



**BUHAR FAZLI POLİMERİZASYON YÖNTEMİYLE
PEDOT FİLM KAPLANARAK İLETKEN HALE
GETİRİLEN POLİESTER ESASLI TEKSTİL
YÜZEYLERİNDE FLAMAN SAYISI VE ÖRGÜ
YAPISININ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Aysun YENİCE



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BUHAR FAZLI POLİMERİZASYON YÖNTEMİYLE PEDOT FİLM
KAPLANARAK İLETKEN HALE GETİRİLEN POLİESTER ESASLI TEKSTİL
YÜZEYLERİNDE FLAMAN SAYISI VE ÖRGÜ YAPISININ ETKİLERİNİN
İNCELENMESİ**

Aysun YENİCE
0000-0003-0036-7868

Prof. Dr. Aşlı HOCKENBERGER
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2021
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BUHAR FAZLI POLİMERİZASYON YÖNTEMİYLE PEDOT FİLM KAPLANARAK İLETKEN HALE GETİRİLEN POLİESTER ESASLI TEKSTİL YÜZEYLERİNDE FLAMAN SAYISI VE ÖRGÜ YAPISININ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Aysun YENİCE

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Aslı HOCKENBERGER

Bu tez çalışmasında; endüstriyel ölçekte üretime modifiye edilebilecek bir polimerizasyon yöntemi ile iletken tekstil yüzeyleri elde edilmesi ve bu yüzeylerdeki iletkenlik performansına filament sayısı ile dokuma örgü tipinin etkisinin incelenmesi hedeflenmektedir. Bu amaçla, daha önce yapılan çalışmalar incelenerek iletkenlik performansı nedeniyle PEDOT polimeri, uygulama kolaylığı ve sanayiye uyarlanabilirliği nedeniyle buhar fazında polimerizasyon yöntemi seçilmiştir. Üretilen numune kumaşlarda maliyet, geniş kullanım alanı ve dayanıklı bir polimer olduğu için polyester tercih edilmiştir. Atkı ve çözgü sıklıklarını sabit tutarak 150 Den 48, 144 ve 288 filament ipliklerle, bezayağı ve 3/1 dimi örgülü kumaşlar dokunmuştur. Polimerizasyon için tekstil kumaşlarının yatay akışına uygun bir kabin tasarlanmış ve numunelerin sağlıklı şekilde karşılaştırılabilmesi için 6 parçalık setler halinde laboratuvar ölçeğinde buharlamaları yapılmıştır. Her setin, kaplama sonrası ve kullanım şartlarını simüle eden performans testleri sonrası elektriksel direnç değerleri ölçülerek karşılaştırılmıştır.

Çalışmayla, numunelerin büyük kısmının performans testleri sonrası iletkenliğinin sürdüğü tespit edilmiş ve yöntemin büyük ölçeğe çevrilebilmesi için araştırmalara başlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: İletken kumaş, PEDOT, iletken polimerler, buhar fazında polimerizasyon, akıllı tekstiller

2021, viii + 70 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF NUMBER OF FILAMENTS AND WEAVING STRUCTURE ON POLYESTER BASED TEXTILE SURFACES MADE CONDUCTIVE BY COATING PEDOT FILM WITH VAPOUR PHASE POLYMERIZATION METHOD

Aysun YENİCE

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Textile Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Aslı HOCKENBERGER

In this thesis study; It is aimed to obtain conductive textile surfaces with a polymerization method that can be modified for industrial scale production and to examine the effect of number of filaments and weave type on the conductivity performance of these surfaces. For this purpose, PEDOT polymer was chosen due to its conductivity performance, and vapor phase polymerization method was chosen due to its ease of application and industrial adaptability. Polyester has been preferred in the sample fabrics produced because of its cost, wide usage area and durability of the polymer. Plain and 3/1 twill fabrics were woven with 150 Den 48, 144 and 288 filament yarns, keeping the weft and warp densities same. A cabinet suitable for the horizontal flow of textile fabrics was designed for polymerization, and laboratory-scale steaming was done in sets of 6 pieces in order to compare the samples. The electrical resistance values of each set were measured after coating and after performance tests simulating the usage conditions and compared at the end.

With the study, it was determined that the conductivity of most of the samples continued after the performance tests and researches were started in order to convert the method to large scale.

Key words: Conductive fabrics, PEDOT, conductive polymers, vapor phase polymerization, smart textiles

2021, viii + 70 pages.

TEŞEKKÜR

Yollarımız keşiştiği andan beri tüm içtenliği ile yanımnda olup hiçbir konuda çok değerli desteğini esirgemeyen saygıdeğer danışmanım Prof. Dr. Aslı Hockenberger'e ve tez çalışmam sũresince tüm katkıları için Arř. Gør. Serkan Yıldız'a,

alışırken bir yandan bu sũreci tamamlayabilmem konusundaki destekleri için; en bũyũk yardımcım, birlikte çalışmaktan bũyũk memnuniyet duyduğum, sevgili meslektaşım Tuğba Zengin'e ve Yũksek Lisans eğitimim boyunca yanımnda olarak beni asiste eden sınıf arkadaşım Serdar Erdem Gũl'e,

Gerek Yũksek Lisans sũrecim, gerekse tez çalışmam konusundaki destekleri için bir parçası olmaktan gurur duyduğum Kũũkalık Tekstil San. ve Tic. A.ř.'deki yũneticilerim ve çalışma arkadaşlarıma,

Hayatım boyunca beni her koşulda destekleyen, daha fazlası için motive eden, en bũyũk zenginliğim olan sevgili aileme teőkũrlerimi sunarım.

Aysun YENİCE
09/12/2021

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
1.GİRİŞ.....	1
2.KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Elektriksel İletkenlik Kavramı.....	3
2.2. Tekstilde Yüzeylerinde İletkenliğin Gereği.....	4
2.3. İletken Tekstil Yüzeyleri Elde Etme Yöntemleri.....	6
2.3.1. İletken polimerler.....	6
2.3.2. Lif ve iplik üretim aşamalarıyla elde edilen iletkenlik.....	15
2.3.3. Kumaş oluşum aşamasında iletkenlik uygulamaları.....	21
2.3.4. Bitim işlemleriyle iletkenlik uygulamaları.....	26
2.4. Poliesterin İletkenlik Özelliği.....	29
3.MATERYAL ve YÖNTEM.....	32
3.1. Materyal.....	32
3.1.1. Deneysel çalışmada kullanılacak iplik ve kumaşların özellikleri.....	32
3.1.2. Deneysel çalışmada kullanılan kimyasallar.....	34
3.1.3. Deneysel çalışmada kullanılan cihaz ve düzenekler.....	35
3.2. Yöntem.....	38
3.2.1. Numunelerin Hazırlanması.....	38
3.2.2. Yapılan Testler.....	42
4.BULGULAR.....	48
4.1. Deney Optimizasyonu.....	48
4.2. Ön-Arka Yüz Karşılaştırma.....	49
4.3. Yıkama/ Kuru Temizleme Sonu Direnç Değişimi.....	51
4.4. Abrasyon Sonrası Direnç Değişimi.....	53
4.5. Abrasyon Sonrası Mikroskop ve SEM Görüntüleri.....	54
4.6. Esnetme Sonrası Direnç Değişimi.....	57
4.7. Kopma-Uzama Performans Değişimi.....	60
4.8. Asit/ Alkali Ter Haslığı Testi Sonrası Direnç Değişimi.....	61
4.9. Zamanla Direnç Değişimi.....	62
4.10. Hidrofilite/ Yüzey Temas Açısı.....	63
5. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	66
KAYNAKLAR.....	67
ÖZGEÇMİŞ.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
Ω	Ohm
cN	Santi Newton
cN/dtex	Santi Newton/ Desitex
Den	Denye
F	Filament sayısı
I	Akım
N	Newton
nm	Nanometre
Ohm	Elektriksel direnç
S	Siemens
sn	Saniye
V	Potansiyel farkı

Kısaltmalar	Açıklama
CB	Carbon Black (Karbon Siyahı)
CNT	Carbon Nanotube (Karbon Nanotüp)
CVD	Chemical Vapour Deposition (Kimyasal Buhar Biriktirme)
EDA	Etilendiamin
EDOT	3,4-etilendioksitiyofen
ELD	Electroless Deposition (Akımsız Biriktirme)
ICP	Intrinsically Conducting Polymers (Kendinden İletken Polimerler)
LDL	Layer by Layer Deposition (Katman Katman Biriktirme)
PANI	Polianilin
PEDOT	Poli(3,4-etilendioksitiyofen)
PEG	Polietilen Glikol
PES	Poliester
PET	Polietilen tereftalat
PPy	Polipirol
PSS	Polistiren sülfonat
PVD	Physical Vapour Deposition (Fiziksel Buhar Biriktirme)
Py	Pyridin
SEM	Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Bant aralıkları a) yalıtkan b) yarı iletken c) metal	4
Şekil 2.2. Akıllı tekstil uygulamaları	4
Şekil 2.3. Bazı iletken polimerlerin enerji bandı değerlikleri	7
Şekil 2.4. İletken, yarı iletken ve yalıtkanların elektriksel iletkenlikleri.....	9
Şekil 2.5. Doplanmamış haliyle bazı iletken polimerler	10
Şekil 2.6. Farklı sıcaklık ve eriyik çözeltilisindeki PANI oranlarıyla lif kesit görüntüleri a) 25°C'de %17 konsantrasyon b) 25°C'de %20 konsantrasyon c) 25°C'de %25 konsantrasyon d) 25°C'de %25 konsantrasyon e) 35°C'de %25 konsantrasyon f) 45°C'de %25 konsantrasyon	10
Şekil 2.7. Polianilin oksidasyon aşamaları	11
Şekil 2.8. PEDOT omurga yapısı.....	12
Şekil 2.9. EDOT (3,4-Etilendioksitiyofen)	13
Şekil 2.10. Leeuw ve arkadaşlarının geliştirdiği EDOT'un kimyasal polimerizasyonu	13
Şekil 2.11. Piridin ortamında EDOT oksidasyonu	14
Şekil 2.12. Polimer-Metal hibrit iplik yapıları: a) metal çekirdeğe polimer lif sarılmış b) polimer çekirdeğe metal lif sarılmış c) metal ve polimer lifi bükülmüş (Metal lifi gri, polimer lifi kırmızı ile gösterilmiştir)	16
Şekil 2.13. Eriyikten çekim düzeneği.....	17
Şekil 2.14. Yaş çekim düzeneği.....	18
Şekil 2.15. Elektro lif çekim düzeneği	19
Şekil 2.16. Lif çekim düzeneği.....	19
Şekil 2.17. Buhar fazında polimerizasyon yöntemiyle tekstil lifinin iletken polimerlerle kaplanması düzeneği.....	20
Şekil 2.18. Üç katlı jakarlı dokuma ile yapılan tekstil devresi	21
Şekil 2.19. Mikrolif kesitlerinin diğer ipliklerle karşılaştırması	22
Şekil 2.20. Farklı filament kalınlıklarında kumaş dokuları a) Mikrofilament ipliklerle dokunan kumaş b) Konvansiyonel liflerle dokunan kumaş görüntüsü.....	22
Şekil 2.21. Mikrofilament ipliklerle dokunan kumaşların dış faktörlerden etkilenmesi a) Rüzgara karşı bariyer etkisi b) Su iticiliği c) Su buharı geçirgenliği	23
Şekil 2.22. Kordon makinesi parçaları	24
Şekil 2.23. Örülmüş elektrik kablosu katmanları.....	24
Şekil 2.24. Brode ilmek oluşumu.....	25
Şekil 2.25. Brode tekniği ile oluşturulmuş iletken hatlar	25
Şekil 2.26. Elektrik kablosunun üç iplik brode sistemi ile kumaşa entegrasyonu	26
Şekil 2.27. Kaplamalı yüzeye katılabilecek farklı fonksiyonlar	27
Şekil 2.28. Çok katmanlı kaplamalarla sağlanabilecek özellikler	28
Şekil 2.29. Tekstil lifleri sınıflandırması.....	30
Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan kimyasallar a) EDOT b) Demir(III) p-toliensülfanat hexahidrat c) n-butanol d) Pridin e) Polietilen glikol f) Argon g) Etanol.....	34
Şekil 3.2. Hassas terazi	36
Şekil 3.3. Ultrasonik karıştırıcı.....	36
Şekil 3.4. Polimerizasyon kabini taslağı.....	37
Şekil 3.5. Polimerizasyon kabini içindeki kumaş askı ayakları taslağı.....	37
Şekil 3.6. Polimerizasyon kabini	38
Şekil 3.7. Etüv	38
Şekil 3.8. Deney örneği.....	41

Şekil 3.9. Revize edilmiş deney düzeneği a) başlangıç anı b) 30 dk sonrası.....	42
Şekil 3.10. Yüzey elektrik direnci ölçüm cihazı	44
Şekil 3.11. Dört nokta iletkenlik ölçüm cihazı a) genel görüntüsü b) ölçüm ucu	45
Şekil 3.12. SEM cihazı	46
Şekil 3.13. Martindale abrasyon ölçüm cihazı.....	46
Şekil 3.14. Titan cihazı	47
Şekil 4.1. Kabin sıcaklık ve numune yerleşim karşılaştırmaları.....	48
Şekil 4.2. Kabin içi istasyon numaralandırması (başlangıç)	49
Şekil 4.3. Kabin içi yerleşim pozisyonları (istasyon) karşılaştırma	49
Şekil 4.4. Kabin içi istasyon düzenlemesi	49
Şekil 4.5. 150F48 iplikli bezayağı kumaşta ön-arka yüz direnç değeri karşılaştırması..	50
Şekil 4.6. Tüm kumaş tipleri için ön-arka yüz direnç değerleri karşılaştırması.....	51
Şekil 4.7. Çamaşır makinesi ile yıkama ve kuru temizleme sonrası elektriksel direnç değişimi.....	52
Şekil 4.8. Kuru temizleme öncesi ve sonrası elektriksel direnç değişimi	52
Şekil 4.9. 150F48 iplikli bezayağı kumaşta abrasyon devirlerinin dirence etkisi	53
Şekil 4.10. Kumaşların 1000 devir abrasyon öncesi ve sonrası elektriksel direnç değerlerinin karşılaştırılması	54
Şekil 4.11. Kaplama yapılmamış 150F48 bezayağı numune ve iplikleri	54
Şekil 4.12. Kaplama yapılmış 150F48 bezayağı numune ve iplikleri.....	55
Şekil 4.13. Kaplama sonrası 40.000 devir abrasyon uygulanmış 150F48 bezayağı numune ve iplikleri	55
Şekil 4.14. x250 büyütme oranıyla çekilen görüntüler a) kaplanmamış kumaş b) kaplama sonrası c) abrasyon sonrası.....	56
Şekil 4.15. x500 büyütme oranıyla çekilen görüntüler a) kaplanmamış kumaş b) kaplama sonrası c) abrasyon sonrası.....	56
Şekil 4.16. x1000 büyütme oranıyla çekilen görüntüler a) kaplanmamış kumaş b) kaplama sonrası c) abrasyon sonrası.....	57
Şekil 4.17. Kaplamalı ve kaplamasız kumaşların 20 çekim sonrası yüzde uzamaları....	58
Şekil 4.18. Kaplamalı ve kaplamasız kumaşların 20 çekim toparlanma testi sonrası yüzde toparlanma değerlerinin karşılaştırması.....	58
Şekil 4.19. Kumaşlarda kaplama sonrası ve 1 esnetme sonrası direnç değişimleri.....	59
Şekil 4.20. 20 set esnetilen numunelerin direnç değişimi karşılaştırması	59
Şekil 4.21. Numunelerin kaplama öncesi ve sonrası kopma davranışları a) kaplama öncesi çözgü b) kaplama sonrası çözgü c) kaplama öncesi atkı d) kaplama sonrası atkı.....	60
Şekil 4.22. Kaplama öncesi ve sonrası kopma kuvveti karşılaştırması.....	61
Şekil 4.23. Kaplama öncesi ve sonrası % kopma uzama karşılaştırmaları.....	61
Şekil 4.24. 150F48 bezayağı kaplamalı kumaşta, asit ve alkali haslığı testi sonrası elektriksel direnç değişimleri.....	62
Şekil 4.25. Asit ve alkali ter haslığı önce ve sonra elektriksel direnç karşılaştırmaları .	62
Şekil 4.26. Ev içi şartlarda başlangıç, 60 ve 90 gün sonra polimerize edilmiş yüzeylerde elektriksel direnç değişimi.....	63
Şekil 4.27. Kapalı poşette saklanan numunelerin 30 ve 60 gün sonra elektriksel direnç değişimleri.....	63
Şekil 4.28. Polimerizasyon sonu ve etanol yıkama sonu kumaşlarda kalan çözelti miktarları.....	64
Şekil 4.29. Kumaşların hidrofilité testi sonuçları karşılaştırması.....	65

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Bazı iletken polimerler ve dopantlarının iletkenlik değerleri.....	8
Çizelge 2.2. Bazı metallerin elektriksel dirençleri	9
Çizelge 3.1. Deneyde kullanılacak iplik özellikleri.....	32
Çizelge 3.2. Numune kumaş konstrüksiyonları	33
Çizelge 3.3. Deneysel çalışmada kullanılan kimyasallar ve özellikleri	35
Çizelge 3.4. Çözelti için kullanılan reçeteler	35
Çizelge 3.5. Deney şartları	40
Çizelge 3.6. Yapılan testlerin listesi.....	43
Çizelge 4.1. Yüzey temas açısı ölçüm değerleri	64



1. GİRİŞ

Teknoloji her geçen gün hayatımızın çok daha fazla içine girerek vazgeçilmez bir parçası olmaktadır. Sürekli teknoloji ile iç içe olma çabamızın sonucu olarak da, elektronik devrelerin yanımızda taşınabilecek şekilde küçülüp hafiflemesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu noktada 24 saat üzerimizde taşıdığımız tekstillerin katkısı gerekmiş, akıllı ve giyilebilir tekstiller yeni bir sektör olarak ortaya çıkmıştır. Hem teknik ihtiyaçları destekleyecek dayanım özelliklerine hem de kullanım esnasında rahatımızı bozmayacak hafiflik ve esneklik gibi konfor özelliklerine sahip kumaş yapıları, üzerinde teknik ve akademik çalışmaların devam ettiği en popüler konulardan biri olmuştur. Tekstil yüzeylerinin iletken hale getirilmesi de bu konuların temelini oluşturmaktadır.

Metal tellerin kumaş üretiminde kullanılmasından başlayan süreç (Schwarz-Pfeiffer ve Van Langenhove, 2013), 1977'de iletken polimerlerin keşfi ile yeni bir ivme kazanmıştır. 1988'de işlenebilirlik, stabilite ve iletkenlik açısından en başarılı polimerlerden biri olan PEDOT Poli(3,4-etilendioksitiyofen)'in, Bayer Ag tarafından üretilmesiyle bir üst seviyeye ulaşmıştır (Elschner, Kirchmeyer, Lovenich, Merker ve Reuter, 2010b).

Çok farklı uygulama metotları olmakla birlikte buhar fazında polimerizasyon hem yüzeyin düzgünlüğü hem iletkenlik seviyesi hem de uygulama kolaylığı açısından en tercih edilen yöntemlerden biri olarak görülmektedir (Truong ve diğerleri, 2008).

Bu çalışmada amaçlanan; özellikle endüstriyel boyutta üretime dönüştürülebilecek bir yöntem geliştirmek için ön çalışmalar yapmanın yanında, tekstil yüzeylerinin temel özellikleri olan dokuma örgü tipi ve filament sayısının iletkenlik ve kullanım şartlarına etkisinin incelenmesidir.

Yüksek iletkenlik potansiyeli nedeniyle PEDOT polimeri ve uygulamanın kolaylığı nedeniyle de buhar fazında polimerizasyon yöntemi seçilmiş, büyük ölçekli üretime çevrilebilmesi için de kumaşın yatay olarak yürütülebileceği bir Polimerizasyon Kabini tasarlanmıştır. 48, 144 ve 288 filament iplikler aynı sıklıklar kullanılarak bezayağı ve 3/1 dimi örgüleri ile dokunmuş ve bu 6 kumaş setler halinde hazırlanarak laboratuvar şartlarında polimerizasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir.

PEDOT kaplanan numunelerin yıkama, kuru temizleme, abrasyon, elastikiyet, asit/alkali ter haslığı gibi performans testleri sonrası elektriksel direnç değerlerinin değişimi incelenerek dokuma örgü tipi ve filament sayısının etkisi değerlendirilmiştir.

Yapılan çalışmalarda, örgü ve filament sayısı etkisinin keskin bir fark yaratmadığı görüldü de 150F288 iplikler ve 3/1 dimi örgü ile dokunan numunenin diğerlerinden daha düşük direnç gösterdiği belirlenmiştir. Bunun sebebinin, ipliğin mikro lifli yapısının kaplama yüzey alanını, dolayısıyla da temas yüzeyini genişletmesinden ve örgünün atlamalı yapısının hidrofilitiyi artırmasından kaynakladığı düşünölmektedir. Numunelerin performans testleri sonrası direnç değerlerindeki artışlara rağmen, iletken olarak tanımlanabilecek kadar etkili oldukları tespit edilmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

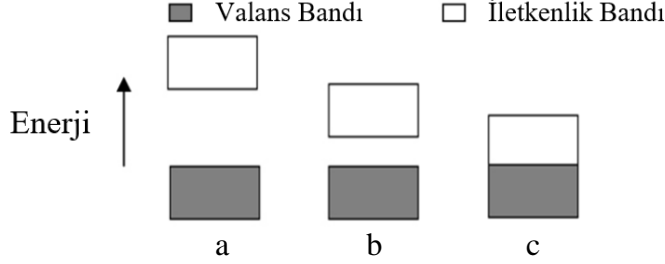
2.1 Elektriksel İletkenlik Kavramı

Elektrik akımını oluşturan, nesne boyunca hareket eden yüklerdir ve elektronlar, iyonlar veya bunların kombinasyonu tarafından taşınmaktadır. Bir bakır teli kapalı devre olarak düşündüğümüzde elektronların hareketi her yönde, tel boyunca olacaktır. Ancak elektrik akımının oluşmasının ön şartı; elektrik voltajına karşılık gelen bir potansiyel bir fark olmasıdır. Devreye eklenecek bir pille potansiyel farkı yaratılarak elektronların hareketi ve akımın oluşması sağlanabilir (Schwarz-Pfeiffer ve Van Langenhove, 2013).

Bununla birlikte, bakır teller gibi metalik katılarda, yük taşıyıcılar, negatif olan elektronlardır. Bir nesneden akan elektrik akımı, yapıldığı malzemeye bağlıdır. Örneğin, aynı geometriye sahip bakır tellerin veya cam çubukların uçları arasında aynı potansiyel farkı uygulanırsa, farklı akımlar oluşur. Malzemenin direnç özelliği içinden geçen akıma karşı etkin bir rol oynar. Bir iletkenin herhangi iki noktası arasındaki direnç, bu noktalar arasındaki V (potansiyel farkı)'nin, ortaya çıkan I (akım)'ya bölünmesi ile hesaplanır (Schwarz-Pfeiffer ve Van Langenhove, 2013).

Atom çekirdeğinin etrafında katmanlar biçiminde bulunan yörüngelerden; iç yörüngelerdeki elektronlar daha az enerjiye sahiptir. Dış yörüngeler incelendiğinde çekirdek ile elektron arasındaki bağlanma kuvveti azalmakta ve elektron enerjisi yükselmektedir. En dış yörüngedeki elektronlar valans elektronları olarak adlandırılır ve bir yörüngede en fazla 8 elektron bulunabilmektedir ki bu sayı diğer elementler ile kimyasal etkileşimi açısından önemlidir. Valans elektron sayıları 5 ve daha fazla olan gruptaki elementler dışarı ile etkileşime girmeyen kararlı bir yapıda olan yalıtkan malzemelerdir. Yarı iletkenlerin son yörüngelerinde 4 elektron, iletkenlerin ise 3 ya da daha az sayıda elektron bulunmaktadır. Valans elektron sayısı 8'den farklı olan elementlerde, dışarıdan ısı veya sürtünme gibi farklı yollarla enerji uygulandığında elektron, dışarı ile alış-verişine girer ve bu serbest elektronlar çekirdeğin çekim kuvvetini aşacak enerjiye sahip olurlar. Kendi atomundan kopabilirler ve elektrik akımını oluşturabilirler (Darshani, 2013).

Şekil 2.1’de iletkenlik potansiyelini ifade ederken kullanılan bant aralığı, yani en yüksek enerji seviyesindeki dolu (Valans) ve en düşük enerji seviyesindeki boş (İletken) orbitaller arasındaki enerji aralığı şematize edilmiştir (Ala ve Fan, 2009).



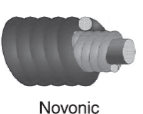
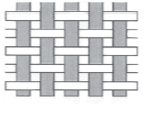
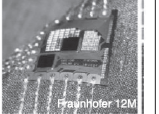
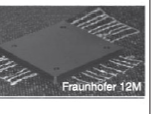

Şekil 2.1. Bant aralıkları a) yalıtkan b) yarı iletken c) metal (Ala ve Fan, 2009)

2.2 Tekstilde Yüzeylerinde İletkenliğin Gereği

Akıllı Tekstiller için Standart Terminolojiyi açıklayan ASTM D8248-20 standardında elektronik tekstiller; elektrik veya elektronik devre oluşturan lif, iplik, kumaş veya bitmiş ürün olarak tanımlanmaktadır (ASTM International, 2009).

Burada amaçlanan, tekstillerden, çevrelerindeki çeşitli mekanik, ısı, kimyasal, elektriksel veya manyetik etkilere tepki almak ve bilgisayar, elektromanyetik koruyucu veya sensör gibi farklı alanlarda kullanılmasını sağlamaktır (Qu ve Skorobogatiy, 2015).

Akıllı tekstiller için çok yönlü kullanım alanları Şekil 2.2’de gösterilmektedir.

İletken eleman	Kumaş	Devre Entegrasyon	Kapıtılma	Uygulama
İplik Kablo Polimer lifi Karbon lifi	Dokuma Örme Spacer ...	Lehimleme Kaynak Yapıştırıcı Brode	Kalıplama Eriyik	Esnek Düzgün Yüzey olabilir
 Novonic		 Fraunhofer 12M	 Fraunhofer 12M	 TTV/CarTirm

Şekil 2.2. Akıllı tekstil uygulamaları (Wagner, 2013)

Akıllı malzemelerin oluşturulma sürecinde, e-tekstil adı verilen yapılarda amaçlanan, esnek olmayan elektroniğin algılama, tepki verme ve güç iletimi gibi işlevlerinin tekstil malzemeleri ile karşılanabilmesinin sağlanmasıdır. Üç grupta incelenebilirler; aktif, pasif ve ileri akıllı tekstiller (Ahmad ve diğerleri, 2017).

Pasif akıllı tekstiller, sensörler sayesinde ortamı algılayabilirken aktif akıllı tekstiller bunun yanında bir aktüatör kullanarak tepki de verebilmektedir. İleri akıllı tekstiller de, algılama ve tepki verme dışında, duruma göre davranışını değiştirebilmektedirler (Ahmad ve diğerleri, 2017).

Tekstiller de ana bileşen olan ipliğin iletkenlik etkisi, maliyet, dayanım ve uygulama kolaylığı nedeniyle piezo elektrik ve fiber optik gibi sensörlerde tercih edilmektedir. Ancak sert tellerin kullanımı, konu giyilebilir elektroniklere geldiğinde, tene uyum ve tuşe gibi özellikler önem kazandığı için zorlayıcı olmaktadır. Bu nedenle, özellikle medikal ve askeri amaçlarla kullanılmak üzere, dokunmatik algılama gerçekleştirebilecek esnek tekstil yüzeyleri çok sayıda araştırmaya konu olmuş ve EKG gibi biyomedikal ihtiyaçlar yanında müziğe tepki veren kıyafetlerden, telefona mesaj yazma imkânı tanıyan entegre iletişim cihazlarına ve aydınlatma kontrolü için kullanılacak fonksiyonel ürünlere kadar kullanım imkânı bulmuştur (Ahmad ve diğerleri, 2017).

Tekstilde iletkenlik elde etmek için ilk kullanılan yöntem metalik ipliklerin kumaş dokusunda kullanılmasıdır ve bilinen ilk iletken kumaş; ipek çözgü ipliklerine, atkı olarak ince bakır folyoya sarılmış bir ipek ipliği atılarak oluşturulmuştur. Son yüzyıldır Hindistan'da bakır yerine gümüş ve altın gibi metaller de tercih edilmektedir. 1920'li, 1930'lu yıllarda dini ve saray elbiselerine "altın elbise" görünümünü vermek için kullanılan metalik ipliklerden sonra 1950'lerde, ince alüminyum şeritlerden üretilen Lurex® iplikleri, fonksiyonel kullanım için yeterli iletkenliğe sahip olmasa da dekoratif metalik kumaşlar oluşturmak için imkân sağlanmıştır. Son 30 yıldır da daha teknik odaklı alanlarda, düşük iletkenlik ihtiyacını karşılayacak şekilde anti-statik ve kalkanlama amaçlı iletken malzemeler kullanılmaya başlanmıştır (Schwarz-Pfeiffer ve Van Langenhove, 2013).

Malzemelerin üzerinde biriken statik elektrik yangın ve patlama riski oluşturduğu için iletken tekstillerin en temel kullanımını anti-statik uygulamalardadır. Tekstil yapılarında kullanılacak liflerin ince, esnek ve uzunluk/genişlik oranı yüksek olması gerektiği ancak kalın bakır veya metal bir telin ince veya esnek olmaması mümkün olmadığı için tekstil lifi olarak değerlendirilmesi kolay olmamaktadır (Cork, 2015).

Konvansiyonel elektroniklerin mekanik olarak kumaşa entegre edilmesi günümüzde en tercih edilen yöntemdir. Ancak tekstil yapısına entegre edilecek elektronun ölçüleri, ağırlığı ve esnek olmamasından kaynaklanan ergonomi sorunlarının giderilmesi zordur. Bu sorunlar e-tekstil uygulamalarında kullanılmak üzere yumuşak, esnek, konforlu elektronik malzemelerin geliştirilmesi ihtiyacını doğurmuştur. İletkenlik sağlamak için iletken ipliklerin dikilmesi, iletken liflerin dokuma veya brode ile kumaşa dahil edilmesi mümkündür ancak bunların yıkama ve fiziksel performansları yetersiz olduğu için ve elektronik devrelerin tekstil yüzeylerine iletken malzemeler kullanılarak baskı yoluyla aktarılması veya kaplanması daha tercih edilebilir olacaktır (Üner ve Gürcüm, 2019).

2.3. İletken Tekstil Yüzeyleri Elde Etme Yöntemleri

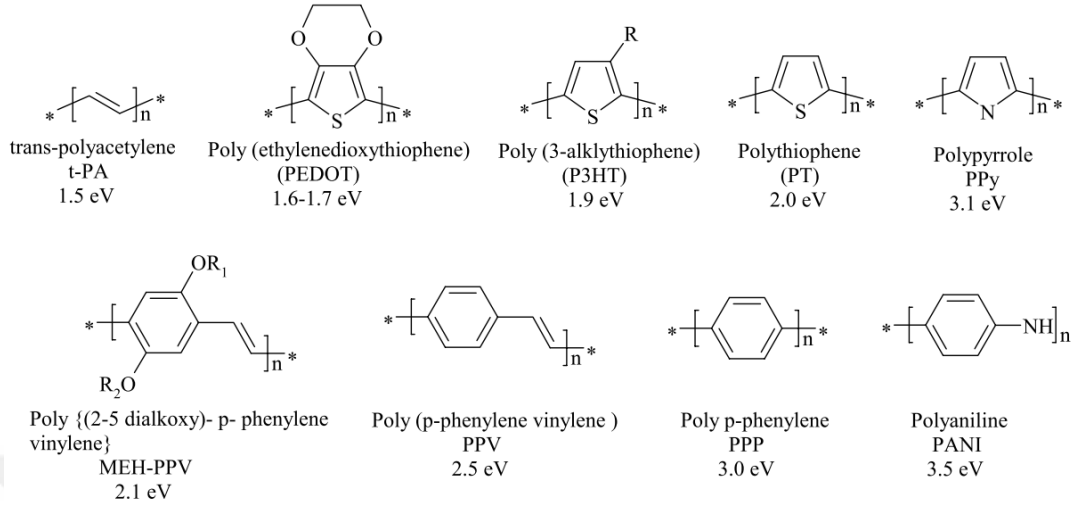
İletken tekstil yüzeyleri elde edilebilmesi üretim aşamaları göz önünde bulundurularak 4 aşamada incelenebilir;

- Hammadde kaynaklı; iletken polimerler
- İplik üretimi
- Kumaş üretimi
- Bitim işlemleri

2.3.1 İletken polimerler

Polimerlerin elektronik iletkenlik gösterebilmesi için, kendi polimer örgüsünde, elektronların zincir boyunca taşınmasını sağlayan uygun bir yapıya sahip olması yani ana zincirinde konjuge çift bağlar bulunması gerekmektedir. Bu şekilde konjuge çift bağlı polimerlerin iletkenliği, hareketli yük taşıyıcılar olan dopantların eklenmesi ile elektron alan veya veren gruplarla yükseltgenmesi veya indirgenmesi yoluyla artırılabilir (Özerol, 2015).

Şekil 2.3'te bazı iletken polimerlerin enerji bandı değerlikleri paylaşılmıştır.



Şekil 2.3 Bazı iletken polimerlerin enerji bandı değerlikleri (Ala ve Fan, 2009)

Konjuge polimerlerin çoğu yarı iletken özelliği gösterir. İletken polimerlerin ana sınıfı melaninler olarak da bilinen doğrusal omurgalı (linear backbone) poliasetilen, polipirol ve polianilin polimerleri ile bunların kopolimerleridir. Yarı iletken polimerler olarak ortaya çıkan Poli (p-fenilen vinilen) ve çözünür türevlerinin elektro-luminans özellikleri de vardır. Poli (3-alkiltiofen) de tercih edilen diğer bir polimerdir (Darshani, 2013).

Para-aramid gibi bazı polimerler çelikten güçlü olmalarına rağmen geneli elektriksel olarak yalıtandırılar (Cork, 2015).

Polimerlerin iletken olabilmesi için 2 koşul vardır; İlki dönüşümlü olarak tek ve çift bağlardan oluşan konjuge bağlara sahip olmasıdır. Bu da güçlü bir kimyasal bağ oluşturan lokalize bir "sigma" bağı ve daha zayıf olan lokalize "pi" bağı içermesi demektir. İkinci koşul, doping de denilen; Halojen katkısıyla polimerden elektronların çıkarılarak okside edilmesi (p tipi doplama) veya Alkali metaller katkısıyla malzemenin indirgenmesidir (n tipi doplama) (Darshani, 2013).

Polimerler İyot, Lityum, Gümüş perklorat, Oksijen, Hidrojen peroksit, Benzokuinon, sulu Kloröz asit, Poli (3-oktil tiofen), konsantre Demir(III)klorür-nitrometan solüsyonu, güçlü

sulu Tetrafloroborik asit solüsyonları vb. kullanılarak doplanabilmektedir (Darshani, 2013).

Bazı iletken polimerler ve dopantlarının iletkenlik değerleri Çizelge 2.1'de verilmiştir (Ala ve Fan, 2009).

Çizelge 2.1. Bazı iletken polimerler ve dopantlarının iletkenlik değerleri (Ala ve Fan, 2009)

Polimerler	Dopantlar	İletkenlik (S/m)
Polyacetylene	I ₂ , Br ₂ , AsF ₅ , Na, Li	10 ⁶
Polypyrrole	BF ₄ ⁻ , ClO ₄ ⁻	5 x 10 ⁴ – 75 x 10 ⁴
Polythiophene	BF ₄ ⁻ , ClO ₄ ⁻ , Tosylate, FeCl ₄ ⁻	10 ⁵
Poly (3-alkythiophene)	BF ₄ ⁻ , ClO ₄ ⁻ , FeCl ₄ ⁻	10 ⁵ -10 ⁶
Polyphenylenesulfide	AsF ₅	5 x 10 ⁴
Polyphenylene-vinylene	AsF ₅	10 ⁶
Polyphenylene-vinylene	AsF ₅	27 x 10 ⁴
Polyphenylene	AsF ₅ , Li, K	10 ⁵
Poly isothi-anaphtene	BF ₄ ⁻ , ClO ₄ ⁻	5 x 10 ³
Polyazulene	BF ₄ ⁻ , ClO ₄ ⁻	100
Polyfuran	BF ₄ ⁻ , ClO ₄ ⁻	10 ⁴
polyaniline	HCl	2 x 10 ⁴

Konjuge polimerlerin yapılarında değişken zincir uzunlukları ve farklı zincir uçları bulunabilmektedir. Polipirol için %50 civarında olan kristallik, Poliasetilen numunelerinde %90'a kadar yükselerek iletkenliği artırmaktadır. X, y, z yönlerindeki oryantasyonları farklılıklar gösterebilmektedir. Bütün bu düzgünsüzlükler elektronik özelliklerini önemli şekilde etkilemektedir (Elschner, Kirchmeyer, Lovenich, Merker, ve Reuter, 2010a).

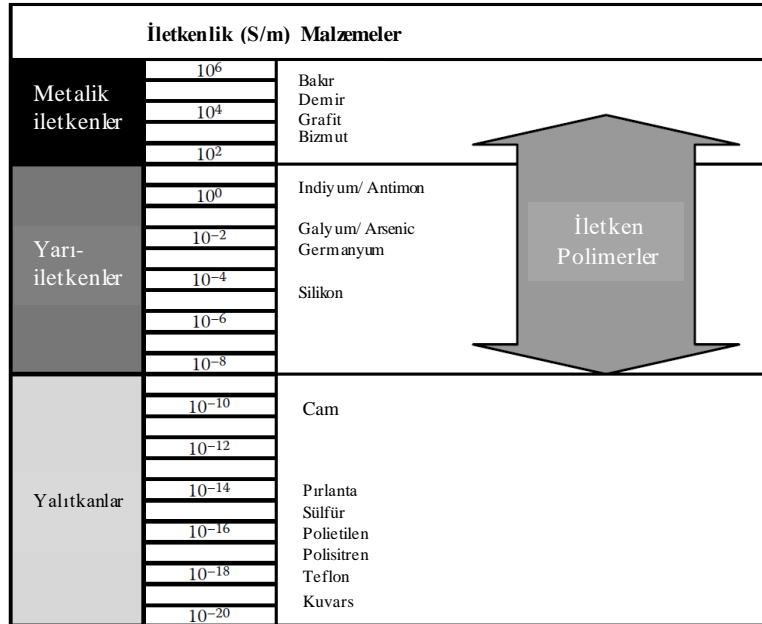
Elastikiyetleri ve özellikle inceldikleri zaman mukavemetleri düşük olduğu için kırılabilir olsalar da yüksek iletkenliğe sahip metallerin elektrik direnci 10⁻⁵ Ωcm seviyesinde iken yalıtkanlarındaki 10¹² Ωcm civarındadır. Yalıtkanların direnci, düşen sıcaklıkla artarken metallerde ise tersi şekilde işlediğinden 0°C'de bakırın elektriksel iletkenliği 64 x 10⁴

$\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$, gümüşünki $66 \times 10^{-4} \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$, altınunki ise $49 \times 10^{-4} \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ civarında olduğu için pazarda hali hazırda kullanılabilmektedirler. İletkenlikleri buldukları ortamdaki nem oranıyla doğrudan ilişkili olan doğal liflerde ise yünün özgül direnci %53 nem altında $1.6 \times 10^9 \Omega\text{cm}$ iken % 86 nem altında $1.3 \times 10^6 \Omega\text{cm}$ değerine kadar yükselebilmektedir. Tipik metallerin 20°C 'deki dirençleri Çizelge 2.2'de gösterilmektedir (Cork, 2015).

Çizelge 2.2. Bazı metallerin elektriksel dirençleri (Cork, 2015)

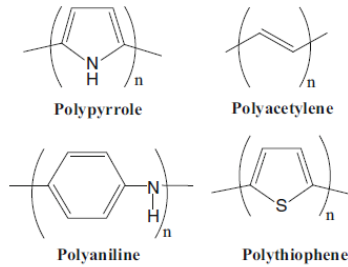
	20°C'de Direnç (Ωcm)
Gümüş	$1,59 \times 10^{-6}$
Bakır	$1,72 \times 10^{-6}$
Altın	$2,44 \times 10^{-6}$
Demir	$1,0 \times 10^{-5}$

Yüksek katkılı iletken polimerlerin birçoğunun karakteristik özelliği, belirli bir geçiş sıcaklığına kadar iletkenlikleri artarken bu noktadan sonra azalmasıdır. İletken, yarı iletken ve yalıtkanlık konusunda net sınırlar olmamakla birlikte iletken, yarı iletken ve yalıtkan düzeyinde bazı konjuge polimerlerin iletkenlikleri Şekil 2.4'te gösterilmektedir (Elschner ve diğerleri, 2010b).



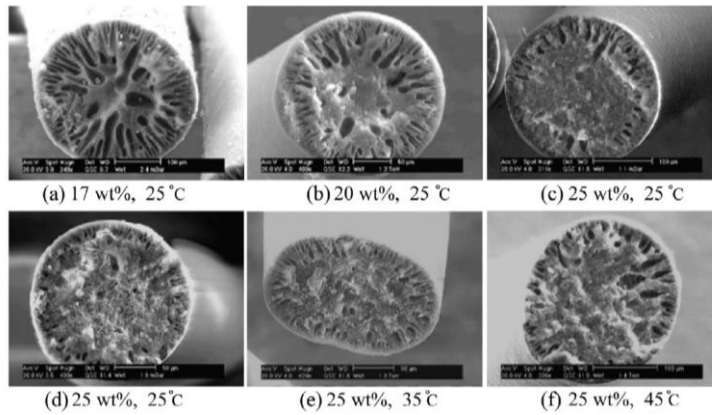
Şekil 2.4. İletken, yarı iletken ve yalıtkanların elektriksel iletkenlikleri (Elschner ve diğerleri, 2010b)

Bazıları Şekil 2.5'te verilen ICP (Kendinden İletken Polimer)'ler arasında hafifliği ve düşük maliyetleri sayesinde tercih edilen PANI (Polianilin), PPy (Polipiro) ve PEDOT'un da benzer şekilde halojenlerle okside edilerek yani p-doplama yoluyla veya alkali metaller aracılığıyla indirgenerek yani n-doplama yoluyla iletkenlikleri artırılabilir (Montazer ve Harifi, 2018).



Şekil 2.5. Doplanmamış haliyle bazı iletken polimerler (Foroughi, Spinks, ve Wallace, 2015)

Çoğu termoplastik olmadığı ve erime noktalarının altında ayrıştıkları için standart lif çekim yöntemleri uygulanamayan PANI ve PPy gibi ICP'lerde bazı çözücülerde kolay işlenebildikleri için çözelti eğirme yöntemine başvurulabilir. Şekil 2.6'da yaş çekim uygulanan PANI liflerine, sıcaklık ve çözelti içindeki konsantrasyon oranlarının değişimlerinin etkisinin görülebilmesi için alınan lif kesit görüntüleri paylaşılmıştır (Qu ve Skorobogatiy, 2015).

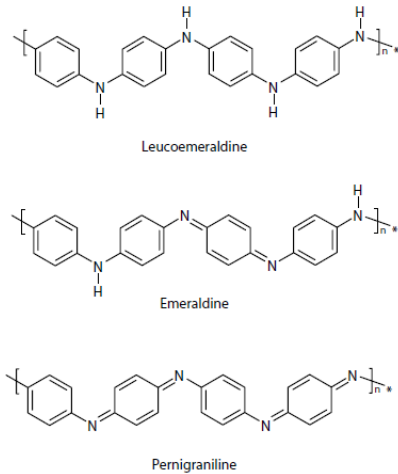


Şekil 2.6. Farklı sıcaklık ve eriyik çözeltisindeki PANI oranlarıyla lif kesit görüntüleri a) 25°C'de %17 konsantrasyon b) 25°C'de %20 konsantrasyon c) 25°C'de %25 yoğunlaşma d) 25°C'de %25 konsantrasyon e) 35°C'de %25 konsantrasyon f) 45°C'de %25 konsantrasyon (Qu ve Skorobogatiy, 2015)

ICP'ler iletken nano-lif üretimi için kullanılabildikleri gibi homojen karışma riski performansını etkilese de metal nano-partiküllerle birlikte nano-kompozitlerin üretiminde de kullanılabirler. Son yapılan çalışmalar, zayıf mekanik özellikleri nedeniyle dezavantajlı olan ICP filmlerle kaplama yöntemi yerine yüzeyde polimerizasyon uygulamalarının performansının daha etkili olduğunu göstermiştir (Montazer ve Harifi, 2018).

İşlenmemiş monomerlerin tekrar kullanımına izin verdiği için CVD (Kimyasal Buhar Biriktirme) yöntemi de özellikle bağlanmaya yardımcı fonksiyonel gruplar içeren yün gibi substratlarda tercih edilmektedir. Aksi durumdaki Poliester gibi yüzeyler için alkali hidroliz yapışma konusunda yardımcı olmak için uygulanabilir (Montazer ve Harifi, 2018).

Polianilin: 1860lı yıllarda anilinın oksidasyonu ile elde edilerek siyaha yakın rengi nedeniyle tekstil ürünlerinde boyama ve baskı yapmak üzere kullanılmıştır. Halen uygun fiyatı ve ışığa dayanıklı yapısı sayesinde; hem pamuk ve ipek gibi doğal hem PES gibi sentetik liflerin yanı sıra kâğıt ve plastiklerin de renklendirilmesinde endüstriyel boyutta kullanılmaktadır. 19. yüzyılın başında gördüğü ilgi artsa da elektriksel iletkenliği ancak 1960lı yılların sonlarında anlam kazanmış ve iyot komplekslerinin iletkenliği 1S/cm olarak tespit edilmiştir. Açık renkli veya şeffaf yüzeylerde tercih edilemese de plastik reçinelerde kullanım alanı bulmaktadır. Polianilinın oksidasyonu aşamaları Şekil 2.7'da gösterilmektedir (Elschner ve diğerleri, 2010b).

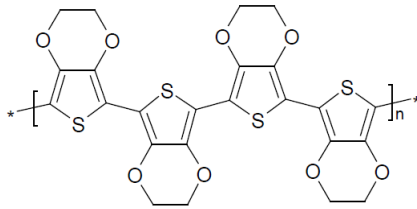


Şekil 2.7. Polianilin oksidasyon aşamaları (Elschner ve diğerleri, 2010b)

Polipirol veya Poli(Heterosiklik): Yine 1960lı yıllarda iletkenliği keşfedilen bir diğer polimer olan polipirolun daha çok oksitlenmesi sonrası elektrokimyasal davranışlarına odaklanılmış ve ortam sıcaklığında elektrik iletkenliği 7.54 S/cm olarak tespit edilmiştir. Endüstriyel olarak bir dönem kapasitörlerde kullanılmıştır (Elschner ve diğerleri, 2010b).

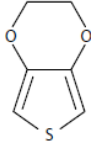
Doplanmış Poliasetilen: 1874 yılında başlayan asetilen çalışmaları dönem derinleşse de Giulio Natta'ya 1958de Ziegler-Natta katalizörleri sayesinde Nobel ödülü kazandırana kadar çok yoğun değildir. 1961 yılında Tokyo Teknoloji Enstitüsü tarafından iletken polimer olarak tanımlandığında koyu yeşil tozun ancak 10^{-5} S/cm değeriyle yarı iletken olduğu belirlenmiştir. Devam eden uluslar ve disiplinler arası çalışmaların sonucunda 1976'da brom katkılı poliasetilen tarihteki ilk yüksek iletken hidrokarbon olarak sentezlenmiş ve yıllar sonra da olsa araştırmacılarına Nobel Kimya Ödülü getirmiştir. 1987'de bu defa iyot katkısı ile iletkenlik seviyesi yükseltile de havadaki neme veya inert koşullara dayanıksız olması sebebiyle kullanıma uygunluğu sağlanamamıştır (Elschner ve diğerleri, 2010b).

PEDOT: Polianilin grubu düşük maliyetle iletkenlik sağlayabilse de polimer omurgasındaki olası benzidin parçaları nedeniyle toksik ürünler verebilme riski taşıdığı ve çözünmez olduğu için bazı türevleri geliştirilmiştir. 1980'li yıllarda, Bayer AG laboratuvarlarında geliştirilen poli(3,4-etilendioksitiyo-fen)in omurga yapısı Şekil 2.8'de verilmiştir (Foroughi ve diğerleri, 2015).



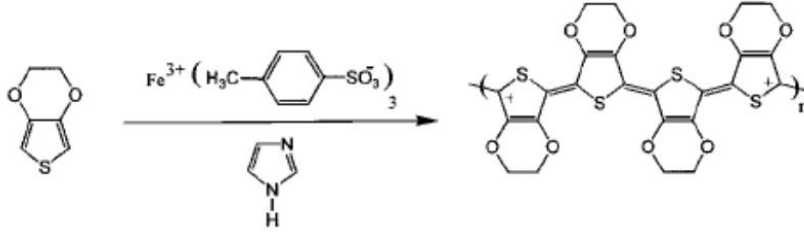
Şekil 2.8. PEDOT omurga yapısı (Groenendaal, Jonas, Freitag, Pielartzik, ve Reynolds, 2000)

Poliasetilenin yetersizliklerden sonra Şekil 2.9'de gösterilen EDOT (3,4-etilendioksitiyofen) katkılanarak üretilen PEDOT yüksek sıcaklıklara, neme dayanıklı olarak yüksek iletken bir polimer olarak ortaya çıkmıştır. En yaygın olarak kullanıma sahip Politiyofen olan PEDOT, ticarileşmeyi başarmıştır (Elschner ve diğerleri, 2010b).



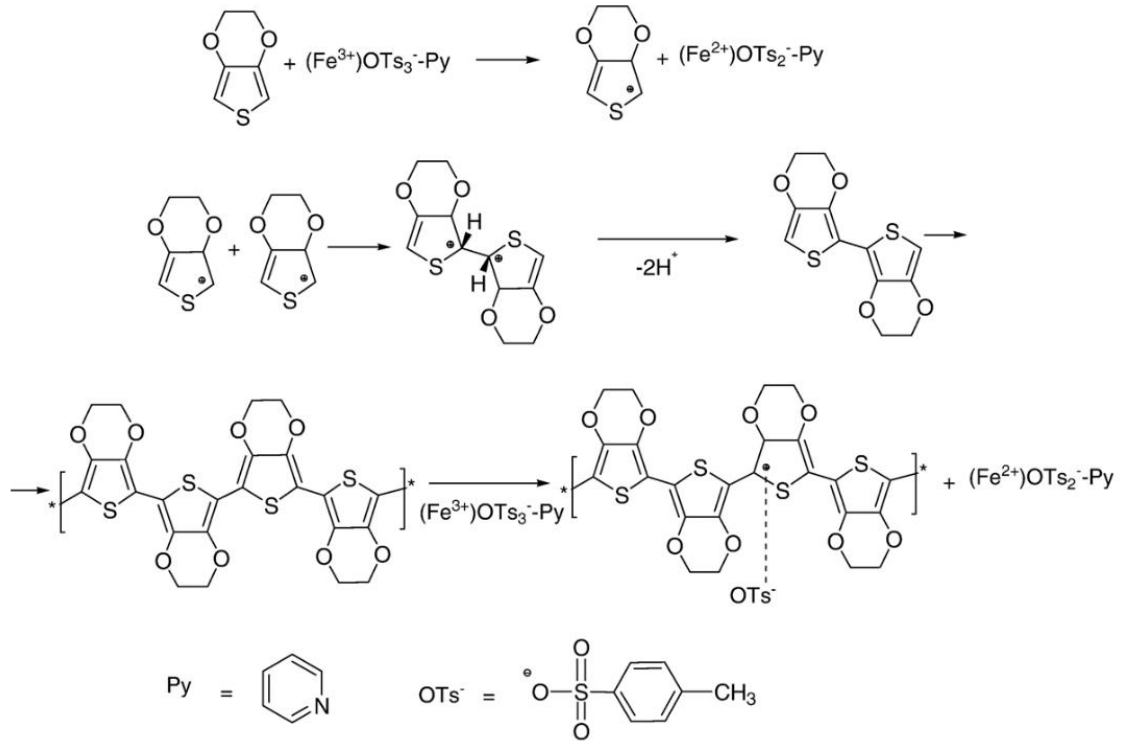
Şekil 2.9. EDOT (3,4-Etilendioksitiofen) (Elschner ve diğerleri, 2010b)

Oksidatif, kimyasal veya elektrokimyasal polimerizasyon ile hazırlanan ve yaklaşık 300 S/cm iletkenliğe sahip olan PEDOT'un üretiminde tercihen FeCl₃ veya Fe(OTs)₃ gibi oksitleyici ajanlar kullanılmaktadır. 1994 yılında, Şekil 2.10'da gösterilen ve Leeuw ile arkadaşlarının geliştirdiği polimerizasyon yönteminde EDOT; FeIII(OTs)₃, baz olarak imidazol ile işleme sokulup su ve n-bütanol ile durulandıktan sonra 550 S/cm'ye kadar iletkenlik gösteren siyah bir PEDOT film elde edilmiştir. Ticari olarak yüksek miktarlarda kullanılan PEDOT, kalkanlamadan elektronik ambalajlar gibi antistatik uygulamalara ve OLED'lere kadar çok çeşitli uygulamalarda kararlı ve yüksek iletkenlik sağladığı için tercih edilmektedir (Groenendaal ve diğerleri, 2000).



Şekil 2.10. Leeuw ve arkadaşlarının geliştirdiği EDOT'un kimyasal polimerizasyonu (Groenendaal ve diğerleri, 2000)

Dopant ve oksidasyonu ajanı olarak N-bütanol ile %40lık olarak hazırlanan Demir(3)tosilat (Fe(OTs)₃), çözücü ve reaktif olarak butanol, etanol, aseton, EDA (etilendiamin), gliserol, Py (Piridin) kullanılarak PET (Polietilen tereftalat) film kaplanması için yapılan çalışmaların oksidatif polimerizasyon reaksiyonu Şekil 2.11'de gösterilmiştir (Truong ve diğerleri, 2008).



Şekil 2.11. Piridin ortamında EDOT oksidasyonu (Truong ve diğerleri, 2008)

Uygulamada tercih edilen yöntem, morfolojik yapısının yanında moleküler ağırlığı ve iletkenliğini de etkilemektedir. Kristalizasyonun düzgün ve homojen olması iletkenliğini destekler (Kirchmeyer, Reuter, ve Simpson, 2007).

Çoğu çözücüde çözünemeyen PEDOT, stabilizatör görevi gören PSS (Polistiren Sülfonat) ile emülsifiye edildikten sonra sulu solvent içinde çözünebilir. Şeffaf yapısı, termal kararlılığı, düşük yoğunluğu, kolay sentezlenmesi ve uygun katkı maddeleri kullandığında da yüksek bir elektrik iletkenliği sağlanabilmesi sayesinde geniş uygulama potansiyeli ile en yaygın kullanılan iletken polimerlerin arasındadır. Özellikle giyilebilir elektronik tekstiller için değerlendirilebilmesi için esnek PES yüzeylerde uygulamaları yapılmıştır (Du, Xu, Wang, ve Lin, 2017).

Bununla birlikte, PEDOT'un çoğu çözücüde çözünmesi zor olduğu için çözünebilir yan zincirlerle türevlendirmek gerekli olabilir. Tercih edilen sistemlerden biri, sulu bir dispersiyon olan PEDOT:PSS olup, %80'e varan yüksek şeffaflığa sahip kararlı bir polimer yapısı olmasının yanında dispersiyonu stabilize etmek için aşırı miktarda PSS

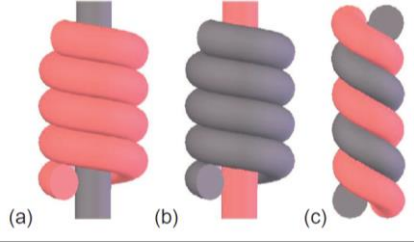
gerektirdiği ve PSS elektrik yalıtkanı olduğu için nispeten düşük bir elektrik iletkenliği sağlar (Truong ve diğerleri, 2008).

2.3.2. Lif ve iplik üretim aşamalarıyla elde edilen iletkenlik

İletken yüzeyler oluşturmak için kullanılacak en temel yöntem paslanmaz çelik veya bakır, nikel gibi metal tellerin iplik olarak kullanılmasıdır. Bu yöntemin en zorlayıcı tarafı bu tellerin ağır ve sert olması yanında esnek olmamasıdır. Altın-gümüş gibi metal folyoların ipliklerle sarılması bir diğer yöntemdir ancak kırılgnalık burada da iletkenliği tehdit etmektedir. Etkileyici özellikleri nedeniyle CNT (Karbon Nanotüp)'ler gibi iletken parçacıkların lif üretimine eklenmesi yöntemi de gelişen teknoloji sayesinde mümkün olmuştur. Benzer şekilde iletken polimerler ve farklı nano parçacıklar da lif yapısına katılarak regüler veya nanolif olarak da üretilebilmektedirler (Montazer ve Harifi, 2018).

Liflere iletkenlik kazandırmak için iletken polimerler kullanılması, düşük moleküler ağırlıklı anti-statikler veya polielektrolitler veya liflerin metalize filmlerle kaplanması tercih edilebilmektedir. İplik, dokuma, örme ve brode olarak kumaşa eklenen bakır veya paslanmaz çelik gibi iletken lifler kullanılsa da ağır ve kalın olmaları, kırılgnlıkları ve paslanma ihtimalleri nedeniyle iletkenliklerini kaybedebilirler ve bunu engellemek için yüzey alanının genişletilmesi ve lif sayısının artırılması gerekebilmektedir. Bunun yanında bazı uygulamalarda iletken tellerin yalıtılmasına ihtiyaç duyulabilir. Bunun için tellerin kaplama veya gipe yöntemiyle sarılması iletken tellerin dış etkenlerden daha az etkilenmesini ve tekstil ürünlerinin yüzey efektlerinin ve mekanik özelliklerinin korunmasına yardımcı olur. Tam tersi bir şekilde gerek doğal, gerek sentetik liflerin metal liflerle sarılması veya bakır, gümüş gibi metalize malzemelerle kaplanması da uygulanan yöntemlerdendir. Metalize kaplamalı ipliklerden üretilen kumaşların iletkenlik etkisi dışında kalkanlama özelliği olmasının, gümüş gibi metallerin de anti-bakteriyel olmasının farklı kullanım avantajları da sağlayacağı bilinmektedir ancak ürünün boyanarak renklendirilmesi pek mümkün olmayacaktır (Cork, 2015).

Katlı Büküm: Geleneksel tekstil polimerleri ile metaller, hibrit yapılar oluşturmak için, Şekil 2.12’de gösterildiği gibi; çekirdekte metal, çekirdekte polimer ve polimer-metal bükümlü olarak kullanılabilir. Burada kullanılan liflere ve sarım şekillerine göre 0,2-200 Ohm arası direnç değeri elde edilebilmektedir (Qu ve Skorobogatiy, 2015).



Şekil 2.12. Polimer-Metal hibrit iplik yapıları: a) metal çekirdeğe polimer lif sarılmış b) polimer çekirdeğe metal lif sarılmış c) metal ve polimer lifi bükülmüş (Metal lifi gri, polimer lifi kırmızı ile gösterilmiştir) (Qu ve Skorobogatiy, 2015)

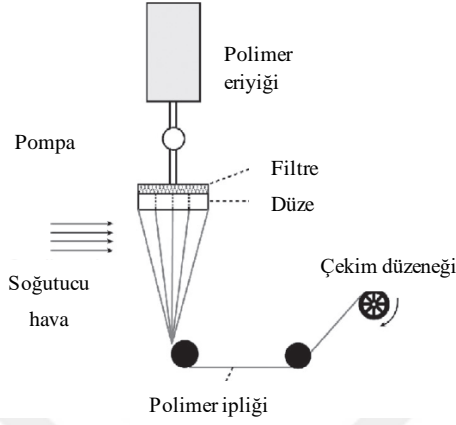
Metal çekirdeğin üzerine polimer sarılı iplikler özellikle kumaş oluşum aşamalarında hem metal telin kırılması ve okside olmasını hem dokuma-örme makinelerinin zarar görmesini engellediği için tercih edilebilir. Böylece iletkenlik kaybı riski de azalsa bile elastikiyet konusunda güçlü değildirler (Qu ve Skorobogatiy, 2015).

Bu dezavantajı gidermek için çekirdekte polimer (hatta gerektiğinde elastik polimerler) kullanılması mümkündür. Bu yöntemle üretilen ipliklerin esnekliğini yanında kabuktaki metalin korunabilmesi için üstüne bir kat daha polimer sarılması veya kullanılan metal telin plastik kaplamalı olarak kullanılması da mümkündür (Qu ve Skorobogatiy, 2015).

Basit şekilde metal ile polimerin katlanması ile oluşturulan ipliklerde hem elastikiyet özellikleri zayıf hem metalin dış etkenlerden etkilenme ve dokuma-örme makinelerine zarar verme riski yüksek olduğu için çok tercih edilmemektedir (Qu ve Skorobogatiy, 2015).

Meta-malzeme lifleri de denen hibrit polimer-metal lifler, birbirine yakın erime sıcaklığına sahip polimerlerle metal bileşenlerinin birlikte çekilmesi ile üretilebilir. Birden fazla metal çekirdekli olarak üretilen polimer liflerin sağladığı izolasyon sayesinde metalin korozyon ve mekanik aşınmadan korunması da sağlanabilir (Qu ve Skorobogatiy, 2015).

Eriyikten Çekim: Boşluk oluşumuna sebep olabilecek şekilde eriyik kullanımı gerektirmediği için Şekil 2.13'te şematik olarak gösterilen eğirme yöntemi termoplastik polimerlerde en çok tercih edilen yöntemlerden biridir (Qu ve Skorobogatiy, 2015).



Şekil 2.13. Eriyikten çekim düzeneği (Qu ve Skorobogatiy, 2015)

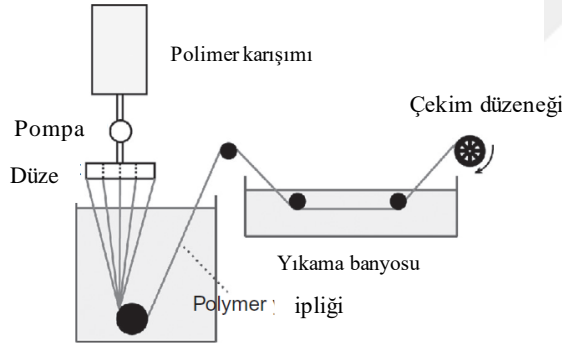
Liflere iletkenlik kazandırmanın bir başka yöntemi CB (Karbon Siyahı) kullanımıdır. Termoplastik polimer eriyiklerine doğrudan eklenen nano CB partiküllerinin optimum konsantrasyonu; yeterli iletkenlik sağlayabilmesinin yanında lif çekimine engel olmayacak viskoziteyi sağlayabilmesi açısından önemlidir. Yüksek oranda kullanılan CB'ler iletkenliği artırsa da ipliklerin sertleşmesinin sonraki üretim aşamalarında sorun yaratması olasıdır. Bikomponent üretim teknolojilerinin gelişmesiyle çekirdek/kılıf şeklindeki yapılar kullanılabilir olsa da, CB'in kılıfta kullanılması dış etkilere karşı açık olduğu ve rengi siyah/gri olacağı için kullanışsız olabilir. CB parçacıklarının çekirdekte kullanılması durumunda ise yeterli iletkenlik sağlanamayacağı için ancak anti-statik uygulamalar için değerlendirilmesi mümkün olabilir (Qu ve Skorobogatiy, 2015).

Çoğu saf ICP lifleri tekstil yüzeyleri oluşturmak için yeterli mekanik özelliklere sahip olmadıkları için standart lif üretiminde dolgu malzemesi olarak kullanılabilirler. Buradaki iletkenlik ICP katkı oranıyla doğru orantılı olsa da fazlası kırılmalıya neden olacağı için uygulanacak üretim tekniğine göre optimum kullanım oranının belirlenmesi ve karışımın homojen dağılımı için yeterince karıştırılması önemlidir (Qu ve Skorobogatiy, 2015).

Yaş çekim: 2000li yıllara gelmeden önce keşfedilen CNT'ler de, termal ve elektriksel iletkenliklerinin yüksekliği nedeniyle dolgu malzemesi olarak kullanılabilirler. Hafiflikleri viskoziteye etkisini azalttığı ve üretim maliyetleri çok büyük bir fark göstermediği için iletken polimerlerden iplik üretimlerinde CB'lerden daha iyi bir alternatif olabilirler (Qu ve Skorobogatiy, 2015).

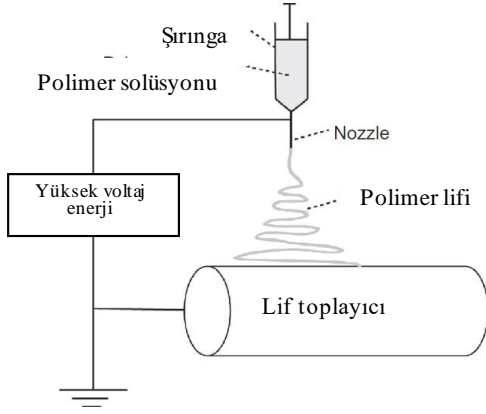
Bununla birlikte, CNT'lerin eklenmesi ipliğin kopma uzamasında bir azalmaya neden olur. İletken polimer lifleri, poliester ve naylon gibi tercih edilen liflere göre %20'den daha düşük uzama ile son derece kırılındır. Bu sertlik probleminin geliştirilmesi de büyük bir zorluk olmaya devam etmektedir (Foroughi ve diğerleri, 2015).

PANI gibi erime noktaları düşük ve termoplastik olmayan polimerler için Şekil 2.14'de şematik olarak gösterilen ıslak eğirme metodu kullanılsa da banyoda kullanılan pıhtılaştırıcılar lif içinde boşluklara neden olabileceği için konsantrasyon ve sıcaklık dahil tüm eğirme şartlarının optimizasyonu önemli olacaktır (Qu ve Skorobogatiy, 2015).



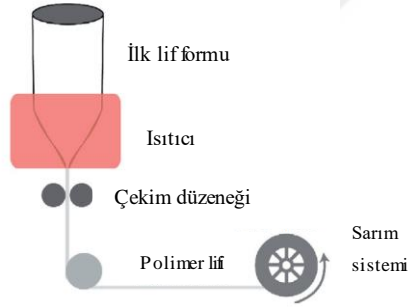
Şekil 2.14. Yaş çekim düzeneği (Qu ve Skorobogatiy, 2015)

Elektro-çekim: Nanometre ölçüsünde lif çekimine izin veren ve yüksek sıcaklık gerektirmeyen ve Şekil 2.15'de şematik olarak gösterilen elektro çekim yöntemi özellikle farklı polimerler ile CNT kompozitleri oluşturmak için tercih edilebilir (Qu ve Skorobogatiy, 2015).



Şekil 2.15. Elektro lif çekim düzeneği (Qu ve Skorobogatiy, 2015)

Lif Çekimi: Bu yöntemde Şekil 2.16’da gösterildiği gibi polimer malzemelere yakın erime sıcaklığına sahip metalik malzemeler eriyik halde polimer lif içine doldurularak sıcaklık altında çekerek inceltilir. Burada yapıyı etkileyen sıcaklık, hız ve besleme gibi faktörlerdir ve sonuçta elde edilen elektriksel ve optik işlevler için kullanılabilir ve çevrelendiği polimer kılıf sayesinde dış etkilerden korunan iletken tellerdir (Qu ve Skorobogatiy, 2015).



Şekil 2.16. Lif çekim düzeneği (Qu ve Skorobogatiy, 2015)

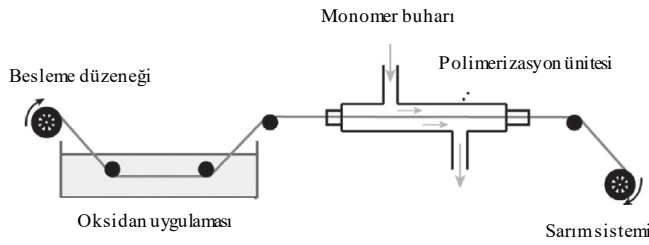
Daldırma Kurutma Yöntemi: Metal partiküller, ICP’ler, CB veya CNT’ler gibi iletken malzeme çözeltisi oluşturularak yapılabilecek en basit kaplama yöntemlerinden biri olan bu yöntemde etkiyi artırmak için çözeltinin homojenliği ve tekrar sayısı önemlidir. Tercih edilmesinin bir diğer sebebi de düşük maliyetli olmasıdır (Qu ve Skorobogatiy, 2015).

Daldırma veya Kimyasal Polimerizasyon yöntemleriyle, hem yün gibi doğal hem de PES gibi sentetik yüzeylerin PANI ve PEDOT:PSS gibi ICP’lerle kaplanma denemeleri de yapılmıştır. Homojen ve yeterli kalınlıkta kaplama yapıldığında doğal lifler üzerinde lif-

lif sürtünmesi azaltılarak mekanik özelliklerin yükseldiği yorumlansa da sentetik liflerdeki etkisi daha önemsiz bulunmuştur. İletkenlikleri de bükülme gibi hareketlerle azaldığı ve oksitlenme gibi dış etkilere açık oldukları için çok tercih edilen bir yöntem değildir (Qu ve Skorobogatiy, 2015).

Birkaç tekrarlı basit bir daldırma uygulaması ile liflerinin CB veya CNT ile kaplanması çalışmaları da yapılmış ve lif çekimi öncesi eriyiğe katılmasından daha etkili sonuçlar elde edilmiştir. CB dolgusu artırıldığında mekanik özellikleri gerileyen ipliklerden farklı olarak kaplama yöntemi kullanıldığında yüzeyin esnekliği korunmaktadır (Qu ve Skorobogatiy, 2015).

Kimyasal çözelti / buhar polimerizasyonu: Daldırma yöntemine nazaran daha homojen bir kaplama ve yüksek iletkenlik sağlayan ve şematik olarak Şekil 2.17’de gösterilen bu yöntemde, lifler bir oksidanla işlendikten sonra çözelti veya buhar fazında monomere maruz bırakılmaktadır (Qu ve Skorobogatiy, 2015).

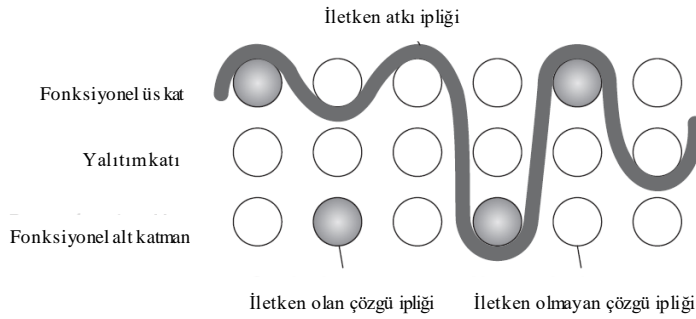


Şekil 2.17. Buhar fazında polimerizasyon yöntemiyle tekstil lifinin iletken polimerlerle kaplanması düzeni (Qu ve Skorobogatiy, 2015)

Metalik Kaplamalı Polimer İplikler: Prosesin nispeten kolay olması ve poliesterden poliamide farklı liflere, altından alüminyuma farklı metalik içeriklerin uygulanabilmesi nedeniyle ticarileşen bir yöntemdir ve polimer-metal laminasyonu ve fiziksel buhar biriktirme gibi farklı yöntemlerle de yapılabilmektedir. Antistatik giysiler ve elektromanyetik koruma amaçlı olarak da kullanıldığı belirtilen bir başka metot olan otokatalitik kaplama ise, seri üretime uygunluğu, yüksek iletkenliği ve homojen yapısı nedeniyle diğerlerinden daha fazla tercih edilmektedir. Dış etkenlerden etkilenebilmesi ve kısa devre riski yarattığı için yüzeyle kaplama arasına tampon bölge oluşturulması uygulamaları da bulunmaktadır (Qu ve Skorobogatiy, 2015).

2.3.3. Kumaş oluşum aşamasında iletkenlik uygulamaları

Dokuma: Burada kumaş yapılarını oluşturan; birbirine dik ve doğrusal yerleşen atkı ile çözgü iplikleridir. Dokuma kumaş üretimi aşamasında, çözgünün hazırlanmasından bitim işlemlerine kadar geçen süreçte ipliklerin daha fazla noktaya temas edip sürekli gerginlik altında çalışmalarından ötürü iletken tel veya ipliklerin atkı olarak kullanılması tercih edilmektedir. Böylece hem sürtünmelerden ötürü dokuma makinesinde görülebilecek deformasyon hem ipliklerde aynı nedenle görülebilecek iletkenlik kaybı hem iletken malzemenin yaratabileceği kısa devre riski minimize edilebilmektedir. Isıtıcılardan sensörlere kadar farklı ihtiyaçların giderilebilmesi için atkıda kullanılacak iletken malzemeler çoğunlukla yeterli olabilmektedir. Çok özel tasarlanmış devrelere ihtiyaç olduğunda jakarlı dokuma ve Şekil 2.18’de gönderildiği gibi üç katmanlı kumaş yapıları daha kullanışlı olacaktır (Eichhoff, Hehl, Jockenhoevel, ve Gries, 2013).



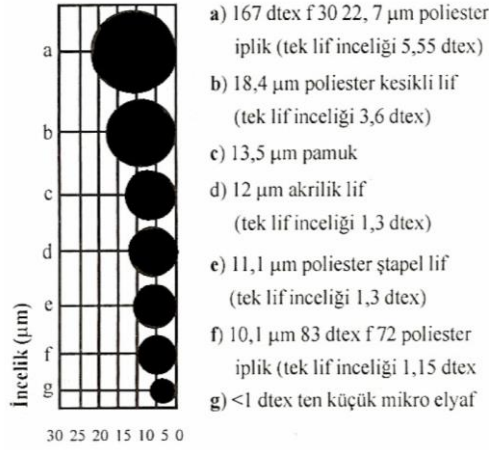
Şekil 2.18. Üç katlı jakarlı dokuma ile yapılan tekstil devresi (Eichhoff ve diğerleri, 2013)

Kumaş konstrüksiyonunun etkileri: Düz dokuma kumaşlar, basit yapıları nedeniyle iletken ipliklerin yanı sıra brode ve baskı uygulamaları ile de giyilebilir elektroniklerde tercih edilmektedirler (Li ve Tao, 2015).

Akıllı tekstil uygulamaları için kullanılacak olan elektronik yapıların insan vücuduna uyum sağlayabilmesi için yumuşaklık, gözeneklilik, esneklik gibi konfor özelliklerinin yanında, dayanıklılık ve yıkanabilirlik gibi performans özellikleri de göstermesi gerekmektedir (Lin, 2015).

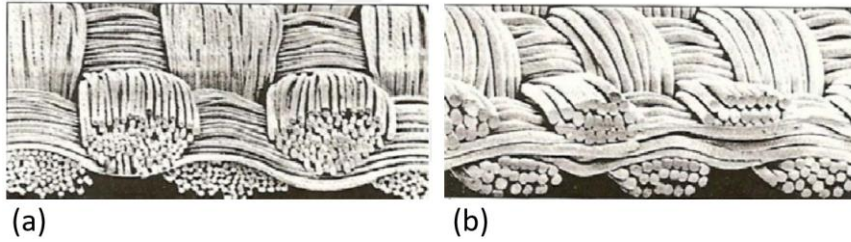
Kumaşların görünümünün yanı sıra mukavemet, esneklik ve hatta iletkenlik gibi performans özellikleri de büyük ölçüde dokuyu oluşturan iplikler, sıklıklar ve örgü tipine dayanmaktadır (Gürkan Ünal ve Taşkın, 2007).

Şekil 2.19’da boyutsal karşılaştırması görülen yapay lifler; 0,1-1,0 dtex aralığında üretildiğinde “mikro”, bundan daha ince olanlar ise “süper mikro” olarak adlandırılmaktadır (Demiröz Gün, Demircan, ve Şevkan, 2011).



Şekil 2.19. Mikrolif kesitlerinin diğer ipliklerle karşılaştırması (Erci, 2017)

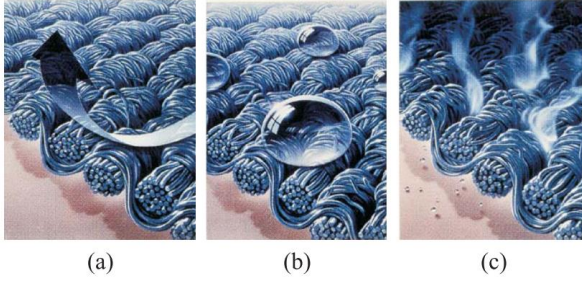
Şekil 2.20’de mikrofilament ipliklerle dokunan kumaş ile 24 filament konvansiyonel ipliklerle yapılan dokuma yapıları görülmektedir (Erci, 2017).



Şekil 2.20. Farklı filament kalınlıklarında kumaş dokuları a) Mikrofilament ipliklerle dokunan kumaş görüntüsü, b) Konvansiyonel liflerle dokunan kumaş görüntüsü

İpliği ve dolayısıyla kumaşı oluşturan lif sayısı arttıkça ara boşluklarına azalması, liflerin birbirine daha iyi tutunmasına yardımcı olur ve aşınma direncini artırır (Erci, 2017).

Lif sayısının artması, kumaşların görünüşleri kadar fiziksel ve tutum özelliklerini de iyileştirmektedir. Medikal, spor ve temizlik tekstillerinde mikro liflerden oluşturulan kumaşların tercih edilmesinin nedenlerinden biri olan yüksek su emiciliği ve nem geçirgenliği de lif sayısı ile birlikte artan yüzey alanından kaynaklanmaktadır. Şekil 2.21’de kumaşlardaki mikro liflerin hava, su ve buhar karşısındaki durumu gösterilmiştir (Demiröz Gün ve diğerleri, 2011).



Şekil 2.21. Mikrofilament ipliklerle dokunan kumaşların dış faktörlerden etkilenme durumu a) Rüzgara karşı bariyer etkisi b) Su iticiliği c) Su buharı geçirgenliği (Demiröz Gün ve diğerleri, 2011)

Kumaşın lifli yapısını ıslatan sıvı, sonrasında kılcal kuvvetler sayesinde lifler arasındaki boşluklara ulaşır. 1/3 dimi gibi örgüler kullanıldığında düşük olan atkı-çözüme kesişim sayısı iplikteki kıvrım oranını düşürür ve bu da sıvının yayılmasına karşı daha düşük bir direnç oluşturur. Aksine bezayağı örgü yapısındaki çok sayıda bağlantı nedeniyle kıvrımlı yapıp en düşük emicilik sonucunu doğurmaktadır (Bükülmezer ve Tayyar, 2019).

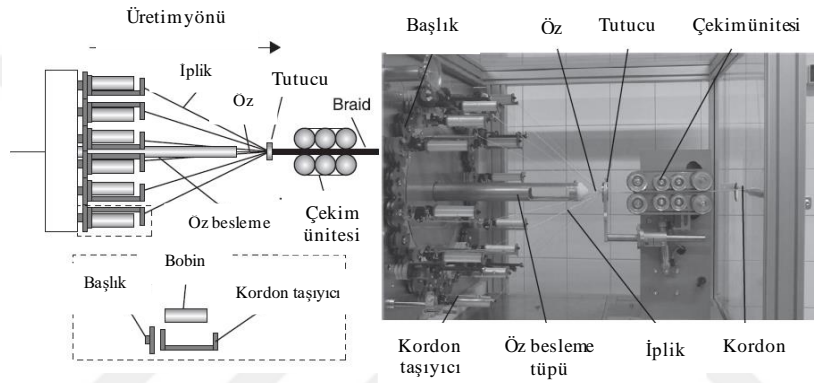
Kumaşa kopma mukavemetinin artması, kullanılan ipliklerin filament sayılarının artışı ile doğru orantılıdır. Bunun sebebi, aynı iplik numarasında filamentler incelikle, iplik kesitindeki spesifik yüzey alanının ve buna paralel olarak da gerilim altında kalan ince filamentler arasındaki kohezyon kuvvetinin artmasıdır (Kaynak ve Babaarslan, 2015).

Bezayağı örgülü kumaşlarda, atkı ve çözüme ipliklerinin kesişiminin maksimum sayıda olması, kumaşın yapısının sıkı olmasına sebep olsa da; 3/1 gabardin örgü kullanıldığında ipliklerin toplama etkisi sayesinde kopma mukavemetleri arasında bir fark kalmamaktadır (Gürkan Ünal ve Taşkın, 2007).

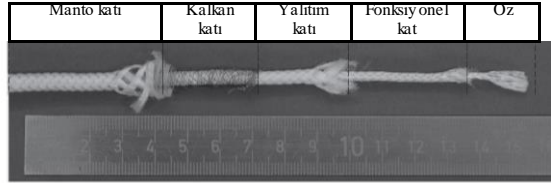
Örme: Ana sınıfları atkı ve çözüme örme yapıları olarak ayrılrsa da dokumadan en temel farkı ilmeklerden oluşmasıdır. Tek ipliğin hareketi ile çalışan düz veya yuvarlak örme makinelerinde ilmekleri oluşturan iğneler birbirinden bağımsız hareket ederken, tek iplik beslemesi ile çalışan çözüme örme makineleri ve çözüme leventi ile beslenen Raschel örme makinelerinde tüm iğneler simultane hareket etmektedir. (Eichhoff ve diğerleri, 2013)

Elektriksel olarak iletken liflerle yapılan örme kumaşlar esneklikleri sayesinde gerilim sensörü olarak kullanılabilir (Cork, 2015).

Kordon örme: En az üç iplikten oluşan bir başka örgü sistemi Şekil 2.22’te gösterilen Kordon örmedir. Burada iplikler birbiri ile ters yönde bükülen mekanizmalar vasıtasıyla belirli bir düzenle birbirlerinin etrafından geçirilerek yüzey oluşturulduğu için iletkenlik kullanılacak iletken ipliklerle sağlanabilir. RWTH Aachen Üniversitesi’nin yaptığı çalışmalarda kullanılan iletken ipliklerin, dirençlerinde meydana gelen değişiklikler ölçülerek halatlardaki uzama miktarı incelenmiştir. Bu veriler asansör kabloları gibi güvenlik halatlarında fonksiyonel olarak kullanılabilir. Bir manto tabakası ile dış etkilerden korunması sağlanabilir. Şekil 2.23’de örülmüş elektrik kablosu katmanları görülmektedir (Eichhoff ve diğerleri, 2013).

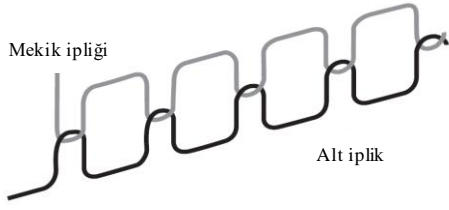


Şekil 2.22. Kordon makinesi parçaları (Eichhoff ve diğerleri, 2013)

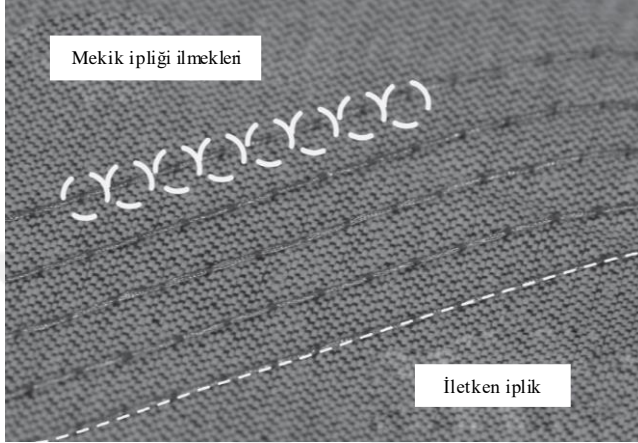


Şekil 2.23. Örülmüş elektrik kablosu katmanları (Eichhoff ve diğerleri, 2013)

Brode: Standart çift iplikli brode teknolojisinde, kumaşın üst yüzeyindeki ipliğin bir iğne vasıtasıyla kumaşın altındaki mekiğin hareket ettirdiği ikinci iplikle birbirine geçirilmesi sağlanmaktadır. Böylece Şekil 2.24’te gösterildiği gibi kumaşın alt ve üst yüzeyinde birbirine paralel 2 dikiş oluşmaktadır. Alt mekikte iletken iplik kullanılması ve üst iplik tansiyonunun optimum şekilde ayarlanması durumunda Şekil 2.25’te gösterildiği gibi alt yüzeyde bilgisayar ile çizilen bir devre düzeneği oluşturulabilmektedir (Eichhoff ve diğerleri, 2013).

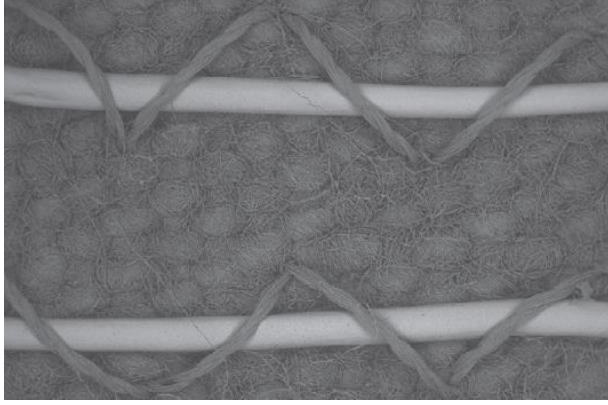


Şekil 2.24. Brode ilmek oluşumu (Eichhoff ve diğerleri, 2013)



Şekil 2.25. Brode tekniği ile oluşturulmuş iletken hatlar (Eichhoff ve diğerleri, 2013)

İplik yatırmalı bir diğer brode tekniğinde ise 3 iplik kullanılmaktadır. Ana iplik istenen desene uygun olarak kumaşa serilirken alt ve üst iplikler sadece bu ana ipliğe hiç batmadan, 2 yanından batarak ana ipliği kumaşa sabitlemektedir. İletken devreler oluşturulmak istenen durumlarda, Şekil 2.26'da gösterildiği şekilde iletken ipliğin ana iplik olarak kullanılması, ipliğin gerilme veya kıvrılması minimum olacağı için tercih edilebilecek bir yöntemdir. Bu yöntemlerle oluşturulacak tekstil yüzeyleri vücut fonksiyon ölçümleri, ısıtma devreleri, gerinim ve nem sensörleri gibi uygulamalarda kullanılabilir (Eichhoff ve diğerleri, 2013).



Şekil 2.26. Elektrik kablosunun üç iplik brode sistemi ile kumaşa entegrasyonu (Eichhoff ve diğerleri, 2013)

2.3.4. Bitim işlemleriyle iletkenlik uygulamaları

İçinde sentetik liflerin geniş bir yer kapladığı tekstil yüzeylerinin büyük kısmı yalıtkanlığa yakın yüzey direncine sahiptir. Bu nedenle yüzeylerinde statik yük birikir ve bu da hem üretim aşamalarında hem de kullanım sırasında, kıvılcım veya yapışma gibi sorunlar yaratabilmektedir. O yüzden iletkenlik konusunda ilk beklenti bu yüklerin boşaltılabilmesidir. Bunun için en yaygın kullanım düşük bir iletkenlik sağlamanın yeterli olduğu anti-statik apre uygulamalarıdır (Montazer ve Harifi, 2018).

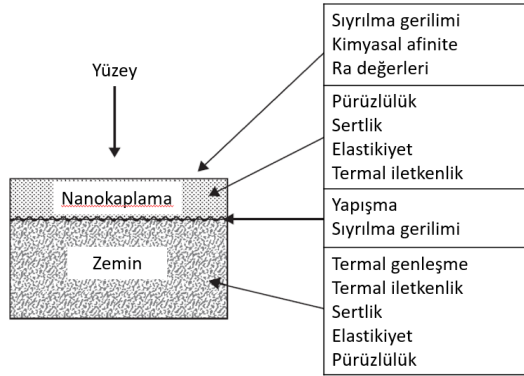
Özellikle, tekstillere akıllı fonksiyonlar katılması için disiplinler arası çalışmalarla ortaya çıkan ve gelişmeye devam eden nano-teknoloji, apre ve kaplama uygulamalarıyla spor giyimden, sağlık ve uzay çalışmalarına kadar kullanım alanı bulmaktadır. Geleneksel yöntemlerle oluşturulan iletkenlik düşük yıkama dayanımına sahip olduğu için nano kaplamalar geniş yüzey alanı ve yüksek yüzey enerjisi sayesinde daha yüksek performans sağlamaktadır (Shang ve Zeng, 2013).

Tercih edilen kaplama yöntemleri arasında fiziksel veya kimyasal buhar depolama, atomik tabakalı ve çok tabakalı kaplama metotları da bulunmaktadır. Böylece ihtiyaçlara veya uygulama şekline göre mikro veya nano boyutta yapılabilen yüzey kaplamaları, tekstil yüzeylerine elektromanyetik kalkanlamadan, ısı ve UV radyasyon dayanımına ve hatta güç tutuşurluğa kadar çok çeşitli fonksiyonlar kazandırabilmektedir (Karagüzel Kayaoğlu, Göcek, Kızıl, ve Trabzon, 2012).

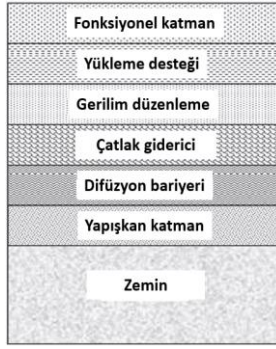
LDL (Katman Katman Biriktirme): Pamuklu yüzeylere anti-bakteriyel ve UV koruyucu özellikler katmak amacıyla kullanılabilir bu metotta önce zemin, uygun şekilde yüklenerek güçlü elektrostatik bağlar yapmak üzere zıt yüklü bir poli-elektrolit çözeltisine daldırıldıktan sonra durulanmaktadır. Tekrarlayan işlemlerle 20 kata kadar ultra ince film tabakası kaplamaya izin veren bu yöntemde uygulama yapılacak yüzeyin büyüklüğü, şekli veya topolojisi kısıtlayıcı değildir (Karagüzel Kayaoğlu ve diğerleri, 2012).

ELD (Akımsız Biriktirme): Gerek maliyetinin düşük olması, gerekse üretim sürecinin oda sıcaklığında yapılabilme kolaylığı sayesinde ELD, diğer biriktirme teknikleri arasında en çok tercih edilen yöntemdir. Fonksiyonel polimerlerin tutunabilmesi için yüzey modifikasyonu ile katman oluşturulmasının ardından iyon değişimi ile katalizörün eklenmesi ve metallerin biriktirilmesi adımlarından oluşur. Metal biriktirme oranı yüzey gözenekliliği ile doğru orantılı olduğu için elektro-çekim nanolif yüzeylerinde uygulanması daha avantajlı olmaktadır (Hussain ve diğerleri, 2021).

Buhar Biriktirme; PVD (Fiziksel Buhar Biriktirme), CVD: Bu yöntemde yapılmaya çalışılan; buhar fazındaki malzemelerin kimyasal veya fiziksel reaksiyonlarla katı faza dönüştürülmesidir. Bu yöntemle tek veya istenen fonksiyonlara uygun olarak çok katmanlı iletken nano yüzeyler oluşturulabilmektedir. Şekil 2.27’de tek, Şekil 2.28’de çok katmanlı kaplamalarla katılabilecek farklı fonksiyonlar ve yüzey gereksinimleri gösterilmiştir (Shang ve Zeng, 2013).



Şekil 2.27. Kaplamalı yüzeye katılabilecek farklı fonksiyonlar (Shang ve Zeng, 2013)



Şekil 2.28. Çok katmanlı kaplamalarla sağlanabilecek özellikler (Shang ve Zeng, 2013)

PVD işleminde ince bir kaplama yüzeyini saf veya alaşım metallerle oluşturmak üzere, vakumlu alanda metal buharı üretilmektedir. Bölgesel yerine tüm yüzeyde aynı anda gerçekleştirilen kaplama için en çok tercih edilen uygulama şekilleri; iyon kaplama, iyon implantasyonu, püskürtme ve lazerdir (Shang ve Zeng, 2013).

CVD prosesinde ise, gaz halindeki reaktanlar ile substrat üzerinde katı bir film oluşturmak hedeflenmektedir. Reaktan gazlar oda sıcaklığında tepkimeye sokulup gaz karışımı yüzeye yaklaştıkça ısıtılarak yüzeye yerleşmesi sağlanmaktadır. Reaksiyonun performansında substratın yüzey morfolojisi yanında, farklı morfolojiler için reaktan seçimi ve reaksiyon koşulları da etkili olmaktadır. Yüzey düzgünlüğü sağlanması ve büyük ölçekli endüstriyel uygulamalara uygunluğu avantajları arasındadır. Yüzeyde metal nano-parçacıklar oluşturulması için metal tuzlarının indirgenmesi; basit, düşük maliyetli ve yüksek üretim potansiyeli nedeniyle tercih edilse de proses için uygun stabilizatör ve indirgeyici ajanların seçilmesi zorlayıcı olabilmektedir (Shang ve Zeng, 2013).

PEDOT, yerinde polimerizasyon yöntemi ile doğrudan substrat yüzeyleri üzerinde biriktirilebilir (Truong ve diğerleri, 2008).

Nanometal kaplama: Metallerle yüzey kaplanması konusunda son dönemde oldukça tercih edilen yöntemlerden biri de elektriksiz kaplama ve buhar biriktirmedir. Vakum için yüksek enerji gerektirmesi nedeniyle fiziksel buhar biriktirme ile yüksek sıcaklığa ihtiyaç duyulduğu için püskürtme veya CVD zahmetli yöntemlerdir. Gümüş, Karbon ve Nikel gibi metallerle yapılacak kimyasal akımsız kaplama düşük maliyeti ve düzgün yüzey oluşturma potansiyeli nedeniyle tercih edilse de kolaylıkla soyulabilmektedir. Yüzey

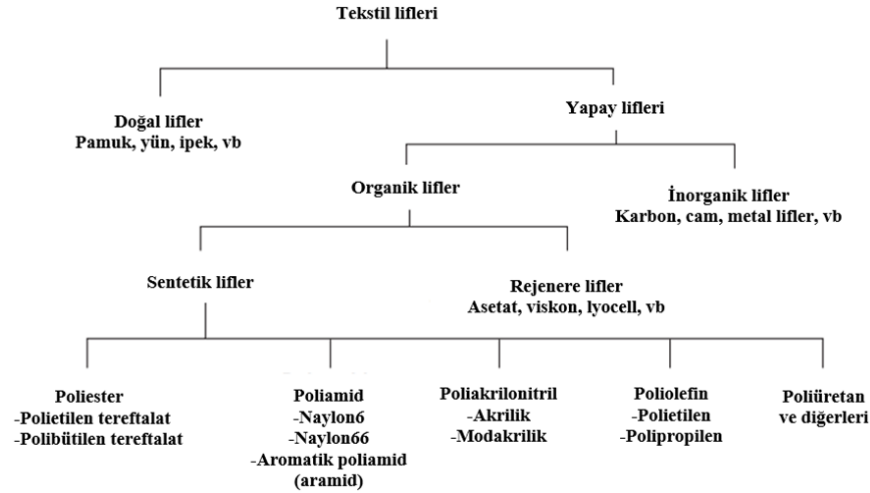
modifikasyonu, daha iyi bir yapışma sağladığı için kumaşlara olduğu kadar iplik hatta lif yüzeyine de kaplama yapmak için kullanılabilir (Montazer ve Harifi, 2018).

Şablon ve inkjet baskı: Gömülü elektronik devreler içeren taşınabilir tekstil yüzeyleri textronikler olarak adlandırılabilir ve gümüş, altın gibi iletken mürekkepler kullanılarak baskı yöntemiyle üretilmektedirler. Mürekkep olarak son dönemlerde yüksek iletkenliğe sahip grafen de kullanılmıştır. Baskı yüzeyinin kalınlığının ayarlanması zor olduğu ve bu da süreksizlik yaratabileceği için iletkenlik açısından risklidir. Alternatif olan yöntem de hızı yüksek, maliyeti düşük olduğu için inkjet baskıdır. İletken patın tıkanmaya neden olmaması için ince şekilde kullanılması ve vizkozitenin uygunluğunun ayarlanması halinde bile yüzeye nüfus etmesi riskini gidermek için ara yüzey kullanılması gerekebilir (Montazer ve Harifi, 2018).

2.4 Poliesterin İletkenlik Özelliği

Hem gündelik hayatta hem endüstriyel uygulamalarda en yaygın kullanıma sahip yapay liflerden biri Poliesterdir (Du ve diğerleri, 2017).

Yüksek kopma dayanımı ve direnci, düşük toplama oranı ve kolay kullanım avantajları sayesinde termoplastik bir polimer olan PET ile üretilen Poliester, dünyada pamuk lifinden sonra en çok üretilen lif türüdür. Tek başına veya Şekil 2.29'da sınıflandırması verilen diğer tekstil lifleri ile karıştırılarak günlük kullanımdan teknik ürünlere kadar pek çok alanda tercih edilmektedir.(Deopura ve Padaki, 2015)



Şekil 2.29. Tekstil lifleri sınıflandırması (Deopura ve Padaki, 2015)

Yapılan araştırmalara göre, artan nüfus, dijital olanaklar, sosyalleşme ve e-ticaret etkisiyle hem ev tekstili hem giyim hem de otomotiv pazarındaki genişlemenin 2025 yılına kadar olan 5 yıllık dönemde sentetik lif pazarının, %7,39 yıllık bileşik büyüme oranında artırarak 85,07 milyar USD'a taşıyacağı öngörülmektedir (ResearchAndMarkets.com, 2021).

Tekstil üretiminde kullanılan sentetik polimerler 10^{10} ohm seviyesinden yüksek bir dirence sahip yarı iletken malzemelerdir (Bedeloğlu, Sünter, ve Bozkurt, 2010).

PET içerikli tekstil ürünleri, içerdikleri sınırlı sayıda fonksiyonel grup nedeniyle iletkenlik potansiyeline sahip değildir. Öyle ki, ortamdaki nem oranı arttıkça iletkenliği artsa da, kullanım esnasında statik elektriklenmesi en rahatsız edici özelliklerinden biridir (El-Newashy, Mowafi, Haggag, Abou Taleb, ve El-Sayed, 2019).

Poliesterin iletken hale getirilmesi için, farklı metalik içeriklerle metal laminasyonu ve fiziksel buhar biriktirme gibi yöntemler yanında otokatalitik kaplama da kullanılmaktadır (Qu ve Skorobogatiy, 2015).

PET gibi bir yüzeyde buhar fazlı polimerizasyon tekniği ile PEDOT biriktirmek için öncelikle substrat yüzeyi monomer ve oksidan içeren bir karışımla kaplanabilir ancak düşük kap ömrü nedeniyle içeriği ayrı kaplarda kullanmak süreci kolaylaştırabilir. Bunun için de, bir solvent kaplama işlemi kullanarak oksidantı uygulamak ve kaplanmış yüzeyi monomer buharına maruz bırakmak uygun olacaktır. $FeCl_3$ kullanıldığında <40 nm

kalınlık, 70 S/cm iletkenliğe ve %95'e kadar ışık geçirgenliğine sahip çalışmalar yapıldığı bildirilmiştir. Kaplama katmanından beklenen yüzey pürüzlülüğünün birkaç nanometreyi geçmemesi (<10 nm), yüzey düzgünlüğü ve homojenliktir. Oksitleyici ajan olarak kullanılan Fe(III) tosilat, (Fe(OTs)₃, n-bütanol içinde %40 solüsyon) ile hazırlanan bütanol çözeltisi PET yüzeyle hidrofilik bir etkileşim oluşturmanın yanında EDOT ve PEDOT ile hidrojen bağı oluşturmak üzere aminoliz reaksiyonlarına sokulabilir. Piridin gibi zayıf bazların iletkenliği azalttığı ancak yüzey düzgünlüğüne katkıda bulunduğu optimizasyon, yeterli iletkenlik ve pürüzsüzlük için Piridin ve gliserol arasında ağırlık olarak %4-5, molar olarak 5.0 oran sağlandığında 50 ila 100 nm arasında bir kalınlıkta, ~500 S/cm iletkenlik, >%70 şeffaflık, >2 nm düzgünlük sağlanabilir. Öte yandan, PEDOT, yerinde polimerizasyon ile doğrudan substrat yüzeyi üzerinde biriktirebilir. Bu, iletkenliği arttırdığı bildirilen ancak zayıf bir şeffaflık ile sonuçlanan elektrokimyasal polimerizasyon ile başarılabilir. PEG (Polietilen Glikol) konsantrasyonunun, Bütanol çözeltisi içindeki Piridin/Demir tosilata göre ağırlık olarak %5'e kadar uygulandığında PEDOT'un elektriksel özdirenci üzerinde bir düşüşe neden olduğu ancak bu noktadan sonra arttığı görülmüştür (Truong ve diğerleri, 2008).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1 Materyal

Bu çalışmada kumaş dokusunun yüzey özelliklerinin uygulanacak buhar fazında polimerizasyon işlemi sonrasında yaratacağı farklılıkların incelenmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle iplik numarası yanında atkı ve çözgü sıklıkları sabit tutularak filament sayısı ve örgü tipi değiştirilmiştir.

3.1.1 Deneysel çalışmada kullanılacak iplik ve kumaşların özellikleri

Deneysel için 150 Den iplik numarasında 48, 144 ve 288 filament sayısında PES iplikler kullanılmıştır. İpliklerin özellikleri Çizelge 3.1’de, bezayağı ve 3/1 dimi örgülere sahip kumaş dokuları Çizelge 3.2’de belirtilen şekilde oluşturulmuştur. İplik numarasının dışında atkı ve çözgü sıklıkları sabit tutularak filament sayısı ve örgü değişiminin buhar fazında polimerizasyon yöntemiyle iletken hale getirilmesine etkisi incelenmiştir. Tekstüre olan iplikler, yüzey örtücülüğünün daha fazla olması için bükümlü değil çözgüde sağlıklı çalışmalarına izin verecek minimum sayıda puntalı olarak kullanılmıştır.

Çizelge 3.1. Deneysel çalışmada kullanılacak iplik özellikleri

	Fili İplik No (Den)	Kopma Yüğü (cN)	Kopma Uzama (%)	Mukavemet (cN/dtex)	Punta Sayısı
150F48	159,3	668,9	18,6	3,7	119,8
150F144	163	592,2	18,8	3	115
150F288	164,5	584,5	19,1	3,2	117

Çizelge 3.2. Numune kumaş konstrüksiyonları

Numune Kodu	Orgü Tipi	Çözü İplikleri	Atkı İplikleri	Çözü Sıklığı (tel/cm)	Atkı Sıklığı (tel/cm)	Birim Ağırlık (gr/m ²)	Kalınlık (mm)
38198	Bezayağı	150F48 Tekstüre Puntalı	150F48 Tekstüre Puntalı	31	31	121	0,21
38191	Bezayağı	150F144 Tekstüre Puntalı	150F144 Tekstüre Puntalı	31	31	118	0,21
38193	Bezayağı	150F288 Tekstüre Puntalı	150F288 Tekstüre Puntalı	31	31	118	0,21
38197	3/1 Dimi	150F48 Tekstüre Puntalı	150F48 Tekstüre Puntalı	31	31	120	0,21
38194	3/1 Dimi	150F144 Tekstüre Puntalı	150F144 Tekstüre Puntalı	31	31	117	0,21
38195	3/1 Dimi	150F288 Tekstüre Puntalı	150F288 Tekstüre Puntalı	31	31	115	0,21

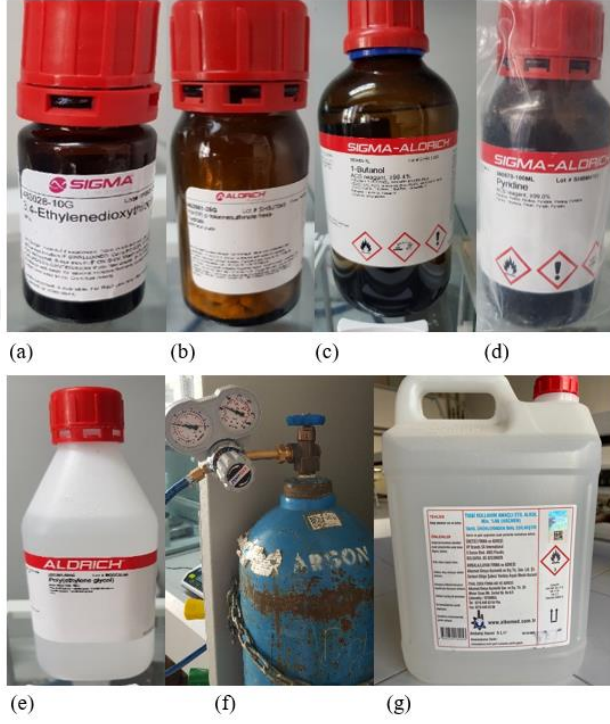
İplik numune üretimi sonrası dokumaya uygunluklarının ve aralarında fark olup olmadığının tespiti için iplik kalınlıkları ölçülmüş filament sayıları sayılmış mukavemet ve elastikiyet değerleri test edilmiştir.

3 farklı iplikten çözülerin hazırlanmasından sonra bezayağı ve 3/1 dimi örgülerle dokumalar yapılmıştır. Kullanılacak bezayağı örgüsü hem yaygın kullanımı hem de isotropik ve homojen yapıda olduğu için tercih edilmiştir. 2. örgü tipi olarak filament sayısı ve inceliklerinin farklılığını en iyi şekilde görebilmek için atlamalar sıklığının izin verdiği maksimum sayıya artırılarak 3/1 dimi örgüsünün kullanılmasına karar verilmiştir. Sıklık ve atkı-çözü ipliklerinin aynı olması nedeniyle bu örgü de oldukça isotropik bir yapıdadır. Bezayağında daha çok kesişme vardır, dimi örgüsünde kesişmeler azaltılmış atlamalar artırılmış haldedir.

İplik tasarımı ve kullanılacak ipliklerin dokumaya uygunluklarının tespiti için İplik numarası (TS 244 EN ISO 2060), Mukavemet (DIN EN ISO 2062), Kopma Uzama (TS EN ISO 2062), Punta kalıcılığı ve sayısı (BISFA METHOD) ölçümleri yapılmıştır.

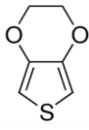
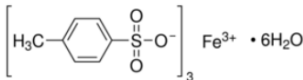
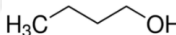
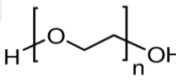
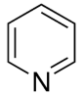
3.1.2. Deneysel çalışmada kullanılan kimyasallar

Çalışmada kullanılan kimyasalların görselleri Şekil 3.1’de, detayları Çizelge 3.3’de, iletken yüzey oluşturmak üzere hazırlanan çözeltinin detayları da Çizelge 3.4’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan kimyasallar a) EDOT b) Demir(III) p-toliensülfanat hexahidrat c) n-butanol d) Pridin e) Polietilen glikol f) Argon g) Etanol

Çizelge 3.3. Deneysel çalışmada kullanılan kimyasallar ve özellikleri

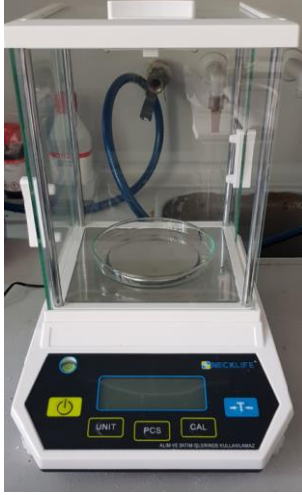
Malzeme	Görevi	İçeriği	Formülü	Molekül Ağırlığı (gr/mol)
3,4-Etilendioksitiyofen (EDOT)	Monomer	96.5% (GC)	$C_6H_6O_2S$ 	142,18
Demir(III) p-toliensülfonat hexahidrat	Dopant (oksitleyici ajan)	Karbon 30.9-43.5% Sülfür 11.8-16.6% Klorid $\leq 10\%$	$[C_{21}H_{21}FeO_9S_3 \cdot 6(H_2O)]$ 	677,52
n-butanol	Çözücü	$\geq 99.4\%$ A.C.S. Reagent	$CH_3(CH_2)_3OH$ 	74,12
PEG	İletkenlik artırıcı		$H(OCH_2CH_2)_nOH$ 	400
Piridin	Bazik ortam için alkali çözücü	≥ 99.8 A.C.S. Reagent	C_5H_5N 	77
Argon	Soygaz	$\geq 99.998\%$	Ar	39,95
Etanol		≥ 99.5 A.C.S. Reagent	C_2H_5OH	46,069

Çizelge 3.4. Çözelti için kullanılan reçeteler

Demir Ağırlık Oranı (%) (Demir Tosilat/ Butanol)	Demir(III) p-toliensülfonat hexahidrat g)	Butanol g)	Piridin g)	PEG (4-5 %) g)
40	1.190	1.500	0,067	0,110-0,140

3.1.3. Deneysel çalışmada kullanılan cihaz ve düzenekler

Hassas terazi: Kumaşlar her işlem adımının etkisinin değerlendirilebilmesi için polimerizasyon uygulaması öncesi, sonrası ve etanol yıkama sonrası hassas terazi ile ölçülmüştür. Hazırlanan karışımın kumaşa her seferinde eşit miktarda eklenebilmesi için de uygulama Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı'nda Şekil 3.2'de gösterilen Necklife marka hassas terazi üzerinde yapılmıştır.



Şekil 3.2. Hassas terazi

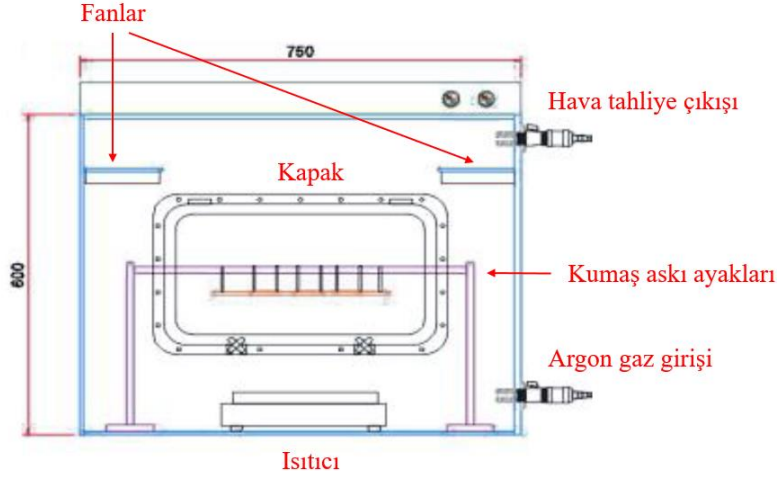
Ultrasonik karıştırıcı: Hazırlanan dopant karışımının katı madde kalmayacak şekilde çalkalanması için Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı'nda bulunan ve Şekil 3.3'de gösterilen Kudos marka ultrasonik temizleyici kullanılmıştır.



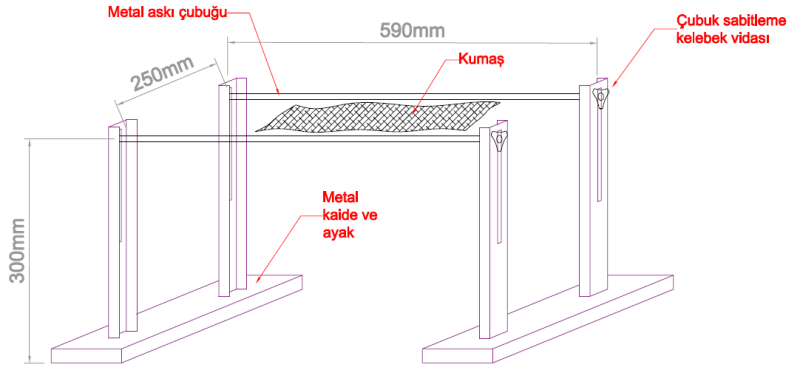
Şekil 3.3. Ultrasonik karıştırıcı

Polimerizasyon Kabini: Polimerizasyon kabini daha önceki benzerleri incelendikten sonra özellikle daha sonra endüstriyel uygulamalarda referans olması düşünülerek Şekil 3.4'teki şekilde tasarlanmış ve Brau Grup firmasına yaptırılmıştır. Numunelerin kabine yerleştirilmesi için ön tarafında sızdırmaz contalı bir kapak vardır. Kabin içinde, Şekil 3.5'te gösterilen, yüksekliği ayarlanabilen askı ayakları üzerindeki iğneli çerçeveler, uygulanan sıvı çözeltinin kumaş yüzeyinde akarak düzgünlük oluşturmaması için kumaşların yatay olarak yerleştirileceği şekilde tasarlanmıştır. Ortamın istenen dereceye kadar ısıtılabilmesi amacıyla düzeneğin altında ısıtıcı tabla ortalanmış, sıcaklığın homojen olması için içine fan yerleştirilmiş ve sıcaklığın sabit tutulabilmesi için termostat

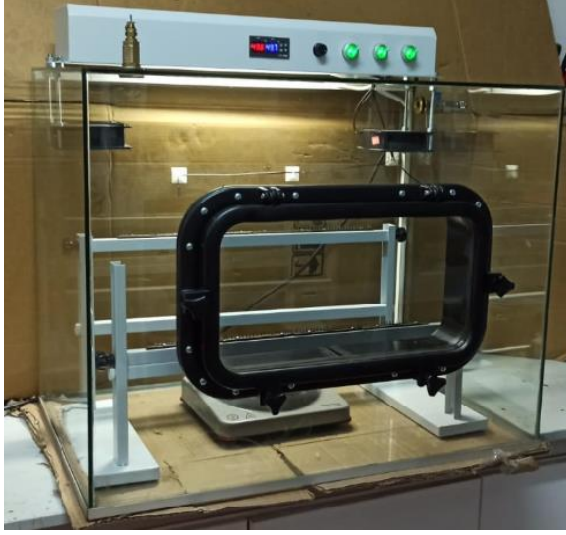
kontrolü sağlanmıştır. Cihaza, hedeflenen sıcaklığın ve anlık sıcaklığın okunmasına izin veren dijital bir gösterge eklenmiştir. Fan, aydınlatmak için lamba ve ısıtıcı, cihazın üstündeki düğmelerle kontrol edilmektedir. Argon gazının beslenebilmesi için kabinin yanında altta bir giriş vanası, hava tahliyesi için de üstte bir hava çıkış vanası bulunmaktadır. Şekil 3.6’da fotoğrafı paylaşılan kabin, hava tahliyesi gerektirdiğinden çeker ocağın içine yerleştirilmiştir. Ölçüleri 75 cm genişlik, 50 cm derinlik, 60 cm yükseklik olarak hazırlanmıştır.



Şekil 3.4. Polimerizasyon kabini taslağı



Şekil 3.5. Polimerizasyon kabini içindeki kumaş askı ayakları taslağı



Şekil 3.6. Polimerizasyon kabini

Etüv: Etanol yıkama sonrası numunelerin kurutulması için Şekil 3.7'deki Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı'ndaki etüvler kullanılmıştır.



Şekil 3.7. Etüv

3.2 Yöntem

3.2.1 Numunelerin Hazırlanması

Kumaşın Üretilmesi: İpliklerin üretilmesi, kumaşların dokunması ve boyahane işlemleri Küçükçalık Tekstil Dokuma Fabrikasında gerçekleştirilmiştir. Kumaşların iletkenlik prosesi öncesi üzerlerinde herhangi bir kalıntı kalmadığından emin olmak ve yüzey temizliğini sağlayabilmek için boyahane yağ sökücü ile yıkamaları yapılmıştır. Ön işlem sonrası kumaşlara genel performans testleri uygulanmıştır. Sonuçlar polimerizasyon sonrası yapılan testlerle karşılaştırmalı olarak listelenmiştir.

Polimerizasyon Süreci: Polimerizasyon kabininin izin verdiği ve sonrasında yapılacak testlerin gerektirdiği ölçüler göz önünde bulundurularak 6 cm x 30 cm ölçüsünde kesilerek numuneler hazırlanmış ve Kumaş Kodu/ Atkı veya Çözücü yönü/ Numune Numarası şeklinde kodlanarak setler hazırlanmıştır. Sonrasında Buhar fazında polimerizasyon yöntemiyle numune kumaşların iletken hale getirilmesi işlemi Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Truong ve arkadaşlarının (2008) çalışmasına dayanarak Demir tosilat çözeltisi hazırlanması için aşağıda belirtilen şekilde Demir tosilat tozu, Bütanol, Polietilen glikol ve Piridin karışımı hazırlanmıştır;

Demir tosilat heksahidratın moleküler ağırlığı, $C_{21}H_{21}FeO_9S_3 \cdot 6(H_2O)$, 677.52 g/mol'dür. 6 mol (H_2O) olduğundan demir tosilatın orijinal ağırlığı: $677.52 - 6 \times 18 = 569.52$ g/mol olarak bulunur. Bu sonuca göre aralarındaki ağırlık oranı 1.19'dur. Çözeltide aynı miktarda demir iyonu sağlamak için ferrik tosilat heksahidratın ağırlığı 1,19 kat artırılmalıdır.

N-butanol çözeltisindeki $Fe(OTs)_3$ oranı %40 olması için 1,5 gr butanol kullanılmıştır. Piridin miktarı da yüzey düzgünlüğünü artırıp iletkenliği azalttığı için çok önemlidir. Yukarıda belirtilen kaynağa dayanarak Piridin ve ferrik tosilat heksahidrat arasındaki molar oranın, en yüksek iletkenlik için 0.5:1 olduğu tespit edilmiştir. Piridin (Mp) moleküler ağırlığı 77g/mol, ferrik tosilat heksahidratın (Mf) 569.52 g/mol olduğu için, ferrik tosilatın piridine ağırlık oranı: $(2 \times 569,52)/77=14,79$ olarak hesaplanır. 1 gr ferrik tosilat heksahidrat tozu için $1/14.79=0.0676$ gr piridin kullanılmıştır.

PEG konsantrasyonu da öz direncin artma noktası olan %5 orana yakın fakat altında olacak şekilde %4 oranla 0,11gr kullanılmıştır.

Hazırlanan karışım ultrasonik temizleyicide içinde katı madde kalmayacak şekilde yaklaşık 30 dk çalkalanarak homojenize edilmiştir.

Numune kumaşların karşılaştırmalarının sağlıklı olabilmesi için 6 numune kumaşa da aynı karışımdan damlatılarak ve aynı anda kabine yerleştirilerek deneyler tekrarlanmıştır.

Her bir set için 6 numune kumaş, teker teker, hassas terazideki petri kabına gergin şekilde yerleştirilerek üzerine hazırlanan karışım altıya bölünerek (0,476 gr) şırınga ile uygulanmıştır. Karışımlar her deney öncesi günlük olarak hazırlanmıştır.

Dopant çözeltisi emdirilen numuneler polimerizasyon kabine yerleştirilirken 0,7 gr EDOT monomeri de petri kabıyla ısıtıcı plakaya yerleştirilmiştir. Kabinin kapağı kapatılınca hava tahliye vanası ile eş zamanlı olarak 15 lt/dak besleme hızıyla Argon gazı tüpü açılmıştır. 15 dk sonunda hava tahliye vanası kapatılmıştır. Bundan 15 dk sonra Argon besleme hızı 8 lt/dak olacak şekilde düşürülür. 15 dk sonra Argon gazının beslemesi durdurularak 15 dk daha polimerizasyon devam ettirilmiştir. Kabinin içinde toplam 1 saat uygulama sonrasında kapak açılarak numuneler çıkarılmış ve sonrasında 4 nokta iletkenlik ölçüm cihazı ile iletkenlikleri ölçülmüştür.

Devamında numuneler 50/50 Etil alkol/ saf su karışımıyla yıkanmış ve Etüv'de 15 dk 100°C sıcaklıkta kurutulularak tekrar iletkenlikleri ölçülmüştür.

Polimerizasyon kabininde yapılan deneylerin uygulama şartları Çizelge 3.5'te listelenmiş, aşağıda detaylandırılmıştır.

Çizelge 3.5. Deney şartları

Deney No	Deney Şartları	Amacı
1	Polimerizasyon başlangıcı oda sıcaklığında, Askı ayakları en altta	Düzenek optimizasyonu/ Sıcaklık
2	Polimerizasyon başlangıcı 50°C, Askı ayakları en altta	Düzenek optimizasyonu/ Sıcaklık
3	Polimerizasyon başlangıcı 50°C, Askı ayakları en üste	Düzenek optimizasyonu/ Yükseklik
4-12	Polimerizasyon başlangıcı 50°C, Askı ayakları en altta	Numune çoğaltma
13	Numune ölçüsü küçük ve paralel	Doğrulama

Deney 1: Öncelikle deney düzeneğinin kullanım koşullarının belirlenmesi için tek bir kumaş tipi seçilerek 6 parça numune hazırlanmıştır. Numuneler, polimerizasyon kabini oda sıcaklığında ve içindeki askı ayakları en alt noktada konumlanmış durumdayken eşit aralıklarla yerleştirilmiş ve monomer ısıtıcı plakaya konmuştur. Sonraki uygulamalara referans olması için ayağa pozisyon (istasyon) numaraları yazılmıştır.

Deney 2: Deney 1 ile sıcaklık karşılaştırması yapılabilmesi için numuneler yerleştirilmeden önce kabin ısıtılmış ve 50°C'ye ulaştıktan sonra askı ayakları en alt pozisyonda iken numuneler ve monomer yerleştirilmiştir.

İlk iki denemenin sonuçları değerlendirilerek ısıtılmış kabinle çalışmanın daha etkili sonuçlar verdiği görülmüştür. Sonraki deneylerde numuneler 50°C'ye kadar ısıtılmış kabine yerleştirilmiştir.

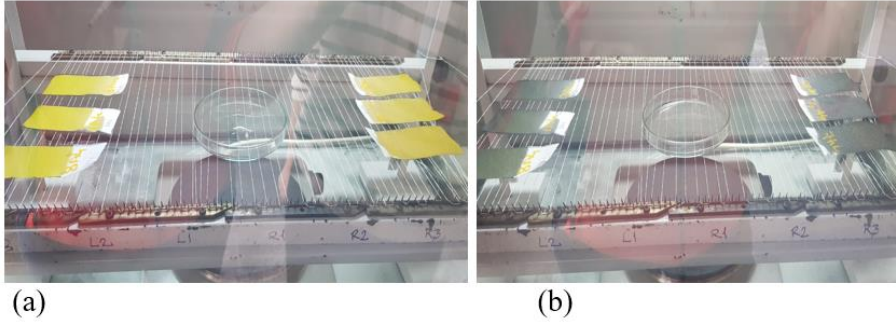
Deney 3: Askı ayaklarının yükseklikleri en üst seviyeye getirilerek alt pozisyondaki deney sonuçları ile karşılaştırılmış ve alt pozisyondaki deney sonuçlarının daha başarılı olduğu görülerek sonraki deneylerde askı ayakları o şekilde sabitlenmiştir.

Deney 4-12: Yapılacak testlerin ihtiyaçlarına göre 6 farklı kaliteden atkı ve çözümlü yönlerinde kesilerek setler halinde hazırlanan numuneler, orta kısımdaki numunelerin değerlerindeki düzensizlikleri gidermek için orta kısım boş bırakılacak şekilde, Şekil 3.8'de görüldüğü gibi aynı şartlarda işleme sokulmuştur.



Şekil 3.8. Deney örneği

Deney 13: Deney düzeninde tüm numunelerin hem monomere eşit mesafede ve mümkün olduğunca uzaklıkta konumlanması hem de numunelere çözeltinin mümkün olduğunca homojen şekilde uygulanması hedeflenmiştir. Bunun için kumaşlara emdirme yöntemiyle çözelti eklenmiş ve sonrasında sabit basınçlı silindireler arasında geçirilerek üzerlerindeki fazla malzemenin uzaklaştırılması sağlanmıştır. Numunelerin ölçüleri küçük olduğu askı iğnelerinin aralarına PES iplikler gerilerek numuneler üzerine serilerek monomere eşit ve mümkün olduğunca uzaklıkta yerleştirilmiştir. Numunelerin yerleşim görselleri Şekil 3.9'da paylaşılmıştır.



Şekil 3.9. Revize edilmiş deney düzeneği a) başlangıç anı b) 30 dk sonrası

İletken hale getirilen kumaşların performans testleri yapılmış ve filament sayısı ve örgü tipinin prosesinin iletken yüzey oluşumuna etkisi değerlendirilmiştir.

3.2.2 Yapılan Testler

İşlem öncesi ve sonrası yapılan testler Çizelge 3.6'da paylaşılmıştır.

Çizelge 3.6. Yapılan testlerin listesi

Test Adı	Açıklama	Birim	Test Metodu/ Standardı
İplik Numarası Tayini	İplik halinde	DENYE	TS 244 EN ISO 2060
Mukavemet Ölçümü	İplik halinde	G/DENYE	TS EN ISO 2062
Kopma Dayanımı	İplik, yıkanmış kumaş, iletkenlik sonrası	%	TS EN ISO 2062
Yüzey Gerilim Direnci	Yıkanmış kumaş	-	
Yüzey Elektrik Direnci	Yıkanmış kumaş	Ohm	EN 1149-1
Pick Up	Yıkanmış kumaş	%	
Kopma Mukavemeti	Yıkanmış kumaş, iletkenlik sonrası	-	ISO 13934-1
Martindale Abrasyon	Yıkanmış kumaş, iletkenlik sonrası	-	ISO 12947-2
Recovery	Yıkanmış kumaş, iletkenlik sonrası	-	NEXT TM 21a
Gramaj	Yıkanmış kumaş, çözelti sonrası, polimerizasyon sonrası	Gr	ISO 3801
Yıkama Haslığı	Polimerizasyon sonrası	-	ISO105 C06
Asit-Baz Dayanımı	Polimerizasyon sonrası	-	ISO105 E04
SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu)	Polimerizasyon Sonrası	-	-
Elektriksel Direnç (Dört Nokta)	Yıkanmış kumaş, polimerizasyon sonu (ön-arka), etanol yıkama sonu, yıkama sonu, abrasyon sonu, recovery sonu, stretching sonu	-	ASTMF 1529-97 EN 1149-1
Mikroskopla Yüzey Görüntüsü Alma	İletkenlik sonrası, abrasyon sonrası, 1-5 yıkama sonrası	-	-

İplik Numara Tayini ve Filament Sayısı Tespiti: İpliklerin numaraları ve filament sayıları Küçükçalık Tekstil İplik Fabrikası'nda, iplik çekimi sonrası TS 244 EN ISO 2060 standardına uygun olarak yapılmıştır.

Gramaj Tayini: ISO 3801 standardına göre kumaşların konstrüksiyonlarının arasında bir fark olmadığını görülebilmesi için polimerizasyon öncesi metrekaşe gramajları alınmış, sonrasında da; kabine konmak üzere kesilmiş 6 cm x 30 cm ölçüsündeki numunelerin polimerizasyon öncesi, sonrası ve etanol yıkama sonrası parça ağırlıkları hassas terazi ile ölçülmüştür.

Yüzey Gerilim Direnci: Kumaşların hem örgü hem de filament sayısı farklılığından kaynaklanan etkiyi görmek için polimerizasyon öncesi Bursa Teknik Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Laboratuvarı'nda su ve dopant çözeltisi ile Yüzey Gerilim Dirençleri ölçülmüştür.

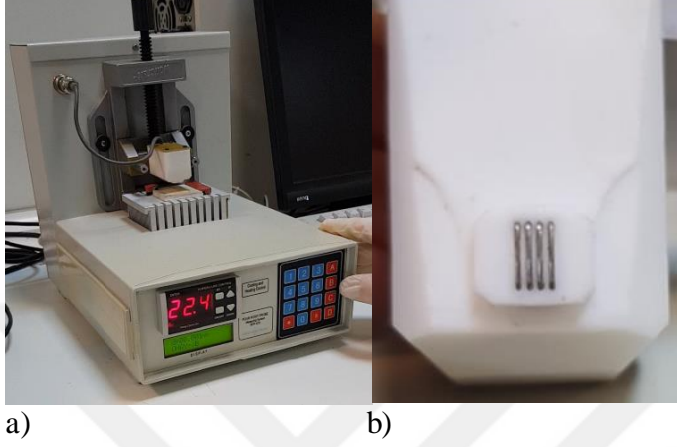
Yüzey Elektrik Direnci: Polimerizasyon öncesi kumaşlar elektriksel dirençlerinin ölçülebilmesi için Entek FPP510 model 4 Nokta İletkenlik Ölçüm Cihazı ile test edilmiş ancak direnç değerleri, cihazın 100 mOhm- 200 MOhm arasında olan ölçüm aralığının dışında kaldığı için anlamlı bir değerlendirme yapılamamıştır.

Bunun üzerine yüksek direnç değerinin teyit edilebilmesi için Şekil 3.10'de görülen EN 1149-1 test standardına uygun olarak Rudolf Duraner laboratuvarlarında polimerizasyon öncesi kumaşlar test edilmiştir.



Şekil 3.10. Yüzey elektrik direnci ölçüm cihazı

Tüm polimerizasyon deneylerinden ve etanol yıkama aşamalarından sonra Şekil 3.11’de gösterilen 4 Nokta İletkenlik Cihazında elektriksel direnç değerleri ölçülmüş ve gerekli görülen numunelerde abrasyon, toparlanma davranışı, yıkama/kuru temizleme sonrası da aynı test tekrarlanmıştır.



Şekil 3.11. Dört nokta iletkenlik ölçüm cihazı a) genel görüntüsü b) ölçüm ucu

Hidrofilite Testi: Polimerizasyon öncesi, örgü ve filament sayısı farklarının görülebilmesi için TS 866 standartına göre kumaşların atkı ve çözgü yönlerinde 1 cm ıslanmaları saniye olarak geçen süre ve 1 dk boyunca sıvıyla temas ettiklerinde santimetre olarak ıslanma miktarları ölçülmüştür.

Mikroskopla yüzey görüntüsü alma: Kumaşta polimerize olmamış kısım, polimerize olmuş kısım ve polimerize olmuş alanın abrasyon uygulaması sonrası Mikroskopla yüzey görüntüleri incelenmiştir.

SEM ile görüntü alma: Uludağ Üniversitesi Fizik Bölümü Laboratuvarında kumaşların polimerizasyon öncesi, polimerizasyon sonrası ve abrasyon sonrası görüntüleri Şekil 3.12’de paylaşılan mikroskop ile alınmıştır.



Şekil 3.12. SEM cihazı

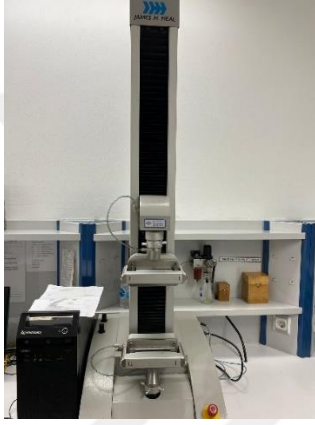
Yıkama dayanımı: İletken yüzeylerin kullanıma uygunluğunun değerlendirilebilmesi için tek tip kumaşta hem ISO 105 C06 standardına uygun olarak ev tipi çamaşır makinesinde 30°C’de hassas yıkama hem de kuru temizleme testleri yapılmış ve sonuca göre tüm kumaşlar aynı temizleme şartlarında işleminden geçirilerek elektriksel direnç değişimleri ölçülmüştür.

Abrasyon: Polimerizasyonun kumaşta sürtünmenin zararını azaltıcı bir etkisi olup olmayacağını görülebilmesi için öncelikle yıkama yapılmış olan kumaşlara ISO 12947-2 standardına göre Şekil 3.13’te görülen Martindale abrasyon cihazında testleri yapılmıştır. Sonrasında tek tip kumaş üzerinde polimerizasyon sonrası 1.000, 10.000 ve 40.000 devir abrasyon testleri uygulanarak kumaşlar incelenmiş ve seçilen abrasyon devir sayısına uygun olarak tüm kumaşlar polimerize edilip yıkandıktan sonra test edilmiştir. Nihai olarak da polimerizasyonun sürtünme sonrası direnç değerlerinin ne kadar etki ettiği ölçülmüştür.



Şekil 3.13. Martindale abrasyon ölçüm cihazı

Toparlanma Davranışı: Kumaşların polimerizasyon sonrası esnekliklerindeki değişimin incelenebilmesi için Şekil 3.14'te gösterilen Titan Mukavemet Test Cihazı'nda, giyimlik kumaşlarda kullanılan Next TM 21a standardına uygun olarak toparlanma davranışları incelenmiştir. Test, 4 kgf kuvvet altında çene mesafesi 100 mm olacak şekilde yerleştirilen numunenin 2 defa gerilip 10 sn bekletilerek bırakılması esasına dayanmaktadır. Genel kullanım şartları düşünülerek test sonuçları 20. uygulama sonrası değerlendirilmiştir. Bunun yanında kumaşların polimerizasyon sonrası durumunu da görebilmek için 20. Test sonrası iletkenlikleri ölçülmüştür.



Şekil 3.14. Titan cihazı

Kuru temizleme dayanımı: Kumaş numunelerine polimerizasyon sonrası standart kuru temizleme işlemi uygulanmış ve elektriksel direnç değişimi incelenmiştir.

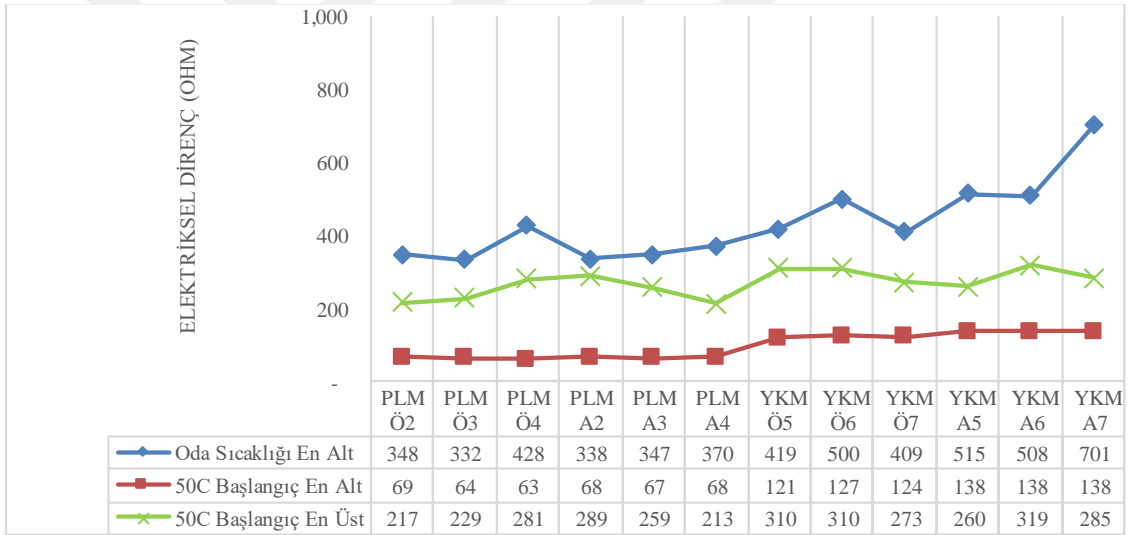
Asit-Baz ter haslığı: Polimerizasyon yapılan kumaşların giyimlik olarak kullanılması durumunda dayanıklılığını ölçmek üzere ISO105 E04 standardına uygun olarak haslık testi yapılmış, sonrasında da iletkenlikteki değişimin görülebilmesi için 4 Nokta İletkenlik Cihazı'nda elektriksel dirençleri ölçülmüştür.

Kopma Mukavemeti: Kumaşların polimerizasyon sonrası kopma mukavemetlerinin ve kopma davranışlarının değişime uğrayıp uğramadığının görülebilmesi için Rudolf Duraner Laboratuvarında TS EN ISO 13934-1 standardına uygun olarak testleri yapılmıştır.

4. BULGULAR

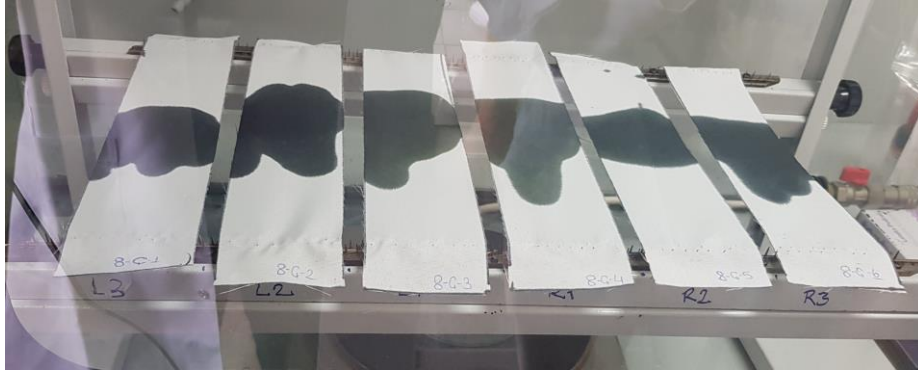
4.1 Deneysel Optimizasyonu

Optimizasyon çalışmalarında öncelikle sağlıklı bir karşılaştırma yapılabilmesi için tek tip kumaş kullanılmış, numunelerin Oda Sıcaklığında kabine yerleştirilmesi ile 50°C'ye ısıtılmış kabine yerleştirilmesi denemeleri yapılmış, sonra da askı ayaklarının pozisyonunun en üst ve en alt noktada olması durumları değerlendirilmiştir. Şekil 4.1'deki verilerle, gerek PLM olarak gösterilen polimerizasyon sonrası, gerekse YKM olarak gösterilen etanol yıkama sonrası 4 nokta iletkenlik cihazında ölçülen elektriksel direnç değerleri incelendiğinde; en iyi iletkenlik sonucu için kabinin 50°C'ye ısıtılarak numunelerin askı ayakları en alt pozisyonda olacak şekilde yerleştirilmesi gerektiği tespit edilmiştir.

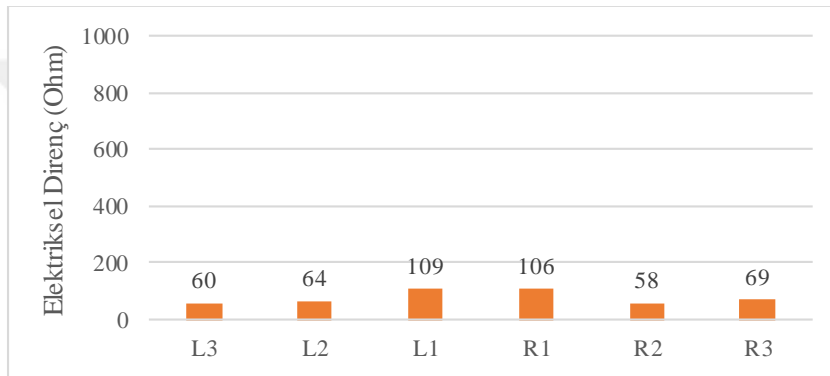


Şekil 4.1. Kabin sıcaklık ve numune yerleşim karşılaştırmaları

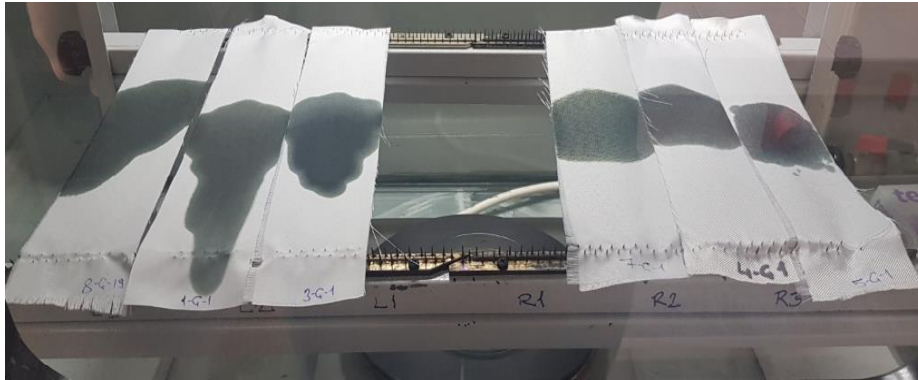
Çalışmanın devamında, numuneler Şekil 4.2'deki gibi yerleştirilerek numaralandırılan istasyonların pozisyonlarının iletkenlik üzerinde bir etkisi olup olmadığı incelenmiştir. Kabinin tam ortasında, dolayısıyla monomer buharına ilk maruz kalan noktadaki istasyonların direnç değerlerinin Şekil 4.3'te görüldüğü üzere en dıştaki istasyonlardan nispeten yüksek olduğu görülmüştür. Aradaki fark iletkenlik seviyesini etkileyecek kadar olmadığı için sonraki deneylere yine 6 istasyon ile devam edilmiş ancak etkiyi azaltmak için istasyonlar, Şekil 4.4'te görüleceği gibi orta kısım mümkün olduğunca boş bırakılacak şekilde kenarlara doğru yaklaştırılmıştır.



Şekil 4.2. Kabin içi istasyon numaralandırması (başlangıç)



Şekil 4.3. Kabin içi yerleşim pozisyonları (istasyon) karşılaştırma

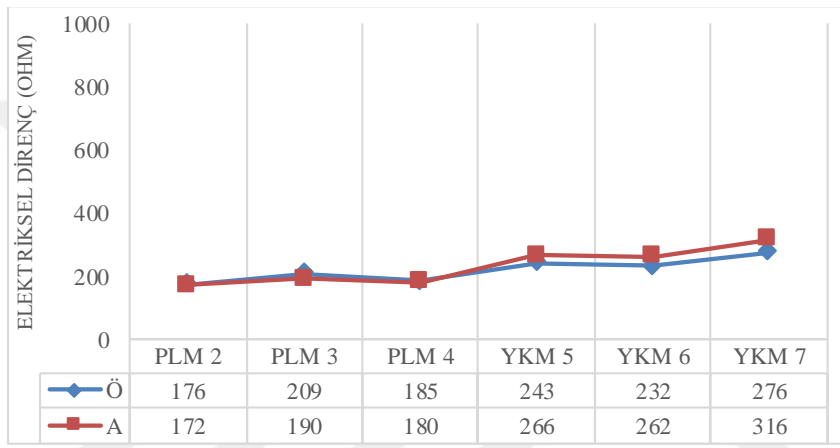


Şekil 4.4. Kabin içi istasyon düzenlemesi

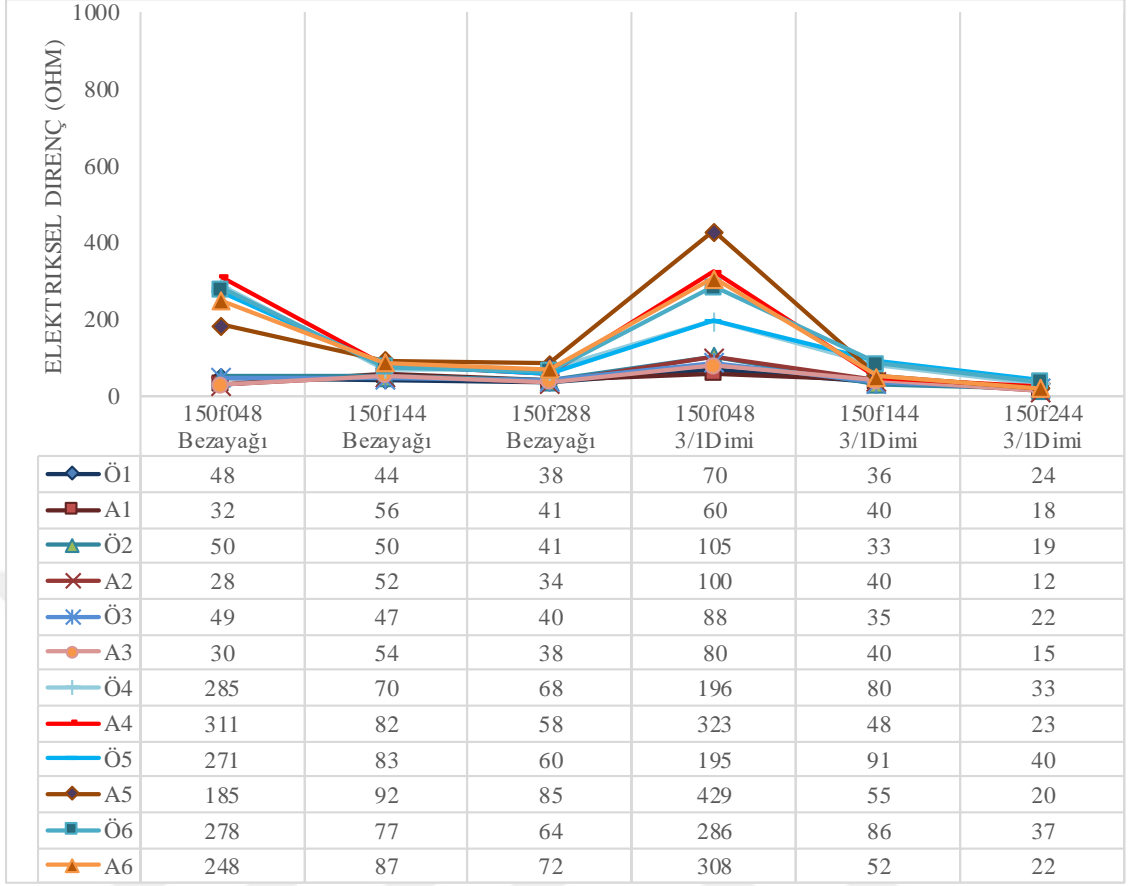
4.2 Ön-Arka Yüz Karşılaştırma

Dopant çözeltisi applike edilirken tüm kumaşların atkı yüzleri ön yüzeyleri olarak kabul edilmiş ve polimerizasyon ve yıkama sonrası elektriksel direnç değerleri hem ön yüzeyden hem de arka yüzeyden ölçülerek karşılaştırılmıştır. Şekil 4.5'te de görüldüğü gibi ilk ölçümler, en temel konstrüksiyon olarak kabul edilen 150F48 iplikli bezayağı

kumaşta yapılmış ve polimerizasyon sonrası (PLM) ve etanol yıkama sonrası (YKM) ön-arka yüz arasında direnç farkı görülmemiştir. Şekil 4.6'da görüldüğü gibi tüm numunelerin karşılaştırmasında da ön yüz ile arka yüzden yapılan ölçümler arasında iletkenlik seviyesini değiştirecek düzeyde bir farklılık tespit edilmemiştir. Ölçümlerde görülen hem bezayağı hem 3/1 dimi örgüde 48 filament ipliklerin direnç değerlerinin 144 ve 288 filament olanlara göre daha geniş bir sapma gösterdiğidir. Bu durum, filament sayısının düşmesi nedeniyle yüzey alanının küçülmesinin, numunelerde oluşturduğu boşluklu yapının iletkenliği negatif etkilediği şeklinde yorumlanmıştır.



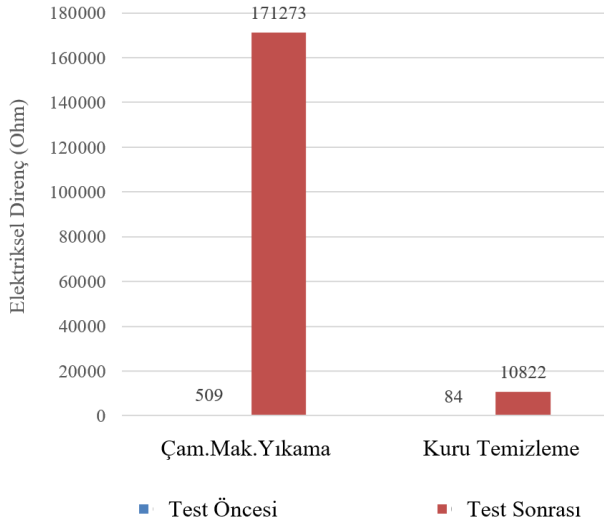
Şekil 4.5. 150F48 iplikli bezayağı kumaşta ön-arka yüz direnç değeri karşılaştırması



Şekil 4.6. Tüm kumaş tipleri için ön-arka yüz direnç değerleri karşılaştırması

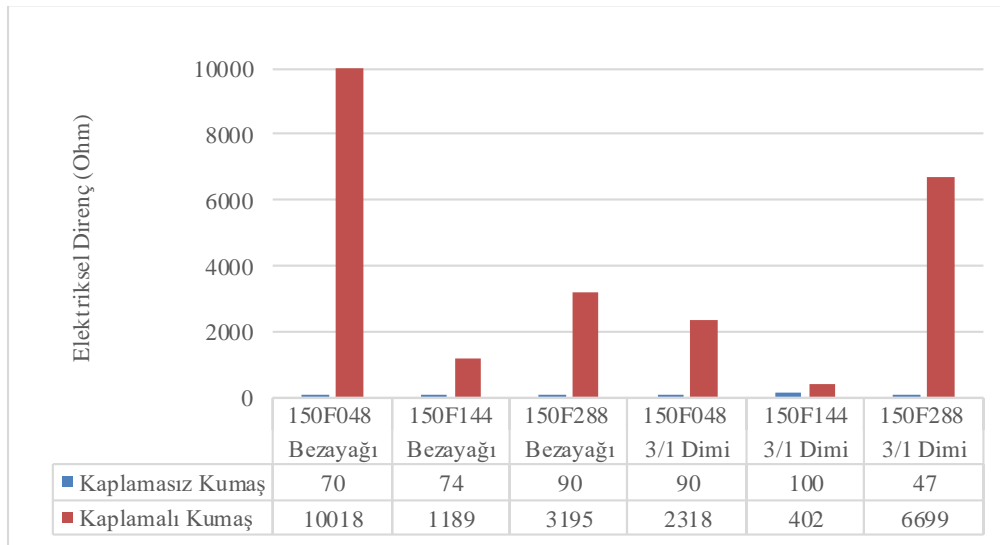
4.3 Yıkama/ Kuru Temizleme Sonu Direnç Değişimi

Öncelikle 48 filament bezayağı kumaş kullanılarak kaplama sonrası çamaşır makinesi ile ev tipi yıkama ve kuru temizleme uygulamaları yapılmıştır. Şekil 4.7’de görüldüğü gibi çamaşır makinesinde yapılan yıkama sonrası direnç değerinin 10^5 Ohm üzerine, kuru temizleme sonunda da 10^4 Ohm seviyelerine kadar yükseldiği görülmüştür. Bu verilerle kumaşların yıkamaya uygun olmadığı yorumlanmıştır.



Şekil 4.7. Çamaşır makinesi ile yıkama ve kuru temizleme sonrası elektriksel direnç değişimi

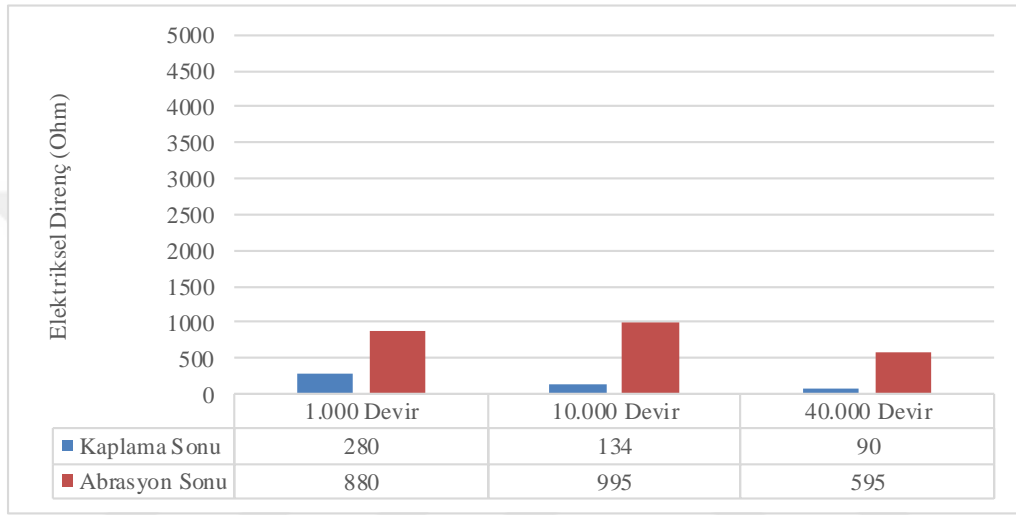
Çamaşır makinesi sonuçları kötü çıktığı için diğer numunelere kuru temizleme yapılmasına karar verilmiştir. Polimerizasyon ve etanol yıkama sonrası 10^2 Ohm seviyesinde elektriksel direnç gösteren numunelere kuru temizleme yaptırılarak sonrasında direnç ölçümleri tekrarlanmış ve sonuçları Şekil 4.8’de paylaşılmıştır. Yapılan 4 nokta iletkenlik ölçümü sonrası direncin 48 filament bezayağı numunesinde 10^4 Ohm seviyesine kadar yükseldiği ancak diğer numunelerde 10^3 Ohm değerinin altında kalarak iletkenlik seviyesinin korunduğu görülmüştür.



Şekil 4.8. Kuru temizleme öncesi ve sonrası elektriksel direnç değişimi

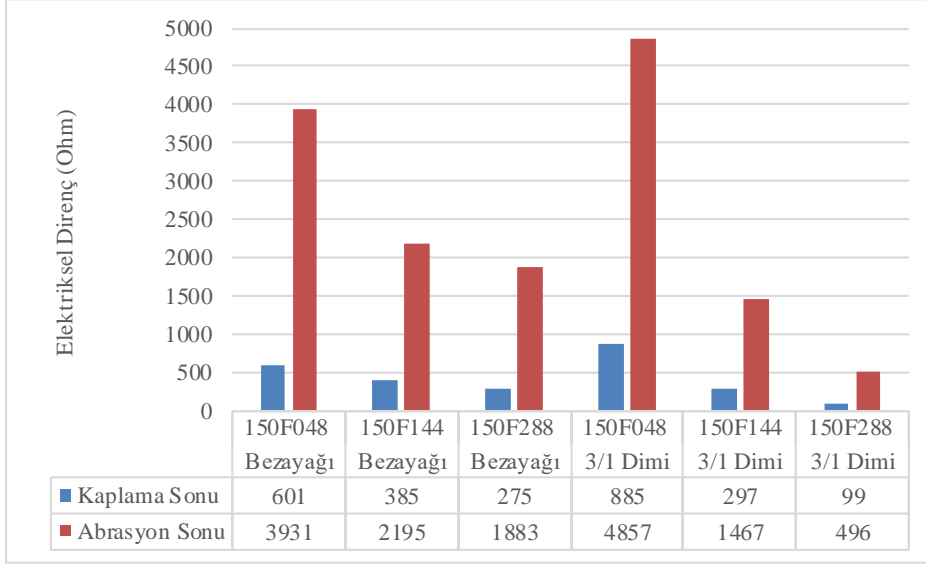
4.4. Abrasyon Sonrası Direnç Değişimi

İlk testler, devir sayısına karar verebilmek için 150F48 bezayağı kumaşta 1.000, 10.000 ve 40.000 devir olarak yapılmış ve elde edilen değerler Şekil 4.9'da paylaşılmıştır. Sürtme testleri sonrası yapılan 4 nokta iletkenlik ölçümlerinde numunelerin sürtme dayanımlarının yüksek olduğu ve abrasyon testi sonrası yeterli seviyede iletken oldukları görülmüştür.



Şekil 4.9. 150F48 iplikli bezayağı kumaşta abrasyon devirlerinin elektriksel dirence etkisi

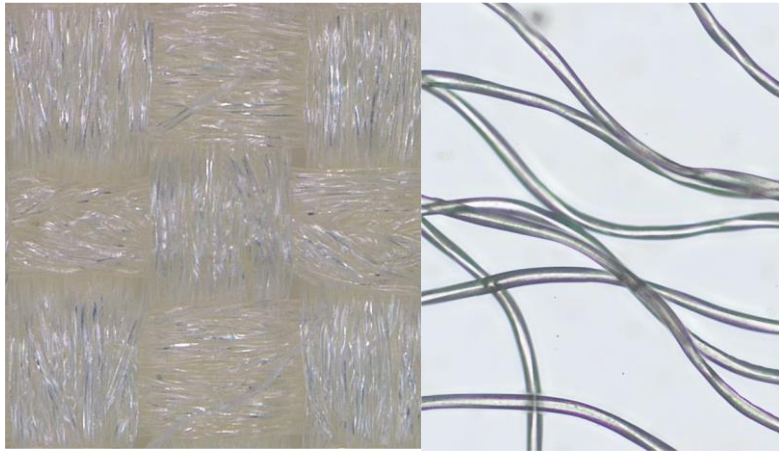
Tüm numunelerin karşılaştırılabilmesi için, kumaşların incelikleri de göz önünde bulundurularak Şekil 4.10'da gösterildiği şekilde 1.000 devir abrasyon testi uygulanmış ve sonrasında elektriksel direnç değerleri ölçülmüştür. Örgüler arasında ciddi bir fark olmamakla birlikte 48 filament olan numunelerin direnç değerinin sürtünme testinden daha fazla etkilendiği, filament sayısı arttıkça sürtme etkisinin kaplama yüzeyine verdiği etkinin azaldığı görülmüştür.



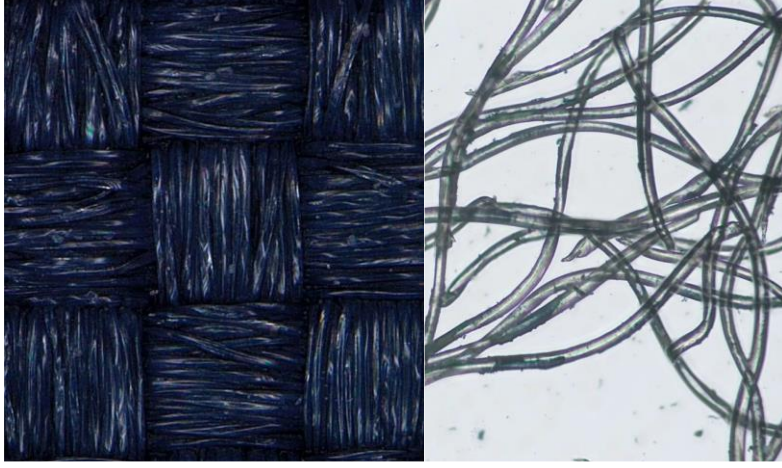
Şekil 4.10. Kumaşların 1000 devir abrasyon öncesi ve sonrası elektriksel direnç değerlerinin karşılaştırılması

4.5. Abrasyon Sonrası Mikroskop ve SEM Görüntüleri

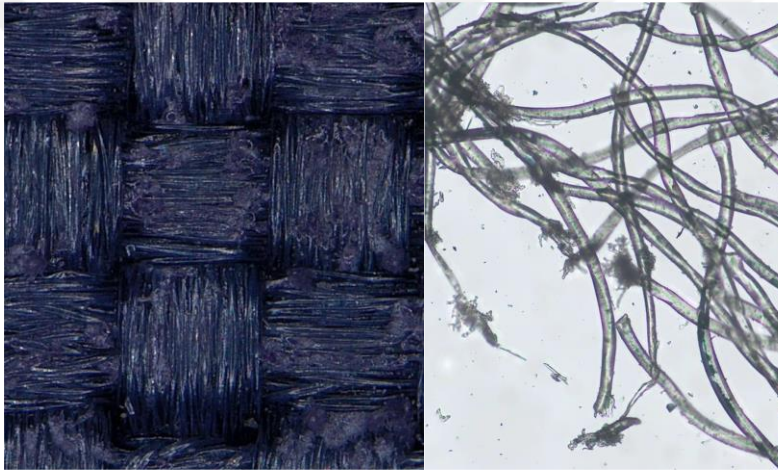
En büyük etkinin görülebilmesi için, 150F48 ipliklerle bezayağı dokunmuş kumaşta 40.000 devir abrasyon testi yapılan numune mikroskop altında incelenmiş ve x285 büyütme oranıyla kaplama yapılmamış kısım Şekil 4.11’de, kaplamalı kısım Şekil 4.12’de ve kaplamalı kısmın abrasyon sonrası Şekil 4.13’de görüntülenmiştir.



Şekil 4.11. Kaplama yapılmamış 150F48 bezayağı numune ve iplikleri

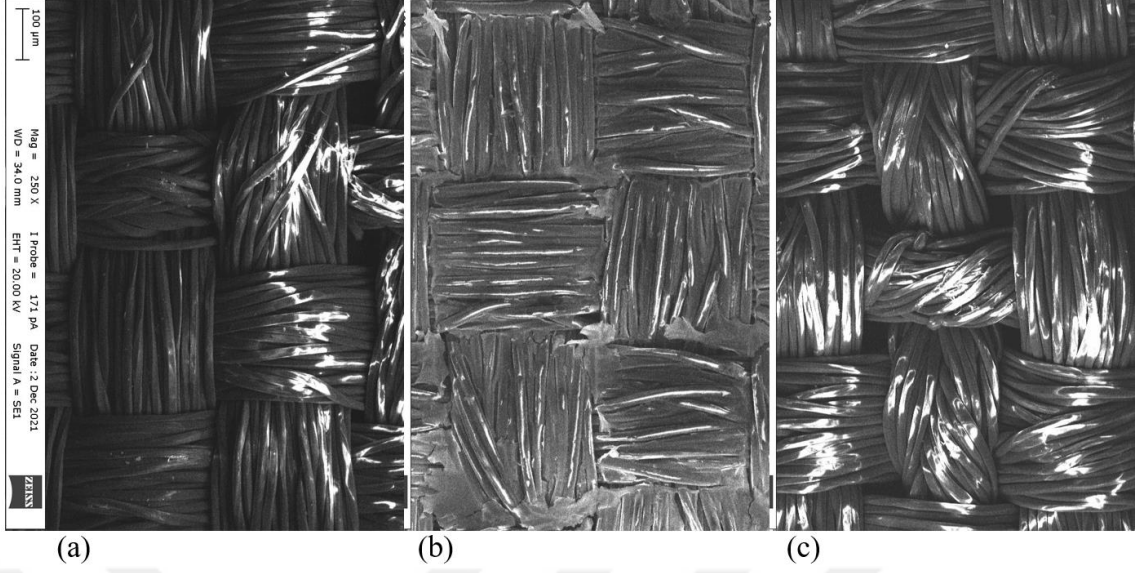


Şekil 4.12. Kaplama yapılmış 150F48 bezayağı numune ve iplikleri

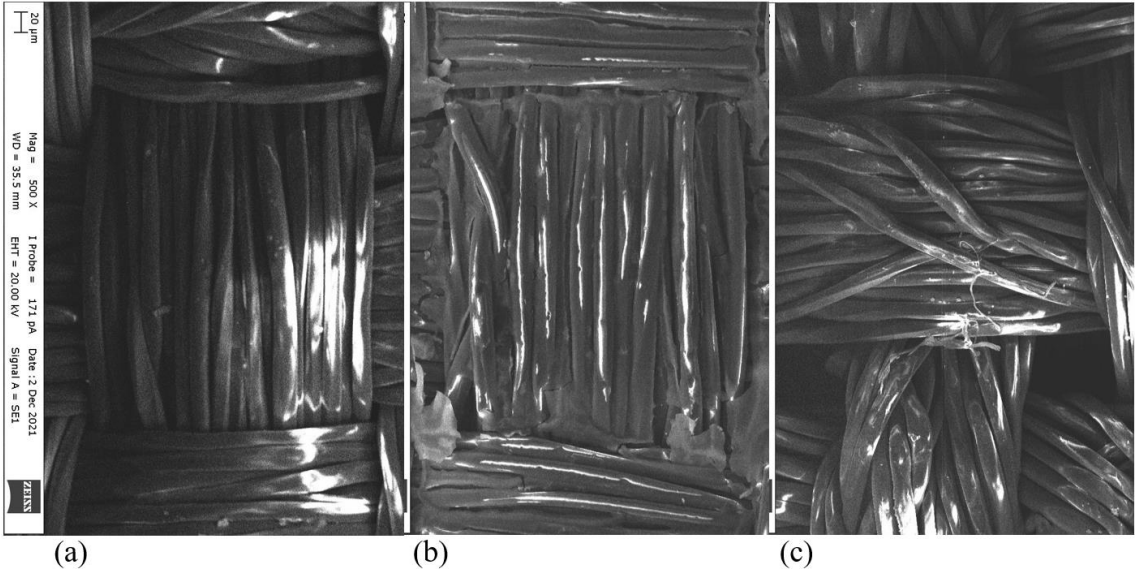


Şekil 4.13. Kaplama sonrası 40.000 devir abrasyon uygulanmış 150F48 bezayağı numune ve iplikleri

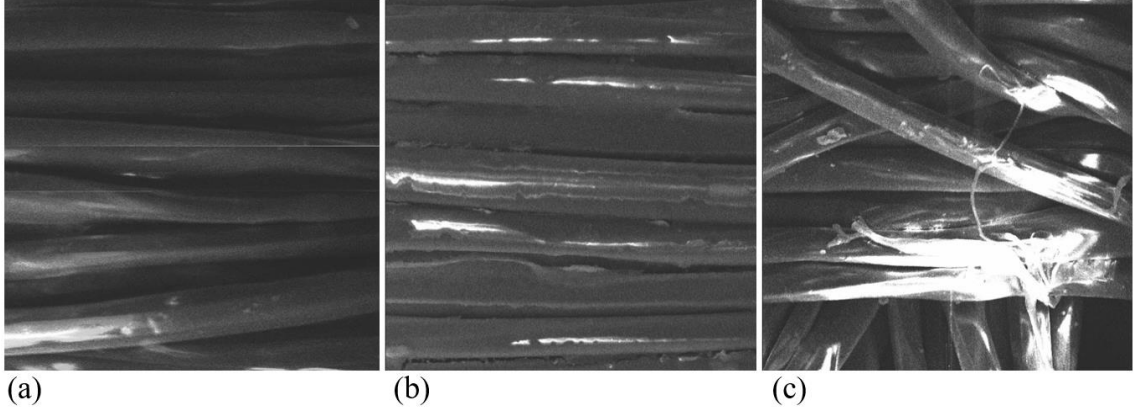
SEM’de kaplanmamış 150F48 bezayağı kumaşın, kaplanmış halinin ve 10.000 devir abrasyon sonrasının x250 büyütme ile alınan görüntüleri Şekil 4.14’de, x500 büyütme ile alınan görüntüleri Şekil 4.15’de ve x1000 büyütme ile alınan görüntüleri Şekil 4.16’da paylaşılmıştır. Kaplama sonrası kumaşta oluşan ve liflerin arasını kapatan film tabakası, abrasyon sonrası fotoğraflarda sadece liflerin üzerinde kalmıştır



Şekil 4.14. x250 büyütme oranıyla çekilen görüntüler a) kaplanmamış kumaş b) kaplama sonrası c) abrasyon sonrası



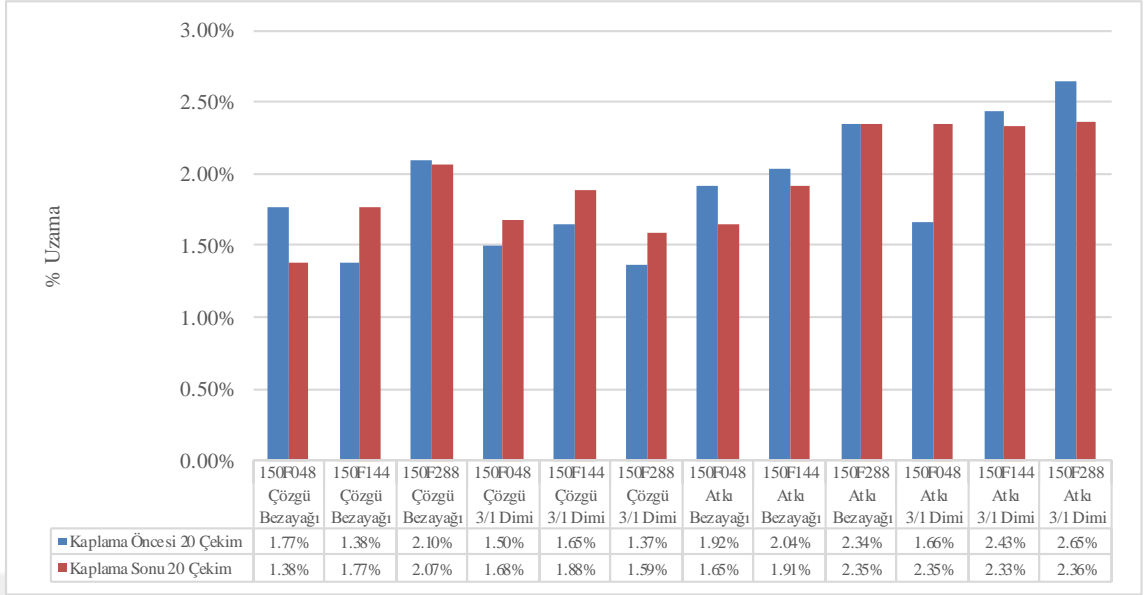
Şekil 4.15. x500 büyütme oranıyla çekilen görüntüler a) kaplanmamış kumaş b) kaplama sonrası c) abrasyon sonrası



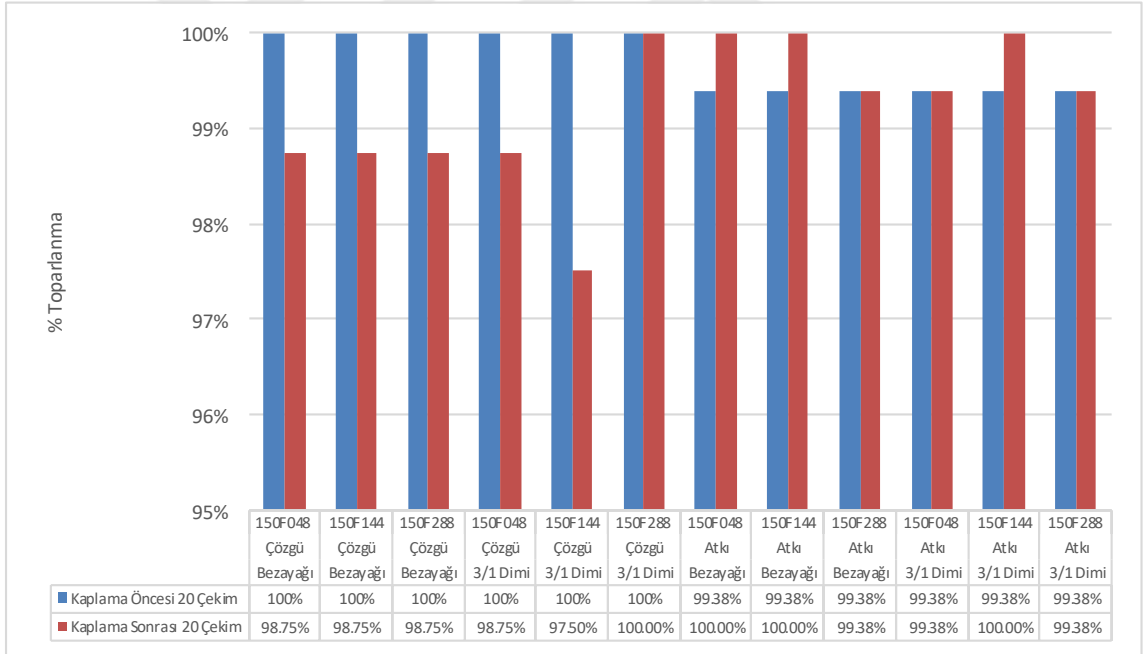
Şekil 4.16. x1000 büyütme oranıyla çekilen görüntüler a) kaplanmamış kumaş b) kaplama sonrası c) abrasyon sonrası

4.6. Esnetme Sonrası Direnç Değişimi

Kumaşların giyilebilir elektronikler için uygunluğu düşünülerek toparlanma davranışı, atkı ve çözümlü yönlerinde, 20 tekrarlı olarak yapılmıştır. Kaplama ile oluşturulan yüzeyin esnekliğe etkisinin yanında tekrarlayan esneme hareketlerinin iletkenliğe etkisi de incelenmiştir. Şekil 4.17’de tüm kumaşların atkı ve çözümlü yönünde esneme, Şekil 4.18’de toparlanma yüzdeleri incelenerek polimerizasyon öncesi ve sonrası karşılaştırmaları yapılmıştır. Grafikler incelendiğinde, kaplamamın kumaşların uzama yüzdelerini değiştirmedeği, sadece çözümlü yönündeki toparlanma değerlerinde çok küçük bir oranda da olsa düşmeye neden olduğu görülmüştür.



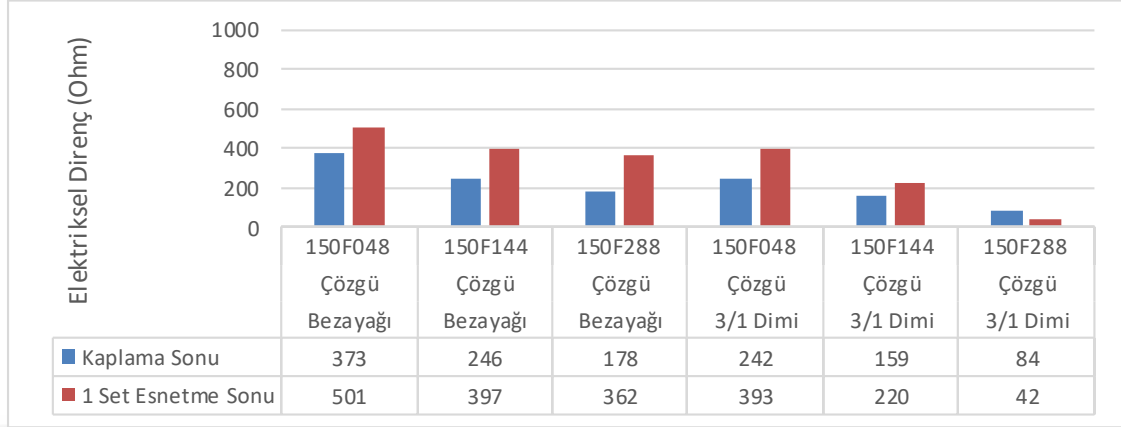
Şekil 4.17. Kaplamalı ve kaplamasız kumaşların 20 çekim sonrası yüzde uzama karşılaştırması



Şekil 4.18. Kaplamalı ve kaplamasız kumaşların 20 çekim toparlanma testi sonrası yüzde toparlanma değerlerinin karşılaştırması

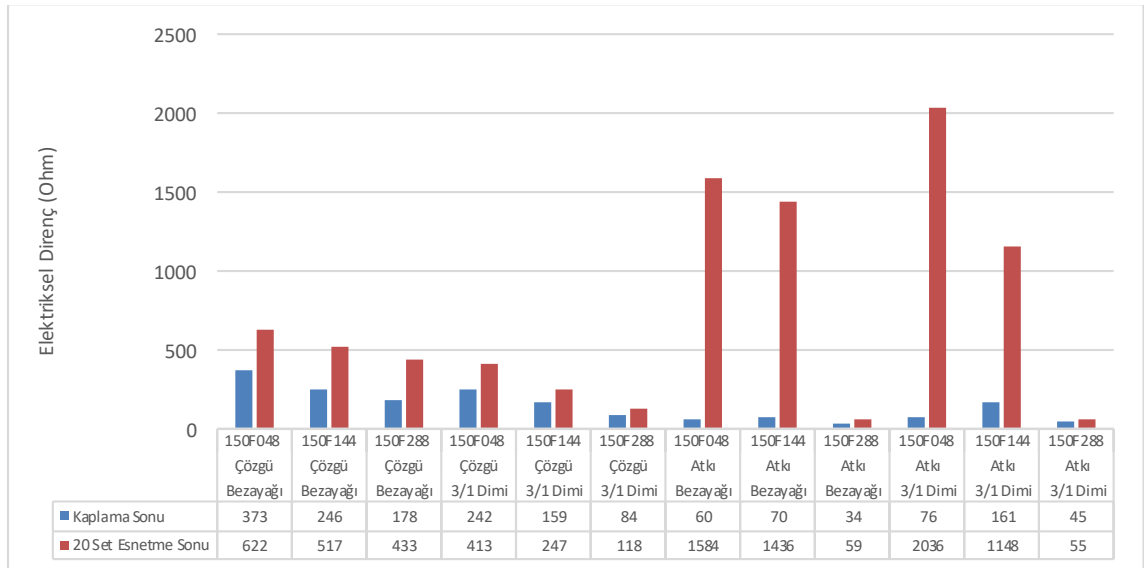
Şekil 4.19'da görüldüğü gibi sadece çözgü yönünde tek set esnetme uygulandığında, elektriksel direnç değeri artsa bile iletkenlik sınırları içinde kaldığı görülmektedir. Dimi kumaşlardaki direnç değerleri bezayağına göre daha düşüktür ve en iyi değerler 150F288

ipliklerle dimi örgüde elde edilmiştir. Filament sayısının artışı iletkenliği artırma yönünde etki etmektedir.



Şekil 4.19. Kumaşlarda kaplama sonrası ve 1 esnetme sonrası direnç değişimleri karşılaştırması

Testin 20 set olarak tekrarlanmasından sonra ölçülen direnç değişimleri Şekil 4.20’de paylaşılmıştır. Atkı yönünde direnç değişimleri düzensiz olmakla birlikte, çözgü yönünde 20 set çekim sonunda bir önceki teste paralel değerler bulunmuştur. Her 2 örgü tipinde de 150F288 iplikler en iyi sonuçları vermektedir. Kumaşların iletkenlik seviyesi 20 esnetme sonrası hala yeterli seviyededir.

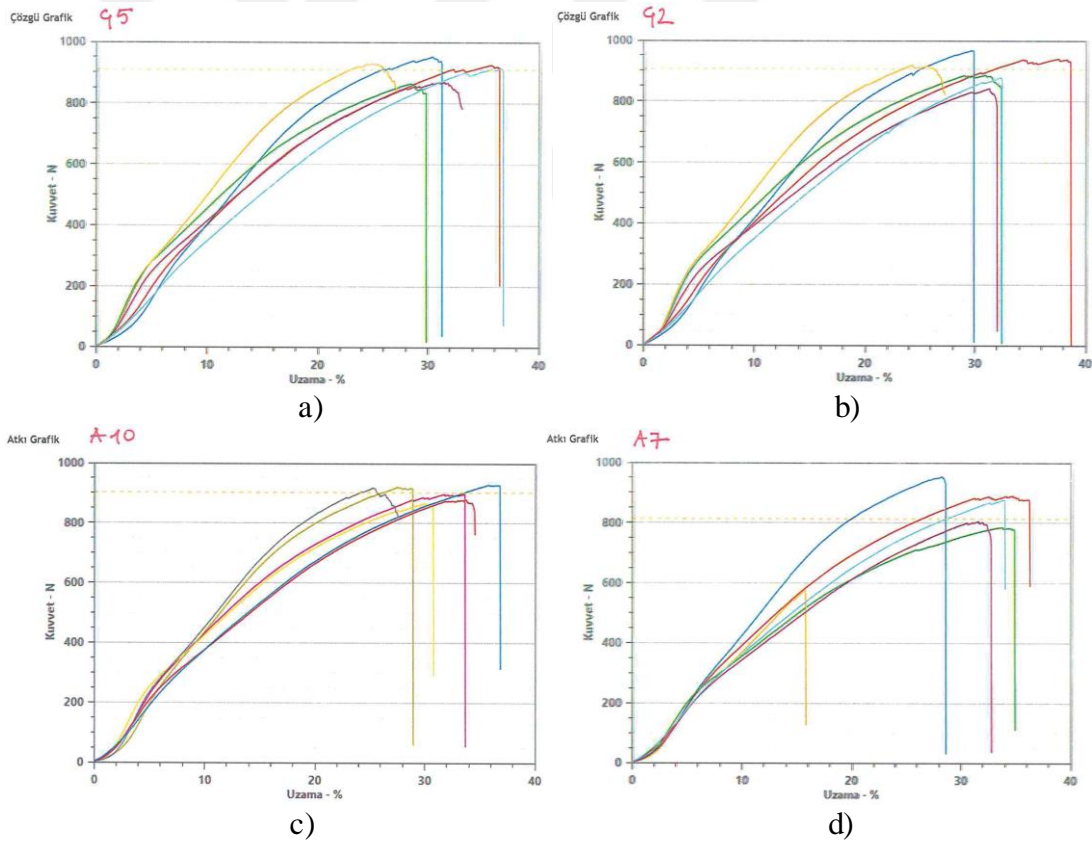


Şekil 4.20. 20 set esnetilen numunelerin direnç değişimi karşılaştırması

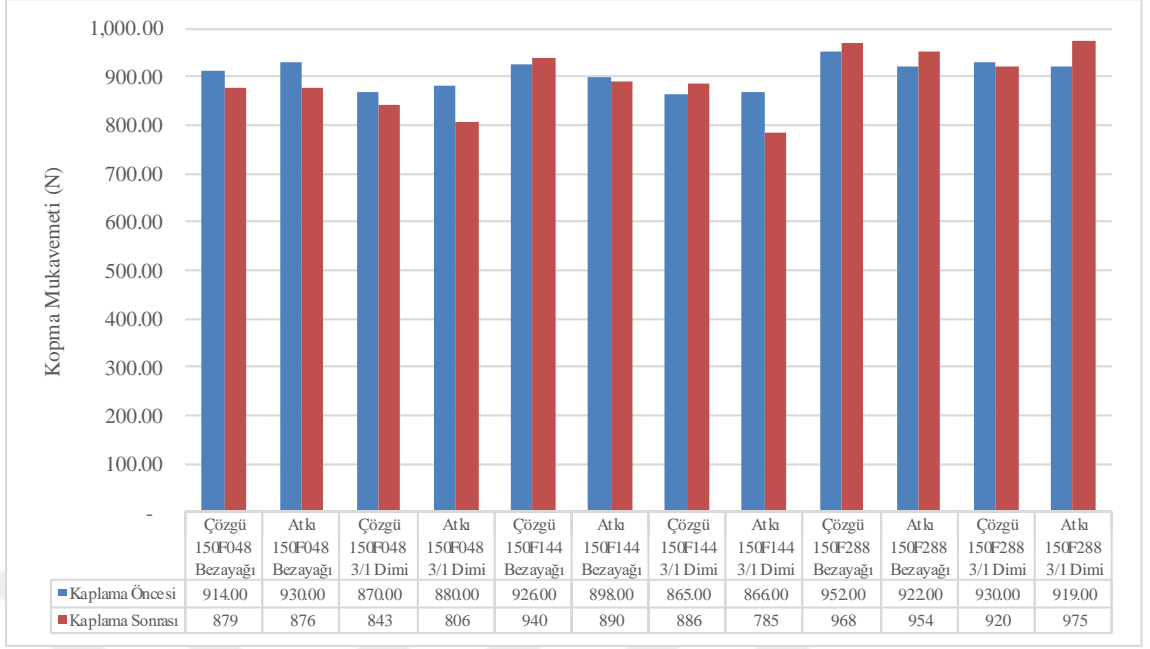
4.7. Kopma-Uzama Performans Değişimi

Numunelerin kaplama öncesi ve sonrası kopma-uzama testleri yapılarak uygulamanın etkisi incelenmiş ve Şekil 4.21, Şekil 4.22 ve Şekil 4.23’de paylaşılmıştır. Buna göre; aynı filament sayılı iplikler karşılaştırıldığında çözgü ile atkı olarak kullanılmaları arasında önemli bir fark görülmemiştir. Dimi örgülü numunelerin, bezayağı örgülü numunelere göre çok az da olsa düşük kopma mukavemetine sahip olduğu tespit edilmiştir. Kaplama öncesi ile sonrası karşılaştırıldığında net ve oransal bir sonuç elde edilememekle birlikte kopma mukavemetinin kaplama sonrası azalma eğiliminde olduğu söylenebilir.

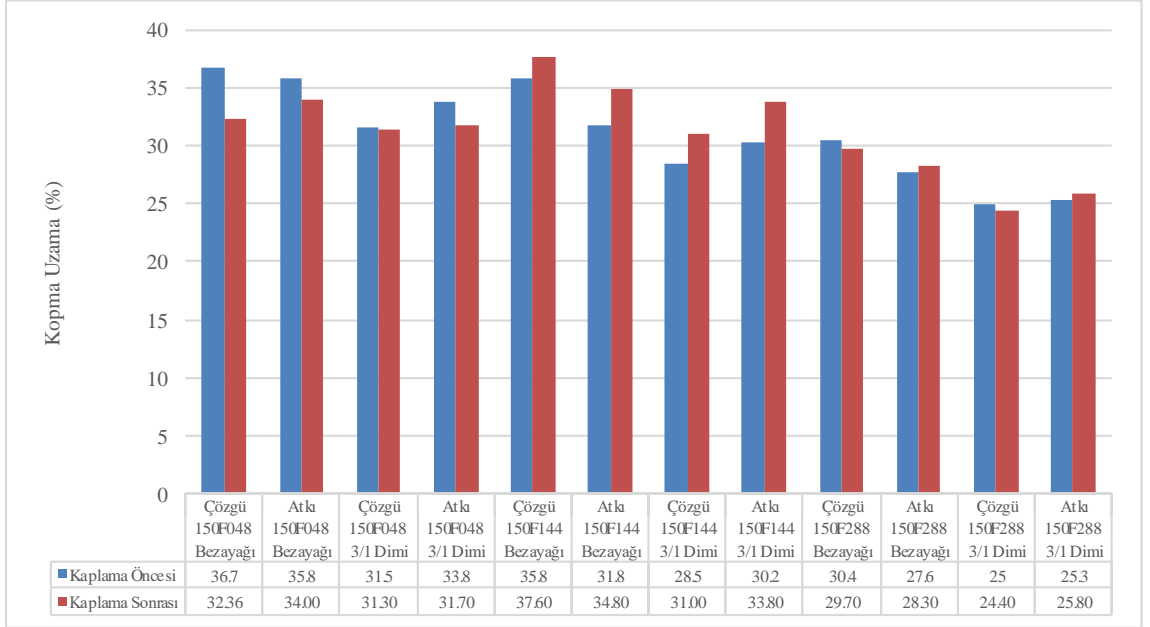
Kopma uzama verileri karşılaştırıldığında da filament sayısı artıp örgü bağlantıları azaldıkça kopma uzamasının azaldığı görülmüştür.



Şekil 4.21. Numunelerin kaplama öncesi ve sonrası kopma davranışları a) kaplama öncesi çözgü b) kaplama sonrası çözgü c) kaplama öncesi atkı d) kaplama sonrası atkı



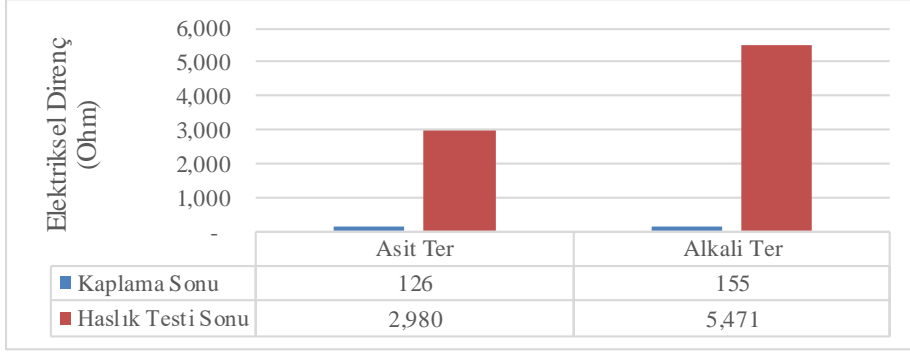
Şekil 4.22. Kaplama öncesi ve sonrası kopma kuvveti karşılaştırması



Şekil 4.23. Kaplama öncesi ve sonrası % kopma uzama karşılaştırmaları

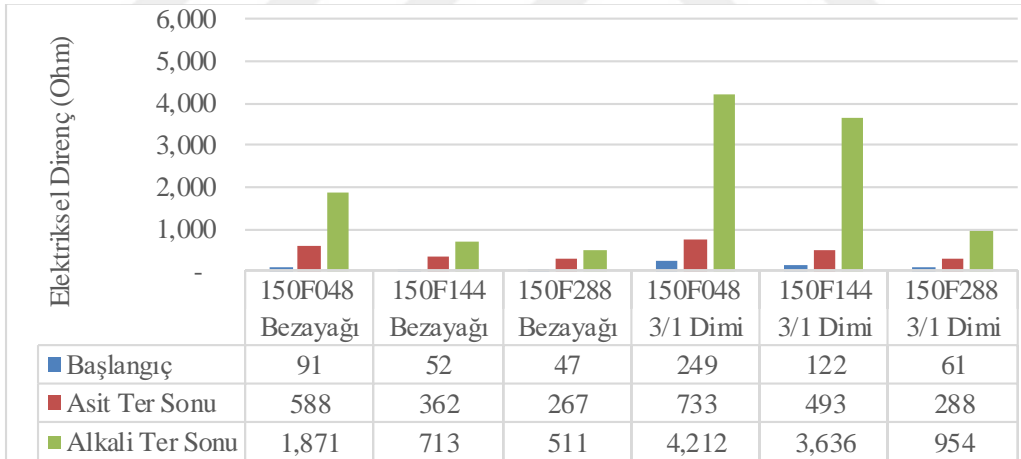
4.8. Asit/ Alkali Ter Haslığı Testi Sonrası Direnç Değişimi

Şekil 4.24'de görüldüğü üzere 150F48 bezayağı kumaş üzerinde yapılan çalışmada numunelerin alkali ter uygulaması karşısında dirençlerinin daha fazla yükseldiği görülmüştür.



Şekil 4.24. 150F48 bezayağı kaplamalı kumaşta, asit ve alkali haslığı testi sonrası elektriksel direnç değişimleri

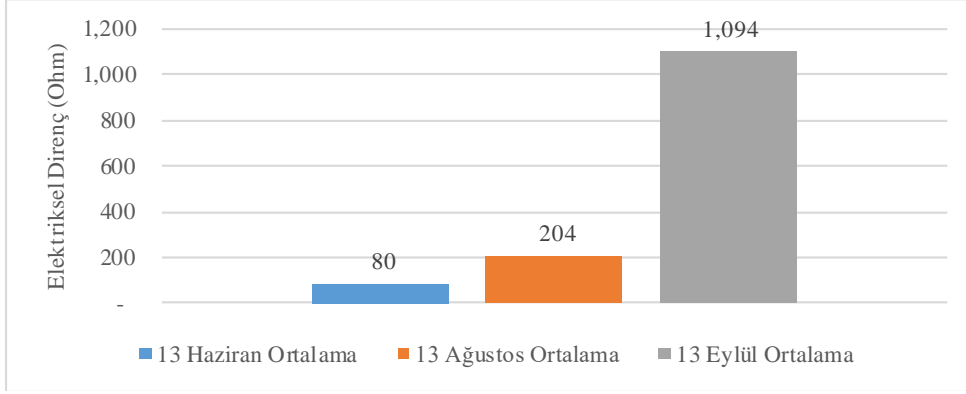
Devamında tüm numunelere uygulanan testin sonunda, haslık test sonuçları tüm kumaşlarda 4-5 olarak değerlendirilmiş, refakat numunelerini lekelemediği görülmüştür. Şekil 4.25'te görüldüğü gibi ölçülen direnç değişiklikleri yine ilk test sonuçlarını desteklemiş ancak gabardin örgünün hidrofili yapısı nedeniyle direnç artışının daha yüksek olduğu görülmüştür. Nihai sonuçlarda numuneler iletkenlik seviyelerini kaybetmemişlerdir.



Şekil 4.25. Asit ve alkali ter haslığı testi öncesi ve sonrası elektriksel direnç karşılaştırmaları

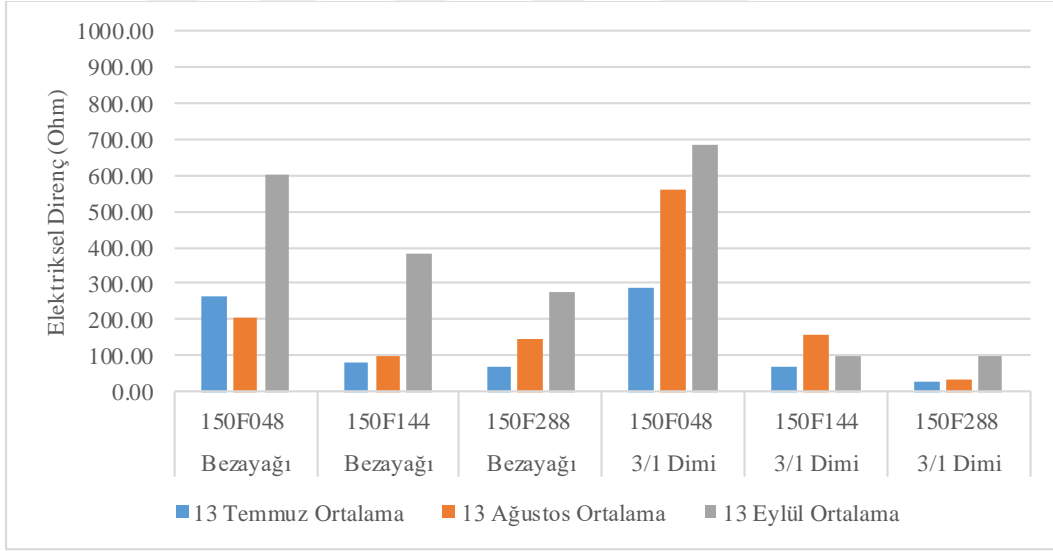
4.9. Zamanla Direnç Değişimi

13 Haziranda polimerize edilen numune kumaşlar, oda şartlarında ve açıkta bırakılarak 60. gün ve 90. günde tekrar incelenmiş ve direnç değişiklikleri ölçülmüştür. Şekil 4.26'da paylaşıldığı gibi 3 ay içinde ev içi şartlarda iletkenliğin iyi seviyede devam ettiği görülmüştür.



Şekil 4.26. Ev içi şartlarda başlangıç, 60 ve 90 gün sonra polimerize edilmiş yüzeylerde elektriksel direnç değişimi

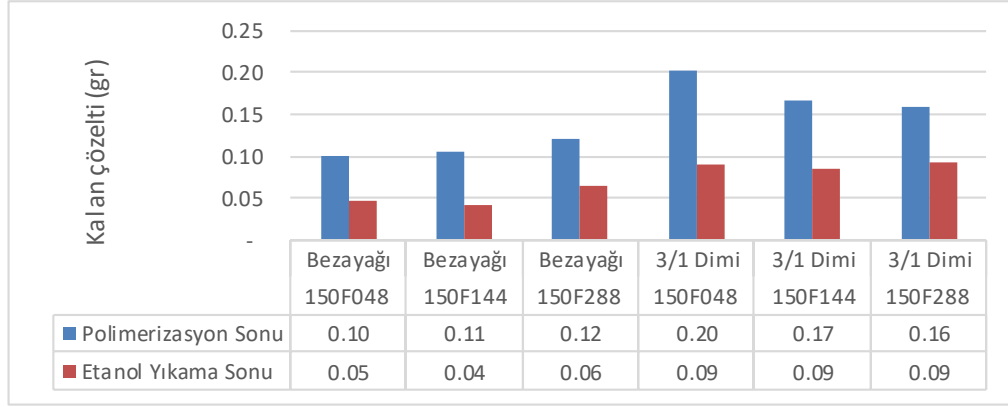
Kapalı poşet içinde saklanan ve 1 ay arayla direnç ölçümleri tekrarlanan numunelerde de Şekil 4.27’te görüldüğü gibi iletkenlik kaybı tespit edilmiş ancak direnç değerlerinin 10^3 seviyesine ulaşmadığı görülmüştür.



Şekil 4.27. Kapalı poşette saklanan numunelerin 30 ve 60 gün sonra elektriksel direnç değişimleri

4.10. Hidrofilite/ Yüzey Temas Açısı

Numune kumaşlarda kalan çözelti miktarı Şekil 4.28’de paylaşılmıştır. Buna göre bezayağı örgülü numunelerde filament sayısı arttıkça kumaşa işleyen çözelti miktarı artmıştır. Gabardin kumaşlarda hidrofilitenin yüksek olmasına bağlı olarak çözelti miktarı daha fazla ölçülmüştür ve örgünün etkisi filament sayısının etkisinden daha net olarak görülmektedir.



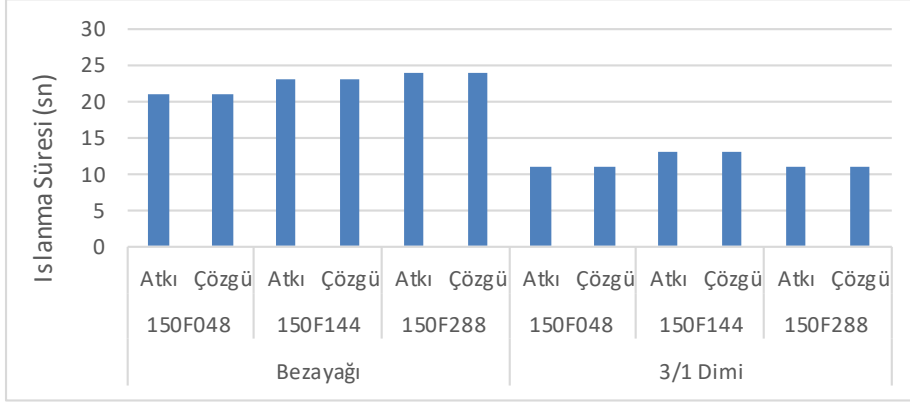
Şekil 4.28. Polimerizasyon sonu ve etanol yıkama sonu kumaşlarda kalan çözelti miktarları

Yüzey temas açısı deneyi sonuçları da, kumaşların örgü ve filament sayısı özelliklerine bağlı olarak incelenmiştir. Suyun damladığı 5. Saniyede ölçülen değerler Çizelge 4.1’ de verilmiştir. Buna göre bezayağı örgülü numunelerde filament sayısı arttıkça temas açısının arttığı görülmektedir. Dimi örgülerde ise örgünün etkisi filament sayısının etkisinden çok daha etkin olduğu için, boşluklu yapı hidrofilitayı artırmıştır.

Çizelge 4.1. Yüzey temas açısı ölçüm değerleri

Örgü	İplikler (Çözüğü/ Atkı)	Desen No	Temas Açısı (°)
Bezayağı	150F48	38198	16,51
Bezayağı	150F144	38191	21,08
Bezayağı	150F288	38193	23,85
3/1 Dimi	150F48	38197	-
3/1 Dimi	150F144	38194	-
3/1 Dimi	150F288	38195	-

Yapılan hidrofilita testlerinde de örgünün etkisi görülmektedir. Şekil 4.29’da da paylaşıldığı gibi dimi örgülü numunelerin 1 cm’yi ıslatma süresi, bezayağı örgülü numunelerin ıslanma süresinden yaklaşık 2 kat daha hızlıdır. Bunun yanında, kumaşların isotropik yönünü destekleyecek şekilde, atkı ve çözgü yönünde yapılan denemelerde bir fark tespit edilememiştir. Filament sayısının etkisi de örgü farkı kadar kuvvetli değildir.



Şekil 4.29. Kumaşların hidrofilite testi sonuçları karşılaştırması



5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Yapılan çalışmada polimerizasyon şartlarının etkisi incelendiğinde; numunelerin önceden ısıtılmış kabine, askı ayakları en alt seviye iken yerleştirilmesinin en etkili sonuçları verdiği görülmektedir. Numunelerin ısı kaynağına fazla yaklaşmasının da polimerizasyon hızını artırarak etkisini azalttığı ve en başarılı sonuçlar için ortam sıcaklığının homojenliğinin önemli olduğu tespit edilmiştir.

Kumaş örgü yapısının etkisi incelendiğinde; kopma-uzama gibi fiziksel performans değerlendirmelerinde bezayağı örgü tipinin, 3/1 dimiden daha başarılı olduğu görülmüştür. Toparlanma ve elastikiyet davranışlarında ise esnek yapısı sayesinde dimi kumaşlar daha iyi sonuçlar vermiştir. Yapılan kaplamanın bu fiziksel testlerin performansları üzerine iyi veya kötü, ayırt edici bir etkisi yoktur.

Ancak yüzey temas açısı ve hidrofilité ölçümlerinde de görüldüğü gibi, 3/1 dimi numuneleri bezayağı numunelere göre çok daha hidrofildirler. Buna paralel olarak kumaşın içine işleyen çözelti miktarı da dimi numunelerin iletkenlik performansını artırmaktadır. Abrasyon sonrası iletkenlik testi ölçümlerinde de aynı sebeple dimi kumaşlar daha başarılı olmuştur.

Filament sayısının etkisi incelendiğinde; fiziksel performans testlerinden çok hidrofilitéye etkisi sayesinde iletkenlik değerlerine katkıda bulunduğu tespit edilmiştir.

Bütün bunların sonucu olarak 288 filament ipliklerle dokunan 3/1 dimi numuneleri, hem kaplama sonrası en yüksek iletkenlik değerlerine ulaşmış hem de abrasyon, elastikiyet testi gibi fiziksel etkilerden sonra da etkinliğini sürdürmüştür.

Yapılan kaplama numunelerinin çift yönlü kullanıma imkân vermesi, dış etkilere büyük ölçüde dayanım göstermesi ve 10 Ohm seviyesinde direnç değerlerine ulaşması sonraki aşamada endüstriyel üretime dönüştürülebileceği fikrini desteklemektedir.

KAYNAKLAR

- Ahmad, S., Ashraf, M., Ali, A., Shaker, K., Umair, M., Afzal, A., ... Rasheed, A. (2017). Preparation of conductive polyethylene terephthalate yarns by deposition of silver et copper nanoparticles. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 25(5), 25–29. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0010.4623>
- Ala, O., ve Fan, Q. (2009). Applications of conducting polymers in electronic textiles. *Research Journal of Textile and Apparel*, 13(4), 51–68. <https://doi.org/10.1108/RJTA-13-04-2009-B007>
- ASTM International. (2009). *Annual book of ASTM standards*. 1–4. <https://doi.org/10.1520/D8248-20.metallic>
- Bedeloğlu, A., Sünter, N., ve Bozkurt, Y. (2010). Elektriksel olarak iletken tekstil yapıları, üretim yöntemleri ve kullanım alanları. *Tekstil ve Mühendis*, 17(79), 7–17. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/teksmuh/issue/12870/156039>
- Bükülmezer, K., ve Tayyar, A. E. (2019). Dokuma Kumaşlarda Kullanılan Örgü Yapılarının Kumaşların İslanma Ve Emicilik Özelliklerine Olan Etkileri. *Uşak Üniversitesi Fen ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 2019(1), 37–47.
- Cork, C. R. (2015). Conductive fibres for electronic textiles: An overview. In *Electronic Textiles: Smart Fabrics and Wearable Technology* (s. 1–20). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100201-8.00002-3>
- Darshani, P. N. (2013). Conductive polymers. *Popular Plastics ve Packaging*, (Şubat), 33–38.
- Demiröz Gün, A., Demircan, B., ve Şevkan, A. (2011). Mikroliflerin üretim yöntemleri, özellikleri ve kullanım alanları. *Tekstil ve Mühendis*, 18(83), 38–46. Retrieved from https://www.mendeley.com/catalogue/3c81f39f-f2a7-39c5-9d5c-ba06ac78b807/?utm_source=desktopveutm_medium=1.19.8veutm_campaign=open_cat alogveuserDocumentId=%7B4266aab9-5591-4029-a075-435701a3229e%7D
- Deopura, B. L., ve Padaki, N. V. (2015). Synthetic textile fibres: Polyamide, Polyester and Aramid fibres. *Textiles and Fashion: Materials, Design and Technology*, 97–114. <https://doi.org/10.1016/B978-1-84569-931-4.00005-2>
- Du, Y., Xu, J., Wang, Y., ve Lin, T. (2017). Thermoelectric properties of graphite-PEDOT:PSS coated flexible polyester fabrics. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 28(8), 5796–5801. <https://doi.org/10.1007/s10854-016-6250-2>
- Eichhoff, J., Hehl, A., Jockenhoevel, S., ve Gries, T. (2013). Textile fabrication technologies for embedding electronic functions into fibres, yarns and fabrics. In *Multidisciplinary Know-How for Smart-Textiles Developers*. Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1533/9780857093530.2.191>
- El-Newashy, R. F., Mowafi, S., Haggag, K., Abou Taleb, M., ve El-Sayed, H. (2019). Evaluation of comfort attributes of Polyester knitted fabrics treated with Sericin. *Fibers and Polymers*, 20(9), 1992–2001. <https://doi.org/10.1007/s12221-019-9275-3>
- Elschner, A., Kirchmeyer, S., Lovenich, W., Merker, U., ve Reuter, K. (2010a). Conductive polymers versus metals and insulators. In *PEDOT: Principles and Application of an Intrinsically Conducting Polymer* (s. 21–30). Boca Raton: CRC Press.
- Elschner, A., Kirchmeyer, S., Lovenich, W., Merker, U., ve Reuter, K. (2010b). The discovery and development of conducting polymers. In *PEDOT: Principles and Application of an Intrinsically Conducting Polymer* (s. 1–20). Boca Raton: Taylor and Francis Group, LLC.

- Erici, E. (2017). *Farklı İplikler ile Farklı Örgülerde Dokunmuş Kumaşların Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi*.
- Foroughi, J., Spinks, G. M., ve Wallace, G. G. (2015). Conducting Polymer Fibers. In X. Tao (Ed.), *Handbook of Smart Textiles*. Springer Reference. <https://doi.org/10.1007/978-981-4451-45-1>
- Groenendaal, L., Jonas, F., Freitag, D., Pielartzik, H., ve Reynolds, J. R. (2000). Poly(3,4-ethylenedioxythiophene) and Its Derivatives: Past, Present, and Future. *Advanced Materials*, 12(7), 481–494. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1521-4095\(200004\)12:7<481::AID-ADMA481>3.0.CO;2-C](https://doi.org/10.1002/(SICI)1521-4095(200004)12:7<481::AID-ADMA481>3.0.CO;2-C)
- Gürkan Ünal, P., ve Taşkın, C. (2007). Sıklıkların kopma mukavemetine etkisi. *Tekstil ve Konfeksiyon*, (2), 115–118. Retrieved from https://www.mendeley.com/catalogue/88b71ba0-d98a-3a50-829f-c10718043166/?utm_source=desktopveutm_medium=1.19.8veutm_campaign=open_cat alogveuserDocumentId=%7Bf1dee5a9-a825-459b-ad85-190b90a12eae%7D
- Hussain, N., Mehdi, M., Yousif, M., Ali, A., Ullah, S., Siyal, S. H., ... Kim, I. S. (2021). Synthesis of highly conductive electrospun recycled polyethylene terephthalate nanofibers using the electroless deposition method. *Nanomaterials*, 11(2), 1–13. <https://doi.org/10.3390/nano11020531>
- Karagüzel Kayaoğlu, B., Göcek, I., Kızıl, H., ve Trabzon, L. (2012). Functional nano and micro-scale thin film deposition on textiles: Emerging technologies and applications. *Journal of Textiles and Engineer*, 19(88), 39–47. <https://doi.org/10.7216/130075992012198805>
- Kaynak, H. K., ve Babaarslan, O. (2015). Breaking Strength and Elongation Properties of Polyester Woven Fabrics on the Basis of Filament Fineness. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 10(4), 155892501501000. <https://doi.org/10.1177/155892501501000416>
- Kirchmeyer, S., Reuter, K., ve Simpson, J. C. (2007). Poly(3,4-Ethylene-dioxythiophene)— scientific importance, remarkable properties and applications. In T. A. Skotheim ve J. R. Reynolds (Eds.), *Conjugated Polymers Theory, Synthesis, Properties and Characterization* (Third Edit, s. 1–19). Boca Raton: CRC Press.
- Li, Q., ve Tao, X. (2015). Fabric Substrates and Interconnectors for Three-Dimensional Surfaces. In X. Tao (Ed.), *Handbook of Smart Textiles* (s. 550–574). Springer Reference. https://doi.org/10.1007/978-981-4451-68-0_28-1
- Lin, S. (2015). Fiber-Based wearable electronic circuits and systems. In X. (Institute of T. and C. Tao (Ed.), *Handbook of Smart Textiles* (s. 256–290). Springer Reference. <https://doi.org/10.1007/978-981-4451-45-1>
- Montazer, M., ve Harifi, T. (2018). Conductive nanofinishes for textiles. In *Nanofinishing of Textile Materials*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-101214-7.00017-0>
- Özerol, E. (2015). *Synthesis of conducting polymers and investigation of their electrical properties*. Istanbul Technical University.
- Qu, H., ve Skorobogatiy, M. (2015). Conductive polymer yarns for electronic textiles. In *Electronic Textiles* (s. 21–53). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100201-8.00003-5>
- ResearchAndMarkets.com. (2021). Global synthetic fibres (Polyester, Nylon, Acrylic ve Polyolefin) market: insights ve forecast with potential impact of COVID-19 (2021-2025). In Business Wire (Ed.), *Global Synthetic Fibres Market* (p. 137). Dublin: ResearchAndMarkets.com. <https://doi.org/5317944>

- Schwarz-Pfeiffer, A., ve Van Langenhove, L. (2013). Types and processing of electro-conductive and semiconducting materials for smart textiles. In *Multidisciplinary Know-How for Smart-Textiles Developers*. Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1533/9780857093530.1.29>
- Shang, S. M., ve Zeng, W. (2013). Conductive nanofibres and nanocoatings for smart textiles. In T. Kirstein (Ed.), *Multidisciplinary Know-How for Smart-Textiles Developers* (s. 92–128). Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1533/9780857093530.1.92>
- Truong, T. Le, Kim, D. O., Lee, Y., Lee, T. W., Park, J. J., Pu, L., ve Nam, J. Do. (2008). Surface smoothness and conductivity control of vapor-phase polymerized poly(3,4-ethylenedioxythiophene) thin coating for flexible optoelectronic applications. *Thin Solid Films*, 516(18), 6020–6027. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2007.10.114>
- Üner, İ., ve Gürcüm, B. H. (2019). Conductive ink applications on electronic textiles. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 25(7), 794–804. <https://doi.org/10.5505/pajes.2019.55890>
- Wagner, M. (2013). Automotive applications of smart textiles. In *Multidisciplinary Know-How for Smart-Textiles Developers*. Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1533/9780857093530.3.444>