzaması değerlerinin değiştiği belirlenmiştir (Şekil 4.17).



Şekil 4.17. Farklı tür lifler ve iğ devirleri için % 0.5 karbon siyahı dispersiyonu aplice edilmiş ve edilmemiş Ne 30/1 numara iletken ipliklerin kopma uzaması değerlerindeki değişim

Pamuk/polyester karışımı ve viskon ipliklerinde kopma uzaması değerleri azalırken, % 100 pamuk, polyester ve akrilik ipliklerinde değerlerin arttığı belirlenmiştir. Azalma oranı pamuk/polyester karışımı ipliklerde % 3.6-13.5 ve viskon ipliklerinde % 23.3 oranında gerçekleşirken, pamuk ipliklerinde % 3-10.8, polyester ipliklerinde % 1.8-11.9 ve akrilik ipliklerinde % 0.9-6.7 arasında artış meydana geldiği belirlenmiştir. İğ hızının etkisi incelendiğinde, pamuk ve pamuk/polyester karışımı ipliklerde belirgin bir değişim gözlenmemekle birlikte, özellikle polyester, akrilik ve viskon ipliklerinde iğ hızı arttıkça kopma uzaması değerlerinin daha belirgin şekilde azaldığı tespit edilmiştir (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5. Ne 30/1 numara farklı elyaf çeşitlerinin farklı iğ devirlerindeki kopma uzaması değerlerine ait t-testi sonuçları

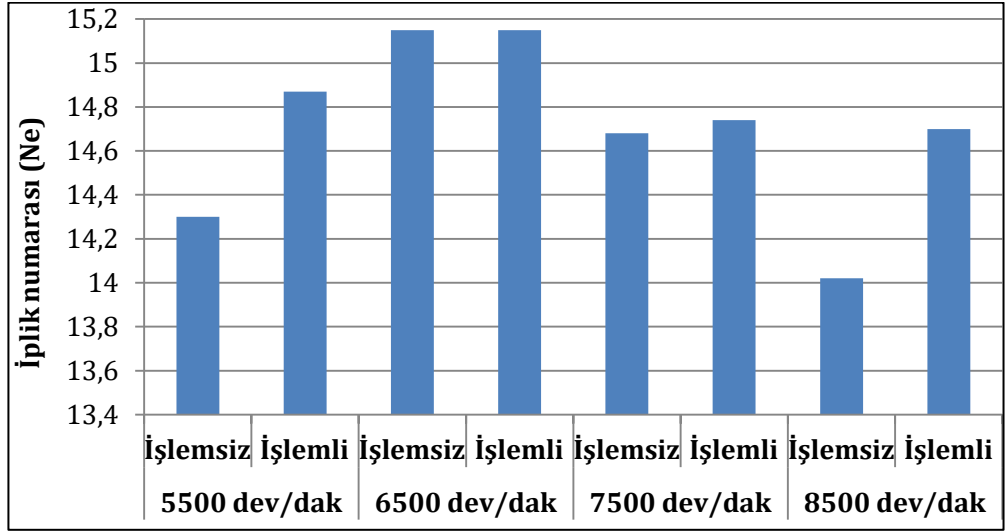
İğ devri (dev/dak)	Pamuk	%70/30 Pamuk/PES	PES	Akrilik	Viskon
5500	0.325	0.046*	0.455	0.661	0.804
6500	0.795	0.057	0.306	0.000*	0.049*
7500	0.005*	0.001*	0.000*	0.795	0.017*
8500	0.053	0.290	0.046	0.754	0.000*

* : 0.05 seviyesinde istatistiksel açıdan önemli bir fark vardır.

Ne 16/1 ve 30/1 numara sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, karbon siyahı aplikasyonu sonucu ipliklerin mukavemet değerlerinin arttığı, kopma uzaması değerlerinin ise, bazı koşullarda azalmasının veya değişmemesinin istatistiksel olarak önemli olmadığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, genel olarak karbon siyahı aplikasyonun kopma uzamasını düşürdüğü gözlenmiştir.

4.5. İplik Numarası

Karbon siyahı aplikasyonun, iplik numarasına etkisini analiz etmek amacıyla % 0.5 oranında karbon siyahı uygulanmış ve uygulanmamış Ne 16/1 numara ve Ne 30/1 numara ipliklerin numara değerleri farklı iğ hızları için karşılaştırılmış ve sonuçlar Şekil 4.18 ve 4.19'da verilmiştir. Ne 16/1 numara % 100 pamuk ipliklerine ait sonuçları incelendiğinde, karbon siyahı uygulaması sonucu ipliklerin numara değerlerinin arttığı ve ipliklerin daha ince hale geldiği belirlenmiştir. Çizelge 4.6'da verilen istatistiksel analiz sonuçlarında da görüldüğü gibi iplik numara değişimindeki önem derecesi, farklı iplik üretim şartlarına göre değişiklik göstermektedir. Bu durumun çalışma sırasında meydana gelen ve standart olmayan elyaf kayıplarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Gelecekte yapılacak araştırmalarda bu kaybın önemsiz düzeye çekilmesi üzerine çalışılmalıdır. Ne 30/1 numara farklı tür liflerden elde edilen ipliklerde de benzer durum söz konusu olup, ipliklerin numara değerlerindeki değişimin istatistiksel açıdan önem düzeylerinde farklılıklar söz konusudur (Çizelge 4.7).

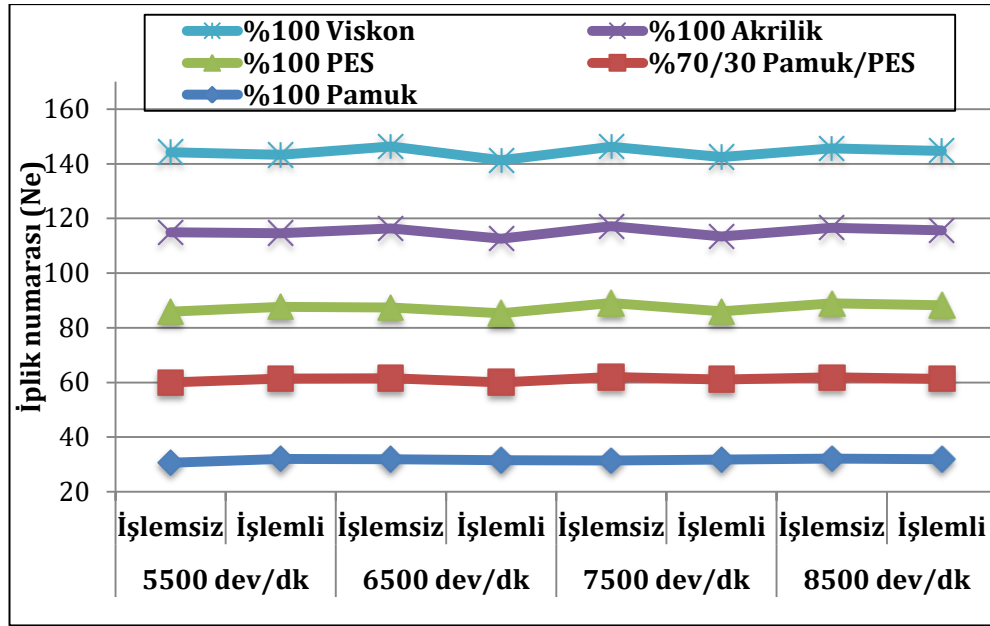


Şekil 4.18. Farklı iğ devirleri için % 0.5 karbon siyahı dispersiyonu aplike edilmiş ve edilmemiş Ne 16/1 numara % 100 pamuk iletken ipliklerin iplik numara sonuçları

Çizelge 4.6. 16/1 numara % 100 pamuk ipliklerinin farklı çözelti miktarlarında, farklı konsantrasyonlarda ve farklı dispersiyon besleme oranlarındaki numara değerlerine ait ANOVA LSD analizi sonuçları (5500 dev/dak iğ devri)

30 mL				40 mL			60 mL	
Besleme (mL/h)		%0.5	%0.75	%0.5	%0.75	%1.0	%0.75	%1.0
40.000	50.000	0.000*	0.625	-	0.336	0.003*	0.018*	0.502
	60.000	0.565	0.031*	-	0.001*	0.000*	0.001*	0.123
	70.000	0.000*	0.258	-	0.839	0.000*	0.005*	0.000*
	80.000	0.002*	0.184	-	-	-	-	-
50.000	60.000	0.000*	0.009*	0.031*	0.000*	0.152	0.000*	0.378
	70.000	0.000*	0.095	0.856	0.447	0.000*	0.000*	0.000*
	80.000	0.000*	0.438	0.004*	-	-	-	-
60.000	70.000	0.000*	0.135	0.004*	0.001*	0.000*	0.602	0.000*
	80.000	0.000*	0.000*	0.000*	-	-	-	-
70.000	80.000	0.108	0.004*	0.001*	-	-	-	-

* : 0.05 seviyesinde istatistiksel açıdan önemli bir fark vardır.



Şekil 4.19. Farklı tür lif ve farklı iğ devirleri için % 0.5 karbon siyahı dispersiyonu applike edilmiş ve edilmemiş Ne 30/1 numara iletken ipliklerin iplik numara değerleri

Çizelge 4.7. Ne 30/1 numara farklı elyaf çeşitlerinin farklı iğ devirlerindeki numara değerlerine ait t-testi sonuçları

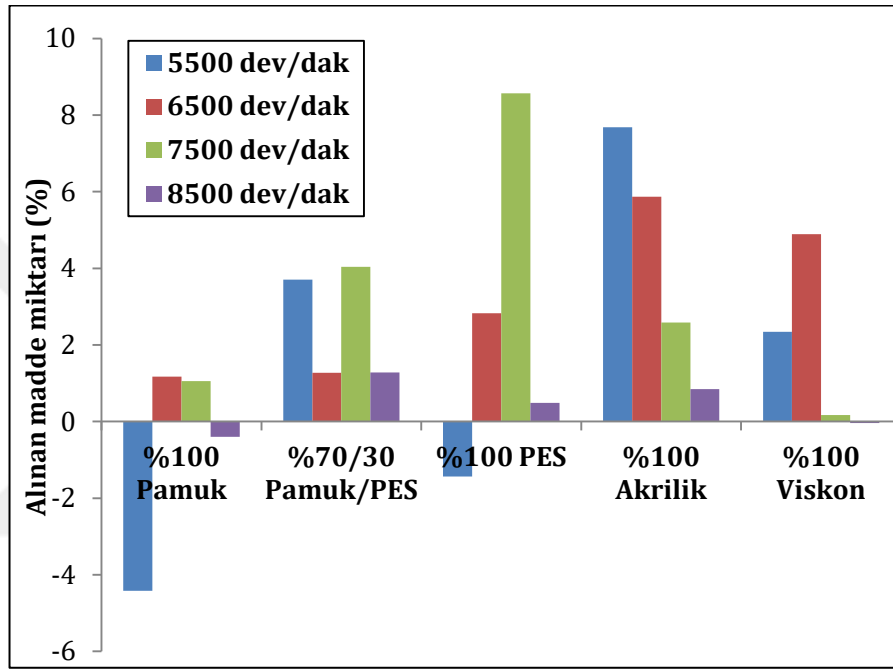
İğ devri (dev/dak)	Pamuk	%70/30 Pamuk/PES	PES	Akrilik	Viskon
5500	0.007*	0.050*	0.212	0.000*	0.035*
6500	0.395	0.175	0.003*	0.000*	0.002*
7500	0.526	0.011*	0.003*	0.001*	0.897
8500	0.636	0.281	0.371	0.071	0.925

* : 0.05 seviyesinde istatistiksel açıdan önemli bir fark vardır.

Tez çalışmasının ilk denemelerinde uygulanan karbon siyahı aplikasyonunun üretilen iletken ipliklerce alınan madde miktarları hakkında fikir edinebilmek amacı ile; karbon siyahı uygulanmış iplik ve uygulanmamış iplik arasındaki ağırlık farkı standart atmosfer koşullarında ölçülmüştür. Aşağıda verilen formül kullanılarak alınan madde miktarı (%) hakkında yorumlama yapılmıştır.

$$(\text{işlemlili (gr)} - \text{işlemsiz (gr)}) / \text{işlemsiz (gr)} \times 100 \quad (4.1)$$

Şekil 4.20 incelendiğinde, iletken ipliklerin alınan madde miktarı değerlerinin yalnızca kullanılan elyaf çeşidine ve iğ devrine bağlı olmadığı, iplik üretim koşullarının ayrı ayrı değerlendirilmesi gerektiği görülmüştür. Ayrıca çalışma sırasında müdahale edilemeyen makine özelliklerinin bu konuda önemli etkisi bulunmaktadır. Aplikasyon sonucunda değişen numara değerlerinde olduğu gibi alınan madde miktarı değerlerinin de büyük ölçüde üretim sırasında meydana gelen elyaf kayıplarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

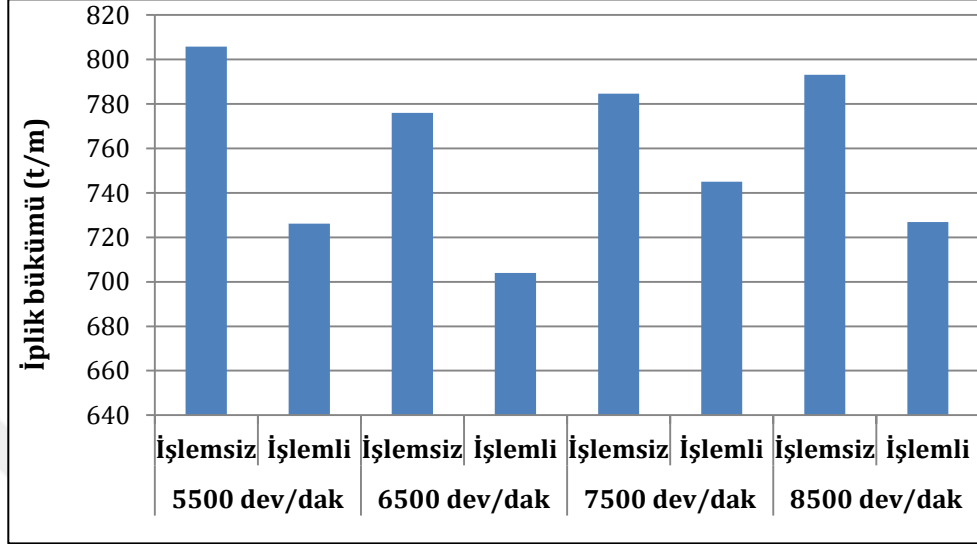


Şekil 4.20. Farklı tür lif ve farklı iğ devirleri için % 0.5 karbon siyahı dispersiyonu aplice edilmiş Ne 30/1 numara iletken ipliklerin alınan madde miktarı değerleri

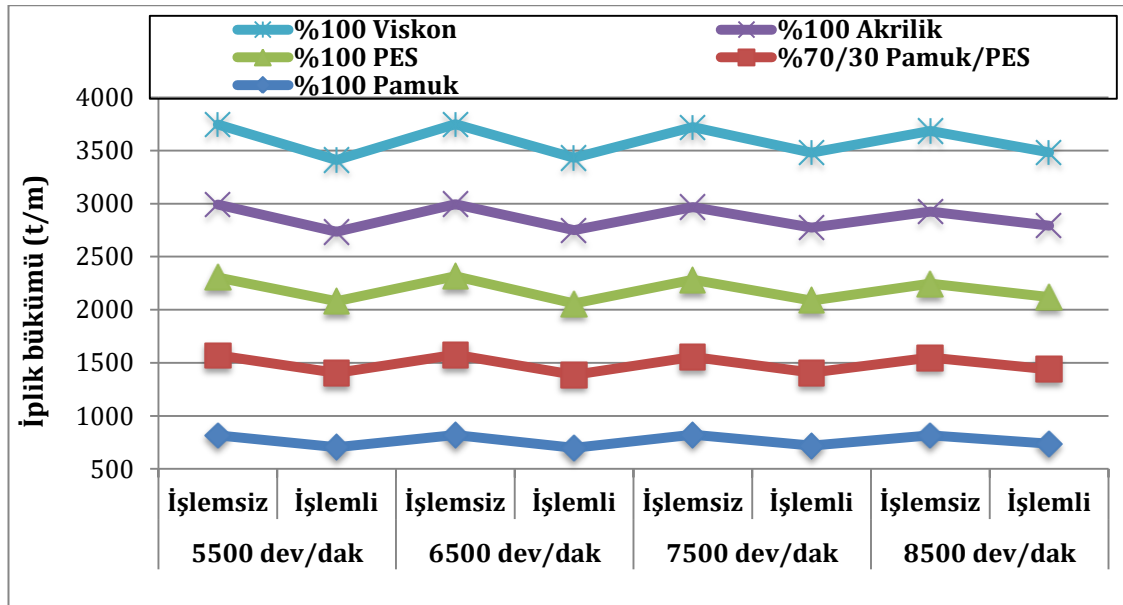
4.6. İplik Bükümü

Fonksiyonel iplik üretimine yönelik olarak geliştirilen metotta, konvansiyonel ring iplik üretimi sırasında istenilen özelliğe uygun dispersiyon ana çekim bölgesindeki elyaf demetine özel olarak tasarlanmış besleme aparatı ile çıkış silindirine yakın bir noktada uygulanmaktadır. Daha sonra elyaf demeti, bilezik-kopça ikilisi ile sağlanan büküm ile bükülmektedir. Ana çekim bölgesine yapılan müdahalenin, ipliklerin büküm almasını nasıl etkilediğini belirlemek amacıyla karbon siyahı uygulanmış ve uygulanmamış ipliklerin büküm değerleri

karşılaştırılmıştır. % 0.5 oranında karbon siyahı uygulanmış ve uygulanmamış Ne 16/1 numara ve Ne 30/1 numara ipliklerin büküm değerleri farklı iğ hızları için karşılaştırılmış ve sonuçlar Şekil 4.21 ve 4.22'de verilmiştir.



Şekil 4.21. Farklı iğ devirleri için % 0.5 karbon siyahı dispersiyonu applike edilmiş ve edilmemiş Ne 16/1 numara iletken % 100 pamuk ipliklerin iplik büküm değerleri



Şekil 4.22. Farklı tür lifler ve iğ devirleri için % 0.5 karbon siyahı dispersiyonu applike edilmiş ve edilmemiş Ne 30/1 numara iletken ipliklerin iplik büküm değerlerindeki değişim

Ne 16/1 numara ipliklerin büküm değerleri incelendiğinde, karbon siyahı aplike edilmiş ipliklerin daha düşük büküm değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Ne 30/1 iplik numarasında da benzer durum söz konusu olup, farklı tür lifler ve iğ devirlerinde aplikasyon sonucu iplik bükümü azalmıştır. Azalma oranı Ne 16/1 numara ipliklerde % 5-9.8, Ne 30/1 numarada pamuk ipliklerinde %9.5-13.5, pamuk/polyester ipliklerinde % 4.3-8.9, polyester ipliklerinde % 2.3-9.1, akrilik ipliklerinde % 0.2-5.1 ve viskon ipliklerinde % 6.5-10.2 arasında değişmektedir. İstatistiksel olarak değerler analiz edildiğinde; farklı tür elyaf ve iğ devirlerinde üretilen iletken iplik ile iletken olmayan ipliklerin büküm değerleri arasındaki farkın genel olarak önemli düzeyde olduğu gözlenmiştir (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8. Farklı elyaf çeşitlerinin farklı iğ devirlerine göre büküm değerlerine ait t-testi sonuçları

İğ devri (dev/dak)	Ne 30					Ne 16
	Pamuk	%70/30 Pamuk/PES	PES	Akrilik	Viskon	Pamuk
5500	0.000*	0.000*	0.000*	0.002*	0.000*	0.000*
6500	0.000*	0.000*	0.000*	0.392	0.000*	0.000*
7500	0.000*	0.000*	0.002*	0.767	0.000*	0.024*
8500	0.000*	0.000*	0.142	0.528	0.000*	0.000*

* : 0.05 seviyesinde istatistiksel açıdan önemli bir fark vardır.

4.7. İletken İpliğin Toplayıcı Olarak Kullanımı

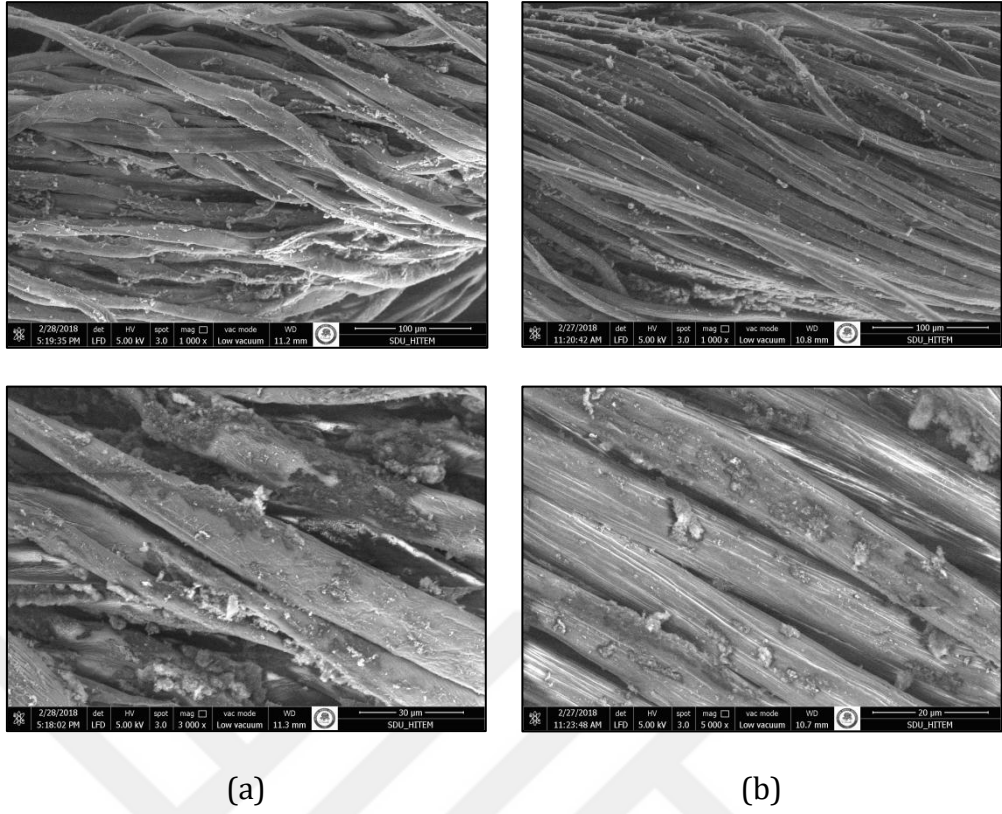
Çalışmanın son bölümünde, üretilen iletken iplikler elektrostatik lif çekiminde toplayıcı olarak kullanılmıştır. Bilindiği gibi, elektrostatik veya elektrik alan ile lif çekimi (elektrospinning), nano boyutlu lif üretimi için en etkili ve en basit metottur. Elektrostatik lif çekim yöntemi ile ağsı doku/yığın halinde nanolifler elde edilmektedir. Son yıllarda, nanoliflerin tekstil sektöründe ağsı doku yapısının yanı sıra farklı formlarda kullanımına yönelik çeşitli araştırmacılar tarafından farklı yaklaşımlar ortaya konulmaktadır. Bu çalışmada da, iletken ipliklerin elektrostatik lif çekiminde toplayıcı olarak kullanılması ve ipliğin nanoliflerle kaplanması amaçlanmıştır. Böylece, iletkenliğin yanı sıra lif

çekiminde kullanılan polimer veya nanopartikül içerikli polimere bağlı olarak çeşitli özelliklerin ipliğe kazandırılması ve ipliklere farklı alanlarda kullanım olanağı sağlanmış olacaktır. Elektrostatik lif çekiminde istenilen özelliğe uygun polimerlerin seçimi yapılarak, kompozit veya hibrit özelliğe sahip iplik üretiminin mümkün hale gelmesi amaçlanmıştır.

Öte yandan, elektrostatik lif çekiminde nanolifler genellikle alüminyum folyo, iplik, dokusuz yüzey veya bir kumaş tabakası üzerine biriktirilmektedir. Çalışmada; literatürden farklı olarak, elektrostatik lif eğirme işlemi sırasında oluşan nano/mikro boyuttaki yüzeylerin toplanmasında kullanılan topraklanmış metal kollektör tamamen kaldırılıp yerine, çalışma kapsamında üretilen iletken iplik direkt kollektör olarak kullanılmıştır.

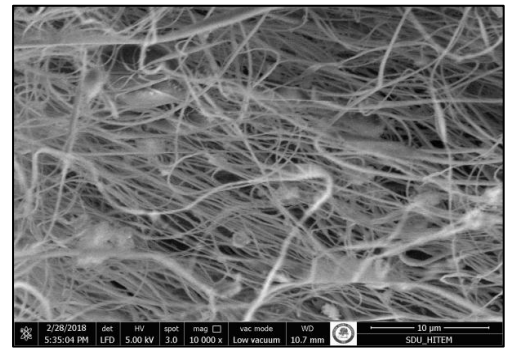
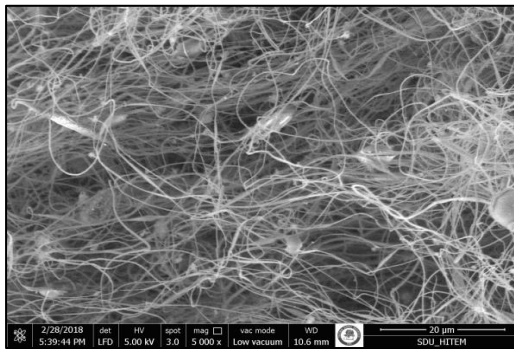
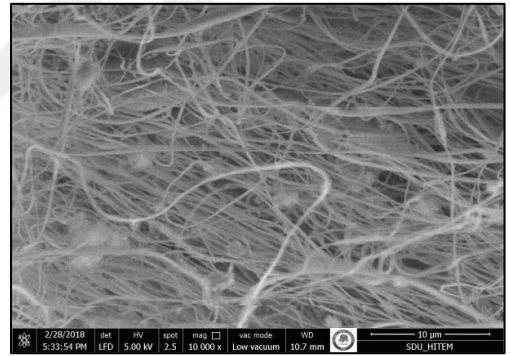
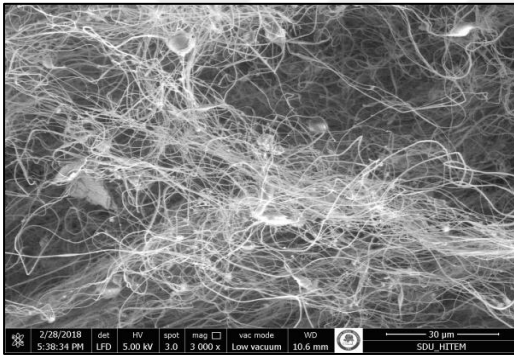
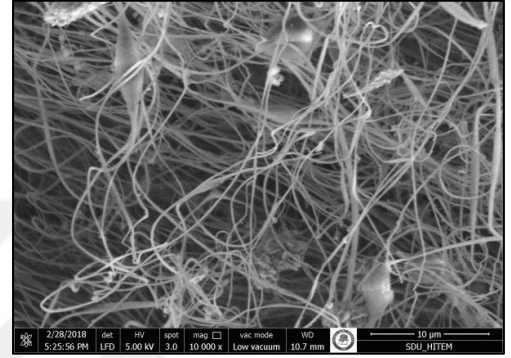
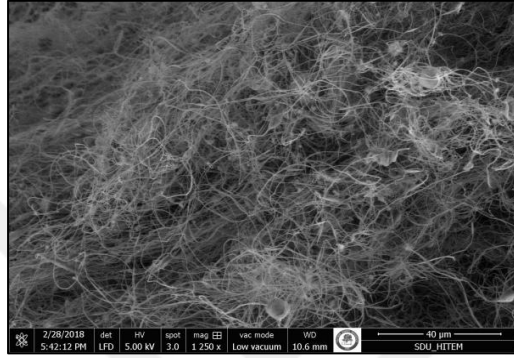
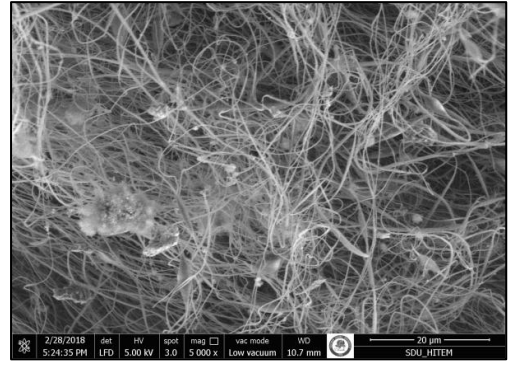
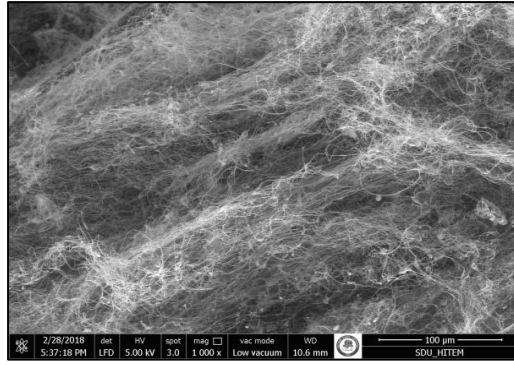
Çalışmada, elektrostatik lif çekiminde toplayıcı olarak, % 0.5 oranında karbon siyahı uygulanmış ve 5500 dev/dak iş hızında üretilmiş iletken Ne 16/1 numara pamuk ve Ne 30/1 numara pamuk ve akrilik iplikleri kullanılmıştır. Nanolif çekiminde, % 6 konsantrasyonda N,Ndimethylformamide (DMF) çözücüsü içerisinde poliüretan (PU) ve poliakrilonitril (PAN) solüsyonları hazırlanmıştır. PU solüsyonu kullanılarak % 100 pamuk ipliği üzerine, PAN solüsyonu kullanılarak ise % 100 pamuk ve % 100 akrilik iplikleri üzerine 5 dakika lif çekimi yapılmıştır.

Nanolif çekimi sonrasında elde edilen ipliklerin görüntüleri Taramalı Elektron Mikroskopunda (SEM) incelenerek, nanolif entegrasyonu ve elde edilen ipliklerin yapıları analiz edilmiştir. % 6'lık PAN polimeri kullanılarak elde edilen ipliklere ait görüntüler, Şekil 4.23-4.25'de verilmiştir.



Şekil 4.23. Elektrostatik lif çekiminde toplayıcı olarak kullanılan iletken Ne 16/1 numara % 100 pamuk (a) ve Ne 30/1 numara % 100 akrilik (b) ipliğine ait görüntüler (% 0.5 karbon siyahı oranı ve 60.000 mL/dak besleme oranı)

Şekil 4.23 incelendiğinde, çalışma kapsamında geliştirilen yöntem ile üretilen ipliklerin yapılarında karbon siyahı partikülleri içerdikleri gözlenmektedir. Elyaf açık formda iken applike edilen dispersiyon, büküm sonucu ipliğin iç ve dış yapısında konumlanmıştır. Karbon siyahı uygulaması sonucu iletken özellik kazanan bu iplikler, elektrostatik lif çekiminde toplayıcı olarak kullanılmış ve Şekil 4.24'de görüldüğü gibi nanolifler ile kaplanmıştır. Polimerden lif çekimi sırasında çekilen liflerin ortamda herhangi bir metal yüzey bulunmamasına karşın direk olarak iletken iplik üzerine yönlendirilmesi, çalışma kapsamında üretilen iletken ipliğin elektrostatik lif çekiminde toplayıcı olarak kullanılabilirliğini göstermektedir. Ayrıca sabit olarak konumlandırılmış iletken ipliğin tamamen nanolifler ile kaplandığı gözlemlenmiştir.

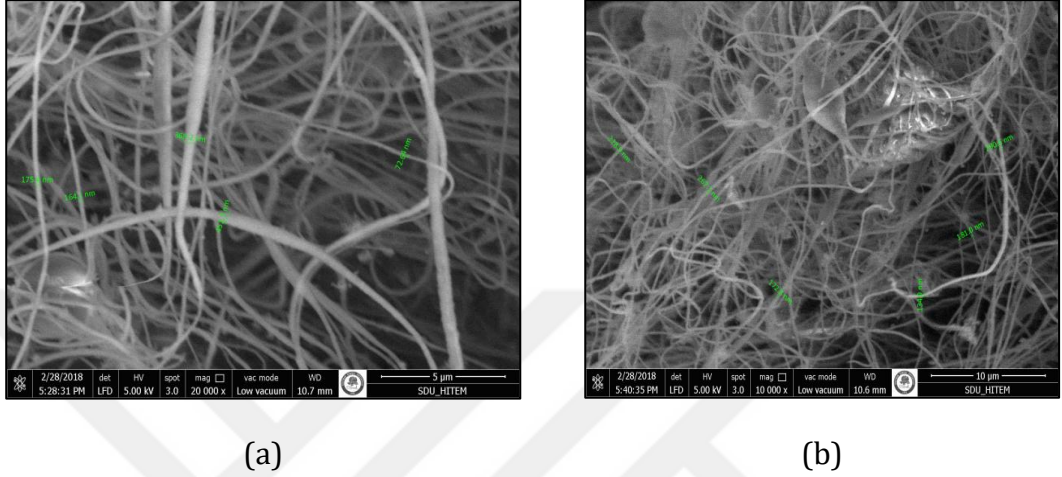


(a)

(b)

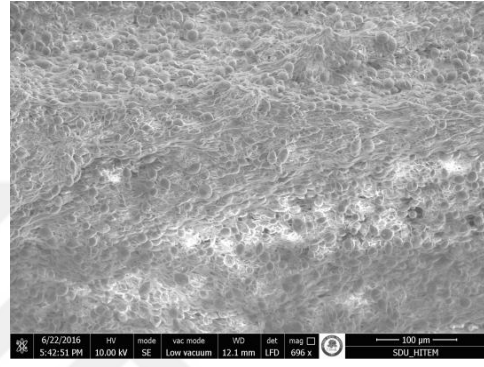
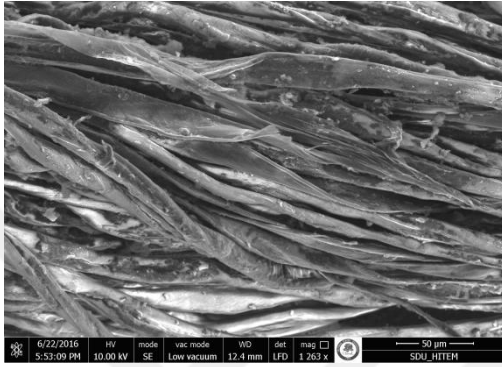
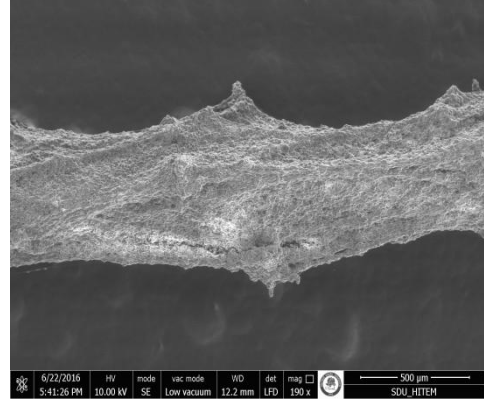
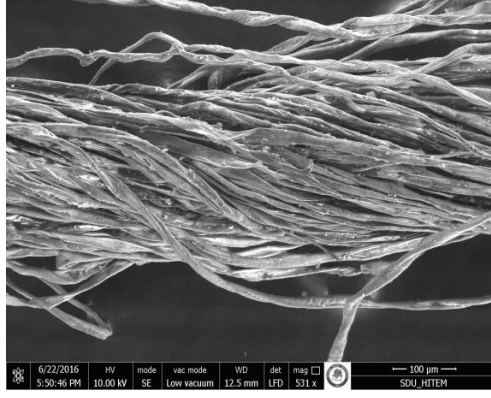
Şekil 4.24. Üzerinde PAN nanolifler bulunan ipliklere ait görüntüler (a: Ne 16/1 numara %100 pamuk ipliği, b: Ne 30/1 numara % 100 akrilik ipliği)

Şekil 4.25'de ölçümü görülen çap dağılımları pamuk ipliği için ortalama 246.54 nm (20.000x), akrilik ipliği için ise ortalama 212,55 nm (10.000x) boyutlarındadır. Bununla birlikte, gözlenen daha büyük ve balon şeklinde olan yapıların, lif formuna dönüşememiş polimerden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4.25. PAN nanolifleri ile kaplanan ipliklerin çap dağılımları (a: Ne 16/1 numara iletken pamuk ipliği, b: Ne 30/1 numara iletken akrilik ipliği)

% 6'lık PU polimeri kullanılarak elde edilen ipliklere ait görüntüler, Şekil 4.26'da verilmiştir. PU polimerinden çekilen liflerin de PAN polimerinden çekilen liflerde olduğu gibi, direk olarak iletken ipliğin üzerine yönlendiği ve ipliği tamamen kapladığı gözlenmiştir. Elektrostatik lif çekiminde PU polimerinden elde edilen lifler, PAN polimerinden elde edilen liflere oranla daha çok mikro boyuttadır. Bu sonucun, karbon siyahı aplikasyonuna bağlı olmadığı, polimerden lif çekimi koşullarından kaynaklandığı düşünülmektedir.



(a)

(b)

Şekil 4.26. Elektrostatik lif çekiminde toplayıcı olarak kullanılan % 0.5 karbon siyahı oranı ve 60.000 mL/dak besleme oranı ile üretilmiş iletken Ne 30/1 numara % 100 pamuk (a) ve üzerinde nano/mikro yapı bulunan Ne 30/1 numara pamuk ipliğine ait görüntüler (b)

Sonuç olarak; literatürde kullanılan topraklanmış metal kollektör yerine, bu tez çalışmasında üretilen iletken iplikler kollektör olarak kullanılmış ve nano/mikro boyuttaki yapılar ile kaplanmıştır. Bu yeni üretim şeklinin gelecekte, gelişmiş fonksiyonel özellikler kazandırma ve farklı kullanım alanları sağlama konularına ışık tutacağına inanılmaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Elektronik tekstillere ait ilk örnekler fonksiyonellikleri bakımından yeterli niteliklere sahip olsalar da, "giyilebilirlik" bakımından yeterince rahat ve ergonomik olarak değerlendirilmemektedir. Günümüzde, elektronik tekstillerden üstün iletkenlik yanı sıra esneklik, deforme olma, eğilip bükülme gibi konfor ve görsellik özellikleri beklenmektedir. Gelecekte ise kullanıcılara örtme ve süslemenin ötesinde, başta sağlık, güvenlik ve enformasyon alanlarında olmak üzere başka hizmetler de sunabilen, çok işlevli akıllı tekstil ürünlerinin üretimi ve günlük hayatta kullanımı istenmektedir. Tüm bu beklentiler doğrultusunda, "giyilebilir elektronikler" alanında dünyada ciddi Ar-Ge çalışmaları yürütülmektedir. Son yıllarda, giyilebilir tekstil ürünlerinin üretimi gerçekleştirilmiştir. Fakat, bu ürünlerin çoğu prototip aşamasındadır ve ticari örnekleri çok fazla değildir. Teknolojik ilerlemeler sonucunda yakın gelecekte; maliyet, dayanım, konfor ve uygulama zorlukları konularında sağlanacak olumlu gelişmelerle günlük hayatta kullanımlarının yaygınlaşması beklenmektedir.

İletken malzemelerin tekstil yüzeylerine entegrasyonunda kullanılan metotlar genel olarak; sınırlı esneklik ve yetersiz giysi konforu, yüksek üretim maliyeti, artan ürün ağırlığı, çevreci olmama ve sınırlı seri üretim gibi önemli problemleri bulunmaktadır. Ayrıca üretimde homojen karışım yapma güçlüğü, yıkama veya terlemeye karşı duyarsızlık gibi aşılması gereken ciddi sorunlar söz konusudur. Kullanılan iletken malzemenin, sert ve kırılabilir özellikleri zamanla iplik makinelerine zarar verebilmektedir. Bu nedenle, yeni elyaf ve tekstil materyalleri ile çok küçük, esnek ve hafif şekilde üretilen giyilebilir elektronik tekstillerin üretimine ihtiyaç bulunmaktadır. Bu ihtiyaç, değişik yapı ve özelliklerde lifler kullanılarak değişik tekniklerle farklı yapılarda ipliklerin üretilmesine yönelik çeşitli çalışmaları tetiklemiştir. Bunun sonucu olarak da yeni lif türleri ve iplik üretim yöntemleri araştırılmaya başlanmıştır. Bu konudan yola çıkarak, bu tez çalışmasında iplik üretimi esnasında iletkenlik sağlayan uygun bir malzemenin klasik iplik eğirme sisteminde kullanılmasına imkan veren bir prosesin geliştirilmesi ve böylece iletken özellik taşıyan

ipliklerin üretilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada, iletken malzeme olarak ucuz ve temin edilmesi kolay olması nedenleriyle "karbon siyahı" tercih edilmiştir. Açık haldeki elyaf demetine, iletken karbon siyahı dispersiyonun uygulanması esasına dayanan inovatif bir yöntem geliştirilmiştir. Tez çalışması kapsamında, farklı iğ devirlerinde Ne 30/1 numaraya sahip %100 pamuk, %70/30 pamuk/PES, %100 PES, %100 akrilik ve %100 viskon iletken iplikler üretilmiştir. İletkenlik ölçümleri klasik iki uç yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Üretilen ipliklerin inceliğinden dolayı iki uç yönteminde kullanılan ölçüm uçlarının ipliğe tam olarak temas etmemesi nedeniyle, ipliklerin sarılı olduğu kopslar üzerinde yapılan ölçümlerde direnç değeri tespit edilmesine karşın, zaman zaman iplik üzerinde herhangi bir direnç değeri gözlenememiştir. Bu nedenle, iki uç yöntemi modifiye edilmiş ve Ne 16/1 gibi kalın iplik üretimine odaklanılmıştır.

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen denemelerin sonuçları değerlendirildiğinde; karbon siyahı aplikasyonunun tüm elyaf türlerinde belirli ölçüde iletkenlik fonksiyonunu kazandırdığı belirlenmiştir. Dolayısıyla tez çalışması amacına ulaşmış, geliştirilen metodun işlevselliği kanıtlanmıştır. Seçilecek olan fonksiyonel malzeme özelliğine bağlı olarak iletkenlik, dolayısıyla geliştirilen metodun işlevselliği arttırılabilecektir. Karbon siyahı kullanılan bu çalışmada; farklı iğ devirleri, farklı dispersiyon besleme oranları ve farklı konsantrasyonlar denenmiştir. İğ devri arttığında hemen hemen tüm elyaf çeşitlerinin direnç değerinin arttığı, dolayısıyla iletkenliğin azaldığı gözlenmiştir. İyi iletkenlik sonuçları için; iğ devri değişiminin dispersiyon besleme oranına bağlı olduğu belirlenmiştir. Besleme oranı ve karbon siyahı konsantrasyonu arttığında ise iletkenliğin arttığı gözlenmiştir. Besleme oranına kıyasla karbon siyahı konsantrasyonun, iletkenlik değerleri üzerinde daha etkili olduğu saptanmıştır. İpliklerin yıkama sonrası iletkenliğinin belirlenmesi amacıyla yapılan yıkama işleminde, yıkama şartlarına bağlı olarak iletkenlik değerlerinin değiştiği ve iletkenliğin beklendiği gibi azaldığı belirlenmiştir. Uygulanan karbon siyahı dispersiyonunda herhangi bir bağlayıcı maddenin kullanılmasının karbon siyahı ile lifler arasında bir bağ oluşmadığını düşündürmektedir. Dolayısıyla, yıkama sonrasında karbon siyahının bir

kısının uzaklaşması nedeniyle iletkenlikte kayıp meydana gelmiştir. Bu sonuç, iletkenlik için kullanılan malzemenin ipliğe bağlanmasını sağlayıcı bir yardımcı maddenin kullanılmasının kalıcı iletkenlik için gerekli olduğunu göstermektedir.

Karbon siyahı aplikasyonunun iplik mukavemetini arttırdığı, iğ hızına bağlı olarak ipliklerin kopma uzaması değerlerinin değiştiği ve genel olarak kopma uzaması değerlerinin düştüğü belirlenmiştir. Karbon siyahı uygulaması sonucu ipliklerin numara değerlerinin arttığı ve ipliklerin daha ince hale geldiği belirlenmiştir. Bu sonuç, üretim sırasında elyaf kaybı olduğunu göstermektedir. Gelecek araştırmalarda bu sorunun çözülmesine yönelik çalışmalar yürütülmelidir. Farklı tür elyaflar ve iğ devirlerinde karbon siyahı aplikasyonu sonucu ipliklerin daha düşük büküm değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Kullanılan iletken malzemenin büküm işlemi sırasında elyafa uygulanması nedeniyle büküm değerlerinin azaldığı düşünülmektedir.

Çalışmanın son bölümünde, üretilen iletken iplikler elektrostatik lif çekiminde toplayıcı olarak kullanılmıştır. Böylece, ipliğe iletkenliğin yanı sıra lif çekiminde kullanılan polimerlere bağlı olarak çeşitli özelliklerin kazandırılması ve farklı alanlarda kullanım olanağının sunulması amaçlanmıştır. Denemeler sonucunda, %6'lık poliüretan ve poliakrilonitril polimerlerinden çekilen nano/mikro yapılar iletken ipliklerin direkt olarak üzerine toplanmıştır. Dolayısıyla iletken ipliğin toplayıcı olarak kullanılması ve nano/mikro yapılar ile kaplanması amacına ulaşmıştır.

Türk tekstil sektörünün vizyonu; katma değeri yüksek, yenilikçi, rekabetçi ve teknoloji içeren ürün ve hizmet sunumları ile dünya ticaretindeki payını ve toplumsal refahı arttırmaktır (Anonim, 2003). Bu tez çalışması kapsamında geliştirilen yöntemin de, proses ve elde edilen ürün açısından çeşitli avantajlar sunması beklenmektedir. Proses açısından, yöntemin tekstil işletmelerinde mevcut klasik eğirme makinelerinde kullanabilmesi, tekstil elyafı ve fonksiyonel malzeme konusunda herhangi bir sınırlamasının olmaması, geniş ölçekte üretime uygunluğu gibi avantajları bulunmaktadır. Bu bağlamda tez çalışması; iplik üretici firmaların kendi öz kaynaklarını kullanarak mevcut talebe cevap

verebilmelerine, aynı zamanda katma değerli ürün üretebilmelerine olanak sağlayacaktır. Tez çalışması; geliştirilen iplik üretim prosesi ve üretilen iletken ipliğin elektrostatik lif çekiminde herhangi bir metal yüzey kullanılmaksızın direkt toplayıcı olarak kullanılması yönleriyle özgünlük taşımaktadır.



KAYNAKLAR

- Adamhasan, A.S., 2008. Poliester/Polianilin, Pamuk/Polianilin Kompozit Kumaşlarının Hazırlanması ve Elektriksel özelliklerinin İncelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
- Ali, U., Zhou, Y., Wang, X., Lin, T., 2011. Electrospinning of Continuous Nanofiber Bundles and Twisted Nanofiber Yarns, Nanofibers-Production, Properties and Functional Applications. Rigeke: Intech, 153-174.
- Akşit, A., Nurhan, O.N.A.R., Kayatekin, I., Ebeoğlu, M.F., Çelik, E., Özdemir, İ. 2007. Polianiline ve Polipirol Kaplanan Pamuklu Kumaşların Elektromanyetik Koruyuculuk ve İletkenlik Özellikleri. Tekstil ve Mühendis, 14, 67.
- Akyıldız, V., 2011. Lastikten Türetilmiş Yakıt Piroli. Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Eskişehir.
- Aussawasathien, D., 2006. Electrospun Conducting Nanofiber-Based Materials and Their Characterizations. The University of Akron, The Graduate Faculty, Doctoral Thesis, Ohio.
- Babu, K.F., Senthilkumar, R., Noel, M., 2009. Polypyrrole Microstructure Deposited By Chemical and Electrochemical Methods on Cotton Fabrics. Synthetic Metals, 159(13), 1353-1358.
- Balcı, H., 2006. Akıllı (Fonksiyonel) Tekstiller, Seçilmiş Kumaşlarda Antibakteriyel Ape ve Performans Özellikleri. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- Bahadır Kurşun, S., Kalaoğlu, F., Jevšnik, S., 2015. The Use of Hot Air Welding Technologies for Manufacturing E-textile Transmission Lines. Fibers and Polymers, Vol.16, No.6, 1384-1394.
- Baykal, P., Signak, P., 2009. Metal İplik İçeren Dokuma Kumaşların Performans Özelliklerinin İncelenmesi, Tekstil ve Konfeksiyon, 19(1), 39-44.
- Bedeloğlu Çelik, A., Sünter, N., Bozkurt, Y., 2010. Elektriksel Olarak İletken Tekstil Yapıları, Üretim Yöntemleri ve Kullanım Alanları. Tekstil ve Mühendis, 79, 7-17.
- Bedeloğlu, A., 2013(a). Electrical, Electromagnetic Shielding and Some Physical Properties of Hybrid Yarn-Based Knitted Fabrics. Journal of The Textile Institute, 104(11), 1247-1257.
- Bedeloğlu, A., 2013(b). Investigation of Electrical, Electromagnetic Shielding, and Usage Properties of Woven Fabrics Made From Different Hybrid

Yarns Containing Stainless Steel Wires. Journal of The Textile Institute, 104(12), 1359-1373.

Bedeloğlu Çelik, A., Sünter, N., Bozkurt, Y., 2017. Elektriksel Olarak İletken Tekstil Yapıları, Üretim Yöntemleri ve Kullanım Alanları. Tekstil ve Mühendis, 79, 7-17.

Bilgin, S., Sarıtaş, Ö., Okyay, G., Örtlek H., 2011. Askeri ve Kamu Kuruluşlarına Ait Binaların Tempest Güvenliği İçin Farklı Yapıda Dokuma Kumaşların Geliştirilmesi. Tekstil ve Mühendis, 81, 1-6.

Bozoklu, M., 2007. Holmiyum Trioksit Katkılanmış Bizmut Trioksit Polimorflarının Sentezlenmesi, Karakterizasyonu ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri.

Chen, H.C., Lee, K.C., Lin, J.H., 2004. Electromagnetic and Electrostatic Shielding Properties of Co-weaving-knitting Fabrics Reinforced Composites. Composites: Part A-35, 1249-1256.

Chen, H.C., Lin, J.H., Lee, K.C., 2008. Electromagnetic Shielding Effectiveness of Copper/Stainless Steel/Polyamide Fiber. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 27, 187.

Cheng, K.B., 2000. Production and Electromagnetic Shielding Effectiveness of The Knitted Stainless Steel/Polyester Fabrics. Journal of Textile Engineering, 46, 42-52.

Cheng, K.B., Cheng, T.W., Lee, K.C., Ueng, T.H., Hsing, W.H., 2003. Effects of Yarn Constitutions and Fabric Specifications on Electrical Properties of Hybrid Woven Fabrics. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 34(10), 971-978.

Cheng, K.B., Cheng, T.W., Nadaraj, R.N., GiriDev V.R., Neelakandan, R., 2006. Electromagnetic Shielding Effectiveness of The Twill Copper Woven Fabrics. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 25(7), 699-709.

Cooley, J.F., 1902. Apparatus for Electrically Dispersing Fluids. US Patent 692,631.

Coşkun, E., 2007. Akıllı Tekstiller ve Genel Özellikleri. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana.

Çakar, İ., 2006. İletken Kaplama Malzemeleri. Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

Çeven, E.K, (13 Kasım 2013). Uludağ Tekstil İhracatçıları Birlikleri (BUTEKOM), Bursa.

- Çeven, E.K., Şule, G., Gurarda, A., Ersöz, A., 2011. Metal İplikli Dokuma Kumaşların Hava Geçirgenliği. Uludağ Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, 16(2), 65-74.
- Çukul, D., 2013. Teknik İpliklerde Son Yıllardaki Gelişmelere Örnekler. Tekstil ve Mühendis, 20(91), 50-63.
- Dabirian, F., Ravandi, S.A.H., Hinestroza, J.P., Abuzade, R.A., 2012. Conformal Coating of Yarns and Wires With Electrospun Nanofibers. Polymer Engineering & Science, 52(8), 1724-1732.
- Dağ, N., 2010. İletken Tekstil Yüzeylerinde Elektromanyetik Kalkanlama Özelliğinin Araştırılması. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Denizli.
- De Bondt, S., Decrop, J., 2007. Bundle Drawn Stainless Steel Fibers. United States Patent 7166174.
- Devaux, E., Koncar, V., Kim, B., Campagne, C., Roux, C., Rochery, M., Saihi, D., 2007. Processing and Characterization of Conductive Yarns By Coating or Bulk Treatment for Smart Textile Applications. The Institute of Measurement and Control, 29, 3-4, 355-376.
- El-Tantaway F., Aal N.A., El-Daly A.A., Abdel-Daiem A.M., Bakry A., Sung Y.K., 2004. A New Phantom Model and Attenuation Backing From Epoxy Resin Nanosized Hydroxyapatite-Carbon Black and Multifunctional Agent Composites. Materials Letters, 58, 3388-3394.
- Erdoğan, M.K., Karakişla, M., Saçak, M., 2012. Preparation, Characterization and Electromagnetic Shielding Effectiveness of Conductive Polythiophene/Poly (Ethylene Terephthalate) Composite Fibers. Journal of Macromolecular Science, Part A, 49(6), 473-482.
- Erdumlu, N., Sarıçam, C., 2015. Metal Tel Sarımlı Hibrid İplik İçeren Dokuma Kumaşların Dökümlülüğünün Görüntü Analizi Yöntemi ile Ölçülmesi. Tekstil ve Mühendis, 22(100), 38-45.
- Ermel, V., Frey, H., Kurrat, M., Lehhmen, K.H., Mayr, M., Thomas, H., 2008. Conductivity of Ion Implanted Textile. 18-25 Kasım 2008.
- Formhals, A., 1934. Process and Apparatus for Preparing Artificial Threads. US Patent 1,975,504.
- Formhals, A., 1944. Method and Apparatus for Spinning. US Patent 2,349,950.
- Göral, V., 2014. İletken Filamentli İpliklerden Farklı Yapısal Özellikli Dokuma Kumaşların Elektromanyetik Kalkanlama Özelliklerinin İncelenmesi. Gazi Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

- Gülsoy, E., 2010. Teknik Tekstiller. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı, İhracatı Geliştirme Etüd Merkezi (İGEME) Yayını. Ankara.
- Greiner, A., Wendorff, J.C., 2007. Electrospinning: A Fascinating Method for The Preparation of Ultrathin Fibers. *Angewandte Chemie*, 46, 5670-5703.
- Grupta, B., Sankaralingam, S., Dhar, S., 2010. Development of Wearable and Implantable Antennas in the Last Decade: A Review. In *Proceedings of Mediterranean Microwave Symposium (MMS)*, Guzelyurt, Turkey, 25-27 August 2010, 251-267.
- Holvoet, J., Verstraeten, S., 2006. Bundle Drawn Metal Fiber With Three Layers. US Patent 11/914,053.
- Honarvar, M., Latifi, M., 2016. Overview of Wearable Electronics and Smart Textiles. *The Journal of Textile Institute*, DOI:10.1080/00405000.2016.1177870
- İstanbul Tekstil ve Konfeksiyon İhracatçı Birlikleri (İTKİB), (2005). Teknik Tekstiller Üzerine Genel ve Güncel Bilgiler. İTKİB Genel Sekreterliği Ar-Ge ve Mevzuat Şubesi Yayını, İstanbul.
- İşmal Erdem, Ö., Yüksel, E., 2016. Tekstil ve Moda Tasarımına Teknolojik Bir Yaklaşım: Akıllı ve Renk Değiştiren Tekstiller. *Yedi: Sanat, Tasarım ve Bilim Dergisi*, 16, 87-98.
- Jiang X., Tessier, D., Dao, L.H., Zhang, Z., 2002. Biostability of Electrically Conductive Polyester Fabrics: An In Vitro Study. *Journal of Biomedical Material Research*, 62, 507-513.
- Kanık, M., 2012. Koruyucu Teknik Tekstiller. Teknik Tekstil 2011 Frankfurt Fuarı Teknolojik Değerlendirme Raporu. Uludağ Tekstil İhracatçıları Birlikleri, BUTEKOM. Akmat Akınoğlu Matbaacılık, 50-63, Bursa.
- Kadoğlu, H., Duran, D., 2012. İletken İplikler ve Kullanım Alanları. *TSE Standard ve Ekonomik Teknik Dergisi*, 602, 24-31.
- Karakaş, H., Jahangiri, S., 2013. Elektro Lif Çekim Parametrelerinin Poliüretan Nanolif Çapı ve Lif Morfolojisi Üzerine Etkisinin İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Karakaş, H., Jahangiri, S., Saraç, A.S., 2016. Elektro-Püskürtmeli Nanofiberlerin Yapısı ve Proses Parametre İlişkileri. *International Symposium on Transport Phenomena and Dynamics of Rotating Machinery (ISROMAC)*, April 10-15, Honolulu, Hawaii.
- Kayabaşı, G., Korkmaz, N., Çakmak, E., Yılmaz, D., 2015. Giyilebilir Elektronikler İçin İletken Nanokompozit İplik Üretimi. *Metalik Fikirler IV. Ar-Ge Proje Pazarı*, 54, 08-10 Ekim, İstanbul.

- Kayacan, O., 2008. Akıllı Giysi Dizaynı Üzerine Bir Araştırma. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir.
- Kılıç, G., 2010. Elektromanyetik Radyasyona Karşı Koruyucu Özellikte Antistatik Örmek Kumaşların Üretimi İçin Farklı Kompozit İpliklerin Geliştirilmesi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri.
- Kılıç, G., Örtlek, H.G., Saraçoğlu, Ö.G., 2008. Elektromanyetik Çevre Kirliliği ve Bu Kirlilikten Korunmada Tekstil Çözümleri. Tekstil ve Mühendis, 67, 23-35.
- Kutluk, S., 2014. Metal Flament Takviyeli Pamuk İpliklerinden Üretilmiş Boşluklu (Spacer) Örmek Kumaşların Elektrik İletkenliği ve Elektromanyetik Kalkanlama Özellikleri. Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Koncar, V., Kim, B., Devaux, E., Dufour, C., Viallier, P., 2004. Electrical and Morphological Properties of PP and PET Conductive Polymer Fibers. Synthetic Metals, 146, 167-174.
- Korkmaz, N., Kayabaşı, G., Yılmaz, D., 2015. Nanolif İçerikli İnovatif İplik Eğirme Prosesinin Geliştirilmesi ve Çok Fonksiyonlu İplik Üretimi. UTİB Türkiye Tekstil ve Konfeksiyon Sektöründe VII. Uluslararası AR-GE Proje Pazarı, 81, 27-29 Mayıs 2015, Bursa.
- Korkmaz Memiş, N., Kayabaşı, G., Yılmaz, D., 2018. Development of a Novel Hybrid Yarn Production Process for Functional Textile Products. Journal of Industrial Textiles, DOI:10.1177/1528083718766847.
- Köse, M., 2010. Teknik Tekstil Malzemeleri: Plazma Polimerizasyonu Tekniği İle İletken Lif Üretimi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- Lam Po Tang, S., Stylios, G.K., 2006. An Overview of Smart Technologies for Clothing Design and Engineering. International Journal of Clothing Science and Technology, Vol.18, No.2, 108-128.
- Latifi, M., Payvandy, P., 2010. Electro-conductive textile yarns. Technical Textile Yarns, s. 298.
- Lee, C.Y., Song, H.G., Jang, K.S., Oh, E.J., Epstein, A.J., Joo, J., 1999. Electromagnetic Interference Shielding Efficiency of Polyaniline Mixtures and Multilayer Films. Synthetic Metals, 102, 1346-1349.
- Li, L., Au, W.M., Li, Y., Wan, K.M., Wan, S.H., Wong, K.S., 2010. Design of Intelligent Garment with Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation Function Based on the Intarsia Knitting Technique. Textile Research Journal, 80, 279-286.

- Lin, J.H., Lou, C.W., 2003. Electrical Properties of Laminates Made from a New Fabric with PP/Stainless Steel Commingled Yarn. *Textile Research Journal*, 73, 322-326.
- Linz, T., Kallmayer, C., Aschenbrenner, R., Reichl, H., 2005. Embroidering Electrical Interconnects with Conductive Yarn for The Integration of Flexible Electronic Modules into Fabric. *Computer Society, Proceedings of the 2005 Ninth IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISWC'05)*
- Liu, X., Chang, H., Li, Y., Huck, W.T.S., Zheng, Z., 2010. Polyelectrolyte-Bridged Metal/Cotton Hierarchical Structures for Highly Durable Conductive Yarns, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 2(2), 529-535.
- Lou, C.W., 2005. Process of Complex Core Spun Yarn Containing a Metal Wire. *Textile Research Journal*, 75(6), 466-473.
- Lou, C.W., Chang, C. W., Lin, J.H., Lei, C.H., Hsing, W.H., 2005. Production of a Polyester Core-Spun Yarn With Spandex Using a Multi-Section Drawing Frame and a Ring Spinning Frame. *Textile Research Journal*, 75(5), 395-401.
- Militký, J., Šafářová, V., 2011. Anomalous Electrical Resistance of Hybrid Yarns Containing Metal Fiber, In *Proceedings of Fiber Society 2011 Spring Conference*, Hong Kong.
- Morton, W. J., 1902. Method of Dispersing Fluids. US Patent 705,691.
- Najar, S.S., Kaynak, A., Foitzik, R.C., 2007. Conductive Wool Yarns By Continuous Vapour Phase Polymerization of Pyrrole. *Synthetic Metals*, 157(1), 1-4.
- Novak I., Krupa I., 2003. Analysis of Correlation Between Percolation Concentration and Elongation at Break in Filled Electroconductive Epoxy-Based Adhesives. *European Polymer Journal*, 39, 585-592.
- Orth, M., Post, E.R., 1997. Smart Fabric, or Washable Computing. *Digest of Papers of the First IEEE International Symposium on Wearable Computers*, 10(13), 167-168.
- Okyay, G., Bilgin, S., Akgül, E., ve Örtlek H.G., 2011. Farklı Yapılardaki Dokuma Kumaşların Elektromanyetik Ekranlama Özelliklerinin İncelenmesi. *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 5, 1-10.
- Örtlek, H.G., Kılıç, G., Yolaçan, G., Tutak, M., 2010. Color and Whiteness Properties of Fabrics Knitted From Different Hybrid Core-Spun Yarns Containing Metal Wire. *Fibers and Polymers*, 11(7), 1067-1074.
- Örtlek, H.G., Cünesoğlu, C., Okyay, G., Türkoğlu, Y., 2012. Investigation of Electromagnetic Shielding and Comfort Properties of Single Jersey

- Fabrics Knitted From Hybrid Yarns Containing Metal Wire. *Tekstil Ve Konfeksiyon*, 22(2), 90-101.
- Palamutçu, S., Dağ, N., 2009. Fonksiyonel Tekstiller I: Elektromanyetik Kalkanlama Amaçlı Tekstil Yüzeyler. *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 3(1), 87-101.
- Palamutçu, S., Özek, A., Karpuz, C., Dağ, N., 2010. Electrically Conductive Textile Surfaces and Their Electromagnetic Shielding Efficiency Measurement. *Journal of Textile and Apparel*, July-September 2010, 20(3), 199-207.
- Parkash, S., 2010. "Carbon Black", *Petroleum Fuels Manufacturing Handbook*, McGraw-Hill Book Company, Inc., A.B.D., 165-188.
- Perumalraj, R., Dasaradan, B. S., 2009. Electromagnetic Shielding Effectiveness of Copper Core Yarn Knitted Fabrics. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, 34(2), 149-154.
- Perumalraj R., Dasaradan B.S., 2010. Electromagnetic Shielding Effectiveness of Doubled Copper Cotton Yarn Woven Materials. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*, Vol. 18, No. 3, 80, 74-80.
- Rajendrakumar, K., Thilagavathi, G., 2012. A Study on The Effect of Construction Parameters of Metallic Wire/Core Spun Yarn Based Knitted Fabrics on Electromagnetic Shielding. *Journal of Industrial Textiles*, 4, 400-416.
- Ramachandran, T., Vigneswaran, C., 2009. Design and Development of Copper Core Conductive Fabrics for Smart Textiles. *Journal of Industrial Textiles*, 39, 81.
- Rattfalt, L., Linden, M., 2007. Electrical Properties of Textile Electrodes. *Proceedings of the 29 Annual International Conference of the IEEE EMBS*, 5735-5738.
- Roh J.S., Chi, Y.S., Kang, T.J., Nam, S.W., 2008. Electromagnetic Shielding Effectiveness of Multifunctional Metal Composite Fabrics. *Textile Research Journal*, 78(9), 825-835.
- Šafářová, V., Grégr, J., 2010. Electrical Conductivity Measurement of Fibers and Yarns. 7th International Conference-TEXSCI 2010 September 6-8, Liberec, Czech Republic.
- Šafářová, V., Militký, J., 2012. A study of electrical conductivity of hybrid yarns containing metal fibers. *Journal of Materials Science and Engineering*, 2(2), 197-202.
- Šafářová, V., Militký, J., 2014. Electromagnetic Shielding Properties of Woven Fabrics Made From High-Performance Fiber. *Textile Research Journal*, 84(12), 1255-1267.

- Sen, A.K., Damewood, J., 2001. Coated Textiles: Principles and Applications, CRC Press.
- Sezgin, H., 2012. Farklı İletken İpliklerin Farklı Kumaş Yapıları Altında Sıcaklık Davranışlarının İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Shim B.S., Chen W., Doty C., Xu C., Kotov N.A., 2008. Smart Electronic Yarns and Wearable Fabrics for Human Biomonitoring Made By Carbon Nanotube Coating With Polyelectrolytes. Nano Letters, 8(12), 4151-4157.
- Sıgnak, N., 2008. Metal Filament İçeren İpliklerden Dokunmuş Kumaşların Performans Özelliklerinin İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- Stoppa, M., Chiolerio, A., 2014. Wearable Electronics and Smart Textiles: A Critical Review. Sensors, 14(7), 11957-11992.
- Suh, M., 2010. E-Textiles For Wearability: Review on Electrical and Mechanical Properties, Textile World.
- Sünter, N., 2011. İletken İpliklerin Üretim Yöntemlerinin ve Özelliklerinin İrdelenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- Şat, F., 2010. Yarıiletkenlerde İletkenlik Ölçümleri. Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Mersin.
- Thandavamoorthy, S., Gopinath, N., Ramkumar, S., 2006. Self-Assembled Honeycomb Polyurethane Nanofibers. Journal of Applied Polymer Science, Vol. 101, 3121-3124.
- Ueng, T.H., Cheng, K.B., 2001. Friction Core-Spun Yarns for Electrical Properties of Woven Fabrics. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 32, 1491-1496.
- Uçar, S., 2012. Teknik ve Akıllı Tekstil Malzemelerinin Geleneksel (Konvansiyonel) Tekstil Ürünleri, Formları ve Desenlerinde Uygulanması. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sanatta Yeterlik Tezi, İstanbul.
- Ulcay Y., Çelen, R., 2018. Baryum Titanatın Tekstilde Elektromanyetik Kalkanlama Uygulamalarında Kullanımı. Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 23(2), 29-44.
- Uslu İ., 2009. Elektroğirme Yöntemi Bor Katkılı Alüminyum Asetat Nanolif Malzemelerin Eldesi. Tübvav Bilim Dergisi, 267, 266-270.

- Usta İ., Önen H.A., Gültekin Demirel N., Yıldız Z., Atak O., 2014. Polianilin/Karbon Siyahı Çöktürülmüş Polyester Kumaşların Elektriksel Özellikleri. XIII. Uluslararası İzmir Tekstil ve Hazır Giyim Sempozyumu, 2-5 Nisan 2014, İzmir, Türkiye.
- Üstündağ, C.G., 2009. Elektrospinning Yöntemi İle Biyomedikal Kullanıma Yönelik Nanolif Yüzey Üretimi ve Uygulaması. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bursa.
- Vizyon 2023 Teknoloji Öngörüsü Projesi-Tekstil Paneli (Son Rapor), Temmuz 2003.
- Watson, D.L., 1999. Electrically Conductive Yarn. US Patent 5927060.
- Wörle, M., Krüger, M., 2002. Shield Yarns to be Used in a Wide Range of Applications. Melliand Textilberichte, 11-12.
- Wypych G., 2014. Electrically Conductive Polymers-Cabelec CA0887, Databook of Antistatics, ChemTec Publishing by Elsevier, Toronto, 342-373.
- Xue, P., Park, K.H., Tao, X.M., Chen, W., Cheng, X.Y., 2007. Electrically Conductive Yarns Based on PVA/Carbon Nanotubes, Composite Structures, 78(2), 271-277.
- Yalçinkaya, B., Yılmaz, D., 2011. Elektronik Tekstillerin, Tekstil Endüstrisindeki Yeri ve Giyilebilir Tekstilde Kullanılan İletken Lifler. Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi, 5(1), 61-71.
- Yanılmaz, M., 2010. Poliüretan/Polipirol Kompozit Nanolif, İnce Film Üretimi ve Karakterizasyonu. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Yıldız, Z., 2011. İletken Polimerlerle Muamele Edilmiş Tekstil Yüzeylerinin Elektrik İletkenliği ve Elektromanyetik Kalkanlama Özelliklerinin İncelenmesi. Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Yılmaz, D., Korkmaz, N., Kayabaşı, G., 2015. Nanolif İçerikli İnovatif İplik Eğirme Prosesinin Geliştirilmesi ve Çok Fonksiyonlu İplik Üretimi, UTİB Türkiye Tekstil ve Konfeksiyon Sektöründe VII. Uluslararası AR-GE Proje Pazarı, 27-29 Mayıs 2015, 81, Bursa.
- Yılmaz, D., Kayabaşı, G., Korkmaz, N., Çakmak, E., 2016. E-Tekstiller İçin İletken İplik Üretimine Yönelik Sürdürülebilir ve Yenilikçi Proses Geliştirilmesi. UTİB Türkiye Tekstil ve Konfeksiyon Sektöründe VIII. Uluslararası AR-GE Proje Pazarı, 12-13 Mayıs 2016, 90, Bursa.
- Zhang, L., Wang, Z., Psychoudakis, D., Volakis, J.L., 2012. Flexible Textile Antennas for Body-Worn Communication. In Proceedings of IEEE

International Workshop on Antenna Technology, Tucson, ZA, USA, 5-7 March 2012, 205-208.

Zhijun Q., Xingxiang Z., Ning W., Jianming F., 2009. Poly(1,3-butylene adipate) Plasticized Poly(lactic acid)/Carbon Black as Electrical Conductive Polymer Composites. *Polymer Composites*, 30(11), 1576-1584.

Zou, D., Lv, Z., Cai, X., Hou, S., 2012. Macro/microfiber-shaped electronic devices. *Nano Energy*, 1(2), 273-281.

<http://www.innovationintextiles.com/levis-jacket-with-jacquard-by-google-debuts/>. Erişim tarihi: 31.10.2017

<http://tekstilkutuphane.blogspot.com/2014/08/elektromanyetik-alanlarn-etkilerinden.html>



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Gizem KAYABAŞI

Doğum Yeri ve Yılı: Çerkeş / 29.08.1991

Yabancı Dili : İngilizce

E-mail: kayabasi.gizem@hotmail.com
kayabasi.gizem18@gmail.com

Eğitim Durumu

Lise	:2005-2009 Çerkeş Çok Programlı Lisesi/Çankırı
Lisans (1)	:2009-2014 Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümü
Lisans (2)	:2013-2018 Anadolu Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme Bölümü

Yayınları

Korkmaz Memiş, N., **Kayabaşı, G.**, Yılmaz, D., 2018. Development of a Novel Hybrid Yarn Production Process for Functional Textile Products. Journal of Industrial Textiles, DOI:10.1177/1528083718766847.

Yılmaz, D., **Kayabaşı, G.**, 2016. Lif Türü ve İplik İnceliğinin Vortex İplik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 20(2), 244-253.

Kayabaşı, G., Yılmaz, D., 2015. A Comparative Study About Some of The Knitted Fabric Properties of Cotton and Viscose Vortex, OE-Rotor and Conventional Ring Spun Yarns. Tekstil ve Konfeksiyon, 25(3), 246-255.

Uluslararası toplantıda sunulacak tam metin olarak yayımlanan bildiri

Kayabaşı G., Yılmaz, D., Özen, Ö., 2018. Conductive Cotton Yarn For Wearable Electronics, 8th International Istanbul Textile Conference-Evolution Technical Textile (ETT2018), April 14-16, 2018, İstanbul, Turkey.

Alanında uluslararası bilimsel nitelikli ödöl

Çakmak, E., Korkmaz, N., **Kayabaşı, G.**, Yılmaz, D., 2016. Biyomedikal Uygulamalar İçin Mikro ve Nano Bileşenli Hibrit İplik Üretimi. UTİB Türkiye Tekstil ve Konfeksiyon Sektöründe VIII. Uluslararası AR-GE Proje Pazarı, Proje Öneri Teşvik Ödülleri, Tıbbi Tekstiller ve Tıbbi Cihazlar Kategorisi, **Birincilik Ödülü**, 12-13 Mayıs 2016, Bursa, Türkiye.

Yılmaz, D., Korkmaz, N., **Kayabaşı, G.**, 2015. Nanolif İçerikli İnovatif İplik Eğirme Prosesinin Geliştirilmesi ve Çok Fonksiyonlu İplik Üretimi. UTİB Türkiye Tekstil ve Konfeksiyon Sektöründe VII. Uluslararası AR-GE Proje Pazarı, Proje Öneri Teşvik Ödülleri, Fonksiyonel Lif ve Polimerler Kategorisi, **İkincilik Ödülü**, 27-29 Mayıs 2015, Bursa, Türkiye.

Uluslararası toplantıda poster, sözlü sunum ile gösterimleri

Çakmak, E., Korkmaz, N., **Kayabaşı, G.**, Yılmaz, D., 2016. Biyomedikal Uygulamalar İçin Mikro ve Nano Bileşenli Hibrit İplik Üretimi. UTİB Türkiye Tekstil ve Konfeksiyon Sektöründe VIII. Uluslararası AR-GE Proje Pazarı, 12-13 Mayıs 2016, 90, Bursa. ISBN 987-605-9193-17-7

Yılmaz, D., **Kayabaşı, G.**, Korkmaz, N., Çakmak, E., 2016. E-Tekstiller İçin İletken İplik Üretimine Yönelik Sürdürülebilir ve Yenilikçi Proses Geliştirilmesi. UTİB Türkiye Tekstil ve Konfeksiyon Sektöründe VIII. Uluslararası AR-GE Proje Pazarı, 12-13 Mayıs 2016, 90, Bursa. ISBN 987-605-9193-17-7

Yılmaz, D., Korkmaz, N., **Kayabaşı, G.**, 2015. Nanolif İçerikli İnovatif İplik Eğirme Prosesinin Geliştirilmesi ve Çok Fonksiyonlu İplik Üretimi. UTİB Türkiye Tekstil ve Konfeksiyon Sektöründe VII. Uluslararası AR-GE Proje Pazarı, 27-29 Mayıs 2015, 81, Bursa. ISBN 978-605-9193-08-5

Ulusal toplantıda poster, sözlü sunum ile gösterimleri

Kayabaşı, G., 2017. Fonksiyonel Özelliklere Sahip İplik Üretimine Yönelik Sürdürülebilir ve Yenilikçi Bir Prosesin Geliştirilmesi ve Kompozit İplik Üretimi. TÜBİTAK-Üniversite Proje Yarışmaları Finalistleri, 20-23 Kasım 2017, s. 67, Konya.

Kayabaşı, G., 2016. Mikro ve Nano Bileşenli Biyomedikal İplik Üretimi. TÜBİTAK-Üniversite Proje Yarışmaları Finalistleri, 22-24 Ekim 2016, s. 67, Ankara.

Kayabaşı, G., Korkmaz, N., Çakmak, E., Yılmaz, D., 2015. Giyilebilir Elektronikler İçin İletken Nanokompozit İplik Üretimi. Metalik Fikirler IV. Ar-Ge Proje Pazarı, s. 54, 08-10 Ekim, İstanbul.

Projeler

Fonksiyonel Özelliklere Sahip İplik Üretimi İçin İnovatif İplik Üretim Prosesinin Geliştirilmesi. BAP-Yüksek Lisans Projesi, Proje No: 4644-YL2-16, Süleyman Demirel Üniversitesi, 21.03.2016-21.03.2018 **(Yardımcı Personel)**.

Murata Air Vortex İpliklerden (Mvs) Elde Edilen Havlı Kumaşların Performans Özelliklerine Etkisinin Araştırılması. Tübitak 2209 Üniversite Öğrencileri Yurt İçi/Yurt Dışı Araştırma Projeleri, 2014 **(Proje Yürütücüsü)**.

