

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BASILABİLİR ELASTİK KONDÜKTÖRLER İLE
ELEKTRONİK TEKSTİL ÜRÜN TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HEDİYE İPEK GÜLBAŞ SARI

DENİZLİ, MAYIS - 2020

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**BASILABİLİR ELASTİK KONDÜKTÖRLER İLE
ELEKTRONİK TEKSTİL ÜRÜN TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HEDİYE İPEK GÜLBAŞ SARI

DENİZLİ, MAYIS - 2020

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

Hediye İpek GÜLBAŞ SARI



ÖZET

**BASILABİLİR ELASTİK KONDÜKTÖRLER İLE ELEKTRONİK TEKSTİL
ÜRÜN TASARIMI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
HEDİYE İPEK GÜLBAŞ SARI
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. OSMAN OZAN AVINÇ)
DENİZLİ, MAYIS - 2020**

Son yıllarda akıllı elektronik ürünlerin artması ile teknoloji insan hayatının vazgeçilmez parçalarından olmuştur. İlerde biyo uyumlu yeni nesil elektronik tekstil ürünleri sayesinde konfor ve teknoloji bütünleşecektir. Bu tez çalışması son dönemlerde üzerinde çok durulan elektronik tekstiller üzerine yapılmıştır.

Bu çalışmada geleneksel baskı tekniği olan serigrafi baskı yöntemi kullanılmıştır. Çeşitli konsantrasyonlarda grafen, gümüş, bakır, grafen oksit, mangan oksit ve kobalt oksit gibi iletken tozlar hem iletken tozların tek başlarına bireysel olarak tek yapı halinde kullanımı hem de iletken tozların beraber farklı oranlarda kombine kullanıldığı kompozit yapıları oluşturularak hazırlanan iletken baskı patları ile tekstil yüzeyine basılmıştır. Kumaş olarak % 100 pamuk lifli süprem örme kumaş ve % 92 poliester + % 8 elastan karışımli süprem örme kumaş kullanılmıştır. Kurutma / fiksaj adımı Ramöz ve Sıcak Pres olmak üzere iki farklı proses denenmiştir. Serigrafi baskı yapılan, kurutulan ve fikse edilen kumaş numunelerinin beyazlık, sarılık, renk, sertlik, kalınlık, gramaj, su buharı geçirgenliği ve direnç ölçümleri yapılarak serigrafi baskılı kumaşların özellikleri tayin edilmiştir.

Ayrıca tekrarlı yıkamalar (1, 5 ve 10 standart yıkama) sonrası yukarıda bahsedilen testler tekrar uygulanıp elde edilen test sonuçları karşılaştırılmalı olarak değerlendirilip incelenmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucu % 100 pamuk süprem kumaşa serigrafi baskı ile % 10 grafen % 4 gümüş içerikli baskı patı basılan ve ramöz prosesi ile kurutma fiksaj işlemleri yapılan kumaş 3,28 kΩ/cm direnç değeri ile denekler arasında hem en iyi direnç değerini veren hem de 10 yıkamadan sonra dahi 44 kΩ/cm ile en iyi direnç değerini koruyan kumaş olduğu saptanmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Elektronik tekstil, basılabilir elastik elektronikler, iletken mürekkepler, e-tekstil, iletken tekstil, giyilebilir teknoloji, akıllı tekstil

ABSTRACT

ELECTRONIC PRODUCT DESIGN WITH PRINTABLE ELASTIC CONDUCTORS

MSC THESIS

HEDİYE İPEK GÜLBAŞ SARI

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

TEXTILE ENGINEERING

(SUPERVISOR: PROF. DR. OSMAN OZAN AVIŇÇ)

DENİZLİ, MAY 2020

Technology becomes an important part in human life with the recent developments on smart electronic products. Comfort and technology will be integrated thanks to the new generation of biocompatible electronic textile products.

This thesis has been carried out on electronic textiles which have been emphasized recently. The screen printing method, which is the traditional printing technique, was used in this study. Conductive printing pastes in various concentrations containing Graphene, Silver, Copper, Graphene Oxide, Manganese Oxide and Cobalt Oxide were prepared individually and in composite structures (in their combination usage) and then printed on the textile surfaces. 100% cotton fiber single jersey knit fabric and 92 % polyester + 8 % elastane blended single jersey knit fabric were used as textile surfaces. In the drying / fixing step, two different processes were investigated with the utilization of two different techniques; conventional stenter process and hot press process (transfer printing).

The whiteness, yellowness, color, stiffness, thickness, weight, water vapor permeability and resistance properties of the screen printed, dried and fixed fabric samples were examined. In addition, these above mentioned properties were investigated also after the repeated washings (1, 5 and 10 standard washes). In conclusion, 100 % cotton fiber single jersey fabric printed with 10 % Grafen and 4 % Silver containing printing paste, dried and fixed with the stenter process displayed the best resistance value with 3,28 k Ω / cm and this fabric kept exhibiting the best resistance value with 44 k Ω / cm even after 10 washes.

KEYWORDS: Electronic textile, printable elastic electronics, conductive inks, e-textile, conductive textile, wearable technology, smart textile

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖNSÖZ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Teknik Tekstiller	3
1.2 Akıllı Tekstiller	4
1.2.1 Akıllı Tekstillerin Sınıflandırılması.....	6
1.2.2 Akıllı Tekstil Sistemi Oluşturmak İçin Gereken Araçlar	8
1.2.3 Akıllı Tekstil Pazarının Gelişimi ve Gelecek Öngörütleri.....	8
1.3 Elektronik Tekstiller	9
1.4 Elektrik İletkenliği Konusunda Genel Bilgi	10
1.5 Elektronik Tekstil Üretim Yöntemleri.....	11
1.5.1 Elektriksel Olarak İletken Lifler	11
1.5.1.1 Doğal İletken Lifler.....	12
1.5.1.2 Sonradan İletkenlik Kazanan Lifler	16
1.5.1.2.1 Metal Oksit ve Metalik Tuzlar İle Kaplama	16
1.5.1.2.2 Galvanik Maddeler İle Kaplama.....	17
1.5.1.2.3 Vakum Sprey İle Kaplama.....	18
1.5.1.2.4 İletken Esaslı Polimerler İle Kaplama	18
1.5.1.2.5 İletken Karbon Ekleme Yöntemi	23
1.5.2 Elektriksel Olarak İletken İplikler	24
1.5.2.1 Özlü İplikler	24
1.5.2.2 Sarımlı Hibrid İplikler.....	25
1.5.2.3 Bikomponent Filamentlerden Oluşan İplikler.....	26
1.5.2.4 Şerit Yapılar	28
1.5.2.5 Kompozit/Hibrit İplikler	28
1.5.3 Elektriksel Olarak İletken Kumaşlar.....	32
1.5.3.1 İletken İplikler Veya Teller İlave Edilmesi.....	32
1.5.3.2 Metal Kullanarak Klasik Teknik İle Kumaş Kaplama.....	34
1.5.3.3 İletken Polimerler İle Kumaş Yüzeyi Kaplama	36
1.5.3.4 Elektriksiz Kaplama	37
1.5.3.5 Püskürtme Yöntemi.....	39
1.5.3.6 Buharlaştırma Birikimi Yöntemi.....	40
1.5.3.7 Film Kaplama.....	43
1.6 E- Tekstiller Alanında Kullanılabilir Mürekkepler	45
1.6.1 Polimer İletken Mürekkepler	45
1.6.2 Metal Esaslı İletken Mürekkepler	47
1.6.3 Kompozit İletken Mürekkepler.....	49
1.7 E-Tekstillerde Baskı Teknikleri	50
1.7.1 Serigrafi Baskı Tekniği	51
1.7.2 İnkjet Baskı Tekniği.....	53

1.8	Elektronik Tekstillere Dünyadaki Yeri	55
2.	LİTERATÜR ARAŞTIRMALARI.....	58
3.	MATERYAL VE METOD	69
3.1	Materyal.....	69
3.1.1	Kullanılan Kumaşlar	69
3.1.2	Kullanılan Kimyasal Maddeler	70
3.1.3	Kullanılan İletken Tozlar	71
3.2	Metot	73
3.2.1	Metal Tozların Sentezlenmesi	73
3.2.1.1	Grafen Oksit Sentezi	73
3.2.1.2	Mangan Oksit Eldesi	76
3.2.1.3	Kobalt Oksit Eldesi	78
3.2.2	Baskı Uygulama Detayları.....	79
3.2.2.1	İlk Bölüm Deney Detayları	82
3.2.2.2	İkinci Bölüm Deney Detayları	91
3.2.3	Uygulanan Test Ölçüm Metodları	95
3.2.3.1	Yüzde Ağırlık Değişiminin Belirlenmesi	95
3.2.3.2	Kumaşların Sertlik Değerlerinin Belirlenmesi.....	96
3.2.3.3	Kumaşların Kalınlık Değerlerinin Belirlenmesi	96
3.2.3.4	Beyazlık - Sarılık İndeks Değerlerinin Belirlenmesi	97
3.2.3.5	Kolorimetrik Özelliklerinin Değerlendirilmesi.....	97
3.2.3.6	Su Buharı Geçirgenliğinin Belirlenmesi	98
3.2.3.7	Tekrarlı Standart Yıkamalar.....	100
3.2.3.8	Direnç Değeri Ölçümü (Elektriksel İletkenlik Ölçümü).....	100
4.	BULGULAR	102
4.1	1. Bölüm Deney Sonuçları	102
4.2	2. Bölüm Deney Bulguları.....	121
4.2.1	Tek Cins İletken Toz İçeren İletken Baskı Deney Bulgular	122
4.2.2	Kompozit İletken Toz İçeren Deneylerin Ölçüm Sonuçları	123
4.2.2.1	Beyazlık – Sarılık Ölçümlerine İlişkin Bulgular.....	127
4.2.2.2	Kalınlık ve Gramaj Ölçümlerine İlişkin Bulgular.....	130
4.2.2.3	Sertlik Ölçümlerine İlişkin Bulgular	133
4.2.2.4	Su Buharı Geçirgenliği Ölçümlerine İlişkin Bulgular	135
4.2.2.5	Kolorimetrik Özelliklerinin Değerlerine İlişkin Bulgular.....	136
4.2.2.6	Direnç Ölçüm Değerlerine İlişkin Bulgular.....	142
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER	151
5.1	İlk Bölüm Sonuçları	151
5.2	İkinci Bölüm Sonuçları	152
5.3	Öneriler.....	161
6.	KAYNAKLAR.....	162
7.	ÖZGEÇMİŞ	170

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Dünya teknik tekstil üretim hacmi	3
Şekil 1.2: Akıllı tekstil pazarının mevcut ve beklenen gelişimi	9
Şekil 1.3: Kumaşlarda iletkenliği sağlama teknikleri	11
Şekil 1.4: Demetten çekim (bundle-drawing) yöntemine ait açıklamalı a), b), c) ve d) üretim yöntem adımları	14
Şekil 1.5: Galvanik/elektro-kaplama proses şeması	17
Şekil 1.6: Konjuge çift bağ yapısı.....	20
Şekil 1.7: Poliasetilenin p-doplanması ve n-doplanması.....	21
Şekil 1.8: Bazı iletken polimerlerin kimyasal yapısı.....	21
Şekil 1.9: Poliester ipliğe iletken kaplama yapılması.....	23
Şekil 1.10: Çalışmada uygulanan eriğikten bikomponent iplik üretim metodu şeması	27
Şekil 1.11: İletken Poli (Propilen) karbon nanotüp (PP / CNT) çekirdeği, Poli (Viniliden Florür) (PVDF) kılıf ve iletken bir yüzeye sahip bir eritilerek bükülmüş iki bileşenli fiberin şematik gösterimi.....	28
Şekil 1.12: Elektrosuz kaplama ile poliester elyaf üzerinde oluşturulmuş nikel nanopartiküller	39
Şekil 1.13: Sınırlı kinetik bölgede çalışırken CVD proses adımların şeması... 41	41
Şekil 1.14: Dokuma poliester kumaşın taramalı elektron mikrografları	42
Şekil 1.15: PVA ile ön işlem gördükten sonra püskürtme yöntemiyle pamuklu kumaşın iletken film ile kaplama şeması	44
Şekil 1.16: Tekstil üzerine iletken bir polimer kaplamanın genel prosedür şeması	47
Şekil 1.17: Esnek elektronikler ve rijit elektroniklerin doğrusal olmayan düzlemlerdeki uyumunun görseli	49
Şekil 1.18: Serigrafi baskı şeması.....	52
Şekil 1.19: İnk-Jet baskının şematik gösterimi.....	55
Şekil 1.20: IDTechEx kuruluşunun e-tekstil alanında yaptığı anket sonuçları	55
Şekil 1.21: Sektöre göre CAGR (bileşik yıllık büyüme oranı).....	56
Şekil 1.22: Son yıllarda e-tekstil ürünlerinin satış hacmi	57
Şekil 2.1: Baskı deseni.....	58
Şekil 2.2: Mavi tekstil ürünü üzerine uygulanan gümüş iletken mürekkep deseni ve FPCB düzeni (Serigrafi Baskı).....	60
Şekil 2.3: Fizyolojik sinyal ölçümleri.....	60
Şekil 2.4: Silikon kaplamanın elektriksel özelliklere etkisi (soldan sağa doğru, PEDOT kaplamalı viskoz elyaflar, silikon kaplamalı elyaf ve silikon kaplamalı elyafın yıkama sonrası).....	62
Şekil 2.5: PEDOT kaplamalı viskon elyafının yıkama dayanımı (öncesi / sonrası)	63
Şekil 2.6: Friksiyon (DREF) iplik eğirme prensibi	64
Şekil 2.7: İplik eğirilmiş hali (sol) / tek shieldex özlü fırınlanmış (ortadaki) / çift shieldex özlü fırınlanmış (sağdaki).....	65
Şekil 2.8: 165 °C' de fırınlanmış (sol)/ 180 °C'de fırınlanmış SEM görüntüsü65	65

Şekil 2.9 : Elektriksel iletkenlik-young elyaf modülü ile ilgili ashby grafiği: (gri yıldızlar) karbon fiberler, (mavi elmaslar) karbon nanotüpler, (sarı üçgenler) grafen, (kırmızı daireler) konjuge polimerler, (turuncu / beyaz daireler) konjuge ve yalıtıcı polimerlerin karışımları, (mavi / beyaz elmaslar) nanokompozitleri esas alınarak hazırlanmıştır. (yeşil / beyaz daireler) yalıtkan bir polimer matrisine gömülü karbon karası, karbon nanotüpleri veya grafen ve konjuge polimerler, karbon nanotüpleri veya grafen içeren tekstil elyaflarının kaplamalarıdır	68
Şekil 3.1: İlk aşama; çözeltiye grafit eklenmesi	74
Şekil 3.2: İkinci aşamada çözeltinin görüntüsü	74
Şekil 3.3: Son aşama.....	75
Şekil 3.4: Elde edilen grafen oksitin kurutulması.....	75
Şekil 3.5: Manganez (II) nitrat tetrahidrat ve sulu çözeltisi	77
Şekil 3.6: 1 / 3 / 4 / 7 Sa sonra renk değişimi	77
Şekil 3.7: Kobalt (II) nitrat heksahidrat ve sulu çözeltisi.....	78
Şekil 3.8: 1 / 3 / 4 / 7 Sa sonra renk değişimi	78
Şekil 3.9: Serigrafi baskıda kullanılan manyetik baskı makinası	79
Şekil 3.10: Kurutma ve fikse adımlarında kullanılan makinaların görüntüleri - sıcak pres (solda) / ramöz (sağda)	81
Şekil 3.11: Akrilat binder / grafen baskı patı prosesi-ramöz.....	83
Şekil 3.12: Poliüretan binder / grafen baskı patı prosesi - ramöz.....	84
Şekil 3.13: Akrilat ve poliüretan esaslı binder / grafen patı - ramöz uygulamaları (K: kurutma; F: fiksaj)	85
Şekil 3.14: Akrilat esaslı binder / grafen patı – sıcak pres makinasında sinterleme proses detayları	87
Şekil 3.15: Akrilat esaslı binder / grafen patı - sıcak pres uygulamaları (K: kurutma; F: fiksaj).....	88
Şekil 3.16: Poliüretan esaslı binder / grafen patının sıcak pres uygulama prosesi detayları	89
Şekil 3.17: Poliüretan esaslı binder / grafen patı - sıcak pres uygulamaları (K: kurutma; F: fiksaj).....	90
Şekil 3.18: Prowhite Stiffness dijital pnömatik sertlik cihazı.....	96
Şekil 3.19: Kalınlık ölçüm cihazı	96
Şekil 3.20: Spektrofotometre Data Color 600TM	97
Şekil 3.21: Prowhite su buharı geçirgenlik test cihazı.....	99
Şekil 3.22: LCR Meter Dual Display CHY 41R	101
Şekil 4.1: Akrilat Grafen baskı direnç ($k\Omega/cm$) ölçüm sonuçları-ramöz prosesi	104
Şekil 4.2: Akrilat / Grafen baskı direnç ($k\Omega/cm$) / sarılık (ΔYI) karşılaştırmalı ölçüm sonuçları (ramöz prosesi)	105
Şekil 4.3: Poliüretan esaslı binder / grafen baskı- direnç sonuçları-ramöz	108
Şekil 4.4: Poliüretan esaslı binder / grafen baskı ramöz uygulamaları direnç ($k\Omega/cm$) / sarılık (ΔYI) ölçüm sonuçları.....	109
Şekil 4.5: Akrilat esaslı binder / grafen baskı - direnç sonuçları - sıcak pres.	113
Şekil 4.6: Akrilat esaslı binder / grafen baskı – direnç ($k\Omega/cm$) / sarılık (YI) karşılaştırmalı ölçüm sonuçları	113
Şekil 4.7: Poliüretan binder grafen baskı direnç sıcak pres uygulamaları sonuçları.....	117
Şekil 4.8: Poliüretan binder grafen baskı direnç ($k\Omega/cm$) / sarılık (YI) ölçüm sıcak pres uygulamaları sonuçları.....	118

Şekil 4.9 : İlk bölümde uygulaması yapılan bütün deneklerin direnç ($k\Omega/cm$) sonuç karşılaştırma grafiği	120
Şekil 4.10: Uygulamaların yıkama öncesi ve 1 yıkama sonrası sarılık ΔYI ölçümlerinin karşılaştırması	129
Şekil 4.11: Uygulamaların yıkama öncesi ve 1 yıkama sonrası beyazlık değerlerinin karşılaştırması	130
Şekil 4.12: Uygulama kumaşlarının 1 yıkama ve 10 yıkama sonrası ΔE değerleri karşılaştırmalı grafiği	139
Şekil 4.13: Uygulama kumaşlarının yıkama öncesi ve 10 yıkama sonrası L^* (açıklık-koyuluk) değerleri karşılaştırmalı grafiği	139
Şekil 4.14: Uygulama kumaşlarının yıkama öncesi ve 10 yıkama sonrası K/S değerleri karşılaştırmalı grafiği	140
Şekil 4.15: Uygulamaların yıkama öncesi direnç ölçümlerinin karşılaştırmalı grafiği	142
Şekil 4.16: Uygulamaların yıkama öncesi ve 1-5-10 tekrarlı yıkama sonu direnç ölçümlerinin karşılaştırmalı grafiği	145

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1: Bazı malzemelerin (oda sıc.) yüzey dirençleri.....	12
Tablo 1.2: Metal monofilament liflerinin elektriksel özellikleri.....	15
Tablo 1.3: Doğası gereği iletken polimerlerin (katkısız) özellikleri	22
Tablo 1.4: Farklı polimerlerin nanokompozitlerin ve grafen türevlerinin elektriksel iletkenliklerine ilişkin literatür taraması	31
Tablo 2.1: Suya batırılmış iletken ipliklerin elektriksel direnci.....	66
Tablo 3.1: Kullanılan kumaşların özellikleri	69
Tablo 3.2: Kullanılan kimyasallar, kimyasal yapıları ve ticari isimleri	70
Tablo 3.3: Grafen, gümüş ve bakır nanopartiküllerinin fiziksel özellikleri	71
Tablo 3.4: Sentezlenen metalik tozlar, elde yöntemleri ve detayları	72
Tablo 3.5: Kullanılan kimyasal maddeler ve miktarları.....	73
Tablo 3.6: Mangan oksit eldesinde kullanılan malzemeler.....	76
Tablo 3.7: Kobalt oksit eldesinde kullanılan malzemeler	78
Tablo 3.8: Baskı şartları	79
Tablo 3.9: Akrilat esaslı baskı patının reçetesi	81
Tablo 3.10: Poliüretan esaslı baskı reçetesi	82
Tablo 3.11: Deney planı detayları-1	93
Tablo 3.12: Deney detayları (devamı)-2	94
Tablo 4.1: Akrilat grafen içerikli baskı patı çalışmaları (ramöz) ve ölçüm sonuçları.....	102
Tablo 4.2: Akrilat grafen baskı detayları-kumaş kodu-ramöz prosesi	103
Tablo 4.3: Akrilat binder esaslı grafen baskı – kalınlık ölçüm sonuçları	106
Tablo 4.4: Poliüretan binder / grafen içerikli baskı patı ramöz çalışmaları ve ölçüm sonuçları.....	107
Tablo 4.5: Poliüretan / grafen baskı direnç ($k\Omega/cm$) / sarılık (YI) ölçüm sonuçları.....	108
Tablo 4.6: Poliüretan binder / grafen baskı (ramöz) –kalınlık ölçüm sonuçları	110
Tablo 4.7: Akrilat binder / grafen içerikli baskı patı sıcak pres uygulaması ve ölçüm sonuçları.....	111
Tablo 4.8: Akrilat binder / grafen baskı sıcak pres uygulaması direnç ($k\Omega/cm$) / sarılık(YI) ölçüm sonuçları.....	112
Tablo 4.9: Akrilat/Grafen baskı kalınlık ölçüm sonuçları	114
Tablo 4.10: Poliüretan esaslı binder grafen içerikli baskı patı sıcak pres çalışmaları ve ölçüm sonuçları	115
Tablo 4.11: Poliüretan esaslı binder / grafen baskı sıcak pres uygulamaları direnç ($k\Omega/cm$) / sarılık (YI) ölçüm sonuçları	116
Tablo 4.12: Poliüretan binder grafen baskı kalınlık ölçüm sonuçları (sıcak pres)	119
Tablo 4.13: Farklı konsantrasyonlarda grafen içerikli baskı direnç ölçümleri	122
Tablo 4.14: Farklı konsantrasyonlarda gümüş içerikli baskı direnç ölçümleri	123
Tablo 4.15: Grafen(G) / Bakır(Cu) kompozit iletken baskı direnç ölçümleri.....	124

Tablo 4.16: Grafen (G) / Gümüş (Ag) kompozit iletken baskı direnç ölçümleri	124
Tablo 4.17: Grafen (G) / Mangan Oksit (MnO) kompozit iletken baskı direnç ölçümleri	125
Tablo 4.18: Grafen (G) / Kobalt Oksit (CoO) kompozit iletken baskı direnç ölçümleri	126
Tablo 4.19: Uygulamaların sarılık derecesi ölçüm sonuçları.....	127
Tablo 4.20: Uygulamaların beyazlık derecesi ölçüm sonuçları	128
Tablo 4.21: Uygulamaların kalınlık ve gramaj ölçümleri ve işlemsiz kumaşa göre gramaj artış yüzde değerleri.....	131
Tablo 4.22: Kumaşların yıkama öncesi/sonrası kalınlık ve gramaj değerleri ile yıkama öncesine göre % kalınlık-incelik değişimi	132
Tablo 4.23: Uygulama kumaşlarının sertlik değerleri.....	133
Tablo 4.24: Uygulama kumaşlarının yıkama öncesi ve 10 yıkama sonrası sertlik değerleri	134
Tablo 4.25: Uygulanan kumaşların su buharı geçirgenliği % indeksi	135
Tablo 4.26: % 10 Grafen (G) ramöz ve sıcak pres yıkama öncesi ve sonrası renk özellikleri	136
Tablo 4.27: % 10 Gümüş (Ag) ramöz ve sıcak pres yıkama öncesi ve sonrası renk özellikleri	137
Tablo 4.28: % 10 Grafen (G) / % 4 Gümüş (Ag) ramöz ve sıcak pres yıkama öncesi ve sonrası renk özellikleri.....	137
Tablo 4.29: Grafen (G) / Kobalt Oksit (CoO) ramöz ve sıcak pres yıkama öncesi ve 1, 5, 10 yıkama sonrası renk özellikleri	138
Tablo 4.30: Uygulanan kumaşların 1, 5 ve 10 tekrarlı yıkamalar sonrası gri skalaya göre renk değişim değerleri	141
Tablo 4.31: Uygulamaların yıkama öncesi ve 1 – 5 - 10 tekrarlı yıkamalar sonu direnç ölçümleri.....	143
Tablo 4.32: Kumaşları yıkama öncesi direnç değerlerine göre iletkenlik sıralaması	146
Tablo 4.33: Kumaşların 1 yıkama sonrası direnç ölçümlerine göre iletkenlik sıralaması	147
Tablo 4.34: Kumaşların 5 yıkama sonrası direnç ölçümlerine göre iletkenlik sıralaması	148
Tablo 4.35: Kumaşların 10 yıkama sonrası direnç ölçümlerine göre iletkenlik sıralaması	149

SEMBOL LİSTESİ

RFID	: Radyo frekansı ile tanımlama teknolojisi
E-tekstil	: Elektronik tekstil
PET	: Polietilen tereftalat
EMI	: Elektro manyetik koruma
PCM	: Faz değiştiren maddeler
μm	: Mikrometre
nm	: Nanometre
Cu	: Bakır
G	: Grafen
Ag	: Gümüş
Ni	: Nikel
CoO	: Kobalt oksit
MnO	: Mangan oksit
GO	: Grafen oksit
rGO	: İndirgenmiş grafen oksit
NH₃	: Amonyak
Sm/mm²	: Milimetrekarelik alandaki elektrik iletkenliği
DC	: Doğru akım gerilimi
V	: Volt
Ω	: Direnç (Ohm)
kΩ	: Kilo ohm (direnç)
mΩ	: Mega ohm (direnç)
10⁻⁶.K⁻¹	: Isıl direnç katsayısı
PBT	: Polibütülen tereftalat
AgNO₃	: Gümüş nitrat (gümüş tuzu)
ICP	: Doğal iletken polimerler (intrinsically conductive polymer)
p-Doplama	: Yükseltgen doplama
n-Doplama	: İndirgen doplama
PPy	: Polipirol
PT	: Politiyofen
PANI	: Polianilin
PA	: Poliasetilen
PEDOT	: Poli-3,4-etilendioksitiyofen
CNT	: Karbon nanotüp
CB	: Karbon siyahı
CNF	: Karbon nano elyaf
PVDF	: Polivinildenflorür
PP	: Polipropilen
NaSt	: Sodyum steanat
HDPE	: Yüksek performanslı polietilen
PA 6	: Poliamid 6.6
PBT	: Polibütülen tereftalat
PDMS	: Polidimetilsiloksan
PLA	: Polilaktik asit
PMMA	: Polimetil metakrilat
POM	: Polioksümetilen
σ	: Elektriksel iletkenlik

CVD	: Kimyasal buhar biriktirme
PECVD	: Plazma ile geliştirilmiş kimyasal buhar biriktirme
UV	: Ultraviyole
FeCl₃	: Demir (III) klorür,
EMI	: Elektromanyetik ışın
Ω/sq	: Yüzey direnci
CAGR	: Bileşik yıllık büyüme oranı (compound annual growth rate)
ALD	: Atomik tabaka biriktirme (atomic layer deposition)
SPE	: Serigrafi baskılı elektrot (screen-printed electrode)
WHMS	: Giyilebilir sağlık izleme sistemleri (wearable health monitoring systems)
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
PUA	: Poliüretan akrilat
FPCB	: Esnek baskılı devre kartı (flexible printed circuit board)
RPCB	: Rijit baskılı devre kartı (rigid printed circuit board)
ACF	: Anizotropik iletken film (anisotropic conductive film)
OCVD	: Oksidatif kimyasal buhar biriktirme (oxidative chemical vapor deposition)
cN/Tex	: Kopma mukavemeti
TMPTA	: Trimetilolpropan triakrilat
TPGAD	: Tripropilen glikol diakrilat
dk	: Dakika
s	: Saniye
sa	: Saat
C₂H₅OH	: Etilalkol
C₃H₈O₃	: Gliserin
H₂SO₄	: Sülfirik asit
H₂O₂	: Hidrojen peroksit
C₂H₆O₂	: Etilen glikol
KMnO₄	: Potasyum permanganat
MnN₂O₆*4 H₂O	: Manganez (II) nitrat tetrahidrat
Co(NO₃)₂*6 H₂O	: Kobalt (II) nitrat heksahidrat
Hz	: Hertz (frekans)
°C	: Derece Celsius (sıcaklık birimi)

ÖNSÖZ

Öncelikle tez konusunu seçerken isteklerimi göz önünde bulundurup bana yardımcı olan, tezin oluşumunda desteğini esirgemeyen, kıymetli bilgi birikimini, tecrübesini ve değerli zamanını paylaşan Bölüm Başkanı danışman hocam Sayın Prof. Dr. Osman Ozan AVİNÇ'e teşekkürlerimi arz ederim. Tezin laboratuvar uygulamalarında yardımlarını ve kıymetli bilgi birikimini esirgmeden her zaman destek olan Bölüm Başkan Yardımcısı Doç. Dr. Arzu ÖZERDEM YAVAŞ'a ve Dr. Görkem GEDİK hocama teşekkürlerimi bir borç bilirim. Diğer bütün üniversite hocalarıma beni gelecekte söz sahibi yapacak bilgilerle donattıkları için hepsine teker teker teşekkürlerimi sunuyorum. Mühendislik Fakültesi teknisyeni Hakan BİLGE Bey'e yardımları için teşekkür ediyorum. Teknoloji Fakültesi Biyomedikal Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Dr. Öğr. Üyesi Cumhuriyet Gökhan ÜNLÜ' ye verdiği bütün desteklerden ötürü teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans öğrenimi süresinde öğrenci değişim programı ile bir senelik süre zarfında bulunduğum Gheorghe Asachi Teknik Üniversitesi, Tekstil, Deri ve Endüstri Yönetimi Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü (Yaş, Romanya), kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. Radu-Doru CEZAR'a ve bölüm başkanı Sayın Prof. Dr. Mirela BLAGA'ya öncelikle okulun kapılarını bana açtıkları için, kıymetli bilgi ve tecrübeleriyle desteklerini esirgemedikleri için, literatür araştırma sürecinde okulun mevcut tüm imkânlarına erişebilmem konusunda sağlamış oldukları her türlü yardım için en derin saygı ve şükranlarımı sunarım.

Tez uygulamalarında kullanılan kumaşların teminini sağlayan Gamateks Tekstil A.Ş. işletme müdürü Sayın Suat KURAL ve arge bölüm çalışanı değerli arkadaşım Hatice DEMİR'e ve kimyasal temininde yardımını esirgemeyen Rudolf Group A.Ş. Sayın Hülya AYDEMİR'e teşekkür ederim.

Yüksek lisans öğrenimimde ve bu zorlu tez sürecinin her anında benden inancını ve desteğini bir an için bile esirgemeyen kıymetli eşim Çağla SARI'ya ve son olarak büyük bir özveriyle, beni bu günlere sevgi ve saygı kelimelerinin anlamlarını bilecek şekilde yetiştirerek getiren, benden hayatım boyunca hiçbir zaman inancını ve desteğini esirgemeyen bu hayattaki en büyük şansım olan başta babam Ali GÜLBAŞ, annem Nadiye GÜLBAŞ ve bütün aileme sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

1. GİRİŞ

Günümüzde “bilgi çağı” olarak nitelendirdiğimiz dönemde, bilime verilen önem giderek artmış, gelişen bilimsel çalışmalar ile hayatımızı kolaylaştıracak ürünler üretilmesi bilime verilen önemi daha da arttırmıştır. Gelişen teknoloji ile mevcut olan monolog sistemler/ürünler, hem birden fazla fonksiyonu bir arada yerine getirebilen hem de daha minimalist ve kullanışı basit ürünlere evrimleşmiştir (Çebi 2014; Kayacan ve Bulgun 2005).

İlk zamanlarda insanların örtünme ihtiyacı ile doğan tekstil, artık günümüzde bilim ve teknolojiyle harmanlanmış, insan ihtiyaçlarının farklılaşması ile de ihtiyaca yönelik ürünler de gelişmiştir. M.Ö. 9000’lerden başlayarak pamuk, yün gibi sadece bitkisel ve hayvansal olan doğal lifler kullanılırken, endüstri devrimi ile beraber yeni üretim teknikleri geliştirilmiş ve kayın ağacı, deniz yosunu gibi doğal hammaddelerden ilk olarak 1885 yılında nitrat ipeği, viskoz ipeği gibi yarı sentetik (rejenere) lifler üretilmeye başlanmıştır. Daha sonra laboratuvar koşullarında ilk defa 1939 yılında naylon (poliamid) sentezlenmiş ve sentetik liflerin üretimine bu şekilde başlamış devamında poliester, orlon gibi pek çok çeşitleri keşfedilmiştir.

Tekstil, günümüzde giyim, inşaat, tarım, askeri, tıbbi amaçlı ve daha pek çok alanda kendine kullanım yeri bulmuştur. Örneğin;

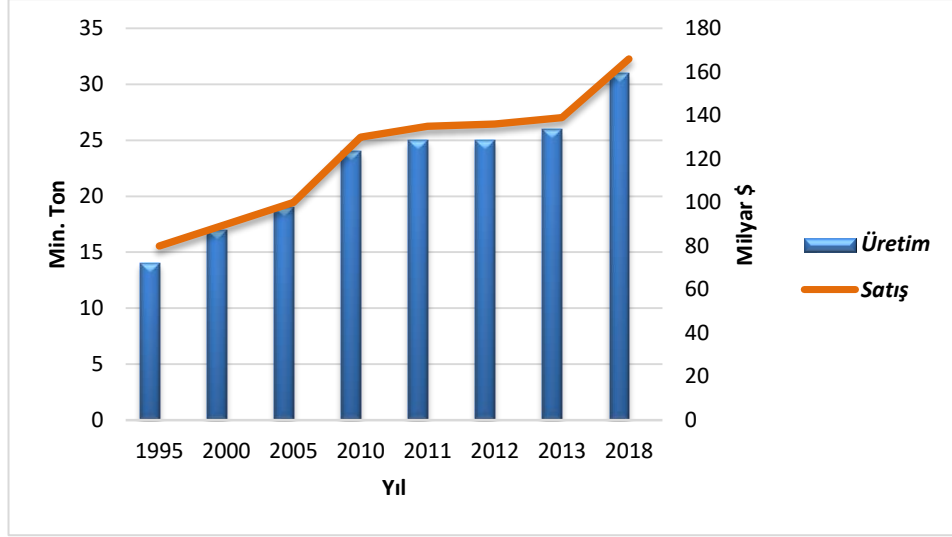
- Yüksek koruma gerektiren ağır şartlara sahip ortamlarda (endüstriyel/nükleer/askeri vb.) insan hayatını korumaya yönelik geliştirilen yangından-koruyucu güç tutuşur giysiler, biyolojik ve kimyasal koruyucu giysiler, patlamaya dayanıklı yelekler, radyasyondan koruyucu, ısıya dayanımlı giysiler veya balistik dayanımlı yelekler gibi *koruyucu tekstilleri*,
- Aktif sporculara yönelik, vücut terinin emilip, nemin uygun hızla penetrasyonun sağlanması ile kuruyarak vücut ısınısını dengede tutan kıyafetler ya da profesyonel bir yüzücünün daha hızlı yüzmesini engelleyen etkenlerden sürtünme faktörü minimuma indirilmiş yüzücü mayosu gibi pek çok çeşitlilikte ürünler, özellikle ortamın fiziki-hava koşulları aynı zamanda spor dallarına yönelik mevcut ihtiyaçlar da

dikkate alınarak geliştirilmiş *spor tekstilleri*,

- Ağır uzay koşullarına dayanabilen yüksek teknoloji *uzay tekstilleri* gibi insanların farklılaşan ihtiyaçlarına yönelik yeni ürünler üretilmektedir.

Giyim ürünleri dışında da farklı kullanım alanlarına doğru ürün çeşitliliği artmıştır, örneğin dış cephe, çatı, uçuş pistleri, stadyum uygulamalarına yönelik *inşaat tekstilleri*, ameliyat iplikleri, yara örtüleri, yapay organlar ve benzeri kullanıma yönelik *tıbbi tekstiler*, filtrasyon materyalleri, erozyondan koruma, topraktan su kaybının minimize edilmesi ve bitki köklerinin örtülerek herbisit kullanımının azaltılması gibi kullanımlara yönelik *ekolojik tekstiller* gibi. Son güncel gelişmeleri incelediğimizde ise çok daha teknolojik ürünlerle karşılaşabiliriz; soğuk havalarda ısıtma özelliğine sahip olan mont/eldiven kıyafetleri, insanların solunum, nabız gibi hayati fonksiyonlarını ölçen sensörlere sahip tekstil ürünleri veya size müzik dinletebilen bir ceket, işte bunlar geleceğin tekstil ürünleri olan ***elektronik tekstiller / akıllı tekstiller***dir. Bu evrimleşme sonucunda tekstil terimi yeniden irdelenmiş ve teknoloji ile harman olmuş tekstil ürünlerini “Teknik Tekstiller ve/veya Akıllı Tekstiller” olarak nitelendirilmesi daha uygun olan bu yeni terimler ile yeniden adlandırılmıştır (Akçalı 2016; Coşkun 2007; Karakan 2009; Mecit ve diğ. 2007; Şahinoğlu Ural ve Uygur 2015).

Teknik tekstillerin ticari yönden dünyadaki mevcut durumuna bakacak olursak Şekil 1.1’de de görüleceği üzere üretim hacmi ve satış hacmi özellikle son yıllarda hızlı bir artışa geçmiş önemli boyutlara ulaşmıştır. Tekstil ticaret dünyasında, katma değerli ürünün önemini fark eden özellikle ABD, Hindistan, Çin, Almanya gibi bazı gelişmiş ülkeler, kıymeti düşük-yükü ağır olan geleneksel tekstil üretimini üçüncü sınıf ülkelere bırakıp, katma değeri çok daha yüksek olan teknik/akıllı tekstillere yüzlerini çevirmişler ve üretim hacimlerini, yatırımlarını bu ürünler üzerine yönlendirmişlerdir.



Şekil 1.1: Dünya teknik tekstil üretim hacmi (Akçalı 2016)

1.1 Teknik Tekstiller

1939'da sentetik liflerin keşfi ile beraberinde teknik tekstillerin de yolu açılmıştır. Üretime ilk olarak yelken bezi ile başlanmış, *teknik tekstil* terimi olarak ise 1980'li yıllarda, estetik ve görsel özellikleri ikinci planda veya es geçilerek üretilen, öncelikli olarak ise performans özellikleri ve teknik yapıları için üretilen tekstil ürünleri, olarak açıklanmıştır. Daha önceleri ise *endüstriyel tekstil* olarak adlandırılmış, ancak gelişen ürün yelpazesi ve çeşitlilik sebebi ile bu terim yetersiz kalmıştır. Dolayısıyla bunun yerine daha kapsamlı olması için *teknik tekstiller* olarak yeniden adlandırılmıştır (Akçalı 2016; Mezarıcıöz ve diğ. 2018; Şahinoğlu Ural ve Uygur 2015).

Teknik tekstiller kullanım alanına göre 12 başlık altında listelenmiştir. Bunlar; Spor (Sportech), Tarım (Agrotech), Jeotekstiller (Geotech), Ambalaj (Pachtech), Giyim ve Ev (Homotech), Endüstriyel (Indutech), Koruyucu (Protech), Bina ve İnşaat Sektörü (Buildtech), Hijyen ve Tıbbi (Medtech), Taşımacılık (Mobiltech) ve son olarak da Ekolojik ve Çevre (Ecotech) Teknik Tekstilleri şeklinde tanımlanmıştır (UİB 2017).

1.2 Akıllı Tekstiller

Güç tutuşur yangından koruyacak bir itfaiye kıyafeti, su geçirmez/soğuktan koruyan bir kayak kıyafeti, radyasyondan koruyan bir hamile tişörtü veya hızlı kuruyarak aktif sporcunun kuru ve stabil ısıda kalmasına sağlayacak bir sporcu kıyafeti gibi teknik tekstil ürünlerine birkaç örnek verilebilmektedir. Bunlar ihtiyaca uygun en iyi performansı verebilecek şekilde tasarlanmış ürünler olarak tanımlanabilmektedir. Hepsi belirli, mevcut ortam şartları düşünülerek üzerinde çalışmalar-testler yapılmış ve o yönde teknik performans göstermesi planlanmış ürünleri oluşturmaktadır. Bunlar kesinlikle başarılı ve yararlı ürünlerdir. Fakat daha detaylı düşündüğümüzde bahsettiğimiz kayak kıyafeti dış ortamın değişken sıcaklığı ile vücut sıcaklığı arasındaki farkı ölçüp, algıladığı veriye göre ısıtma/soğutma fonksiyonunu değerlendirerek yerine getireme işlevine sahip değildir. Bunu sorguladığımız anda daha başarılı ve yararlı olabilecek tekstil ürünleri yapılabileceği akla gelmektedir.

“Akıllı tekstiller” terimi, akıllı veya akıllı malzemelerden türetilmektedir. “Akıllı malzeme” kavramı ilk kez 1989'da Japonya'da tanımlanmıştır. “Akıllı tekstil” olarak etiketlenen ilk tekstil malzemesi, şekil hafızasına sahip ipek iplikti. Bununla birlikte, 1960'larda şekil hafızalı materyallerin ve 1970'lerde akıllı polimerik jellerin keşfi genel olarak gerçek akıllı materyallerin doğuşu olarak kabul edilmektedir. 1990'lı yılların sonlarından önce tekstillerde akıllı malzemeler tanıtılmamıştı. İletişim tekstilleri ile ilgili ilk araştırmalar 1990'lı yılların sonlarında farklı laboratuvarlarda yapılmış ve ilk elektronik tekstil yarı iletken bileşenleri 2000'li yılların başlarında gerçekleştirilmiştir.

Peki, *akıllı tekstiller* tam olarak ne anlama gelmektedir? Çevreden gelen uyaranları algılayan, bunlara tepki veren ve işlevselliklerini tekstil yapılarına entegre ederek onlara uyum sağlayabilen tekstiller olarak tanımlanabilmektedir. Kimyasal solunum, yangına dayanıklı veya yüksek performanslı kumaşlar gibi gelişmiş malzemeler, ne kadar yüksek teknolojik olursa olsun, akıllı olarak kabul edilememektedir.

Akıllı tekstillerin ilk uygulamaları giyimde bulunabilmektedir. Akıllı giysi, sinyalleri algılayarak, bilgileri işleyen ve yanıtları harekete geçirerek etkileşimli

reaksiyonlar sağlayabilen yeni bir giysi özelliği olarak tanımlanmaktadır. Tepki gibi uyarıcı da elektriksel, termal, kimyasal, manyetik veya başka bir kökene sahip olabilmektedir. Spor yapan kişinin kalp atış, solunum, terleme yüzdesi, vücut ısısı gibi aktif vücut verilerini anlık ölçerek tepki veren ve bu verileri RFID ile telefondaki uygulamaya veri paylaşan spor kıyafetleri, akıllı tekstil ürünlerinin daha ilk emeklemeleri olarak sayılabilmektedir (Coşkun 2007; S. C. Das ve diğ. 2013; Klein ve diğ. 2018; Şahinoğlu Ural ve Uygur 2015).

Akıllı tekstiller, uyarıcı denilen çevresel koşullar için aktif bir kontrol mekanizması ile algılayabilen ve tepki verebilen tekstildeki materyaller ve yapılardan oluşmaktadır. Uyarıcılara cevaben elverişli bir şekilde mekanik özelliklerinde (şekil, renk ve sertlik gibi) veya termal, sermaye veya elektromanyetik özelliklerinde önemli değişiklikler gösterme yeteneğine sahip olmaktadır. Farklı cihazlar ve sensörler, aktüatörler, elektronik cihazlar gibi materyallerden oluşan sistemlerdir. Örneğin, elektromanyetik sinyaller aldıklarında ışık veren iletken polimerlerden yapılmış giysiler veya fizyolojik rahatlığı sağlamak için giysilerin yüzey sıcaklığını düzenleyen (ısıtan/soğutan) kumaşlar gibi ürünler bulunmaktadır (Das ve diğ. 2013).

Tekstilin insanlarda albeni yaratan rahatlık, yumuşaklık, esneklik hissini bozmadan, tamamen tekstil materyalleri ile üretilmiş *elektronik-akıllı tekstiller*, geleceğin ürünleri olacağı düşünülmektedir. Kıyafetler kişisel, rahat, vücuda yakın ve hemen hemen her yerde ve her zaman kullanılmaktadır. Kıyafet, fizyolojik özelliklerimizin bir uzantısı gibi vücuda çok yakın bulunmakta ve kolayca samimi bir insan-makine hissiyle etkileşimi sağlayabilmektedir. Kıyafetiniz, elbiseniz veya ceketiniz bir iletişim aracı, bir bilgi platformu olabilmektedir. Ayrıca güvenlik veya bazı çalışmalarda yardım sağlayabilmektedir. Çok işlevli değerlerin bu kadar ortak kullanımı olan tekstil gibi bir malzemeye dahil edilmesi, son yıllarda önemli bir ilgi alanı haline gelmektedir. Tekstil malzemeleri ve üretim teknikleri, yüksek teknolojiye yenilikler için önemli bir yol haline gelmektedir. Akıllı tekstiller kimya, bilgisayar bilimi ve mühendisliği, tekstil tasarımı ve teknolojisi, malzeme bilimi, fizik gibi pek çok farklı disiplinin bir araya geldiği bir araştırma alanıdır. Tekstilin avantaj özelliklerini koruyarak, bilgi işlem teknolojileri ile tekstilin birleşiminden zamanla pek çok akıllı tekstil ürünü üretileceği tahmin edilmektedir. Akıllı tekstil ürünlerinin şuanda önemli bir çoğunluğu prototip aşamasındadır. Gelecekte üretilecek akıllı

giysiler ve giyilebilir teknolojiler artık tamamen hayal gücünün elindedir (Chika ve Abiola Adekunle 2017; Coşkun 2007; Norstebo 2003; Şahinoğlu Ural ve Uygur 2015).

1.2.1 Akıllı Tekstillerin Sınıflandırılması

Genel olarak, akıllı tekstiller tarafından algılanabilen farklı parametreler mevcuttur. Bunlar; *termal, mekanik, kimyasal, elektriksel, manyetik ve optik* parametreleridir. Akıllı tekstiller üç sınıfa ayrılır:

1. *Pasif akıllı tekstil*; Bunlar, yalnızca çevredeki veya herhangi bir uyarandaki bir değişikliği algılayan materyallerdir.
2. *Aktif akıllı tekstil*; Bu malzemeler, ortamda bir değişiklik/bozulma olduğunda algılar ve tepki göstermektedir. Aktivatör (harekete geçirici) ve buna bağlı sensörler ile donatılmaktadır. Önceden belirlenmiş bilgilere göre, kontrol ünitesinden işlemleri yapmaktadır.
3. *Ultra akıllı tekstil*; Bu malzemelere ayrıca *çok akıllı tekstiller* de denmektedir. Algı/tepki fonksiyonuna ek olarak, beyin gibi çalışabilecek bir üniteye sahiptir. Bunun sayesinde, çevresel bozulmalara veya alınan sinyallerdeki herhangi bir varyasyona kendilerini adapte etme yeteneğine sahiptirler. Temel olarak aktivatör ve sensör donanımlarına sahip olup, önceden tanımlanmış tüm programların bulunduğu bir beyin görevi gören merkezi bir işlem biriminden oluşmaktadırlar (Chika ve Abiola Adekunle 2017; Erol ve Çetiner 2017; Sahito ve Khatri 2017; Uçar 2006).

Yukardaki sınıflandırma genel olarak kabul görmüş, fazla spesifik olmayan basit ve genel bir sınıflandırma çeşididir. Almanya Hohenstein Araştırma Enstitüsü'nün yapmış olduğu sınıflandırma ise 5 başlık altında toplanarak, daha detaylı bir sistem üzerinde incelenmektedir. Bunlar;

1. *Transfer Sistemleri (Transfer Systems)*: Mikro/nanokapsüller ile donatılmış tekstil yüzeyi herhangi bir nem, ısı veya basınç gibi bir etkiye maruz kaldığında bazı aktif maddeler yayarak tepki vermekte böylece özellikle tıbbi alanlarda hızlı ve kolay tespitlere yardımcı olabilmektedir.

2. *Adapte Olabilen Sistemler (Adaptive Systems)*: Bu sistemler değişken çevre şartları ile vücut arasındaki dengeyi korumak için mevcut duruma adapte olarak ortamı stabil tutabilen yapılara sahiptir. İlk olarak astronotları, ağır uzay şartlarındaki ani ve yüksek ısı değişimlerinden korumak amaçlı özel uzay kıyafetleri üretilmektedir. Günümüzde spor tekstilleri alanında da pek çok geliştirilmiş ürünler mevcuttur.
3. *Akıllı Giysiler (Smart Clothing)*: Bu başlık altında toplanan ürünler tekstil ile elektronik elemanların birbirlerine harman edilerek oluşturulmuş ürünleri kapsamaktadır. Hayati verileri ölçerek kablosuz iletişim yolu ile sistemi bilgi altında tutabilen veya GPS özelliği ile kayak sporuyla uğraşan biri kaza yaptığında, uydudan konumunun bulunmasını sağlayan akıllı kayak kıyafeti bu gruba örnek olarak verilebilmektedir.
4. *Aktarıcı Sistemler (Transponder Systems)*: Bu sisteme sahip ürünler, RFID yani radyo frekans alanları veya lazer kodları kullanılarak tekstil ürünlerine bilgi yüklenmesinin/düzenlenmesinin mümkün olmasını sağlamaktadır.
5. *Mikroteknoloji ve Nanoteknoloji*: Mikroteknoloji ve nanoteknoloji alanındaki gelişmeler sayesinde minyatürize edilmiş elektro-tekstil malzemeleri (elektronik parçalar/sensörler) ile donatılarak geliştirilmiş tekstil ürünleri bu sınıfa girmektedir (Sünter 2011).

Son olarak akıllı tekstiller nihai ürüne göre de gruplara ayrılabilir:

- Kromik malzemeler
- Şekil hafızalı materyaller
- Akıllı kaplama malzemeleri
- Kimyasal duyarlı malzemeler
- Mikro kapsüller
- Nano malzemeler
- Faz değiştiren (PCM) maddeler
- Elektronik / İletken malzemeler (Chudasama 2014; Norstebo 2003).

1.2.2 Akıllı Tekstil Sistemi Oluşturmak İçin Gereken Araçlar

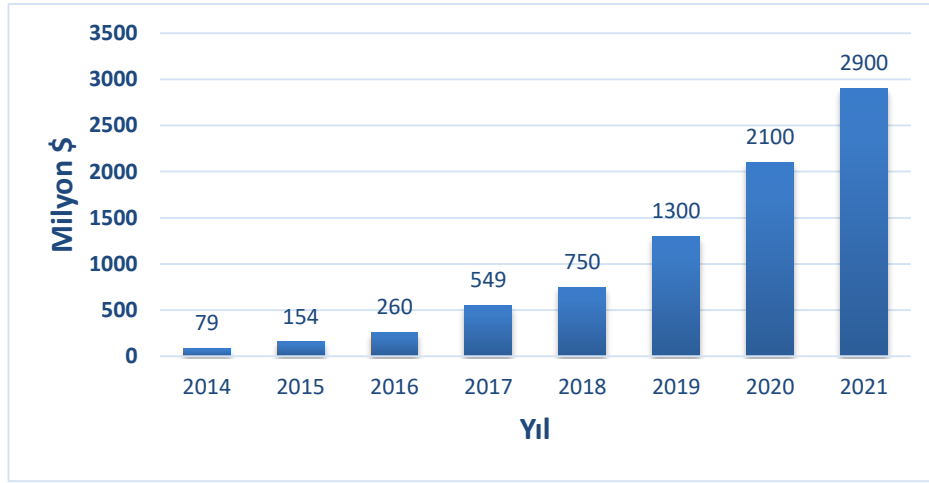
Akıllı bir tekstil sistemi Algılayıcı, Aktüatör, Güç Kaynağı, İletişim, Veri işleme ve Ara bağlantı işlevlerinden birkaçı veya hepsi kullanılarak tasarlanabilmektedir.

- **Algılama:** Akıllı tekstil ürünü algılama (sensör) fonksiyonu sayesinde ortam koşullarındaki değişimleri hissedebilmekte ve algılayabilmektedir. Bu sensörler, konum, hız, ısı, nem veya basınca karşı duyarlıdır ve ortamı algılayarak elektrik sinyallerini üretmektedir.
- **Aktüatör:** Akıllı tekstildeki aktüatörler, sensörden gelen sinyale yanıt vermektedir. Elektriksel etkin polimerler ve şekil hafızalı polimer, giysilere entegrasyon için bir aktüatör olarak kullanılmaktadır.
- **Güç kaynağı:** Esnek güneş pilleri, mikro yakıt hücreleri, esnek piller veya vücut hareketini elektrik enerjisine dönüştüren malzemeler sayesinde elektrik kaynağı sağlanabilmektedir.
- **İletişim:** Elektro-iletken tekstiller, giysilere kolayca entegre edilebilecek esnek antenler üretmenin bir yolunu sunmaktadır.
- **Veri İşleme:** Şimdiye kadar tekstilden yapılmış bir veri işleme birimi mevcut değildir. Elektronik cihazlar hala bir hesaplama sağlamak için gerekmektedir.
- **Ara Bağlantı:** Akıllı bir tekstil sistemini oluşturan farklı bileşenler arasındaki ara bağlantı, esas olarak bir iletim yapısını oluşturmak için kumaşın yapısına iletken iplikler dokuma, örme veya nakış olarak eklenebilmekte ya da son zamanlarda üzerinde yoğun çalışmalar yapılan iletken baskı teknolojileri gibi yeni teknikler kullanılarak da elde edilebilmektedir (Chudasama 2014).

1.2.3 Akıllı Tekstil Pazarının Gelişimi ve Gelecek Öngörülleri

Aşağıdaki grafik, akıllı tekstil pazarındaki mevcut ve olası büyüme tahminlerini göstermektedir. Gelecek yıllarda akıllı tekstillere talep hızla artacak, basit-ucuz-seri üretim teknikleri geliştirildikçe, akıllı tekstiller günlük hayatımızda daha çok yer edinecektir. Şekil 1.2'deki grafikte de görüldüğü üzere, akıllı

tekstillerin hayatımızın vazgeçilmez bir parçası olma yolunda hızlı ve emin adımlarla ilerlediği şimdiden görülebilmektedir.



Şekil 1.2: Akıllı tekstil pazarının mevcut ve beklenen gelişimi (Klein ve diğ. 2018)

1.3 Elektronik Tekstiller

Günümüzde elektronik tekstiller ve giyilebilir elektronikler, uzay, savunma sanayi, medikal/sağlık, spor veya eğlence/moda gibi çok geniş ürün yelpazesi boyunca uzanmaktadır. Minyatürize edilmiş elektronik malzemelerin tekstile adaptasyonu ile çok geniş kullanım potansiyeline sahip birbirinden çok farklı amaçlara hizmet eden ürünler geliştirilmektedir. Başlangıçta karşılaşılan en büyük problem, entegre edilen elektrik elemanlarındaki boyutsal uygulanabilirliği, ağırlığı, rijit yapısı ve buna bağlı olarak da kullanım esnasında ergonomik açıdan pek uygun olmaması olarak görülmektedir. Bu dezavantajı ortadan kaldırmak amacıyla e-tekstil ürünlerinin üretim yöntemlerinde malzemelerin kumaşa aplikasyonunda pek çok yeni üretim yöntemleri geliştirilmiştir/geliştirilmektedir. Kumaşın esneyebilen, yumuşak, konforlu yapısını bozmadan iletken hatların oluşturulması mevcut yöntemlerin (galvanik kaplama, nakış, özlü iplikler, püskürtme işlemi vb. gibi) dışında, mürekkep (ink-printing) veya nanokimyasal içeren baskı patının, serigrafî baskı (screen-printing) yöntemi ile daha basit yöntemlerle kumaşa kazandırılması gibi çok yeni yöntemler üzerinde çalışmalar yapılmakta hatta piyasaya bakıldığında yüksek fiyatlı olsa da birkaç firma şimdiden bu ürünlerin üretimine küçük miktarlarda başladığı

görülmektedir. Tabi ki bu ürünler henüz gelişim aşamasında bulunmaktadır (Bedeloğlu Çelik ve diğ. 2017; Erdumlu ve Sarıçam 2015; Üner ve Gürcüm 2014).

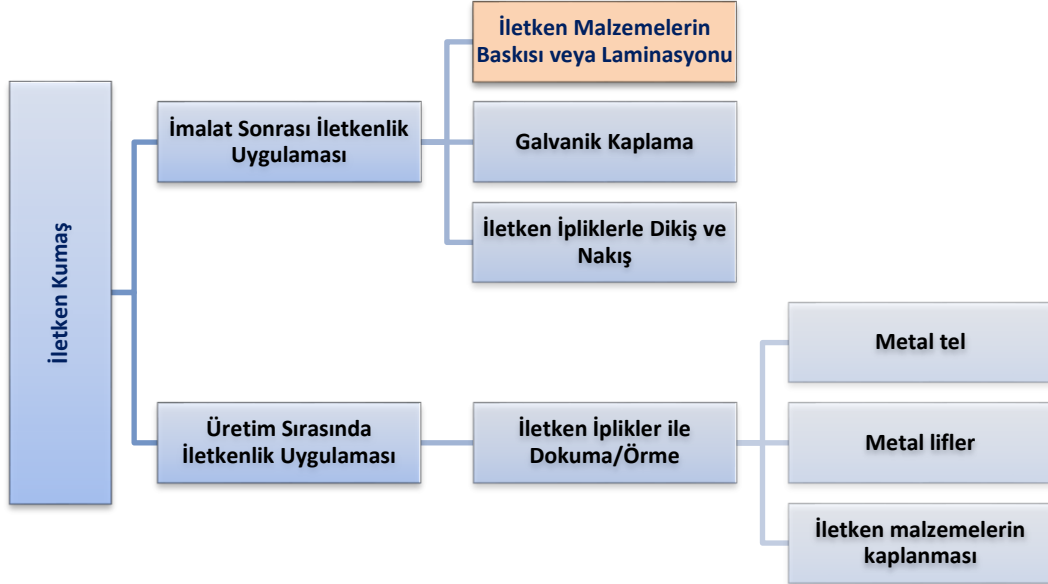
1.4 Elektrik İletkenliği Konusunda Genel Bilgi

Genel olarak maddeler iletken özellikleri yönünden değerlendirildiğinde, yarı iletken, iletken ve yalıtkan özellikli olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır. İletkenlik, malzemenin atomik yapısında bulunan elektronlarının sayısı ve bu yüklerin hareketliliğinin enerji düzeyine bağlı olmaktadır. Yalıtkanların atomik yapısındaki elektronlar birbirine sıkı bir şekilde bağlı olduklarından, elektronların hareketi-akışı neredeyse hiç olmamaktadır. Bu malzemeler yük akışına karşı yüksek şekilde direnç göstermektedir. İletken bir yapıya sahip olmak için serbest dolaşım elektronlarına ihtiyaç vardır. Bu yapıya sahip olan metaller serbest olan dış elektronlarının alışveriş/dolaşımında serbest olmaktadır. Yarı iletkenler ise, normal şartlar altında yalıtkan yapıda yani elektriği iletmezken, dış bir etkiye maruz kaldığında iletken özellik gösterebilen fakat bu etki kesildiğinde tekrar eski haline dönen malzemelerdir (Yıldırım 2014).

Elektik kanunlarının formülleri üzerinden kısaca anlatırsak, maddenin öz direnci düştükçe, kesiti arttıkça ve boyutu azaldıkça direnci de o kadar azalmaktadır. Bir maddenin direnci ne kadar küçükse (geçebilecek akım miktarı artacağı için) madde o kadar iyi iletken özellik göstermektedir. Bakır iyi bir iletken olmasına rağmen inceltmiş kablo formu kullanımında ısınmalara sebep olmaktadır. Günümüzde minimal ölçülerde üretimin önemi gitgide arttığı için bu dezavantaj yaratmaktadır. Oysaki grafenin kullanımında böyle bir problem yaşanmamaktadır. Bu ve pek çok avantaj özelliklerinden dolayı gün geçtikçe grafene verilen önem de artmaktadır (Bedeloğlu Çelik ve diğ. 2017; Yıldırım 2014).

1.5 Elektronik Tekstil Üretim Yöntemleri

Tekstil malzemelerine gerekli elektriksel iletkenliği sağlamanın çeşitli yöntemleri vardır. Şekil 1.3'te kumaş imalat işleminden önce ve sonra elektriksel iletkenlik sağlama yöntemleri genel olarak gösterilmektedir.



Şekil 1.3: Kumaşlarda iletkenliği sağlama teknikleri (Sahito ve Khatri 2017)

1.5.1 Elektriksel Olarak İletken Lifler

Elektriksel olarak iletken lifler, doğal yapısı itibariyle elektriği iletebilen lifler yani *doğal iletken lifler* ve yapısında iletkenlik özelliği bulunmayan ancak bazı uygulamalar sayesinde iletkenlik özelliği kazandırılmış olan *sonradan iletkenlik kazanan lifler* olmak üzere iki grupta incelenmektedir.

Tablo 1.1'de bazı maddelerin ölçülen yüzey dirençleri gösterilmektedir.

Tablo 1.1: Bazı malzemelerin (oda sıc.) yüzey dirençleri (Kadoğlu ve Duran, 2012)

Malzeme	Yüzey Direnci ($\Omega.m$)
Gümüş	1.59×10^{-8}
Bakır	1.68×10^{-8}
Altın	2.44×10^{-8}
Alüminyum	2.82×10^{-8}
Kalsiyum	3.36×10^{-8}
Tungsten	5.60×10^{-8}
Nikel	6.99×10^{-8}
Demir	1.0×10^{-7}
Platin	1.06×10^{-7}
Kalay	1.09×10^{-7}
Kurşun	2.2×10^{-7}
Mangan	4.82×10^{-7}
Civa	9.8×10^{-7}
Karbon	3.5×10^{-5}
Germenyum	4.6×10^{-1}
Silikon	6.40×10^2
Cam	$10^{10} - 10^{14}$
Sert Kauçuk	10^{13}
Sülfür	10^{15}
Parafin	10^{17}
Quartz	7.5×10^{17}
PET	10^{20}
Teflon	$10^{22} - 10^{24}$

1.5.1.1 Doğal İletken Lifler

Metalik iplikler, naylon ve rayon ipliklerin keşfinden binlerce seneden evvel üretilmiş ilk suni ipliklerdir. The Dobeckmum Company ilk modern metalik lifi 1946 da üretmiştir. Metalik lif olarak kullanılmış en temel lif alüminyumdur (Çukul 2013).

Başlangıçta, iletken iplikler çoğunlukla, temiz oda giysileri, askeri kıyafetler, tıbbi uygulamalar ve elektronik üretimi gibi teknik alanlarda kullanılmıştır. Günümüzde antistatik uygulamalar, elektromanyetik koruma (EMI), elektronik uygulamalar, kızılötesi emme veya koruyucu giysiler gibi çeşitli alanlarda kullanılabilir (Matteo Stoppa ve Chiolerio 2014).

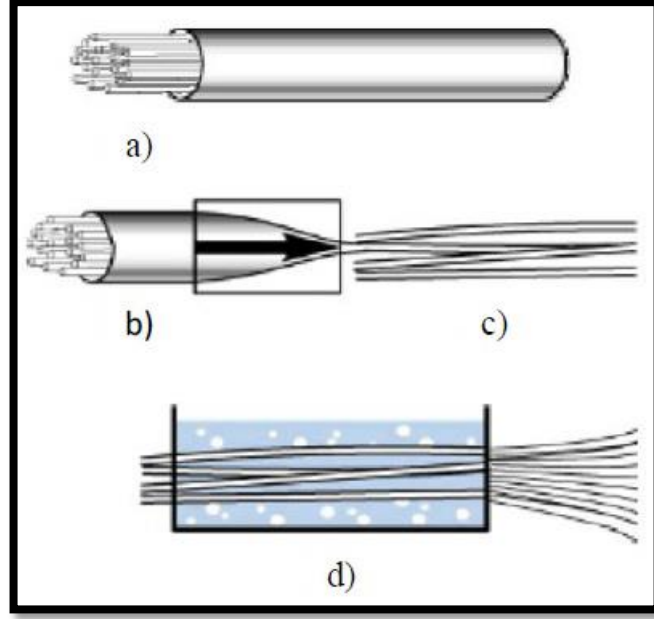
Metal lifler; demir alaşımları, nikel, paslanmaz çelik, titanyum, alüminyum ve bakır gibi iletken metallere üretilmektedir. Metal fiberler 1 ila 80µm arasında değişen çaplarda çok ince filamentlerdir (Xue ve diğ. 2005).

Metal lif üretmek için kullanılan geleneksel işlem, mekanik bir üretim işlemi olan tel çekmedir. Bu işlem, kaba, orta, ince ve sıralı taraklama adı verilen çeşitli adımlarla karakterize edilmektedir.

Elyafın çekilmesinde kullanılan çekme kalıbı, çekirdeği karbür, elmas veya seramikten yapılmış çelik bir kalıptan oluşmaktadır. Metal telin başlangıç çapı, malzemeye bağlı olarak değişmektedir. Örneğin, bakır için genellikle 8 mm, demir için ise 5 mm'dir.

Çekme işleminden sonra, tel 600 °C ila 900 °C arasındaki sıcaklıklarda tavlama daha sonra söndürülmektedir. İnce metal tel daha sonra dönmekte ve tel çekme silindire sarılmaktadır (Matteo Stoppa ve Chiolerio 2014).

Şekil 1.4'te de görüleceği üzere, metal lif çekiminin diğer yöntemlerinden biri olan "demetten çekim (bundle-drawing) yöntemi" şekil üzerinden anlatılmaktadır.



Şekil 1.4: Demetten çekim (bundle-drawing) yöntemine ait açıklamalı a), b), c) ve d) üretim yöntem adımları (Matteo Stoppa ve Chiolerio, 2014)

- a) 1000-2000 adet çekilmiş tel birleştirilip, demir silindir boru içinde çekilmektedir;
- b) Demir silindir yolunun sonuna doğru çaptaki azalma sayesinde lif demetlerinin çekimi gerçekleşmektedir;
- c) Çekilen liflerin demetlenmesi sağlanmaktadır;
- d) Asidik banyoda, liflerin üzerindeki artıklardan kurtularak serbest kalması(katıdan özütlenme) gerçekleşmektedir (Sünter 2011).

İsviçreli Elekrisola Feindraht AG firması (Escholzmatt, İsviçre) metal üretmektedir. Bu ürünler, türlü elyaf ile harmanlanabilen veya doğrudan dokuma ve örmede kullanılabilen monofilamentlerdir.

Tablo 1.2’de de görüleceği üzere kullanılan hammaddeye göre ürünlerin farklı elektriksel özellikleri ölçülmüştür.

Tablo 1.2: Metal monofilament liflerinin elektriksel özellikleri (Matteo Stoppa ve Chiolerio, 2014)

Metal Türleri	Elektrik Özellikleri				
	İletkenlik [S·m/mm ²]	Direnç [Ω·mm ² / m]	Isıl Direnç Katsayısı [10 ⁻⁶ K ⁻¹]		
			Min.	Ort.	Maks.
Cu	58.5	0.0171	3900	3930	4000
Cu / Ag	58.5	0.0171	3900	4100	4300
Ag %99	62.5	0.0160	3800	3950	4100
Ag Cu	57.5	0.0174	3800	3950	4100
Bronz	7.5	0.1333	600	650	700
Steel 304	1.4	0.7300	-	1020	-
Steel 316L	1.3	0.7500	-	1020	-

Metal iplikler iyi iletkenlik sağlamaktadır. İnce metal tellerden meydana gelmekte ve kumaş örülebilir veya dokunabilmektedir. Yüksek iletkenliğe sahip olmasına rağmen, metalik lifler pahalı, kırılmalı ve çoğu tekstil elyafından daha ağırdır ve homojen karışımlar üretilmesini zorlaştırmaktadır. Dolayısıyla metalik ipliğin giysiye entegrasyonunun bazı sakıncaları bulunmaktadır. Çoğu tekstil elyafından daha ağır, daha sert-kırılmalı olması ve yeterince esnek olmaması kullanıcılar için rahatsız edici durumlar oluşturabilmektedir. Metal ipliklerin işlenmesi zordur ve üretim ekipmanını aşındırabilmektedir.

Atletik kumaşlardaki bu iplik türleri, komşu iletken lifler arasında kısa devre olmasına neden olabilecek aşınma ve neme maruz kalmaktadır. İletken ipliklerin yalıtımlı esnek bir polimerle kaplanması bu sorunu bir dereceye kadar çözebilmektedir. Gümüş kaplı poliamid ipliği olan ELITEX ipliği, ticari bir örnek olarak verilebilmektedir (Memarian ve diğ. 2019; Xue ve diğ. 2005).

1.5.1.2 Sonradan İletkenlik Kazanan Lifler

Metal teller, tekstil yapılarına entegre edildiklerinde veya metal tellerin ve konvansiyonel ipliklerin kombinasyonlarından ipliklerin hazırlandığı durumlarda bile, bir yandan elde edilen kumaşın özellikleri üzerinde özellikle konfor açısından olumsuz bir etkiye sahip olmakta ama diğer yandan da en yüksek iletkenliği sağlamaktadır. Metal liflerin işlenmesindeki zorluklar ve kullanım esnasındaki sıkıntılar gibi dezavantajlar sebebiyle, pek çok farklı türde iletken lif üretim yöntemleri geliştirilmektedir (Möhring ve diğ. 2006).

1.5.1.2.1 Metal Oksit ve Metalik Tuzlar İle Kaplama

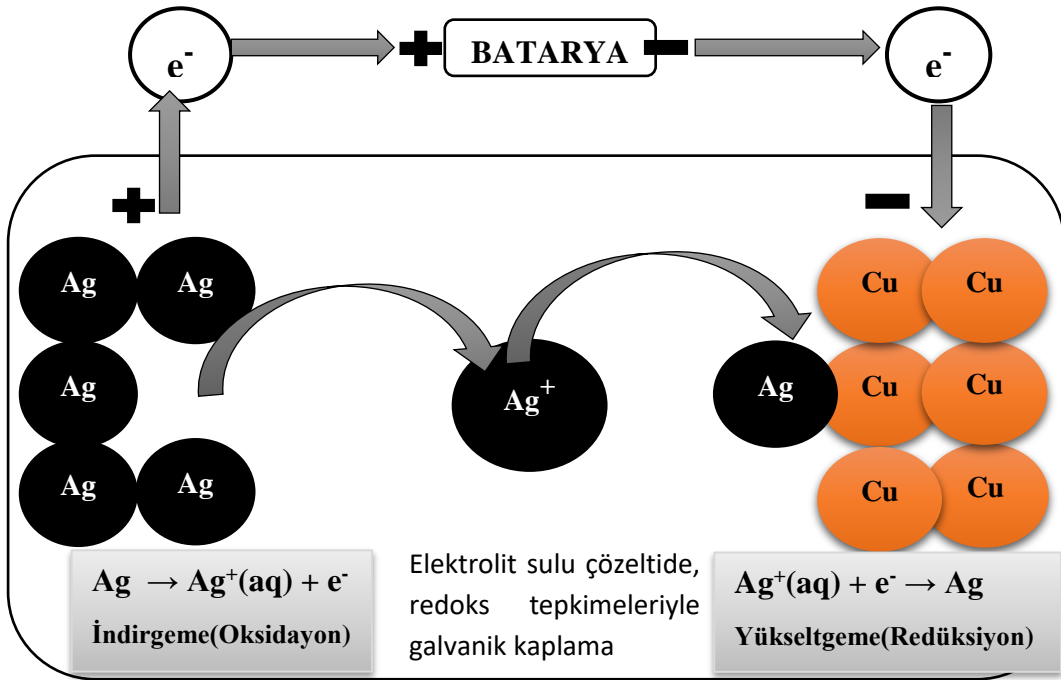
İletken metallerle kaplanan liflerde uygulanan ticarileşmiş yöntemler iki genel metoda göre üretilmektedir (Xue ve diğ. 2005). Bunlardan birincisi *kimyasal kaplama*; metal tuzları içeren banyoda liflerin daldırılması daha sonra indirgenerek metalik tozun lif yüzeyinde kalmasının sağlanması esasına dayanmaktadır (Kayacan ve Bulgun 2005). Metalik tuz kaplamalarının ise iletkenlik açısından bazı sınırlamaları vardır. Geleneksel tekstil üretiminde, elyaf ve filamentler veya parçacıklar biçimindeki metal bileşenler genellikle koruyucu ve antistatik koruma gibi teknik uygulamalar için kullanılmaktadır. Örneğin; iş elbiseleri, tozsuz giysiler, okul üniformaları, elbise elbiseleri, kazaklar, halılar, bakteriyostatik uygulamalarda (hazır giyim ve mobilyalar için) döşemeler, araba koltukları, battaniyeler, perdeler ve statik olmayan fırçalar gibi alanlarda kullanılmaktadır (Paradiso ve diğ. 2014).

Diğeri ise reçine kaplı iletken parçacıklarla kaplama yöntemidir; metalik partikülleri yüksek konsantrasyondaki bir reçine içinde dağıtarak, daha sonra liflerin yüzeyine kaplanması ve kürlenmesi şeklinde uygulanmaktadır. Yarı iletken metal oksitler genellikle neredeyse renksizdir, bu nedenle liflerde iletken elemanlar olarak kullanılmalarının, iletken karbon kullanımından daha az görünürlük sorunlarına yol açabileceği düşünülmektedir. Oksit partikülleri; yüzeylere emdirilebilmekte, öz-kılıf liflerine dahil edilebilmekte veya liflerin yüzey tabakasındaki malzeme ile kimyasal olarak reaksiyona girerek yapıya dahil edilebilmektedir. İletken lifler, liflerin bakır sülfür ve bakır iyodür gibi metal tuzları ile kaplanmasıyla da üretilmektedir. Metalik kaplamalar ile yüksek iletken lifler üretilmektedir; ancak adhezyon ve

korozyon direnci gibi problemler ortaya çıkmaktadır (Xue ve diğ. 2005). EMR koruma sağlamak amacıyla, nano demir oksitlerin PBT'ye eriyik aşamada eklendiği bir çalışmada, yapılan modifiye iletken PBT ipliğinde mukavemet değerlerini düşmesine sebep olduğu saptanmaktadır (Eren ve Ulcay 2015).

1.5.1.2.2 Galvanik Maddeler İle Kaplama

Elektro-biriktirme veya elektrolit kaplama olarak da bilinen bu metod, elektriksel olarak iletken tekstil (iplik/kumaş) malzemelerini, elektrik akımı vasıtası ile gerçekleşen bir dizi redoks tepkimeleri sayesinde metal parçacıklarla substratın yüzeyinde ince bir tabaka oluşturacak şekilde kaplanması esasına dayanmaktadır (www.swicofil.com; DeWitt 2017).



Şekil 1.5: Galvanik/elektro-kaplama proses şeması (DeWitt 2017)

Şekil 1.5'teki şemada uygulama esasının şeması görüldüğü üzere, akım kaynağı oluşturacak bataryanın anot (pozitif) ucuna kaplamayı sağlayacak metal metaryal (gümüş, kadmiyum, krom, bakır, altın, demir, nikel çinko vb.), katod (negatif) ucuna ise üzeri kaplanması istenen iletken iplik/ iletken kumaş (substrat) bağlanır. Saf su veya $AgNO_3$ gibi oluşacak redoks tepkimelerine balans sağlayacak

metal tuzları çözdürülmüş elektrolitik bir hücrede uygulama gerçekleşmektedir. Anot uca bağlanan metal parçacık okside olarak elektron kaybeder, batarya ile iletilen elektron ile substrat yüklenmektedir. Substratın negatif yüklenmesi ile sulu çözeltide iyon halinde bulunan artı yüklü metal iyonu substrata doğru yönelir. Gümüş iyonu substratta bulunan negatif yük ile yükseltgenerek substratın yüzeyine tutunmaktadır. Bu şekilde ardı arda gerçekleşen redoks tepkimeleri silsilesi ile kaplanmasını istediğimiz substratın yüzeyinde ince metal tabaka biriktirilmiş olmaktadır. Bu yöntem sadece iletken lifler üzerinde kaplama yapmaya olanak sağlayabilmekle birlikte, ucuz bir kaplama yöntemidir (www.swicofil.com; DeWitt 2017 ; Möhring ve diğ. 2006; Gimpel ve diğ. 2004).

1.5.1.2.3 Vakum Sprey İle Kaplama

Vakumlu ortamda kaplama malzemesi metalin ısı ile buharlaştırılarak, metalik buharın gaz molekülleriyle taşınması ve vakum altında kaplanacak ürünün yüzeyinde yoğunlaştırılması esasına dayanan kaplama işlemidir. Homojen bir dağılım elde etmek ve solüsyon özelliklerini değiştirerek prosesi kontrol altında tutmak mümkündür. Kullanılacak kaplama malzemesi katı veya herhangi formda ve saflıkta kullanılabilir (www.swicofil.com ; Ersoy 2012).

1.5.1.2.4 İletken Esaslı Polimerler İle Kaplama

Polimerler ilk keşfedildiklerinden itibaren yalıtkanlık özellikleri iyi olarak bilinen malzemeler olması, bunun yanında da işlenebilirlik, esneyebilirlik, hafiflik, estetik ve kimyasal açıdan inert olması gibi ek avantajları sayesinde genellikle kablo kullanımlarında koruyucu kılıf olarak önemli bir kullanım alanı bulmaktadır.

İletken esaslı polimerler 1970 yıllarından itibaren araştırma konusu olmuştur. İletken polimerlerin iletkenlik özelliği maalesef metaller kadar iyi olamamaktadır. Fakat metallerin polimerlere göre daha ağır, pahalı ve zor işlenebilir olması ayrıca korozyon sorunu gibi dezavantajları yeni arayışlara sebep olmaktadır. Metallerin iyi iletkenlik özelliği, polimerlerin avantaj özellikleri ile birleştirilmesi her zaman başarılması istenen bir araştırma konusu olmaktadır (Yıldız 2011). İletken

polimerler, iyi elektronik iletkenlikleri ve mekanik özellikleri nedeniyle giyilebilir teknolojide kullanım için ideal adaylar olabilmektedir. Ayrıca, fiberlerin kimyasal olarak çevrelerine bir sensör olarak tepki vermesi için bir süper kapasitör elektrot veya batarya görevi görmesini sağlayan iyi bir elektrokimyasal aktivite göstermektedir. Oksitlendiğinde veya azaldığında iletkenlik, renk, sertlik ve boyut gibi özelliklerini değiştirebilmektedir.

Bu malzemelerin potansiyel avantajı, geleneksel tekstil işlemlerinde işlem yapma kolaylığı ve diğer geleneksel elyaflarla harmanlanmasıdır. Polimer elektriksel iletkenlik sağlayan üç tip sistem vardır; *iyonik olarak iletken polimerler, redoks polimerleri ve konjuge çift bağ yapı polimerleridir.*

İyonik olarak iletken polimerler: Bu tür liflerin üretilmesi için iyi yöntem denenmiştir. Bunlardan ilki polimere metal toz partiküllerinin katılmasını sağlayarak polimer yapısında oluşturulacak metal faz üzerinden iletkenliğin sağlanması olmaktadır. İkinci yöntem ise, polimere çözülmüş tuz çözeltisi katılarak iyonik iletkenlik kazandırmaktır. Ancak her iki denemede de polimerlerden istenen iletkenlik seviyesine erişilememiştir, iletkenlik belli bir düzeyde sınırlı kalmaktadır. Poliakrilik asit gibi iyonik olarak iletken polimerlerin elektrik iletkenliği, iyonların polimer içinde hareket etmesinden kaynaklanmaktadır. İyonların büyüklüğü ve polimer matris boyunca hareketleri, lifin iletkenlik değerini etkileyen ana faktörlerdir. Bu malzemelerin iletkenlikleri genel olarak diğer iki tür iletken polimerden (ICP) daha düşük olmaktadır.

Redoks polimerleri: Redoks sisteminde, elektron transferi, yalıtkan bir bariyer boyunca bir tünelleme mekanizması ile hareketsiz redoks merkezleri arasında gerçekleşmektedir. Polimer matrisindeki redoks merkezlerinin konsantrasyonu artırılarak, tünel açma olasılığı artmaktadır.

Konjuge çift bağ yapı polimerleri: Polimerlerin elektronik iletkenlik gösterebilmesi için, polimer örgüsünde, elektronların zincir boyunca taşınmasını sağlayan uygun yerlerin bulunması gerekmektedir. Bu koşulu ana zincirinde konjuge Şekil 1.6'da gösterilen çift bağlara sahip polimerler sağlamaktadır. En fazla ilgi gören ve gelişen üçüncü sistem tipi, konjuge çift-bağlı bir yapıdaki elektronların

hareketine dayanmaktadır. Çok hareketli yapıda olan π -elektronları, bu kaynağı sağlamaktadır.

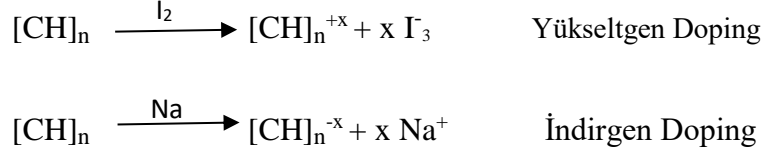


Şekil 1.6: Konjuge çift bağ yapısı (Yıldız 2011)

En yüksek iletkenliği elde etmek için, her polimer tipi için optimum molar kütle seçilmelidir. Yüksek derecede moleküler düzen ve zincirlerarası mesafelerin düşük olması gibi faktörler, lif iletkenliğini arttırabilen faktörlerdir. Kristalin bölgeler metalik bölüm olarak kabul edilebilir, çevredeki amorf bölgeler ise daha düşük iletkenliğe sahip olmaktadır. Elektronlar, bir metalik (kristalin) bölgeden diğerine geçişi amorf bölgeler boyunca tünelleşerek, bir metalik bölgeden diğerine geçerek sağlamaktadır. Tekrarlanan aromatik halka birimlerinden oluşan yapısı, ICP'lerin ortak bir özelliğidir. Konjügasyon eğer yüksek seviyede iletkenlik isteniyorsa tek başına yeterli olmamaktadır. Bu konjuge çift bağlı polimerlerin iletkenliğinin arttırılması *dop işlemi* sayesinde mümkün olmaktadır.

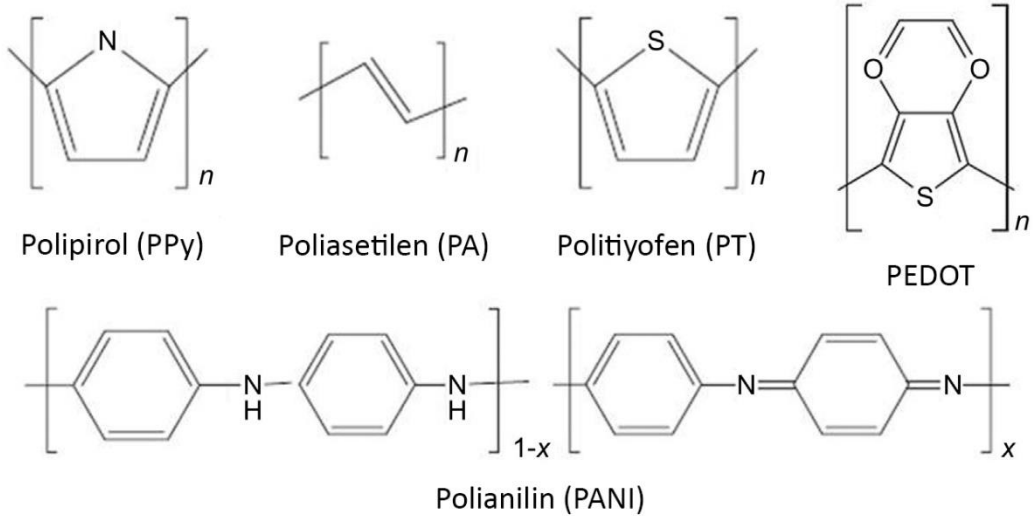
Dop işlemi, polimer yapısına elektronlar katılmasını sağlayarak veya tam tersi şekilde elektron alarak bu sefer polimer örgüsünde artı yüklü boşluklar oluşturulması ile yapılan bir işlemdir. Bu şekilde bir katkı maddesinin varlığı, polimerin protonlanmış formlarının oluşumunu ve dolayısıyla bağların dönüştürülebilirliğinin arttırılmasıyla, polimerin iletkenliğini birkaç büyüklük derecesinde arttırabilmektedir. İletken polimerlerin elektrik iletkenlik mekanizmasının nasıl çalıştığını oluşturulan bu boşluklar üzerinden kolayca açıklanabilmektedir. Polimer zinciri boyunca, artı yüklü olan bir boşluğa atlayan bir elektron, geldiği yerde artı yüklü bir boşluk bırakır. Bu döngü tüm zincir boyunca sürekli devam ederse elektriğin iletim döngüsü de bu şekilde sağlanmış olmaktadır.

Polimerler iyot gibi bir kimyasalla dop edilirse yükseltgenir (p-doplama veya yükseltgen doplama), eğer alkali metal kullanılarak dop edilirse indirgenir (n-doplama). Örneğin; poliasetilenin p-doplanması ve n-doplanması Şekil 1.7'de gösterilmektedir.



Şekil 1.7: Poliasetilenin p-doplanması ve n-doplanması (Yıldız 2011)

İletken polimerler üzerine yapılan çalışmalar, ilk olarak poliasetilen (PA), polimeri ile başlamış daha sonrasında, poliprol (PPy), politiyofen (PT) ve poli-anilin (PANi), poli(N-vinil karbazol) gibi çok sayıda iletken olduğu bilinen polimerlerin üretimi ile devam edilmiştir. Bazılarının toz, süspansiyon, film veya levhalar halinde ticari üretimi yapılmaktadır. Ana bileşeni polipirol olan lifler, polipirol ve polianilin kaplı karbon tozları, polipirol kaplı lifler diğer ticari ürünlere örneklerdir. İletken polimerler içerisinde polipirol ve polianilin özel bir yeri vardır ve bu iki polimer organik metal olarak adlandırılmaktadır. Şekil 1.8’de bazı iletken polimerlerin kimyasal yapısı görülmektedir.



Şekil 1.8: Bazı iletken polimerlerin kimyasal yapısı (Memarian ve diğ. 2019)

Bu polimerlerin iletkenliği ve işlenebilirlik özellikleri Tablo 1.3’te karşılaştırılmıştır. PANi, elyaf üretmek için kullanılan ilk ICP’dir. 1995 yılında Wang, Joo, Hsu ve Epstein, m-kresolün anizotropik sıvı kristalli çözeltilerinden kafur sülfonik asit ile katılmış olan PANi lifleri imal edilmiştir.

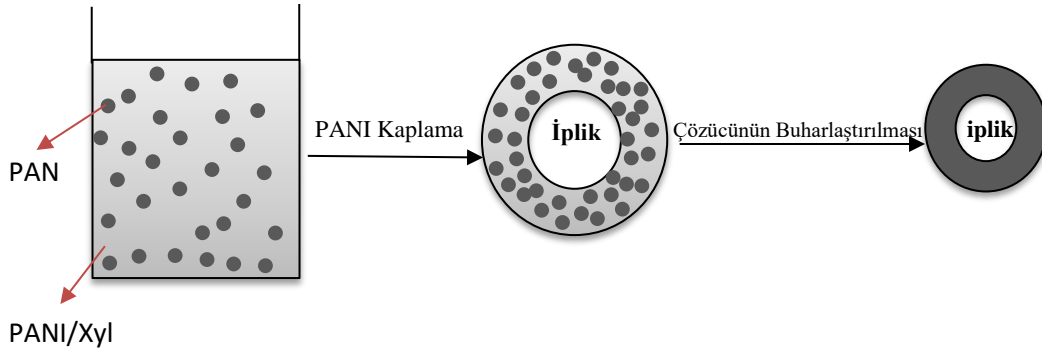
PPy, yüksek elastikiyet, düşük toksisite ile yeterli mekanik mukavemete sahip olduğu ve havada her ikisi de nispeten stabil olan, organik ve sulu çözeltilerde elektroaktif olduğu için uygun bir iletken polimer olabilmektedir. PPy, yün, pamuk, ipek ve poliester gibi farklı tekstil elyaflarının bu polimerler ile kaplama işlemleri başarılı şekilde yapılabilmektedir (Memarian ve diğ. 2019; Yıldız 2011).

Tablo 1.3: Doğası gereği iletken polimerlerin (katkısız) özellikleri (Memarian ve diğ. 2019)

Polimer Türü	İletkenlik(S/cm)	Stabilitesi	İşlenebilirliği
Poliasetilen	10^3-10^5	Düşük	Limitli
Polipropilen	1000	Düşük	Limitli
Poli (fenilen vinilen)	1000	Düşük	Limitli
Poli (fenilen sülfid)	100	Düşük	Çok İyi
Polipiroller	100	İyi	İyi
Politiyofenler	100	İyi	Çok İyi
Polianilinler	10	İyi	İyi

Elektriksel olarak iletken polimerler, tekstil ürünlerinin üzerine kaplanarak veya aynı zamanda elektrospinning yoluyla polianilin (PANI), poliprol (PPy), poliasetilen, polietilen ve (poli (3,4-etilendioksietilen) (4-stirensülfonat)) gibi iletken polimerlerden nanofiber ağı hazırlayarak, kimyasal ve elektrokimyasal birleştirme yöntemleri ile e-tekstiller üretebilmektedir. Uzun bir kimyasal sentez süreci boyunca, Yoshihiro Egami ve diğ. poliester/naylon karışımı üzerine kaplanmış poliprol nanoparçacıkları ile 3-52 Ω /sq aralığında çok düşük yüzey direnci elde etmişlerdir. Elektrospinning, günümüzde büyük bir kurulum gerektirmeyen iyi bilinen bir tekniktir; kısa bir süre boyunca çalışır ve karmaşık adımlar gerektirmemektedir. Hepsinden önemlisi, üründe çok fazla değişiklik olması, daldırma ve kuru işlem ile gerçekleştirilemeyen yüksek hassasiyet ve tekrarlanabilirlik ile kontrol edilebilmektedir. Nano lif tabakasının kalınlığı, nano liflerin çapı ve bunların gözenekliliği, liflerle çeşitli etkiler üretmek üzere kontrol edilebilmektedir. PPy, PEDOT: PSS, PANI ve diğer iletken polimerler doğrudan tekstil alt tabakaları üzerinde başarıyla elektrostatik hale gelmektedir ve çok büyük

sonuçlar göstermektedir (Sahito ve Khatri 2017). Aşağıdaki, Şekil 1.9'da poliester ipliğe iletken kaplama işleminin şeması gösterilmektedir.



Şekil 1.9: Poliester ipliğe iletken kaplama yapılıması (Sünter 2011)

Bu tip kompozitler, sürekli taşıma bantları kömür madenlerinde ve zımpara bantlarında kullanılmaktadır. Burada statik dağılım büyük önem taşımaktadır ve PPy kaplı tekstiller, sürekli esneme koşullarında olağanüstü performans göstermektedir. PPy kaplı pamuk ipliğine bükümün gerilme gerilimi uygulandığı/kazandırıldığı için, direnci yavaş yavaş azalmaktadır. İpliğin bu davranışı, bir baskı/kesme sensörü olarak uygulamalar için uygun hale getirmektedir. Bu tekstillerin elektrik iletkenliği, ortamın pH'ına veya reaktif gazların varlığına bağlı olarak değişmektedir. Bu davranış özelliği onları pH veya gaz sensörü gibi uygulamalar için uygun hale getirmektedir (Maity ve Arobindo 2015).

1.5.1.2.5 İletken Karbon Ekleme Yöntemi

Elektro-iletken kaplamalar esas olarak, iletken polimer olabilenler ve bir polimerde iletken dolgu maddeleri olabilenler olmak üzere iki tipte sınıflandırılmaktadır. Bir polimerde iletken dolgu maddeleri olabilenlere **iletken katkılı polimerler** de denmektedir. Bir polimerde kullanılan iletken dolgu maddeleri, polimerik malzemelere çok yüksek bir elektro-iletkenlik kazandıran metalik partiküllerdir. Sadece çözündürme için kolayca kontrol edilebilen, aynı zamanda düşük maliyetli malzemeler olan karbon materyalleri de kullanılmaktadır. Tek duvarlı karbon nanotüpler ve grafen, bir polimer çözeltisindeki doping karbon

malzemelerinden tipik örneklerdir. Nanotüpler veya nanoparçacıklar gibi karbon malzemeler çok yüksek yüzey alanına sahiptir ve bu durum da çok yüksek elektro iletkenliğe neden olmaktadır. Bazen iletken polimerler, katkılı metalik parçacıklardan bile daha yüksek iletkenlik gösterebilmektedir. Karbon nanotüpleri (CNT) ve diğer bazı karbon bazlı nanomalzemeler - karbon siyahı (CB), grafen (G), karbon nano elyafları (CNF) - iletken elyaf ve iplikleri yüksek mukavemetli yapmak için ideal kılan olağanüstü özelliklere sahip olmaktadır. CNT'lerin eğrilmesinden iletken iplik üretmek için rapor edilen bazı farklı yöntemler bulunmaktadır. Elektrospinning, elektroforetik yöntem, yeniden yoğunlaştırma ve ıslak eğirme, CNT iplik üretimi için bazı yöntemlerdendir. Elektrospining tekniği ile karbon nano tüpleri lif yüzeyi içerisine dispers edilebilmektedir. Böylece yapının mekanik, elektriksel ve iletkenlik özellikleri geliştirilebilmektedir. Yüksek uzama eğilim nedeni ile polimer, elektrospining sırasında uzayarak, lif ekseni boyunca lifin çekirdek kısmına yerleşmektedir. Bu yolla üretilen yapılar elektromanyetik kalkanlama etkisi istenen alanlarda kullanılmaktadır. CNT'lerin doğrudan buhar biriktirme metodu ile CNT'den eğirmek de mümkün olmaktadır (Maity ve Arobindo 2015; Memarian ve diğ. 2019; Yıldız 2011).

1.5.2 Elektriksel Olarak İletken İplikler

1.5.2.1 Özlü İplikler

Metalik kompozit iplikler, genel sentetik/doğal liflerin, paslanmaz çelik veya bakır tel gibi metalik ipliği örterek ve metallerin çekirdeğin merkezinde oluşmasına izin veren bir halka olacak şekilde ring, rotor veya friksiyon eğirme sistemi ile özlü iplikler yapılarak hazırlanabilmektedir (Wang ve diğ. 2010).

Özlü iplikler iletken lif ve iletken olmayan liflerin öz-manto geometrisinde harmanlanarak iletken özelliğe sahip ama aynı zamanda tuşesi iyileştirilmiş yeni bir hibrid iplik elde etme yöntemi olarak tanımlanmaktadır. Genellikle özü oluşturacak kısmında mono/multifilament veya kesikli yapıda iletken/sonradan iletkenlik özelliği kazandırılmış lifler kullanılmaktadır. Mantoyu oluşturacak kısımda ise doğal veya sentetik lifler, bazen de iletken kesikli lifler ile harmanlanmış doğal-sentetik lifler

kullanılabilmektedir. Bu ipliğin üretim yöntemleri olarak, özlü iplik üretimi için özel aparat eklenerek modifiye edilmiş ring iplik makinasında yapılabilmektedir. Bu makinada özü oluşturacak lifler, manto liflerinin bükümünden hemen önce oluşan eğirme üçgeninin merkezine beslenmesi prensibine dayanmaktadır. Aynı zamanda açık uç “DREF-3” özlü iplik eğirme sistemi veya friksiyon özlü iplik eğirme sisteminde kullanılabilmektedir.

İletken lif olarak, doğal metalik liflerin kullanılmasının yanında, çeşitli kaplama yöntemleri ile sonradan iletkenlik özelliği kazandırılmış kompozit iplikler de kullanılabilmektedir. Bilindiği gibi metalik lifler en yüksek iletkenlik özelliğini göstermelerine rağmen, rijit yapılarından dolayı üretim esnasında istenmeyen kopuşlara veya makinada sürtünme dolayısıyla korozyon/aşınma gibi problemlere yol açabilmektedir. Ayrıca kumaş formuna getirildiğinde kullanıcıya uzun süreli konforlu kullanım sağlaması için iplik geometrisine ekstra dikkat edilmesi gerekmektedir (Bedeloğlu Çelik ve diğ. 2017; Çeven ve diğ. 2016; Ersoy 2012; Kadoğlu ve Duran 2012).

1.5.2.2 Sarımlı Hibrid İplikler

Sentetik/doğal kesikli liflerin etrafının metal filament liflerle sarılması veya metal tellerin etrafını sentetik filament lifleriyle sarılması suretiyle oluşturduğu yapıya sarımlı iplikler denmektedir. Bu ipliklerin üretimi modifiye edilmiş rotor iplik makinasında yapılabilmektedir. İçi oyuk rotorun oyuğundan özünü oluşturacak lifler geçirilir, bu esnada bobinden sağılan filament iplik liflerin etrafından dolanarak lifleri hapseder, rotorun dönüşüyle de iplik büküm kazanmaktadır. Rotor hızının sarma silindirine olan hızının oranı ayarlanarak büküm miktarı ayarlanabilmektedir (Kadoğlu ve Duran 2012).

Erdumlu ve diğ. 2015, yaptıkları çalışmada bakır ve paslanmaz çelik tel sarımlı hibrid ipliklerinde üretilen bezayağı ve 3/1 dimi kumaşlarının iki farklı dokuma tipinde hazırlanan kumaşların dökümlülük katsayısı kes-tart ve görüntü analizi yöntemleri ile testleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar metal içermeyen aynı yapılarıdaki kontrol kumaşları ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. İki test metodunda da paralel sonuçlar elde edilmiş, 3/1 dimi kumaşı, bezayağı kumaşına

göre dökümlülük katsayısında, istatistiksel olarak önemli ölçüde düşük sonuçlar tespit edilmiştir. Fakat atkı ipliğinde kullanılan hibrid ipliklerde bakır veya paslanmaz çelik tel kullanımında her iki dokuma yapısında da dökümlülük katsayısı üzerinde istatistiksel açıdan önemli bir etkisinin olmadığı saptanmıştır. Çalışma kapsamında incelenen atkı ipliği metal lif içeren hibrit ipliklerden dokunan kumaşlar ile hibrit iplik içermeyen kumaşlar arasında dökümlülük ve giyim konforu açısından kayda değer bir fark saptanmamıştır. Dolayısıyla, atkı ipliğinde metal tel sarımlı hibrid ipliklerden dokunan dokuma kumaşların, sağlık, kablosuz iletişim, ekranlama gibi iletken tekstiller alanında kullanıma uygun olduğu sonucuna varılmıştır (Erdumlu ve Sarıçam 2015).

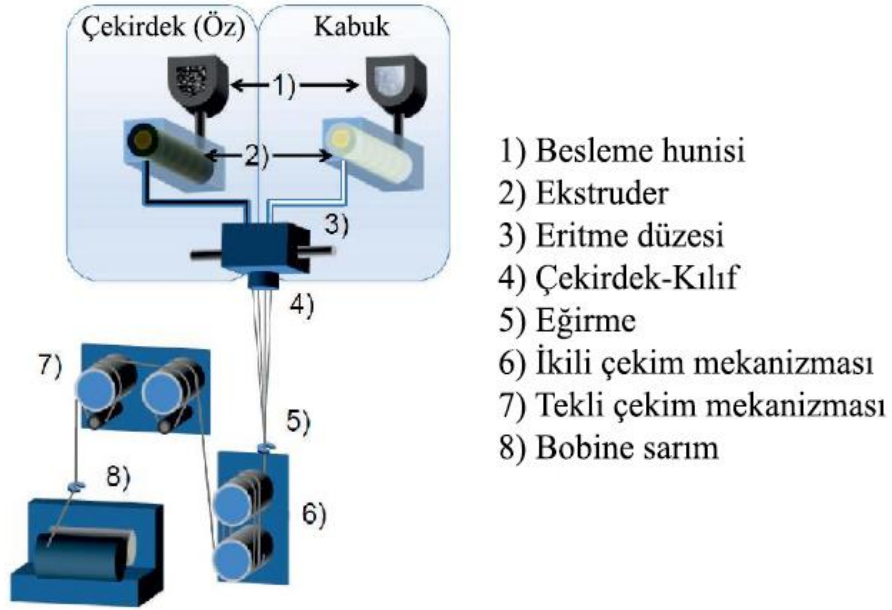
1.5.2.3 Bikomponent Filamentlerden Oluşan İplikler

Bikomponent lifler kimyasal ve fiziksel özellikleri birbirinden farklı olan iki polimer malzemenin avantaj özelliklerini bir arada kullanabilmek amacıyla ekstrüzyon ile birleştirilerek özellikleri geliştirilmiş yeni bir iplik elde edilmesi olarak tanımlanabilmektedir. Bu iki polimer seçilirken dikkat edilmesi gereken bazı hususlar bulunmaktadır. Bunlardan ilki polimerlerin yakın benzerlikte “viskozite”lere sahip olmaları, ikincisi polimer oryantasyonunun belirleyicisi “soğutma oranı” ve üçüncüsü ise komponentlerin adhezyonunu ve elde edilecek nihai lif kesitinde belirleyici özellik olan “yüzey gerilimi” önem arz etmektedir.

Polimerlerin düzenlenmesi çok farklı geometrilerde yapılabilmektedir. Bu durumda, bir çekirdek/kılıf çift bileşenli elyaf üretecek iplik düzesi kullanılmaktadır. İplikçinin kesiti hem çekirdeğin hem de kılıfın merkezinin aynı noktada olduğu, yani deliklerin engellerinin eş merkezli dairelerde yer aldığı şekilde tasarlanmaktadır (Glaß ve diğ. 2013; Kadoğlu ve Duran 2012).

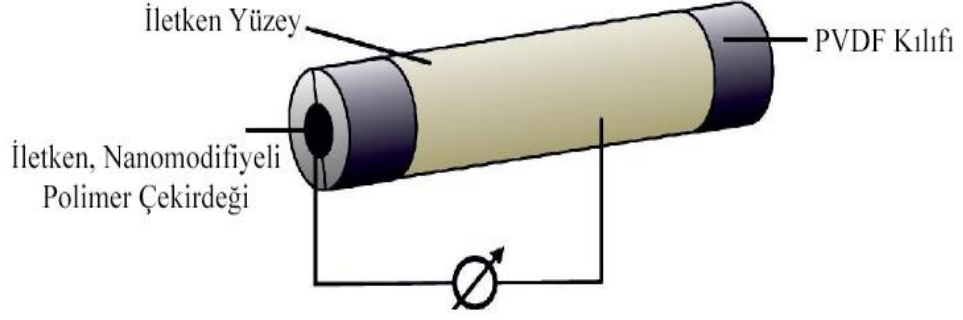
Glaß ve arkadaşlarının, 2013 yılında yaptıkları bir çalışmada eriğikten iki polimerin eğrilmesi ile bikomponent lif üretilmesi amaçlanmaktadır. Bikomponent lifin iletken bir polipropilen (PP) çekirdeği ve bir piezoelektrik kılıf PVDF (poliviniliden florür) içeren iki bileşenli liflerin eriterek eğrilmesi üzere yapılan bir çalışmadır.

Bu araştırmada analiz edilen poliviniliden florürün (PVDF) piezoelektrik özelliği, sensör filamentler için kullanılmaktadır. PP bileşiği, ağırlıkça % 10 karbon nanotüpler (CNT) ve ağırlıkça % 2 sodyum stearat (NaSt) içermektedir. Eriyik viskozitesini düşürmek için sodyum stearat eklenmektedir. Bileşik, bir süzülme CNT ağı nedeniyle iletken olan fiber çekirdeği oluşturmaktadır. Çalışmada uygulanan yöntem Şekil 1.10'da gösterilmektedir.



Şekil 1.10: Çalışmada uygulanan eriğikten bikomponent iplik üretim metodu şeması (Glauß ve diğ. 2013)

Bu lif komponentinde (Şekil 1.11'de görüldüğü üzere) iç elektrot; iletken çekirdek, dış elektrot; kılıf etrafında iletken ve piezoelektrik özellikli kaplama ile dışardan ipliğe basınç uygulandığında elektrik sinyallerini ölçmek için kullanılabilen iplik üretimi yapılmaktadır.



Şekil 1.11: İletken Poli (Propilen) karbon nanotüp (PP / CNT) çekirdeği, Poli (Viniliden Florür) (PVDF) kılıf ve iletken bir yüzeye sahip bir eritilerek bükülmüş iki bileşenli fiberin şematik gösterimi (Glaub ve diğ. 2013)

AceStatic®, Acelon Chemicals & Fiber Corporation firmasının iletken poliester iplik ürününde; çekirdek poliester kılıf ise iletken bir polimerden üretilmektedir. Bu iplikler statik elektriklenmeme avantajlarının yanında sınırlı elektrik iletkenlik de göstermektedir (Çelen ve Ulcay 2019).

1.5.2.4 Şerit Yapılar

İnce metal tabakanın kenarlarından tıraşlanarak üretilen şerit yapıdaki metal liflerinin mikroskop altında enine kesitleri dikdörtgen olarak görülmektedir. Saf paslanmaz çelik şeritleri, çok sayıda iplik numaralarında elektriksel olarak iletken iplikler elde etmek için iplikhanedeki poliamid, poliester ve pamuk gibi liflerle harmanlanabilmektedir. Bu tür iplikler ve elyaflar korozyona dayanıklı, inert ve stabil ve uzun ömürlüdür (Derdiyok 2007; Paradiso ve diğ. 2014).

1.5.2.5 Kompozit/Hibrit İplikler

En az iki veya daha fazla çeşitte liflerin bir araya gelmesiyle geliştirilen yeni ipliğe hibrit iplik denmektedir. Hibrit ipliklerin yapısında kullanılacak lifler seçilirken, geliştirilecek yeni ipliğin hangi alandaki sıkıntılara nasıl çözüm getirebileceği, nasıl daha iyi işlevsellik kazandırabileceği konusunda detaylı çalışma yapılması gerekmektedir. Seçilecek lifler iletken, doğal/sentetik yapıda veya yüksek performanslı lifler olabilmektedir. Nihai kullanım amacı göz önünde bulundurularak

seçilmelidir. Hibrit iplikleri oluşturacak lifler üç şekilde bir araya gelmektedir; Kesikli lif/filament oryantasyonu, kesikli lif / kesikli lif oryantasyonu, filament / filament oryantasyonu şeklinde yapılmaktadır. Bu ipliklerin üretiminde ise modifiye edilmiş ring / open-end rotor iplik makinası, DREF, sarmal (Wrap), katlamalı büküm, tow kırma gibi pek çok çeşitte iplik makineleri kullanılmaktadır.

Polimer nanokompozitler, geleneksel dolgu malzemesi polimerlere yeni bir alternatiftir. Nanokompozitler, iki veya daha fazla bileşenden oluşan, 1 ila 100 nm aralığında boyutlara sahip geniş bir malzeme yelpazede üretilebilmektedir. Nanometre boyutlarından dolayı, dolgu maddesi eklenmiş nanokompozitler, saf polimerlere veya geleneksel kompozitlere kıyasla belirgin şekilde geliştirilmiş özellikler sergilemektedir.

Nanokompozitler gelişmiş mekanik, fiziksel ve elektronik özelliklere sahip olabilmektedir. Nanokompozit materyallerin özellikleri sadece kendi ana materyallerinin özelliklerine değil, morfoloji ve arayüzey özelliklerine de bağlıdır. Nanometre ölçeğinde çok iyi donatı sağlamak ve çok yüksek yüzey/hacim oranına sahip olmaktadır. Bu gelişmiş özellikler nedeniyle, nanokompozit malzemeler nakliye, otomotiv, havacılık, savunma, spor malzemeleri, enerji ve altyapı sektörleri dâhil artan sayıda endüstriyel uygulamada kullanılmaktadır.

Spesifik örnekler olarak, grafen oksit (GO) eklenmiş, nano/mikro yapılı poliprol (PP_y) ve polianilin (PANI) gibi iplikler, lityum iyon pillerde yüksek enerji seviyeleri, süper kapasitörler, katalizörler, güneş pilleri, nano-cihazlar, kimyasal sensörler ve biyosensörler verilebilmektedir. Elektriksel iletkenliği birleştirmek veya geliştirmek için grafen ve polimer kompozitler üzerinde önemli miktarda araştırma yapılmaktadır. Farklı ağırlık ve hacim yüzdesi grafen malzemeleri ilavesiyle termoplastikten termosete kadar değişen farklı polimer matrisleri, farklı imalat teknikleriyle denenmiş ve ilginç sonuçlar bildirilmektedir.

Ortak gözlemler:

- Elektriksel iletkenlik, eriyik harmanlama, çözelti dökümü, yerinde işleme ve kimyasal buhar biriktirme (sensörle ilgili uygulamalar için) gibi teknikler yoluyla iletken parçacıkların eklenmesiyle birleştirilebilmekte, ancak iletkenlik 1×10^{-8} S/cm seviyesinde olmaktadır.
- İkincil bir polimer veya dolgu maddesiyle birlikte grafen malzemelerinin eklenmesiyle elektrik iletkenliği geliştirilebilmektedir. Grafen partiküllerinin bir polimer matrisinde dağılması zordur ve aglomeratların oluşumu nedeniyle grafen ilavesinin belli bir seviyenin (ağırlıkça en fazla % 10) üzerine bir kısıtlaması bulunmaktadır. Bu düşük iletkenlikle sonuçlanmaktadır.
- Önceki çalışmalarda, basit bileşik karışımlar denenmiştir ve araştırmacıların çoğu, belirli bir seviyenin üzerinde grafen materyali ekleme sınırlandırmasının üstesinden gelmek için karmaşık karışımlar veya hibridizasyon yapmayı düşünmemektedir (Kaplan 2016; Mohan ve diğ. 2016).

Mohan ve diğ. 2016, yaptıkları çalışmada termoplastik polimer matrislerin iletken polimerler ve grafen türevleri ile melezleştirilmesine odaklanmaktadır.

Tablo 1.4: Farklı polimerlerin nanokompozitlerin ve grafen türevlerinin elektriksel iletkenliklerine ilişkin literatür taraması (Mohan ve diğ. 2016)

Nanokompozit	Dolgu Maddesi	Üretim Metodu	Elektriksel İletkenlik (S/cm)
Epoksi / grafen	0.52 vol. %	Solüsyon Kaplama	0.00000254
Grafen / nanoselüloz	10 wt. %	Solüsyon Kaplama	80
HDPE / grafen	3 wt. %	Eriyikten Karıştırma	0.00000000025
Doğal kauçuk /grafen	4 wt. %	Solüsyon Kaplama	0.3
PA6 / grafen	1.5 vol. %	Yerinde	0.001
PBT / grafen	1 vol. %	Solüsyon Kaplama	0.000000000001
PDMS / grafen	4 wt. %	Solüsyon Kaplama	0.000275
PET / grafen	3 vol. %	Eriyikten Karıştırma	0.1
PLA / rGO	1.25 vol. %	Solüsyon Kaplama	0.022
PMMA / grafen	1–5 wt. %	Eriyikten Karıştırma	0.001
Poli (etilen-2,6-naftalat)	5 wt. %	Solüsyon Kaplama	0.0004
PANI / grafen	1.5 wt.%	Yerinde	10
Polifenilen sülfid / grafen	4 wt. %	Eriyikten Karıştırma	0.000026
Polipirol / grafen	20 wt. %	Yerinde	7.930
Polistiren / grafen	2.5 vol. %	Solüsyon Kaplama	0.1
Polistiren / grafen	5 vol. %	Solüsyon Kaplama	1
Poliüretan / grafen	0.015, 0.02, 0.025 vol.%	Eriyikten Solüsyon	0.0001
Polivinil alkol / grafen	0.47 vol. %	Solüsyon Kaplama	0.0000254
PVDF / grafen	15 wt. %	Solüsyon Kaplama	0.01

Elektriksel ve mekanik özellikleri iyileştirmek için grafen ile birlikte başka olası malzemelerin eklenmesine veya kullanılmasına olanak sağlanmaktadır. Polipropilen (PP), polimetilmetakrilat (PMMA) ve polioksimetilen (POM) primer polimer matrisleri, poliprol (PPy) ve polianilin (PANI) olarak ikincil iletken polimerler olarak kullanılmıştır. Donatı olarak yüksek iletken indirgenmiş grafen oksit (rGO) ve grafen (G) kullanılmıştır. Elektriksel iletkenlik (σ) ve mekanik özelliklere göre karışımların optimal kombinasyonunu bulmak için karışımlar için bir Taguchi analizi yapılmıştır. Hem elektriksel hem de mekanik özellikler hibridizasyon işlemiyle geliştirilmiştir. 0.85 S/cm maksimum elektrik iletkenliği sırasıyla % 3 ve % 5 PPy ve grafen yükü ile POM / PPy / G harmanı ile elde edilmiştir. Mekanik özelliklerin bütün harmanlarla iyileştirildiği bulunmuştur, ancak PP / PPy / G'nin ağırlıkça % 3 ve ağırlıkça % 6 PPy ile harmanlandığı ve grafen yüklemesinin diğer harmanlara kıyasla daha iyi özellikler gösterdiği görülmüştür.

1.5.3 Elektriksel Olarak İletken Kumaşlar

Konvansiyonel tekstiller elektriksel iletkenliğe sahip olmadıkları için dokuma, örme, dokusuz yüzey, nakış gibi üretim esnasında iletken iplikler kullanılarak elektriksel iletkenlik kazandırılabilirken, kumaş formundayken de pek çok farklı yöntemlerle yüzeyleri iletkenlik özellikli maddeler ile modifiye edilerek kazandırılmaktadır. Sonradan elektriksel iletkenlik kazandırma metodları aşağıda detaylı olarak açıklanmaktadır (Ersoy 2012).

1.5.3.1 İletken İplikler Veya Teller İlave Edilmesi

Yukardaki başlıklarda da detaylı olarak bahsedilen doğal ve sonradan çok çeşitli yöntemler ile iletkenlik özelliği kazandırılmış bu iplikler istenen formda dokuma, örme hatta dokusuz yüzeylere sınırsız geometride ilave edilmektedir.

İletken kumaşlar biyoelektrotlar olarak veya (elastomerlerle birleştirildiğinde) biyomekanik değişkenleri algılayabilen piezorezistif sensörler olarak kullanılabilir. İletken iplikler, genellikle geleneksel tekstil elyaflarıyla birleştirilmiş iletken inorganik bileşenlerle yapılabilmektedir. Metaller, eğirme öncesi aşamada

harmanlanmış lifler formunda veya iki kat, örme ve dokuma aşamalarında diğer iplikler ile karıştırılabilen filamentler formunda kullanılabilir. Bir matris polimer ve bir iletken katmandan oluşan iletken iki bileşenli elyaflar, birleşik elyaf eğirme teknolojisi kullanılarak üretilmektedir. Diğer bir olasılık, kaplanmış iletken elyafların kullanılmasıdır. Kaplama çeşitli tekniklerle uygulanabilmektedir. Karbon kullanımı veya iletken polimer dispersiyonları veya çok ince metal tabakaların kimyasal olarak biriktirilmesiyle yapılabilmektedir. Metalik veya galvanik kaplama ile yüksek iletken lifler üretilmekte, ancak bu yöntemlerin yapışma ve korozyon direnci ve alt tabakanın uygunluğu açısından bazı kısıtlamaları vardır veya metalik tuz kaplama yöntemi ile üretilmektedir.

İletkenlik, üretilebilirlik ve tekstil işleme perspektifinden bakıldığında, gümüş kaplı lifler, vücuda yakın giyilen iletken kumaş sensörlerinin üretimi için en iyi seçenek olarak kabul edilebilmektedir. Bununla birlikte, giyim sırasındaki gerilme çatlaklarının gelişmesine bağlı olarak zayıf yıkanabilirlik ve zorlanmalara karşı zayıf direnç, ayrıca ter oksidasyon sorunları, ömürlerini paslanmaz çelikten yapılan liflerden ve ipliklerden daha kısa hale getirmektedir. Son on yılda gümüş üzerinde daha istikrarlı ürünler (XStatic, Shieldex) piyasaya sürülmüş ve kadınlar için tasarlanan Adidas'ın Super Nova Seamless Glide sütyenleri ve POLAR tarafından H₂ ürünleri kalp atış hızı sensörü gibi algılama uygulamalarında kullanılmaktadır.

Dokumada, deseni oluşturan atkı ve çözgü yönünde yapılabilecek desen farklılıkları örme ile karşılaştırıldığında sınırlı kalmaktadır. Ayrıca örgüdeki yapısal (esneklik, konfor vb.) avantajlar örgü teknolojilerini akıllı kumaşlar için daha önemli kılmaktadır. İlk olarak, örme, istenen bir fonksiyonel ipliği seçme ve onu istenen bir mimariye göre kumaşın belirli bir bölgesinde sınırsız şekilde çalıştırma ya da bitirme imkânı sağlamaktadır. İkincisi, örme kumaş yapısı itibarıyla de genellikle oldukça esnektir, dökümlü (güzel bir şekilde sarkar ve katlanır) ve gözenekli bir yapıya sahiptir. Bu, cildin yanına giyildiğinde nefes alabilen, konforlu yapıda olduğu anlamına gelmektedir. Son olarak, istenen giysi biçiminde örme kumaş yapılabilmektedir.

Bilgisayarlı (jakarlı) düz örme ve yuvarlak örme makineleri her iğnenin ayrı ayrı çalıştırılmasını sağlamaktadır. Makineler genellikle, her bir iğnenin elektronik seçimine izin veren, bağımsız olarak çalışan birkaç motorlu iplik taşıyıcı ile

donatılmaktadır. Bir e-tekstil uygulaması için, kakmacılık, farklı türde çeşitlendirilmiş ipliklerle desen oluşturmak için kullanılan en önemli örgü tekniklerinden biridir. İki katlı kumaşların aynı anda örüldüğü çift jarse tekniğini gerçekleştirmek için çift yataklı örme makineleri de kullanılabilir. Kumaşlar, birbirine kenetlenmiş örme kumaşlarda olduğu gibi ayrılmaz olabilmekte veya borular şeklinde örülmüş kumaşlarda olduğu gibi birbirine bağlı olmayan iki kumaş şeklinde örülebilmektedir. Örme işleminin diğer bir ilginç özelliği, iki farklı ipliği aynı iğne ile aynı anda kullanabilme ve üst üste binme tekniği veya kaplanmış örgü olarak bilinen örtüşme olasılığı olmasıdır. Bu teknikle, bir metal iplik başka bir tane ile kaplanabilmekte ve ikinci iğne serisi ile kumaşın dış tarafı da korunabilmektedir.

Farklı örgü tekniklerinin bir kombinasyonunu kullanmak, bir tür mantık devresi tasarlama ve uygulama imkânı sunmaktadır. Yuvarlak örgü ve özellikle dikişsiz teknik, bu teknolojiyi esneklik ve konforun temel gereksinimleri olduğu uygulamaların algılanması için uygun kılan rahat, gerilebilir, iyi oturan ve yapışan giysiler sağlanmaktadır.

Kesintisiz teknik, iki alanın (çorap ve örme) birleşmesinden gelmekte ve dikişsiz boru biçimli kumaşların, erimiş bantlara yerleştirilmiş ve kademeli sıkıştırmaya sahip alanlarla donatılmış elastik ipliklerin üretilmesine izin vermektedir. Bu nedenle, dikişsiz makinelere örülen giysiler, file, jakar, piquet, çizgili ve dantel gibi farklı dikişlerin yanı sıra önceden şekillendirilmiş yapılar, gizli destekler, cepler, yakalar gibi farklı dikişlerin oluşturulmasına izin verdiği için fonksiyonel performansla konforu birleştirebilmektedir (Möhring ve diğ. 2006; Paradiso ve diğ. 2014).

1.5.3.2 Metal Kullanarak Klasik Teknik İle Kumaş Kaplama

Metal kaplı tekstil malzemeleri metal elyaf kumaşlara kıyasla nefes alabilir ve hafiftir. Elektrik iletkenlikleri, kaplama kalınlığının kontrol edilmesi ve doğru metallerin seçilmesiyle şekillendirilebilmektedir. Antistatik özellikler, EMI'ye karşı koruma ve radyofrekans parazitleri, elektrik iletimi ve mükemmel bir dekoratif efekt sunumu gibi işlevler sunmaktadır. İletken kumaşlar ordu tarafından kamuflaj uygulamaları için kullanılabilir. Bazı metaller mikrobik saldırılara karşı direnç

gösterdiğinden, metal kaplı tekstiller, duvar kaplamaları ve bariyer perdeleri gibi antimikrobiyal uygulamalar için iyi malzemelerdir. Altın veya gümüş nanoparçacıklarla kimyasal olarak kaplanmış iletken olmayan iplikler ve kumaşlar da çok yüksek düzeyde elektriksel iletkenlik sunmakta ve gümüş metalize kumaşlar kumaş devreleri yapmak için ideal olmaktadır. Metal kaplı kumaşlar ayrıca, yoğun radyan ısıya karşı koruma için koruyucu giysilerde kullanılabilmekte, çünkü alüminyumla kaplanmış tekstil yüzeyi yüksek derecede ısı yansımaları sağlamaktadır (Wang ve diğ. 2010).

Bir bağlayıcı ile metal kaplama: Bu işlem, geleneksel polimer kaplama işlemine benzemektedir. Yüksek yapraklı alüminyum macunları (% 65 ila % 70), sentetik kauçuk, PVC, poliüretanlar, silikonlar, akrilik emülsiyonlar ve benzeri gibi polimerik bir taşıyıcıya katılmakta ve kumaş üzerine kaplanmaktadır. Kaplama yöntemi, silindirik kaplama üzerine geleneksel bıçak olabilmektedir. Kaplanmış kumaşın yapışma, esneklik ve kimyasal direnci, kullanılan polimerin tipine bağlıdır, ancak bunlar çok yansıtıcı değildir.

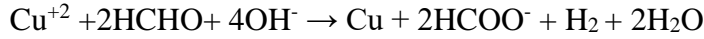
Kaplamaların başarılı bir şekilde birikmesi için, sadece otokatalitik indirgeme reaksiyonları kullanılabilir. Bu haliyle, kaplanabilecek metallerin sayısı fazla değildir. Yaygın indirgeyici ajanların bazıları sodyum hipofosfit, formaldehit, hidrazin ve organoboron bileşikleridir. Her metal ve indirgeyici madde kombinasyonu özel bir pH aralığı ve banyo formülasyonu gerektirmektedir.

Kaplama kalınlığı 0,01 µm ve 1 mm arasında değişmektedir. Tipik bir kaplama çözeltisi, aşağıdaki bileşenlerden oluşur:

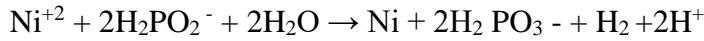
- Metal tuzu
- İndirgen madde
- Alkali pH'da ve ayrıca otokatalitik işlemi geliştirmek için gereken kompleksleştiriciler
- Tamponlar
- Reaksiyonu kütlede geciktiren ve otokatalitik işlemi destekleyen stabilizatörler

Bazı önemli metal kaplamalar aşağıdaki gibidir:

Bakır: En uygun indirgeyici madde formaldehit'tir. Otokatalitik reaksiyon alkali pH'da (pH değeri 11 ila 14 arasında) ilerler. Yaygın olarak kullanılan kompleksleştirici ajanlar EDTA, tartarat v.b. gibi örnekler verilebilmektedir.



Nikel: Sodyum hipofosfit, nikel için en popüler indirgeyici maddedir. Otokatalitik reaksiyon hem asitli hem de alkali pH'ta meydana gelmektedir. Sodyum sitrat tampon ve kompleks yapıcı ajan olarak kullanılmaktadır.



Sodyum fosfit ile elde edilen kaplama ayrıca fosfor içerir (% 2 - 15).

Gümüş: Kaplama çözeltisi, indirgeyici ajan olarak formaldehit, hidrazin ve glikoz içeren amonyaklı gümüş nitrattan oluşmaktadır. Gümüşün otokatalitik etkinliği düşük olmasından dolayı kalın tortular elde edilememektedir (Sen 2001).

1.5.3.3 İletken Polimerler İle Kumaş Yüzeyi Kaplama

İletken bir polimerin ve çeşitli katkı maddelerinin kumaş yüzeyi üzerinde sentezlenmesi ile iletken yüzey oluşturulmaktadır. İletken polimerlerin hava ve neme karşı hassas olmaları bu metodun dezavantajıdır. Uzama ile beraber iletken polimerin iletkenliği değiştiğinden, akıllı tekstil uygulamalarında, uzama sensörü olarak da kullanılmaktadır (Ersoy 2012). İletken tekstiller olarak da adlandırılan, kendiliğinden iletken özelliğe sahip polimerlerin tekstil materyallerine uygulanan ince kaplamaları sonucu oluşan yapılar, bir tekstil yüzeyinin varlığında çoğunlukla yerinde kimyasal polimerizasyon ile oluşturulmaktadır. Malzeme üzerinde polimerizasyon işlemi iki adımdan oluşmaktadır:

- Tekstil lifleri üzerinde oligomer ve polimerlerin fiziksel olarak tutunması,
- Çözeltide polimerizasyon (Yıldız 2011).

Nano lif tabakasının kalınlığı, nano liflerin çapı ve bunların gözenekliliği, liflerle çeşitli etkiler üretmek üzere kontrol edilebilmektedir. PPy, PEDOT: PSS, PANI ve diğer iletken polimerler doğrudan tekstil alt tabakaları üzerinde başarıyla elektrostatik hale getirerek, çok büyük sonuçlar göstermektedir. Uzun bir kimyasal sentez işleminde poliester/naylon karışımı kumaş üzeri polipropil nanoparçacıklar ile kaplanmış ve 3-52 Ω /sq aralığında çok düşük yüzey direnci elde edilmiştir (Sahito ve Khatri 2017).

İletken polimer kaplı tekstiller, metallerin aksine hafif, esnek ve dayanıklıdır. Bu malzemeler günümüzde sadece metaller veya yarı iletkenler için düşündüğümüz çeşitli potansiyel yeni uygulamalar için uygun olan çok yüksek iletkenlik ile geliştirilmiştir. Ayrıca, bu iletken polimerlerin en önemli özelliği, metallerin mümkün olmadığı işlem koşullarını ve doping seviyelerini değiştirerek, iletkenlik seviyelerinin gereksinime göre uyarlanabilmesidir. Tekstillerin yanı sıra iletken polimerlerin bu iletkenlik alternatifi, onları ısıtma pedleri veya giysiler, EMI ekranlama, gerilme sensörü, pH sensörü, antistatik malzeme, transistörler ve daha birçok gibi çeşitli potansiyel uygulamalar için uygun kılmaktadır.

DC (doğru akım) gerilimi uygulanarak, PPy kaplı poliester kumaşların yüzey sıcaklığının üssel artışının gözlemlendiği bir çalışmada, iğne delikli bir kumaştan 10V DC güç beslendiğinde, sıcaklığın yaklaşık 50 °C yükseldiği ve 2 dk içinde sabitlendiği saptanmaktadır. Böylece iletken polimer kaplı tekstillerin, elektromanyetik radyasyonu emilim ve yansıma ile koruduğu saptanmaktadır. Elektriksel olarak iletken elyaf / iplik / kumaş, zorlanma, sıcaklık ve neme karşı duyarlılıkları nedeniyle esnek iletken sensörler olarak ümit verici malzemelerdendir. 10 ila 11.000 tiles / sq yüzey iletkenliğine sahip PPy ile işlem görmüş dokular için manyetik koruma, kamuflaj ve benzeri askeri uygulamalarda çok sayıda uygulama olduğunu göstermektedir (Maity ve Arobindo 2015).

1.5.3.4 Elektriksiz Kaplama

Kimyasal veya otomatik katalitik kaplama olarak da bilinen *elektriksiz kaplama*, harici elektrik akımı kullanılmadan meydana gelen, sulu bir çözeltide aynı anda birkaç kimyasal reaksiyon içeren ve galvanik olmayan bir kaplama yöntemidir.

Reaksiyon için gerekli malzemeler;

- Metal tuzu
- İndirgeyici madde
- Alkali pH'da ve ayrıca otokatalitik işlemi geliştirmek için gerekli olan kompleksleştirici maddeler
- Stabilizatör
- Reaksiyon retarder

Bu kimyasal reaksiyon, ortama bir indirgeme ajanı olan sodyum hipofosfit salındığında, hidrojenler serbest kalmakta ve oksitlenmekte böylece substratın yüzeyinde negatif bir yük oluşturmak suretiyle gerçekleşmektedir. Bu otokatalitik biriktirme yöntemi, konvansiyonel imalatta hassas işler için kullanılabilen iletken olmayan tekstil malzemelerinin metal kaplanmasını sağlamaktadır.

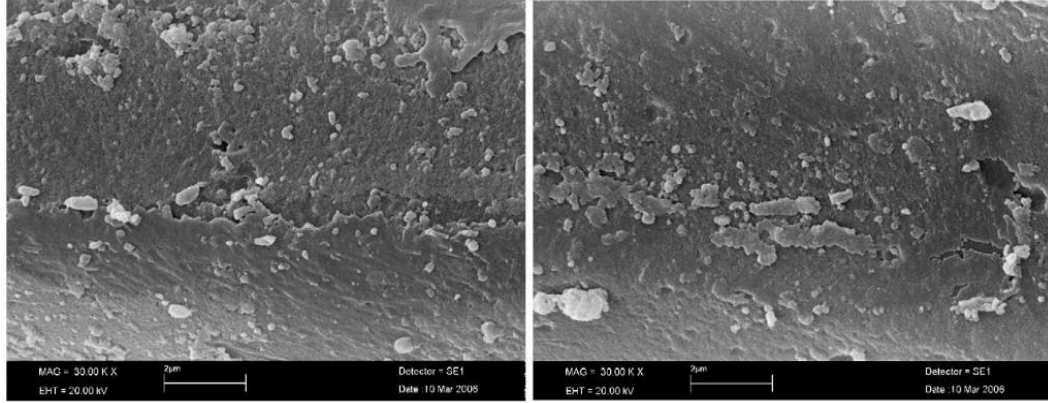
Elektro kaplamadan farklı olarak, elektrik alanın olmaması sayesinde kaplamalar kalın ve uniform olmaktadır. Kaplama kalınlığındaki varyasyon 1µm ile 1mm arasında olmaktadır. Pahalı olmayan ve tekstil üretiminin her aşamasında uygulanabilmesi gibi avantajları vardır. Akımsız kaplama, *otokatalitik kaplama* ve *iyon değişim kaplama* olmak üzere iki farklı işlemle gerçekleştirilebilmektedir. Otokatalitik kaplama çoğunlukla nikel, bakır ve alaşımlara uygulanırken, iyon değiştirme kaplaması bakır ve alüminyumun kalay kaplaması için kullanılmaktadır. Elektriksiz nikel kaplama, en yaygın kullanılan elektriksiz kaplama yöntemlerinden biridir. Bu yöntemle göre üretilecek ürünler kullanım alanına göre iletkenlik seviyesi ayarlanabilmektedir. Sadece statik elektriklenmeyi önlemek için uygulanacaksa iletkenlik değeri 10^{-3} – 10^{-7} S/m aralığında olması yeterli olacak iken, EMR kalkanlamaya yönelik kullanım için ise iletkenlik 10^{-2} S/m'den daha fazla olması istenmektedir (Ersoy 2012; Sen 2001; www.swicofil.com).

Elektro kaplamaya kıyasla, elektriksiz kaplama aşağıdaki avantajlara sahiptir:

- a. İletken olmayan malzemeler metalize edilebilmektedir.
- b. Kaplama homojendir.
- c. İşlem basittir ve elektrik enerjisi gerektirmemektedir.

Bununla birlikte, elektriksiz kaplama daha pahalıdır (A. K. Sen 2001^b)

Şekil 1.12’de elektrosuz kaplanmış poliester kumaşın elektron görüntüleri örnek olarak verilmektedir.



Şekil 1.12: Elektrosuz kaplama ile poliester elyaf üzerinde oluşturulmuş nikel nanopartiküller (Ersoy 2012)

1.5.3.5 Püskürtme Yöntemi

Tekstil yüzeylerinde yüksek çözünürlüklü devreler üretmek için bir püskürtme işlemi de kullanılabilir. 150 °C’de tutulan tekstil substratın, devre desenlerini yapmak için argon gibi bir inert gaz ve bir gölge maskesi olan bir vakum odasına uygulama gerçekleştirilmektedir (Gonçalves ve diğ. 2018).

Daha detaylı anlatılırsa; ekipman olarak genellikle 10^{-3} ila 10^{-1} torr arasında argon olan inert bir gaz içeren bir vakum odasını kapsamaktadır. Bölme, kaplama malzemesinin kaynağı olan bir katot (hedef) ve bir alt tabaka tutucu olarak işlev gören bir anotla donatılmaktadır. İki elektrot arasında 1000 V DC’lik bir elektrik potansiyeli uygulaması, bir ışımaya deşarjı oluşturmaktadır. Elektronların katottan anot içerisine hareketi nedeniyle bir akım akışı meydana gelmektedir. Elektronlar argon gazını iyonize etmektedir. Argon iyonları, yüksek elektrik potansiyeli nedeniyle katoda doğru yüksek hızda hızlandırılmaktadır. Enerjik iyonun hedef üzerindeki bombardımanı, momentum transferiyle sonuçlanmaktadır. Vurucu iyonun kinetik enerjisi, hedef maddenin malzemesinin yüzey atomlarının bağlanma enerjisinden

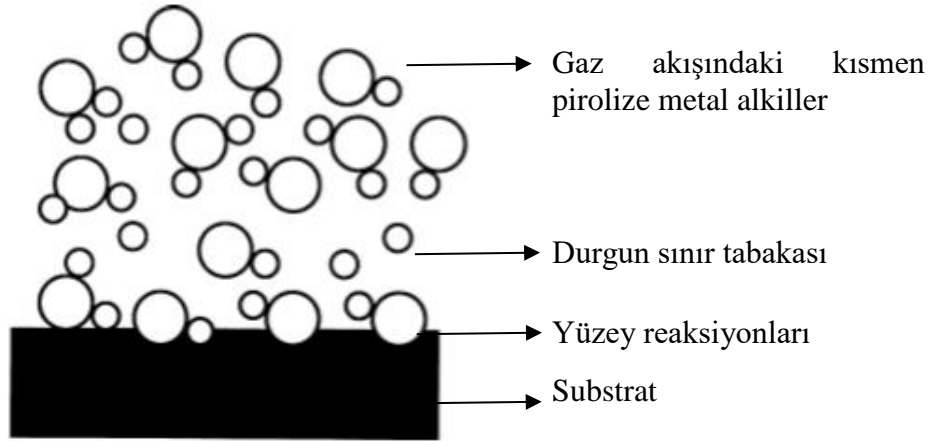
daha yüksekse, atomlar çarpışmalar dizisi ile yüzeydeki yerinden çıkarılmakta veya püskürtülmektedir.

Tipik olarak, iyonların eşik kinetik enerjisi, yüzeyden sıçramak için 10 ila 30ev arasında olması gerekmektedir. Hedef yüzeye çarpan iyonların bazıları ikincil elektronlar üretmektedir. Bu ikincil elektronlar ek iyonlar üretmekte ve akıntı böylece devam etmektedir. Püskürtme işlemi sırasında büyük miktarda ısı üretilmekte bu sebeple malzemenin bir yandan da soğutulması gerekmektedir. Püskürtülen atomlar ve iyonlar, ince bir kaplama filmi oluşturmak için substrat üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bağlı birikim hızları, iyon başına atılan atomların sayısı olan sıçrama verimine bağlı olmaktadır. Püskürtme verimi, hedef malzemeye göre değişmekte ve gelen iyonun enerjisi ile artmaktadır. Yöntem, geniş bir malzeme yelpazesine uygulanabilmekte ve basit buhar biriktirmeden daha iyi yapışma ile daha düzgün bir kaplama vermektedir. Bununla birlikte, işlem daha pahalı ve biriktirme oranı düşük (~30 m/dk) olmaktadır (Sen 2001).

1.5.3.6 Buharlaştırma Birikimi Yöntemi

Kimyasal buhar biriktirme (CVD), kimyasalların ısı ile reaksiyona girmesi sonucu oluşan buhar fazının biriktirilmesi suretiyle, substrat yüzeyinde film oluşturularak kaplanması işlemi olarak tanımlanmaktadır. İşlem en çok termal olarak uygulanmakta ancak foto ve plazma destekli yöntemler de kullanılmaktadır. Filmin birikmesi kimyasal bir reaksiyonla kontrol edilmektedir. Bu nedenle yöntem birçok geleneksel yöntemden daha çok yönlü bir yöntemdir. Büyüme dengede olmayan koşullar altındadır ve kimyasal öncülün doğası prensipte biriktirilen fazı ve morfolojisini kontrol etmek için kullanılabilir. Yöntemin diğer avantajları, hem konformal hem de geniş alan büyümesi için bir potansiyeli ve yetiştirilen materyallerde çoğaltılabilir şekilde çok yüksek saflık seviyelerine ulaşma olasılığını içermektedir. Bir yüzeyin buhar fazı kimyasal reaksiyonu ile işlenmesi, malzemeyi, geliştirilmiş mekanik veya kimyasal direncin elektriksel iletkenliğe veya biyokimyasal aktiviteye kadar ilave fonksiyonlarla donatması için uygun bir kaplamanın üretilmesini sağlamaktadır. CVD'nin gelecekteki etkisi, örneğin entegre sensörler ve aktüatörlerle akıllı tekstiller yapmak için nanopartikülleri içeren daha sofistike ürünlere olan talebe bağlı olabilmektedir.

Şekil 1.13'te CVD prosesinde adımların şema ile anlatımı gösterilmektedir.



Şekil 1.13: Sınırlı kinetik bölgede çalışırken CVD proses adımların şeması
(Carlsson ve Martin, 2010)

Kimyasal reaksiyonla uçucu bir prekürsörden katı bir kaplamanın üretilmesiyle olan CVD, en başta yarı iletken cihaz üretimi olmak üzere birçok endüstrinin temeli olmaktadır. Entegre devreler ve diğer yarı iletken cihazlar, kristalli yarı iletkenlerin ve metal temasların yanı sıra amorf veya polikristal dielektriklerin bir kombinasyonuna dayanmaktadır. Bu katmanların bazıları CVD tarafından üretilmekte, ancak genellikle birkaç yüz santigrat derece sıcaklıklarda üretim gerçekleştirilmektedir. Alternatif bir kimyasal biriktirme yöntemiyle, CVD'nin faydalı yönlerini koruyarak ancak reaksiyonları ise substrat sıcaklıklarının düşürülmesini sağlayan elektriksel deşarj (plazma ile geliştirilmiş CVD, PECVD) ile aktive ederek; eğer reaksiyonlar fotonlar tarafından gerçekleştirilebiliyorsa daha düşük sıcaklıklarda çalışmak mümkün olabilmektedir. Ancak kimyasal bağları koparmak için mutlaka kısa dalga boylu ultraviyole (UV) olmalıdır, böylece birçok tekstil substrat malzemesine de saldırabilecektir.

Bununla birlikte, birçok “düşük sıcaklıklı” termal CVD işlemi hala emtia tekstillerine erişemese de, tekstiller tarafından sürdürülebilir sıcaklıklarda uygulanabilecek bazı soğuk reaksiyonlar bulunmuştur. Bu sınırlı sıcaklıkların, örneğin ürünün yapışmasını ya da reaksiyona girmemiş türlerin kaplamaya dahil edilmesinin zayıf bir şekilde yapışmasını sağlama gibi eksik kimyasal reaksiyonlara neden olma riski bulunmaktadır. Etkili bir CVD reaktörü sabit bir oranda, tercihen çalışma koşullarındaki değişikliklere çok fazla duyarlılık olmadan kontrollü büyüme

sağlanması gerekmektedir. Gaz halindeki reaksiyonun ilerlemesi için gereken asgari sıcaklığın yanı sıra, oluşturulacak kaplamanın gözenekli veya konsolide olmasını önlemek için alt tabakanın ısıtılması gerekebilmektedir. Bu, gelen türlerin üç boyutlu kümelerle yapışmaktansa yüzey boyunca düzgün yerleşmelerini sağlamaktadır.

UV fotonları veya elektronlar gibi son derece enerjik kaynaklar bazı polimerik malzemelere zarar verebilmekte ve işlevselleştirme yerine, moleküler çapraz bağlarla oluşan polimerin derinliklerine nüfuz edebilmektedir. Öte yandan, liflerin diğer moleküllerle aşılmasını sağlamak için, belki de aktivasyon ve sonra bağlanma içeren iki aşamalı bir işlemde bazı sınırlı “hasar” gerekebilmektedir. Şekil 1.14’te bu yöntem ile kaplanan dokuma kumaşın taramalı elektron görüntüleri gösterilmektedir.



Şekil 1.14: Dokuma poliester kumaşın taramalı elektron mikrografları

Şekil 1.4’te Soldaki görüntü vakum buharlaştırılma yöntemiyle ince bir alüminyum filmi ile kaplanmış lifler; orta ve sağdaki görüntü kaplanan alüminyum film üzerine 180°C’de silan ve hidrojen kullanılarak PECVD uygulanması sonucu nanokristalin silikon kaplanmış kumaş lifler (Wilson 2009).

CVD’nin özü, buhardan bir kaplama oluşturmak için kimyasal bir reaksiyonun kullanılmasıdır. Reaksiyon sonucu, yan ürünler uçucu tür olarak ayrılmaktadır. Bazı uçucu öncüller istenen ürünü sağlamak için kolayca ayrıştırılmakta, ancak en düşük sıcaklıklarda gerektiği gibi tam olarak reaksiyona girememektedir. Bu nedenle temel ve gereksiz moleküler türlerin bir karışımını üretmektedirler. Proses sıcaklığını azaltmanın tek etkili yolu yeni uçucu öncüler tasarlamak olabilir. Alternatif öncüllerin aranmasının bir başka nedeni, yarı iletken maddelerin CVD’sinde bir sorun olan toksik veya yanıcı kimyasalların kullanımından kaçınmaktır. Sıvılar ilk önce ısıtılarak buharlaştırılmakta veya kabın içinden sabit bir

oranda köpürtülen etkisiz bir gazla taşınabilmektedir. Reaksiyon haznesi basıncı birçok örnek atmosferik basınçta çalıştırılmakta, ancak diğerleri düşük basınçta (100 Pa altındaki basınçlarda) daha etkili kılmaktadır. Bu da vakum basıncını, kontrol valflerini ve göstergelerin yanı sıra sabit bir basıncı muhafaza etmek için sürekli ölçümlerini gerektirmektedir. Düşük basınçlarda kaplamanın homojenliği de artmaktadır. Malzemelerin kimyasal modifikasyonu mümkünse aşındırıcı ve toksik kimyasallar kullanmaktan kaçınmalı ve yalnızca dökme yüzey özelliklerini değil, yüzeyi de etkilemelidir. Atık suların bertaraf edilmesine dikkat edilmesi gerekmektedir. Genellikle hepsi sıvı bazlı kaplama işlemleriyle üretilen büyük miktarda atık için tercih edilen gaz yıkayıcılar, emiciler veya yakılması ile bertaraf edilmesi gerekmektedir (Carlsson ve Martin 2010; Wilson 2009).

Buhar fazı polimerizasyon yönteminde ise genellikle iletken polimerizasyon maddesi ve polimer takviyesi olarak yüzey üzerinde başlatıcı çözelti kullanılmaktadır. Polimerizasyon adımı reaksiyon koşulları sürekli kontrol altında tutularak, buhar PEDOT ve/veya PPy monomerleri polimerize edilerek yoğunlaştırılmakta böylece alt tabaka yüzeyin homojen kaplanarak yüksek iletken bir kaplama yüzeyi elde edilmektedir. Pedot buhar fazlı polimerizasyonun uygulandığı bir çalışmada, $FeCl_3$ ve/veya Fe^{+3} başlatıcıdır. Bu uygulama sonucu 70 S/cm iletkenlik değeri elde edildiği belirtilmektedir. Yapılan çalışmada, Pedot filmlerinin eldesinde, Fe^{+3} , piridin (alkalin inhibitör) ile oksitleyici $FeCl_3$ kullanıldığında 1.025 S/cm değerinde iletkenliğin artırılması mümkün olmaktadır (Samatya 2015).

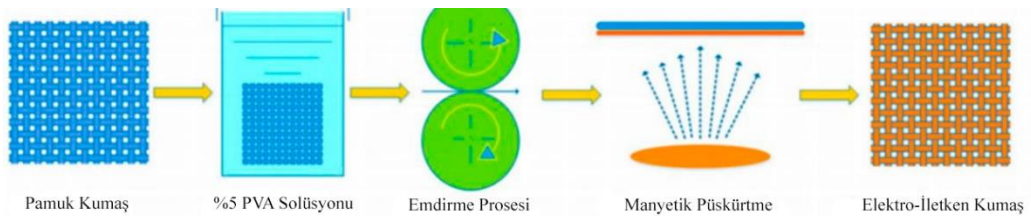
1.5.3.7 Film Kaplama

Şeffaf, elastik iletkenler, etkileşimli elektronikler, implante edilebilir tıbbi cihazlar ve insan benzeri algılama özelliklerine sahip robotik sistemler gibi, insan etkileşimi ve biyolojik geri bildirimini kolaylaştıran elektronik ve optoelektronik cihazların temel bileşenleridir. Bu özelliklere sahip ince filmlerin iletkenliği, tersine doğru uzanan, baskıyı algılayan (sadece dokunma değil), saç tokası dönüşlerine bükülen, katlanabilir, gerilebilir ve mekanik olarak dayanıklı ekranlar ve güneş pilleriyle bütünleşen cilt benzeri sensörlerin gelişmesine yol açabilmekte ve ayrıca, cilt ve organlar gibi düzlemsel olmayan ve biyolojik yüzeyleri bozulmadan

sarabilmektedir. Her bir eksen boyunca uygulanan germe kuvvetinde gerilebilmekte ve daha sonra bu gerginlik kuvveti serbest bırakıldığında eski haline dönebilmektedir.

Tek duvarlı karbon nanotüplerin şeffaf, püskürtmeli biriktirilmiş filmleri üzerinde yapılan çalışmada, nanotüplerde % 150'ye varan gerilme bandına bozulmadan çıkabildiği ve gerilmiş halde 2,200 S/cm kadar yüksek iletkenlik gösterebilen yay benzeri yapılar üretilmiştir. Nanotüp filmlerini, basınç ve gerinim sensörleri gibi davranan saydam, gerilebilir kapasitör dizilerinde elektrotlar olarak da kullanılmaktadır (Lipomi ve diğ. 2011).

Magnetron püskürtme yöntemi ile nano Cu film kaplı kumaşlar ise çok iyi elektromanyetik ekranlama performansına sahiptir. Cu nanofilm tabakasının biriktirilmesi için doğru akım magnetron püskürtme yöntemini kullanılarak yapılan çalışmada, hazırlanan kompozit kumaşın elektromanyetik koruma etkinliği, 10 MHz ila 1.3 GHz frekans aralığında 55 dB'den büyüktü olmaktadır. Kaplanmış poliester kumaş, yalnızca uygun koruma etkisine ve elektrik iletkenliğine sahip olmasının yanında aynı zamanda ultraviyole ışığı üzerinde mükemmel koruma etkisine sahip olmaktadır. Film kaplama uygulamalarında alt tabakanın gözenekli yapısı da önem taşımaktadır. Bu sebeple PVA ile kumaş yüzeyi pürüzsüz kaplanarak yapılan ön işlemden sonra da iletken film uygulanabilmektedir. Sonuçlar, bunların elektriksel iletkenlik ve elektromanyetik koruyucu özelliklerinin geliştirildiğini ve Cu kaplı örneklerin elektromanyetik koruyucu etkisinin, 300 KHz ila 1,8 GHz frekans aralığında, 30 dB'ye ulaştığını göstermektedir (Tan ve diğ. 2018). Çalışmanın uygulama prosesi Şekil 1.15'te şematize edilmektedir.



Şekil 1.15: PVA ile ön işlem gördükten sonra püskürtme yöntemiyle pamuklu kumaşın iletken film ile kaplama şeması (Tan ve diğ. 2018)

1.6 E- Tekstiller Alanında Kullanılabilir Mürekkepler

Bir giysi, giysinin belirli alanlarına iletkenlik kazandırmak için iletken mürekkepler kullanılarak ekrana basılabilmektedir. Geleneksel baskı mürekkeplerine, iletken olmaları için karbon, bakır, gümüş, nikel, altın veya polimer yapılı iletken tozları eklenebilmektedir. Basılı alanlar daha sonra iletken yol, devrenin aktivasyonu için şalter veya basınç sensör pedi olarak kullanılabilir (Syduzzaman ve diğ. 2015).

Akıllı kumaşlar, özellikle giyilebilir sistem uygulamaları için son yıllarda artan ilgi görmektedir. Giyilebilir elektronik devreler ve sensörler için gerekli olan temel bir elektronik bileşen esnek bir kapasitördür. Tüm inkjet baskı kapasitörleri doğrudan yazma işlemli elektronik sensörler ve devrelerde kullanılmasından dolayı büyük ilgi çekmektedir (Li ve diğ. 2012).

1.6.1 Polimer İletken Mürekkepler

Yapısal olarak iletken polimerlerin (ICP) geliştirilmesi, iletken tekstil malzemeleri için yeni olanaklar yaratmaktadır. Bu polimerlere katkı maddeleri eklenerek elektriksel iletkenliğinin artırılması mümkündür. Bu polimerlere “konjuge polimerler” denmektedir. Katkı malzemesi olarak az miktarda kimyasal madde eklenerek, elektronik yapıları geliştirilmektedir. Doğal olarak iletken polimerler hem algılama hem de çalıştırma özelliklerine sahiptir. Yaygın olarak bilinen bazı ICP'ler poliasetilen, poliprol (PPy), polianilin (PANI), politiyofen ve bunların türevlerini içermekte ve genellikle akrilik esaslı binder kullanılarak kumaşlara kaplanabilmektedir.

Bu polimerler, bir dizi alternatif tek ve çift bağ (sp^2 hibritleştirilmiş yapı) dizisinden oluşan bir polimer-konjuge zincir omurgasına sahiptir. Bu tüm polimer zinciri boyunca π -elektronlarının konum değiştirme kabiliyeti sonucunda bu polimerler özel elektriksel özellik kazanmaktadır. Bu polimerlerin doğal olarak yük ayırma yoluyla elektrik iletme kabiliyetleri nedeniyle, kendiliğinden iletken polimerler (ICP) olarak adlandırılmaktadır. Tüm ICP'ler arasında PANI, ters çevrilebilir doping / dedoping karakteri, değiştirilebilir elektriksel iletkenlik, pH

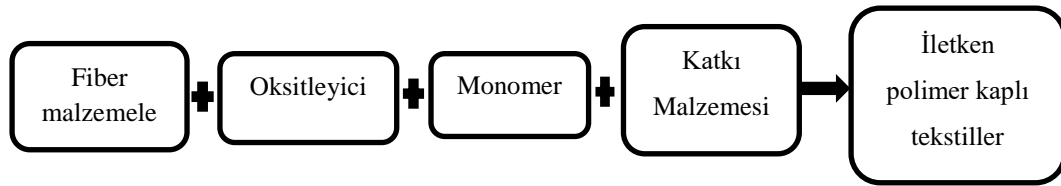
değiştirme özellikleri ve iyi çevresel stabilite nedeniyle araştırmacılardan büyük ilgi görmektedir. Aynı zamanda, geleneksel redoks dopinginden ayrı olarak protonik asitlerle (proton doping) katıldığında eşsiz bir kabiliyete sahiptir. Onun haricinde iletken σ polimerler arasında, Poliprol (PPy), elektriksel iletkenliği ve optimum mekanik özelliklere sahip homo-polimerleri veya kompozitlerini oluşturmak için hazırlama teknikleri nedeniyle ticari alanda çok sık kullanılmaktadır. Aynı zamanda tekstil kaplama için en uygun iletken polimerlerden biridir. Poliprol (PPy), yüksek elastikiyet ile yüksek mekanik mukavemete sahip olduğundan, hava ve elektroda nispeten stabil olduğundan en uygun polimerdir. Piroliz ile bir monomer ve bir spesifik elektrolit tuzu içeren bir çözeltinin kimyasal oksidasyonunu içeren, elektrokimyasal bir polimerizasyon işlemi ile kumaşlarda ince bir PPy film oluşturulabilmektedir. Bu işlem, polimerin elektrot yüzeyindeki yerinde birikmesine bağlı olarak ortaya çıkan polimer kalınlığının, morfolojisinin ve doping derecesinin daha iyi kontrol edilmesini sağlamaktadır.

İletken polimerler, hem katı bileşikler hem de sıvı dispersiyonlar/çözeltiler halinde sağlanabilmektedir. Sıvı versiyonları, bir tekstil substrat üzerine kaplama veya baskı yöntemleri ile kolayca uygulanabilmektedir. Örneğin, poliester kumaşlar, ısı üretimi sağlayabilen tekstillerinin elde edilmesi için poliprol (PPy) ile kaplanan kumaşlara voltaj uygulandığında kumaş ısı üretebilir özellik kazanmaktadır. Poli-3,4-etilendioksitiyofen (PEDOT) ve PPy, poliester bir tekstil üzerinde kimyasal ve elektrokimyasal oksidasyon ile biriktirilerek uygulanan tekstil yapılarına, germe kuvveti uygulandığı esnada iletkenliğin de azaldığı görülmektedir. Bu tekstillerin gerilme sensörleri olarak kullanılması fikri üzerinde pek çok çalışma halen yapılmaktadır.

Tekstil üzerine iletken kaplamalar uygulanarak, yeni ve teknik açıdan ilginç bir tekstil malzemesi elde edilmelidir. Tekstiller farklı yüzey görünümleri ve özellikleri elde etmek için sık sık kaplanmakta ve basılmaktadır. Bununla birlikte, tekstil endüstrisinde kullanılan benzer yöntemlerle tekstile iletken kaplama uygulama olasılıkları hakkında henüz yeterli araştırma bulunmamaktadır. Polimer esaslı iletkenler biyo-uyumlu olmalarının avantajı sayesinde sensör alanındaki uygulamalarda tercih edilmektedir. Bu cihazlarla ilgili sorun ise ısıya duyarlılık, zaman içinde direnç ve yüksek yanıt süresi açısından değişiklik olabilmesi ve

metallere göre zayıf iletkenlikleri olmaktadır. Kavram basit gibi görünse de, üstesinden gelinmesi gereken birkaç teknik engel bulunmaktadır (Rehnbly ve diğ. 2008; T. Sen ve diğ. 2016; Syduzzaman ve diğ. 2015; Üner ve Gürcüm 2014; Wang ve diğ. 2010).

Şekil 1.16'da bir çözelti polimerizasyon metodu veya kimyasal buhar biriktirme metodu ile iletken tekstil üretimi için temel bir işlemleri göstermektedir. Pirolün kimyasal oksidasyon ile polimerizasyonu genellikle organik çözücülerde veya suda elde edilmektedir. Ekonomik açıdan bakıldığında, kumaşlarla ilişkilendirilen geniş yüzey geleneksel boyama ve bitim işlemleriyle daha iyi uygulanabilmektedir. Bu nedenle, tekstil iletken kaplama için, suda polimerizasyon genellikle tercih edilmekte, ancak solventlerdeki kaplama daha iyi ürünler üretebilmektedir. Polimerizasyondan sonra, kaplanmış malzeme, aşırı biriktirme ve oksidanları beton yüzeyinden çıkarmak için iyice durulanmalıdır. Kaplama stabilitesini arttırmak için başka işlemler yapılabilmektedir (Wang ve diğ. 2010).



Şekil 1.16: Tekstil üzerine iletken bir polimer kaplamanın genel prosedür şeması (Wang ve diğ. 2010)

1.6.2 Metal Esaslı İletken Mürekkepler

Esnek ve hafif güneş pilleri, uzay araçları, uçaklar, portatif veya giyilebilir güç kaynağı cihazları gibi ilginç uygulamalarda veya elektrik gücü sağlamak için binaların veya otomobillerin iç ve dış mekan dekorasyonlarının kıvrımlı ve karmaşık düzlemsel olmayan yüzeylerinde uyarlanabilir olması nedeniyle yeni geliştirilen bir teknoloji olarak, esnek, hafif ve gerilebilir elektronik tekstiller çok çeşitli uygulamalara ulaşmaktadır (Ke ve diğ. 2019; Zhang ve diğ. 2018).

Giyilebilir akıllı elektronik cihazların kullanımının artmasıyla birlikte, esnek kumaş elektrotları gittikçe daha fazla dikkat çekmektedir. Basılabilir elektronik

teknolojisi, elektronik bileşenlerin hazırlanmasını sağlamak için, sıvıların iyi viskozite veya çözünürlüğü olan malzemeleri modellemek için farklı baskı yöntemleri kullanılmaktadır. Basılı elektronik teknolojisi, düşük enerji tüketimi, düşük sarf malzemeleri, yeşil çevre koruma, esneklik ve düşük ekipman yatırımı gibi birçok avantaja sahiptir. Kolay üretim süreci, geleneksel elektronik ürünlerin büyük ölçekli seri üretimine izin vermektedir. Basılı elektronik alanındaki çalışmalar, malzemeler, ekipman, süreçler ve uygulamalardaki ortak teknolojiler dahil birçok konuyu içermektedir. Basılı elektronik alanında kullanılan, metal nanomalzeme bazlı iletken mürekkeplerin küçük boyutları, düşük sinterleme sıcaklığı ve kolay bir mürekkep formülasyon prosesi bulunmaktadır.

Günümüzde, metalik nanoparçacıklar (NP) bazlı iletken mürekkepler, iletken bileşenlerinde çoğunlukla gümüş, bakır veya bakır-gümüş nanoparçacıkları içeren basılı elektronikler en yaygın şekilde kullanılmaktadır. İletken mürekkepler, baskı sonrası iletken bir yol oluşturmak için nanoparçacıkların kaynaşması için termal sinterleme işlemi gerektirmektedir. Metalik NP bazlı iletken mürekkeplerin sinterleme sıcaklığı genellikle 150 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda çalışılmaktadır (Ke ve diğ. 2019).

Grafen, esnek elektronik aygıtlar, şekil hafızalı polimerler, sensörler fotovoltaj cihazlar, iletken nanolar, antibakteriyel kompozitler, enerji dönüşümü ve depolama gibi geniş bir alandaki potansiyel uygulamaları için bugün geniş çapta araştırılan heyecan verici bir nanomateryaldir. Özelliklerini geliştirmek için polimerlerde kullanılacak çekici mekanik, elektriksel, fiziksel ve kimyasal özellikler göstermektedir. Bu sebeple grafen mürekkepler üzerinde son zamanlarda yapılan çalışmalar giderek artış göstermektedir (Mohan ve diğ. 2016).

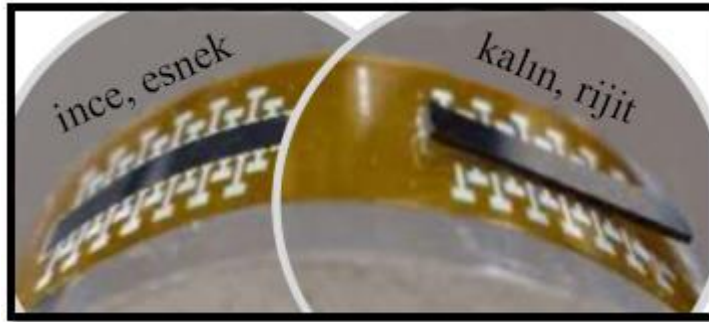
Altın veya gümüş nanoparçacıklarla kimyasal olarak kaplanmış iletken olmayan iplikler ve kumaşlar da çok yüksek düzeyde elektriksel iletkenlik sunmakta ve özellikle gümüş metalize kumaşlar üzerinde kumaş devreleri yapmak için tercih edilmektedir. Metalize kumaşlar ayrıca, yoğun radyan ısıya karşı koruma için koruyucu giysilerde kullanılabilen çünkü alüminyumla kaplanmış tekstil yüzeyi yüksek derecede ısı yansıtması sağlamaktadır (Wang ve diğ. 2010).

1.6.3 Kompozit İletken Mürekkepler

Kompozit malzeme üretiminin temel amacı olan farklı avantajlara sahip materyallerin bir araya getirilmesinden oluşacak yeni ürünün birden fazla avantaja sahip olurken, dezavantaj özelliklerinin azaltılması, mürekkep teknolojilerinin gelişiminde büyük payı olmaktadır.

Bir nanokompozitte ikincil bileşen metalik veya bimetalik nanopartiküller, metal oksit nanopartikülleri, CNT veya grafen gibi karbon bileşikler, kalkojenitler, polimerler vb. olabilmektedir. Polimer matrisi içindeki nanopartiküller herhangi bir koordinasyon bağı oluşturmamakta, fakat zayıf elektriksel çekim kuvveti veya Van der Waals bağlarının etkileşimleriyle stabilize edilebilmektedir. Nanokompozitin bileşenleri arasındaki bu etkileşimler sadece mevcut özellikleri iyileştirmekle kalmaz, aynı zamanda ilginç yeni özellikler de ortaya çıkarabilmektedir. Örneğin, ikincil bileşene bağlı olarak, nanokompozit, hem iletken hem de manyetik karakter sergileyen PANI / Fe₃O₄ nanokompozit durumunda olduğu gibi çok işlevli de olabilmektedir. Bir nanokompozitin bir başka avantajı, özelliklerde istenen iyileştirmeyi sağlamak için çok az miktarda nanomalzemenin genellikle yeterli olmasıdır. Dolayısıyla, nanokompozit kullanımı da ekonomik açıdan tercih sebebi olmaktadır (T. Sen ve diğ. 2016).

Şekil 1.17'de esnek ve rijit elektroniklerin görsellerinin karşılaştırıldığı bir örnek verilmektedir.



Şekil 1.17: Esnek elektronikler ve rijit elektroniklerin doğrusal olmayan düzlemlerdeki uyumunun görseli (R. Das 2017)

Grafenler, istisnai özellikler sergileyen atom kalınlığında karbon katmanlarından oluşmaktadır. Belirli kiral açılardan yuvarlandığı zaman bu tabakalar karbon nanotüpleri (CNT) oluşturmaktadır. CNT'ler son derece yüksek görünüş oranına sahiptir ve yuvarlanma açısına ve yarıçapına bağlı olan olağanüstü termal, elektriksel ve mekanik özellikler göstermektedir. PANI'ya dâhil edildiklerinde özelliklerini geliştirmekte ve ayrıca çeşitli uygulamalarda kullanışlı hale getirilmektedirler. PANI tabakasının 1D CNT nano yapısına biriktirilmesi nanokompozit hazırlama işleminin en basit yöntemidir ve genellikle CNT yüzeyine fonksiyonel gruplar eklenerek veya sürfaktanlar kullanılarak elde edilmektedir. CNT'lere benzer şekilde, grafenler de üstün elektroaktiviteye sahip nanokompozit elde etmek için PANI'ya dâhil edilmektedir. Bu durumlarda yüzey aktif cisminin kullanılması, PANI matrisinde grafen tabakalarının dökülmesini kolaylaştırır (T. Sen ve diğ. 2016).

1.7 E-Tekstillerde Baskı Teknikleri

Malzeme yüzeyleri ve arayüzleri giyilebilir tekstillerde karlı işlevsellik sağlamaktadır. Rulo kaplama, daldırma kaplama, serigrafi baskı veya laminasyon şeklinde kaplama uygulamak için kullanılan tipik geleneksel tekniklerdir. Mürekkeplerdeki nanomalzemelere dayalı yeni işleme tekniklerinin geliştirilmesi ve yeni baskı patı / kaplama formülasyonları, tekstil yapılarına çok ince katmanda istenen desende uygulama imkânı sunmaktadır.

Bu mürekkepler veya baskı patlarında, CNT'ler, grafen ve alüminyum gibi çeşitli iletken malzemeler kullanılmaktadır. Kimyasal buhar biriktirme (CVD), fiziksel buhar biriktirme (PVD) ve atomik tabaka biriktirme (ALD), tekstil maddelerini bir iletken madde katmanı ile kaplamak için kullanılan bazı tekniklerdir. İletken kararlı mürekkepler geliştirerek, baskı işlemi tekstil yüzeylerinde iletken devrelerin üretimini ölçeklendirmek için daha yetenekli görünmektedir (Memarian ve diğ. 2019). Gerekli iletken malzemeleri doğrudan tekstil yüzeylerine basmak için ekran (serigrafi) ve mürekkep püskürtmeli (inkjet) baskı yöntemleri kullanılmaktadır (McKnight ve diğ. 2018).

1.7.1 Serigrafi Baskı Tekniği

Serigrafi baskı zaten tekstil üretimi için sıkça kullanılan geleneksel bir üretim tekniği olması sebebiyle ticari açıdan üretim için potansiyel bir yol sağlamaktadır. Elektrikli cihazların kumaş yüzeyine entegrasyonu, serigrafi baskısının temel özelliklerinden biri olan ince ekranlama ile uygulanmaktadır ve bu özellik konfor açısından büyük önem arz etmektedir. İletken mürekkepler, ekran baskısı ile istenen düzende bir giysinin belirli alanlarına iletkenlik eklemek için kullanılabilirlerdir.

Karbon esaslı malzemeler, bakır, altın, gümüş ve nikel gibi iletken malzemeler ile uygun katkı maddeleri de eklenerek geleneksel mürekkepten, yeni iletken mürekkepler üretilebilmektedir. Hazırlanan baskı patı/mürekkep ile istenen devre şeması ya da önceden tasarlanmış bir desene göre basılabilmektedir. Opak ve saydam versiyonlarda serigrafi yöntemi ile basılabilir polimer bazlı mürekkep olarak da üretilebilmektedir. Basılı iletkenler esnek ve uyumlu sensörler ve ara bağlantılar sağlayabilmektedir. Bununla birlikte bu sistemler boyut sınırlamalarından olumsuz etkilenmektedir. Çünkü daha küçük basılı iletkenler daha yüksek elektriksel direnç üretmektedir. Bunun nedeni kısmen bu malzemelerin üzerine basıldığı kumaşların gözenekli yapıya sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Bu basılı iletken çizgilerin stabilitesi ayrıca substrat kumaşının tekrarlanan bükülmesine/gerilmesine de duyarlıdır ve uzun süreli kullanım sınırlı olabilmektedir. Gümüş/gümüş klorür'e dayalı ekran baskılı iletken macunlar yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu malzemeler üzerine basıldıkları tekstil alt tabakaları ile birlikte yeterince bükülebilmekte ve esneyebilmektedir. Karbonlu ve gümüş nanomalzemelerden oluşan yeni basılabilir mürekkepler, basılı iletken / sensör kalitesinde iyileşmeler sağlayabilmektedir. Basılı e-tekstil üretiminin bir avantajı, sensör boyutları ve geometrilerinin farklı uygulamalar için uyarlanabilir olmasıdır (Matsuo 2008; McKnight ve diğ. 2018; Memarian ve diğ. 2019).

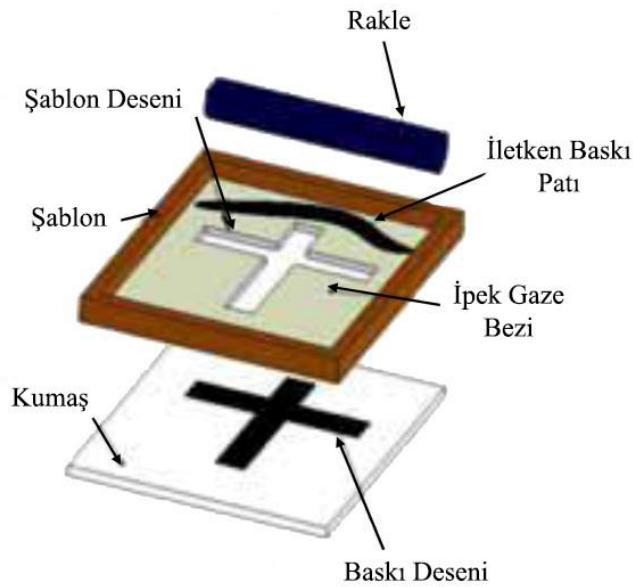
Gelişmiş serigrafi baskı işlemleri için temel adımlar, geleneksel serigrafi baskı işlemiyle aynı uygulanmaktadır. Bir pat malzemesi, ince bir esnek alt tabakaya serigrafi baskı ile basılmakta ve daha sonra fırınlanmaktadır. Gerekirse, yapılan baskı izlerine ek serigrafi yapılarak işlem tekrarlanabilmektedir. Gelişmiş işlemin en

önemli özelliği, malzemelerin, ekran yazıcıların ve ekran maskelerinin optimize edilmiş kombinasyonudur.

Optimize edilmiş bir işlem koşulu, uygun bir iletken macun kullanarak ince, pürüzsüz bir alt tabaka üzerinde oluşturulmaktadır. Baskı makineleri ve baskı şablonu zaten 10 ila 20 mikronluk incelikte ve alanda serigrafi baskı yapabilme yeteneğine sahiptir. Ultra ince iletkenleri gerçekleştirmek için üretim miktarlarında iletken macun malzemeleri geliştirmek için araştırmalar devam etmektedir (Numakura 2008).

Serigrafi baskılı elektrotlar (SPE'ler), tekniklerine ve baskı malzemelerine göre son on yılda önemli gelişmeler arasında en ekonomik elektrokimyasal substratlar olarak kullanılmaktadır. Erişebilirlik, basitlik ve hızlı müdahale/hızlı sonuç, çevre kirliliğinde az atık oluşturması gibi avantaj özelliklere sahiptir. Giyilebilir sağlık izleme sistemleri (WHMS), araştırma topluluğundan ve sektörden son birkaç yıl içerisinde, ilgili araştırma ve geliştirme çabalarında sayısız ve kademeli artışa işaret ettiği için çok dikkat çekmektedir (P, Singh ve Karthikeyan 2019).

Şekil 1.18'de serigrafi baskı yönteminin şematize edilmiş görseli gösterilmektedir.



Şekil 1.18: Serigrafi baskı şeması (Kazani 2012)

1.7.2 İnkjet Baskı Tekniği

Uygun reoloji ve fiksasyon özelliklerine sahip mürekkepler geliştirmek, inkjet baskının tekstile uygulanmasında kritik bir faktördür. Mürekkepler, çeşitli kumaşlarda keskin, yoğun ve kalıcı görüntüler üretme yetisine sahipken, bu yöntemde damla oluşumu için uygun fiziko-kimyasal özelliklere sahip olmalıdır.

Jet baskı ile ilgili daha önceki çalışmalarda, mürekkeplerin reolojik özelliklerinin tanımlandığı ve ölçümlerin esasen jet teknolojisinin seçtiği yüzey gerilimi, yoğunluk ve sabit durum viskozitesi ile sınırlı olduğu çok az örnek bulunmaktadır. Bununla birlikte, polimer bilimindeki gelişmelerden etkilenen malzemelerin gelişmiş mekanik testleri, görüntüleme endüstrisinde giderek artan bir değer kazanmaktadır (Galéa ve diğ. 1993).

İletken mürekkeplere eklenecek katkı maddesi; gümüş (Ag), bakır (Cu) veya altın (Au) gibi metal nanopartiküller, belirtilen metallerin alaşımları, çekirdek/kılıf sistemleri ve/veya bir taşıyıcı sistem olmak üzere doğru tasarlanması gerekmektedir. Çoğu su bazlı olmaktadır. Bu özel mürekkepler, elektriksel olarak aktif desenler oluşturmak için aralarında tekstil olmak üzere çeşitli malzemeler üzerine de basılabilmektedir.

Üretim sürecinde, levha bazlı mürekkep püskürtmeli ve serigrafı yöntemi gibi düşük hacimli, yüksek hassasiyetli yöntemler ile karşılaştırıldığında inkjet baskı en gelişmiş yöntemdir ve iletken malzemenin doğal veya sentetik kumaş gibi farklı yüzeylerde yazdırılmasına olanak tanımaktadır. Mürekkep püskürtmeli teknik esnek ve çok yönlüdür ve nispeten düşük bir çabayla ayarlanabilmektedir.

Minimum malzeme tüketimi gerektirmekte ve maske takmaya gerek olmamaktadır. Teknik, kimyasal aşındırma ve kirletici ajanlar olmadan uygulanan bir işlemdir. Bununla birlikte, mürekkep püskürtmeli baskıyla yüksek performanslı bir iletken şerit elde etmek için bazı teknik hususların dikkate alınması gerekmektedir.

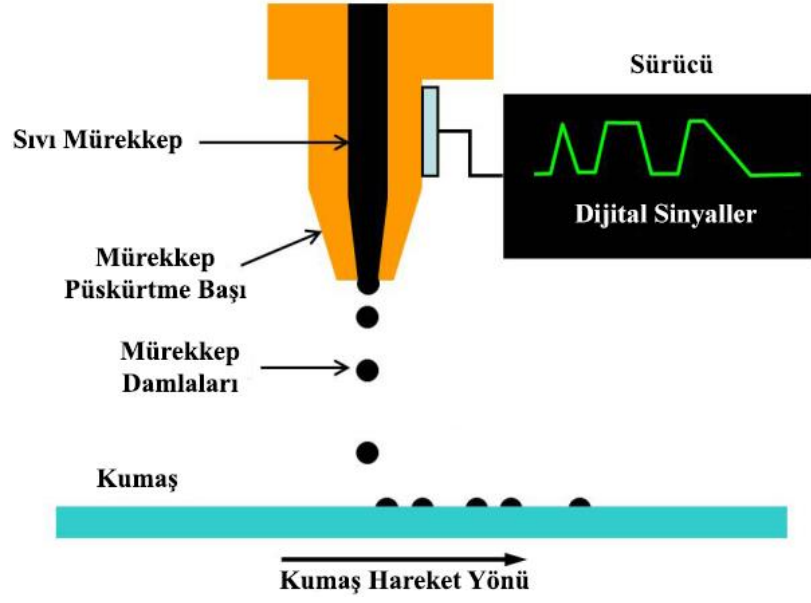
İletken tabakalar çok ince olabilmekte, yaklaşık 1 mikron, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile ölçülmekte ve basit bir rugosimetre veya profilometre ile ölçülememektedir. Bu nedenle kumaşın pürüzlü, düzensiz ve gözenekli yüzeyi sorun yaratabilmektedir.

Mürekkep, damlacıklar yoluyla biriktirilmekte ve viskozite dikkate alınması gereken önemli bir parametre durumuna gelmektedir. Aksi halde dielektrik veya metal parçacıkları dağılan organik veya inorganik mürekkepler memeyi tıkayabilme sorunlarına yol açmaktadır. Bu sorunun üstesinden gelmek için çoklu bir nozul sistemi ve önceden yapılandırılmış bir alt tabaka (ön işlem görmüş yüzey) benimsemek, çözünürlük ve üretkenlik performansını arttırmaktadır. Ayrıca tıkanmayı sınırlandırmak için, dağıntı partiküllerin, kural olarak, nozul çapının onda birinden küçük olması gerekmektedir.

İletken mürekkepler, tekstil üzerinde düzgün ve düz bir iletken kaplamının yapılmasına izin vermektedir ancak, kaplama uygulandıktan sonra iplik hareketliliğindeki değişiklik nedeniyle kaplama, kumaşların mekanik özelliklerini, gerilme, kayma ve bükülme özellikleri açısından etkileyebilmektedir. Bu değişiklikler, iletken malzemenin viskozitesine, homojenliğine, gözenekliliğine ve bükülme sertliğine bağlıdır. Mürekkepler ayrıca belirli mürekkep özelliklerini ayarlamak veya eklemek için kullanılan katkı maddelerini de içerebilmekte böylece son uygulamaya göre performans artırılabilir (M. Stoppa ve Chiolerio 2016).

Inkjet baskı teknolojisi, esnek tekstil yüzeylerindeki elektronik devreleri ve sensörleri dijital olarak tanımlanmış şekillerde gerçekleştirmek için potansiyel olarak ilerisi düşünüldüğünde düşük maliyetli, temassız bir çözüm sunmaktadır. Mürekkep biriktirdikten sonra, kumaş substratın zarar görmemesi için yeterince düşük bir sıcaklıkta (<150 °C) termal kürlenebilen veya UV kürlenebilen yeni uygulama tekniklerinin geliştirilebilmesi, inkjet baskılı giyilebilir sistemlerin elde edilmesinde kritik bir role sahiptir. Geleneksel mikrofabrikasyon tekniklerine kıyasla, mürekkep püskürtmeli baskı, işlem adımlarının sayısını, talep edilen enerjiyi ve üretilen atığı önemli ölçüde azaltmaktadır (Li ve diğ. 2012).

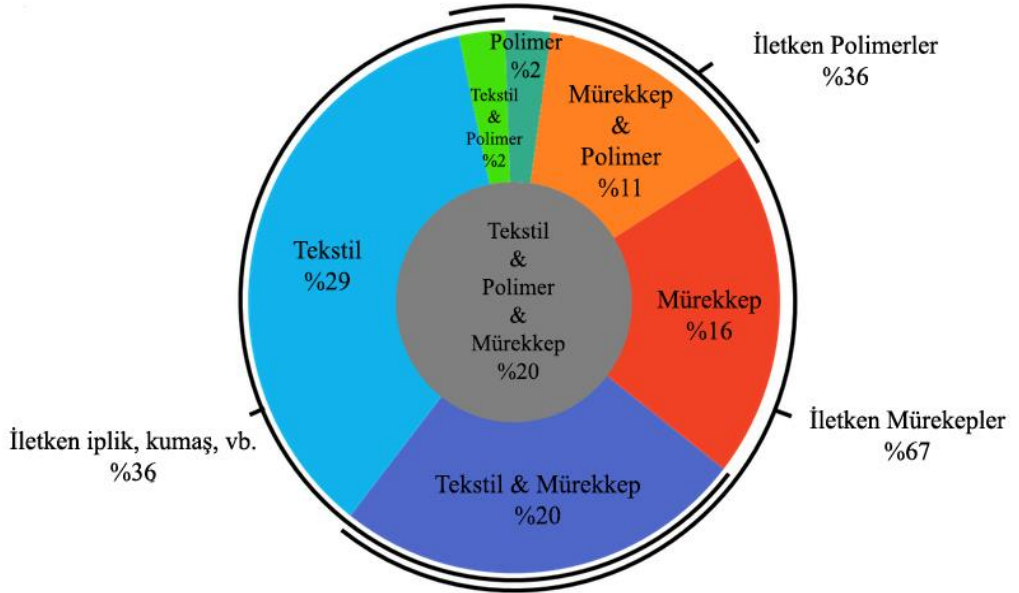
Şekil 1.19’da inkjet baskı tekniğinin şematize edilmiş hali gösterilmektedir.



Şekil 1.19: İnk-Jet baskının şematik gösterimi (Kazani 2012)

1.8 Elektronik Tekstillerin Dünyadaki Yeri

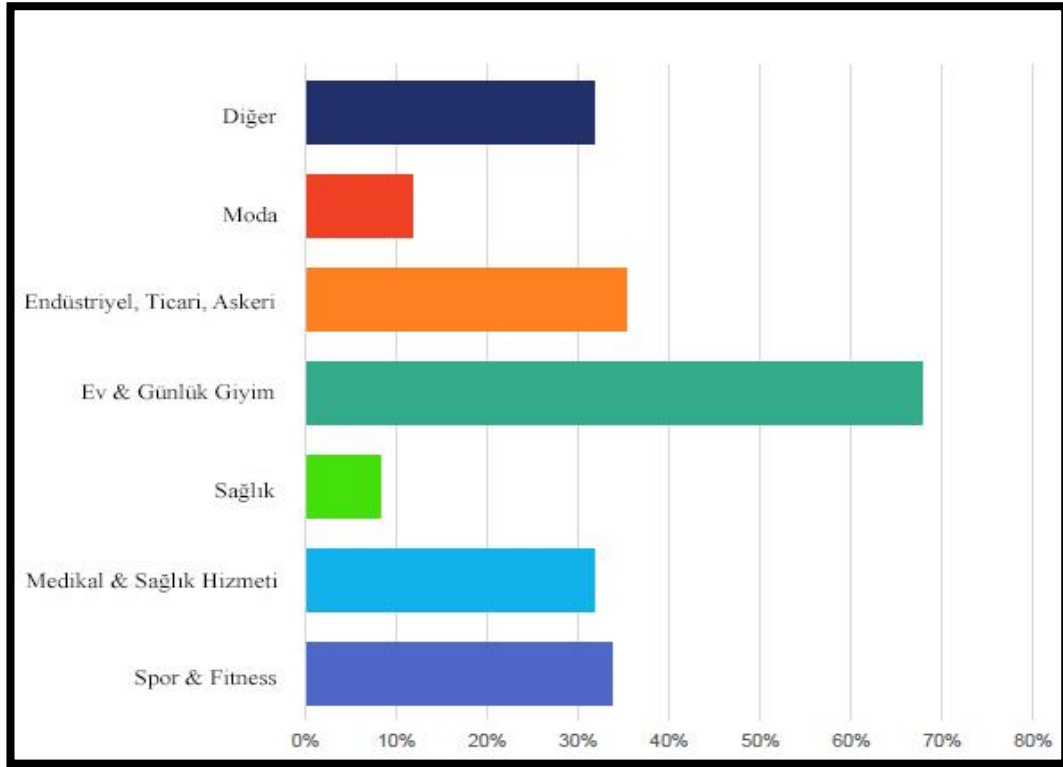
Şekil 1.20’de, IDTechEx’in e-tekstil alanındaki 100’den fazla şirketin katılımıyla yaptığı anket sonuçlarını göstermektedir.



Şekil 1.20: IDTechEx kuruluşunun e-tekstil alanında yaptığı anket sonuçları (Thoppey 2018)

Elektronik tekstil üretiminde;

- Lifler, iplikler ve tekstiller en yaygın olanlardır. Saf lifler, kaplamalar, dolgu maddeleri veya pul olarak dahil edilen metalleri içeren birçok varyasyon mevcuttur. Gümüş kaplı pamuk en yaygın olanıdır, ancak özel iplikler de çok yaygın hale gelmektedir.
- Mürekkepler, tekstillere baskı yapmak için geleneksel iletken mürekkeplerin kullanılmasını, ayrıca daha fazla gerilebilirlik-esneyebilirlik için tasarlanmış yeni geliştirilen mürekkeplerin kullanımını içermektedir.
- Polimerler, karbon yüklü lastikler, PEDOT ve daha fazlası gibi tüm iletken seçenekleri içermektedir. Grafen veya karbon nanotüpler gibi yeni malzemeler genellikle mürekkepler veya polimerler içine dahil edilmektedir.

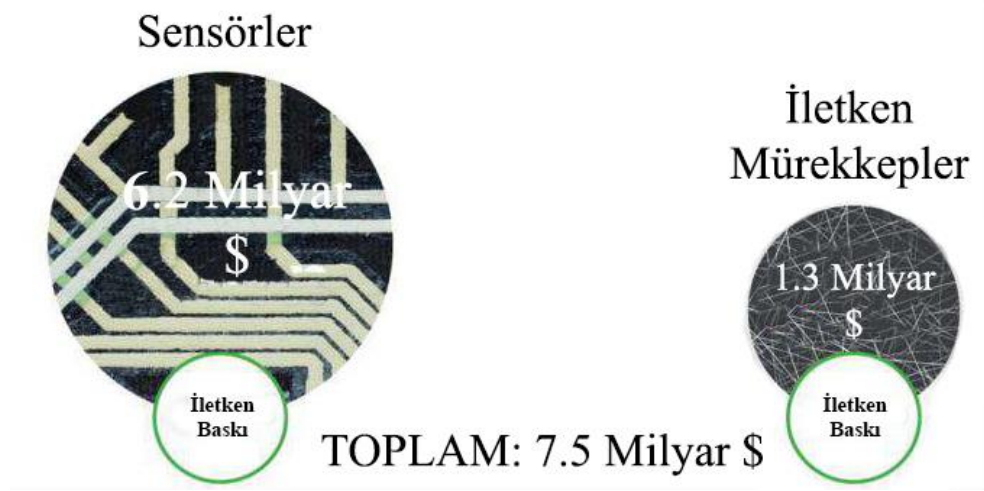


Şekil 1.21: Sektöre göre CAGR (bileşik yıllık büyüme oranı) (Thoppey 2018)

Şekil 1.21'deki veriler, 2014 yılından 2026'ya kadar varan büyümeyle ilgili olarak, her bir sektörün nispi büyüme oranlarını göstermektedir.

Ev ve yaşam tarzı, çoğunlukla sıfıra yakın bir yerden başlayarak, en büyük büyümeye sahiptir. En önemli büyüme Spor ve Zindelik, Medikal, Sağlık ve Endüstriyel, Ticari, Askeri sektörlerde gerçekleşmektedir (Thoppey 2018).

Basılabilir esnek elektronik tekstillerin ve sensör tekstillerin son yıllardaki pazar satış hacmi Şekil 1.22'de gösterilmektedir.



Şekil 1.22: Son yıllarda e-tekstil ürünlerinin satış hacmi (R. Das 2017)

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMALARI

Hong, Hu ve Yan, (2019), tarafından yapılan bir çalışmada, poliüretan dokuma kumaşa, ağırlıkça % 60'lık gümüş nano partikül kullanılan dört farklı baskı mürekkepleri hazırlamıştır. Bu çözeltinin özelliği ile UV kürlenebilir iletken mürekkeplerin geliştirilmesi ve e-tekstilde kullanılabilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Serigrafi yöntemi kullanılarak uygulanacak baskı patlarının içeriği;

- Poliüretan akrilat (PUA), [% 16; % 20; % 24; % 28,5]
- Trimetilolpropan triakrilat (TMPTA), [% 9,4; % 7,4; % 5,4; % 3,4]
- Tripropilen glikol diakrilat (TPGAD), [% 9,4; % 7,4; % 5,4; % 3,4]
- (2-hidroksi-5-metilfenil) -1-propanon (1173), [% 4]
- γ - (2,3-epoksi-propoksi) propiltrimetoksisilan (KH-560)[% 0,88]
- Köpük kesici (BYK-555) [% 0,2]
- Egaliz yardımcı madde (BYK-333) [% 0,12] şeklinde hazırlanmıştır.

Serigrafi baskı şablonunda kullanılacak ipek elek no 350, çap 0,045 mm seçilmiştir. Desenlerin (Şekil 2.1) uzunlukları 50 mm ve genişlikler 5, 4, 3, 2, 1, 0.5, 0.4, 0.3 ve 0.2 mm olarak basılmıştır. Daha sonra 3 Wcm⁻² UV ışın altında 20 s boyunca kürlenmiştir.



Şekil 2.1: Baskı deseni

Sonuç olarak 3 nolu mürekkep yani % 24 poliüretan akrilat polimeri kullanılarak hazırlanan baskı patı (176.29 Pa.s) kullanılarak basılan kumaşa daha iyi iletkenlik değerleri ve mükemmel mekanik bükülebilirlik değerleri alınmıştır. Ayrıca elektrik formülleri üzerinden tahmin edilebileceği üzere baskı çizgi genişliği arttıkça elektrik direncinin azaldığı görülmüştür. Genel olarak değerlendirildiğinde, tüm

basılı hatların elektrik iletkenliği 10^6 S/m'den yüksektir ve en yüksek elektriksel iletkenlik daha önce yayınlanmış çalışmalardan çok daha iyi olan 6.02×10^6 S/m'dir. Bununla birlikte, basılan hattın elektriksel iletkenliği hala dökme gümüşünkinden (6.3×10^7 S/m) daha düşük değerdedir. Bu sebeple, düşük sıcaklıkla UV kürlenebilen iletken baskının uygulanabilirliğinde başarılı sonuçlar alınmışsa da geliştirilmesi gerektiği için daha çok araştırma yapılması sonucuna varılmıştır.

Hsu ve diğ. (2018), yaptıkları araştırmada, basılı elektronik devreyi fizyolojik izleme tekstiline yerleştirmenin yeni bir yöntemi hakkında çalışmışlardır. Bu tür bir e-tekstil, kalp atış hızı, EKG (Elektrokardiyografi), hareket, sıcaklık ve solunum gibi fizyolojik sinyalleri tespit etmek için kullanılabilir. Fizyolojik izleme e-tekstelinin iki önemli bileşeni, iletken kumaş elektrotlar ve izleme denetleyicisidir ve bu araştırmada iletken mürekkep ve FPCB'den yapılmış basılı elektrotlar ile başarıyla değiştirilmiştir. Basılı elektronik gömülü tekstil teknolojisinin yeni tasarımı, fizyolojik izleme e-tekstiline, saf tekstilin yıkanabilir, esnek, gerilebilir ve ince karakteristiğinin daha yüksek bir eğilime ulaştığı görülmüştür.

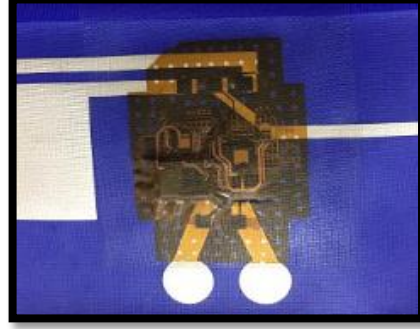
Bu araştırmada iletken mürekkep, FPCB (Esnek Baskılı Devre Kartı) ve ACF (Anisotropik İletken Film) üç önemli kısımdan oluşmuştur.

İlk olarak, fizyolojik izleme elektrotlarının özel tasarlanmış deseni, iletken kumaş elektrotları olan iletken mürekkeple düşük bir sıcaklıkta tekstil üzerine doğrudan baskısı yapılmıştır. İkinci olarak, FPCB (Esnek Baskılı Devre Kartı), fizyolojik sinyalleri ileten ve hesaplayan RPCB (Sert Baskılı Devre Kartı) ile ikame edilmiştir. Böylece FPCB, rahatsız edici konforu kötü etkileyen unsuru ortadan kaldırmıştır.

Fizyolojik izleme e-tekstelinin iki önemli bileşeni, bu araştırmada iletken mürekkep ve FPCB'den yapılmış basılı elektrotlar ile başarıyla değiştirilmiştir. Ek olarak, baskılı elektrotların lamine yapısı ACF (Anisotropik İletken Film) ve FPCB, e-tekstilde yıkanabilirliği sağlamakta ve e-tekstilin yumuşaklığını artırmaktadır. Basılı elektronik gömülü tekstil teknolojisinin yeni tasarımı, fizyolojik izleme e-tekstiline, saf tekstilin yıkanabilir, esnek, gerilebilir ve ince karakteristiğinin daha yüksek bir eğilime ulaşılmıştır. Tekstilde kullanılan fizyolojik izleme elektrotları

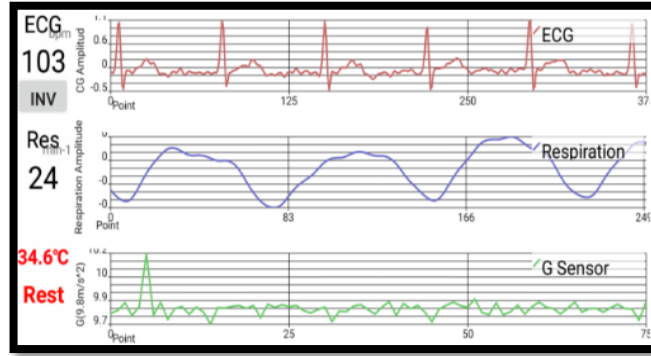
kullanıldığı için, kumaş elektrotların kalınlığı ve ciltteki sürtünme kaynaklı rahatsızlıklar da ortadan kalkmıştır.

Şekil 2.2’de Uygulanan FPCB deneğinin görüntüsü verilmektedir.



Şekil 2.2: Mavi tekstil ürünü üzerine uygulanan gümüş iletken mürekkep deseni ve FPCB düzeni (serigrafi baskı) (Hsu ve diğ. 2018)

Tespit edilen fizyolojik sinyal Şekil 2.3’de gösterilmektedir.



Şekil 2.3: Fizyolojik sinyal ölçümleri (Hsu ve diğ. 2018)

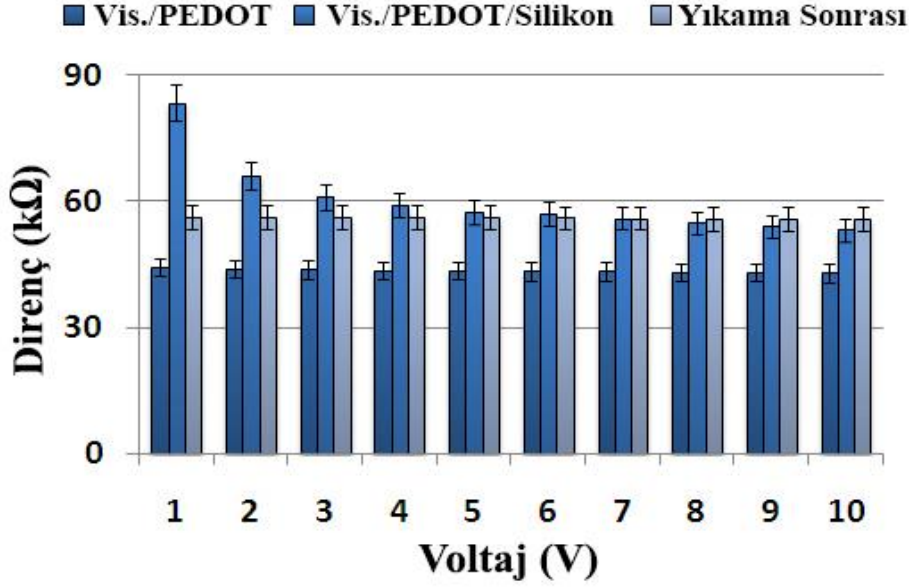
Eren ve Ulcay (2015), yaptıkları çalışmada, poliester filament lifleri ile eriyikten (% 20) nano demir oksit eklenmiş iletken PBT lifleri beraber bikomponent (çekirdek/kılıf yapılı) iplik üretimi üzerine bir çalışmadır. Bu çalışmada nano demir oksit eklenerek modifiye edilen PBT liflerinden % 1, % 2 ve % 3 oranlarında olmak üzere poliester filamet lifleri ile beraber 260 dtex / 72 filament bikomponent iplik üretilmesi amaçlanmıştır. % 1’den yüksek ekleme yapılan denemelerde üretim esnasında duruşların yaşandığı kaydedilmiştir. Üretilen ipliklerde yapılan testlerde, ipliklerde lineer yoğunluk işlem görmemiş PBT / PES ipliğinin değerine (260,16

dtex) göre işlem görmüş ipliklerde artış kaydedilmiştir (268,14 dtex). Bu artışın demir oksit eklenmesinden kaynaklı olduğu saptanmıştır. Çekme testlerinde ise, katkı maddesi olan ve olmayan iplikler arasında küçük bir fark saptanmıştır. Nano demir oksit katkı maddesinin eklenmesi, büzülme (%) değerini 11,84'ten 9,57'ye düşürmüştür. Bu sonuç, kopma mukavemet testinin sonuçlarıyla desteklenmektedir.

Kopmadaki (cN) yük ve katkı maddesi içeren ipliklerin mukavemet (cN / dtex) değerleri, katkı maddesi içermeyen ipliklere göre daha düşük mukavemet değerleri gösterdiği saptanmıştır. Polimer oryantasyonu kadar kristalleşme seviyesinin de bir polimer tipi için mukavemet özelliklerini ve boyutsal stabilitesini belirlediği açıklanmıştır. Ayrıca bikomponent iplikten farklı sıklık ayarlarında örülen kumaşların ekranlama değerleri (EMSE) ASTM D 4935 testi ile ölçülmüş ve gevşek örgüden sık örgüye doğru gidildiğinde değerler 13,59 dB, 18,78 dB olarak saptanmıştır. Ekranlama özelliği istenen kumaşlarda sıkı yapılı örgülerin daha iyi performans gösterdiği kanıtlanmıştır.

Bashir ve diğ. (2010), tarafından yapılan bir çalışmada, tekstil elyafı olarak seçtikleri viskonun (1220 dtex / 720 filament, Z-100 büküm/mt), iletken polimer, poli (3,4-etilendioksitiyofen) (PEDOT) ile kaplayarak nispeten yüksek iletken elyaflar üretmesi amaçlanmıştır. Deney için viskon iplik lifleri seçilmesinin amacı viskonun, konjuge polimerlerle güçlü bağlanma için destekleyici kimyaya (fazla sayıda -OH grubu) sahip olmasıdır. Uygulama için seçilen kaplama tekniği, oksidatif kimyasal buhar biriktirme (OCVD) adı verilen yeni bir kaplama tekniğidir. PEDOT kaplanan elyafların elektriksel iletkenlik özellikleri incelendikten sonra, PEDOT kaplanan liflere silikon reçineleri ile yüzey modifikasyonu yapılarak, silikon kaplamanın iletkenlik özelliğine etkisinin yanı sıra mekaniki/yıkama gibi etkilere dayanım özelliklerinin nasıl değiştiğini göstermek için analizler yapılmıştır.

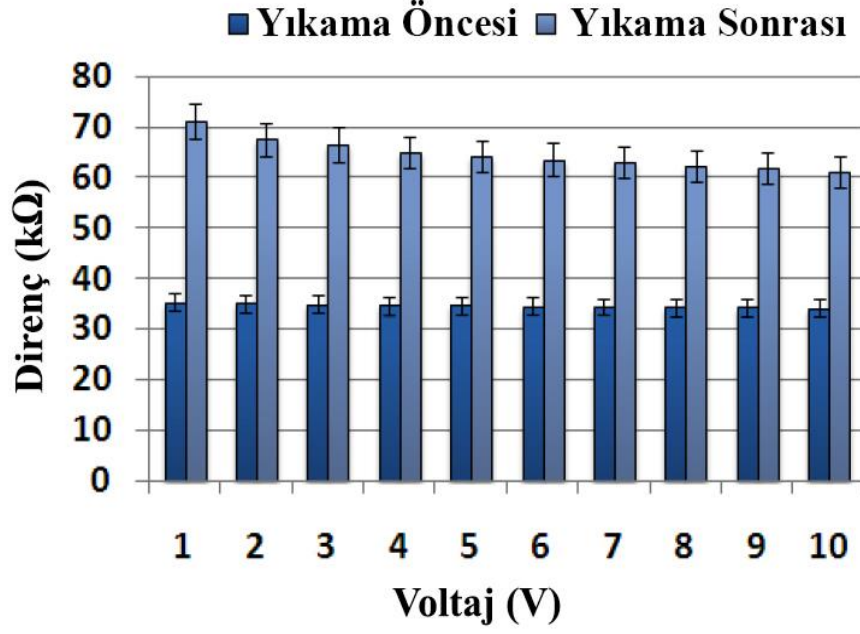
PEDOT kaplı iletken liflerin üzerine silikon kaplandıktan sonra liflerin herhangi bir iletkenlik göstermemesi beklenirken bu yüzey modifiyeli elyaflar hala iletken olduğu saptanmıştır. Viskon / PEDOT elyafların, Viskon / PEDOT / Silikon modifiyeli elyafların ve Viskon / PEDOT / Silikon elyafların yıkama sonrası elektrik iletkenlikleri Şekil 2.4'te gösterilmektedir.



Şekil 2.4: Silikon kaplamanın elektriksel özelliklere etkisi (soldan sağa doğru, PEDOT kaplamalı viskoz elyaflar, silikon kaplamalı elyaf ve silikon kaplamalı elyafın yıkama sonrası) (Bashir ve diğ. 2010)

Şekil 2.5'te de görüleceği üzere, silikon modifikasyonu uygulanmamış sadece PEDOT kaplanmış elyafın yıkama öncesi ve sonrası elektrik iletkenliği gösterilmektedir. Yıkama öncesinde 35 kΩ direnç gösterirken, yıkama sonrası değer yükselerek ortalama 65 kΩ bandında direnç göstermiştir.

Bunun sebebi yıkama sonrası bir miktar elektrik iletkenliğinde azalma meydana gelmesidir. Viskon / PEDOT işlemlili elyafların yıkama sonrası direnç değeri (ortalama 65 kΩ) ile Viskon / PEDOT / Silikon modifiyeli elyafın yıkama sonrası değeri (ortalama 55 kΩ) karşılaştırıldığında, yüzeye uygulanan silikon modifikasyonunun yıkama dayanımına pozitif etki sağladığı sonucuna varılmıştır.



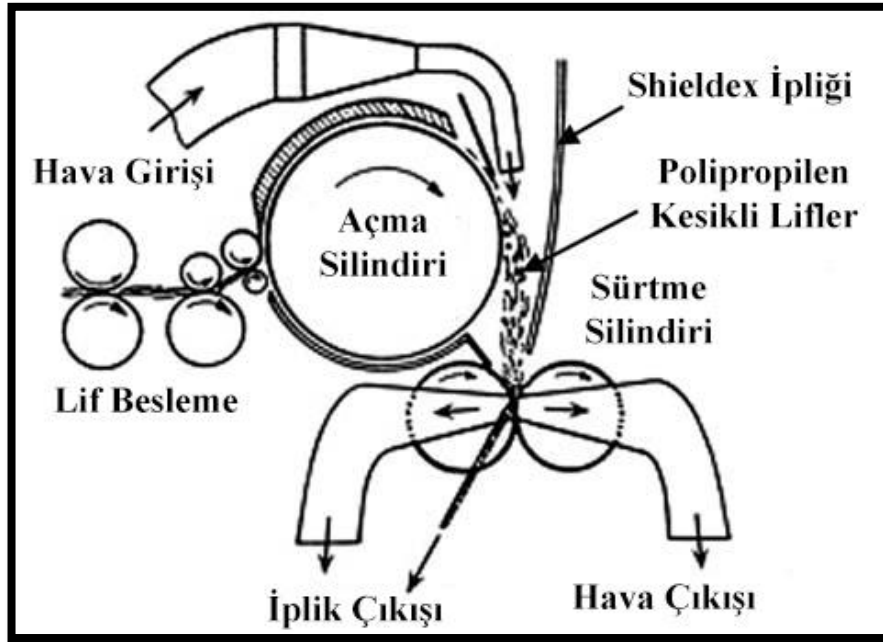
Şekil 2.5: PEDOT kaplamalı viskon elyafının yıkama dayanımı (öncesi/sonrası)
(Bashir ve diğ. 2010)

Bu yüzey modifikasyonu mekanik aşınma direncini, esnekliği, hidrofobikliği ve kaplanmış elyafların kullanım ömrünü artırabilmektedir. Elde edilen elektriksel olarak iletken lifler, kullanılan son uygulamalara göre üç boyutlu dokuma yapıya dönüştürülebilmektedir. Ayrıca, bu fiberler giyilebilir güneş pilleri ve esnek organik yakıt hücreleri gibi enerji harcayan giyilebilir cihazlar üretmek için kullanılabilir.

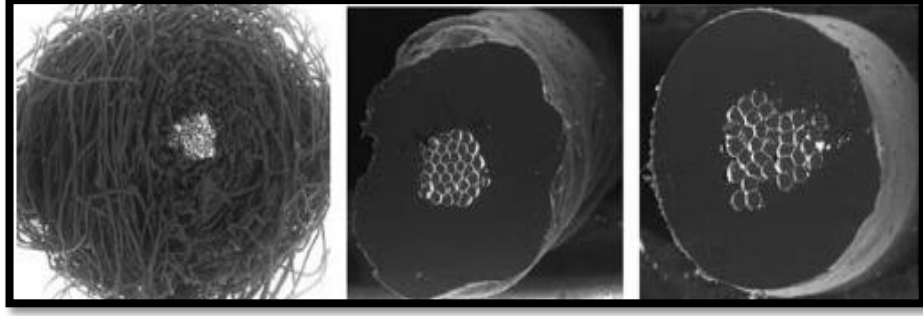
Alagirusamy ve diğ. (2013), yaptığı bir çalışmada ticari ismi Shieldex olan eriyikten gümüş katkılı iletken poliamid ipliğinin etrafı, polypropylene (PP) şapel lifleri ile eğrilerek daha sonra belirlenen sıcaklıktaki fırına alınarak, çekirdek-kılıf/özlü iplik yapısı oluşturulmuştur. Yapılan bu çalışmayla beraber iletken ipliklerin birbirine sürtmesi ile oluşabilen kısa devre olma gibi problemlerin ortadan kaldırılması, esnekliği iyi olması ve bununla beraber suyun var olduğu bir ortamda sorunsuz çalışabilme avantajı da kazandırılması amaçlanmıştır. İki farklı Shieldex ipliği yani 235 / 34 dtex yüksek iletken (100 Ω /m)-tek iplik ve 235 / 34 dtex 2 kat bükümlü yüksek iletken (100 Ω /m) iplik kullanılmıştır. Kaplanmış ipliklerin esnekliği ve su varlığında elektriksel izolasyonu incelemek için farklı seviyelerde kaplama ve fırın sıcaklıkları denenmiştir. Yüksek fırın sıcaklığında (180 °C)

kaplanmış iplikler ile daha düşük mukavemet ve daha rijit bir yapı elde edildi. Çünkü yüksek sıcaklıkta PP lifleri tamamen erimiş, düşük sıcaklıkta ise erimeyen bölgeler ipliğe esneklik özelliği kazandırmıştır. Bükümlü Shieldex özlü kaplanmış iplikler, tek Shieldex özlü ipliklere kıyasla aynı kaplama seviyeleri için daha iyi esneklik fakat daha düşük direnç (elektrik yalıtımı) göstermiştir.

Kaplanmış ipliklerin bir örgü makinesinde işlenmesinden sonra, yalıtım özelliğinin sürekliliği tehlikeye girmektedir. Kaplama tabakası, eğilme-bükülme ve sürtünme nedeniyle zarar görmekte, içinden suyun girebileceği çatlaklar ve gözenekler meydana getirmektedir. Dolayısıyla mekanik zorlanmalara karşı kaplamanın dayanımını arttıracak yeni araştırmaların yapılması gerektiğinin sonucuna varılmıştır. Şekil 2.6'da DREF prensibi gösterilmektedir.

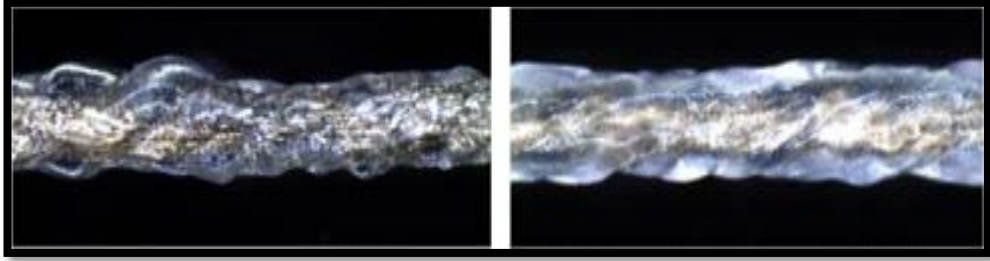


Şekil 2.6: Friksiyon (DREF) iplik eğirme prensibi (Alagirusamy ve diğ. 2013)



Şekil 2.7: İplik eğirilmiş hali (sol) / tek shieldex özlü fırınlanmış (ortadaki) / çift shieldex özlü fırınlanmış (sağdaki) (Alagirusamy ve diğ. 2013)

Şekil 2.7’de eğirilen özlü ipliğin görüntüsü gösterilmektedir. Şekil 2.8’de fırınlanmış lifin SEM görüntüsü gösterilmektedir. Tablo 2.1’de suya batırılmış iletken ipliklerin elektriksel direnci ölçüm sonuçları gösterilmektedir.



Şekil 2.8: 165 °C’ de fırınlanmış (sol) / 180 °C’de fırınlanmış SEM görüntüsü (Alagirusamy ve diğ. 2013)

Tablo 2.1: Suya batırılmış iletken ipliklerin elektriksel direnci (Alagirusamy ve diğ. 2013)

Denek No	İplik Türü	PP içeriği (%)	Kaplama Sıcaklığı (°C)	Elektriksel Direnç	Çekme Muk. (cN/tex)	Kopma Uzaması (%)
1	Tek	61	165	800 Ω	5.69	23.30
2	Tek	61	180	6.70 k Ω	5.62	19.67
3	Tek	69	165	8.96 m Ω	5.64	14.35
4	Tek	69	180	Bağlantı yok	5.30	11.72
5	Tek	74	165	Bağlantı yok	5.24	17.90
6	Tek	74	180	Bağlantı yok	4.97	12.37
7	Kaplanmış	61	165	322 Ω	18.36	28.30
8	Kaplanmış	61	180	500 Ω	18.36	27.16
9	Kaplanmış	69	165	1.85 k Ω	18.64	29.31
10	Kaplanmış	69	180	0.80 m Ω	17.30	31.10
11	Kaplanmış	74	165	8.50 m Ω	17.20	33.68
12	Kaplanmış	74	180	Bağlantı yok	15.43	27.70

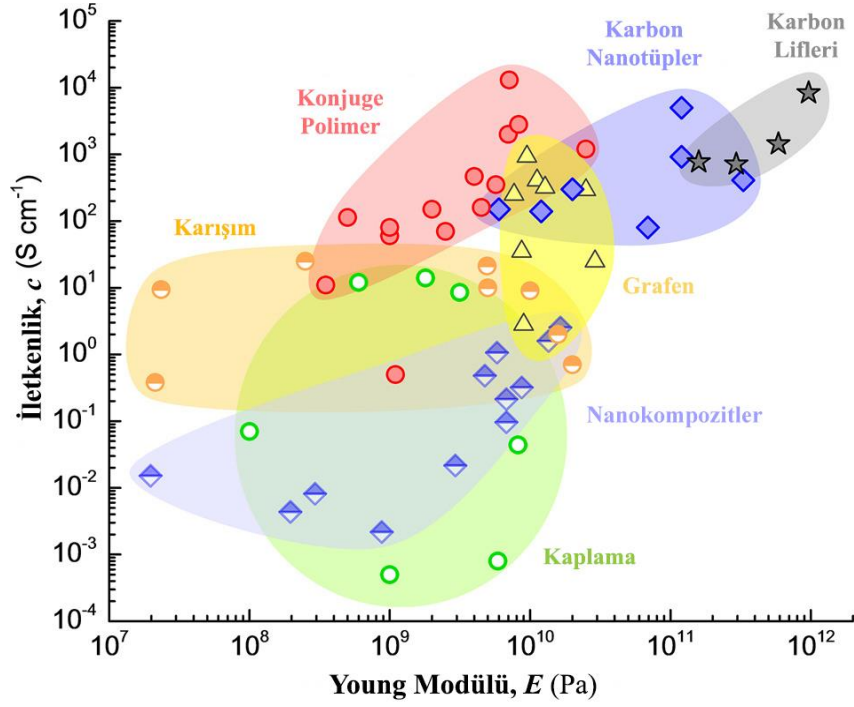
Lund ve diğ. (2018), yaptıkları çalışmada konjuge polimerler ve karbon siyahı, karbon nanotüpler ve grafen dahil olmak üzere karbon malzemelerle gerçekleştirilebilecek birçok iletken elyaf ve iplik türünü incelemiş, malzeme özellikleri ve seçilen uygulama tekniğinin etkileşiminin çok çeşitli liflere nasıl elektriksel ve mekanik özelliklere yol açtığını araştırmışlardır.

Elektriksel iletkenliği ve Young'ın farklı tipteki elyaf ve iplik modülünü karşılaştıran bir Ashby grafiği yapılmıştır. Konjuge polimer, karbon nanotüp, grafen, polimer karışımı veya nanokompozit seçimine bağlı olarak, elektriksel iletkenliği ölçülmüştür. Düşük iletkenliğe sahip lifler için 10^{-3} değerleri, yüksek iletkenliğe

sahip lifler için 10^3 S/cm değerleri ölçülmüştür. Young modülünde ise elastik ve bükülebilir lifler durumundaki lifler için 10 s MPa'da, sert ve yüksek modüllü lifler için 100 s GPa'ya kadar değişen sonuçlar saptanmıştır. Genel olarak, daha fazla iletken lifin de daha yüksek bir modül gösterme eğiliminde olduğu sonucuna varılmıştır. Bu eğilim, hem yükün taşınması hem de fiberin uzun eksenini boyunca mekanik kuvvet iletiminin, fiber oluşturan malzemenin hizalanmasından faydalanması nedeniyle olduğu sonucuna varılmıştır.

En iletken ve aynı zamanda en sert lifler, Şekil 2.9'da gösterilen Ashby grafiğinin saç üst köşesinde bulunan karbon lifleri, neredeyse 10^4 S/cm ve 10^3 GPa değerlerini gösterebilmektedir. Grafen ve CNT gibi iletken partiküller eklenerek üretilen iletken polimer lifler 10^3 S/cm gibi iyi iletkenlik ve 100 GPa'dan daha fazla modüle yaklaşan özellikler sunabilmektedir.

Polimer karışımlarıyla kaplanmış lifler ve nanokompozitler, iletkenlik/modül Ashby grafiğinin sol alt köşesini oluşturmakta ve yaklaşık 10 S/cm iletkenlikle sınırlı görülmektedir. Bunun nedeni, fiberin büyük bir kısmının yani bir matris veya fiberin iç çekirdeği formundaki yalıtıcı bir polimerden oluşmasıdır. Bu sebeple yük ileten malzemenin yüzdesi azalmaktadır.



Şekil 2.9: Elektriksel iletkenlik-young elyaf modülü ile ilgili ashby grafiği: (gri yıldızlar) karbon fiberler, (mavi elmaslar) karbon nanotüpler, (sarı üçgenler) grafen, (kırmızı daireler) konjuge polimerler, (turuncu / beyaz daireler) konjuge ve yalıtıcı polimerlerin karışımları, (mavi / beyaz elmaslar) nanokompozitleri esas alınarak hazırlanmıştır. (yeşil / beyaz daireler) yalıtkan bir polimer matrisine gömülü karbon karası, karbon nanotüpleri veya grafen ve konjuge polimerler, karbon nanotüpleri veya grafen içeren tekstil elyaflarının kaplamalarıdır (Lund ve diğ. 2018)

3. MATERYAL VE METOD

3.1 Materyal

3.1.1 Kullanılan Kumaşlar

Bu tez çalışmasında kullanılan kumaşlar ve kumaşların fiziksel özellikleri ve hazırlık aşamasında uygulanan ön terbiye işlemlerinin detaylı bilgileri Tablo 3.1’de gösterilmektedir.

Tablo 3.1: Kullanılan kumaşların özellikleri

Kumaş Tipi	Kompozisyon	İplik No.	Elastan No.	Ön İşlem	İplik Tipi	Kumaş Gramajı
Süprem	% 100 Pamuk	30 / 2 Pamuk	-	Kasar + Optik + Yıkama + Düz Kurutma	Kompakt Penye	250 g/m ²
Süprem	% 92 Poliester % 8 Elastan	150 Denye	40 Denye	Termofikse + Yıkama + Düz Kurutma	Mikrolif / 288 Multi Filament	250 g/m ²

% 100 pamuk kompozisyonundaki kumaşın ön terbiye adımları kasar, optik beyazlatma (anyonik/stilben türevi, enbright CNR (mavi nüanslı) ve enbright CN1D (sarı nüanslı) karışım florasan pamuk optik beyazlatıcısı - Eksoy Kimya), yıkama ve düz kurutma, mikro poliester/elastan kompozisyonundaki kumaş ise fikse, yıkama ve düz kurutma adımları uygulanarak ön terbiyesi yapılmıştır. Kumaşlar Gamateks Tekstil Tic. A.Ş.’den ön terbiye işlemleri yapılarak temin edilmiştir.

3.1.2 Kullanılan Kimyasal Maddeler

Bu tez çalışmasında kullanılan kimyasal maddeler ve detaylı bilgileri Tablo 3.2’de gösterilmektedir.

Tablo 3.2: Kullanılan kimyasallar, kimyasal yapıları ve ticari isimleri

Kimyasal Adı	Kimyasal Yapısı	Ticari İsmi
Binder	Akrilik (aniyonik/naniyonik)	AC111/Rudolf
Binder	Sulu Alifatik Poliester-Poliüretan Dispersiyonu, Anyonik	PU326/Rudolf
Fiksator	Bütanon (oxime-free) bloke izosiyanat bazlı çapraz bağlayıcı	FX8011/Rudolf
Sentetik Kıvamlaştırıcı	Nötralize edilmiş poliakrilat (anyonik)	TH5020/Rudolf
Köpük Önleyici	Hidrokarbonlar, etoksile edilmiş yağ asitleri ve silisik asit kombinasyonu (noniyonik)	DA3000/Rudolf
Amonyak (NH ₄)	% 25 sıvı	Düzey Lab
Su	Yumuşak saf su	-
Etilalkol (C ₂ H ₅ OH)	% 96 saflık	Merck
Gliserin (C ₃ H ₈ O ₃)	Gliserol, % 99 saflık	Düzey
Sülfirik Asit (H ₂ SO ₄)	% 95-97 saflık	Merck
Hidrojen Peroksit (H ₂ O ₂)	% 50 ekstra saflık	Tekkim
Etilen Glikol (C ₂ H ₆ O ₂)	% 99 saflık	Sigma Aldrich
Potasyum Permanganat (KMnO ₄)	% 99 saflık	Merck

3.1.3 Kullanılan İletken Tozlar

Bu tez çalışmasında birçok farklı iletken tozlar kullanılmıştır. Bu iletken tozların bir kısmı (grafen, gümüş, bakır) hazır satın alınmıştır. Diğer iletken tozlar [mangan oksit (MnO), kobalt oksit (CoO), grafen oksit (GO)] farklı üretim yöntemleri ile sentezlenmiştir. Tablo 3.3’de verilen grafen ve gümüş nano tozları Nanografi firmasından, elektrolitik bakır tozu ise Nanokar firmasından temin edilmiştir.

Tablo 3.3: Grafen, gümüş ve bakır nanopartiküllerinin fiziksel özellikleri

	Grafen	Gümüş	Bakır
Saflık	% 99.9	% 99.9	% 99.9
Yüzey Alanı	800 m ² /g	17,0-21,0 m ² /g	-
Yoğunluk	-	-	8,94 g/cm ³
Uzunluk	1,5 µm diyametre	-	-
Çap	3 nm	18 nm	44 µm
Renk	Siyah	Siyah	Kahverengi
Ticari Firma Adı	Nanografi	Nanografi	Nanokar

Diğer metal tozları [mangan oksit (MnO), kobalt oksit (CoO), grafen oksit (GO)] ve kullanılan üretim yöntemleri Tablo 3.4’te verilmektedir. Uygulanan sentezleme yöntemleri “3.2.1 Metal tozların sentezlenmesi” bölümünde anlatılmıştır.

Tablo 3.4: Sentezlenen metalik tozlar, elde yöntemleri ve detayları

Hammadde Adı	Ticari Firma Adı	Safılık/ Molar Kütle (g/mol)	Elde Yöntemi	Renk	Elde Edilen Metal Toz Cinsi
Manganez (II) Nitrat Tetrahidrat/ $MnN_2O_6 \cdot 4$ H_2O	Chempur	% 98,5+/ 251,01 g/mol	Sol Jel	Açık Pembe	Mangan Oksit/ MnO
Kobalt (II) Nitrat Hekzahidrat/ $Co(NO_3)_2 \cdot 6$ H_2O	Merck	% 99 / 291,04 g/mol	Sol Jel	Koyu Kırmızı	Kobalt Oksit/ CoO
Grafit	Sigma Aldrich	% 99,9	Hummer	Siyah	Grafen Oksit/GO

3.2 Metot

3.2.1 Metal Tozların Sentezlenmesi

3.2.1.1 Grafen Oksit Sentezi

Grafen oksit sentezi dört aşamadan oluşmaktadır. Sentezleme yöntemi olarak Yazıcı ve diğ. (2016) yılında yapılan çalışmadaki Modifiye Hummers Yöntemi baz alınarak yapılmıştır. Bu yöntemde kullanılan bütün malzemeler Tablo 3.5'te gösterilmektedir.

Tablo 3.5: Kullanılan kimyasal maddeler ve miktarları

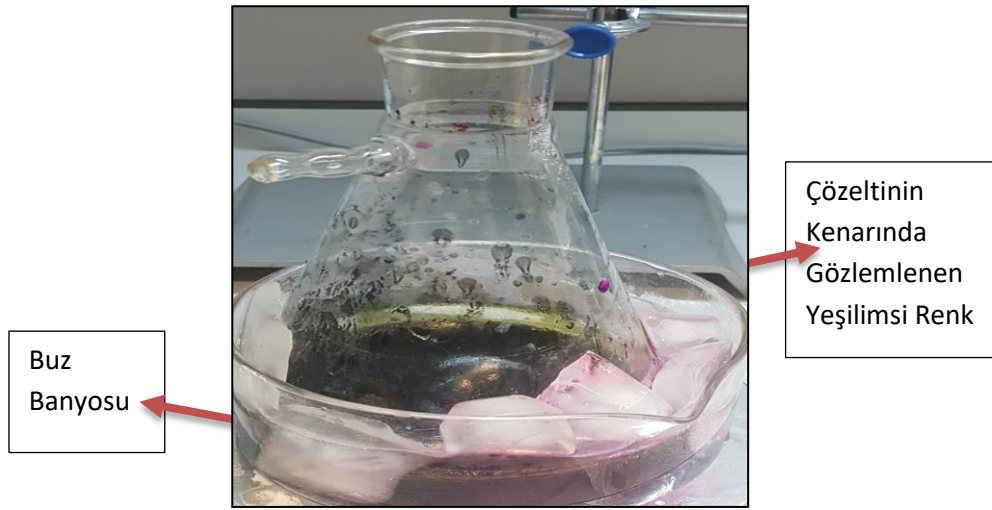
Malzeme Adı	Kullanılan Miktar
Sülfirik Asit	57,5 ml
Grafit Tozu	2,5 g
Sodyum Nitrat	1,25 g
Potasyum Permanganat	7,5 g
Deiyonize Su	250 ml
Hidrojen Peroksit	5 ml

İlk aşamada balon joje içerisine 57.5 ml sülfirik asit konulmuştur ve ardından Şekil 3.1'de gösterildiği gibi 2.5 g grafit tozu balon jojeye eklenmiştir. Bir süre manyetik karıştırıcıda karıştırıldıktan sonra eser miktarlarda yavaşça sodyum nitrat eklenerek buz banyosunda 600 rpm'de 18 sa boyunca manyetik karıştırıcıda karıştırılmaya bırakılmıştır.



Şekil 3.1: İlk aşama; çözeltiliye grafit eklenmesi

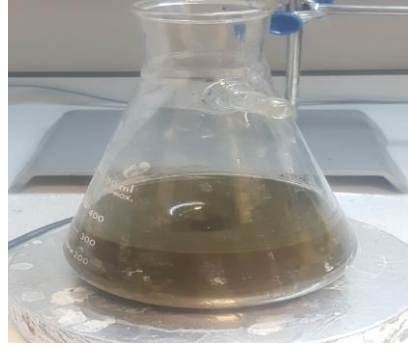
İkinci aşamada potasyum permanganat tartılarak, geri püskürme tehlikesine karşı çok küçük miktarlar ile başlanarak yavaşça çözelti içerisine eklenmiştir. Şekil 3.2'de görüleceği gibi eklenme esnasında çözelti sıvısının kenarlarındaki yeşilimsi renk deneyin başarı ile devam ettiğinin bir göstergesidir. Bütün işlemler yapılırken balon joje sürekli buz banyosunda buz takviyesi yapılarak tutulmuştur ve 1 sa boyunca karıştırılmaya bırakılmıştır.



Şekil 3.2: İkinci aşamada çözeltinin görüntüsü

Üçüncü aşamada buz banyosundan çıkarmadan 250 ml deiyonize su pastör pipet ile azar azar eklenmiştir. Çözeltinin sürekli buz banyosunda tutulması önemlidir, aksi takdirde kontrolsüz şekilde çözelti ısınmaya başlayacaktır. Çözelti 1 sa boyunca karıştırılmaya bırakılmıştır.

Dördüncü aşamada yavaş yavaş 5 ml hidrojen peroksit eklenmiştir. Eklendikten sonra buz banyosundan alınarak Şekil 3.3'te görüldüğü gibi 1 sa boyunca karıştırılmaya devam edilmiştir. 1 sa sonra karıştırıcı kapatılarak işlem sonlandırılmıştır.



Şekil 3.3: Son aşama

Sonlandırıldıktan sonra saf su ile yıkanarak pH'ı yükseltilmiştir. Önce 50 °C'de, daha sonra oda koşullarında Şekil 3.4'te görüldüğü üzere elde edilen Grafen Oksit sulu çözeltisi kurutulmaya bırakılmıştır ve bu sayede grafen oksit tozunun (GO) üretimi tamamlanmıştır.



Şekil 3.4: Elde edilen grafen oksitin kurutulması

3.2.1.2 Mangan Oksit Eldesi

Mangan oksit sentezi için Sol Jel Yöntemi seçilmiştir. Bu yöntemde kullanılan bütün malzemeler Tablo 3.6'da gösterilmektedir.

Tablo 3.6: Mangan oksit eldesinde kullanılan malzemeler

Malzeme Adı	Kullanılan Miktar
Manganez (II) Nitrat Tetrahidrat/ $MnN_2O_6 \cdot 4 H_2O$	17,691 g
Sitrik Asit	148,018 g
Etilen Glikol	39,370 ml
Deiyonize Su	260 ml

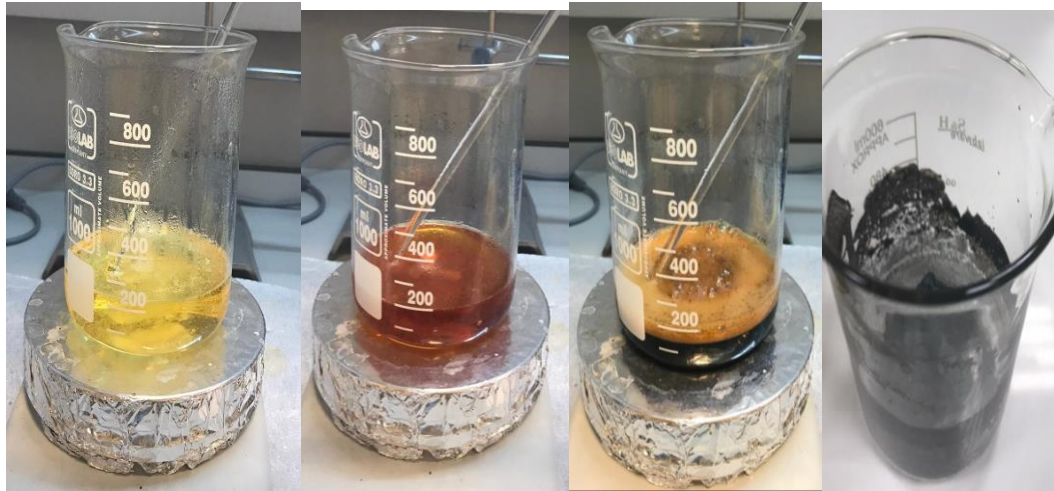
Öncelikle 17,691 g Manganez (II) Nitrat Tetrahidratın üstünü kaplayacak kadar behere su eklenmiştir (20 ml) ve 50 °C ve 500 rpm'de manyetik karıştırıcıda karıştırılarak Şekil 3.5'te görüldüğü üzere çözünmesi sağlanmıştır.

Çözüldükten sonra ayrı bir beherde toz sitrik asit tartılarak çözünmesine yetecek kadar su (240 ml) eklenmiştir ve 100 °C ve 500 rpm'de manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. İyice çözüldükten sonra içerisine hazırlanan manganez (II) nitrat tetrahidrat sulu çözeltisi eklenmiştir, sıcaklık 170 °C'ye çıkartılmıştır ve etilen glikol de eklenerek karıştırılmaya bırakılmıştır.



Şekil 3.5: Manganez (II) nitrat tetrahidrat ve sulu çözeltisi

Hazırlanan çözelti kuruyana kadar sabit sıcaklıkta karıştırılmaya devam edilmiştir. Karıştırılmaya bırakıldıktan 1, 3, 4 ve 7 sa sonraki renk değişimleri Şekil 3.6'daki görsellerde olduğu şekilde gözlemlenmiştir.



Şekil 3.6: 1 / 3 / 4 / 7 Sa sonra renk değişimi

Zamanla jel kıvamını alan çözelti karıştırılmayacak kadar kurduğunda kapatılmıştır ve 600 °C'de 12 sa etüve konulmuştur. Daha sonra etüvden çıkartılan numune öğütülerek toz haline getirilmiştir ve bu şekilde mangan oksitinin (MnO) üretimi tamamlanmıştır.

3.2.1.3 Kobalt Oksit Eldesi

Kobalt oksit sentezi için de Sol Jel Yöntemi seçilmiştir. Bu yöntemin bütün adımları mangan oksit eldesi için yapılan işlem adımları ile birebir aynı olduğu için burada tekrar anlatılmamıştır. Bu yöntemde kullanılan bütün malzemeler Tablo 3.7’de gösterilmektedir. Şekil 3.7’de Kobalt (II) Nitrat Hekzahidrat ve sulu çözeltisi gösterilmektedir.

Tablo 3.7: Kobalt oksit eldesinde kullanılan malzemeler

Malzeme Adı	Kullanılan Miktar
Kobalt (II) Nitrat Hekzahidrat/ $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	19,421 g
Sitrik Asit	140,132 g
Etilen Glikol	37,220 ml



Şekil 3.7: Kobalt (II) nitrat hekzahidrat ve sulu çözeltisi



Şekil 3.8: 1 / 3 / 4 / 7 Sa sonra renk değişimi

Mangan oksit eldesi için yukarıda anlatılan aynı işlem adımları uygulanarak, 1, 3, 4 ve 7 sa sonra renk değişimi Şekil 3.8’de görüldüğü gibi uygulanmasının sonunda elde edilen kobalt oksit (CoO) fırınlanarak elde edilmiştir.

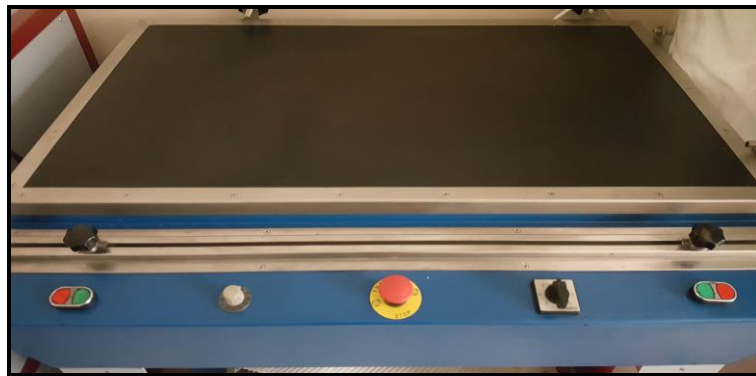
3.2.2 Baskı Uygulama Detayları

Baskı şartları yapılan bütün baskılarda sabit tutulmuştur. Baskı detayları aşağıdaki Tablo 3.8’de gösterildiği gibidir.

Tablo 3.8: Baskı şartları

Baskı Makinesi Tipi	Ataç Manyetik Baskı Makinası
Baskı Tipi	Serigrafi Baskı (İpek / Emprime Baskı)
Baskı Basıncı (bar)	5 Bar
Rakle Çapı	8 mm
Rakle Hızı (m / dk)	2,5 m/dk
Elek No (ilmek sıklığı / cm)	43 ilmek/cm

Yapılan çalışma, öncelikle birinci bölümde akrilat esaslı binder ve poliüretan esaslı binder ile hazırlanan grafen baskı patının çeşitlendirilmiş uygulama parametrelerinden en başarılı uygulama ve proses detaylarının belirlenmesi daha sonra ise ikinci bölüm için belirlenen sabit parametreler üzerinden nano grafen toz ve çeşitli iletken tozların tek başına ve bunların grafen nano tozu ile çeşitli konsantrasyonlarda hazırlanacak kompozit toz gruplarıyla hazırlanan baskı patlarının serigrafi baskı uygulamaları üzerinden yürütülmüştür. Kullanılan baskı makinasının görseli Şekil 3.9’da verilmiştir.



Şekil 3.9: Serigrafi baskıda kullanılan manyetik baskı makinası

Çalışmada kullanılan iletken tozlar şu şekildedir;

- Nano Grafen Tozu
- Nano Gümüş Tozu
- Bakır Tozu
- Mangan Oksit Tozu (laboratuvarda sentezlendi)
- Kobalt Oksit Tozu (laboratuvarda sentezlendi)
- Grafit Oksit Tozu (laboratuvarda sentezlendi)

Baskı patının reçetesi oluşturulurken yapılan ön deneme sonuçları dikkate alınmıştır. % 1, % 2,5, % 5, % 8, % 10 ve % 15 konsantrasyonlarında nano grafen tozu içeren baskı patları ile denemeler yapılmıştır. Denemeler ışığında iletkenlik faktörü incelendiğinde en başarılı sonucun % 10 oranı olduğu saptanmıştır. Bu sebeple ön deneme çalışmasının devamında yapılan bütün uygulamaların hepsinde % 10 oranı sabit olarak kullanılmıştır.

Bu tez çalışmasında iki farklı tip binderin uygulandığı iki reçete kullanılmıştır. Bunlardan biri akrilat esaslı binder diğeri ise poliüretan esaslı binder ile hazırlanan reçetelerdir.

Kurutma/Fiksaj işlem adımları için Şekil 3.10'da gösterilen iki farklı tip ısıtma işlem cihazı kullanılmıştır. Bunlardan ilki Proser-Y003 konvansiyonel ramöz (gergefli kurutucu), ikincisi ise YTM-MKTEK-5040 sıcak pres (transfer baskı) makinalarıdır.



Şekil 3.10: Kurutma ve fikse adımlarında kullanılan makinaların görüntüleri - sıcak pres (solda) / ramöz (sağda)

Baskı patı reçeteleri iki tip formülde hazırlanmış olup, kullanılan kimyasalların detaylı açıklaması Tablo 3.9 ve 3.10'da gösterilmektedir. Akrilat reçetesi hazırlanırken Manasoğlu ve diğ. (2019) yaptıkları çalışmada belirtilen reçete üzerinde bazı değişiklikler yapılarak baskıya uygun olacak şekilde hazırlanmıştır.

Tablo 3.9: Akrilat esaslı baskı patının reçetesi

Kimyasal Adı	Kimyasal Yapısı	Miktar	Ticari İsmi/Firma
Binder	Akrilik (aniyonik/naniyonik)	35	AC111/Rudolf
Fiksator	Bütanon oksim içermeyen bloke edilmiş izosiyanat bazlı çapraz bağlama maddesi, anyonik	2,5	FX8011/Rudolf
Sentetik Kıvamlaştırıcı	Nötralize edilmiş poliakrilat (anyonik)	0,5	TH5020/Rudolf
Köpük Önleyici	Hidrokarbonlar, etoksile edilmiş yağ asitleri ve silisik asit kombinasyonu (noniyonik)	0,5	DA3000/Rudolf
Amonyak	% 25 sıvı	0,5	-
Su	Yumuşak saf su	57	-
Gliserin	Gliserol, % 99 saflık	4	Denge

Tablo 3.10: Poliüretan esaslı baskı reçetesi

Kimyasal Adı	Kimyasal Yapısı	Miktar	Ticari İsmi/Firma
Binder	Sulu alifatik poliestere-poliüretan disrersiyonu, anyonik	65	PU326/Rudolf
Fiksator	Bütanon (oxime-free) bloke izosiyanat bazlı çapraz bağlayıcı	27	FX8011/Rudolf
Sentetik Kıvamlaştırıcı	Nötralize edilmiş poliakrilat (anyonik)	0,5	TH5020/Rudolf
Köpük Önleyici	Hidrokarbonlar, etoksile edilmiş yağ asitleri ve silisik asit kombinasyonu (noniyonik)	0,5	DA3000/Rudolf
Gliserin	Gliserol, % 99 saflık	7	Denge

3.2.2.1 İlk Bölüm Deney Detayları

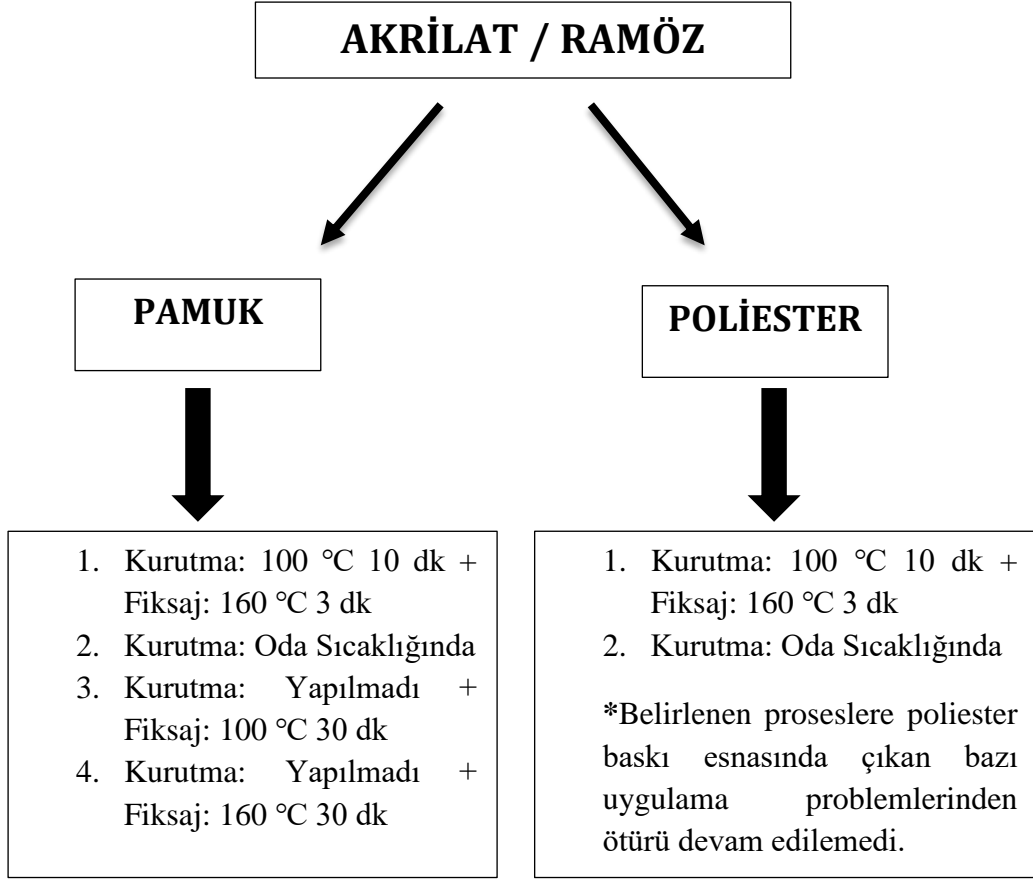
Yapılan uygulamalar iki bölümden oluşmaktadır. İlk bölüm uygulama detayları şu şekildedir.

Ramöz Proses Detayları

Ramöz makinasında kurutma/fiksaj (sinterleme) için kullanılan sıcaklık/süre parametreleri şu şekildedir;

- Kurutma: 100 °C 10 dk + Fiksaj: 160 °C 3 dk (Manasoğlu 2019)
- Kurutma: Yapılmadı + Fiksaj: 100 °C 30 dk
- Kurutma: Yapılmadı + Fiksaj: 160 °C 30 dk
- Kurutma: Oda Sıcaklığında + Fiksaj yapılmadı

Şekil 3.11’de akrilat esaslı grafen patı ile yapılan ramöz prosesi detayları gözlemleri ile beraber gösterilirken, Şekil 3.13’te hem akrilat binder esaslı grafen hem de poliüretan binder esaslı grafen baskı uygulama detayları hazırlanan şemada anlatılmaktadır.



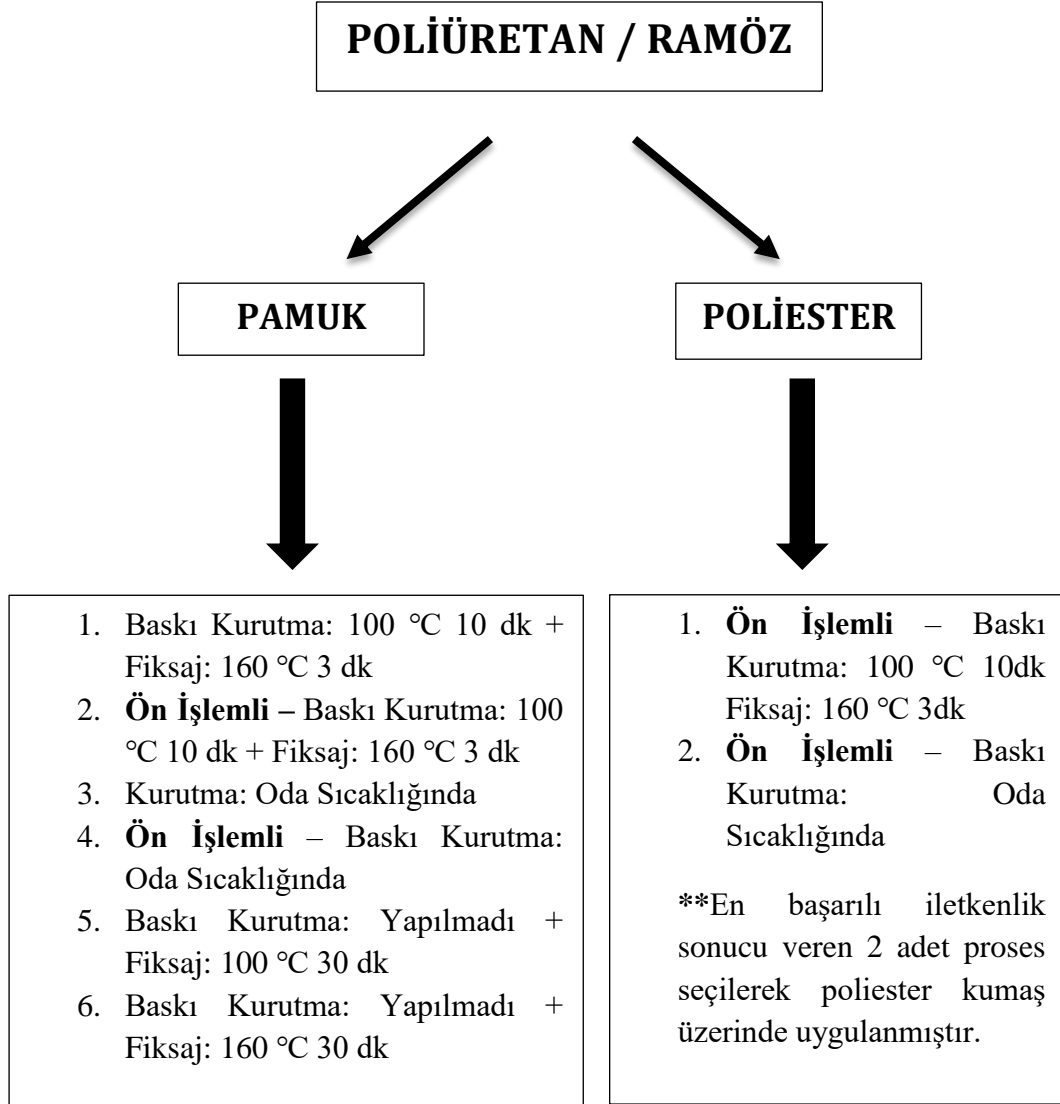
Şekil 3.11:Akrilat binder / grafen baskı patı prosesi-ramöz

*Baskı uygulaması esnasında pamuklu kumaş problemsiz ve kolaylıkla net hatlarla basılabilirken, mikro poliester elastan karışımlı süprem kumaşa serigrafî baskı tekniğı ile uygulanan baskı patının kumaş yüzeyinde düzgünsüz ve/veya net olmayan yapıda baskı kalitesine ve baskı desenlerine yol açtığı gözlemlenmiştir.

Bunun sebebinin poliester lifinin hidrofobik özelliğinden veya hazırlanan iletken baskı patının yapısal özelliğinden kaynaklanabileceğı düşünölebilmektedir. Bu sebeple mikro poliester / elastan kumaşa uygulanması planlanan baskı proseslerine devam edilmemiştir.

Baskı sonuçlarında direnç ölçümleri incelendiğinde ise daha iyi sonuçlar veren poliüretan baskı reçetesi ile devam edilmesine karar verilmiştir. Poliester lifli kumaşların baskısında ortaya çıkan problemlerin çözümünde faydalı olabileceğı düşünölerek mikro poliester / elastan lifli karışımlı kumaşlara ön işlem

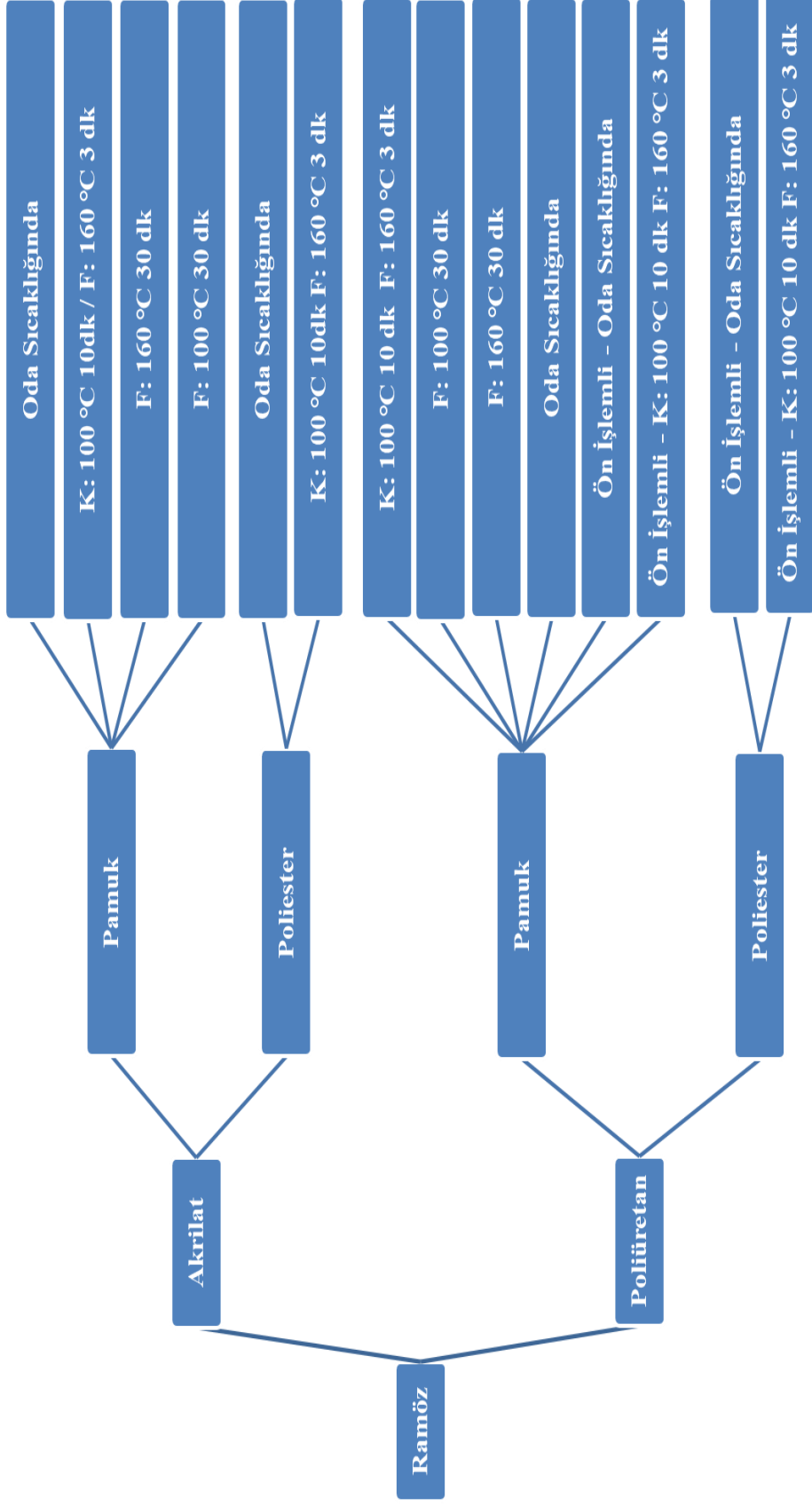
uygulanmıştır. Ön işlem olarak; hazırlanan kör akrilat ve kör poliüretan (iletken toz içermeyen) baskı patı 6 pas olacak şekilde basılmıştır, daha sonrasında ramözde 100 °C'de 10 dk kurutularak işlem sonlandırılmıştır. Bütün % 92 mikro poliester % 8 elastan süprem kumaşlara ve sağlıklı karşılaştırma yapabilme açısından ortak proseslerde % 100 pamuk süprem kumaşlara da bu ön işlem uygulanmıştır.



Şekil 3.12: Poliüretan binder / grafen baskı patı prosesi - ramöz

**En başarılı direnç sonucunu veren baskı prosesi mikro poliester/elastan süprem kumaşa da uygulanmıştır. Şekil 3.12'de poliüretan patı ile yapılan ramöz prosesi detayları ve gözlemleri ile beraber yukarıda ki bölümde gösterilmektedir.

RAMÖZ UYGULAMALARI



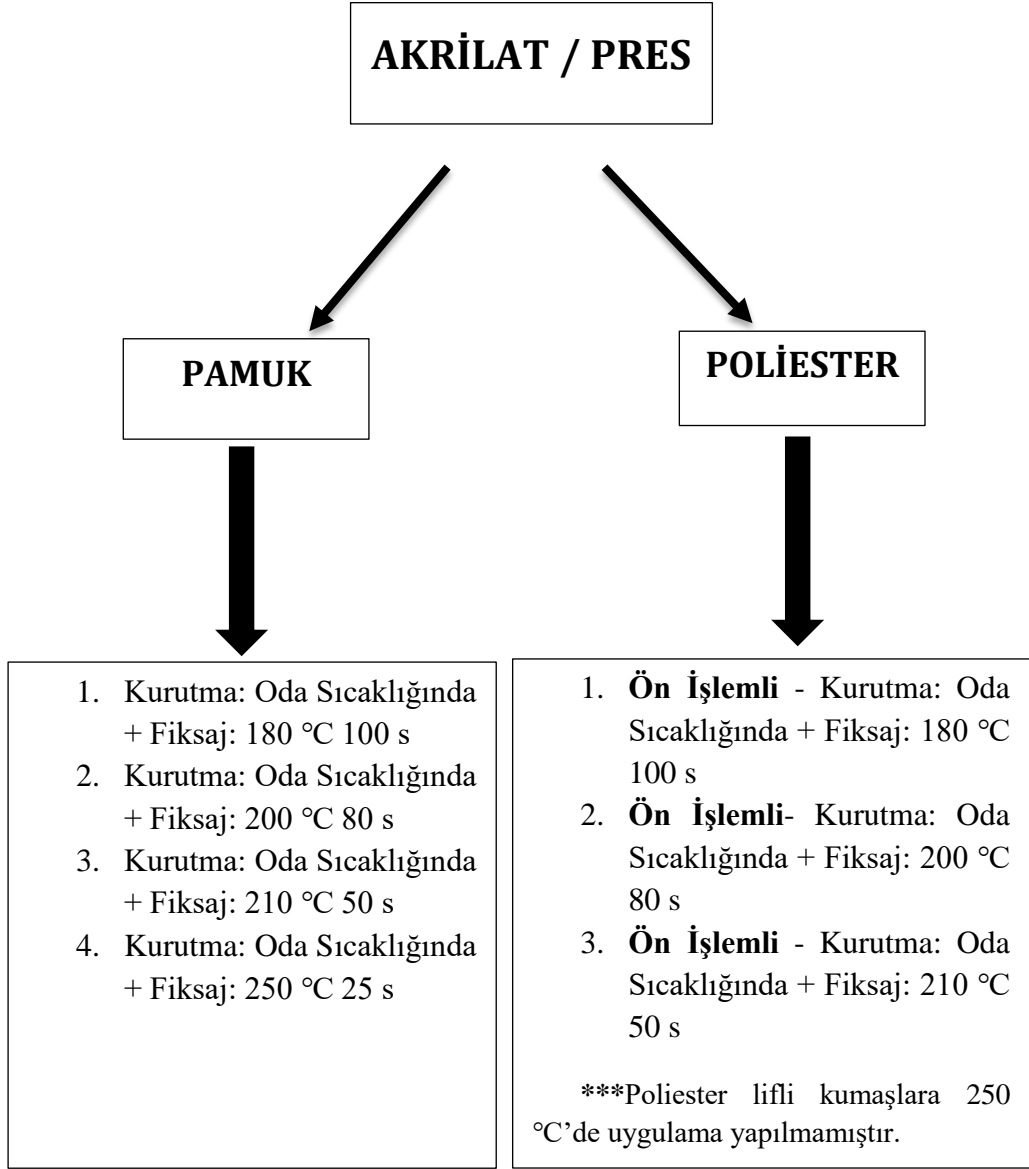
Şekil 3.13: Akriyat ve poliüretan esaslı binder / grafen patı - ramöz uygulamaları (K: kurutma; F: fiksaj)

Önceki uygulamalarda anlatıldığı üzere mikro poliestere/elastan kumaşların hepsine ön işlem yapılmıştır.

Grafen baskılı kumaş sıcak pres makinasında fikse(sinterleme) prosesine alınmadan önce oda sıcaklığında 24 sa kurutulmuştur. Daha sonra sıcak preste sinterleme (fiksaj) işlemi yapılmıştır. Uygulanan sıcaklık/süre parametreleri şu şekildedir;

- Kurutma: Oda Sıcaklığında + Fiksaj: 180 °C 100 s
- Kurutma: Oda Sıcaklığında + Fiksaj: 200 °C 80 s
- Kurutma: Oda Sıcaklığında + Fiksaj: 210 °C 50 s
- Kurutma: Oda Sıcaklığında + Fiksaj: 250 °C 25 s

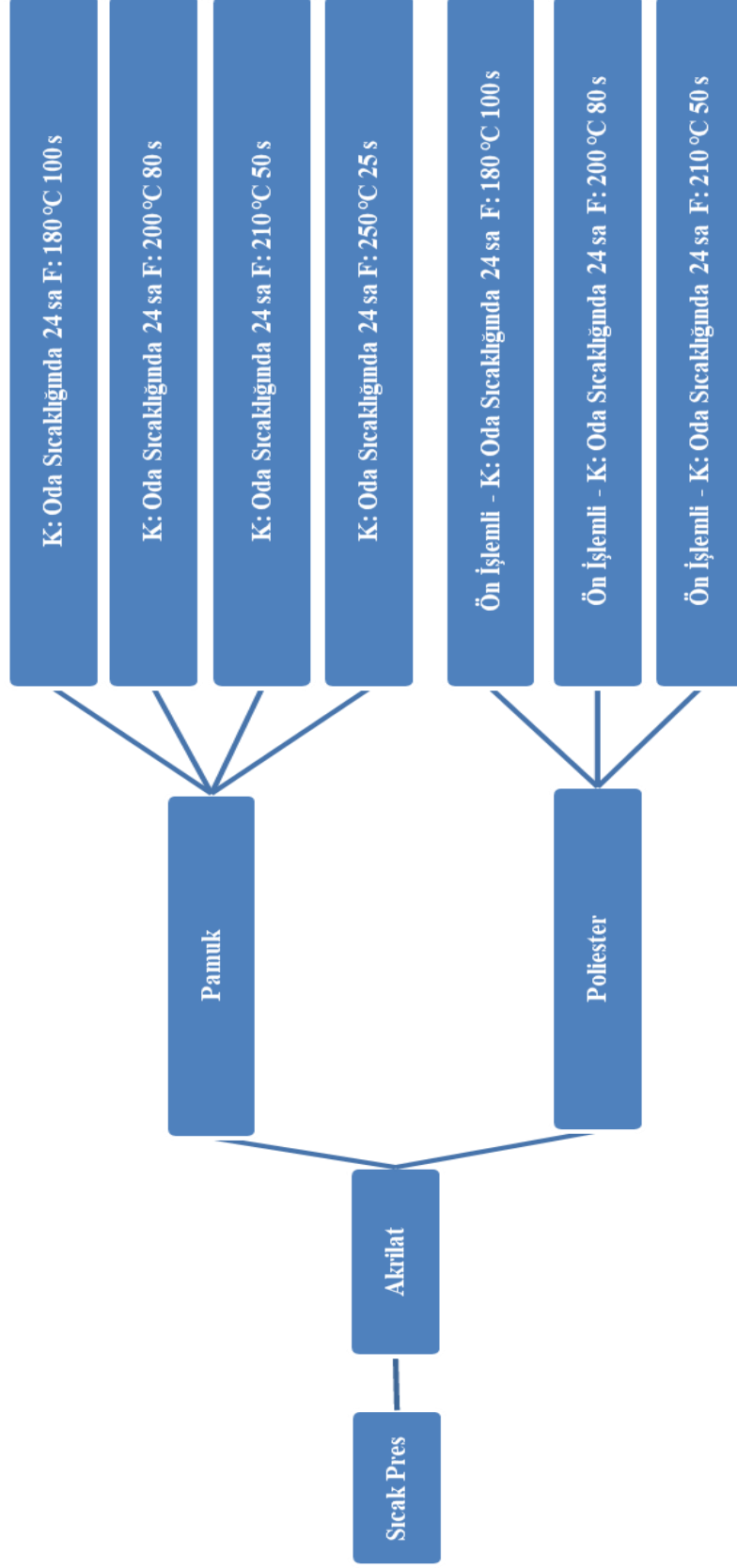
Grafen / Akrlat esaslı binder patı ile yapılan sıcak pres uygulamaları Şekil 3.14 ve Şekil 3.15'te şema üzerinden gösterilmektedir. Uygulama sonucunda mikro poliestere/elastan süprem kumaşta herhangi bir iletkenlik değeri ölçülememiştir.



Şekil 3.14: Akrilat esaslı binder / grafen patı – sıcak pres makinasında sinterleme proses detayları

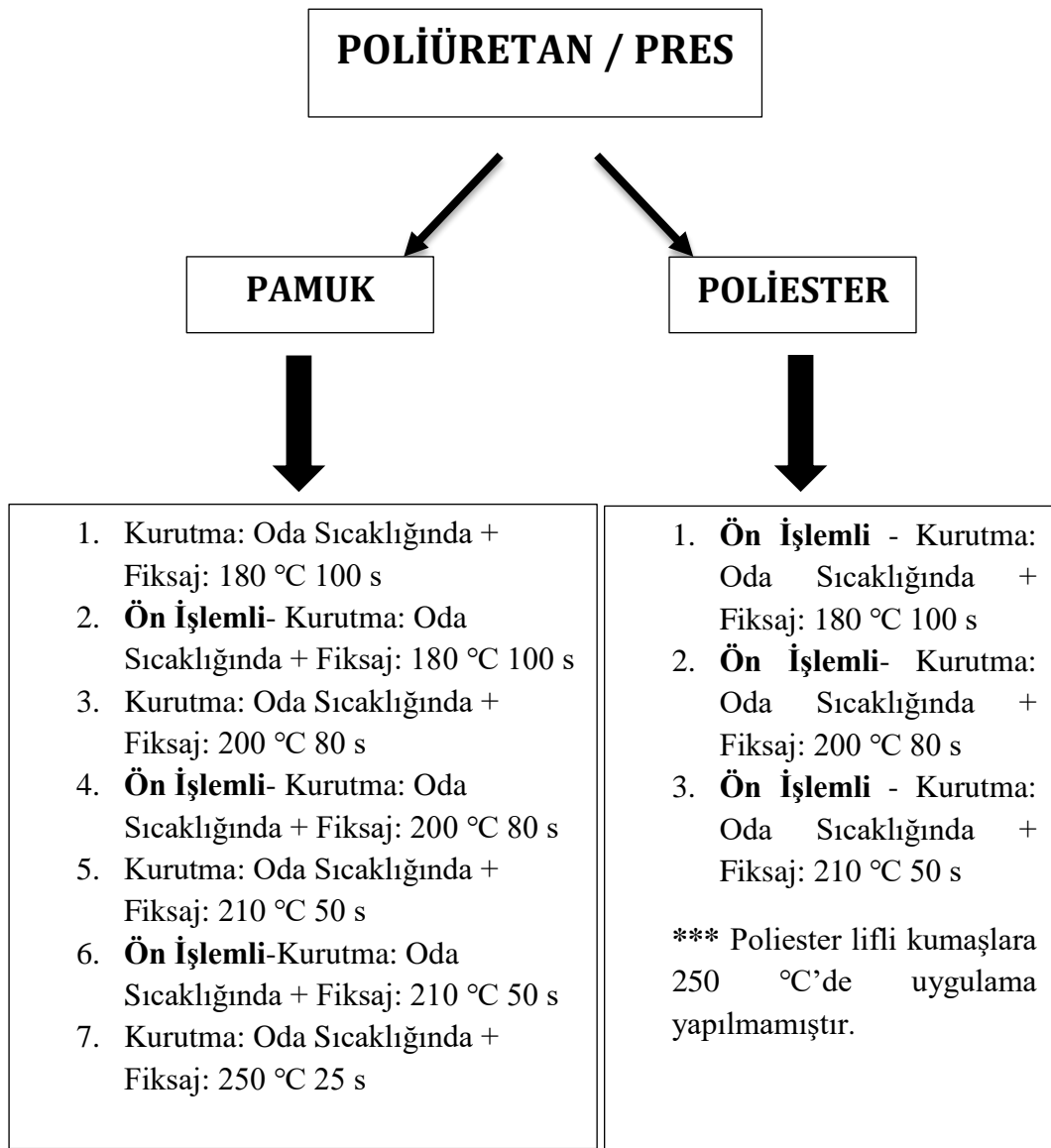
*** Poliester lifli kumaşlara 250 °C'de uygulama yapılmamıştır. Poliester lifinin yumuşama noktası 230 °C ve erime noktası 255-260 °C civarındadır. 250 °C'de yapılacak bir ısıl işlemin poliester lifini eritme tehlikesinden dolayı bu yüksek sıcaklıkta poliester lifli kumaşlara uygulama yapılmamıştır.

SICAK PRES / AKRİLAT UYGULAMALARI



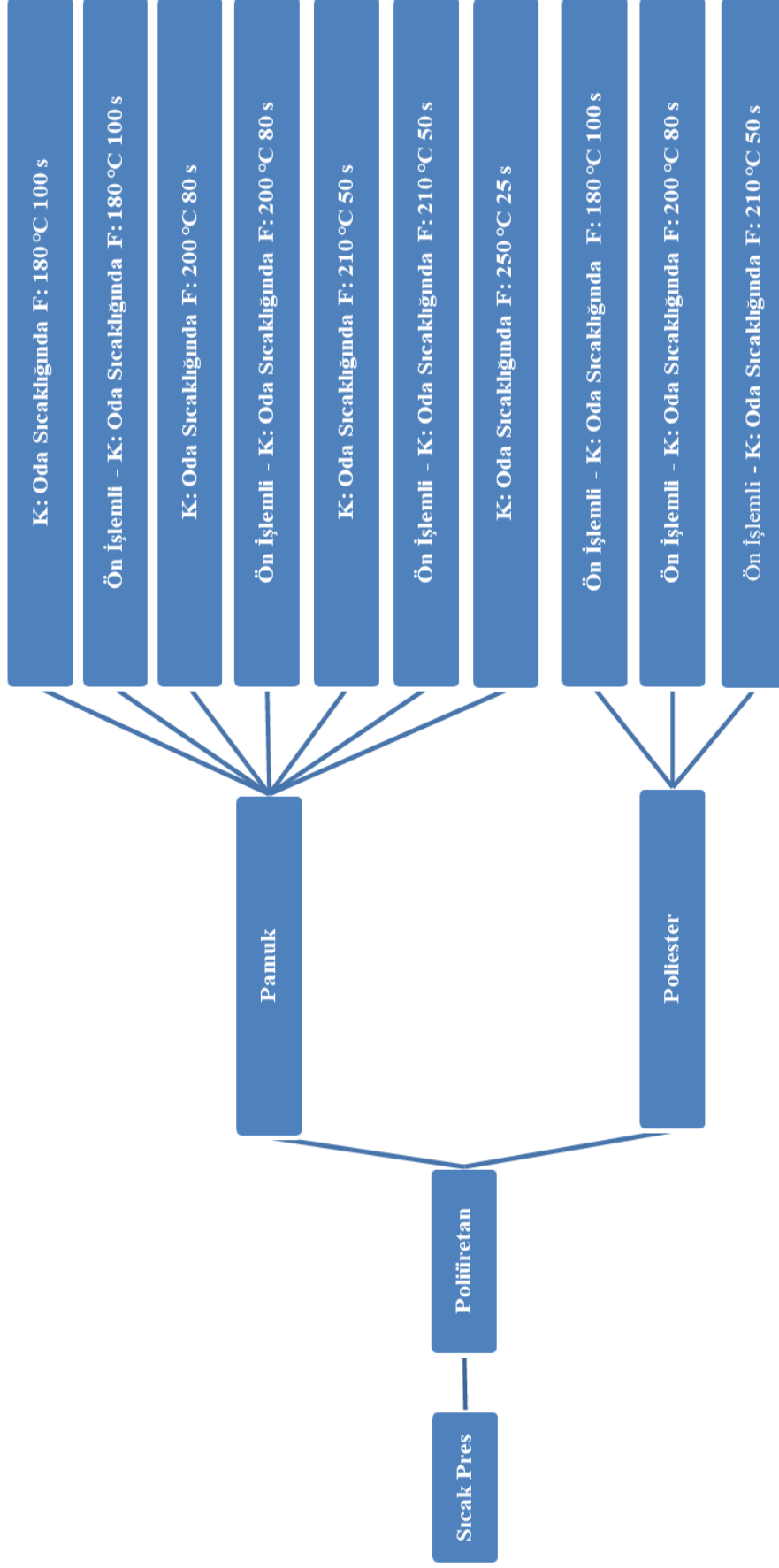
Şekil 3.15: Akrilat esaslı binder / grafen patı - sıcak pres uygulamaları (K: kurutma; F: fiksaj)

Uygulamalar esnasında ve sonrasında yapılan ölçüm sonuçları doğrultusunda akrilat esaslı binder / grafen patı poliesterde anlatıldığı üzere kötü sonuçlar vermesi hatta iletkenlik alınamaması, bununla beraber pamuk içerikli kumaşlarda ise poliüretan içerikli baskı patı ile karşılaştırıldığında çok yüksek seviyede direnç değerleri kaydedilmesi sebepleriyle bundan sonraki çalışmalar için poliüretan bazlı baskı patı ile devam edilmesine karar verilmiştir. Şekil 3.16 ve Şekil 3.17’de poliüretan binder / grafen baskı patı ile sıcak pres prosesi detayları gösterilmektedir. Bu uygulamada poliester ile sağlıklı karşılaştırabilmek adına ortak uygulamalarda pamuklu kumaşlara da ön işlem uygulanmıştır.



Şekil 3.16: Poliüretan esaslı binder / grafen patının sıcak pres uygulama prosesi detayları

SICAK PRES / POLİÜRETAN UYGULAMALARI



Şekil 3.17: Poliüretan esaslı binder / grafen patı - sıcak pres uygulamaları (K: kurutma; F: fiksaj)

3.2.2.2 İkinci Bölüm Deney Detayları

Baskı yapıldıktan sonra kurutma/fiksaj prosesinde ilk bölümde anlatıldığı üzere ramöz ve sıcak pres olmak üzere iki yöntem uygulanmıştır. İki yöntemle de farklı sıcaklık/süre değişkenleri denenerek ön denemeler yapılmıştır ve en iyi iletkenlik/beyazlık derecesi veren sıcaklık/süre parametreleri seçilmiştir.

- ✓ Bu yöntemlerin ilkinde ramöz prosesi; önce 100 °C’de 10 dk’lık ön kurutma ve daha sonra 160 °C’de 3 dk’lık fikse işlem adımları gerçekleştirilmiştir.
- ✓ İkinci yöntemde ise sıcak baskı presi (transfer baskı makinası) prosesi; basılan kumaş oda sıcaklığında 24 sa kurutulduktan sonra, sıcak preste 210 °C’de 50 s’lik işlem uygulanmıştır.

En iyi iletkenlik sonucu veren;

- Reçete (Binder tipi)
- Kurutma/fikse parametreleri (sıcaklık, süre vb.)
- En uygun grafen oranı ve
- Kumaş cinsi seçilerek tez çalışmasının devamında yapılacak spesifik uygulamalar bu seçilen parametreler sabit tutulmak sureti ile uygulanmıştır.

Bütün denemeler ışığında en iyi sonuçları veren şartlar ve yöntemler seçilerek tez çalışmasının son bölümündeki uygulamalar karşılaştırılmalı şekilde gerçekleştirilmiştir ve bu bölümdeki uygulamaların deney planında aşağıda belirtilen faktörler sabit tutulmuştur.

- 1) Grafen Oranı : % 10
- 2) Kumaş Cinsi : % 100 Pamuk Süprem
- 3) Binder Tipi : Poliüretan
- 4) Seçilen 1.Proses : 100 °C 10 dk kurutma + 160 °C 3 dk fikse / Ramöz Prosesi
- 5) Seçilen 2.Proses : 24 sa oda sıcaklığında kurutma + 210 °C 50 s Transfer Baskı / Sıcak Pres Prosesi

➤ İkinci bölümde kumaşlara hem ramöz hem de sıcak pres (transfer baskı) prosesleriyle uygulanacak iletken tozlar, tek yapılı (herbir iletken tozun tekil kullanımı) ve kompozit yapılı (farklı iletken tozların bir arada aynı anda kombine kullanıldığı) baskı patı çeşitleri aşağıdaki şekildedir;

1. Kör baskı patının basılması (Kontrol amaçlı, hiçbir iletken toz içermeyen baskı patı)
2. Grafen katkılı baskı patı : % 1 ; % 2,5 ; % 5 ; % 8 ; % 10 ; % 15
3. Gümüş katkılı baskı patı : % 1 ; % 2,5 ; % 5 ; % 8 ; % 10 ; % 15
4. Bakır katkılı baskı patı : % 1 ; % 2,5 ; % 5 ; % 8 ; % 10 ; % 15
5. Kobalt oksit katkılı baskı patı: % 1 ; % 2,5 ; % 5 ; % 8 ; % 10 ; % 15
6. Mangan oksit katkılı baskı patı: % 1 ; % 2,5 ; % 5 ; % 8 ; % 10 ; % 15
7. Grafen oksit katkılı baskı patı : % 1 ; % 2,5 ; % 5 ; % 8 ; % 10 ; % 15
8. Grafen / Gümüş Kompozit katkılı baskı patı: % 6 / % 4 ; % 8 / % 2 ; % 10 / % 2 ; % 10 / % 4
9. Grafen / Bakır kompozit katkılı baskı patı : % 6 / % 4 ; % 8 / % 2 ; % 10 / % 2 ; % 10 / % 4
10. Grafen / Kobalt oksit kompozit katkılı baskı patı : % 6 / % 4 ; % 8 / % 2 ; % 10 / % 2 ; % 10 / % 4
11. Grafen / Mangan oksit kompozit katkılı baskı patı : % 6 / % 4 ; % 8 / % 2 ; % 10 / % 2 ; % 10 / % 4

Yukardaki gibi çeşitli konsantrasyonlarda hazırlanan poliürean bazlı baskı patları % 100 pamuk süprem kumaşa serigrafi baskı yöntemi ile basılmıştır. Daha sonra iki farklı kurutma-fiksaj prosesine tabii tutulmuştur. Yöntemlerden birinde baskı yapıldıktan sonra oda sıcaklığında 24 sa kurutulup daha sonrasında sıcak pres makinasında fiksaj işlemi yapılmıştır. Diğer yöntemin kurutma ve fiksaj adımları ise ramöz (gergefli kurutma) makinasında uygulanmıştır.

2. bölümde izlenen deney planı genel olarak aşağıdaki Tablo 3.11 ve Tablo 3.12’de gösterilmektedir. Gösterilen baskı planı % 100 pamuk süprem kumaşlara, poliüretan baskı patı ile uygulanmıştır.

Tablo 3.11: Deney planı detayları-1

İletken Toz Tipi	İletken Toz Yüzdesi	Proses Tipi
Grafen (G)	% 1; % 2,5 ; % 5 ; % 8 ; % 10 ; % 15	Ramöz
Grafen (G)	% 1; % 2,5 ; % 5 ; % 8 ; % 10 ; % 15	Sıcak Pres
Gümüş (Ag)	% 1; % 2,5 ; % 5 ; % 8 ; % 10 ; % 15	Ramöz
Gümüş (Ag)	% 1; % 2,5 ; % 5 ; % 8 ; % 10 ; % 15	Sıcak Pres
Grafen / Gümüş (G / Ag)	% 10 / % 4	Ramöz
Grafen / Gümüş (G / Ag)	% 10 / % 2	Ramöz
Grafen / Gümüş (G / Ag)	% 8 / % 2	Ramöz
Grafen / Gümüş (G / Ag)	% 6 / % 4	Ramöz
Grafen / Gümüş (G/Ag)	%10/%4	Sıcak Pres
Grafen / Gümüş (G/Ag)	%10/%2	Sıcak Pres
Grafen / Gümüş (G/Ag)	%8/%2	Sıcak Pres
Grafen / Gümüş (G/Ag)	%6/%4	Sıcak Pres
Bakır (Cu)	% 1; % 2,5 ; % 5 ; % 8 ; % 10 ; % 15	Ramöz
Bakır (Cu)	% 1; % 2,5 ; % 5 ; % 8 ; % 10 ; % 15	Sıcak Pres
Grafen / Bakır (G / Cu)	%10 / % 4	Ramöz
Grafen / Bakır (G / Cu)	% 10 / % 2	Ramöz
Grafen / Bakır (G / Cu)	% 8 / % 2	Ramöz
Grafen / Bakır (G / Cu)	% 6 / % 4	Ramöz
Grafen / Bakır (G / Cu)	% 10 / % 4	Sıcak Pres
Grafen / Bakır (G / Cu)	% 10 / % 2	Sıcak Pres
Grafen / Bakır (G / Cu)	% 8 / % 2	Sıcak Pres
Grafen / Bakır (G / Cu)	% 6 / % 4	Sıcak Pres

Tablo 3.12: Deney detayları (devamı)-2

İletken Toz Tipi	İletken Toz Yüzdesi	Proses Tipi
Mangan Oksit (MnO)	% 1; % 2,5 ; % 5 ; % 8 ; % 10 ; % 15	Ramöz
Mangan Oksit (MnO)	% 1; % 2,5 ; % 5 ; % 8 ; % 10 ; % 15	Sıcak Pres
Grafen / Mangan Oksit (G / MnO)	% 10 / % 4	Ramöz
Grafen / Mangan Oksit (G / MnO)	% 10 / % 2	Ramöz
Grafen / Mangan Oksit (G / MnO)	% 8 / % 2	Ramöz
Grafen / Mangan Oksit (G / MnO)	% 6 / % 4	Ramöz
Grafen / Mangan Oksit (G / MnO)	% 10 / % 4	Sıcak Pres
Grafen / Mangan Oksit (G / MnO)	% 10 / % 2	Sıcak Pres
Grafen / Mangan Oksit (G / MnO)	% 8 / % 2	Sıcak Pres
Grafen / Mangan Oksit (G / MnO)	% 6 / % 4	Sıcak Pres
Kobalt Oksit (CoO)	% 1; % 2,5 ; % 5 ; % 8 ; % 10 ; % 15	Ramöz
Kobalt Oksit (CoO)	% 1; % 2,5 ; % 5 ; % 8 ; % 10 ; % 15	Sıcak Pres
Grafen / Kobalt Oksit (G / CoO)	% 10 / % 4	Ramöz
Grafen / Kobalt Oksit (G / CoO)	% 10 / % 2	Ramöz
Grafen / Kobalt Oksit (G / CoO)	% 8 / % 2	Ramöz
Grafen / Kobalt Oksit (G / CoO)	% 6 / % 4	Ramöz
Grafen / Kobalt Oksit (G / CoO)	% 10 / % 4	Sıcak Pres
Grafen / Kobalt Oksit (G / CoO)	% 10 / % 2	Sıcak Pres
Grafen / Kobalt Oksit (G / CoO)	% 8 / % 2	Sıcak Pres
Grafen / Kobalt Oksit (G / CoO)	% 6 / % 4	Sıcak Pres
Grafen Oksit (GO)	% 1; % 2,5 ; % 5 ; % 8 ; % 10 ; % 15	Ramöz
Grafen Oksit (GO)	% 1; % 2,5 ; % 5 ; % 8 ; % 10 ; % 15	Sıcak Pres

3.2.3 Uygulanan Test Ölçüm Metodları

Farklı iletken tozlar içeren baskı patlarıyla serigrafi baskı tekniği kullanılarak basılan kumaşların performans özelliklerini ölçmek için kullanılan test yöntemleri şunlardır;

1. Yıkama öncesi ve sonrası gramaj ölçümü- TS EN 12127: 1999
2. Yıkama öncesi ve sonrası kalınlık ölçümü (Louis Schopper Otomatik Mikrometre cihazı)
3. Yıkama öncesi ve sonrası sertlik ölçümü (Prowhite Stiffness Dijital Pnömatik Sertlik Cihazı) ASTM D4032
4. Yıkama öncesi ve sonrası renk ölçümü – Spektrofotometre Data Color 600TM cihazı - D65 ışık kaynağı
5. Yıkama öncesi ve sonrası beyazlık değeri (Stensby)
6. Yıkama öncesi ve sonrası sarılık indeksi değeri (E313)
7. Su Buharı Geçirgenliği – Kap Metodu - BS7209
8. Tekrarlı standart yıkamalar (0, 1, 5 ve 10 tekrarlı yıkamalar) – Wascator FOM 71 Standart yıkama makinesinde 40 °C’de 20 g Non-Phosphate ECE Deterjan (ECE-A) kullanılarak tekrarlı standart yıkamalar gerçekleştirilmiştir. Yıkama işlemleri sonrasında kumaşlar oda sıcaklığında düz şekilde serilerek kurutulmuştur. - EN ISO 6330

3.2.3.1 Yüzde Ağırlık Değişiminin Belirlenmesi

Yapılan işlemler sonrasında kumaşlarda meydana gelen ağırlık değişimleri işlem yapılmamış kumaş numunesi referans alınarak aşağıdaki denklemde verilen (3.1) eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100 \quad (3.1)$$

3.2.3.2 Kumaşların Sertlik Değerlerinin Belirlenmesi

Numune kumaşların sertlik değerlerinin ölçülmesi Şekil 3.18'de gösterilen pnömatik sertlik cihazı ile ölçülmüştür. Kumaşların yıkama öncesi ve yıkama sonrası halinden 10 cm x 20 cm ebatlarında parçalar kesilerek ASTM D4032 standardına göre ölçüm cihazına yerleştirilerek kumaşların sertlik değerleri ölçülmüştür.



Şekil 3.18: Prowhite Stiffness dijital pnömatik sertlik cihazı

3.2.3.3 Kumaşların Kalınlık Değerlerinin Belirlenmesi

Numune kumaşların kalınlık değerleri tekrarlı yıkamalar öncesi ve yıkamalar sonrası olmak üzere Şekil 3.19'da gösterilen Louis Schopper Otomatik Mikrometre cihazı ile ölçülmüştür.



Şekil 3.19: Kalınlık ölçüm cihazı

3.2.3.4 Beyazlık - Sarılık İndeks Değerlerinin Belirlenmesi

Yapılan işlemlerin kumaşın renginde ne kadar sararmaya veya beyazlık azalmasına neden olduğunu belirlemek için yıkama öncesi-sonrası işlemleri ve işlemsiz numune kumaşların beyazlık ve sarılık indeksi değerleri Şekil 3.20’de gösterilen Spektrofotometre Data Color 600TM cihazı aracılığıyla ölçülmüştür. Beyazlık indeksi değerleri “Stensby” değerine göre, sarılık indeksi değerleri ise “E 313” metodu kullanılarak belirlenmiştir. Kumaşların beyazlık ve sarılık değerlerinin ölçümleri D65 10° şartlarında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.20: Spektrofotometre Data Color 600TM

3.2.3.5 Kolorimetrik Özelliklerinin Değerlendirilmesi

Serigrafi baskı ile çeşitli iletken baskı patları basılmış pamuk süprem kumaşlarının renk ölçümleri Datacolor 600 Model Spektrofotometre’de D65 standart gün ışığı altında ve 10° standart gözlem açısıyla gerçekleştirilmiştir. Ölçümler her bir numune için dört tekrarlı olacak şekilde, 4 kat olarak ve kumaşların her iki yüzü de okutularak gerçekleştirilmiştir. Renk verimi (K/S) değerleri aşağıda belirtilen Kubelka-Munk denklemine göre hesaplanmıştır.

$$K/S = (1 - R)^2 / 2R \quad (3.2)$$

R : Maksimum absorpsiyon dalga boyundaki (λ_{max}) reflektans

K : Absorpsiyon katsayısı

S : Yansıma katsayısı

Ayrıca numunelerin CIE L^* , a^* , b^* , ve C^* , h° kolorimetrik değerleri de tayin edilmiştir.

- L^* : Açıklık-koyuluk değeri (+ daha açık, - daha koyu)
 a^* : Kırmızılık-yeşillik değeri (+ daha kırmızı, - daha yeşil)
 b^* : Sarılık-mavilik değeri, (+ daha sarı, -daha mavi)
 C^* : Kroma (Doygunluk),
 h° : Açık (Renk tonu)

L^* , a^* , b^* değerlerinden referans kumaşa göre numuneler arasındaki toplam renk farklılıkları da aşağıdaki denkleme göre hesaplanmıştır.

$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (3.3)$$

3.2.3.6 Su Buharı Geçirgenliğinin Belirlenmesi

Kumaşlara döner platform metodu ile “BS EN 7209: 1990” standardına göre su buharı geçirgenliği testi uygulanmıştır. Döner platform su buharı geçirgenliği test cihazının görüntüsü Şekil 3.21’de gösterilmektedir. Bu metoda göre her bir kap, kumaşlar su yüzeti arasında 10 mm lik bir hava tabakası kalacak şekilde destile su ile doldurulur. Her bir kaba, metal telden yapılmış bir tutucu parça yerleştirilir. Kabın kenarlarına yapıştırıcı sürülür ve 96 mm çapındaki kumaş numunesi kabın üstüne, üst yüzeyi yukarı gelecek şekilde yerleştirilir ve kap üzerine kapatma halkasının yerleştirilir. Daha sonra kenarlardan hava sızmasını engelleyecek şekilde pvc şerit çekilir.

Hazırlanan kaplar döner platform üzerine yerleştirilerek 1 sa boyunca döndürülmek suretiyle numunelerin atmosfer koşullarındaki hava içerisinde dengelenmesi sağlanmaktadır. Referans kumaşlar için de aynı işlemler yapılır. 1 sa sonunda her bir kap hassas terazide tartılır ve tekrar 24 sa boyunca dönmeye bırakılır. 24 sa sonunda her bir kap tekrar hassas terazide tartılır ve aşağıda verilen (3.4), (3.5) ve (3.6) formülleri yardımıyla su buharı geçirgenliği indeksi hesaplanır (Bozdoğan 2010).



Şekil 3.21: Prowhite su buharı geçirgenlik test cihazı

$$(WVP)_f = \frac{24 (\text{İlk Ağırlık} - \text{Son Ağırlık})}{A.t} \quad (3.4)$$

$$(WVP)_r = \frac{24 (\text{İlk Ağırlık} - \text{Son Ağırlık})}{A.t} \quad (3.5)$$

$$I = \frac{(WVP)_f}{(WVP)_r} \times 100 \quad (3.6)$$

$(WVP)_f$: Numune kumaştaki su buharı geçirgenlik değeri

$(WVP)_r$: Referans kumaştaki buharı geçirgenlik değeri

A : Buharlaşma alanı (m^2)

t : Bekletme süresi (sa)

I : Su Buharı Geçirgenlik İndeksi

3.2.3.7 Tekrarlı Standart Yıkamalar

1, 5 ve 10 tekrarlı yıkamalar Wascator FOM 71 Standart yıkama makinesinde uygulanmıştır. Her yıkamada 20 g Non-Phosphate ECE Deterjan (ECE-A) tipinde optik beyazlatıcı içermeyen deterjan kullanılmıştır. EN ISO 6330 standardına göre 40 °C’de ev tipi yıkama standardı uygulanmıştır. Yıkanan kumaşlar oda sıcaklığında düz şekilde serilerek kurutulmuştur.

3.2.3.8 Direnç Değeri Ölçümü (Elektriksel İletkenlik Ölçümü)

Tekstil ürünlerinde elektriksel iletkenlik ölçümleri genellikle dört uç ölçüm metodu ve iki uç ölçüm metoduna göre yapılabilmektedir. Bu tez çalışmasında, sergirafi baskılı kumaşların yüzey elektriksel direnci multimetre cihazı ile iki uç tekniğine göre ölçülmüştür. Direnç ölçümünde LCR Meter Dual Display CHY 41R dijital multimetre cihazı kullanılmıştır. Multi metre cihazı voltmetre, ampermetre ve ohmmetre olarak kullanılabilen bir ölçüm aletidir. Hangi ölçüm üzerinde ölçüm yapılacaksa avometre üzerindeki anahtar istenen konuma getirilerek ölçme işlemi gerçekleştirilir.

Multimetrenin bağlantı uçları (problar) genelde ihtiyaca uygun farklı metalden yapılırlar. Bunun nedeni numunenin cinsine göre numuneye sert ve sağlam temasın sağlanması ya da yüksek sıcaklığa dayanıklı olması için metal uçlar kullanmaktır. Multimetrenin artı (+) ve eksi (-) kutbunu temsil eden iki metal probunu aynı aralıklarda (1 cm) tutarak elektriksel direnç değeri ölçülecek numune kumaşın yüzeyine bastırılmak suretiyle 120 Hz frekansta ölçülen direnç değerleri kaydedilir. İletkenlerin direnci, kesitine, iletkenin boyuna, yapıldığı malzemenin öz direncine ve sıcaklığına bağlıdır. Bu değerlerin değişmesiyle iletkenin direnci değişir.

Aşağıda Şekil 3.22’de verilen dijital multimetre cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3.22: LCR Meter Dual Display CHY 41R

Direncin elde edilmesi numunenin özdirencinin belirlenmesine imkan tanır. Homojen bir numunenin özdirenci belirlenmek istendiğinde malzemenin geometrik özellikleri bilinmelidir. Özdirenç genel bir formülle aşağıdaki şekilde verilir. Kumaşın elektiksel iletkenlik değeri ile direnç değeri arasındaki ilişki aşağıdaki denklem ile ifade edilmektedir.

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (3.7)$$

ρ : örneğin özdirenci ($\Omega.m$),

l : örneğin uzunluğu (m),

A : örneğin enine kesit alanı (m^2),

R : malzemenin direnci (Ω) (Kurul 2019; Yılmaz 2008; Şat 2010; Türkoğlu 2003).

İletkenlik özelliği elde edilemeyen kumaşların ölçümü sırasında herhangi bir direnç değeri göstergede saptanamaz iken iletkenlik sağlanan kumaşlarda ise alınan direnç değerleri kaydedilmiştir. Ohm yasası formülüne göre direnç değeri arttıkça iletkenlik azalmaktadır. Direnç değeri azaldıkça iletkenlik artmaktadır. Bu sebeple kaydedilen **en düşük direnç** değerleri en başarılı sonuç olarak kabul edilmektedir.

4. BULGULAR

Uygulama sonucunda elde edilen bulgular iki bölüm üzerinden anlatılmıştır.

4.1 1. Bölüm Deney Sonuçları

Akrilat patı ile yapılan ramöz prosesinin, direnç ve sarılık-beyazlık ölçüm sonuçları detaylı bir şekilde Tablo 4.1 ve Tablo 4.2’de verilmektedir.

$$\Delta YI \text{ Sarılık} = \text{Kontrol Kumaşı } YI \text{ Değeri} - \text{Deney Kumaşı } YI \text{ Değeri}$$

Bu tez çalışmasında optik + kasar + kurutma ön terbiye işlemi uygulanan % 100 pamuk süprem kumaş ile termofikse + yıkama + kurutma ön terbiye adımları uygulanan % 92 mikro poliester % 2 elastan süprem kumaşlarına hazırlanan baskı patları basılarak kurutma/fiksaj adımları tamamlanmıştır.

Fakat uygulanan sergirafi baskı ve sonrasında uygulanan kurutma ve fiksaj işlemlerinden sonra kumaşların baskı yapılmayan beyaz kısımları bazen ısı işlemler etkisiyle sararabilmektedir. Baskı işlemi yapıldıktan sonra kumaşın baskı yapılmayan beyaz bölgelerinde ne seviyede sararma meydana geldiğini saptamak için herhangi bir baskı işlemi yapılmamış işlemsiz pamuk ve mikro poliester elastan kumaşlar sarılık-beyazlık ölçümlerinde kontrol kumaşı olarak kullanılmıştır. İşlemsiz kontrol kumaşlarıyla karşılaştırılan işlemler kumaşların beyaz kısımlarının sarılık farkı değerleri sıfıra ‘0’ yaklaştıkça kumaşların sarılığı azalır, uzaklaştıkça kumaşların sarılığı artar.

Akrilat Binder Esaslı Grafen İçerikli Baskı Patı Ramöz Çalışmaları

Tablo 4.1 ve 4.2’den açıkça görüldüğü gibi, bazı proseslerin kumaşın sarılık değerlerini arttırdığı ve buna paralel olarak, beklenildiği gibi, beyazlık değerlerini düşürdüğü saptanmıştır.

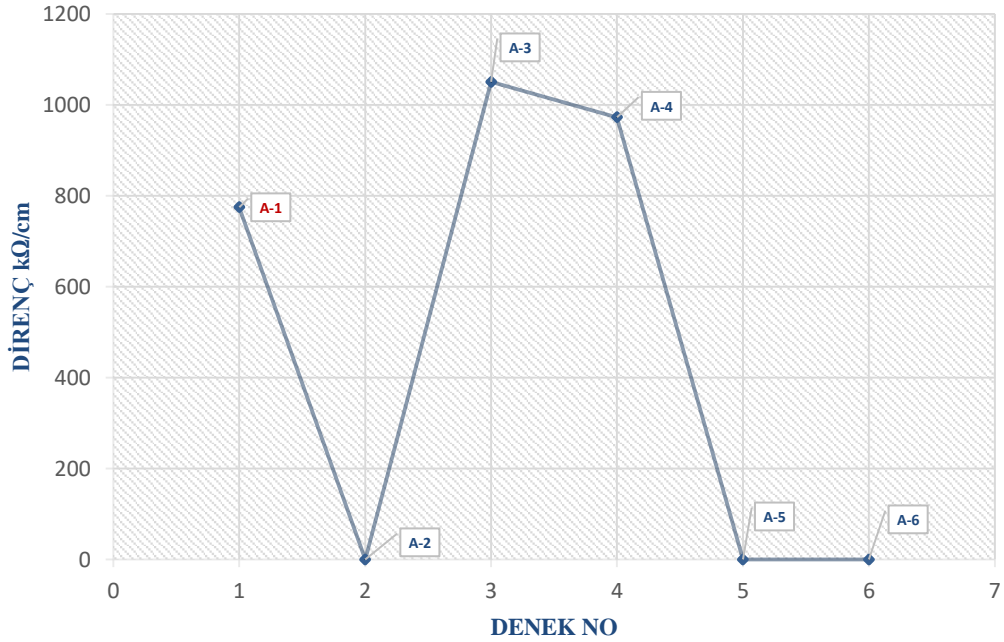
KUMAŞ TİPİ	BASKI PATI	ÖN İŞLEM	İLETKEN MALZEME	KURUTMA ŞARTLARI- RAMÖZ	SİNERLEME ŞARTLARI- RAMÖZ	DİRENÇ (120 Hz) kΩ/cm	SARILIK (E313 YI) ΔYI	BEYAZLIK (Stensby)
Pamuk	-	-	-	-	-	-	0	159,40
Pes / Ea	-	-	-	-	-	-	0	156,77
Pamuk	Akrlat	-	Grafen	100 °C 10 Dk	160 °C 3 Dk	775	1,68	154,10
Pes / Ea	Akrlat	-	Grafen	100 °C 10 Dk	160 °C 3 Dk	Bağlantı Yok	1,09	151,21
Pamuk	Akrlat	-	Grafen	-	100 °C 30 Dk	1051	1,72	154,10
Pamuk	Akrlat	-	Grafen	-	160 °C 30 Dk	973	9,29	138,39
Pamuk	Akrlat	-	Grafen	Oda Sıcaklığında	-	Bağlantı Yok	1,23	158,94
Pes / Ea	Akrlat	-	Grafen	Oda Sıcaklığında	-	Bağlantı Yok	0,42	155,77

Tablo 4.1: Akrlat grafen içerikli baskı patı çalışmaları (ramöz) ve ölçüm sonuçları

Tablo 4.2: Akrlat grafen baskı detayları-kumaş kodu-ramöz prosesi

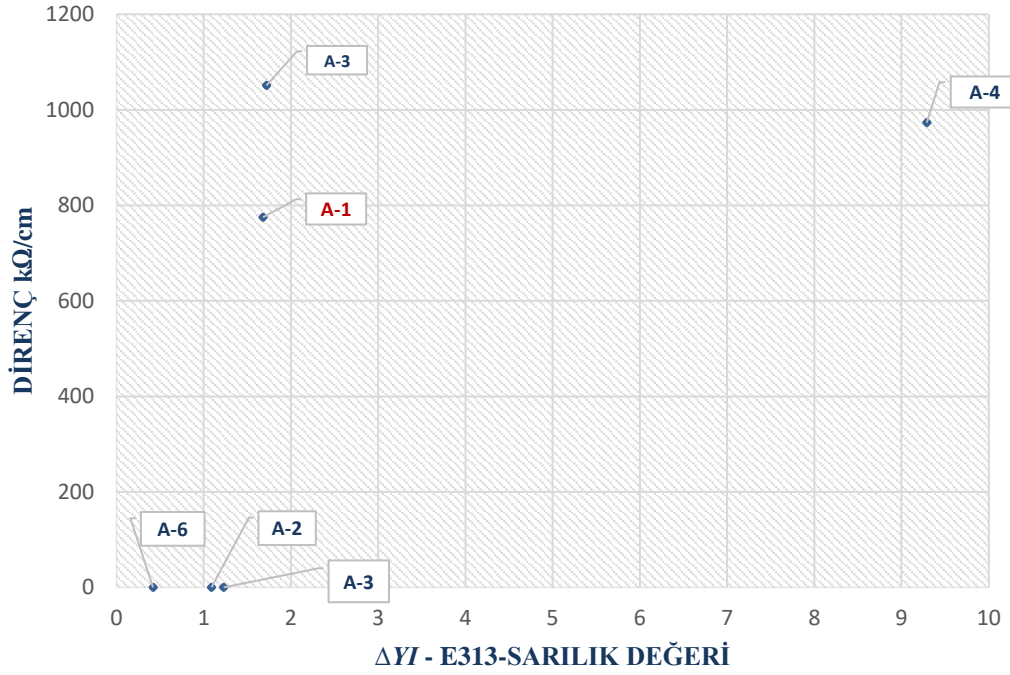
Kumaş Tipi	Kumaş Kodu	Kurutma Şartları	Fikse Şartları	Direnç (120 Hz) kΩ/cm	ΔYI
Pamuk	A-1	100 °C 10 dk	160 °C 3 dk	775	1,68
Poliester Elastan	A-2	100 °C 10 dk	160 °C 3 dk	Bağlantı Yok	1,09
Pamuk	A-3	-	100 °C 30 dk	1051	1,72
Pamuk	A-4	-	160 °C 30 dk	973	9,29
Pamuk	A-5	Oda Sıcaklığı	-	Bağlantı Yok	1,23
Poliester Elastan	A-6	Oda Sıcaklığı	-	Bağlantı Yok	0,42

Direnç sonuçları Şekil 4.1’de grafik üzerinden gösterilmektedir.



Şekil 4.1: Akrlat Grafen baskı direnç (kΩ/cm) ölçüm sonuçları-ramöz prosesi

Direnç/Sarılık sonuçları karşılaştırılmalı olarak Şekil 4.2’de gösterilmektedir.



Şekil 4.2: Akriyat / Grafen baskı direnç (kΩ/cm) / sarılık (ΔYI) karşılaştırmalı ölçüm sonuçları (ramöz prosesi)

Karşılaştırmalı sonuca göre en başarılı sonucun A-1 kumaşı olduğu görülmektedir.

- ✓ **(A-1) Proses Detayı:** % 100 Pamuk Süprem / Kurutma: 100 °C 10 dk / Fikse: 160 °C 3 dk / Direnç:775 kΩ/cm / ΔYI: 1,68

Kumaşların kalınlık ölçüm değerleri (µm) Tablo 4.3’te detayları ile verilmektedir.

Tablo 4.3: Akrilat binder esaslı grafen baskı – kalınlık ölçüm sonuçları

Kumaş Tipi	Kumaş Kodu	Direnç (kΩ/cm)	Kalınlık Ölçüm Değeri (mikron- μm)	Kontrol Kumaş Kalınlık (μm)	Kalınlık % Artışı
Pamuk	A-1	775	0,63 x 10 ³	0,59 x 10 ³	% 6,77
Poliester Elastan	A-2	Bağlantı Yok	0,60 x 10 ³	0,54 x 10 ³	% 11
Pamuk	A-3	1051	0,62 x 10 ³	0,59 x 10 ³	% 5,08
Pamuk	A-4	973	0,40 x 10 ³	0,59 x 10 ³	* - % 32,20
Pamuk	A-5	Bağlantı Yok	0,64 x 10 ³	0,59 x 10 ³	% 8,47
Poliester Elastan	A-6	Bağlantı Yok	0,61 x 10 ³	0,54 x 10 ³	% 12,96

*Genel olarak bütün kumaş numunelerinde kalınlık artışı gözlenirken, A-4 nolu kumaşta azalma olduğu saptanmıştır. Bunun sebebi, uygulanan prosesteki ağır şartlara bağlı olarak pamuğun yapısal zarar görmüş olabileceğinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Poliüretan Binder Esaslı Grafen İçerikli Baskı Patı Ramöz Çalışmaları

Poliüretan / Grafen uygulama detayları ve ölçüm sonuçları Tablo 4.4 ve Tablo 4.5'te gösterilmektedir.

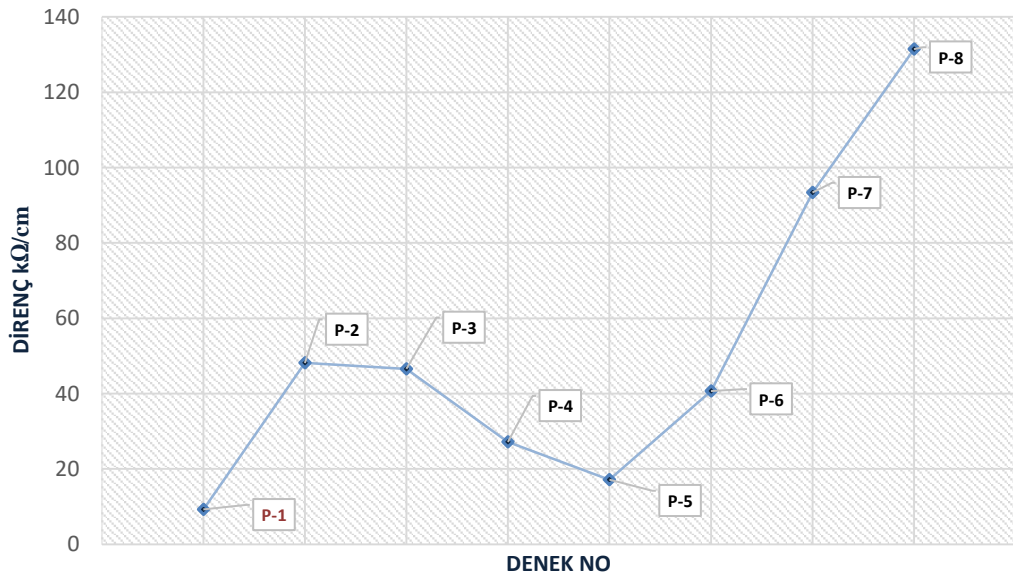
KUMAŞ TİPİ	BASKI PATI	ÖN İŞLEM	İLETKEN MALZEME	KURUTMA ŞARTLARI	SİNTERLEME ŞARTLARI	DİRENÇ (120 Hz) kΩ/cm	SARILIK (E313 YI) ΔYI	BEYAZLIK (Stensby)
Pamuk	-	-	-	-	-	-	0	159,40
Pes / Ea	-	-	-	-	-	-	0	156,77
Pamuk	PU	-	Grafen	100 °C 10 dk	160 °C 3 dk	9,25	2,63	153,42
Pamuk	PU	Ön İşlemli	Grafen	100 °C 10 dk	160 °C 3 dk	48,12	2,24	154
Pes / Ea	PU	Ön İşlemli	Grafen	100 °C 10 dk	160 °C 3 dk	46,57	0,2	153,02
Pamuk	PU	-	Grafen	-	100°C 30 dk	27,15	1,62	154,52
Pamuk	PU	-	Grafen	-	160 °C 30 dk	17,14	7,55	142,36
Pamuk	PU	-	Grafen	Oda Sıc.	-	40,67	1,25	156,46
Pamuk	PU	Ön İşlemli	Grafen	Oda Sıc.	-	93,38	2,21	155,80
Pes / Ea	PU	Ön İşlemli	Grafen	Oda Sıc.	-	131,44	0,42	155,72

Tablo 4.4: Poliüretan binder / grafen içerikli baskı patı ramöz çalışmalarını ve ölçüm sonuçları

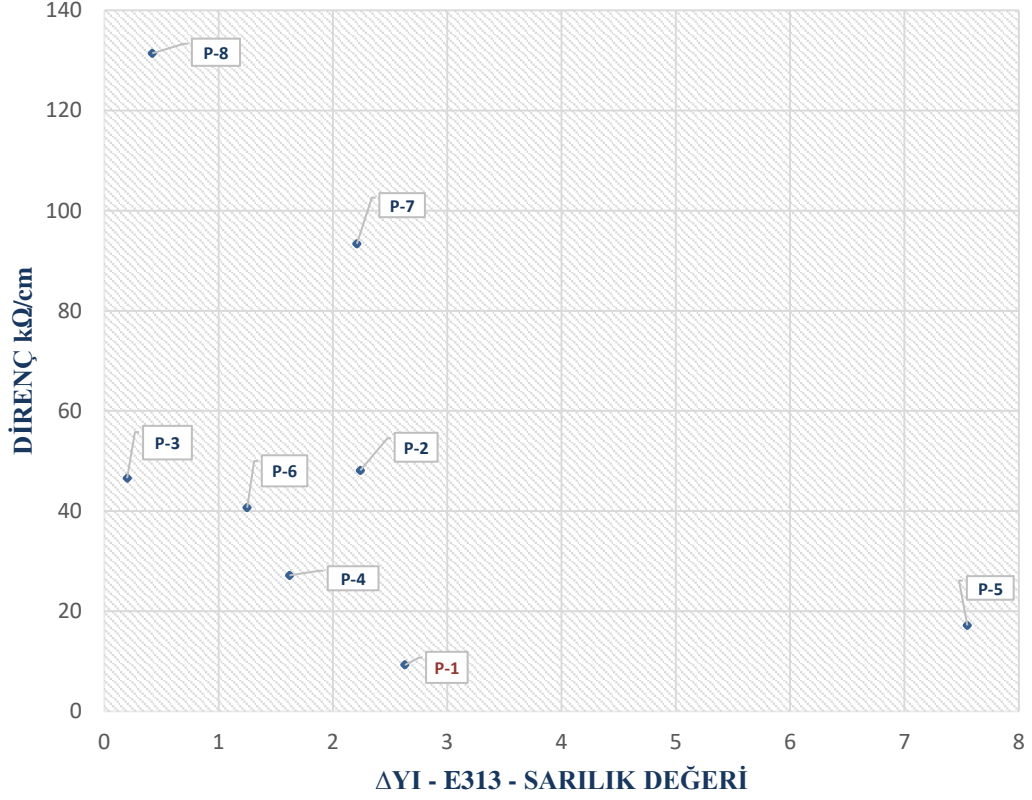
Tablo 4.5: Poliüretan / grafen baskı direnç (kΩ/cm) / sarılık (YI) ölçüm sonuçları

Kumaş Tipi	Kumaş Kodu	Ön İşlem	Kurutma Şartları	Fikse Şartları	Direnç(120 Hz) kΩ/cm	E313 ΔYI
Pamuk	P-1	-	100 °C 10 dk	160 °C 3 dk	9,25	2,63
Pamuk	P-2	Var	100 °C 10 dk	160 °C 3 dk	48,12	2,24
Poliester Elastan	P-3	Var	100 °C 10 dk	160 °C 3 dk	46,57	0,2
Pamuk	P-4	-	-	100 °C 30 dk	27,15	1,62
Pamuk	P-5	-	-	160 °C 30 dk	17,14	7,55
Pamuk	P-6	-	Oda Sıcaklığında	-	40,67	1,25
Pamuk	P-7	Var	Oda Sıcaklığında	-	93,38	2,21
Poliester Elastan	P-8	Var	Oda Sıcaklığında	-	131,44	0,42

Poliüretan Binder / Grafen baskı ramöz uygulamalarının direnç sonuçları Şekil 4.3'te grafik üzerinden gösterilmektedir.



Şekil 4.3: Poliüretan esaslı binder / grafen baskı- direnç sonuçları-ramöz



Şekil 4.4: Poliüretan esaslı binder / grafen baskı ramöz uygulamaları direnç (kΩ/cm) / sarılık (ΔYI) ölçüm sonuçları

Poliüretan esaslı binder / grafen baskı ramöz uygulamalarının direnç / sarılık sonuçları karşılaştırılmalı olarak Şekil 4.4'te gösterilmektedir. Karşılaştırmalı sonuca göre en başarılı sonuç P-1 kumaşı olduğu görülmektedir. Hatta genel olarak bütün deneyler arasında en iyi kaydedilen direnç değeri bu kumaşa ölçülmüştür.

(P-1) Proses Detayı: % 100 Pamuk Süprem / Kurutma: 100 °C 10 dk / Fikse: 160 °C 3 dk / Direnç: 9,25 kΩ/cm / ΔYI : 2,63

Tablo 4.6'da Poliüretan Binder/ Grafen patı ile yapılan serigrafî baskının ramöz proses uygulamalarının kalınlık ölçüm sonuçları verilmiştir.

Tablo 4.6: Poliüretan binder / grafen baskı (ramöz) – kalınlık ölçüm sonuçları

Kumaş Tipi	Kumaş Kodu	Ön İşlem	Direnç kΩ/cm	Kalınlık Ölçüm Değeri(mikro n- µm)	Kontrol Kumaş Kalınlık(µm)	Kalınlık % Artışı
Pamuk	P-1	-	9,25	$0,665 \times 10^3$	$0,59 \times 10^3$	% 12,71
Pamuk	P-2	Var	48,12	$0,645 \times 10^3$	$0,59 \times 10^3$	% 9,32
Poliester Elastan	P-3	Var	46,57	$0,64 \times 10^3$	$0,54 \times 10^3$	% 18,51
Pamuk	P-4	-	27,15	$0,65 \times 10^3$	$0,59 \times 10^3$	% 10,17
Pamuk	P-5	-	17,14	$0,675 \times 10^3$	$0,59 \times 10^3$	% 14,40
Pamuk	P-6	-	40,67	$0,67 \times 10^3$	$0,59 \times 10^3$	% 13,55
Pamuk	P-7	Var	93,38	$0,65 \times 10^3$	$0,59 \times 10^3$	% 10,17
Poliester Elastan	P-8	Var	131,44	$0,62 \times 10^3$	$0,54 \times 10^3$	% 14,81

Tablo 4.6’da görüldüğü üzere hiçbir denekte kalınlık azalışı gözlenmemiştir. Poliester kumaşlarda yüzdesel oranda kalınlık artışının pamuk kumaşlara nazaran daha yüksek olmasının sebebi poliesterin hidrofob karakterli olması sebebi ile patın yüzeyde kalabileceği ve daha hacimli durmasına sebebiyet verebileceğinden dolayı kaynaklandığı düşünülmektedir.

Akrilat Binder Esaslı Grafen İçerikli Baskı Patı Sıcak Pres Çalışmaları

Tablo 4.7 ve 4.8’de akrilat esaslı binder / grafen içerikli baskı patı çalışmalarının (çeşitli sıcak pres prosesi uygulamalarının) direnç, sarılık derecesi, beyazlık derecesi ölçüm sonuçları uygulama detayları ile verilmektedir.

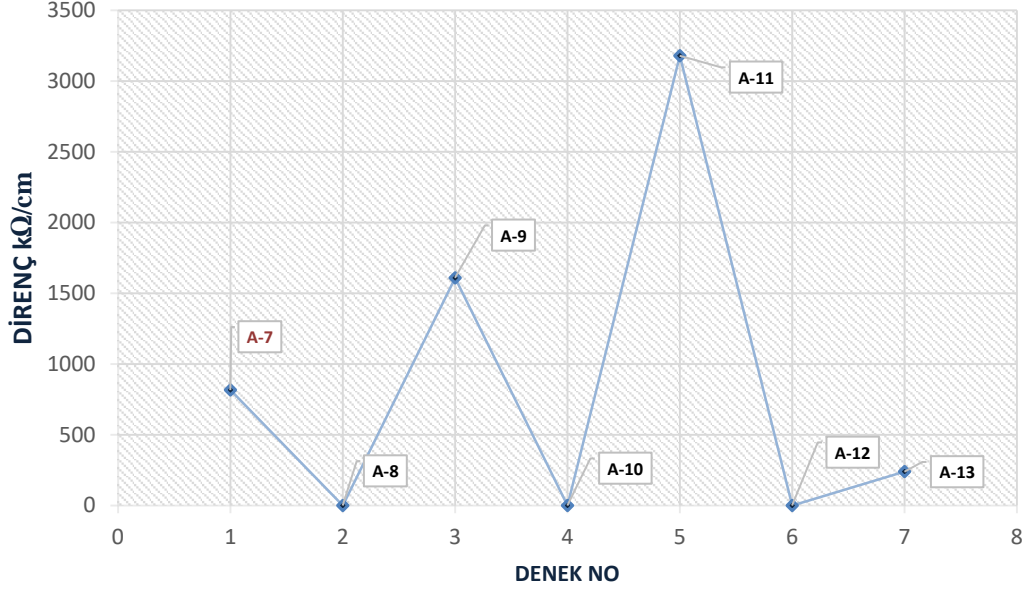
KUMAŞ TİPİ	BASKI PATI	ÖN İŞLEM	İLETKEN MALZEME	KURUTMA ŞARTLARI 24sa	SİNERLEM E ŞARTLARI- Sıcak Pres	DİRENÇ (120Hz) kΩ/cm	SARILIK (E313 YI) ΔYI	BEYAZLIK (Stensby)
Pamuk	-	-	-	-	-	-	0	159,40
Pes / Ea	-	-	-	-	-	-	0	156,77
Pamuk	Akrilat	-	Grafen	Oda Sıcaklığı	180 °C 100 s	816	4,35	146,80
Pes / Ea	Akrilat	Ön İşlemli	Grafen	Oda Sıcaklığı	180 °C 100 s	Bağlantı Yok	0,20	150,69
Pamuk	Akrilat	-	Grafen	Oda Sıcaklığı	200 °C 80 s	1610	9,11	137,05
Pes / Ea	Akrilat	Ön İşlemli	Grafen	Oda Sıcaklığı	200 °C 80 s	Bağlantı Yok	0,29	148,56
Pamuk	Akrilat	-	Grafen	Oda Sıcaklığı	210 °C 50 s	3180	8,07	137,58
Pes / Ea	Akrilat	Ön İşlemli	Grafen	Oda Sıcaklığı	210 °C 50 s	Bağlantı Yok	0,32	146,23
Pamuk	Akrilat	-	Grafen	Oda Sıcaklığı	250 °C 25 s	239	62,74	156,23

Tablo 4.7: Akrilat binder / grafen içerikli baskı patı sıcak pres uygulaması ve ölçüm sonuçları

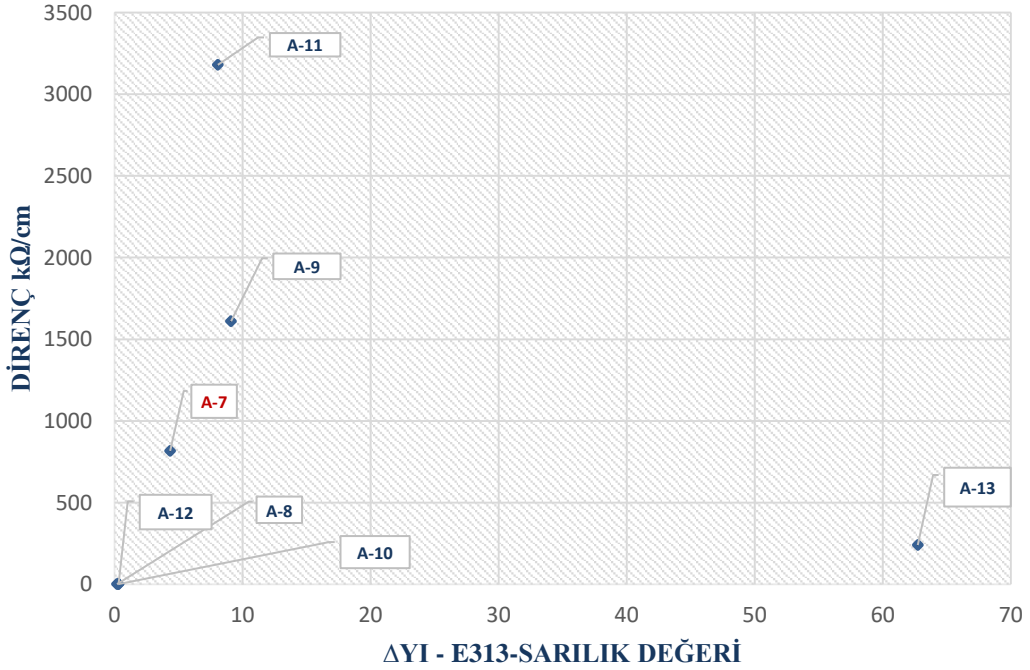
Tablo 4.8: Akrilat binder / grafen baskı sıcak pres uygulaması direnç (k Ω /cm) / sarılık(YI) ölçüm sonuçları

Kumaş Tipi	Kumaş Kodu	Ön İşlem	Kurutma Şartları	Fikse Şartları	Direnç (120Hz) kΩ/cm	E313 ΔYI
Pamuk	A-7	-	Oda Sıcaklığında	180 °C 100 s	816	4,35
Poliester Elastan	A-8	Var	Oda Sıcaklığında	180 °C 100 s	Bağlantı Yok	0,20
Pamuk	A-9	-	Oda Sıcaklığında	200 °C 80 s	1610	9,11
Poliester Elastan	A-10	Var	Oda Sıcaklığında	200 °C 80 s	Bağlantı Yok	0,29
Pamuk	A-11	-	Oda Sıcaklığında	210 °C 50 s	3180	8,07
Poliester Elastan	A-12	Var	Oda Sıcaklığında	210 °C 50 s	Bağlantı Yok	0,32
Pamuk	A-13	-	Oda Sıcaklığında	250 °C 25 s	239	62,74

Deneklerin direnç ölçüm sonuçları aşağıdaki Şekil 4.5'teki grafik üzerinde gösterilmektedir.



Şekil 4.5: Akrilat esaslı binder / grafen baskı - direnç sonuçları - sıcak pres



Şekil 4.6: Akrilat esaslı binder / grafen baskı – direnç (kΩ/cm) / sarılık (YI) karşılaştırmalı ölçüm sonuçları

Şekil 4.6’da karşılaştırmalı olarak verilen direnç-sarılık değerleri grafik üzerinde gösterilmiştir. Bu değerler incelendiğinde en düşük direnç değeri A-13 kumaşında kaydedilmiştir. 250 °C gibi yüksek sıcaklık değerinin denenmesinin

sebebi genellikle sinterleme sıcaklıklarının bundan çok daha yüksek sıcaklıklarda yapıyor olmasından kaynaklanmaktadır. Fakat tekstil alanında çalışıldığı için, 250 °C çalışma sıcaklığının pamuk lifinde piroliz riski yaratması açısından sağlıklı olmaması, bu ağır uygulama şartının kumaşa mukavemet kaybına ve kabul seviyesinin çok üzerinde bir sarılık değeri gözlemlenmesine sebep olduğu için sağlıklı bir proses olmadığı kanaatine varılmıştır. Bu sebeple ikinci en düşük direnç/sarılık seviyesini veren A-7 kumaşına uygulanan prosesin bu değerlendirmede en etkili işlem olduğu sonucuna varılmıştır.

(A-7) Proses Detayı: % 100 Pamuk Süprem / Ön İşlemsiz / Kurutma: Oda Sıcaklığında – 24 sa / Fikse: 210 °C 50 s / Direnç: 816 kΩ/cm / ΔYI:4,35

Tablo 4.9: Akrilat/Grafen baskı kalınlık ölçüm sonuçları

Kumaş Tipi	Kumaş Kodu	Ön İşlem	Direnç kΩ/cm	Kalınlık Ölçüm Değeri (mikron-μm)	Kontrol Kumaşı Kalınlık (μm)	Kalınlık % Artışı
Pamuk	A-7	-	816	0,59 x 10 ³	0,59 x 10 ³	% 0
Pes / Ea	A-8	Var	Bağlantı Yok	0,57 x 10 ³	0,54 x 10 ³	% 5,56
Pamuk	A-9	-	1610	0,58 x 10 ³	0,59 x 10 ³	- % 1,69
Pes / Ea	A-10	Var	Bağlantı Yok	0,57 x 10 ³	0,54 x 10 ³	% 5,56
Pamuk	A-11	-	3180	0,597 x 10 ³	0,59 x 10 ³	% 1,19
Pes / Ea	A-12	Var	Bağlantı Yok	0,56 x 10 ³	0,54 x 10 ³	% 3,70
Pamuk	A-13	-	239	0,58 x 10 ³	0,59 x 10 ³	- % 1,69

Tablo 4.9’da deneklerin (kumaş numunelerinin) kalınlık artışı değerleri incelendiğinde; poliester kumaşlarda kalınlık artışı gözlemlenirken bazı pamuk kumaşlarda kalınlık azalması saptanmıştır.

Poliüretan Binder Esaslı Grafen İçerikli Baskı Patı Sıcak Pres Çalışmaları

Tablo 4.10’da poliüretan/grafen içerikli baskı patı çalışmalarının (sıcak pres) beyazlık, sarılık ve direnç ölçüm sonuçları detayları ile verilmektedir.

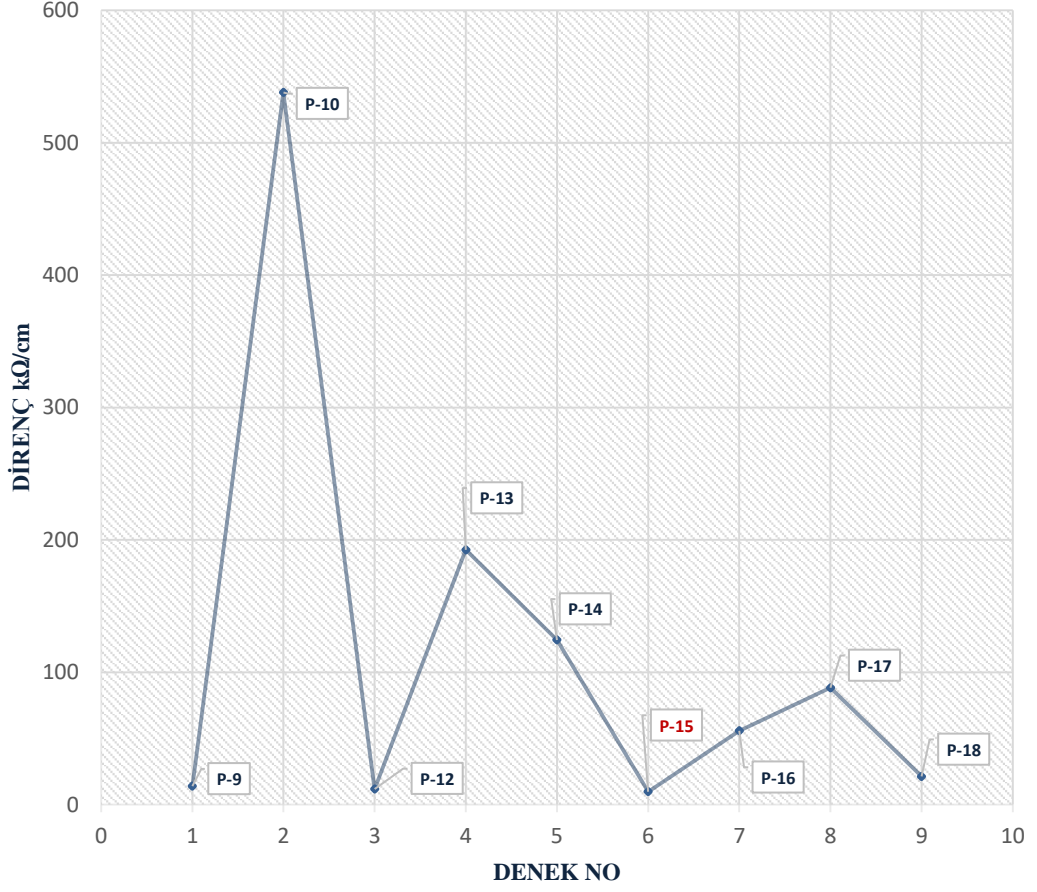
KUMAŞ TİPİ	BASKIPATI – BİNDER TİPİ	ÖN İŞLEM	İLETKEN MALZEME	KURUTMA ŞARTLARI 24-sa	SİNERLEME ŞARTLARI- Sıcak Pres	DİRENÇ (120 Hz) kΩ/cm	SARILIK (E313 YI) ΔYI	BEYAZLIK (Stensby)
Pamuk	-	-	-	-	-	-	0	159,40
Pes / Ea	-	-	-	-	-	-	0	156,77
Pamuk	Poliüretan	-	Grafen	Oda Sıcaklığında	180 °C 100 s	14,01	3,88	149,34
Pamuk	Poliüretan	Ön İşlemli	Grafen	Oda Sıcaklığında	180 °C 100 s	538	6,09	143,72
Pes / Ea	Poliüretan	Ön İşlemli	Grafen	Oda Sıcaklığında	180 °C 100 s	5250	0,20	150,69
Pamuk	Poliüretan	-	Grafen	Oda Sıcaklığında	200 °C 80 s	11,82	9,56	135,51
Pamuk	Poliüretan	Ön İşlemli	Grafen	Oda Sıcaklığında	200 °C 80 s	192,5	8,25	138,49
Pes / Ea	Poliüretan	Ön İşlemli	Grafen	Oda Sıcaklığında	200 °C 80 s	124,41	0,01	151,71
Pamuk	Poliüretan	-	Grafen	Oda Sıcaklığında	210 °C 50 s	9,77	7,42	140,61
Pamuk	Poliüretan	Ön İşlemli	Grafen	Oda Sıcaklığında	210 °C 50 s	55,78	10,06	137,28
Pes / Ea	Poliüretan	Ön İşlemli	Grafen	Oda Sıcaklığında	210 °C 50 s	88,33	0,35	146,69
Pamuk	Poliüretan	-	Grafen	Oda Sıcaklığında	250 °C 25 s	21,36	36,04	90,03

Tablo 4.10: Poliüretan esaslı binder grafen içerikli baskı patı sıcak pres çalışmalarları ve ölçüm sonuçları

Tablo 4.11’de poliüretan/grafen içerikli baskı patı çalışmalarının (sıcak pres) sarılık ve direnç ölçüm sonuçları detayları ile verilmektedir.

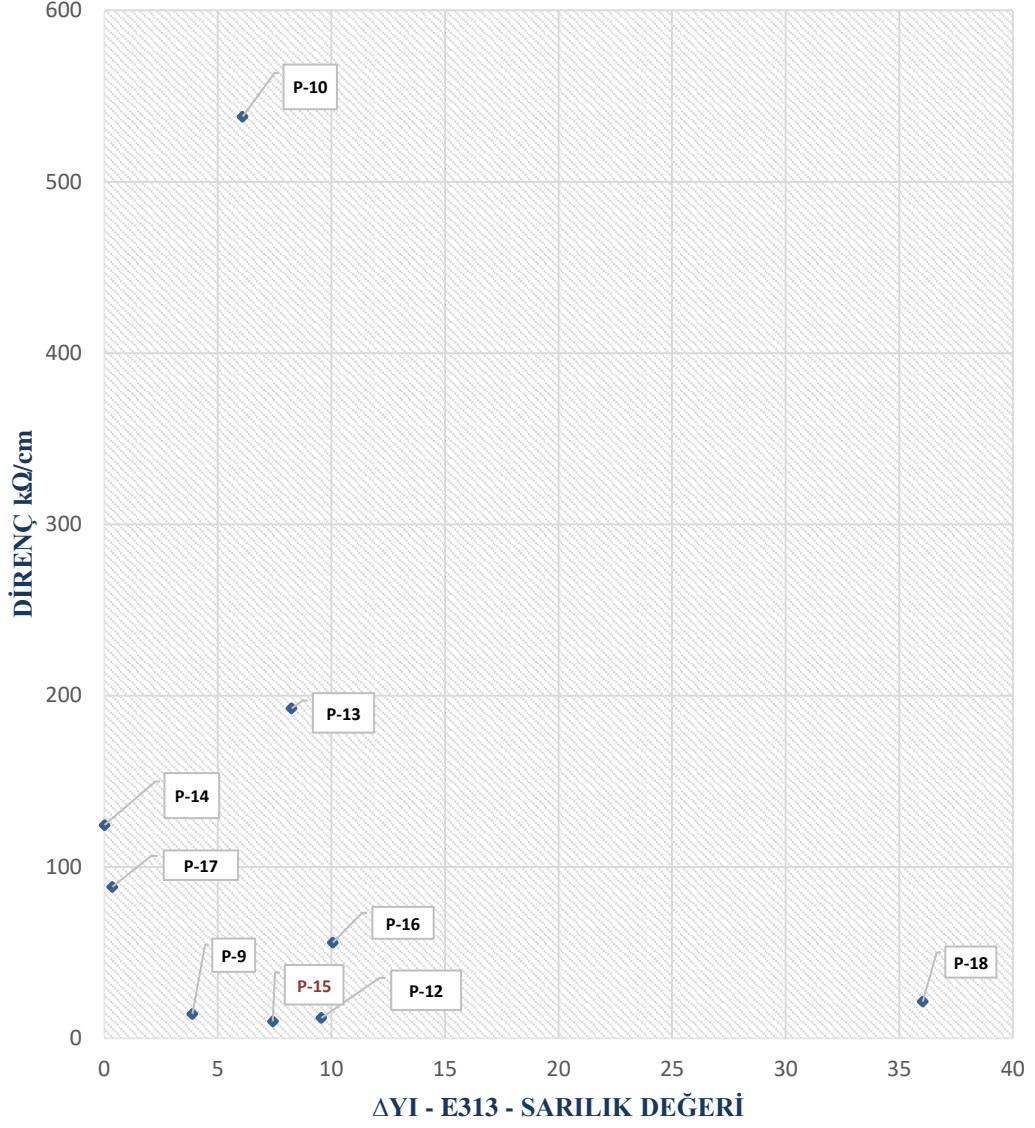
Tablo 4.11 : Poliüretan esaslı binder / grafen baskı sıcak pres uygulamaları direnç (kΩ/cm) / sarılık (YI) ölçüm sonuçları

Kumaş Tipi	Kumaş Kodu	Ön İşlem	Kurutma Şartları	Fikse Şartları	Direnç (120 Hz) kΩ/cm	E313 ΔYI
Pamuk	P-9	-	Oda Sıcaklığında	180 °C 100 s	14,01	3,88
Pamuk	P-10	Var	Oda Sıcaklığında	180 °C 100 s	538	6,09
Poliester Elastan	P-11	Var	Oda Sıcaklığında	180 °C 100 s	5250	0,20
Pamuk	P-12	-	Oda Sıcaklığında	200 °C 80 s	11,82	9,56
Pamuk	P-13	Var	Oda Sıcaklığında	200 °C 80 s	192,5	8,25
Poliester Elastan	P-14	Var	Oda Sıcaklığında	200 °C 80 s	124,41	0,01
Pamuk	P-15	-	Oda Sıcaklığında	210 °C 50 s	9,77	7,42
Pamuk	P-16	Var	Oda Sıcaklığında	210 °C 50 s	55,78	10,06
Poliester Elastan	P-17	Var	Oda Sıcaklığında	210 °C 50 s	88,33	0,35
Pamuk	P-18	-	Oda Sıcaklığında	250 °C 25 s	21,36	36,04



Şekil 4.7: Poliüretan binder grafen baskı direnç sıcak pres uygulamaları sonuçları

Direnç sonuçları Şekil 4.7’de grafik üzerinden gösterilmektedir. “P-11” kodlu kumaşın direnci çok yüksek seviyelerde olduğu için grafik akışında gösterilmemiştir.



Şekil 4.8: Poliüretan binder grafen baskı direnç (kΩ/cm) / sarılık (YI) ölçüm sıcak pres uygulamaları sonuçları

Direnç / Sarılık sonuçları karşılaştırılmalı olarak Şekil 4.8'te gösterilmektedir.

Tablo 4.12'de poliüretan binder esaslı grafen patının sıcak pres prosesine ait baskı numunelerinin kalınlık ölçüm sonuçları gösterilmektedir.

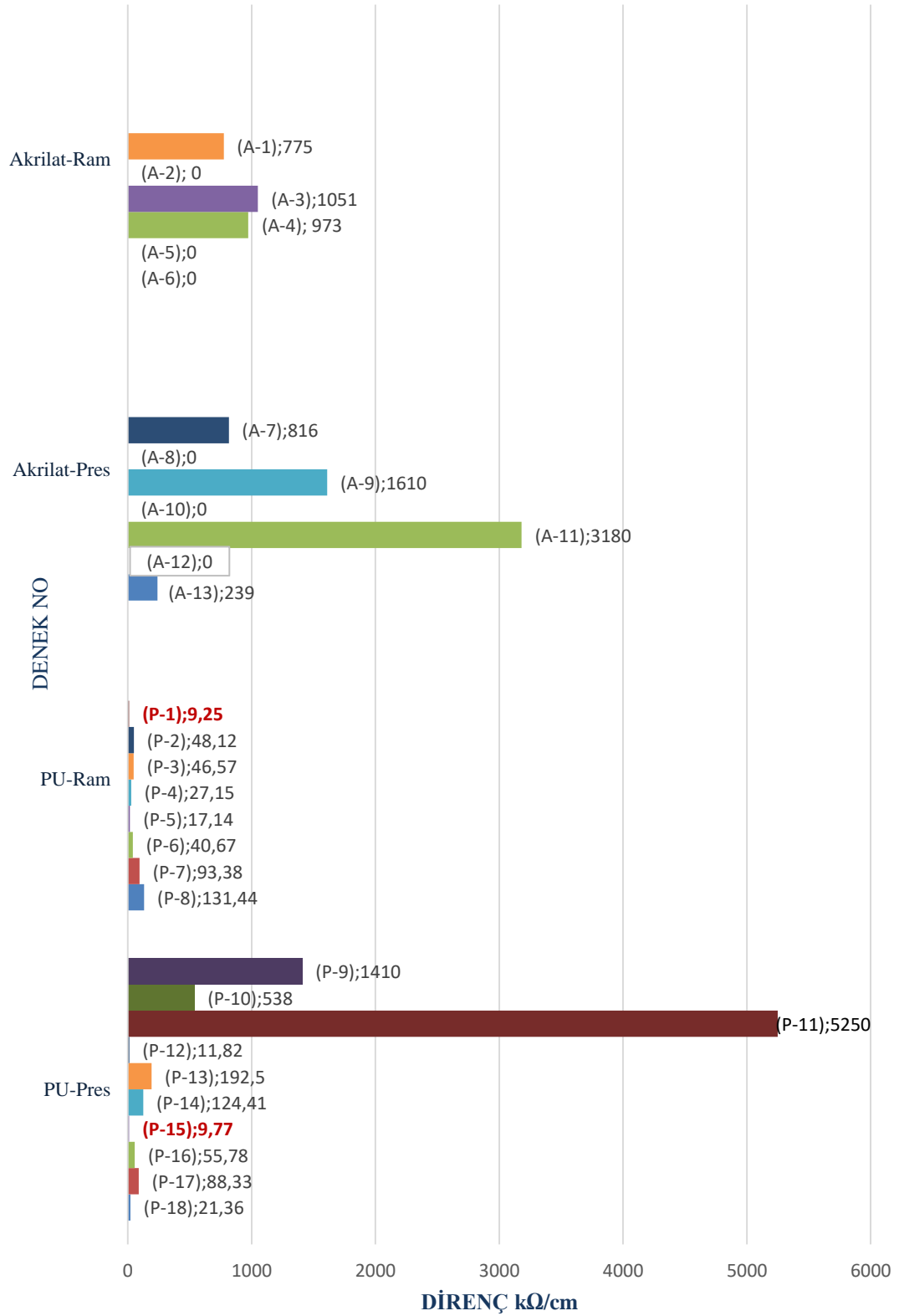
Tablo 4.12: Poliüretan binder grafen baskı kalınlık ölçüm sonuçları (sıcak pres)

Kumaş Tipi	Kumaş Kodu	Ön İşlem	Direnç kΩ/cm	Kalınlık Ölçüm Değeri(mikro n- µm)	Kontrol Kumaş Kalınlık(µm)	Kalınlık % Artışı
Pamuk	P-9	-	14,01	0,62 x10 ³	0,59 x10 ³	5,08
Pamuk	P-10	Var	538	0,615 x10 ³	0,59 x10 ³	4,24
Pes/Ea	P-11	Var	5250	0,59 x10 ³	0,54 x10 ³	9,26
Pamuk	P-12	-	11,82	0,62 x10 ³	0,59 x10 ³	5,08
Pamuk	P-13	Var	192,5	0,62 x10 ³	0,59 x10 ³	5,08
Pes/Ea	P-14	Var	124,41	0,58 x10 ³	0,54 x10 ³	7,41
Pamuk	P-15	-	9,77	0,625 x10 ³	0,59 x10 ³	5,93
Pamuk	P-16	Var	55,78	0,63 x10 ³	0,59 x10 ³	6,78
Pes/Ea	P-17	Var	88,33	0,58 x10 ³	0,54 x10 ³	7,41
Pamuk	P-18	-	21,36	0,61 x10 ³	0,59 x10 ³	3,39

Tablo 4.12’de görüldüğü üzere hiçbir denekte kalınlık azalışı gözlenmemiştir. Poliester kumaşlarda yüzdesel oranda kalınlık artışının pamuk kumaşlara nazaran daha yüksek olmasının sebebi poliesterin hidrofob karakterli olması sebebi ile patın yüzeyde daha hacimli durmasının sebebiyet verebileceği düşünülmektedir.

Karşılaştırmalı sonuçlara göre en başarılı sonucun P-15 kodlu kumaş olduğu görülmektedir.

(P-15) Proses Detayı: %100 Pamuk Süprem/ Ön İşlemsiz/ Kurutma: Oda Sıcaklığında 24 sa / Fikse: 210 °C 50 s / Direnç: 9,77 kΩ/cm / ΔYI: 7,42



Şekil 4.9: İlk bölümde uygulaması yapılan bütün deneklerin direnç (kΩ/cm) sonuç karşılaştırma grafiği

Bütün deneklerin direnç ölçüm sonuçları Şekil 4.9’da karşılaştırmalı şekilde grafik üzerinden verilmiştir. Grafik üzerinde incelendiğinde akrilat patında genel olarak çok yüksek direnç sonuçları hatta hiç iletkenlik alınamayan deneklerin olduğu gözlemlenirken, poliüretan patı ile hazırlanan deneklerde hiç iletkenlik alınmayan denek mevcut bulunmamakla beraber bu direnç değerlerinin çok daha düşük seviyelerde seyrettiği gözlemlenmiştir.

Grafik üzerinden incelendiğinde en iyi iki proses şu şekildedir;

1. **(P-1) Proses Detayı:** % 100 Pamuk Süprem / Ramöz Prosesi / **Kurutma:** 100 °C 10 dk **Fikse:** 160 °C 3 dk / **Direnç:** 9,25 kΩ/cm
2. **(P-15) Proses Detayı:** % 100 Pamuk Süprem / Ön İşlemsiz / Sıcak Pres Prosesi / **Kurutma:** Oda Sıcaklığında 24 sa **Fikse:** 210 °C 50 s / **Direnç:** 9,77 kΩ/cm

Bu sebeple ikinci bölümde yapılan bütün uygulamalar aşağıdaki seçilen iki proses üzerinden yürütülmüştür.

- ✓ Bunlardan ilki ramöz prosesi; önce 100 °C 10 dk’da kurutma, daha sonra 160 °C 3 dk’da fikse işlem adımları gerçekleştirilmiştir.
- ✓ İkinci yöntem ise sıcak baskı presi(transfer baskı makinası) prosesi; basılan kumaş oda sıcaklığında 24 sa kurutulduktan sonra, sıcak preste 210 °C’de 50 s işlem uygulanmıştır.

4.2 2. Bölüm Deney Bulguları

İlk bölümde çeşitli uygulama şartları denenmiş ve en iyi iki uygulama şartları belirlenmişti. İkinci bölümde yürütülen bütün çalışmalar bahsedildiği üzere sabit belirlenen uygulama şartları üzerinden yürütülmüştür.

Planlanan prosesler uygulandıktan sonra iletkenlik, beyazlık, sarılık, kalınlık, gramaj artışı, sertlik, su buharı, 1, 5 ve 10 tekrarlı yıkamalar sonrasındaki renk özellikleri değişimi, yıkama sonrası iletkenlik, sertlik, gramaj, kalınlık ve sarılık-beyazlık ölçümleri yapılmıştır.

Deneyleerde kullanılan iletken tozlar;

1. Grafen (G) nanotoz
2. Gümüş (Ag) nanotoz
3. Bakır (Cu) tozu
4. Grafen oksit (GO) tozu
5. Kobalt oksit (CoO) tozu
6. Mangan oksit (MnO) tozu

4.2.1 Tek Cins İletken Toz İçeren İletken Baskı Deney Bulgular

Bütün iletken tozlar ile ayrı ayrı çalışmalar yapılmış olup, bu çalışmalarda %100 pamuk süprem kumaşlara % 1, % 2,5, % 5, % 8, % 10 ve % 15 konsantrasyonlarda poliüretan bazlı baskı patları hazırlanarak hem ramöz (Kurutma:100 °C’de 10 dk, Fiksaj: 160 °C’de 3 dk) hem de sıcak pres (oda sıcaklığında kurutma, Fiksaj: 210 °C 50 s) prosesleri uygulanmıştır. Tek başına hazırlanan bu tozlardan bazılarında iletkenlik ölçülememiştir. Bu tozlar bakır (Cu), grafen oksit (GO), kobalt oksit (CoO) ve mangan oksit (MnO)’ tir.

Tablo 4.13: Farklı konsantrasyonlarda grafen içerikli baskı direnç ölçümleri

Grafen Yüzdesi	Ram Prosesi / Direnç (kΩ/cm)	Sıcak Pres Prosesi / Direnç (kΩ/cm)
% 1	Bağlantı Yok	Bağlantı Yok
% 2,5	Bağlantı Yok	Bağlantı Yok
% 5	Bağlantı Yok	Bağlantı Yok
% 8	2788	Bağlantı Yok
% 10	9,25	9,77
% 15	190	122

Yapılan tek cins deneylerinde grafen nano tozu Tablo 4.13 ve gümüş nano tozu Tablo 4.14’te kaydedilen iletkenlik değerleri gösterilmektedir.

Tablo 4.14: Farklı konsantrasyonlarda gümüş içerikli baskı direnç ölçümleri

Gümüş Yüzdesi	Ram Prosesi / Direnç (kΩ/cm)	Sıcak Pres Prosesi / Direnç (kΩ/cm)
% 1	Bağlantı Yok	Bağlantı Yok
% 2,5	Bağlantı Yok	Bağlantı Yok
% 5	Bağlantı Yok	Bağlantı Yok
% 8	Bağlantı Yok	Bağlantı Yok
% 10	22,05	29,03
% 15	215,24	172,46

% 100 pamuk süprem kumaşlara uygulanan poliüretan binder esaslı iletken baskının genel direnç ölçüm sonuçlarına göre gümüş ve grafen nano iletken tozlar % 10 konsantrasyonda genel olarak iyi direnç değerleri gösterirken, konsantrasyon arttıkça iletkenlik artacağı düşünülürken azalmıştır. Bunun sebebi konsantrasyon arttıkça çalışabilirliğin zorlaşması ve dolayısıyla tekstil yüzeyine iletken tozların homojen aktarılamamasından kaynaklanabileceği tahmin edilmektedir.

Diğer iletken tozlar ise tek başına kullanıldığında konsantrasyonların hiç birinde direnç ölçümü kaydedilememiştir. Bunun sebebinin laboratuvar ortamında ürettiğimiz tozların boyutlarının nano seviyesinde olmamasından dolayı tek başına etki gösteremediğinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Poliüretan binder esaslı tek tip iletken içerikli baskı deneylerinden sonra yine poliüretan binder esaslı ve ana iletken malzememiz olan grafen tozu ile diğer tozların kombinasyonları % 100 pamuklu kumaşlara seçilen ramöz ve sıcak pres prosesleri ile uygulanmıştır.

4.2.2 Kompozit İletken Toz İçeren Deneylerin Ölçüm Sonuçları

% 100 pamuklu kumaşlara uygulanan poliüretan binder esaslı Grafen (G) / bakır (Cu) kompozit iletken baskı direnç ölçümleri Tablo 4.15'te gösterilmektedir.

Tablo 4.15: Grafen (G) / Bakır (Cu) kompozit iletken baskı direnç ölçümleri

İletkenlik İçeriği ve Yüzdesi	Ram Prosesi/ Direnç (kΩ/cm)	Sıcak Pres Prosesi/ Direnç (kΩ/cm)
% 6 G / % 4 Cu	Bağlantı Yok	Bağlantı Yok
% 8 G / % 2 Cu	Bağlantı Yok	Bağlantı Yok
% 10 G / % 2 Cu	674	250
% 10 G / % 4 Cu	408	352

Tablo 4.15'te % 100 pamuklu kumaşlara uygulanan poliüretan binder esaslı grafen-bakır kompozit iletken baskı iletkenlik sonuçlarına bakıldığında, % 6 G / % 4 Cu ile % 8 G / % 2 Cu karışım oranlarında herhangi bir direnç değerinin ölçülemediği görülmektedir. Daha önce de belirtilen grafenin tek başına kullanıldığı deneyde (bkz. Tablo 4.13), % 5 ve % 8 grafen içerikli karışımlarında kayda değer bir iletkenlik değeri saptanamamıştı. Bu kompozit çalışmanın % 6 / % 4 ve % 8 / % 2 değerlerinde herhangi bir ölçüm alınmamasının bakırın grafene elektrik iletkenliği bakımından destekleyici bir etkisinin bu deney için bulunmadığı sonucunu vermektedir.

% 10 G / % 2 Cu ve % 10 G / % 4 Cu karışım değerlerinde ise grafenin tek başına kullanıldığı % 10'luk uygulama numunesinin (bkz. Tablo 4.13) iletkenlik ölçüm değerlerinin altında kaldığı, grafen iletkenlik köprülerine olumlu etki yerine olumsuz etki yarattığı görülmüştür. Bunun sebebinin bakırın nano toz düzeyinde olmamasından kaynaklanabileceği tahmin edilmektedir.

Tablo 4.16: Grafen (G) / Gümüş (Ag) kompozit iletken baskı direnç ölçümleri

İletkenlik İçeriği ve Yüzdesi	Ram Prosesi/ Direnç (kΩ/cm)	Sıcak Pres Prosesi/ Direnç (kΩ/cm)
% 6 Grafen / % 4 Gümüş	80,3	469
% 8 Grafen / % 2 Gümüş	242,3	1807,1
% 10 Grafen / % 2 Gümüş	37,48	115,5
% 10 Grafen / % 4 Gümüş	3,28	4,08

Tablo 4.16’da % 100 pamuklu kumaşlara uygulanan poliüretan binder esaslı grafen (G) / gümüş (Ag) kompozit iletken baskı direnç ölçüm sonuçları verilmiştir.

Tablo 4.16’da % 6 grafen / % 4 gümüş ve % 8 grafen / % 2 gümüş karışım yüzdeli iletken baskının iletkenlik ölçümlerine bakıldığında diğer karışımların aksine iletkenliğin sağlandığı görülmektedir. Düşük konsantrasyonlu (% 1-8 arası) tek cins deneylerinde hem grafende hem de gümüşte herhangi bir iletkenlik kaydedilememiştir (bkz. Tablo 4.13 ve Tablo 4.14). Bu deneyde ise iletken toz karışımların yüzdeleri toplamı % 10 olan baskı patınının iletkenlik sağlayabilmesi gümüş ve grafenin uyum içerisinde kompozit yapı oluşturabildiklerini gösterdiği tahmin edilmektedir.

Özellikle % 10 grafen / % 4 gümüş kompozit baskı patına gidildikçe direnç değeri 3,28 k Ω /cm değerlerine düştüğü görülmektedir. Bu da bize iletkenliğin gittikçe arttığını göstermektedir.

Tablo 4.17: Grafen (G) / Mangan Oksit (MnO) kompozit iletken baskı direnç ölçümleri

İletkenlik İçeriği ve Yüzdesi	Ram Prosesi / Direnç (kΩ/cm)	Sıcak Pres Prosesi / Direnç (kΩ/cm)
% 6 G / % 4 MnO	Bağlantı Yok	Bağlantı Yok
% 8 G / % 2 MnO	Bağlantı Yok	Bağlantı Yok
% 10 G / % 2 MnO	334	295
% 10 G / % 4 MnO	533	2229

Tablo 4.17’de % 100 pamuklu kumaşlara uygulanan poliüretan binder esaslı grafen / mangan oksit kompozit iletken baskı direnç ölçüm sonuçları verilmiştir. Bu değerlere bakıldığında bakır ile yapılan karışımdaki sonuçlarla benzer sonuçlar gözlenmektedir. Mangan oksit’in maalesef grafen ile hazırlanan karışımlarında iletkenliği artırıcı bir etkisi bu deneyde kaydedilememiştir.

Tablo 4.18: Grafen (G) / Kobalt Oksit (CoO) kompozit iletken baskı direnç ölçümleri

İletkenlik İçeriği ve Yüzdesi	Ram Prosesi / Direnç (kΩ/cm)	Sıcak Pres Prosesi / Direnç (kΩ/cm)
% 6 G / %4 CoO	Bağlantı Yok	Bağlantı Yok
% 8 G / %2 CoO	350	2523
% 10 G / % 2 CoO	98	142,8
% 10 G / % 4 CoO	47,1	68,2

Tablo 4.18’de % 100 pamuklu kumaşlara uygulanan poliüretan binder bazlı grafen (G) / kobalt (CoO) oksit kompozit iletken baskı direnç ölçüm sonuçları verilmiştir. Bu ölçüm sonuçları incelendiğinde % 8 grafen / % 2 kobalt oksit karışım patında belirli bir düzeyde iletkenlik ölçülmüştür. Düşük yüzde oranlarında grafenin kobalt oksit ile yapılan karışımının iletkenlik sağlaması, kobalt oksitin grafeni destekleyici etkisinden dolayı olabileceği düşünülmüştür. Grafen ve kobalt oksit karışımı, grafen-gümüş karışımı gibi uyum sağlayan yani birbirinin iletkenliğini bloke etmeyen bir uyumlu yapı oluşturduğu düşünülmektedir. % 10 / % 4 karışım yüzdelere çıkıldıkça grafen-gümüş karışımında olduğu gibi % 10 G / % 4 CoO karışımının direnç değeri azalmakta bu da bize iletkenliğin arttığını göstermektedir.

Bütün bu çalışmalar neticesinde pamuk süprem kumaşa uygulanan iletken baskı işleminde en yüksek iletkenlik sağlayan numunelerin proses detayları;

1. % 10 Grafen - Ramöz prosesi
2. % 10 Grafen - Pres prosesi
3. % 10 Gümüş - Ramöz prosesi
4. % 10 Gümüş - Pres prosesi
5. % 10 Grafen / % 4 Gümüş Kompozit - Ramöz prosesi
6. % 10 Grafen / % 4 Gümüş Kompozit - Pres prosesi
7. % 10 Grafen / % 4 Kobalt Oksit Kompozit - Ramöz prosesi
8. % 10 Grafen / % 4 Kobalt Oksit Kompozit - Pres prosesi

En iyi direnç sonuçları veren yukarda belirtilen numune kumaşlarına çeşitli fiziksel testler ve iletkenlik ölçümleri uygulanmıştır.

4.2.2.1 Beyazlık – Sarılık Ölçümlerine İlişkin Bulgular

Öncelikli olarak basılan kumaş numunelerinin yıkama öncesi (0 yıkama) ve 1 – 5 - 10 tekrarlı yıkamalar sonrası sarılık derecesi ölçüm sonuçları Tablo 4.19 ve beyazlık derecesi ölçümleri aşağıda 4.20’de gösterilmektedir.

Tablo 4.19: Uygulamaların sarılık derecesi ölçüm sonuçları

Uygulama Detayı	Sarılık- ΔYI - E313 Yellowness Index	1 Yıkama	5 Yıkama	10 Yıkama
% 10 Grafen Ramöz	1,57	1,12	0,99	0,74
% 10 Grafen Pres	7,92	3,53	2,74	2,49
% 10 Gümüş Ramöz	1,27	1,18	0,01	-0,01
% 10 Gümüş Pres	7,8	3,28	2,22	2,12
% 10 Grafen / % 4 Gümüş Ramöz	0,97	0,84	0,54	-0,57
% 10 Grafen / % 4 Gümüş Pres	7,77	4	3,09	2,73
% 10 Grafen / % 4 Kobalt Oksit Ramöz	1,27	0,56	-0,07	-0,1
% 10 Grafen / % 4 Kobalt Oksit Pres	7,82	4,2	3,6	2,85

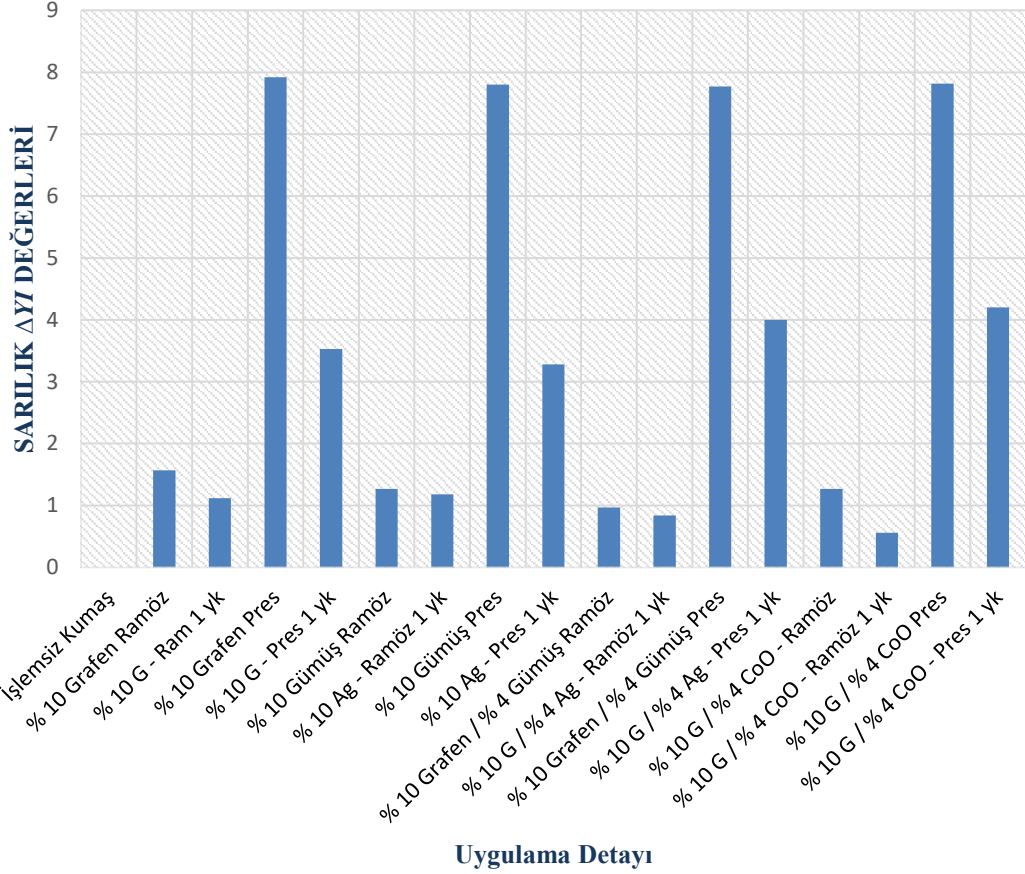
Tablo 4.20: Uygulamaların beyazlık derecesi ölçüm sonuçları

Uygulama Detayı	Beyazlık Stensby (İşlemsiz:159,40)	1 Yıkama	5 Yıkama	10 Yıkama
% 10 Grafen Ramöz	155,27	155,03	155,21	155,44
% 10 Grafen Pres	142,31	149,57	151,25	151,51
% 10 Gümüş Ramöz	155,84	154,99	155,84	155,89
% 10 Gümüş Pres	141,49	149,99	151,48	151,76
% 10 Grafen / % 4 Gümüş Ramöz	156,1	156,2	156,32	157,39
% 10 Grafen / % 4 Gümüş Pres	142,56	149,13	150,09	150,45
% 10 Grafen / % 4 Kobalt Oksit Ramöz	154,78	156,38	156,95	156,98
% 10 Grafen / % 4 Kobalt Oksit Pres	143,21	149,55	151,4	151,57

Uygulamaların yıkama öncesi ve 1 yıkama sonrası sarılık ΔYI ölçümlerinin karşılaştırması Şekil 4.10 ve uygulamaların yıkama öncesi ve 1 yıkama sonrası beyazlık değerlerinin karşılaştırması Şekil 4.11’de gösterilmektedir.

Şekil 4.10 ve Tablo 4.19’da görüldüğü üzere, sarılık değerleri ramöz ve sıcak pres prosesleri kendi içlerinde yakın sonuçlar vermiştir. Sarılık değerlerinde ramöz prosesinde düşük bir artış gözlemlenirken, sıcak pres prosesinde ise sarılık değerlerinin biraz daha fazla arttığı (yani pres uygulanmış kumaşların baskı yapılmayan beyaz kısımlarının daha fazla sarılaştığı) görülmektedir. Bunun sebebinin sıcak pres cihazında, kumaşın direkt olarak sıcak yüzeye temas etmesinden dolayı pamuk lifinde sarartma etkisini göstermesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

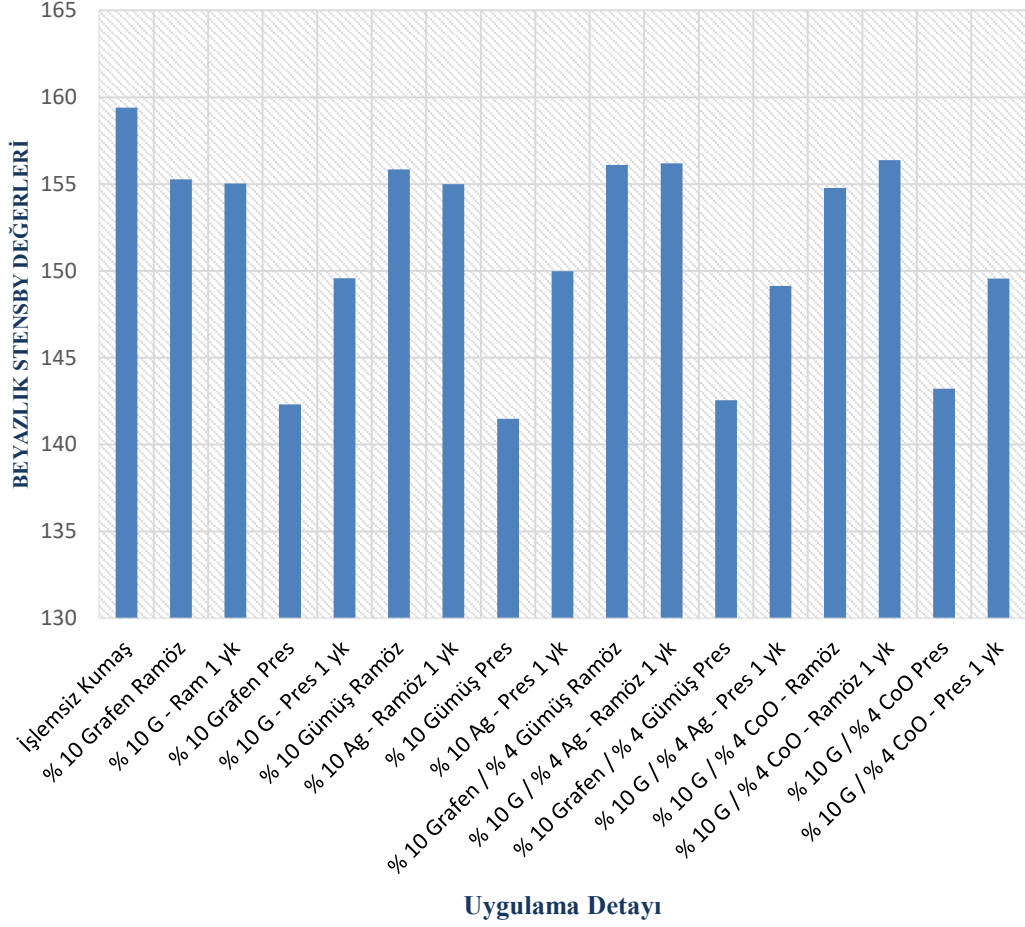
Beyazlık değerlerinin karşılaştırmalı grafiğinin verildiği Şekil 4.11 ve Tablo 4.20’ye bakıldığında sarılık değerleri ile paralel sonuçlar verdiği yani ramöz proseslerinin beyazlık değerlerinin biraz daha yüksek beyazlık (Stensby) ölçüm değerleri verdiği görülmektedir.



Şekil 4.10: Uygulamaların yıkama öncesi ve 1 yıkama sonrası sarılık ΔYI ölçümlerinin karşılaştırması

Her iki işlem tipine ait sarılık ve beyazlık değerlerine bakıldığında, birinci standart yıkama sonucunda dahi bütün kumaşların sarılık değerlerinin düştüğü (serigrafî baskı, kurutma ve fikse işlemleri yapılmış ama hiç yıkanmamış kumaşla karşılaştırıldığında) yani kumaşların beyazlığının genellikle arttığı gözlemlenmiştir (bkz. Şekil 4.10 ve Şekil 4.11). Pres prosesine tabi tutulmuş kumaşların sarılık değerlerindeki azalışın daha fazla olduğu saptanmıştır.

5. ve 10. Standart yıkamalar sonrasında da iki proste de genellikle sarılık değerlerinin azalışı ve paralelinde beyazlık derecesinin artışı devam etmiştir. Genel olarak kumaşlarda meydana gelen sarılık yıkama ile azalmakta paralel şekilde kumaşların beyazlık değerlerinin de arttığı görülmüştür.



Şekil 4.11: Uygulamaların yıkama öncesi ve 1 yıkama sonrası beyazlık değerlerinin karşılaştırması

4.2.2.2 Kalınlık ve Gramaj Ölçümlerine İlişkin Bulgular

Uygulaması yapılan kumaşların kalınlık ve gramaj ölçüm sonuçları Tablo 4.21’de görülmektedir. Bu değerler işlemsiz kumaş baz alındığında, işlem sonrası yüzdesel değişimleri de tabloda yer verilmiştir. Daha doğru karşılaştırma yapabilmek için birbiri ile paralel olan kalınlık-gramaj değerleri bir arada verilmiştir.

Tablo 4.21: Uygulamaların kalınlık ve gramaj ölçümleri ve işlemsiz kumaşa göre gramaj artış yüzde değerleri

Uygulama Detayı	Kalınlık Değeri (mikron μm)	Kalınlık % Değişim	Gramaj (g/m^2)	Gramaj % Değişim
İşlemsiz Kumaş	$0,59 \times 10^3$	-	258	-
Kör Pat - Ram	$0,645 \times 10^3$	% 9,32	351	% 36,05
Kör Pat - Pres	$0,64 \times 10^3$	% 8,47	350	% 35,66
% 10 Grafen - Ram	$0,64 \times 10^3$	% 8,47	413	% 60,08
% 10 Grafen - Pres	$0,64 \times 10^3$	% 8,47	400	% 55,04
% 10 Gümüş - Ram	$0,665 \times 10^3$	% 12,71	376	% 45,74
% 10 Gümüş - Pres	$0,64 \times 10^3$	% 8,47	365	% 41,47
% 10 Grafen / % 4 Gümüş - Ram	$0,67 \times 10^3$	% 13,56	406	% 57,36
% 10 Grafen / % 4 Gümüş - Pres	$0,665 \times 10^3$	% 12,71	381	% 47,67
% 10 Grafen / % 4 Kobalt Oksit - Ram	$0,6425 \times 10^3$	% 8,90	360	% 39,53
% 10 Grafen / % 4 Kobalt Oksit - Pres	$0,64 \times 10^3$	% 8	356	% 37,98

Genel olarak bütün uygulama kumaşları işlemsiz kumaşa göre gramaj ve kalınlık değerlerindeki belirgin artışlar net şekilde gözlenebilmektedir.

Aynı baskı patının ramöz prosesi ile sıcak pres prosesi uygulanmış kumaşlarının kalınlık-gramaj değerleri ve artış oranları karşılaştırıldığında ramöz prosesi uygulanmış kumaşın daha yüksek olduğu görülmüştür. Ramöz prosesine göre uygulaması yapılan kumaşların kalınlık-gramaj değerlerinin daha yüksek olmasının sebebi, sıcak pres prosesindeki basınç faktöründen kaynaklanabileceği düşünülmektedir. En yüksek değer ise kalınlık artışında % 10 grafen / % 4 gümüş ramöz prosesi, gramaj artışında ise % 10 grafen ramöz prosesinde görülmektedir. Tablo 4.22’de kumaşların yıkama öncesi ve 1 – 5 - 10 yıkama sonrası kalınlık-gramaj değerleri ile yıkama öncesi baz alınarak yıkamayla yüzdesel değişimleri gösterilmektedir.

Tablo 4.22: Kumaşların yıkama öncesi/sonrası kalınlık ve gramaj değerleri ile yıkama öncesine göre % kalınlık-incelik değişimi

Uygulama Detayı	Kalınlık Ölçüm Değeri (mikron- μm)	% Değişim	Gramaj (g/m ²)	% Değişim
% 10 G Ramöz	0,64 x 10 ³	-	413	-
G Ramöz – 1 yk	0,63 x 10 ³	- 2,34	372	- 9,93
G Ramöz – 5 yk	0,616 x 10 ³	- 3,65	382	- 7,51
G Ramöz – 10 yk	0,62 x 10 ³	- 3,13	309	- 25,18
% 10 G Pres	0,64 x 10 ³	-	400	-
G Pres – 1 yk	0,62 x 10 ³	- 3,23	352	- 12,00
G Pres – 5 yk	0,64 x 10 ³	0,00	348	- 13,00
G Pres – 10 yk	0,65 x 10 ³	1,61	346	- 13,50
% 10 Ag Ramöz	0,665 x 10 ³	-	376	-
Ag Ramöz – 1 yk	0,64 x 10 ³	- 3,76	381	1,33
Ag Ramöz – 5 yk	0,625 x 10 ³	- 6,02	345	- 8,24
Ag Ramöz – 10 yk	0,655 x 10 ³	- 1,50	351	- 6,65
% 10 Ag Pres	0,64 x 10 ³	-	365	-
Ag Pres – 1 yk	0,625 x 10 ³	- 2,34	382	4,66
Ag Pres – 5 yk	0,615 x 10 ³	- 3,91	367	0,55
Ag Pres – 10 yk	0,61 x 10 ³	- 4,69	355	- 2,74
% 10 G / % 4 Ag Ramöz	0,67 x 10 ³	-	406	-
G / Ag Ramöz – 1 yk	0,6412 x 10 ³	- 4,29	363	- 10,59
G / Ag Ramöz – 5 yk	0,6425 x 10 ³	- 4,10	356	- 12,32
G / Ag Ramöz – 10 yk	0,635 x 10 ³	- 5,22	355	- 12,56
% 10 G / % 4 Ag Pres	0,665 x 10 ³	-	381	-
G / Ag Pres – 1 yk	0,66 x 10 ³	- 0,75	379	- 0,52
G / Ag Pres – 5 yk	0,635 x 10 ³	- 4,51	357	- 6,30
G / Ag Pres – 10 yk	0,655 x 10 ³	- 1,50	401	5,25
% 10 G / % 4 CoO Ramöz	0,6425 x 10 ³	-	360	-
G / CoO Ramöz – 1 yk	0,64 x 10 ³	- 0,39	367	1,94
G / CoO Ramöz – 5 yk	0,64 x 10 ³	- 0,39	366	1,67
G / CoO Ramöz – 10 yk	0,66 x 10 ³	2,72	357	- 0,83
% 10 G / % 4 CoO Pres	0,64 x 10 ³	-	356	-
G / CoO Pres – 1 yk	0,655 x 10 ³	2,34	349	- 1,97
G / CoO Pres – 5 yk	0,655 x 10 ³	2,34	348	- 2,25
G / CoO Pres – 10 yk	0,66 x 10 ³	3,13	386	8,43

Tablo 4.22’de de görüleceği üzere 1, 5 ve 10 yıkama sonrası kalınlık ve gramaj değişimlerinde genel itibariyle bir düşüş olduğu görülmektedir. Bunun sebebi yıkama ile bir miktar baskı malzemesinin yüzeyden uzaklaşmasından ve binder filmde kırılmalar meydana gelebileceğinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Bazı deneklerde özellikle pres prosesi uygulanmış bazı kumaşlarda aksine artış gözlemlenmiştir. Bunun sebebinin ise, sıcak pres prosesindeki basınç faktörünün kumaşlar üzerinde gerginliğe sebebiyet verebileceği, yıkama sonrası ise pamuk süprem kumaşta relaksasyon çekmesine benzer bir etki gösterdiği tahmin edilmektedir.

4.2.2.3 Sertlik Ölçümlerine İlişkin Bulgular

Uygulaması yapılan kumaşların Tablo 4.23'te sertlik değerleri gösterilmektedir.

Tablo 4.23: Uygulama kumaşlarının sertlik değerleri

Uygulama Detayı	Sertlik (cN)
İşlemsiz Kumaş	128
Kör Pat - Ramöz	1256
Kör Pat - Pres	825
% 10 Grafen Ramöz	2281,5
% 10 Grafen Pres	1179,6
% 10 Gümüş Ramöz	2365,5
% 10 Gümüş Pres	1633,5
% 10 Grafen / % 4 Gümüş Ramöz	4051
% 10 Grafen / % 4 Gümüş Pres	2274,25
% 10 Grafen / % 4 Kobalt Oksit Ramöz	2230
% 10 Grafen / % 4 Kobalt Oksit Pres	1194,5

Genel itibariyle belirgin şekilde sertlik artışı yaşanan kumaşlar detaylı incelendiğinde ise aynı baskı patına ait ramöz ve sıcak pres prosesleri birbiriyle karşılaştırıldığında pres prosesi uygulanan kumaşların daha az sertlik seviyesinde (sertlik değerleri daha düşük) yani daha yumuşak olduğu görülmektedir. En yüksek sertlik değeri ise % 10 grafen / % 4 gümüş ramöz prosesi uygulanan pamuk süprem kumaş numunesinde saptanmıştır. Bunun sebebi iletken toz yoğunluğunun (toplamda % 14) en yüksek olduğu baskı patlarından biri olmasından kaynaklanabileceği tahmin edilmektedir.

Serigrafi baskı ile baskısı yapılan % 100 pamuk süprem kumaşların yıkama öncesi ve tekrarlı 10 yıkama sonrası sertlik değerleri Tablo 4.24'te gösterilmiştir.

Tablo 4.24'ten de görüleceği üzere kumaşlarda sertlik değerlerinin yıkamaya bağlı olarak azalma meydana geldiği açıkça görülmektedir. Yıkamaya bağlı olarak kumaşların yüzeyinde bulunan malzemenin bir miktar aşınması ve binder filminin kırılmaya başlaması sebebi ile kumaşların sertlik değerlerinin de azaldığı düşünülmektedir.

Tablo 4.24: Uygulama kumaşlarının yıkama öncesi ve 10 yıkama sonrası sertlik değerleri

Uygulama Detayı	Sertlik (cN)
% 10 Grafen Ramöz	2281,5
% 10 Grafen Ramöz – 10 yk	759,5
% 10 Grafen Pres	1179,6
% 10 Grafen Pres – 10 yk	398,6
% 10 Gümüş Ramöz	2365,5
% 10 Gümüş Ramöz – 10 yk	932,25
% 10 Gümüş Pres	1633,5
% 10 Gümüş Pres – 10 yk	428,3
% 10 Grafen / % 4 Gümüş Ramöz	4051
% 10 Grafen / % 4 Gümüş Ramöz – 10 yk	559
% 10 Grafen / % 4 Gümüş Pres	2274,25
% 10 Grafen / % 4 Gümüş Pres – 10 yk	440
% 10 Grafen / % 4 Kobalt Oksit Ramöz	2230
% 10 Grafen / % 4 Kobalt Oksit Ramöz – 10 yk	772,5
% 10 Grafen / % 4 Kobalt Oksit Pres	1194,5
% 10 Grafen / % 4 Kobalt Oksit Pres – 10 yk	384,3

4.2.2.4 Su Buharı Geçirgenliği Ölçümlerine İlişkin Bulgular

Tablo 4.25'te uygulaması yapılan pamuk süprem kumaşların su buharı geçirgenliği test sonuçlarının, referans alınan işlemsiz pamuk süprem kumaşa göre % su buharı geçirgenliği indeksi (*I*) hesaplanarak tabloda yer verilmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde buharlaşma yüzdesinin yarı yarıya azaldığı dikkat çekmektedir.

Tablo 4.25: Uygulanan kumaşların su buharı geçirgenliği % indeksi

Uygulama Detayı	Su Buharı Geçirgenliği % İndeksi (<i>I</i>) (24 sa)
İşlemsiz Kumaş (Referans)	% 100
Kör Pat - Ramöz	% 58,28
Kör Pat - Pres	% 64,35
% 10 Grafen Ramöz	% 43,83
% 10 Grafen Pres	% 58,18
% 10 Gümüş Ramöz	% 47,00
% 10 Gümüş Pres	% 64,30
% 10 Grafen / % 4 Gümüş Ramöz	% 57,11
% 10 Grafen / % 4 Gümüş Pres	% 59,58
% 10 Grafen / % 4 Kobalt Oksit Ramöz	% 44,03
% 10 Grafen / % 4 Kobalt Oksit Pres	% 48,62

Detaylı olarak incelersek aynı baskı patının ramöz ve sıcak pres uygulamalarını kendi aralarında karşılaştırdığımızda sıcak pres prosesi ile uygulaması yapılan kumaşların su buharı geçirgenliği daha yüksek seviyede çıkmıştır.

Sıcak pres prosesinin daha iyi değerler vermesi kumaş yüzeyine sıcak basınç uygulaması, yüzeydeki kaplamanın daha homojen ve pürüzsüz olmasını sağlamasından kaynaklanabileceği tahmin edilmektedir. % 64,30 ile en iyi su buharı geçirgenliği değeri % 10 Gümüş pres prosesinde saptanmıştır.

4.2.2.5 Kolorimetrik Özelliklerinin Değerlerine İlişkin Bulgular

Uygulaması yapılan % 100 pamuk süprem kumaşların aynı şekilde yıkama önce ve 1, 5 ve 10 yıkama sonrası spektrofotometredeki renk ölçüm değerleri kaydedilmiştir. Sonuçlar daha anlaşılır olması için aşağıdaki şekilde ayrı ayrı tablolarda verilmektedir.

Kumaşın rengi yıkama öncesi ve yıkama sonrası karşılaştırıldığında, ΔE değeri bize yıkama öncesi kumaş numunesinin renginin yıkama sonrasında ne kadar değiştiğini göstermektedir. L^* (açıklık-koyuluk) değeri azaldıkça siyaha yaklaşır (yani rengi koyulaşır) arttıkça beyaza yaklaşması (yani rengi açılır) anlamına gelmektedir. Yani tekrarlı çoklu yıkamalar sonrası L^* (açıklık-koyuluk) değerlerinin arttığının görülmesi renk tonunun açıldığını göstermektedir. " h° " değeri ise kumaşın renk skalasında hangi renk değerine, renk tonuna yakın olduğunu ifade etmektedir. Tablolarda elde edilen h° değerlerinin $270-360^\circ$ arasındaki açı değerlerinde olması serigrafi baskılı kumaşların mavi-siyah renk aralığına yakın olduğunu ifade etmektedir. Bu da görsel olarak saptanan renk tonlarıyla örtüşmektedir. Bilindiği üzere, K/S değeri ise arttıkça renk kuvveti artmaktadır. Tablo 4.26'da % 10 grafen baskı patının ramöz ve sıcak pres prosesi uygulanmış pamuk süprem kumaşların yıkama öncesi ve 1, 5, 10 yıkama sonra yaşanan renk ölçüm değerleri verilmiştir.

Tablo 4.26: % 10 Grafen (G) ramöz ve sıcak pres yıkama öncesi ve sonrası renk özellikleri

Denek Detayı	K/S	L^*	a^*	b^*	h°	ΔE
% 10 G Ramöz	20,716	17,47	0,22	- 1,01	282	-
% 10 G Ramöz 1 yk	18,127	18,98	0,34	- 1,56	282,31	1,6
% 10 G Ramöz 5 yk	12,04	23,7	0,59	- 2,54	283,08	6,42
% 10 G Ramöz 10 yk	11,585	24,18	0,59	- 2,55	283,02	6,9
% 10 G Pres	20,935	17,33	0,24	- 1,02	283,49	-
% 10 G Pres 1 yk	12,66	23,25	0,93	- 3,13	286,55	6,33
% 10 G Pres 5 yk	10,709	25,55	0,81	- 2,86	285,84	8,44
% 10 G Pres 10 yk	8,9419	27,7	1,08	- 3,9	285,48	10,8

Tablo 4.27: % 10 Gümüş (Ag) ramöz ve sıcak pres yıkama öncesi ve sonrası renk özellikleri

Denek Detayı	K/S	L^*	a^*	b^*	h°	ΔE
% 10 Ag Ramöz	17,905	19,13	0,22	-1,3	280	-
% 10 Ag Ramöz 1 yk	16,776	19,81	0,29	-1,47	281	0,71
% 10 Ag Ramöz 5 yk	13,744	22,04	0,35	-1,56	283	2,92
% 10 Ag Ramöz 10 yk	13,883	21,99	0,45	-2,01	283	2,95
% 10 Ag Pres	19,793	17,92	0,27	-1,1	283,93	-
% 10 Ag Pres 1 yk	20,598	17,5	0,29	-1,04	285,46	0,43
% 10 Ag Pres 5 yk	9,2258	26,99	0,96	-3,46	285,54	9,4
% 10 Ag Pres 10 yk	7,6345	30,13	1,1	-4,2	284,7	12,63

Tablo 4.27’de % 10 gümüş patının ramöz ve sıcak pres prosesi uygulanmış pamuk süprem kumaşların yıkama öncesi ve 1, 5, 10 yıkama sonra yaşanan renk ölçüm değerleri verilmiştir. Tablo 4.28’de % 10 grafen / % 4 gümüş poliüretan esaslı baskı patı pamuk süprem kumaşa serigrafî yöntemi ile basılarak ramöz ve sıcak pres prosesi ile kurutma ve fiksajı yapılmış numunelerin yıkama öncesi ve 1, 5, 10 yıkama sonrası yaşanan renk ölçüm değerleri verilmiştir.

Tablo 4.28: % 10 Grafen (G) / % 4 Gümüş (Ag) ramöz ve sıcak pres yıkama öncesi ve sonrası renk özellikleri

Denek Detayı	K/S	L^*	a^*	b^*	h°	ΔE
% 10 G / %4 Ag Ramöz	19,295	18,3	0,27	-1,24	282,17	-
% 10 G / % 4 Ag Ramöz 1 yk	18,623	18,66	0,26	-1,35	280,87	0,38
% 10 G / % 4 Ag Ramöz 5 yk	16,678	19,87	0,29	-1,52	280,9	1,6
% 10 G / % 4 Ag Ramöz 10 yk	17,417	19,34	0,33	-1,42	283,11	1,05
% 10 G / % 4 Ag Pres	21,854	16,74	0,12	-0,29	291,76	-
% 10 G / % 4 Ag Pres 1 yk	25,174	15,38	0,17	-0,51	288,88	1,38
% 10 G / % 4 Ag Pres 5 yk	8,2567	29,54	1,18	-4	286,44	13,37
% 10 G / % 4 Ag Pres 10 yk	5,1056	37,39	1,28	-5,05	284,26	21,22

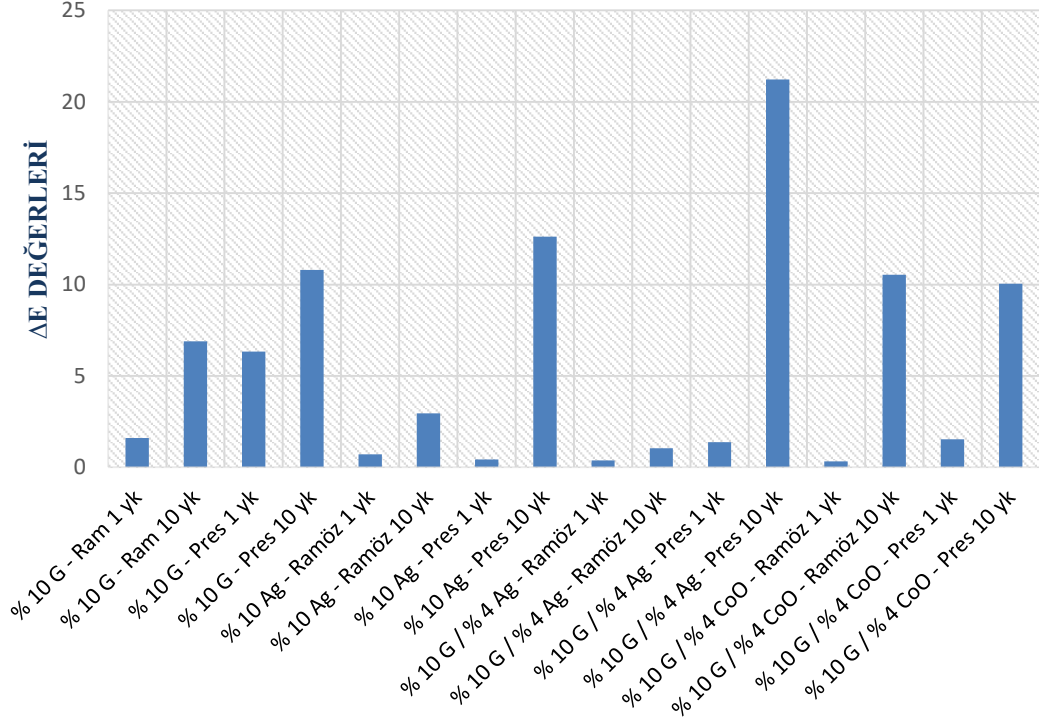
Tablo 4.29’da % 10 grafen / % 4 kobalt oksit poliüretan bazılı baskı patı pamuk süprem kumaşa serigrafî yöntemi ile basılarak ramöz ve sıcak pres prosesi ile kurutma ve fiksajı yapılmış numunelerin yıkama öncesi ve 1, 5, 10 yıkama sonrası yaşanan renk ölçüm değerleri verilmiştir.

Tablo 4.29: Grafen (G) / Kobalt Oksit (CoO) ramöz ve sıcak pres yıkama öncesi ve 1, 5, 10 yıkama sonrası renk özellikleri

Denek Detayı	K/S	L^*	a^*	b^*	h°	ΔE
% 10 G / % 4 CoO Ramöz	18,4	18,86	0,18	-1,27	277,88	-
% 10 G / % 4 CoO Ramöz 1 yk	17,834	19,12	0,16	-1,09	278,15	0,32
% 10 G / % 4 CoO Ramöz 5 yk	12,817	23	0,57	-2,63	282,25	4,38
% 10 G / % 4 CoO Ramöz 10 yk	7,9087	29,17	0,72	-3,32	282,17	10,53
% 10 G / % 4 CoO Pres	20,288	17,65	0,12	-0,81	278,37	-
% 10 G / % 4 CoO Pres 1 yk	18,329	18,71	0,54	-1,82	286,64	1,53
% 10 G / % 4 CoO Pres 5 yk	10,301	25,95	0,95	-3,35	285,79	8,72
% 10 G / % 4 CoO Pres 10 yk	9,68	27,17	1,01	-3,91	284,49	10,05

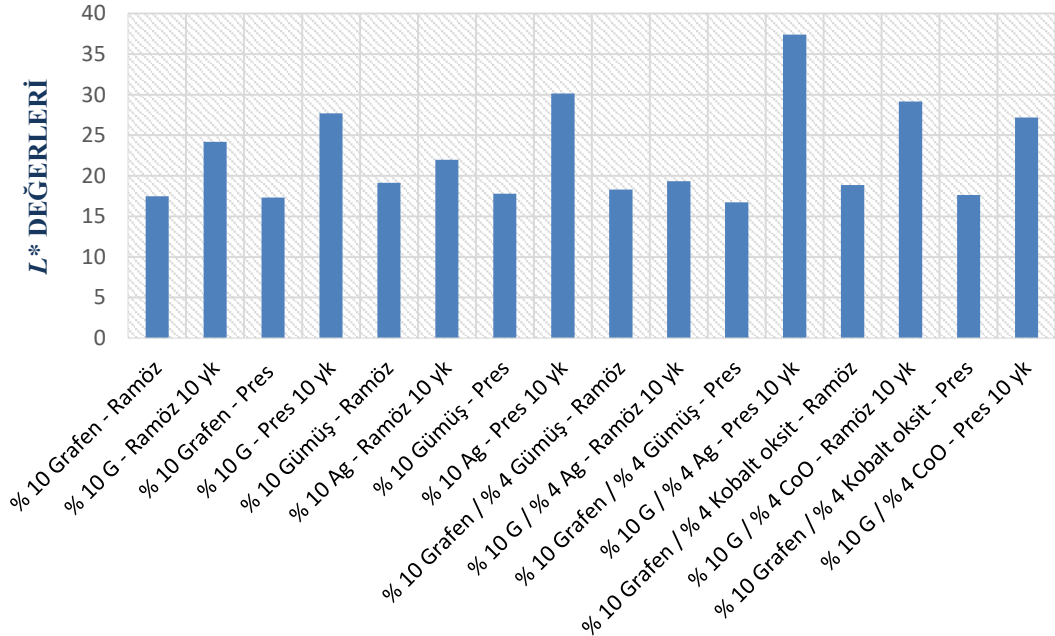
Şekil 4.12’de çeşitli konsantrasyonlarda iletken baskı patı basılıp kurutma fiksaj işlemleri yapılan pamuk süprem kumaşlarının 1 yıkama ve 10 yıkama sonrası ΔE değerleri karşılaştırmalı grafiği verilmektedir.

Şekil 4.13’te çeşitli konsantrasyonlarda iletken baskı patı basılıp kurutma fiksaj işlemleri yapılan yıkama öncesi ve 10 yıkama sonrası L^* (açıklık-koyuluk) değerlerinin karşılaştırmalı grafiği verilmektedir.



Uygulama Detayı - 1 Yıkama ile 10 Yıkama Sonrası

Şekil 4.12: Uygulama kumaşlarının 1 yıkama ve 10 yıkama sonrası ΔE değerleri karşılaştırmalı grafiği



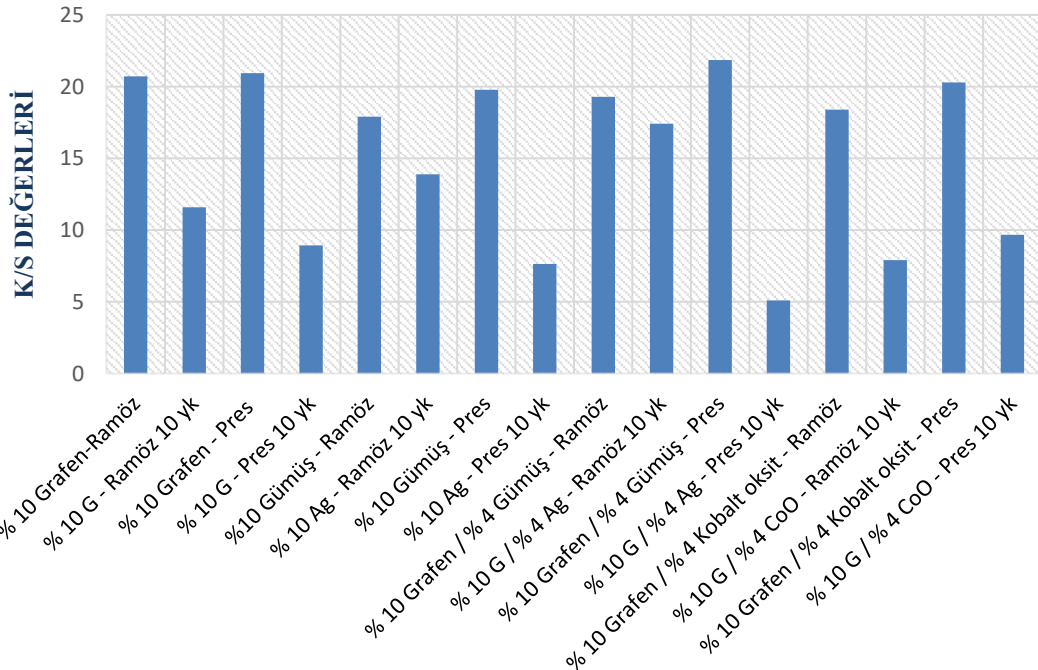
Uygulama Detayı - Yıkama Öncesi / 10 Yıkama Sonrası

Şekil 4.13: Uygulama kumaşlarının yıkama öncesi ve 10 yıkama sonrası L^* (açıklık-koyuluk) değerleri karşılaştırmalı grafiği

ΔE değeri bize rengin yıkama öncesi verdiği renk ölçüm değerlerinden ne kadar uzaklaşıp uzaklaşmadığını anlatmaktadır. L^* (açıklık-koyuluk) değeri ise rengin açıklık-koyuluk değerlerini vermektedir.

Şekil 4.12'deki grafikten de gözlemleneceği üzere %100 pamuk süprem numunelerinin en düşük renk değişimi % 10 grafen / % 4 gümüş ramöz prosesinde kaydedilmiştir. En yüksek renk değişimi ise % 10 grafen / % 4 gümüş sıcak pres prosesinde kaydedildiği gözlemlenmektedir. Şekil 4.13'te de ΔE değerleri ile paralel sonuçlar verdiği gözlemlenmektedir. L^* (açıklık-koyuluk) değerinde en düşük değişim grafen / gümüş ramöz prosesinde kaydedilmiştir. L^* (açıklık-koyuluk) değerinde en yüksek değişimse yine % 10 grafen / % 4 gümüş sıcak pres prosesinde kaydedildiği gözlemlenmektedir.

Şekil 4.14'te K/S yıkama öncesi ve 10 yıkama sonrası değerler grafiği karşılaştırmalı olarak verilmiştir. K/S değerindeki yani renk kuvvetindeki en az azalma oranı yine paralel sonuçlar vererek % 10 grafen / % 4 gümüş ramöz prosesi olduğu görülmektedir. En büyük değişim de % 10 grafen / % 4 gümüş sıcak pres prosesinde olduğu için paralel sonuçlara ulaşıldığı net şekilde görülmektedir.



Uygulama Detayı - Yıkama Öncesi / 10 Yıkama Sonrası

Şekil 4.14: Uygulama kumaşlarının yıkama öncesi ve 10 yıkama sonrası K/S değerleri karşılaştırmalı grafiği

Serigrafi baskı yapılmış, kurutulmuş ve fikse işlemine tabi tutulmuş kumaşların 1, 5 ve 10 yıkama sonrası renk değişimleri aynı zamanda spektrofotometre cihazında gri skala renk değişimi modu kullanılarak incelenmiş olup ölçülen değerler Tablo 4.30'da verilmektedir.

Alınan değerler renk ölçüm değerlendirmeleri ile paralel sonuçlarda olup en az renk değişiminin % 10 grafen / % 4 gümüş ramöz prosesinde ve en çok renk değişiminin ise % 10 grafen / % 4 gümüş sıcak pres prosesinde olduğu saptanmıştır.

Bu sonuçlar aşağıda anlatılan ve Tablo 4.31'de gösterilen yıkamaya bağlı iletkenlik değişim değerlerini destekleyen paralel bir yapıda sonuçlar verdiği görülmektedir.

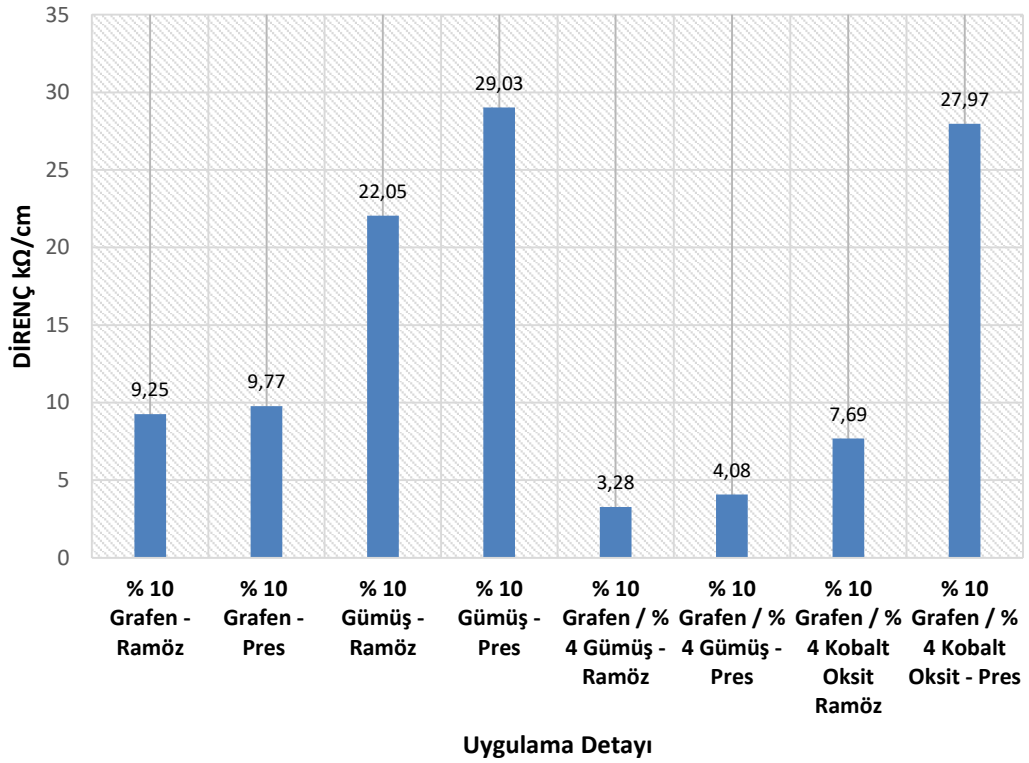
Tablo 4.30: Uygulanan kumaşların 1, 5 ve 10 tekrarlı yıkamalar sonrası gri skalaya göre renk değişim değerleri

Uygulama Detayı	Renk Değişimi (Gri Skala)		
	1 Yıkama	5 Yıkama	10 Yıkama
% 10 Grafen Ramöz	4	2	2
% 10 Grafen Pres	2 / <u>3</u>	1 / <u>2</u>	<u>1</u> / 2
% 10 Gümüş Ramöz	4 / <u>5</u>	<u>3</u> / 4	<u>3</u> / 4
% 10 Gümüş Pres	4 / <u>5</u>	1 / 2	<u>1</u> / 2
% 10 Grafen / % 4 Gümüş Ramöz	4 / <u>5</u>	<u>4</u> / 5	4
% 10 Grafen / % 4 Gümüş Pres	<u>4</u> / 5	1	<u>0</u> / 1
% 10 Grafen / % 4 Kobalt Oksit Ramöz	4 / <u>5</u>	2 / <u>3</u>	<u>1</u> / 2
% 10 Grafen / % 4 Kobalt Oksit Oksit Pres	<u>4</u> / 5	1 / <u>2</u>	<u>1</u> / 2

4.2.2.6 Direnç Ölçüm Değerlerine İlişkin Bulgular

Çeşitli konsantrasyonlarda iletken toz içeren poliüretan bazlı baskı patları ile serigrafik baskı yapılmış, kurutulmuş ve fikse işlemine tabi tutulmuş %100 pamuk süprem örme kumaşların direnç ölçümleri iki uçlu multimetre ile yapılarak değerler kaydedilmiştir.

Şekil 4.15'te uygulamaların yıkama öncesi direnç ölçüm sonuçları grafik üzerinden karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 4.15: Uygulamaların yıkama öncesi direnç ölçümlerinin karşılaştırmalı grafiği

Şekil 4.15'teki grafikten incelendiği üzere pamuk süprem numune kumaşların yıkama işleminden önce sergiledikleri direnç değerleri karşılaştırıldığında en iyiden en kötüye sırasıyla;

1. % 10 Grafen / % 4 Gümüş Ramöz : 3,28 kΩ/cm
2. % 10 Grafen / % 4 Gümüş Sıcak Pres : 4,08 kΩ/cm
3. % 10 Grafen / % 4 Kobalt Oksit Ramöz : 7,69 kΩ/cm
4. % 10 Grafen Ramöz : 9,25 kΩ/cm
5. % 10 Grafen Pres : 9,77 kΩ/cm
6. % 10 Gümüş Ramöz : 22,05 kΩ/cm
7. % 10 Grafen / % 4 Kobalt Oksit Sıcak Pres : 27,97 kΩ/cm
8. % 10 Gümüş Pres : 29,03 kΩ/cm

Tablo 4.31: Uygulamaların yıkama öncesi ve 1 – 5 - 10 tekrarlı yıkamalar sonu direnç ölçümleri

Uygulama Detayı	Direnç (120Hz) (kΩ/cm)	1.Yıkama Direnç (kΩ/cm)	5.Yıkama Direnç (kΩ/cm)	10.Yıkama Direnç (kΩ/cm)
% 10 Grafen Ramöz	9,25	72,04	325,1	495,6
% 10 Grafen Pres	9,77	532	Bağlantı Yok	Bağlantı Yok
% 10 Gümüş Ramöz	22,05	243,12	772	3068
% 10 Gümüş Pres	29,03	232,78	Bağlantı Yok	Bağlantı Yok
% 10 Grafen / % 4 Gümüş Ramöz	3,28	5,015	28,44	44,05
% 10 Grafen / % 4 Gümüş Pres	4,08	27,82	Bağlantı Yok	Bağlantı Yok
% 10 Grafen / % 4 Kobalt Oksit Ramöz	7,69	20,09	720,08	1910
% 10 Grafen / % 4 Kobalt Oksit Pres	27,97	538,96	Bağlantı Yok	Bağlantı Yok

Tablo 4.31'de uygulamaların yıkama öncesi ve 1 – 5 - 10 tekrarlı yıkamalar sonu direnç ölçümleri verilmiştir. Genel olarak bakıldığında ramöz prosesinin pres prosesine göre biraz daha başarılı sonuçlar çıkardığı görülmektedir. Ayrıca kompozit yapılar (iletken tozların beraber farklı oranlarda kullanıldığı kombine uygulamalar),

tek cins yapılı (iletken tozların tek başlarına bireysel olarak kullanımı) baskı patlarına göre biraz daha iyi sonuçlar verdiği söylenebilmektedir.

Tablo 4.31’de yıkama sonrası kumaşların iletkenlik sonuçları değerlendirildiğinde, standart bir yıkama sonrasında bütün kumaşların iletkenliklerinin az veya çok düştüğü fakat hala her kumaşın iletkenliklerinin olduğu saptanmıştır. Ancak, ifade etmek gerekir ki, 1 yıkamadan sonra bazı kumaşlardaki iletkenlik kaybı diğer kumaşlara göre çok daha fazla gerçekleşmiştir.

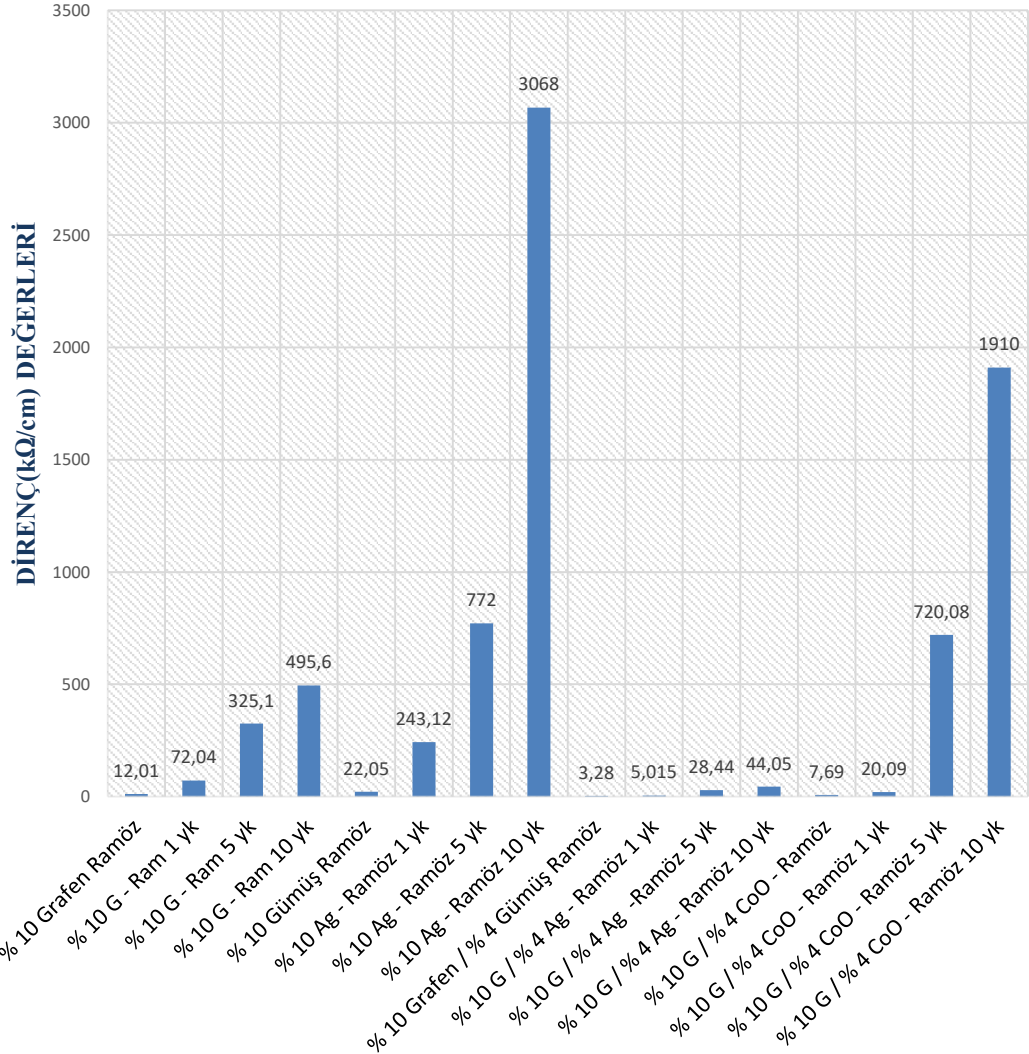
İletken tozların pamuk lifine direkt olarak değil indirekt yol ile yani poliüretan binder malzemesi yolu ile bağ yaptığı bilinmektedir. Poliüretan binder patı hem iletken toza hem de pamuk lifine bağlanmaktadır. Yıkama sonrası bir miktar baskı malzemesinin yüzeyden uzaklaşması ve binder filminde kırılmalar meydana gelmesi iletken yollarda bozulmalara, kopukluklara sebep olabileceği düşünülmektedir. Bu sebeple yıkama sonrası iletkenlik değerlerinde azalmalar meydana geldiği düşünülmektedir.

Tablo 4.31’de de görüldüğü üzere tekrarlı gerçekleştirilen 10 yıkama sonrasında en iyi iletkenlik sonuçlarını sırasıyla; % 10 grafen / % 4 gümüş ramöz (44,05 k Ω /cm), % 10 grafen ramöz (495,6 k Ω /cm), % 10 grafen / % 4 kobalt oksit ramöz (1910 k Ω /cm), % 10 gümüş ramöz (3068 k Ω /cm) proseslerinin verdiği saptanmıştır.

Özetle, 10 yıkamaya dayanan serigrafî baskılı pamuklu kumaşların direnç ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde ise en iyiden en kötüye;

1. % 10 Grafen / % 4 Gümüş Ramöz : 44,05 k Ω /cm
 2. % 10 Grafen Ramöz : 495,6 k Ω /cm
 3. % 10 Grafen / % 4 Kobalt Oksit Ramöz : 1910 k Ω /cm
 4. % 10 Gümüş Ramöz : 3068 k Ω /cm
- prosesleri şeklinde sıralanabilmektedir.

Diğer kumaşların yıkama dayanımı iyi olmamakla beraber iletkenlik özelliklerini 5 yıkamaya kadar devam ettiremedikleri görülmektedir. Bu sebeple en iyi yıkama dayanımı sağlayan prosesin ramöz prosesi olduğu saptanmıştır. 10 yıkamaya kadar dayanabilen deneklerin yıkama öncesi ve 1, 5 ve 10 yıkama sonrası direnç ölçüm sonuçlarını içeren karşılaştırmalı grafiği Şekil 4.16’da verilmektedir.



Uygulama Detayı - Yıkama Öncesi / Yıkama Sonrası

Şekil 4.16: Uygulamaların yıkama öncesi ve 1-5-10 tekrarlı yıkama sonu direnç ölçümlerinin karşılaştırmalı grafiği

Özetle, çalışılan bütün farklı iletken toz katkılı baskı patlarıyla serigrafi baskı yapılmış, kurutulmuş ve fikse işlemine tabi tutulmuş % 100 pamuk lifli süprem örme kumaşların 10 tekrarlı yıkama sonrası sergiledikleri iletkenlik değerleri karşılaştırıldığında, % 10 grafen / % 4 gümüş ramöz prosesi uygulanmış pamuklu kumaşın 10 yıkama sonunda bile iyi iletkenlik değerleri (yıkama yapılmadan önceki iletkenlik değeri: 3,28 kΩ/cm; 10 yıkama sonrası iletkenlik değeri: 44,05 kΩ/cm) sergilediği görülmüştür. Bütün sonuçlar göz önünde bulundurularak değerlendirildiğinde en iyi iletkenlik sağlayan ve 10 yıkama sonrasında bile iyi iletkenlik sergilemeye devam eden formül % 10 grafen / % 4 gümüş kompozit ramöz prosesinin olduğu gözlemlenmektedir.

% 10 grafen, % 10 gümüş, % 10 grafen % 4 gümüş, % 10 grafen % 4 kobalt oksit konsantrasyonlarında hazırlanan iletken tozları içeren poliüretan bazlı iletken baskı patı, serigrafî yöntemi ile % 100 pamuk süprem örme kumaşlara basılarak ramöz ve sıcak pres olmak üzere iki farklı kurutma-fiksaj prosesi uygulanmıştır. Ramöz prosesi; kurutma adımı 100 °C 10 dk, fiksaj adımı 160 °C 3 dk şeklinde uygulanmıştır. Sıcak pres prosesi; kurutma adımı 24 sa oda sıcaklığında, fiksaj adımı 210 °C sıcaklıkta 50 s süre ile uygulaması yapılmıştır.

Uygulaması yapılan pamuk süprem kumaşların yıkama öncesi iletkenlik sıralamasının Tablo 4.32’de, 1 yıkama sonrası iletkenlik ölçüm sıralaması Tablo 4.33’te görülmektedir. İletkenlik sıralamasının yıkama ile değişikliğe uğradığı ölçümler ile saptanmıştır.

Yıkama öncesi direnç ölçümlerine göre iletkenlik seviyelerinin en iyiden en kötüye doğru sıralaması Tablo 4.32’de gösterilmektedir.

Tablo 4.32: Kumaşları yıkama öncesi direnç değerlerine göre iletkenlik sıralaması

İletkenlik Sıralaması	Baskı Patı İçeriği	Kurutma / Fiksaj Prosesi	Direnç kΩ/cm
1.	% 10 Grafen / % 4 Gümüş	Ramöz	3,28
2.	% 10 Grafen / % 4 Gümüş	Sıcak Pres	4,08
3.	% 10 Grafen / % 4 Kobalt Oksit	Ramöz	7,69
4.	% 10 Grafen	Ramöz	9,25
5.	% 10 Grafen	Sıcak Pres	9,77
6.	% 10 Gümüş	Ramöz	22,05
7.	% 10 Grafen / % 4 Kobalt Oksit	Sıcak Pres	27,97
8.	% 10 Gümüş	Sıcak Pres	29,03

Tablo 4.33: Kumaşların 1 yıkama sonrası direnç ölçümlerine göre iletkenlik sıralaması

İletkenlik Sıralaması	Baskı Patı İçeriği	Kurutma / Fiksaj Prosesi	Direnç kΩ/cm 1 yıkama sonrası
1.	% 10 Grafen / % 4 Gümüş	Ramöz	5,015
2.	% 10 Grafen / % 4 Kobalt Oksit	Ramöz	20,09
3.	% 10 Grafen / % 4 Gümüş	Sıcak Pres	27,82
4.	% 10 Grafen	Ramöz	72,04
5.	% 10 Gümüş	Sıcak Pres	232,78
6.	% 10 Gümüş	Ramöz	243,12
7.	% 10 Grafen	Sıcak Pres	532,00
8.	% 10 Grafen / % 4 Kobalt Oksit	Sıcak Pres	538,96

1 Yıkama sonrası direnç ölçümlerine göre iletkenlik seviyelerinin en iyiden en kötüye doğru sıralaması Tablo 4.33’de gösterilmektedir. Yıkama öncesi (bkz. Tablo 4.32) % 10 grafen / % 4 gümüş ramöz prosesi uygulanmış pamuk kumaşı ilk sırada, % 10 grafen / % 4 gümüş sıcak pres prosesi uygulanmış pamuk kumaşı ikinci sırada gelmiştir. Fakat 1 yıkama sonunda birinci sıra sabit kalırken, % 10 grafen / % 4 kobalt oksit ramöz pamuk kumaşı dengeleri değiştirerek ikinci sırayı almış, %10 grafen / %4 gümüş sıcak pres prosesine ait pamuk kumaşı üçüncü sıraya düşmüştür.

Tablo 4.34: Kumaşların 5 yıkama sonrası direnç ölçümlerine göre iletkenlik sıralaması

İletkenlik Sıralaması	Baskı Patı İçeriği	Kurutma / Fiksaj Prosesi	Direnç kΩ/cm 5 yıkama sonrası
1.	% 10 Grafen / % 4 Gümüş	Ramöz	28,44
2.	% 10 Grafen	Ramöz	325,10
3.	% 10 Grafen / % 4 Kobalt Oksit	Ramöz	720,08
4.	% 10 Gümüş	Ramöz	772,00
-	% 10 Grafen	Sıcak Pres	Bağlantı Yok
-	% 10 Gümüş	Sıcak Pres	Bağlantı Yok
-	% 10 Grafen / % 4 Gümüş	Sıcak Pres	Bağlantı Yok
-	% 10 Grafen / % 4 Kobalt Oksit	Sıcak Pres	Bağlantı Yok

5 Yıkama sonrası direnç ölçümlerine göre iletkenlik seviyelerinin en iyiden en kötüye doğru sıralaması Tablo 4.34’de gösterilmektedir. Çeşitli konantrasyonlarda poliüretan esaslı iletken baskı uygulanmış kumaşların 5 yıkama sonunda yine birinci sıra aynen korunurken, diğer sıralama tamamen değişerek % 10 grafen ramöz prosesine ait pamuk kumaş ikinci sıraya çıkmış ve % 10 grafen / % 4 kobalt oksit ramöz üçüncü sıraya düşmüş, % 10 gümüş ramöz ise altıncı sıralardan dördüncü sıraya yükseldiği gözlemlenmiştir.

Malesef diğer proseslere ait kumaşlarda (% 10 grafen, % 10 gümüş , % 10 grafen / % 4 gümüş ve % 10 grafen / % 4 kobalt oksit baskı patına ait sıcak pres prosesleri) iletkenlik ölçümü kaydedilememiştir.

Tablo 4.35: Kumaşların 10 yıkama sonrası direnç ölçümlerine göre iletkenlik sıralaması

İletkenlik Sıralaması	Baskı Patı İçeriği	Kurutma / Fiksaj Prosesi	Direnç kΩ/cm 10 yıkama sonrası
1.	% 10 Grafen / % 4 Gümüş	Ramöz	44,05
2.	% 10 Grafen	Ramöz	495,60
3.	% 10 Grafen / % 4 Kobalt Oksit	Ramöz	1910,00
4.	% 10 Gümüş	Ramöz	3068,00
-	% 10 Grafen	Sıcak Pres	Bağlantı Yok
-	% 10 Gümüş	Sıcak Pres	Bağlantı Yok
-	% 10 Grafen / % 4 Gümüş	Sıcak Pres	Bağlantı Yok
-	% 10 Grafen / % 4 Kobalt Oksit	Sıcak Pres	Bağlantı Yok

10 Yıkama sonrası direnç ölçümlerine göre iletkenlik seviyelerinin en iyiden en kötüye doğru sıralaması Tablo 4.35'te gösterilmektedir. 5. yıkama sonrası yapılan iletkenlik sıralaması, 10. yıkama sonrasında da aynı kalmıştır.

% 10 grafen / % 4 gümüş konsantrasyonuna ait poliüretan bazlı iletken baskı patıyla baskısı yapıp kurutma fiksaj adımları ramöz makinasında tamamlanan % 100 pamuklu kumaşı 10 yıkama sonunda dahi 44,05 kΩ/cm direnç değeri ile gayet tatmin edici değerler verdiği düşünülmektedir.

Numuneler üzerinde yapılan bütün test sonuçları göz önünde bulundurularak değerlendirildiğinde ortalama en iyi değerlere sahip kumaş % 10 grafen / % 4 gümüş ramöz kumaşı olmuştur. Bu numunenin detaylarını tekrar gözden geçirecek olursak, %100 pamuk süprem örme kumaşa uygulanmış olup, % 10 grafen / % 4 gümüş nano toz kompozisyonu oluşturulmuş poliüretan bazlı kompozit iletken baskı patı hazırlanarak, kumaş yüzeyine manyetik baskı makinasında serigrafik baskı tekniğine göre ipek şablonla basılmış daha sonra gergefli kurutucuda (ramöz) 100 °C

sıcaklıkta, 10 dk süre ile kurutulmuş ve fiksaj adımımda 160 °C sıcaklıkta, 3 dk süre ile fikseleme işlemleri yapılarak uygulaması tamamlanmıştır.

Bu kumaşın test ölçüm sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde, renk ölçümlerine bakıldığında yıkama öncesi L^* değeri 18,3 iken, 10 yıkama sonunda 19,34'e, ΔE değeri 10 yıkama sonunda 1,05'e ve gri skalada değerlendirilen kumaşta renk değişimi "4" değeri ile renk ölçüm sonuçları 10 yıkama sonunda bile genel olarak kaydedilen en az renk değişimi bu kumaşta görülmektedir.

Kumaşın sarılık (E313) ve beyazlık (stensby) ölçüm sonuçlarına bakıldığında sarılık indeksi 0,97, beyazlık indeksi 156,1 değerleri uygulanan işlem adımlarından sonra pamuk süprem kumaşında çok fazla bir sararma meydana gelmediği saptanmıştır.

Su buharı geçirgenliği indeksine bakarsak % 57,11 değeri ile ortalama bir sonuç alındığı görülmektedir.

Görüldüğü üzere çoğu test ölçüm sonuçlarında ilk sıralarda değerlendirme alan % 10 grafen / % 4 gümüş ramöz prosesine ait pamuk süprem kumaş 3,28 $k\Omega/cm$ ile en iyi direnç değerini verirken ve 10 yıkama sonunda dahi 44,05 $k\Omega/cm$ ile yine en iyi direnç değerini verdiği görülmüştür.

Bu sebeple çoğu test ölçüm sonuçlarının birbirleriyle karşılaştırmalı olarak değerlendirilerek gelinen noktada en iyi kumaşın % 10 grafen / % 4 gümüş ramöz prosesi olduğu açıkça saptanmıştır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Daha önce de belirtildiği gibi bu tez çalışması iki bölümden oluşmaktadır. Bu yüzden bu kısımda çalışmanın iki bölümünden elde sonuçlar ayrı ayrı verilmiştir.

5.1 İlk Bölüm Sonuçları

Tez çalışmasının ilk bölümünü kapsayan deney sonuçları incelendiğinde, en iyi sonuçların alındığı kumaşın % 100 pamuk lifli süprem örme kumaş olduğu saptanmıştır. Pamuk lifli kumaşların bazılarında iki şekilde hazırlanan akrilat ve poliüretan bazlı kör baskı patının serigrafi baskı ile basılıp, kurutularak ön işlemleri yapılmıştır. Fakat bu ön işlemin pamuklu örme kumaşa uygulanması iletkenliği aksine kötü etkilediği gözlemlenmiştir. Çünkü ön işlemsiz pamuk süprem kumaşların uygulamalarında daha iyi sonuçlar kaydedilmiştir. Bunun sebebi ön işlem uygulanmayan kumaşta baskı patının sadece yüzeyde kalmayıp kumaşa emilerek daha homojen ve harman bir yapı oluşturabildiğinden dolayı olabileceği düşünülmektedir.

Akrilat ve poliüretan kör patı ile ön işlemi yapılmış % 92 poliester / % 8 elastan karışım lifli kumaşlarda genel itibariyle düşük iletkenlik sonuçları alınmıştır. Ön işlemsiz poliester/elastan karışım lifli kumaşlarda ise baskı esnasında düzensizlik problemleri gözlemlenmiştir. Poliester/elastan karışım lifli kumaşlara uygulanan ön işlem, baskı uygulama esnasında yaşanan düzensizlik problemlerini azalttığı gözlemlenmiştir. Ancak bu uygulama yine de yeterli iletkenlik değerlerinin elde edilmesi için yeterli olamamıştır.

Ayrıca poliesterin kimyasal yapısı ile pamuk lifi karşılaştırıldığında, poliesterin aksine pamuğun kimyasal yapısında bağ yapmaya hazır pek çok uç gruplara sahip olmasının ve hidrofilik olması sebebiyle iletken baskı patının lifler arasında daha kolay erişebilmesi iletken yollar oluşturmaya çalıştığımız bu uygulamalarda avantaj oluşturabileceği düşünülmektedir.

Çalışmalar neticesinde iletkenliği etkileyebileceği tahmin edilen bazı faktörler gözlemlenmiştir. Bunlar;

- ✓ İletken tozların boyutu,
- ✓ İletken tozun eklenecek baskı patında homojen dağılımı,
- ✓ Basılacak kumaşın lif yapısı (hidrofil / hidrofob),
- ✓ Baskı yapılacak kumaşın örgü yapısı,
- ✓ Baskı patınının kumaş yüzeyinde düzgün-homojen aktarılması

gibi faktörlerin etki edebileceği tahmin edilmektedir. Herhangi bir düzgünsüz yapının iletimde kopukluklara sebep olabileceği düşünülmektedir.

İlk bölümde yapılan uygulamalarda en iyi sonuç alan iki deneğin proses detayları şu şekildedir:

- ✓ **(P-1) Proses Detayı:** % 100 Pamuk Süprem/ Poliüretan Bazlı -% 10 Grafen Patı / Ramöz Makinası / Ön İşlemsiz / Kurutma:100 °C -10 dk / Fikse: 160 °C - 3 dk/ Direnç: 9,25 kΩ/cm
- ✓ **(P-15) Proses Detayı:** % 100 Pamuk Süprem / Poliüretan Bazlı - % 10 Grafen Patı / Sıcak Pres Makinası / Ön İşlemsiz / Kurutma: Oda Sıcaklığında – 24 sa / Fikse: 210 °C - 50 s / Direnç: 9,77 kΩ/cm

5.2 İkinci Bölüm Sonuçları

Tez çalışmasının ikinci bölümünde, grafen, gümüş, bakır, grafen oksit, mangan oksit ve kobalt oksit gibi farklı tip iletken tozların çeşitli konsantrasyonlarda hem tek başlarına bireysel olarak tek yapı halinde kullanımı hem de iletken tozların beraber farklı oranlarda kombine kullanıldığı kompozit yapılı uygulamalar oluşturularak hazırlanan poliüretan bazlı iletken baskı patları ile tekstil yüzeyine basılmıştır. Kumaş olarak % 100 pamuk lifli süprem örme kumaş kullanılmıştır. Baskı patı poliüretan esaslı binder ve belirtilen yardımcı kimyasallar ile hazırlanmıştır.

Kurutma / fiksaj adımı ramöz ve sıcak pres olmak üzere iki farklı proses denenmiştir. Ramöz prosesi; kurutma adımı 100 °C 10 dk, fiksaj adımı 160 °C 3 dk

şeklinde uygulanmıştır. Sıcak pres prosesi; kurutma adımı 24 sa oda sıcaklığında, fiksaj adımı 210 °C sıcaklıkta 50 s süre ile uygulaması yapılmıştır.

Serigrafi baskı yapılan, kurutulan ve fikse edilen kumaş numunelerinin beyazlık, sarılık, renk, sertlik, kalınlık, gramaj, su buharı geçirgenliği ve direnç ölçümleri yapılarak serigrafi baskılı kumaşların özellikleri tayin edilmiştir. Ayrıca tekrarlı yıkamalar (1, 5 ve 10 standart yıkama) sonrası yukarıda bahsedilen testler tekrar uygulanıp elde edilen test sonuçları karşılaştırılmalı olarak değerlendirilip incelenmiştir

İkinci bölümde kullanılan tozlar şu şekildedir;

1. Grafen (G) nanotoz
2. Gümüş (Ag) nanotoz
3. Bakır (Cu) tozu
4. Grafen oksit (GO) tozu (laboratuvar ortamında sentezlendi)
5. Kobalt oksit (CoO) tozu (laboratuvar ortamında sentezlendi)
6. Mangan oksit (MnO) tozu (laboratuvar ortamında sentezlendi)

İkinci bölümü kapsayan ölçüm sonuçlarına bakıldığında grafen, gümüş, bakır, grafen oksit, kobalt oksit ve mangan oksit tozlarının tek yapılı (tek başlarına bireysel olarak) deneylerinde % 1, % 2,5, % 5, % 8, % 10, % 15 konsantrasyonlarında çalışmalar yapılmış olup grafen ve gümüşle yapılan deneylerde % 10'un altındaki değerlerde kayda değer bir iletkenlik ölçümü gözlenemezken % 10'luk konsantrasyonun en iyi iletkenlik sonucunu verdiği diğer tozların tek yapılı deneylerinde (bakır, grafen oksit, kobalt oksit ve mangan oksit tozlarının) ise hiçbir konsantrasyonda herhangi bir iletkenlik göstermediği saptanmıştır.

En iyi iletkenlik değeri veren konsantrasyon % 10 iken, konsantrasyon arttıkça çalışma zorluğunun arttığı, iletkenliğin ise aksi yönde azaldığı ölçüm sonuçları ile saptanmıştır. Konsantrasyon arttıkça iletkenliğin aksi yönde azalması, artan çalışma zorluğu sebebiyle iletken baskı patının kumaş yüzeyinde homojen dağılamamasından kaynaklı olabileceği düşünülmektedir.

İletken tozların beraber farklı oranlarda kombine kullanıldığı kompozit yapıları çalışmaları ise;

1. % 6 / % 4 ; % 8 / % 2 ; % 10 / % 2 ; % 10 / % 4 : Grafen / Gümüş Ramöz - Sıcak Pres
2. % 6 / % 4 ; % 8 / % 2 ; % 10 / % 2 ; % 10 / % 4 : Grafen / Bakır Ramöz - Sıcak Pres
3. % 6 / % 4 ; % 8 / % 2 ; % 10 / % 2 ; % 10 / % 4 : Grafen / Mangan Oksit Ramöz - Sıcak Pres
4. % 6 / % 4 ; % 8 / % 2 ; % 10 / % 2 ; % 10 / % 4 : Grafen / Kobalt Oksit Ramöz - Sıcak Pres

şeklinde çeşitli konsantrasyonlarda kompozit yapıların baskı patları hazırlanarak hem ramöz hem de sıcak preste denemeleri yapılmıştır. Denemelerin direnç ölçüm sonuçlarına bakıldığında grafen/bakır ve grafen/mangan oksit içerikli kompozit yapıların % 6 / % 4 ve % 8 / % 2 konsantrasyonlarında herhangi bir iletkenlik gözlenmemiştir. Grafen'in % 10 konsantrasyonun altında iletmediği yapılan denemelerde görüldüğü için toplamda % 10'luk iletken toz içeren bu yapıda bakır ve mangan oksitin grafene iletkenlik açısından katkı sağlayamadığı tahmin edilmektedir. % 10 / % 2 ve % 10 / % 4 konsantrasyonlarda ise iletkenlik değerleri, % 10 grafen tek cins uygulamalarının iletkenlik sonuçlarıyla karşılaştırıldığında aksine azaldığı yani iletkenliği azaltıcı yönde etki gösterdiği bu uygulamalarda saptanmıştır.

% 6 / % 4 ve % 8 / %2 oranlardaki grafen/gümüş ve grafen/kobalt baskı patlarında iletkenlik değeri düşüğe olsa ölçülebilmüş olup, bu tozların grafen ile iyi bir iletken yapı oluşturmuş olabileceği düşünülmektedir. % 10 / % 2 ve % 10 / % 4 harmanlarına bakıldığında ise iletkenlik değerlerinin gittikçe arttığı ve grafenin iletkenlik değerlerini en iyi % 10 / % 4 konsantrasyonda desteklediği saptanmıştır.

Bundan önce yapılan bütün çalışmalarda en iyi iletkenlik sonuçları veren kumaşlar saptanmış olup, bundan sonraki çalışmalar en iyi iletkenlik sonucu veren kumaşların; kalınlık, gramaj, beyazlık, sarılık, yıkamaya bağlı renk değişimi, renk ölçümleri, sertlik ve su buharı geçirgenliği gibi fiziksel testleri yapılmıştır. Ayrıca 1, 5 ve 10 tekrarlı yıkama sonu direnç değerleri, renk değerleri, sertlik, kalınlık ve gramaj değişim değerleri ölçülmüştür.

Yapılan çalışmalarda sarılık ve beyazlık değerleri ölçülmüş olup, uygulama sonrası sarılık değerlerinde ramöz prosesinde çok küçük değişimler saptanırken, sıcak pres prosesinde ramöz prosesine göre biraz daha fazla artış, paralel değerlerde beyazlık derecelerinde azalma saptanmıştır. Fakat, 1, 5 ve 10 tekrarlı yıkamalar sonrasında serigrafi baskılı, kurutulmuş ve fikse işlemine maruz kalmış bütün kumaşların beyaz (baskı yapılmamış) kısımlarının sarılık değerlerinin azaldığı, referans kumaşın (işlemsiz pamuk süprem kumaş) değerlerine çok yaklaştığı görülmüştür. Birinci standart yıkama sonucunda dahi bütün kumaşların sarılık değerlerinin düştüğü (serigrafi baskı, kurutma ve fikse işlemleri yapılmış ama hiç yıkanmamış kumaşla karşılaştırıldığında) yani kumaşların beyazlığının genellikle arttığı hatta referans kumaşına yaklaştığı gözlemlenmiştir. Pres prosesine tabi tutulmuş kumaşların sarılık değerlerindeki azalışın daha fazla olduğu saptanmıştır. 5. ve 10. standart yıkamalar sonrasında da iki proste de genellikle sarılık değerlerinin azalışı ve paralelinde beyazlık derecesinin artışı devam ettiği gözlemlenmiştir.

Genel olarak bütün uygulama kumaşları işlemsiz pamuk süprem kumaşa göre gramaj ve kalınlık değerlerinde belirgin artışlar gözlemlenmiştir. Aynı baskı patının ramöz prosesi ile sıcak pres prosesi uygulanmış kumaşlarının kalınlık-gramaj değerleri ve artış oranları karşılaştırıldığında ramöz prosesi uygulanmış kumaşın daha yüksek olduğu görülmüştür. Ramöz prosesine göre uygulaması yapılan kumaşların kalınlık-gramaj değerlerinin daha yüksek olmasının sebebi, sıcak pres prosesindeki basınç faktöründen kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Kalınlık artışında en yüksek değer, aynı zamanda kaydedilen en iyi iletkenlik değerini veren pamuk örme kumaş, % 10 grafen / % 4 gümüş ramöz prosesinin olduğu saptanmıştır. Gramaj artışında ise en yüksek değer % 10 grafen ramöz prosesi uygulanmış pamuk süprem kumaşa görülmektedir.

1, 5 ve 10 yıkama sonrası kalınlık ve gramaj değişimlerinde genel itibariyle bir düşüş olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebinin tekrarlı yıkamalar ile bir miktar baskı malzemesinin kumaş yüzeyinden uzaklaşmasından dolayı meydana gelebileceği düşünülmektedir. Yapılan iletkenlik ölçümlerinde yıkama sebebiyle iletkenliğin azalma yönlü olması da bu sonuçları desteklemektedir.

Fakat bazı deneklerde özellikle sıcak pres prosesi uygulanmış bazı kumaşlarda aksine artış gözlemlenmiştir. Bunun sebebinin ise, sıcak pres

prosesindeki basınç faktörünün kumaşlar üzerinde gerginliğe sebebiyet verebileceği, yıkama sonrası ise kumaşın bu gerginliklerden kurtularak kumaşın çekmesinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Genel itibariyle serigrafi baskı ile hazırlanan çeşitli iletken baskı patları basılan pamuk süprem kumaşlarda belirgin şekilde sertlik artışı yaşandığı ölçümler neticesinde tespit edilmiştir. Kumaşlar detaylı incelendiğinde ise aynı baskı patına ait ramöz ve sıcak pres prosesleri birbiriyle karşılaştırıldığında pres prosesi uygulanan kumaşların daha az sertlik seviyesinde yani daha yumuşak olduğu görülmektedir. Sıcak pres prosesi uygulanan kumaşların sertlik değerlerinin daha az olması, sıcak pres uygulamasındaki basınç faktörlü uygulama baskı patının yüzeyde daha düzgün, homojen ve ince bir yapı oluşmasını sağladığından dolayı olabileceği düşünülmektedir. Gramaj ve incelik değerlerinin sıcak pres proseslerinde daha düşük olması bu tahmini desteklemektedir.

En yüksek sertlik değeri ise % 10 grafen / % 4 gümüş ramöz prosesinde saptanmıştır. Bunun sebebinin iletken toz yoğunluğunun (toplam % 14) en yüksek olduğu baskı patlarından biri olmasından kaynaklanabileceği tahmin edilmektedir.

Kumaşların yıkama öncesi ve 10 yıkama sonrası sertlik değerlerinin yıkamaya bağlı olarak azalma meydana geldiği saptanmıştır. Yıkamaya bağlı olarak kumaşların yüzeyinde bulunan malzemenin bir miktar aşınması sebebi ile kumaşların sertlik değerlerinin de azaldığı düşünülmektedir.

Uygulaması yapılan kumaşların su buharı geçirgenliği test sonuçlarının referans alınan işlemsiz kumaşa göre yüzdesel su buharlaştırma değerleri genel olarak değerlendirildiğinde buharlaşma yüzdesinin yarı yarıya azaldığı dikkat çekmektedir.

Detaylı olarak incelersek aynı baskı patının ramöz ve sıcak pres uygulamalarını kendi aralarında karşılaştırdığımızda sıcak pres prosesi ile uygulaması yapılan kumaşların su buharı geçirgenliği daha yüksek seviyede çıktığı görülmektedir. Sıcak pres prosesinin daha iyi değerler vermesi, proses yapısından kaynaklanan, kumaş yüzeyine sıcak basınç uygulaması, yüzeydeki kaplamanın daha homojen, ince ve pürüzsüz olmasını sağlamasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. En iyi su buharı geçirgenliği % 64,30 ile % 10 gümüş pres

prosesinde saptanmıştır. En kötü değerin ise % 43,83 ile % 10 grafen ramöz prosesinde olduğu saptanmıştır.

Renk ölçüm sonuçlarını değerlendirdiğimizde, yıkama sonrası en düşük renk değişimi % 10 grafen / % 4 gümüş ramöz prosesinde kaydedilmiştir. En yüksek renk değişimi ise % 10 grafen/ % 4 gümüş pres prosesinde kaydedildiği gözlemlenmektedir. Bu sonucun ΔE değerleri ile paralel sonuçlar verdiği gözlemlenmektedir. Aynı şekilde yıkama sonrası L^* (açıklık-koyuluk) değerinde en düşük değişim % 10 grafen / % 4 gümüş ramöz prosesinde kaydedilirken, en yüksek değişimin yine % 10 grafen / % 4 gümüş pres prosesinde kaydedildiği gözlemlenmektedir. K/S yıkama öncesi ve 10 yıkama sonrası karşılaştırıldığında renk kuvvetindeki en az azalma oranı yine paralel sonuçlar vererek % 10 grafen / % 4 gümüş ramöz prosesi olduğu görülmektedir. en büyük değişim de % 10 grafen / % 4 gümüş pres prosesinde olduğu için bütünüyle paralel sonuçlara ulaşıldığı net şekilde görülmektedir. Bu sonuçların yıkama öncesi ve yıkama sonrası iletkenlik ölçüm sonuçlarını destekleyici paralel sonuçlar vermesi önem taşımaktadır.

% 100 pamuk lifli süprem örme kumaşların baskı yapılmayan beyaz renkli kısımlarının sarılık ve beyazlık özellikleri bu prosesler (serigrafi baskı + kurutma + fiska) ile olumsuz yönde etkilense de bir yıkamada bile sarılık değerlerinin azaldığı ve tekrarlı yıkamalar sonunda sarılık değerlerinin önemli ölçüde azalarak paralelinde beyazlık değerlerinin de arttığı gözlemlenmiştir.

Kalınlık değeri artışının ramöz prosesinde biraz daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Su buharı geçirgenlikleri yarı yarıya azalma meydana gelse de yine de kaplama düzeyinde bir kumaşa göre iyi sonuçlar verdiği düşünülmektedir. Özellikle pres prosesinde daha iyi su buharı geçirgenliği değerleri tespit edilmiştir.

Baskı patı pamuk lifli kumaş yüzeyinde kaplama etkisi yaratabileceği için sertlik değerlerinde de artış gözlemlenmiştir. Tekrarlı yıkamalar (10 standart yıkama sonrası) ile de ölçülen sertlik değerlerinin önemli ölçüde azaldığı yani serigrafi baskılı iletken kumaşların tekrarlı yıkamalar sonrasında yumuşadığı (serigrafi baskılı yıkanmamış kumaşlara göre) görülmüştür.

Numune kumaşların yıkama öncesi direnç ölçüm sonuçlarını incelendiğinde en iyiden en kötüye sırasıyla;

1. % 10 Grafen / % 4 Gümüş Ramöz : 3,28 kΩ/cm
2. % 10 Grafen / % 4 Gümüş Sıcak Pres : 4,08 kΩ/cm
3. % 10 Grafen / % 4 Kobalt Oksit Ramöz : 7,69 kΩ/cm
4. % 10 Grafen Ramöz : 12,01 kΩ/cm
5. % 10 Grafen Pres : 14,02 kΩ/cm
6. % 10 Gümüş Ramöz : 22,05 kΩ/cm
7. % 10 Grafen / % 4 Kobalt Oksit Sıcak Pres : 27,97 kΩ/cm
8. % 10 Gümüş Pres : 29,03 kΩ/cm

şeklinde sıralanmaktadır. Genel olarak bakıldığında ramöz prosesinin sıcak pres prosesine göre biraz daha başarılı sonuçlar çıkardığı saptanmıştır. Ayrıca iletken tozların beraber farklı oranlarda kombine kullanıldığı kompozit yapıları uygulamalar, tek cins yapıları (tek başlarına bireysel olarak) baskı patlarına göre biraz daha iyi sonuçlar verdiği söylenebilmektedir.

Yıkama sonrası kumaşların iletkenlik sonuçları değerlendirildiğinde, standart bir yıkama sonrasında bütün kumaşların iletkenliklerinin az veya çok düştüğü fakat hala her kumaşın iletkenliklerinin olduğu saptanmıştır. Ancak, ifade etmek gerekir ki, 1 yıkamadan sonra bazı kumaşlardaki iletkenlik kaybı diğer kumaşlara göre çok daha fazla gerçekleşmiştir. 5 tekrarlı yıkamadan sonra % 10 grafen, % 10 gümüş , % 10 grafen / % 4 gümüş, % 10 grafen / % 4 kobalt oksit içerikli baskı patına ait sıcak pres prosesi pamuk süprem numuneleri iletkenlik özelliklerini kaybetmişlerdir.

İletken tozların pamuk lifine indirekt yol ile yani poliüretan binder malzemesi ile bağ kurduğu bilinmektedir. Poliüretan binder patı hem iletken toza hem de pamuk lifine bağlanarak köprü kurmaktadır. Yıkama sonrası bir miktar baskı malzemesinin yüzeyden uzaklaşması ve binder filminde kırılmalar meydana gelmesi iletken yollarda bozulmalara, kopukluklara sebep olabileceği düşünülmektedir. Bu sebeple yıkama sonrası iletkenlik değerlerinde azalmalar meydana geldiği düşünülmektedir. Tekrarlı gerçekleştirilen 10 yıkama sonrasında en iyi iletkenlik sonuçlarını sırasıyla; % 10 grafen / % 4 gümüş ramöz (44 kΩ/cm), % 10 grafen ramöz (495,6 kΩ/cm), %10 grafen / %4 kobalt oksit ramöz (1910 kΩ/cm), %10 gümüş ramöz (3068 kΩ/cm) proseslerinin verdiği saptanmıştır.

Özetle, 10 yıkamaya dayanan serigrafi baskılı pamuklu kumaşların direnç ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde ise en iyiden en kötüye;

1. % 10 Grafen / % 4 Gümüş Ramöz prosesi : 44 k Ω /cm
2. % 10 Grafen Ramöz prosesi : 495,6 k Ω /cm
3. % 10 Grafen / % 10 Kobalt Oksit Ramöz prosesi : 1910 k Ω /cm
4. % 10 Gümüş Ramöz prosesi : 3068 k Ω /cm

şeklinde sıralanabilmektedir.

Diğer kumaşların yıkama dayanımı iyi olmamakla beraber iletkenlik özelliklerini 5 yıkamaya kadar devam ettiremedikleri görülmektedir. Bu sebeple en iyi yıkama dayanımı sağlayan prosesin ramöz prosesi olduğu saptanmıştır. Özetle, çalışılan bütün farklı iletken toz katkılı baskı patlarıyla serigrafi baskı yapılmış, kurutulmuş ve fikse işlemine tabi tutulmuş % 100 pamuk lifli süprem örme kumaşların 10 tekrarlı yıkama sonrası sergiledikleri iletkenlik değerleri karşılaştırıldığında, % 10 grafen / % 4 gümüş ramöz prosesi uygulanmış pamuklu kumaşın 10 yıkama sonunda bile iyi iletkenlik değerleri (44 k Ω /cm) sergilediği görülmüştür.

Bütün sonuçlar göz önünde bulundurularak değerlendirildiğinde en iyi iletkenlik sağlayan ve 10 yıkama sonrasında bile iyi iletkenlik sergilemeye devam eden formül % 10 grafen / % 4 gümüş kompozit ramöz prosesi olduğu görülmüştür.

Numuneler üzerinde yapılan bütün test sonuçları göz önünde bulundurularak değerlendirildiğinde ortalama en iyi değerlere sahip kumaş % 10 grafen / % 4 gümüş ramöz kumaşı olmuştur.

Bu numunenin detaylarını tekrar gözden geçirecek olursak, % 100 pamuk süprem örme kumaşa uygulanmış olup, % 10 grafen / % 4 gümüş nano toz kompozisyonu oluşturulmuş poliüretan bazlı kompozit iletken baskı patı hazırlanarak, kumaş yüzeyine manyetik baskı makinasında serigrafi baskı tekniğine göre ipek şablonla basılmış daha sonra gergefli kurutucuda (ramöz) 100 °C sıcaklıkta, 10 dk süre ile kurutulmuş ve fiksaj adımıyla 160 °C sıcaklıkta, 3 dk süre ile fikseleme işlemi yapılarak uygulaması tamamlanmıştır.

Bu kumaşın test ölçüm sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde, renk ölçümlerine bakıldığında yıkama öncesi L^* değeri 18,3 iken, 10 yıkama sonunda 19,34'e, ΔE değeri 10 yıkama sonunda 1,05'e ve gri skalada değerlendirilen kumaşta renk değişimi "4" değeri ile renk ölçüm sonuçları 10 yıkama sonunda bile genel olarak kaydedilen en az renk değişimi bu kumaşta görülmektedir.

Kumaşın sarılık (E313) ve beyazlık (stensby) ölçüm sonuçlarına bakıldığında sarılık indeksi 0,97, beyazlık indeksi 156,1 değerleri uygulanan işlem adımlarından sonra pamuk süprem kumaşında çok fazla bir sararma meydana gelmediği saptanmıştır.

Su buharı geçirgenliği indeksine bakarsak % 57,11 değeri ile ortalama bir sonuç alındığı görülmektedir. Görüldüğü üzere çoğu test ölçüm sonuçlarında ilk sıralarda değerlendirme alan % 10 grafen / % 4 gümüş ramöz prosesine ait pamuk süprem kumaşı 3,28 k Ω /cm ile en iyi direnç değerini verirken ve 10 yıkama sonunda dahi 44,05 k Ω /cm ile yine en iyi direnç değerini verdiği görülmüştür. Bu sebeple çoğu test ölçüm sonuçlarının birbirleriyle karşılaştırmalı olarak değerlendirilerek gelinen noktada en iyi kumaşın % 10 grafen / % 4 gümüş olduğu açıkça saptanmıştır.

Farklı iletken tozlarla ve farklı iletken kompozit toz kombinasyonları ile poliüretan kullanılarak serigrafi tekniğiyle baskı işlemi yapılmış, kurutulmuş ve fikse edilmiş % 100 pamuk lifli süprem örme kumaşların iletkenlik değerlerinin genel olarak tekrarlı yıkamalara karşı yüksek hassasiyetli olduğu saptanmıştır.

Fakat, yıkama öncesi iyi iletkenlik gösterdiği halde tekrarlı yıkamalar sonrası iletkenlik özellikleri yıkamanın etkisi ile baskı malzemesinin bir miktar yüzeyden uzaklaşması ve/veya poliüretan filmde bir miktar kırılma yaşanmasına bağlı olarak önemli ölçüde azalan veya iletkenlik özelliği tamamen kaybolan serigrafi baskılı pamuklu kumaşlar da bulunmaktadır. Bu sebeple tekrarlı yıkamalar yüzünden iletkenlik özelliği önemli ölçüde azalan ya da kaybolan iletken toz katkılı serigrafi baskılı kumaşlardan ileride yapılacak bir tekstil ürününe serigrafi baskılı iletken kumaş parçasının monte-demonte (kumaşa takılıp çıkartılabilme; cırt cırtlı velcro örneği gibi vb.) şeklinde takılabileceği bir yapıda entegre edilebileceği ve bu sayede tekrarlı yıkama işlemlerinin sonucu ortaya çıkabilecek iletkenlik kayıplarının da önüne geçilebileceği düşünülmektedir.

5.3 Öneriler

Bundan sonra yapılacak çalışmalarda kompozit iletken yapılara yönelme-ve yıkama dayanımını arttırıcı denemeler ve çalışmalar (yani tekrarlı yıkamalar yüzünden yaşanabilecek olası iletkenlik kayıplarının tamamen ortadan kaldırılması veya bu kayıpların minimuma indirilmesi çabaları ve çalışmaları) yapılabileceği önerilebilir.

Genel olarak mevcut elektronik tekstillerin üretim yöntemlerine bakıldığında; gümüş, bakır gibi doğal iletken liflerden elde etme, vakum sprey ile kaplama, friksiyon özlü iplik makinasında özlü iplikler üretme gibi sonradan iletkenlik kazandırılan liflerden elde etme veya son teknoloji olarak ink-jet ile özel iletken mürekkeplerle yapılan baskı yöntemi gibi pek çok iletken tekstil elde yöntemleri bulunmaktadır.

Bu tez çalışmasında ise pek çok tekstil fabrikasında bulunan, kolay erişilebilecek geleneksel bir baskı yöntemi olan serigrafi (ipek, şablon) baskı yöntemi kullanılmıştır. Bu tezdeki en önemli husus da mevcutta bulunan yüksek bütçe gerektiren ve erişmesi zor niş makineler veya üretim maliyeti yüksek olan aynı zamanda meşakkatli üretim adımlarına sahip olan bu mevcut elektronik tekstil üretim yöntemlerine ikame olabilecek; daha uygun maliyetli, ağır iş yükü oluşturmeyen kolay üretim adımlarına sahip aynı zamanda da makine açısından kolay-düşük bütçe ile erişim sağlanabilecek bir yol sunabilmektir.

Yapılan çalışma mevcutta yapılan bu üretim yöntemleriyle kıyaslandığında maliyet, kolay uygulanabilirlik, üretim esnasında kolaylıkla müdahale edilebilirlik ve kullanılan üretim cihazları açısından kolay erişebilir standart makineler üzerinden üretilebilir olması gibi sebeplerden dolayı avantajlı olabileceği düşünülmektedir.

Bu tez çalışmasının sonuçları ışığında ve devamında yapılacak çalışmalarla geliştirilecek iletken baskı mürekkepleriyle, kumaş ile teknolojinin harmanlanarak ülkemize katma değerli elektronik tekstil ürünlerinin ortaya çıkarılabileceği umut edilmektedir. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda esnek devre elemanları, esnek antenler, esnek kondüktörler gibi alanlarındaki çalışmalarla devam edilebileceği önerilebilirken, mevcut tez çalışmasının ileride yapılacak çalışmalara yol gösterici yönde destek sağlayabileceği düşünülmektedir.

6. KAYNAKLAR

Akçalı, K., “Teknik tekstillerin spor branşlarında kullanımının incelenmesi”, *International Journal of Science Culture and Sport*, 4(2), 533–546, doi:10.14486/IntJSCS578, (2016).

Alagirusamy, R., Eichhoff, J., Gries, T. and Jockenhoevel, S., “Coating of conductive yarns for electro-textile applications”, *Journal of the Textile Institute*, 104(3), 270–277, doi:10.1080/00405000.2012.719295, (2013).

Bashir, T., Skrifvars, M. and Persson, N. K., “Electroactive textile fibers produced by coating commercially available textile fibers with conductive polymer”. *Nordic Textile Journal*, 37-49, (2010).

Bedeloğlu Çelik, A., Sünter, N. ve Bozkurt, Y., “Elektriksel olarak iletken tekstil yapıları, üretim yöntemleri ve kullanım alanları”, *Tekstil ve Mühendis*, (79), 7–17, (2017).

Bozdoğan, F., *Fiziksel tekstil muayeneleri-kumaş testleri*, İzmir: E.Ü. Tekstil ve Konfeksiyon Araştırma-Uygulama Merkezi Yayını, Yayın No:32, 112-114, (2010).

Carlsson, J. O. and Martin, P. M., “Chemical vapor deposition”, (Ed: Brien P. O.), *Handbook of Deposition Technologies for Films and Coatings*, 1173–1177, Elsevier Science, doi:10.1016/B978-0-8155-2031-3.00007-7, (2010).

Çebi, T., “Akıllı tekstillerin giyim ve ev tekstillerine etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Beykent Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Tekstil Ve Moda Tasarımı Anasanat Dalı, İstanbul, (2014).

Çelen, R. ve Ulcay, Y., “Bikomponent lifler”, *Tekstil ve Mühendis*, 26(114), 177–187, doi:10.7216/1300759920192611407, (2019).

Çeven, E. K., Karaman, Ö. F. ve Dirik, A. E., “Metal iplikli dokuma kumaşlarının elektromanyetik kalkanlama etkinliğinin mobil cihazlar ile tespiti”, *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 21(2), 85-94, doi:10.17482/uujfe.26588, (2016).

Chika, Y. B. and Abiola Adekunle, S., “Smart fabrics-wearable technology”. *International Journal of Engineering Technologies and Management Research*, 4(10), 78–98, doi:10.5281/zenodo.1045843, (2017).

Chudasama, D., “Wearable electronics”, *International Journal of Electrical and Electronics Engineering Research (IJEEER)*, 4(5), 27–32, (2014).

Coşkun, E., “Akıllı tekstiller ve genel özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana, (2007).

Das, R., “Printed, flexible and hybrid electronics: hot trends and market outlook [online]”, (3April 2017), <https://www.idtechex.com/en/webinar/printed-flexible-and-hybrid-electronics-hot-trends-and-market-outlook/105>, *IDTechEX Technical Report*, (2017).

Das, S. C., Paul, D., Hasan, M., Chowdhury, N. and Nizam, E. H., “Smart textiles-new possibilities in textile engineering”. *International Conference on Mechanical, Industrial and Materials Engineering 2013 (ICMIME2013)*, Bangladesh, 514–519, (2013).

Derdiyok, U., “Metal lif takviyeli pamuk ipliklerinden üretilmiş örme kumaşların mekanik ve termal özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tekstil Eğitimi Anabilim Dalı, İstanbul, (2007).

DeWitt T., “Electroplating [online]”, (29 July 2015), <https://www.tdwscience.com/electroplating>, (2017).

Erdumlu, N. ve Sarıçam, C., “Metal tel sarımlı hibrid iplik içeren dokuma kumaşların dökümlülüğünün görüntü analizi yöntemi ile ölçülmesi”, *Tekstil ve Mühendis*, 22(100), 38–45, doi:10.7216/1300759920152210005, (2015).

Eren, S. ve Ulcay, Y., “Production of bi-component polyester fibres for emr (electromagnetic radiation) protection and examining emr shielding characteristics”, *Tekstil ve Konfeksiyon*, 25(2), 140–147, (2015).

Erol, A. D. ve Çetiner, S., “Giyilebilir elektronik/akıllı tekstiller ve uygulamaları”, *KSU(Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi) Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(1), 97–104, (2017).

Ersoy, M. S., “Nanokompozit yapıları elektriksel iletken ve elektromanyetik kalkan özellikli teknik tekstillerin tasarımı ve geliştirilmesi”, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Enstitüsü*, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (2012).

Galéa, B., Xing, J. H., Gaglione, R., Attané, P. and Soucemarianadin, A., “Formulation and characterization of textile inks for ink jet printing”, (Eds: Rezanka, I. and Eschbach, R.), *Recent Progress in Ink-Jet Technologies*, 5, 280–284, Yokohama, Ninth International Congress on Advances in Non-Impact Printing Technologies, (1993).

Gimpel, S., Mohring, U., Muller, H., Neudeck, A. and Scheibner, W., “Textile-based electronic substrate technology”, *Journal of Industrial Textiles*, 33(3), 179–189, doi:10.1177/1528083704039828, (2004).

Glauß, B., Steinmann, W., Walter, S., Beckers, M., Seide, G., Gries, T. and Roth, G., “Spinnability and characteristics of polyvinylidene fluoride (PVDF)-based bicomponent fibers with a carbon nanotube (CNT) modified polypropylene core for piezoelectric applications”, *Materials*, 6(7), 2642–2661, doi:10.3390/ma6072642, (2013).

Gonçalves, C., Ferreira da Silva, A., Gomes, J. ve Simoes, R., “Wearable e-textile technologies: a review on sensors, actuators and control elements”, *Inventions*, 3(1), 14, doi:10.3390/inventions3010014, (2018).

Hong, H., Hu, J. and Yan, X., “UV curable conductive ink for the fabrication of textile-based conductive circuits and wearable UHF RFID tags”, *ACS Applied Materials and Interfaces*, 11(30), 27318–27326, doi:10.1021/acsami.9b06432, (2019).

Hsu, P. C., Shen, C. L., Chen, F. L., Huang, H. S., Wang, W. C. and Huang, T. H., “A printed physiological monitoring module in e-textile”, *International Flexible Electronics Technology Conference (IFETC)*, 1–2, IEEE, doi:10.1109/IFETC.2018.8583978, (2018).

Kadoğlu, H. ve Duran, D., “İletken iplikler ve kullanım alanları”, (*TSE Standart Ekonomik ve Teknik Dergi*, 51(602), 24–31, (2012).

Kaplan, M., “Hybrid yarns for thermoplastic composites: manufacturing methods and properties”, *Tekstil ve Mühendis*, 23(101), 61–79, doi:10.7216/1300759920162310106, (2016).

Karakan, G., “Teknik tekstillerin koruyucu yapılarda kullanımı”, *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 3(1), 65–70, (2009).

Kayacan, O. ve Bulgun, E. Y., “Akıllı tekstiller ve elektriği ileten tekstil esaslı malzemeler”, *Tekstil ve Mühendis*, 12(58), (2005).

Kazani, I. (Ed), “*Study of screen-printed electroconductive textile materials*”, Belgium, Ghent University, Department of Textiles, Faculty of Engineering and Architecture, (2012).

Ke, S. H., Xue, Q. W., Pang, C. Y., Guo, P. W., Yao, W. J., Zhu, H. P. and Wu, W. “Printing the ultra-long Ag nanowires inks onto the flexible textile substrate for stretchable electronics”, *Nanomaterials*, 9(5), 686, doi:10.3390/nano9050686, (2019).

Klein, M., Heimann, P., Isaacs, S. and Riviere, J., “Developments in psychoanalysis”, (Eds: J. Riviere and E. Jones), *Systems Research for Behavioral Science: A Sourcebook*, Routledge Publisher, doi:10.4324/9780429473661, (2018).

Kurul, F., “Elektro-eğirme metoduyla üretilen Ag veya Pt nanopartiküllü PVA nanofiberlerin elektriksel iletkenliklerinin ve hidrofobik/hidrofilik etkileşiminin incelenmesi” Yüksek lisans Tezi, *Konya Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya (2019).

Li, Y., Torah, R., Beeby, S. and Tudor, J., “An all-inkjet printed flexible capacitor on a textile using a new Poly(4-Vinylphenol) dielectric ink for wearable applications”, *2012 IEEE Sensor*, 1–4, IEEE, doi:10.1109/ICSENS.2012.6411117, (2012).

Lipomi, D. J., Vosgueritchian, M., Tee, B. C. K., Hellstrom, S. L., Lee, J. A., Fox, C. H. and Bao, Z., “Skin-like pressure and strain sensors based on transparent elastic films of carbon nanotubes”, *Nature Nanotechnology*, 6(12), 788–792, doi:10.1038/nnano.2011.184, (2011).

Lund, A., Van Der Velden, N. M., Persson, N. K., Hamed, M. M. and Müller, C., “Electrically conducting fibres for e-textiles: an open playground for conjugated polymers and carbon nanomaterials”, *Materials Science and Engineering*, 126, 1–29, doi:10.1016/j.mser.2018.03.001, (2018).

Maity, S. and Arobindo, C. , “Conductive polymer based electro-conductive textiles for novel applications”, *Technical Textiles*, 1(January), E16–E18, (2015).

Matsuo, T., “Advanced technical textile products”, *Textile Progress*, 40(3), 123–181. doi:10.1080/00405160802386063, (2008).

Manasoglu, G., Celen, R., Kanik, M. and Ulcay, Y., “Electrical resistivity and thermal conductivity properties of graphene-coated woven fabrics”, *Journal of Applied Polymer Science*, 48024(1-8), doi:10.1002/app.48024, (2019).

McKnight, M., Agcayazi, T., Ghosh, T. and Bozkurt, A., “Fiber-based sensors: enabling next-generation ubiquitous textile systems”, *Wearable Technology in Medicine and Health Care*, 153–171, Elsevier, doi:10.1016/B978-0-12-811810-8.00008-7, (2018).

- Mecit, D., Ilgaz, S., Duran, D., Başal, G., Gülümser, T. ve Tarakçıoğlu, I., “Teknik tekstiller ve kullanım alanları (bölüm 2)”. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 3, 154–161, (2007).
- Memarian, F., Rahmani, S., Yousefzadeh, M. and Latifi, M., “Wearable technologies in sportswear”. *Materials in Sports Equipment*, 123–160, Tehran, Elsevier, doi:10.1016/B978-0-08-102582-6.00004-6, (2019).
- Mezarcız, S., Mezarcız, S. ve Oğulata, R. T., “Teknik tekstiller - otobs koltuk dşemelerinde kullanımı ve uygulanan test yöntemleri”, *Tekstil ve Mühendis*, (82), 36–41, (2018).
- Mohan, V. B., Jayaraman, K. and Bhattacharyya, D., “Hybridization of graphene-reinforced two polymer nanocomposites”, *International Journal of Smart and Nano Materials*, 7(3), 179–201, doi:10.1080/19475411.2016.1237389, (2016).
- Möhring, U., Neudeck, A. and Scheibner, W. “Textile micro system technology”, (Ed: H. R. Mattila), *Intelligent Textiles and Clothing*, 342–356, Thuringia-Vogtland, Elsevier. doi:10.1533/9781845691622.3.342, (2006).
- Norstebo, C. A., “Intelligent textiles, soft products”, *Journal of Future Materials*, 14, https://www.researchgate.net/publication/267778515_Intelligent_Textiles_Soft_Products , (2003).
- Numakura, D., “Advanced screen printing: practical approaches for printable & flexible electronics”, *2008 3rd International Microsystems, Packaging, Assembly & Circuits Technology Conference*, 205–208, IEEE, doi:10.1109/IMPACT.2008.4783845, (2008).
- P, D. M., Singh, B. P. and Karthikeyan, S., “Role of iot in healthcare using smart textiles”, *International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology*, 5(1), 191–195, (2019).
- Paradiso, R., Caldani, L. and Pacelli, M., “Knitted electronic textiles”, *Wearable Sensors*, 1, 153–174, Pisa: Elsevier, doi:10.1016/B978-0-12-418662-0.00003-9, (2014).
- Rehnby, W., Gustafsson, M. and Skrifvars, M., “Coating of textile fabrics with conductive polymers for smart textile applications”, *Welcome to Ambience’08*, 100–103, (2008).
- Sahito, I. A. and Khatri, A., “Smart and electronic textiles” (Eds: S. Ahmad, A. Rasheed, A. Afzal and F. Ahmad), *Advanced Textile Testing Techniques*, 295–314, CRC Press, doi:10.1201/b21272, (2017).

Samatya, S., “İletken polimerik poliüretan kompozit tekstil yüzeyleri üretimi ve karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Kahramanmaraş (2015).

Sen, A. K. “Coated textiles: principles and applications”, (Ed: J. Damewood), *Emeritus Scientist, Defence Materials and Stores Research and Development Establishment (DMSRDE)*, Taylor and CRC Press, Hindistan, doi:10.1201/9781420031928, (2001).

Sen, T., Shimpi, N. G. and Mishra, S., “Synthesis and sensing applications of polyaniline nanocomposites: a review tanushree”, *RSC Advances*, (48), 1–11, Hindistan, (2016).

Stoppa, M. and Chiolerio, A., “Testing and evaluation of wearable electronic textiles and assessment thereof”, (Ed: L. Wang), *Performance Testing of Textiles*, 4, 65–101, Elsevier, doi:10.1016/B978-0-08-100570-5.00005-0, İtalya, (2016).

Stoppa, Matteo and Chiolerio, A. “Wearable electronics and smart textiles: a critical review”, *Sensors*, 14(7), 11957–11992, doi:10.3390/s140711957, (2014).

Sünter, N., “İletken ipliklerin üretim yöntemlerinin ve özelliklerinin irdelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir, (2011).

Syduzzaman, M., Patwary, S. U., Farhana, K. and Ahmed, S., “Smart textiles and nano-technology: a general overview”, *Journal of Textile Science & Engineering*, 5(1), 1–7, doi:10.4172/2165-8064.1000181, (2015).

Swicofil, “Textile metalization [online]”, <https://www.swicofil.com/consult/innovations/conductivity/textile-metalization>.

Şahinoğlu Ural, N. ve Uygur, A., “Akıllı tekstiller ve günümüzdeki bazı uygulamaları”, *Sanat Tasarım Dergisi*, (5), 25–29, doi:10.17490/Sanat.201559166, (2015).

Şat, F., “Yarı iletkenlerde iletkenlik ölçümleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Mersin, (2010).

Türkoğlu, E., “Geçici elektromanyetik ve doğru akım elektrik öz direnç verilerinin ortak ters çözümü : avcılar örneği”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği*, İstanbul, (2003).

Tan, X. Q., Liu, J. Y., Niu, J. R., Liu, J. Y. and Tian, J. Y., “Recent progress in magnetron sputtering technology used on fabrics”, *Materials*, 11(10), 1953, doi:10.3390/ma11101953, (2018).

Thoppey, N., “E-textiles: where textiles meet electronics[online]”, (24 February 2017), <https://www.idtechex.com/en/research-report/e-textiles-2019-2029-technologies-markets-and-players/671>, *IDTechEx*, 15–20, (2018).

Uçar, S., “Teknik & akıllı tekstiller ve tasarımda kullanımları” Yüksek Lisans Tezi, *Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Tekstil Ve Moda Tasarımı Ana Sanat Dalı*, İstanbul, (2006).

UİB, “UİB teknik tekstiller raporu-mayıs 2017”, *Uludağ İhracatçı Birlikleri Genel Sekreterliği Ar&Ge Şubesi*, Bursa, (2017).

Üner, İ. ve Gürcüm, B. H., “Elektronik tekstillerde iletken mürekkep uygulamaları”. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(6), doi:10.5505/pajes.2014.87699, (2014).

Wang, L., Wang, X. and Lin, T. “Conductive coatings for textiles”, (Ed: W. Smith), *Smart Textile Coatings and Laminates*, 6, 155–188, Elsevier, doi:10.1533/9781845697785.2.155, Victoria, (2010).

Wilson, J. I. B., “Textile surface functionalisation by chemical vapour deposition (CVD)”, (Ed: Q. Wei), *Surface Modification of Textiles*, 6, 126–138, Elsevier, doi:10.1533/9781845696689.126, Edinburgh, (2009).

Xue, P., Tao, X., Leung, M.-Y. and Zhang, H., “Electromechanical properties of conductive fibres, yarns and fabrics”, (Ed: X. Tao), *Wearable Electronics and Photonics*, 81–104, Elsevier, doi:10.1533/9781845690441.81, Hong Kong, (2005).

Yazıcı, M., Tiyek, İ., Ersoy, M.S., Alma, M.H., Dönmez, U., Yıldırım, B., Salan, T., Karataş, Ş., Uruş, S., Karteri, İ., Yıldız, K., “Modifiye hummers yöntemiyle grafen oksit (GO) sentezi ve karakterizasyonu”, *Gazi University Journal of Science*, (2), 41-48, (2016).

Yılmaz, S., “Dy₂O₃, Eu₂O₃, Sm₂O₃ katkılanmış β-Bi₂O₃ tipi katı elektrolitlerin sentezlenmesi, karakterizasyonları ve katı hal oksijen iyonik iletkenliklerinin araştırılması”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2008).

Yıldırım, B., “Tekstilde iletkenlik ve iletken tekstiller”, *Fen Bilimleri Enstitüsü Malzeme Bilimi Ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı*, Kahramanmaraş, (2014).

Yıldız, Z., “İletken polimerlerle muamele edilmiş tekstil yüzeylerinin elektrik iletkenliği ve elektromanyetik kalkanlama özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tekstil Eğitimi Anabilim Dalı, İstanbul, (2011).

Zhang, X., Öberg, V. A., Du, J., Liu, J. and Johansson, E. M. J., “Extremely lightweight and ultra-flexible infrared light-converting quantum dot solar cells with high power-per-weight output using a solution-processed bending durable silver nanowire-based electrode”, *Energy & Environmental Science*, 11(2), 354–364, doi:10.1039/C7EE02772A, (2018).

7. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	: Hediye İpek GÜLBAŞ SARI
Doğum Yeri ve Tarihi	: Hatay - 1992
Lisans Üniversite	: Ege Üniversitesi
Elektronik posta	: ipekgulbas@windowslive.com
İletişim Adresi	: Denizli

Yayın Listesi : 2017- UTİB 9.Uluslararası Arge Proje Pazarı Kitabı, Sf: 254-255, Bursa, “Askeri Kamuflej Kumaşlarında Kablosuz Veri İletişiminin Gerçekleştirilmesi Üzerine Bir Çalışma”, 2017-IITAS-EGEMEDITEX, İzmir “Spor Teknik Tekstili Alanında Kullanılan Örgü Kumaşlarda Para-Aramid İpliği İle Farklı Konstrüksiyonların Geliştirilmesi ve Yeni Ürün Tasarımı” - Patent App. No: 2017/19391.

2015 yılında Ege Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği / Tekstil Terbiyesi ve Kimyası Bölümü’nden mezun olduktan hemen sonra Gamateks Tekstil Tic. A.Ş.’ de ARGE departmanında başmühendis olarak çalıştı ve bir çok projede yer aldı, ARGE Merkezi kurulumunda bulundu. 2017’de Anadolu Üniversitesi İşletme Bölümü’nden mezun oldu ve Pamukkale Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans programına başladı. 2018 yılında Narkonteks Tekstil Tic. A.Ş. Tasarım Merkezi kurulumunda bulundu ve bir sene boyunca Ekonomi Bakanlığı devlet destek ve teşvik programları üzerinde ve proje mühendisi olarak çalıştı. Yüksek Lisans eğitiminin 2018-2019 Eğitim-Öğretim Yılı’nı, öğrenci değişim programı ile Technical University Gheorghe Asachi of Iasi, Romanya’da tamamladı. 2020 yılında Pamukkale Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans programından mezun oldu.