

**T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SPOR GİYSİLİK KUMAŞLARIN PERFORMANS ÖZELLİKLERİNİN
NANOTEKNOLOJİK ÜRÜNLER KULLANILARAK GELİŞTİRİLMESİ VE
APLİKASYON TEKNİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

CEM GÜNEŞOĞLU

**DOKTORA TEZİ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

BURSA 2006

**T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SPOR GİYSİLİK KUMAŞLARIN PERFORMANS ÖZELLİKLERİNİN
NANOTEKNOLOJİK ÜRÜNLER KULLANILARAK GELİŞTİRİLMESİ VE
APLİKASYON TEKNİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

CEM GÜNEŞOĞLU

**DOKTORA TEZİ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Bu tez 21/07/2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

**Doç.Dr. Dilek KUT Prof.Dr.H.Rıfat ALPAY Yrd.Doç.Dr.Aysun CİRELİ
(Danışman) (Üye) (Üye)**

**Doç.Dr. Merih Sarıışık
(Uye)**

**Doç.Dr.Behçet Becerir
(Uye)**

ÖZET

Bu çalışmada, sıvı iticilik amaçlı uygulanan nanoteknolojik ürünler kullanıldığında spor giysilik kumaşların performans özelliklerinde meydana gelen değişimler araştırılmış ve farklı aplikasyon tekniklerinin kullanılmasının işlem üzerine etkileri incelenmiştir. Bu amaçla, işlem görmüş kumaşların su/yağ iticilik, renk değişimi, renk haslıkları, mukavemet, açığa çıkan formaldehit miktarı, aşınma dayanımı, temas açısı ve film tabakası dayanıklılığı gibi çeşitli performans özellikleri, ilgili yöntemlerle ölçülerek konvansiyonel ürünlerle karşılaştırması yapılmıştır. Nano ve konvansiyonel tip kimyasalların spektrometrik yöntemlerle alınan yapı analizleri, parçacık büyüklüğü ve dağılımı analizleri, kumaş yüzeyinden alınan SEM görüntüleri sonuçları yorumlamakta kullanılmıştır. Ayrıca, elektrospin ve plazma tekniklerinin nano kimyasalların aplikasyonunda kullanımında elde edilen sonuçlar incelenmiştir.

Birinci bölümde çalışmanın amacı, ikinci bölümde tekstil yüzeylerinde sıvı iticilik özelliğinin geliştirilmesi, nanoteknoloji ve tekstilde kullanımına yönelik teorik ve deneysel çalışmalar anlatılmıştır. Üçüncü bölümde deneysel çalışmada kullanılan materyaller, yöntemler, kimyasal analizler, aplikasyon teknikleri ve ölçüm cihazları verilmiştir. Dördüncü bölümde deneysel çalışmaların sonuçları verilerek değerlendirmeler yapılmıştır, elektrospin ve plazma uygulamalarının kullanımına yönelik yaklaşımlar belirlenmiştir.

Çalışma sonuçları, parçacık büyüklüğünün sıvı iticilik bitim işleminin etkinliği, kalıcılığı ve kumaşların çeşitli performans özellikleri üzerinde etkili olduğunu göstermiştir. Elektrospin ve plazma tekniklerinin kullanımı da, söz konusu nano bitim işleminin kullanımında çeşitli kazanımlar sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Su / yağ iticilik, nanoteknoloji, parçacık büyüklüğü ve dağılımı, elektrospin, plazma

ABSTRACT

This study investigates the changes in performance properties of sportswear fabrics when treated with nano chemicals applied for liquid repellency and evaluates the effects of different application techniques. For this purpose, various performance properties of treated fabrics such as water / oil repellency, color change, color fastness, strength, formaldehyde amount, abrasion resistance and film layer resistance are measured with relevant methods and comparisons with conventional products are done. The chemical structure and particle size and distribution analyzes with spectrometric methods of nano and conventional chemicals, the SEM images from fabric surface are also considered for evaluations. Besides, the results which are obtained when applying the electrospin and plasma techniques are determined.

The first section gives the purpose of the study. The theoretical and experimental studies on advancing the liquid repellency of textile surfaces, nanotechnology and applications in textile are given in the second chapter. The third chapter gives materials, methods, chemical analyzes, application techniques and measuring devices used in the experimental study. The results and comments are given, some approaches for usage of electrospin and plasma applications are determined in the fourth section.

The results of the study show that particle size is effective on the efficiency and durability of liquid repellency treatment and various performance properties of fabrics. Electrospin and plasma applications give some advances in that nano treatment.

Keywords: Water/oil repellency, nanotechnology, particle size and distribution, electrospin, plasma

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1.GİRİŞ	1
2.KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1.Tekstil yüzeylerinde ıslanma ve sıvı iticilik	3
2.2. Florokarbonlar (Floroalifatik Kimyasallar)	8
2.3. Nanoteknoloji	14
2.3.1. Nanoteknolojinin Amaçları	19
2.3.2. Nanoteknolojinin Uygulama Alanları	19
2.3.3. Nanoteknolojinin Tekstil Sektöründeki Uygulamaları (Nano-Tekstiller)	24
2.3.4. Nano-Tekstillerin Sınıflandırılması	30
2.3.4.1. Nano Lifler	30
2.3.4.2. Nano Kompozitler	38
2.3.4.3. Nano Ölçekli Yüzey Uygulamaları	41
3. MATERYAL VE YÖNTEM	46
3.1. Materyal	46
3.1.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Kumaşlar ve Özellikleri	46
3.1.2. Nano ve Konvensiyonel Tekstil Bitim Kimyasalları	48
3.1.3. Çalışmada Kullanılan Cihaz ve Düzenekler	50
3.1.3.1. Emdirme Yöntemine Göre Aplikasyonların Yapıldığı Laboratuar Cihazları	50
3.1.3.2. KSV CAM 100 Temas Açısı Ölçüm Cihazı	51

3.1.3.3. Brookhaven 90Plus Parçacık Boyut Analiz Cihazı	51
3.1.3.4. Jeol JSM 6060 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	52
3.1.3.5. Bio-rad FTS 185 Fourier Transform Infrared Spektrometresi (FT-IR)	52
3.2. Yöntem	53
3.2.1. Kimyasal Yapı Analizleri	53
3.2.1.1. Brookhaven 90Plus Cihazı ile Alınan Ölçümler	53
3.2.1.2. Jeol JSM 6060 ile alınan SEM görüntüleri	56
3.2.1.3. Fourier Transform Infrared Spektrometresi (FT-IR) analizleri	56
3.2.2. Aplikasyonlar ve Sonrasında Alınan Performans Ölçümleri	56
3.2.2.1. CAM 100 Cihazı ile Alınan Ölçümler	57
3.2.3. Farklı Aplikasyon Tekniklerinin Kullanılması	59
3.2.3.1. Elektrospin Düzeneği ile Yapılan Denemeler	59
3.2.3.2. Plazma Yöntemi ile Yapılan Denemeler	60
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	62
4.1. Parçacık büyüklüğü ve dağılımı analizi	62
4.2. Aplikasyonlar Sonrası Ölçülen Performans Analizleri	82
4.2.1. Aplikasyonlar Sonrası Renk Farkı	82
4.2.2. Aplikasyonlar Sonrası Renk Haslıkları	83
4.2.3. Aplikasyonlar Sonrası Kumaş Mukavemeti	89
4.2.4. Aplikasyonlar Sonrası Su ve Yağ İticilik Değerleri	91
4.2.5. Aplikasyonlar Sonrası Açığa Çıkan Formaldehit Miktarları	92
4.2.6. Aplikasyonlar Sonrası Aşınma Dayanımı	92
4.2.7. Temas Açısı Ölçümleri	95

4.2.8. Film Tabakası Dayanımı	96
4.3. Elektrospin Denemeleri	100
4.4. Plazma Denemeleri	109
4.5. Sonuç	115
KAYNAKLAR	124
EKLER	131
TEŞEKKÜR	
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Ara yüzey gerilimleri ve temas açısı	4
Şekil 2.2. Elektroflorizasyon yöntemi ile florokarbon eldesi	10
Şekil 2.3. Telomerizasyon yöntemi ile florokarbon eldesi	10
Şekil 2.4. “Küçük” ne kadar küçük?	16
Şekil 2.5. a) Fullerene molekülü b) Karbon nanotüp	18
Şekil 2.6. a) Silikon nano zincir b) PSA kaplanmış nano kablo	22
Şekil 2.7. Nano poliamid 6.6. lifleri ve saç teli	31
Şekil 2.8. PEDT lifinin çapı ve elektrik iletkenliği arasındaki ilişki	32
Şekil 2.9. Nano lif üretimi için elektrospin yöntemi	34
Şekil 2.10. SiC / Al ₂ O ₃ nano kompozit yüzey	40
Şekil 2.11. a) Hidrofil kumaş nano bitim sonrası su itici hale gelmiştir. b) İşlem sonrası lif yüzeyindeki nano yapıyı gösteren SEM fotoğrafı	42
Şekil 3.1. CAM 100 Temas Açısı Ölçüm Cihazı	51
Şekil 3.2. 90Plus Parçacık Boyut Analiz Cihazı	52
Şekil 3.3. Hidrodinamik çap	55
Şekil 3.4. Yüzeydeki damlanın geometrisi	58
Şekil 3.5. CAM 100 ile yapılan ölçümlerinde ekran görüntüsü ve bulunan temas açısı değerleri	58
Şekil 3.6. Elektrospin düzeneği	60
Şekil 3.7. PICO Düşük Basınç Plazma Sistemi	61
Şekil 4.1. Konvansiyonel tip çapraz bağlayıcı için boyut dağılımı grafiği	62
Şekil 4.2. Nano tip çapraz bağlayıcı için boyut dağılımı grafiği	64
Şekil 4.3. Konvansiyonel tip floropolimer için boyut dağılımı grafiği	65
Şekil 4.4. Nano tip floropolimer için boyut dağılımı grafiği	66
Şekil 4.5. Nano tip floropolimer için FTIR analizi	67
Şekil 4.6. Konvansiyonel tip floropolimer için FTIR analizi	68
Şekil 4.7. Nano tip çapraz bağlayıcı için FTIR analizi	69
Şekil 4.8. Konvansiyonel tip çapraz bağlayıcı için FTIR analizi	70
Şekil 4.9. İşlem görmemiş kumaşa ait FTIR-ATR spektrumu	72

Şekil 4.10. Nano floropolimer aktarılmış kumaşa ait FTIR-ATR spektrumu	72
Şekil 4.11. Konvansiyonel floropolimer aktarılmış kumaşa ait FTIR-ATR spektrumu	73
Şekil 4.12. Nano çapraz bağlayıcı aktarılmış kumaşa ait FTIR-ATR spektrumu	73
Şekil 4.13. Konvansiyonel çapraz bağlayıcı aktarılmış kumaşa ait FTIR-ATR spektrumu	74
Şekil 4.14. FTIR / ATR spektrumları	75
Şekil 4.15. Kumaş numunelerinin dalgaboyu / % R eğrileri	78
Şekil 4.16. İşlem görmüş kumaş numunelerinin yansıma değeri değişimi	78
Şekil 4.17. Floropolimer ve çapraz bağlayıcı aktarılmış kumaşlarda renk farkı	80
Şekil 4.18. Kumaş numunelerinin aşınma devirleri sonrasında ölçülen renk farkı değerleri	81
Şekil 4.19. Kumaşların aplikasyonlar sonrası ölçülen renk farkı (DE) değerleri	83
Şekil 4.20. Kumaşların patlama mukavemeti değerleri	90
Şekil 4.21. N1, N2 N3, N1Ş ve B* aplikasyonu sonrası kumaşların aşınma dayanımı	93
Şekil 4.22. S, B, S+B, BT aplikasyonu sonrası kumaşların aşınma dayanımı	94
Şekil 4.23. Aşınma sonrası kumaş görüntüleri	98
Şekil 4.24. Aşınma sonrası 20x büyütülmüş kumaş görüntüleri	99
Şekil 4.25. Konvansiyonel floropolimer aktarılmış kumaş	101
Şekil 4.26. Nano floropolimer aktarılmış kumaş	102
Şekil 4.27. a) Konvansiyonel çapraz bağlayıcı aktarılmış kumaş b) Nano çapraz bağlayıcı aktarılmış kumaş	103
Şekil 4.28. a) N1 nano bitim b) S+B konvansiyonel bitim c) Tek adımda kurutma / kondenzasyon (şok kondezasyon) yapılmış N1Ş nano bitim aplikasyonu yapılmış kumaş	104

Şekil 4.29. Elektrospin düzeneğinde a) Nano floropolimer b) N1 nano bitimc) BT kombine bitim d) N1* nano bitim uygulaması yapılmış kumaş	107
Şekil 4.30. a) Plazma öncesi b) plazma sonrasında ait pamuk lifine ait SEM fotoğrafları	110
Şekil 4.31. a) Plazma öncesi b) plazma sonrasında ait poliamid lifine ait SEM fotoğrafları	111
Şekil 4.32. a) Plazma öncesi b) plazma sonrasında ait polyester lifine ait SEM fotoğrafları	112

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 2.1. Çeşitli liflerin temas açıları	5
Çizelge 2.2. Çeşitli liflerin su ile temasında ölçülen adhezyon gerilimi değerleri	6
Çizelge 2.3. Çeşitli katı ve sıvıların havaya karşı yüzey gerilimleri	11
Çizelge 2.4. Nano parçacıklar ve potansiyel tekstil uygulamaları	26
Çizelge 2.5. Elektrospın ile üretilen lif örnekleri	35
Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan pamuklu kumaşlar ve özellikleri	46
Çizelge 3.2. Boyanmış pamuklu kumaşlara ait renk bilgileri	47
Çizelge 3.3. Çalışmada kullanılan sentetik kumaşlar ve özellikleri	47
Çizelge 3.4. Boyanmış sentetik kumaşlara ait renk bilgileri	47
Çizelge 3.5. Çalışmada kullanılan kimyasallar	48
Çizelge 3.6. Çalışmada kullanılan reçeteler	49
Çizelge 3.7. Aplikasyonlar sonrası ölçülen performans özellikleri	57
Çizelge 4.1. Konvansiyonel tip çapraz bağlayıcı için boyut dağılımı	63
Çizelge 4.2. Nano tip çapraz bağlayıcı için boyut dağılımı	64
Çizelge 4.3. Konvansiyonel tip floropolimer için boyut dağılımı	65
Çizelge 4.4. Nano tip floropolimer için boyut dağılımı	66
Çizelge 4.5. I kodlu kumaş numunelerine ait yansıma değerleri	77
Çizelge 4.6. Kumaşlardan alınan Reflektans Spektrofotometre ölçüm sonuçları	82
Çizelge 4.7. I kodlu kumaşların aplikasyonlar sonrası tere karşı renk haslıkları	84
Çizelge 4.8. I kodlu kumaşların 5 yıkama sonrası tere karşı renk haslıkları	84
Çizelge 4.9. I kodlu kumaşların aplikasyonlar sonrası suya karşı renk haslıkları	85
Çizelge 4.10. I kodlu kumaşların 5 yıkama sonrası suya karşı renk haslıkları	85

Çizelge 4.11. I kodlu kumaşların aplikasyonlar sonrası sürtünmeye karşı renk haslıkları	86
Çizelge 4.12. I kodlu kumaşların 5 yıkama sonrası sürtünmeye karşı renk haslıkları	86
Çizelge 4.13. II kodlu kumaşların aplikasyonlar sonrası tere karşı renk haslıkları	87
Çizelge 4.14. II kodlu kumaşların 5 yıkama sonrası tere karşı renk haslıkları	87
Çizelge 4.15. II kodlu kumaşların aplikasyonlar sonrası suya karşı renk haslıkları	88
Çizelge 4.16. II kodlu kumaşların 5 yıkama sonrası suya karşı renk haslıkları	88
Çizelge 4.17. II kodlu kumaşların aplikasyonlar sonrası sürtünmeye karşı renk haslıkları	88
Çizelge 4.18. II kodlu kumaşların 5 yıkama sonrası sürtünmeye karşı renk haslıkları	89
Çizelge 4.19. Aplikasyon sonrası kumaş mukavemetleri ve işlem öncesine göre kayıp	90
Çizelge 4.20. Kumaşların su ve yağ iticilik değerleri	91
Çizelge 4.21. İşlem görmüş kumaşlardaki formaldehit düzeyleri	92
Çizelge 4.22. Ovalama devirleri sonrası % ağırlık değişimi	93
Çizelge 4.23. I kodlu kumaşlara ait temas açısı, adhezyon gerilimi ve su iticilik değerleri	95
Çizelge 4.24. I kodlu kumaşlara ait film tabakası dayanımı ölçümleri	96
Çizelge 4.25. Elektrospin düzeneğinde belirlenen çalışma parametreleri	105
Çizelge 4.26. Elektrospin ile aplikasyon sonrası yağ iticilik değerleri	108
Çizelge 4.27. Kumaşlara ait CILEAB eksen değerleri	113
Çizelge 4.28. Kumaşların yağ iticilik değerleri	113
Çizelge 4.29. Belirli sürelerde suda bekletilen numunelerdeki ağırlık değişimi	114

1. GİRİŞ

Spor giysilik kumaşların ter emicilik, kir iticilik, nefes alabilirlik gibi performans özelliklerinin, nanoteknolojik ürünler kullanılarak geliştirilmesi, nano ölçekli yüzey uygulaması olarak değerlendirilmektedir. Bu amaçla kullanılan spesifik kimyasallar, nano bitim reçetelerini oluşturur.

Ülkemizde, nano bitim olarak nitelenen işlemlerden yıkama dayanımı yüksek su/yağ iticilik bitim işlemi artan bir oranda uygulanmaktadır. Nano bitim işlemlerinin, kimyasalların sergilediği geniş spesifik yüzey alanı dolayısıyla liflerle daha yüksek seviyede etkileşim ve etkinlik artışı sağladığı ileri sürülmektedir. Ancak işlem ve kimyasal maliyetinin yüksek oluşu, işlem sonrası kumaş performansında görülen bazı kayıplar, optimizasyon çalışmalarının yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Ayrıca kumaş yüzeyindeki emülsifikasyonun nano skalada gerçekleştiğinin veya kullanılan kimyasalların parçacık büyüklüğü ve dağılımının nano seviyesinde olduğunun belirlenmesi, nano bitim kimyasalı ile aynı özellikleri kumaşa kazandıran konvansiyonel bitim kimyasallarının birbirleriyle detaylı karşılaştırmasının yapılması sonraki çalışmalara temel oluşturacaktır.

Bu çalışma, sıvı iticilik kavramı, bir tekstil yüzeyi olarak kumaşların sıvı iticilik özelliğinin geliştirilmesine yönelik yaklaşımlar, nanoteknoloji uygulamaları ve tekstilde kullanımına yönelik referans çalışmaların taranmasından oluşan kaynak araştırması; sıvı iticilik amaçlı uygulanan ve ticari kullanımı bulunan nano ve konvansiyonel bitim reçetelerinde kullanılan kimyasal maddelerin çeşitli kimyasal yapı analizleri, konvansiyonel ve nano bitim reçeteleri ile işlem gören kumaşlardan alınan çeşitli performans analizleri ve deneysel çalışmada incelenen yıkama dayanımı yüksek sıvı itici nano bitim kimyasalının kumaşlara aktarımı sırasında farklı aplikasyon tekniklerinin kullanılması durumunda ulaşılan verimin belirlenmesini kapsayan deneysel araştırmadan oluşmaktadır.

Doktora tezinde yapılan çalışmalar öncelikle;

- Nano skalada ürün kullanımı su/yağ iticilik özelliğinde artışa sebep oluyor mu?

- Su/yağ iticilik özelliğinde kalıcılık sağlıyor mu?
- Konvansiyonel bitim kimyasallarına nazaran sıvı iticilik performansında artış / fark var mı?
- İşlem sonrası diğer bazı kumaş özelliklerindeki değişimler neler?
- Parçacık boyutu bu özellikler üzerinde etkili oldu mu?

sorularının cevabını aramaktadır. Bununla birlikte, söz konusu nano bitim işleminin uygulanmasında yaygın olarak kullanılan fulard aplikasyonunun uygunluğu ve aplikasyon tekniğinin değiştirilmesi durumunda beklenen kazanımlar ve ulaşılan verim diğer değerlendirme başlıklarıdır.

Bu amaçla, ağırlıklı olarak kullanılan spor giysilik kullanıma uygun örgü, kalınlık ve gramaja sahip, %100 pamuklu örme kumaşlar kullanılmıştır. Kumaşlar, oluşturulan deney planına göre sıvı iticilik bitim reçeteleriyle işlem görmüş ve çeşitli performans özellikleri ölçülmüştür. Nano ve konvansiyonel bitim kimyasallarından alınan spektroskopik analizler, kumaş performans özellikleri arasındaki farkları yorumlamakta kullanılmıştır. Farklı aplikasyon tekniklerinin denendiği çalışmalarda, sentetik kumaşlar da çalışmaya dahil edilmiş ve selülozik mamuller için geliştirilen nano bitim işleminin, sentetik liflerden yapılan mamuller için de kullanılabilirliğinin geliştirilmesi üzerine yaklaşımlarda bulunulmuştur.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Tekstil yüzeylerinde ıslanma ve sıvı iticilik

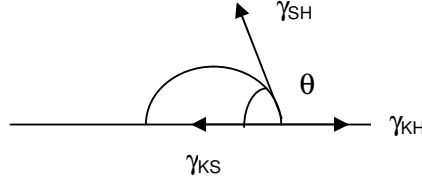
Tekstil yüzeylerinde ıslanma, lif-hava ara yüzeyinin, lif-sıvı ara yüzeyi ile yer değiştirmesi olarak tanımlanmıştır. Sıvı iticilik ise, lif, iplik ve kumaş yapılarının sıvılar tarafından ıslatılmasına karşı gösterilen dirençtir; sıvı iticilik için kabul gören bir diğer tanım lif-sıvı ara yüzeyindeki adhesif kuvvetlerin sıvının kohesif kuvvetinden düşük olma hali şeklindedir. Sıvıların tekstil malzemeleri ile etkileşimi, lif yüzeyinin ıslanması, lif yapısına sıvının taşınması, lif yüzeyinde adsorbsiyon ve sıvının içteki liflere difüzyonu gibi bir çok fiziksel davranışı içerir. Kumaş gibi lifli yüzeylerin ıslanmasında yayılma, emilme, adhezyon gibi çeşitli ıslanma mekanizmaları görülür. İplik ve kumaş gibi lifli malzemelerin sıvılarla etkileşimi, lifli yapının geometrisine, lif yüzeyinin gözenek boyutu dağılımı, lif çapı, yüzey pürüzlülüğü gibi kimyasal doğasına ve yüzey gerilimi, viskozite, yoğunluk gibi sıvı özelliklerine bağlıdır (Kıssa 1996, Wong ve ark. 2001). Raheel (1989), benzer geometriye sahip apre işlemi görmemiş kumaşlarda sıvı nüfuzu ve geçişinin lif türünün, iplik gözenekliğinin ve kumaş gözenekliğinin bir fonksiyonu olduğunu bulmuştur.

Islanma mekanizmalarıyla kumaş yapısına katılan sıvı, kapılar kanallar içinden ilerleyerek dağılır. Her ikisi ayrı birer fenomen olarak görülse de, ıslanma ve kılcallık birbirlerinden bağımsız değildir; kılcallığın görülmesi için ıslanma gerekir ve her ikisi tek bir prosesin (kapılar basınç etkisiyle sıvı akışı) sonucudur. Kılcallık, kapılar akış oluşturma yeteneği, ıslanma ise tekstil yüzeyi sıvı ile temas ettiğinde sergilediği ilk davranış olarak nitelendirilmiştir. Tekstil liflerini ıslatmayan sıvılar, kumaş içinde yayılamaz (Ghali ve ark. 1994, Kıssa 1996). Bu nedenle kumaşların 3-boyutlu düzlemde ıslanmasının (kumaş kapılar boşluklar içinde yayılmasının) gerek ve yeter şartı yüzey ıslanabilirliğinin önlenmesidir; kılcallık, kapılar boşlukları bir sıvı ile ıslatılan yapılarda görülür.

Daha geniş bir tanımlamayla ıslanma, katı-sıvı veya sıvı-hava ara yüzeyinin sıvı-sıvı ara yüzeyi ve katı-hava ara yüzeyinin katı-katı ara yüzeyiyle yer değişimidir. Islanma, katı yüzey üzerinde termodinamik etkileşimlerle bir

sıvının migrasyonu olarak tanımlanmış dinamik bir prosestir ve lif, iplik veya kumaşın sıvıyla temasının başladığı andaki davranışı açıklamak için kullanılır. Kendiliğinden (doğal) ıslanma, termodinamik denge boyunca sıvının katı yüzeyde migrasyonudur. Zorlanmış ıslanma ise, katı-sıvı ara yüzeyini genişletmek için uygulanan hidrodinamik veya mekanik kuvvetlerin etkisi ile meydana gelir (Kıssa 1996) .

Katı bir yüzeyin ıslanabilirliğinin en yaygın ölçüsü temas açısıdır. Yüzey üzerine bir sıvı damlası bırakıldığında, katı-sıvı-hava ara yüzeyleri için enerji dengesi ve temas açısı Şekil 2.1'de görülmektedir.



Şekil 2.1. Ara yüzey gerilimleri ve temas açısı

Katı-sıvı ara yüzeyindeki kuvvetler dengesi Young-Dupre eşitliği ile tanımlanır:

$$\gamma_{KH} - \gamma_{KS} = \gamma_{SH} \cos\theta \quad (2.1)$$

Burada γ ara yüzey gerilimi, θ denge halindeki temas açısıdır ve K, H ve S sırasıyla katı, hava ve sıvı yüzeylerini temsil etmektedir. $\gamma_{SH} \cos\theta$ ifadesi, ıslanabilirlik indeksi olarak tanımlanır. Bu ifade, dış kuvvetlerin bulunmadığı durumda, bir sıvı katı bir malzemeye nüfuz ettikçe enerji kazanımı olduğunu gösterir (Kıssa 1996, Kaplan ve Okur 2005) .

Temas açısı, sıvı-hava ara yüzeyinin teğet doğrusu ile katı-sıvı ara yüzeyi arasındaki açıdır ve her üç ara yüzeyin kesiştiği bölgede (temas çizgisi) meydana gelir ve sıvının yüzey gerilimi ile katının yüzey enerjisinin bir fonksiyonudur. Eşitlik 2.1'deki γ_{KH} yani katı-hava ara yüzeyi gerilimi, γ_{KS} yani katı-sıvı ara yüzeyi geriliminden büyük olduğunda $\cos\theta$ pozitiftir; bu durumda temas açısı 0 ile 90° arasında olmalıdır. Eğer γ_{KH} , γ_{KS} ' den küçükse, temas açısı 90 ile 180° arasında olmalıdır. Temas açısındaki küçülme ve $\cos\theta$ değerindeki büyüme, ıslanmanın arttığını gösterir. Genel olarak temas açısı 90° ve üzerinde olduğunda, sıvının yayılmadığı ve yüzeyin ıslanmadığı anlaşılır. Bu durumda

sıvı, kapılar kanallar içinde de ilerleyemeyecektir. Temas açısının sıfıra yaklaşması, ıslanabilirliğin maksimuma ulaştığı anlamına gelir. 0° temas açısı, yüzeyin tamamen ıslandığını gösterir (Saville 2000).

Persin ve ark. (2004) selülozik liflerin farklı ön terbiye işlemleri sonrasında sorbsiyon karakterini karşılaştırdıkları çalışmalarında, viskon lifinin lyocell ve modal lifine nazaran daha hidrofil olduğunu farklı sıvılara karşı daha düşük temas açısı verdiğini bularak göstermişlerdir.

Islanmanın olmadığı durumda (temas açısı $> 90^{\circ}$), sıvı ve katı yüzeyi arasında ikincil bağlar oluşmuyor demektir. Sıvının su olduğu düşünülürse, ıslanmayan katı yüzeyin hidrojen bağı oluşturacak yapıda olmadığı anlaşılır. Bu nedenle, su moleküllerinin bünyelerinde bağ yapabildiği higroskopik liflerin yüzeylerinin hidrofil karakterde olması beklenen bir durumdur (Warner 1995). Çeşitli liflerin temas açıları Çizelge 2.1'de görülmektedir.

Çizelge 2.1. Çeşitli liflerin temas açıları

Polimer	Temas Açısı			
	Etanol	Toluen	Etilen Glikol	Su
Polipropilen	47	--	74	86
Poliester	26	56	61	75
Poliamid	18	57	57	71

KAYNAK: Fiber Science, p.285, Warner 1995

Sıvı ve katı birim yüzeyleri arasındaki toplam etkileşim, yüzey gerilimlerin birlikte değerlendirilmesiyle hesaplanır. Bu ifade, adhezyon gerilimi (W_{KS} dyn / cm veya mN / m) olarak tanımlanabilir ve Eşitlik 2.2 ile verilir:

$$W_{KS} = \gamma_{SB} + \gamma_{KB} - \gamma_{KS} \quad (2.2)$$

Bu eşitlik, Young-Dupre eşitliği ile birleştirilirse,

$$W_{KS} = \gamma_{SB} (1 + \cos\theta) \quad (2.3)$$

eşitliği elde edilir. Bu eşitlik, adhezyon geriliminin sıvının yüzey enerjisi ve temas açısına bağlı olduğunu göstermektedir. Aynı sıvının, farklı yüzeylerle etkileşimi incelendiğinde, adhezyon geriliminin sadece temas açısına bağlı olacağı görülecektir. Temas açısının küçük olduğu yüzeylerde, adhezyon gerilimi büyüktür. Çizelge 2.2'de, farklı liflerin su ile temasında (oda sıcaklığında yüzey gerilimi 73 dyn/cm) bulunan adhezyon gerilimleri görülmektedir.

Çizelge 2.2. Çeşitli liflerin su ile temasında ölçülen adhezyon gerilimi değerleri

Lif	Adhezyon Gerilimi (Dyn/cm)
Pamuk	148
Okside cam	138
Karbon	128
Naylon	106
Polyester	85
Polipropilen	77
Teflon	56
Yün	46

KAYNAK: Fiber Science, p.285, Warner 1995

Zisman 1964 yılındaki çalışmasında, katı bir yüzey üzerinde bir dizi sıvının temas açılarını bularak sıvıların yüzey gerilimleriyle eşleştirmiştir. Meydana gelen eğriler, $\cos \theta = 1$ değerinde hemen hemen aynı γ_{SH} değerine (sıvının havaya karşı yüzey gerilimi) yaklaşmıştır. Zisman, bu γ_{SH} değerine katının kritik yüzey gerilimi adını vermiş ve sıvıların yüzey gerilimi bu değerin altında olursa katıyı ıslatacağını ileri sürmüştür (Kıssa 1996) .

Tekstil lifleri pürüzlülük, homojen olmama gibi sebepler yüzünden ideal yüzeyler değildir. İdeal olmayan yüzeylerde ölçülen temas açıları, histerisiz sergiler. Bu tip yüzeylerde, damlanın iki ucu arasında görülen temas açıları birbirinden farklıdır ve damlanın yükseldiği uçtan ölçülen temas açısı, gerilediği taraftan ölçülen açıdan daha büyük olacaktır (Kıssa 1996).

Tekstil liflerinin ıslanabilirliği üzerine yapılan çalışmalar, tek bir lif tipi içeren kumaşların yüzey ıslanabilirliklerinin, o liflerin ıslanabilirliği ile özdeş olduğunu göstermiştir (Hsieh ve Yu 1992, Hsieh 1995).

Katı bir yüzeyin ıslanmaya karşı direnci yüzeyin kimyasal yapısına, pürüzlülüğüne, gözenekliliğine ve yüzeyde diğer bazı moleküllerin varlığına bağlıdır (Kaswell 1953).

Giyim, ev tekstili ve teknik tekstiller gibi farklı kullanım alanlarına yönelik tekstil yüzeylerinden beklentiler sürekli artarken, özellikle su ve yağa karşı iticilik gibi kullanışlılık özellikleri daha fazla ilgi görmektedir. Endüstriyel standart yöntemlerine dayanarak yüzeylerin su ve yağ iticilik özelliğini değerlendirmek için geliştirilen Su/Alkol Damla Testi, INDA Standart Test 80.6, 3M Su İticilik Test II, AATCC Standart Test 118 gibi teknolojik test yöntemleri, farklı yüzey

gerilimlerine sahip sıvıların belirli süre içinde kumaş yüzeyini ıslatıp ıslatmadığına göre değerlendirme yapmaktadır. Bu testlerde, yüzeyi ıslatmayan sıvı belirlenerek derecelendirme yapılır. Tekstil yüzeyinin penetrasyona izin vermediği sıvının yüzey gerilimi ne denli düşükse, yüzeyin sıvı iticilik özelliği o denli yüksek veya geliştirilmiş demektir (Anonim 1991, Shao ve ark. 2004). AATCC Standart Test 22, DIN 53 888 Bundesmann Testi, DIN 53 886 Schmerber Testi gibi yöntemlerde ise su basıncına karşı direnç belirlenerek su iticilik değerlendirilmektedir (Lammermann 1991, Castelvetro ve ark. 2001).

Bir tekstil mamulünü suya karşı koyabilecek hidrofobik özellik kazandırmak için günümüze kadar ulaşan iki yol vardır:

1. Kumaş yüzeyini hidrofob polimer bir film tabakası ile kaplamak
2. Kumaş yüzeyine hidrofob monomer ve polimerleri fiziksel ve kimyasal yollarla tutturmak

Hidrofob tabaka olarak parafinle kumaşın kaplanması, su itici kumaş eldesinde en eski ve ucuz yöntemdir. Elde edilen yüzeyin su basıncına karşı direnci yüksektir ancak parafin emülsiyonları kumaşlara kovalent bağlarla bağlanmadıklarından dolayı yıkama ve kuru temizlemeye karşı dayanıklı değildir ve nefes alabilirlikleri düşüktür. Poliüretan, poliakrilat veya polisiloksan esaslı bir film tabakasının kumaş yüzeyine laminasyonu olarak tanımlanabilecek durumda kalıcı bir etki sağlanmakla beraber çeşitli dezavantajlar vardır. Bu işlemin tamamlanması özel ekipman gerektirir ve işlem maliyeti yüksektir. Ayrıca kumaşların kaplama sonrası renk ve desenlerinin kapanması ve gramaj artışı diğer dezavantajlardır. Polisiloksan kaplama daha düşük maliyetlidir ve kumaşa yumuşak bir tutum kazandırır, ancak yıkama ve kuru temizlemeye karşı dayanımı daha düşüktür (Lammermann 1991, Toprakkaya 1999, ¹, ²).

Hidrofobik monomerlerin kumaş yüzeyine tutturulduğu durum birkaç farklı kategoride incelenebilir:

- a) Suda çözünebilir sabunun life aktarılması ve ardından alüminyum tuzu banyosuna daldırılması. Elde edilen hidrofob alüminyum sabunları alkali deterjan banyolarında çözüldüğünden, bu işlemin yıkama dayanımı düşüktür.

¹ <http://www.freepatentsonline.com/6855772.html>

² <http://www.freepatentsonline.com/6872424.html>

Zirkonyum sabunlarının yıkama dayanımı daha yüksektir ancak kovalent bağla bağlanmama sebebiyle aşınma dayanımı düşüktür.

b) Lifle –Cr-O-Cr- bağı oluşturan yağ asidi krom komplekslerin kullanılması. Kompleks, hidrofob zincirin lif yüzeyinden dışarı doğru yönlendiği kovalent bağ oluşturur ve kalıcılık sağlar. Ancak reaksiyonun gerçekleşmesi asidik ortam gerektirir; bu durum özellikle selülozik liflerin degradasyonuna neden olur. Ayrıca metal kompleksin sebep olduğu mavi-yeşil renk, işlem görece kumaşların renginde sınırlama getirmektedir.

c) Kuarterner amonyum bileşikleriyle yapılan su iticilik işlemi. Bu bileşikler selülozla eter meydana getirerek kovalent bağla bağlanır. Ancak gerekli yüksek sıcaklık ve açığa çıkan HCl, lif zarar vermektedir. Ayrıca açığa çıkan piridin toksik olması ve işlem sonrası kumaşın yıkanması gerekliliği, işlemin yaygınlaşmasını önlemiştir.

d) Uzun hidrofob alkil grubu içeren polimerlerin N-metilol bileşikleriyle beraber emdirilmesi. Alkil N-metilol bileşikleriyle, asidik katalizör varlığında liflerin hidroksil gruplarıyla bağlanarak kalıcı hidrofob grupları lif yüzeyine bağlar. Ancak açığa çıkan toksik formaldehit ve yüksek işlem sıcaklığı ve asidik katalizörün lif vereceği zarar işlemin kısıtlarıdır. Kalıcı su iticilik sağlamak için kullanılan uzun zincirli izosiyonat, aziridin, vinil sülfon veya izopropinil bileşikleriyle ise benzer nedenlerle yaygınlaşmamıştır.

e) Suyun yanında yağ iticilik kazandırmak için kullanılan florokarbon esaslı maddeler. Bunlar, genellikle perflorlanmış alkil grupları içeren bileşiklerdir; kumaş ve sıvı arasındaki sınır yüzey gerilimini yükselterek koruyucu etkinlik gösterirler (Toprakkaya 1999, ¹, ²).

2.2. Florokarbonlar (Floroalifatik Kimyasallar)

Su ve yağ iticilik bitim işlemlerinde kullanılan florokarbonlar, yapay yolla üretilen organik kimyasallar olarak tanımlanmaktadır. Genel olarak bu tür kopolimerler, su ve yağ itici özellik kazandıran perfloroalkil grupları içeren monomer ve lif yüzeyine adhezyonu sağlayan florin içermeyen monomerden

¹ <http://www.freepatentsonline.com/6855772.html>

² <http://www.freepatentsonline.com/6872424.html>

oluşmaktadır. Lif yüzeyine çapraz bağla bağlanarak kalıcılık sağlayan N-metilol bazlı monomer veya kopolimerin lif yüzeyine takılmasını sağlayan anhidrid grubu içeren veya uygun katalizörle anhidrid grubu açığa çıkartan monomer veya yumuşatıcı / güç tutuşur / antibakteriyel gruplar da kopolimere eklenebilmektedir ¹ .

Floropolimer kavramından genel olarak anlaşılan kısmi florlanmış (hidrojen atomlarının yerine flor atomlarının yerleştiği) uzun florealifatik zincirlerdir. Bu polimerlerde 8 tane tamamen florlanmış karbon atomunun olması, -CF₃ uç gruplarının bulunması veya en az dört karbon atomuna sahip perfloro grupların bulunması iyi bir sıvı iticilik için yeterlidir. Bunun yanında polimer süspansiyonunun stabilitesini ve suda çözünebilirliğini arttırmak için florlanmamış normal alkil zincirlerinin (polietilenglikol veya benzer polar gruplar gibi) bulunması da etkili olmaktadır. Florealifatik zincir içeren polimerler poliester, poliamid veya poliepoksi gibi kondenzasyon polimeri veya akrilat, metakrilat veya polivinil eter gibi vinil polimeri, izosiyonat grup içeren sülfonamid alkanoller veya N-metilol kondenzatları olabilir. Floropolimer yapılarında, florealifatik zincir eldesinin kolaylığı açısından genellikle akrilat veya metakrilat monomerleri tercih edilir (Lammermann 1991, Toprakkaya 1999, ²)

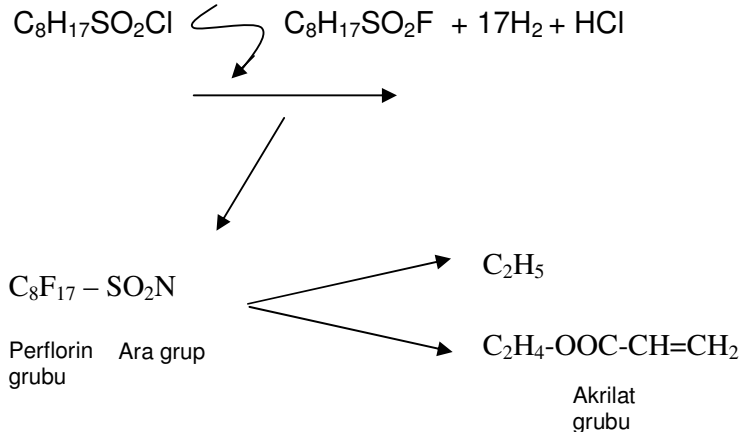
Perfloranmış zincirler iki yönteme göre elde edilebilmektedir (Lammermann 1991):

1. Elektroflorizasyon yöntemi: Bu yöntemde perfloranmış monomerler, yüksek yoğunluktaki elektrik akımının etkisi altında sıvı hidrojen florürdeki alkilsülfokloridlerden üretilmektedir. Genellikle dallanmış yapıda florealkiller elde edilir (Şekil 2.2).

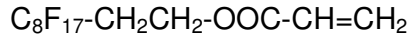
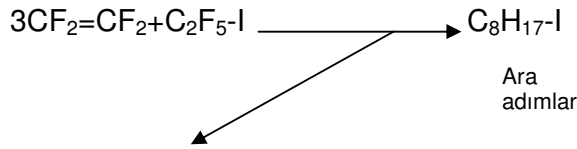
2. Telomerizasyon yöntemi: Bu yöntem, florinlenmiş plastiklerin üretimi için önemli bir hammadde olan tetrafloretilden çeşitli kimyasal ara aşamalarla pefloroakrilat üretimidir. Elde edilen perflorinlenmiş monomer lineer, yan dal içermeyen ve üniform yapıdadır (Şekil 2.3).

¹ <http://www.freepatentsonline.com/6472476.html>

² <http://www.freepatentsonline.com/6472476.html>



Şekil 2.2. Elektroflorizasyon yöntemi ile florokarbon eldesi



Perflorin grubu Ara grup Akrilat grubu (reaktif grup)

Şekil 2.3. Telomerizasyon yöntemi ile florokarbon eldesi

Florokarbon esaslı maddelerin iticilik özelliği, florokarbon diliminin yanı sıra, polimerin flor içermeyen bölümüne, florinlenmiş uçların yönelimine, lifler üzerindeki florokarbon miktarına, düzgün dağılımına ve kumaş geometrisine bağlıdır (Lammermann 1991, Toprakkaya 1999).

Florokarbon bileşiklerinin etki mekanizması, kritik üst yüzey gerilimi ile ilgilidir. Düşük serbest yüzey enerjisine sahip florokarbon polimeri, tekstil mamulü yüzeyinde düzgün bir dağılım meydana getirdiğinde mamulün kritik yüzey gerilimi değeri düşmektedir; bu değer su ve yağın havaya karşı yüzey gerilimi değerinden düşük olduğunda mamul suya ve yağa karşı iticilik özelliği kazanmaktadır (Jiang ve ark. 2005). Bu mekanizma şu şekilde de açıklanabilir: Flor bilinen en reaktif elementlerden birisidir; yüksek elektronegativite değeri (3.98) nedeniyle hemen hemen tüm elementlerle şiddetli bir etkileşime girer ve

meydana gelen flor bağı son derece sağlamdır. Florokarbonlar, zincirdeki karbon atomlarının flor atomları tarafından çevrelenmesi nedeniyle düşük reaktivite sergilerler. (Lammermann 1991, Toprakkaya 1999, Castelvetro ve ark. 2001). Yüzeyde flor bağlarının bulunması, sıvı ile yüzey arasında ikincil bağların kurulmasını güçleştirmekte ve sıvı, katı yüzeyi ıslatamamaktadır. Yüzeyin ıslanmasının engellenmesi, yapı içinde sıvı hareketinin (kılcallığın) önlenmesi için yeterli bir etki sağlar. Çeşitli katı ve sıvı maddelerin havaya karşı yüzey gerilim değerleri Çizelge 2.3'te görülmektedir. Çizelge 2.3'te görüldüğü üzere, florokarbon ile işlem görmüş kumaşın yüzey gerilimi değeri su ve çeşitli yağların havaya karşı yüzey geriliminden düşüktür; bu nedenle işlem görmüş kumaş su ve yağlara karşı iticilik kazanmaktadır.

Florokarbonlar sadece lif yüzeyini kapattığı ve kumaştaki gözeneklerin çoğu bu durumdan etkilenmediği için, işlem görmüş kumaşların hava, buhar ve nem geçirgenlikleri önemli oranda etkilenmemektedir (Corpat ve Dessaint 1997, Qi ve ark. 2002).

Çizelge 2.3. Çeşitli katı ve sıvıların havaya karşı yüzey gerilimleri

Sıvı maddenin yüzey gerilimi (dyn/cm)		Katı maddenin yüzey gerilimi (dyn/cm)	
Su	72	Parafin ile işlem görmüş kumaş	29
Sıcak su (80°C)	62	Silikon ile işlem görmüş kumaş	26
Şarap	45	Florokarbon ile işlem görmüş kumaş	10
Parafin yağı	33		
Zeytinyağı	32		
n-heptan	20		

KAYNAK: Bitim İşlemleri, Yüksek Lisans ders notları U.Ü, Toprakkaya, 1999

Qi ve ark.'nın (2002) polyester kumaşların Argon plazma tankında politetrafloretillen'den iyon demeti saçılması yöntemiyle florokarbon kaplandığı çalışmalarında, kumaşların işlem sonrası ölçülen adhezyon gerilimi değerinin kaplamadaki flor içeriği arttıkça azaldığı, kumaştaki gözeneklilik ve gözenek çapı arttıkça ise arttığı bulunmuştur.

Castelvetro ve ark. (2001), üç tip floropolimer yapının yün, pamuk ve poliester kumaşlara emdirme yöntemiyle aktardıkları ve kumaşların su iticilik, yağ iticilik özellikleri, suya karşı temas açıları ve tutumunu ölçtükleri çalışmalarında, standart test yöntemleriyle bulunan su ve yağ iticilik değerlerinin

temas açısı ölçümleriyle uyumlu olduğunu ve floropolimer kaplamanın kumaş tutumunu ayırt edilebilir seviyede etkilemediğini bulmuşlardır.

Floropolimer yapıların, sinerjetik etki göstererek su ve yağ iticilik performansının geliştirilmesi amacıyla hidroksialkil metakrilat monomeri ve klor içeren (vinil klorür veya vinilden klorür gibi) gruplar eklenebilir. Hidroksialkil metakrilat ile kopolimer elde edilmişse, kalıcılığın sağlanması için (buruşmazlık sağlamak amacıyla kullanılan) çapraz bağlayıcı kimyasalın kullanılması yaygın bir çalışma şeklidir ¹.

Florokarbonlarla işlem görmüş kumaşların su iticilik özeliği yıkama sonrası gerilemekte, ancak ısı ile geri kazanılabilmektedir. Bu gerilemenin sebebinin hidrofob floroalkil grupların yıkama esnasında polimerik tekstil malzemesi içine rotasyonunun olduğu düşünülmektedir. Bu durum, lif yüzeyindeki florun lif içlerine doğru difüzyonuna da sebep olmaktadır. Eğer lif yüzeyi ile su iticilik sağlayan floroalkil gruplar arasında çapraz bağlar oluşturulabilirse yıkama esnasındaki rotasyonlar önlenir ve su iticilik özelliğine kalıcılık sağlanabilir (Sato ve ark. 1994). Juhue ve ark. (2001) ise su iticilik özelliğinin yıkamayla gerilemesini, florokarbon polimer ile lif yüzeyi arasındaki morfolojinin değişmesine ve aralarındaki adhezyon mekanizmasının modifiye olmasına bağlamıştır. Sawatari ve ark. (1998), pamuklu kumaşların alilasyon ve brominasyon yöntemleriyle sağlanan alkilasyonunun kazandırdığı su iticilik özelliğinin ise, kumaş üzerindeki alkil zincirinin uzunluğu 18 karbon ve üzeri olduğunda 20 yıkamaya kadar kalıcılık sergilediğini göstermiştir.

Xu ve Shyr (2001), FTIR analizi sonucunda ticari olarak kullanılan florokarbon kimyasalında hidroksil gruplarının (-OH) varlığını göstererek, lifteki hidroksil gruplarıyla florokarbon kimyasalı arasında çapraz bağlanmanın kurulabileceğini ifade etmişlerdir. Lif yüzeyindeki -OH gruplarının sayısını ve reaktivitesini artırarak çapraz bağlanmanın etkinliğini artırılması üzerine yaptıkları çalışmalarında ise, Xu ve Shyr (2000) pamuklu kumaş üzerine hidroksietil metakrilat (HEMA) grupları bağlandığında, artan hidroksil grupları nedeniyle daha etkin bir çapraz bağlanma sağlanabildiğini göstermiştir.

¹ <http://www.freepatentsonline.com/6472476.html>

Sato ve ark. (1994), kumaşların florokarbon kimyasalı ile terbiyesinde dimetiloldihidroksietilenüre (DMDHEU) esaslı N-metilol bileşiğinin bir arada kullanılması ile su iticilik özelliğinin kalıcılığının arttırılabildiğini göstermişlerdir. Ancak çapraz bağlayıcı olarak N-metilol grupları kullanıldığında, işlem esnasında formaldehit açığa çıkması dikkat edilmesi gereken bir sorundur. Bu nedenle anhidrid grup içeren monomerlerin kullanılması ile floropolimerin lif yüzeyine tutturulması ve kalıcılığın sağlanması toksikolojik açıdan daha güvenli bir çalışma şeklidir. Bu tür monomerler, karboksilik asit ve karboksilik asit anhidridler arasından seçilir. Monomerdeki anhidrid fonksiyonel grubu, tekstil mamülündeki hidroksil, amin, karboksilat, metal oksit veya disülfid gibi gruplarla kovalent bağ oluşturur ve floropolimerin mamüldeki kalıcılığını geliştirir. Jiang ve ark. (2005) çalışmalarında, poli-isosiyonat grupları içeren perfloroalkil polimeri kullanıldığında isosiyonat gruplarının ısı ve alkali etkilerle parçalanarak serbest isosiyonat uç grupları oluşturduğunu ve bunların da pamuklu kumaşların hidroksil gruplarıyla reaksiyona girip poliüretan elastomerleri oluşturarak floroalkil grupları kumaşa bağladığını göstermiştir. Bu sayede pamuklu kumaşların su ve yağ iticilik özelliği 10 yıkamaya kadar dayanım göstermiştir.

Choi'nin (1992), Yang ve Wang'ın (1996), Yang ve ark.'nın (1998) ve Sricharussin ve ark.'nın (2004) bütantetrakarboksilik asit (BTCA), sitrik asit (CA), maleik asit (MA), itakonik asit (IA) gibi karboksilik asitlerin pamuklu kumaşların buruşmazlık bitim işleminde kullanımına yönelik çalışmaları, karboksil grupların dehidrasyonu ile 5'li veya 6'lı siklik anhidrid oluştuğunu ve son derece reaktif olan anhidrid grubu ile selüloz arasında esterleşme reaksiyonu ile çapraz bağlanmanın sağlandığını göstermiştir. Anhidrid oluşumunda alkali metal hipofosfit katalizörü yaygın olarak kullanılmıştır. Xu ve Shyr (2001), florokarbon kimyasalı ile BTCA'nın bir arada kullanıldığı durumda 50 yıkama ve ısı işlem sonrasında lif yüzeyindeki flor miktarının, BTCA kullanılmadığı durumdan 2 kat daha fazla olduğunu bulmuştur. Bu sonuç BTCA'nın, floroalkil grupları lif yüzeyine etkili bir biçimde çapraz bağlayabildiği ve kalıcılık sağladığı şeklinde yorumlanmıştır. Shao ve ark. (2004), perfloroalkil içeren multi-epoksi bileşiği (PFME) ile işlem görmüş kumaşların 10 yıkama

sonrası su ve yağ iticilik özelliğinin önceden sitrik asit emdirilmesi ile arttırılabileceğini göstermiştir.

Genel olarak florokarbonlarla su ve yağ iticilik eldesi gibi klasik bitim işlemleri ile sağlanan etkilerin yıkama ve aşınma dayanımının arttırılması için yapılan kimyasal modifikasyonlar belirli bir dayanım artışı sağlarken, çeşitli özelliklerde kayıplara ve toksik etkilere yol açabilmektedir. Bununla beraber, modifikasyonların her bir bitim kimyasalı için ayrı ayrı yapıma zorunluluğu önemli bir mühendislik sorunudur. Çeşitli fonksiyonel kimyasal maddelerin nanometrik polimerik bir kılıf içine yerleştirilmesi veya mikrometrik / nanometrik boyuttaki parçaların fonksiyonel gruplar vasıtasıyla tekstil yüzeyine veya ara bağlayıcı moleküllere tutturulması yeni bir üretim yaklaşımıdır. Kimyasalların nano miseller veya nano-sol içinde daha küçük parçacık boyutlarında aktarılması da benzer üretim yaklaşımlarındandır (Qian ve Hinstroza 2004, ¹). Bu tip üretim yaklaşımları, nanoteknoloji uygulamaları arasında değerlendirilmektedir ve nano bitim işlemleri tekstilde önemli uygulama potansiyeli taşımaktadır.

2.3. Nanoteknoloji

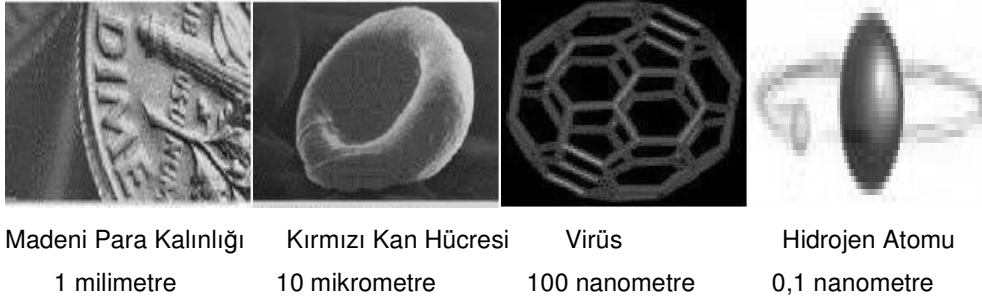
Nanoteknoloji, maddenin atomik-moleküler boyutta mühendisliğinin yapılarak yepyeni özelliklerinin açığa çıkarılması; nanometre ölçeğindeki fiziksel, kimyasal ve biyolojik olayların anlaşılması, kontrolü ve üretimi amacıyla, fonksiyonel materyallerin, cihazların ve sistemlerin geliştirilmesidir. Bir başka ifade ile çeşitli araçların, malzemelerin ve yapıların moleküler düzeyde işlenmesi, oluşturulması ve manipüle edilmesi olarak tanımlanmaktadır. Feynman'ın tanımına göre nanoteknoloji, "katı ortam içinde atomları tek tek, istenen bir düzene göre yerleştirme teknolojisi"dir. Nanoteknoloji, disiplinler arası bir teknolojik yaklaşım olarak malzeme bilimi, mekanik, elektronik, optik, tıp, plastik, enerji gibi bir çok alanda, son 10 yılda giderek artan oranda uygulama sahası bulmuştur (Demircan 2004, Qian ve Hinstroza 2004, Yuen ve ark. 2005). Forrest'a (1995) göre nanoteknoloji, moleküler kimya ve fizik

¹ <http://www.freepatentsonline.com/6607994.html>

prensipleriyle mekaniksel dizayn, yapısal analiz, bilgisayar bilimi, elektrik mühendisliği ve sistem mühendisliği gibi alanların mühendislik prensiplerini birleştiren disiplinler arası bir sahadır. Moleküler nanoteknoloji, malzeme ve cihazların tamamen moleküler seviyede üretimi ve üç boyutlu kontrolü olarak tanımlanabilir. Moleküler nanoteknolojiyi çözümlü kimyasından ayıran fark, bağ yapacak moleküllerin ayrı ayrı ve kontrollü biçimde bir araya getirilmesinin sağlanması ve reaksiyonun gerçekleşeceği fonksiyonel uçların istenen biçimde oryantasyona sokulabilmesidir.

Nanoteknoloji, nanoölçeklerde malzeme tasarlayıp üretmeyi, bu malzemelerden yeni yöntemlerle aygıt, alet üretmeyi amaçlar (Çıracı 2005).

Nano sözcüğü, Yunanca'da cüce anlamındaki "nanos"tan gelir, nanoteknoloji de bu bağlamda "çok küçük maddelerin teknolojisi" olmaktadır. 1 nanometre, metrenin milyarda biri, yani hidrojen atomunun çapının sadece 10 katıdır. Ne kadar küçük olduğunu canlandırmak zordur; boyutları giderek küçülen transistorlu radyolar, cep telefonları vb. aygıtlar nanoteknoloji dünyasında yeri olmayan dev yapılarıdır. İnsan saç telinin çapının yaklaşık 100,000 nanometre olduğu düşünülürse ne kadar küçük bir ölçekten bahsedildiği daha rahat anlaşılır. Bir başka deyişle, bir nanometre içine yan yana ancak 2-3 atom dizilebilir; yaklaşık 100-1000 atom bir araya gelerek nanoölçeklerde bir nesneyi oluşturur. Nanoteknoloji kapsamına giren malzemeler için 100 ile 1 nanometre (nm) (1/10 milyon metre ile 1/1 milyar metre) arasındaki herhangi bir büyüklük (uzunluk, genişlik veya kalınlık) ifade edilmektedir. Sadece bir tek boyutu nanometre mertebesinde olsa da, ultra incelikli kaplamalar da nanoteknoloji kapsamındadır. ABD Ulusal Bilim Vakfı, "Yaklaşık 1-100 nanometre uzunluk ölçeğinde yapılan araştırmalar ve kaydedilen teknolojik gelişmeler; bazı durumlarda kritik uzunluk ölçeği 1 nm'nin altında yada 100 nm'nin üstünde olabilir" şeklinde bir tanımda bulunmuştur (Demircan 2004, Çıracı 2005, Dal 2005). Şekil 2.4'te nanometre skalasının anlaşılması için bir "küçüklük sıralaması" verilmiştir.



Şekil 2.4. “Küçük” ne kadar küçük? (Demircan 2004)

Bir malzemenin sahip olduğu özellikler, malzemenin bir yada daha fazla doğrultudaki büyüklüğü nanometre düzeyinde küçültüldüğünde değişmektedir. Örneğin normalde kırılğan bir malzeme olan seramik, tanecik büyüklüğü nanometre değerine indirildiğinde kolaylıkla deforme olup şekillendirilebilmektedir. 1 nm büyüklüğündeki altın tanesi kırmızı renk göstermektedir. Dahası, nano büyüklükteki tozlarla takviyelendirilen kompozit malzemeler çok daha yüksek performans değerlerine ulaşmaktadır (Qian 2004, Çıracı 2005).

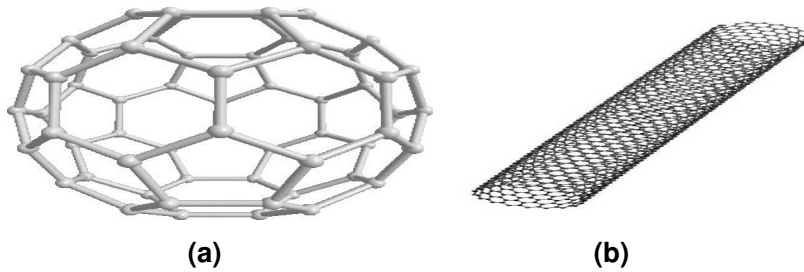
Malzemenin boyutu küçüldükçe çalışma hızı da artar. Boyutlar nanometre ölçeğine yaklaşırken malzemenin fiziksel özellikleri kuantum mekaniğinin kontrolüne girmekte; elektron durumlarının fazı ve enerji spektrumunun kesikli yapısı daha belirgin hale gelmektedir. Malzemeyi oluşturan atomların yapısı 100’ler düzeyine inince atomsal yapının geometrisi hatta atom yapısının kendisi bile fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde etken olur. Nanoölçekte bir yapıya yeni eklenen her atomun fiziksel özelliklerde neden olduğu değişiklikler, bu atomun cinsine, nanoyapının türüne ve geometrisine bağlıdır. Bir nanoyapının iletkenliği o yapıya tek bir atom eklense bile değişebilir. Benzer şekilde, nanoölçeklerde atomlar arası bağ yapısı da değişikliğe uğrayabilir; mekanik olarak malzeme güçlenirken ya da zayıflarken, elektronik olarak iletkenlik özelliği tamamıyla değişebilir. Örneğin, yarı iletken olan silisyum bir telin çapı nanometreye yaklaştıkça iletken bir karakter sergilemeye başlar. Tek boyutlu karbon dizisi, çelikten daha yüksek çekme mukavemetine sahiptir ve çok iyi iletkenidir. Nanoboyutta değişen özelliklere bir başka örnek kobalt ve demir gibi bazı maddelerin manyetik özellikleridir. Birkaç

nanometre boyutlarındaki parçacıklar, büyük parçalara göre çok daha güçlü manyetik özellikler gösterebilmektedir. Bu da, sabit disk teknolojisi, yüksek frekanslarda yansıtmayan radar emici kaplamalar gibi alanlarda uygulama sahası bulmuştur (Çıracı 2005, Aydınli ve Dana 2005).

Nanoteknoloji, çok küçük ölçekte yapı üniteleri kullandığı için hacimli yapıların üretimine kıyasla “temelden yukarıya” üretim olarak tanımlanır. 1950’lerde John von Neumann ve Arthur von Hippel, çalışmalarında malzeme tasarımında temelden yukarı yaklaşımından bahsetmişlerdir. Schrödinger, 1944 tarihli kitabında moleküler cisim ve makinelerin günlük hayatta kullanımından bahseden ilk araştırmacı olmuştur. Malzemelerin atomik seviyede üretimi fikri ise 1959’da fizikçi Richard Feynman tarafından ortaya atılmıştır. Feynman, 29 Aralık 1959’da Amerikan Fizik Derneği’nde yaptığı bir konuşmada, bir kenarında 5 atom olan, 125 atomluk küpten oluşan bir metal kümesinin bir bit olarak görev yapacağı ve bu şekilde günümüze dek yazılmış bütün sözcüklerin bir toplu iğnenin başına sığdırılabileceği bir program öngörmüştü. Feynman’ın moleküler düzeydeki bu yaklaşımı, moleküler biyoloji, moleküler elektronik, mekanik mühendisliği ve bilgisayar endüstrisindeki ilerlemenin temellerini atmıştır. Nanoteknolojinin babası olarak gösterilen Eric K. Drexler ise terimi, 1986 tarihli Engines of Creation kitabıyla genel kullanıma sokmuştur. Drexler, MIT (Massachusetts Teknoloji Enstitüsü)’da araştırmacıyken yazdığı kitabında binalardan uzay araçlarına kadar her şeyin atom atom üstüne koyularak inşa edildiği, yapay beyinlerin icat edildiği, minyatür montajcılarının kandaki hastalıklı hücreleri tek tek iyileştirdiği bir gelecek öngörmüştür (Forrest 1995, Demircan 2004, Aydınli ve Dana 2005).

Nanoteknolojiye uzanan sürecin, 20. yüzyılın başlarında maddeyi oluşturan parçacıklardan örneğin elektronların, hem parçacık hem de dalga gibi davrandığının, yine bu ölçeklerde belirsizlik kuramının geçerli olduğunun saptanmasına kadar gittiği söylenebilir. Bu temel öğelerden doğan kuantum mekaniği sayesinde atom ve moleküller doğru olarak algılanıp anlaşılmış; temel bilimler ve ilgili teknolojiler hızla gelişmiştir. İmalat sanayinde kullanılan malzemelerin atomsal yapısı, mekanik, elektronik ve manyetik özellikleri kuantum mekaniği sayesinde anlaşılmıştır. Bu bilgiler ışığında yeni malzemeler

de geliştirilmiştir; en önemlisi yarıiletken malzemeler, özellikle silisyum teknolojisi önem kazanmış ve mikroelektronik sanayi hızla gelişmeye başlamıştır. 1980'lerde bir çok çalışma atomları görüp, onları istediğimiz yere taşımaya olanak verecek gelişmelere yol açmıştır. Bu çalışmalar, büyüklükler nanometre düzeyine inince elektron enerjisinin kuantumlaşmasının elektrik ve ısı iletkenliği gibi fiziksel özelliklere yansıtacağını ve yeni kuantumlaşmalara neden olacağını göstermiştir. Önce taramalı tünelleme mikroskopunun (TTM), daha sonra bunun bir türevi olan atomik kuvvet mikroskopunun (AKM) keşfi, yüzeyde bulunan atomların ve moleküllerin gözlenmesine, atomsal düzeyde tepkimelerin izlenmesine olarak tanımlanmıştır. Bu gelişmeler, "boyutlar küçüldükçe yapılan çalışmaları izleme problemini" çözmekte oldukça etkili olmuştur. TTM'nin geliştirilmesi, araştırmacılarını 1986'da Nobel Fizik Ödülü ile ödüllendirirken Feynman'ın bahsetmiş olduğu atomik enstrümanların geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Eşzamanlı gelişen bilgisayar kapasiteleri ile nano skalada ölçüm ve modelleme yapmak mümkün olmuştur. Yine bu dönemde, malzeme yüzeyinde atomların TTM ucuyla başka bir noktaya taşınmasına olanak sağlayan atom-anahtarları yapılmıştır. Böylece, yeni nanoyapıların atomsal düzeyde tasarlanarak sentezlenmesi devri başlamıştır. 1990'ların başında, 60 karbon atomunun simetrik biçimde sıralanmasıyla elde edilen "fullerene molekülleri" geliştirilmiştir. 1 nanometre büyüklüğündeki bu molekül, çelikten daha güçlü, plastikten daha hafif, elektrik ve ısı geçirgen yapıların temel taşı olarak kullanıma sunulmuş, daha sonra bu moleküllerin uzun ve esnetilmiş hali olan ve çelikten daha hafif ve daha güçlü karbon nanotüpler üretilmiştir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. a) Fullerene molekülü b) Karbon nanotüp
(<http://www.scifun.ed.ac.uk>, <http://www.sussex.ac.uk/Users/kroto/FullereneCentre/>)

Bu tanımlamalar ışığında nanoteknolojinin kapsamı şu iki konu ile ilişkilendirilir (Forrest 1995):

1.Pozisyonel (moleküler) kontrol: Ürün ve yan ürünlerin moleküler düzeyde kontrolü esasına dayanır. Endüstriyel ya da doğal tüm ürünlerin özellikleri atomların nasıl düzenlendiklerine bağlıdır. Günümüzün makroskobik üretim yöntemleri ise moleküler düzeyde çalışmaya oldukça yetersiz kalmaktadır. Moleküler nanoteknoloji, istenen ürünlerin eldesi için atomların seçimli tertip ve dizimini amaçlayan bir metottur.

2. Kolay tekrarlanabilirlik: Nanoteknolojinin kritik bir diğer özelliği ürünlerin teminini ucuzlatması olmaktadır. Düşük maliyetli üretimin gerçekleşmesi için nanoteknoloji uygulamasının kolay dizayn edilmesi ve kolay tekrarlanır olması gerekmektedir. Atomik özellikli ürünler, mukavemet, sertlik, hız ve verimlilikte yüksek oranlar gösterir, yüksek kaliteli ve düşük maliyetlidir.

2.3.1. Nanoteknolojinin Amaçları

- Nanometre ölçekli yapıların analizi,
- Nanometre boyutunda yapıların fiziksel özelliklerinin anlaşılması,
- Nanometre ölçekli yapıların imalatı,
- Nano hassasiyetli cihazların geliştirilmesi,
- Nano ölçekli cihazların geliştirilmesi,
- Uygun yöntemler bulunarak nanoskopik ve makroskopik dünya arasındaki bağın kurulması.

2.3.2. Nanoteknolojinin Uygulama Alanları

Nanoteknolojinin bir çok alanda son 10 yılda giderek artan oranda kullanılmasının ve bunun derin toplumsal etkilerinin, ikinci bir sanayi devrimine yol açtığı ve tüm teknolojik gelişmeleri gölgede bırakacak devrim niteliğindeki yeniliklerin bilhassa nanoteknoloji ile destekleneceği düşünülmektedir (Sudarshan 2003, Qian ve Hinestroza 2004).

Nanoteknoloji, her geçen yıl daha fazla uygulama sahası bulmakta ve tüm dünya çapında daha fazla ilgi görmektedir. Pazar araştırma şirketi Lux Research'ün yayınladığı rapora göre, özel şirketler ve üniversitelerin 2004 yılı boyunca nanoteknoloji araştırmalarına ayırdığı ödenek, şimdiye kadar sektöre akan en yüksek rakam olan 8.6 milyar doları bulmaktadır. Rapora göre, dünya ölçeğinde 1500 şirket, giderek artan oranda nanoteknoloji alanına yatırım yapmaktadır. ABD, 1.6 milyar dolar ile nanoteknolojiye en çok kaynak ayıran devlet olmuştur ve mevcut 88 bin 546 nanoteknoloji patentinin yaklaşık yüzde 64'ü ABD'li kuruluşlara aittir. Başta ABD, Avrupa ve Japonya'dakiler olmak üzere bir çok üniversite ve araştırma kurumunda nanoteknolojinin farklı disiplinlerde uygulanmasına yönelik çeşitli araştırmalar ve sonuçların tartışıldığı çalışma grupları bulunmaktadır ¹.

Gelişmiş ülkeler, nanoteknolojiye odaklanarak ortaya çıkaracağı teknolojik devrimin içinde yer almalarını sağlayacak programlar üzerinde çalışmalar yapmaktadır. Bütün bu çabaların altında teknoloji yarışında geri kalma endişesi yanında, gelişmiş teknolojiyi kullanan otomotiv sanayi ve benzeri endüstrilerde rekabet nedeniyle kar marjlarının düşmüş olması ve rekabetsiz bir ortamda yüksek teknolojilere yönelme isteğinin olduğu söylenebilir (Çıracı 2005).

Nanoteknoloji bu bağlamda teknoloji yoğun, ihracata dönük, katma değeri yüksek, uluslararası standartlara uygun ve yerel kaynakların kullanımına olanak sağlayan çalışma sahası olarak ortaya çıkmaktadır. Nanofotonik, nanoelektronik, nanomanyetizma, nanomalzeme, nanokarakterizasyon, nano ölçekte kuantum bilgi işleme, nanobiyoteknoloji, nanofabrikasyon, akıllı malzemeler ve nanokompozitler, cazibe merkezi üretim olanakları olarak stratejik teknoloji yaklaşımları arasında sayılmıştır ².

Nanoteknoloji, bilimsel disiplin almadan önce de bilgisayar teknolojisinin devamlı küçülen çiplerinde ve mikroeletromekanik sistemlerde (MEMS) kendini göstermiştir. MEMS aygıtları, mikroskobik elektronik ve mekanik bileşenleri bir araya getiren minik düzenekler olarak tanımlanabilir. Halihazırda, mikro

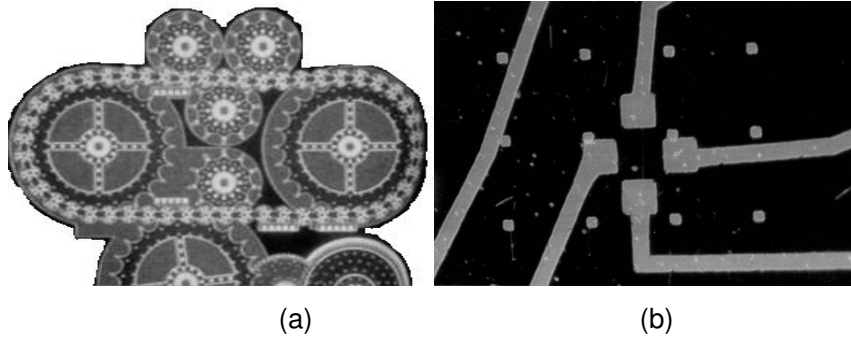
¹ <http://www.luxresearchinc.com>

² <http://vizyon2023.tubitak.gov.tr>

düzeyde tam-fonksiyonel pompalar, motorlar, duyargalar, v.b. elektromekanik sistemler kullanılabilmekte, posta pulundan daha küçük boyuttaki biyoçiplerin üretimi mümkün olabilmektedir. MEMS hareket duyargaları ve şalterleri, mürekkep püskürten yazıcıların kafalarında, oyun çubuklarında ve hava yastıklarında ivme saptayıcılarında kullanılmaktadır. MEMS pazarı halen yılda 10 milyar dolar kazandırmaktadır ve bu sistemlerin mikro düzeyden (MEM) nano düzeye (NEM) geçişinde ve bunların biyolojik sistemlerle entegrasyonunda devrim niteliğinde bilimsel aşamalar beklenmektedir. Örneğin Purdue Üniversitesi'nde yürütülen bir çalışmada dişlerinin DNA kullanılarak yapıldığı bir vites sistemi geliştirilmiş ve geçirgenliğin zaman içinde kontrol edilebildiği biyolojik yüzeyler elde edilmiştir. Benzer şekilde, oldukça küçük kuvvetleri ölçebilen nanoelektromekanik (NEMS) rezonatörler geliştirilmiş, kuvvet ölçümleri bugüne kadar oda sıcaklığında ölçülen en iyi değerden 10 kat daha duyarlı biçimde yapılabilmektedir. Teksas A&M Üniversitesi'nde, lazer darbeleriyle hareket ettirilen ve nanomakinalara malzeme taşıyacak birkaç molekülden oluşan nanolokomotif dizayn edilmiştir. Berkeley Üniversitesi'nde dünyanın en küçük içten yanmalı motoru imal edilmiştir. Bu, hafif yakıtla çalışan ve dakikada 40000 devir yapan bir rotordur; gelecekte diz üstü bilgisayarlara, sayısal kameralara ve diğer taşınabilir elektronik cihazlara mikro jeneratör olarak güç sağlayabilir. Sandia Ulusal Laboratuvarları'nda çalışan araştırmacılar, bu motorları daha da kullanışlı kılmak üzere kayış, zincir ve tekerlek kolu eklemeyi amaçlamaktadırlar. Böylece motordan devre kartının başka bir yerine güç aktarılabilir, MEMS'ler birden fazla aygıtı besleyebilir. MEMS'lere mikroskobik vitesler ekleyerek ufak motorların gücü 3 milyon kat artırılmış ve 450 gr.lık nesnelere havaya kaldırılabilmiştir. Bunun ilk akla gelen uygulama alanları fırlatma maliyetleri yüzünden hafif uydulardır. Şekil 2.6'da bu amaçla tasarlanmış silikon bir nano zincir görülmektedir (Demircan 2004, Gülseren 2005).

Nanoteknoloji, birkaç molekülü saptayabilen bir dedektör geliştirmek konusunda yardımcı olabilir, böylece "hassas burunlu" cihazlar üretilebilir. Nano ölçekte duyargalar yardımıyla, tarım ve gıda sistemlerindeki çok düşük miktarlarda olsa dahi kimyasal kontaminasyonun, patojenlerin veya virüs

parçacıklarının tespit edilmesi mümkün olacaktır. Gıda maddelerinin ambalajlanmasında kullanılacak bu sistemler sayesinde gıda ürünlerinin mikrobiyal kontaminasyonunun önceden tespiti ve kendi kendini koruma mekanizmaları yardımıyla önlenmesi ve böylece gerek depolama gerekse dağıtımda oldukça önemli kolaylıklar ve tasarruflar sağlanabilecektir. Bu konuda çalışan araştırmacılar, nanoelektromekanik sistem (NEMS) donanımlı aygıtları virüsleri ortaya çıkarmak üzere kullanmaya başlamış; nanotel alan-etki transistorlarıyla grip virüsleri gözlemlenmiştir. Harvard Üniversitesi'nden Prof. Charles Lieber ve ekibi, hücrelerle bağlantılı proteinlerin eser miktardaki izlerini saptayarak, prostat kanserinin yayıldığı yeri işaretleyen silikondan bir nano kablo yapmıştır. Bahsedilen nanokablo (nanotellerden yapılan alan-etki transistorları FET) 10 nanometre eninde, 1000 nanometre boyundadır ve yüzeyi Prostat Spesifik Antijeni'ne (PSA) bağlanan antikora kaplanmıştır. (Şekil 2.6). PSA, prostat kanserinin bir göstergesidir ve kanda PSA varsa kablodaki antikora bağlanacak, bu da kablodaki yük taşıyıcılarının konsantrasyonunu ve iletkenliğini değiştirerek FET transistorlardan geçen akımı değiştirecektir. Değişen akımın gözlemlenmesiyle, hastalık tanısı koyan bir sinyal alınacaktır. Geliştirilen nanokablo, geleneksel testlerde belirlenen miktarın dörtte biri kadar PSA düzeylerini saptayabilmekte ve derhal sonuç vermektedir. Şimdiden bir prototip geliştiren Lieber'in ekibi, az sayıda bakteri hatta virüsü ortaya çıkaran nano kablolar üstünde çalışmaktadır. Antikorlar, virüslerde bulunan proteinlere, bakteri ya da patojenlere karşı üretildiğinden, nano kablolar her çeşit kanser türünü ve şarbon gibi biyolojik silahları saptayabilir (Demircan 2004, Gülseren 2005).



Şekil 2.6. a) Silikon nano zincir b) PSA kaplanmış nano kablo (Demircan 2004)

Akışkanlardan, ulaşım, enerji üretimi, vb makro düzeyde yararlanmanın dışında, gelecekte nano düzeydeki özelliklerine bağlı olarak hastalıkların teşhisi, ilaç etkileşimlerinin belirlenmesi, DNA manipülasyonu ve işlenmesi, vücuda alınan gıda maddeleri ve sıvıların izlenmesi, bitki ve hayvanlarda sağlık takibi, çevresel izleme ve denetleme v.b. uygulamalar mümkün olabilecektir. Michigan Üniversitesi Biyolojik Nanoteknoloji Merkezi', vücuttaki kanserli hücreleri tanıyıp yalnızca o hücreyi yok edecek ilaçları hücre içine yerleştiren tekto-dendrimer moleküllerin üretimi üzerine çalışmalar yapmaktadır. Elan ve SHM, nano boyutlu ilaç üretimleriyle daha geniş yüzey alanı ve yüksek biyo-yeterlilik elde etmişlerdir. DNA moleküllerinin yapı blokları olarak kullanılması suretiyle nanokablolar ve nanomembranlar benzeri yapıların geliştirilmesi ve özellikle tarım ve gıda mühendisliğinde sayısız uygulama alanlarının bulunacağı öngörülmektedir (Anonim 2002, ¹).

Biyolojik malzemeden doğal biyolojik proseslerin kullanımıyla istenilen birleşimlerin elde edilmesi olarak tanımlanan biyoproses, nanoteknoloji sayesinde çok daha yüksek bir etkinlikte gerçekleştirilebilecektir. Moleküler problemlerin kullanımı, biyolojik malzemedeki mikropların çok daha hızlı bir şekilde tanımlanabilmesini sağlayacak olan kitler, örnek olarak verilebilir.

Gerek nanoteknoloji sayesinde yeni bir malzeme buluşuyla gerekse doğada var olan bazı malzemelerin (örneğin topraktaki nanoparçacıklar – kil, zeolit, imogolit) kullanılması suretiyle nano ölçekte farklı özellikler gösteren kompozit malzemelerin kullanımı mümkün olabilecektir. Tarımsal materyalin faydalı ürünlere dönüştürülmesi ve bu sayede çevrenin korunumu nanoteknolojinin gelişiminde önemli ve heyecan verici bir potansiyel alan olarak görülmektedir. Günümüzde özellikle bitkisel yağların biyo-yakıtlara ve endüstriyel çözeltilere dönüştürülebilmesinde ihtiyaç duyulacak nano-katalizörlerin geliştirilmesi ve tasarımı konusunda ciddi çalışmalar yapılmaktadır (Demircan 2004).

Nanocor firması, nanoparçacıklı yapısı sayesinde daha hafif ve daha dayanıklı kompozit otomotiv panel döşemeleri üretmiştir. General Motors, yakıt hücreleri, yakıt algılayıcıları ve seramik motorlar üzerinde çalışmalar

¹ <http://yunus.hacettepe.edu.tr/~emrecan/stm/nanoteknoloji.html>

yapmaktadır. Bu sayede benzin tüketiminin oldukça azaltılması mümkün olacaktır. New York Borsası'na açılan ilk nanoteknoloji şirketi olan Nanophase, nano-güneş kremleri için ürettiği nano çinko oksit parçacıklarla adını duyurmuştur. Ortalama büyüklükleri 24 – 71 nm arasında olan parçacıkların disperse olduğu güneş kremleri, şeffaf ama hem UVa hem de UVb ışınlarına karşı etkilidir. Nanogate firmasının geliştirdiği nano parçacık kaplama teknolojisi, cam ve seramik yüzeylerde kirlenme ve küflenmeyi önlemektedir. Benzer bir yaklaşımla, Nanophase çok yüksek aşınma dayanımına sahip vinil yer kaplamaları üretmiştir. Samsung ve IBM başta olmak üzere elektronik şirketleri, karbon nanotüp transistörleri kullanarak LCD ekranların yerini alacak atomik ışınlı, yüksek çözünürlükte ekran, manyetik kayıt sistemleri üzerine çalışmalar yapmaktadır (Anonim 2002, Fitzgerald 2002)

2.3.3. Nanoteknolojinin Tekstil Sektöründeki Uygulamaları (Nano-Tekstiller)

Tekstilde nanoteknoloji uygulamaları, nano-tekstiller olarak adlandırılabilir. Nano-tekstil tanımı, nanoteknoloji uygulamaları sonucu elde edilen tüm tekstil yüzeylerini ifade etmektedir.

Doğal ve sentetik tüm tekstil ürünlerinin yapıtaşları moleküllerdir. Bu moleküller lif oluşturacak şekilde dizilirler, lifler de iplik eldesi için kullanılır. Bir kumaşın kullanım performansını geliştirmenin kalıcı yolu kumaşı meydana getiren liflerin, moleküler düzeyde takviyelendirilmesiyle mümkündür. Moleküler nanoteknoloji felsefesi ile elde edilen tekstil yüzeyleri birer nano malzemedir (McGuinness 1997).

Nanoteknoloji uygulamaları, tekstil endüstrisinde büyük bir potansiyele sahiptir. Bu uygulamalar, tekstil işlemleri esnasında lifler ve lifli yapılarla nano parçacıkların birleştirilmesi veya yeni nano parçacıkların oluşturulması şeklinde iki kategoride sınıflandırılabilir (Qian 2004).

Tekstil ürünleri, onlara değişik özellikler kazandıran nanoteknoloji sayesinde çok fonksiyonlu hale gelmektedir; örnek olarak nanoteknoloji ile tekstil ürünleri su itici, antibakteriyel ve antifungisid olabilir, ısı yalıtımı ve

mekanik rezilyans performansları geliştirilebilir, kamuflaj amaçlı sensörler olarak kullanılabilir. Nanoteknoloji ile tekstil liflerinin fonksiyonelliği artarken, dış etkilere karşı bariyer yeterlilikleri geliştirilebilir. Tekstil yüzeylerine uygulanan ekstra bazı kimyasal ve fiziksel işlemlerle veya yüzeydeki nano-ince tabakaya yapılacak plazma işlemi ile yepyeni özellikler elde edilebilir. Spesifik nano parçacıklardan yüzeyde ince bir tabaka oluşturmak suretiyle elde edilen kompozit yapılar, konvansiyonel yüzeylerden çok daha yüksek sertlik, aşınma ve sürtünme dayanımı sergileyebilir; yüksek adhezyon, daha kolay geri dönüşüm gibi özelliklere sahip olabilir. Benzer şekilde anti-mikrobiyal kaplamalı kıyafetler vücudun dermatolojik konforunun teminini mümkün kılar. Polimerik tekstil malzemesine mikro parçacıklara nazaran daha homojen ve tamamen dispers formda yerleşmiş nano parçacıklar, tekstil yüzeyinin çeşitli mekanik, elektrik ve optik özeliğini geliştirir. Tekstil yüzeylerinin nano-seramik parçacıklarla kaplanması yanma eğilimini azaltır. Seramik indium-kalay oksit kaplanmış yüzeylerin kaplama kalınlığına bağlı olarak spektral özellikleri değiştirilebilir, etkili kamuflaj sağlanabilir Nano boyuttaki kristal piezoseramik parçacıklar kumaşa aktarıldığında, piezoseramik parçacıklar mekanik kuvvetleri elektrik sinyallere aktarır. Böyle bir kumaş deri üzerine giyildiğinde kalp ritmi veya nabız gibi vücut fonksiyonları izlenebilir. (Qian 2004, Yuen ve ark. 2005, Mikolajczyk ve Olejnik 2005).

Bununla birlikte söz konusu nano parçacıkların çeşitliliği nedeniyle, elde edilen nano malzemelerin özelliklerini ve tekstil uygulamalarına uygunluğunu belirlemek çoğu zaman zor olmaktadır. İlgili nano parçacık kullanılarak yeni ve fonksiyonel tekstil ürünü elde edilmesi ise, işlem süresince nano parçacıkların boyutlarını değiştirecek toplanmaların önlenmesi ve tekstil ürününe aplikasyona izin verecek emülsiyon ve dispersiyonun oluşturulabilmesine bağlıdır. Ticari uygulaması olan nano parçacıklar ve potansiyel tekstil uygulamalarına ait örnekler Çizelge 2.4'te görülmektedir. Bununla birlikte nanoteknolojinin tekstildeki uygulaması, 3 boyutlu hareket kabiliyetine sahip özellikleri tarafından sınırlanmaktadır (Beringer ve Höfer 2004, Dal 2005).

Çizelge 2.4. Nano parçacıklar ve potansiyel tekstil uygulamaları

Nano parçacık	Tekstil uygulaması
Görünür ışığın dalga boyu aralığındaki boyutlarda Core-shell (öz-kabuk) parçacıklar	Kelebek kanadına benzer karışım renkleri
Seramik nano parçacıklar	Aşınma dayanımında artış
Görünür ışığın dalga boyu aralığındaki boyutlarda kristalize olmuş nano-dispersiyonlar	Optik özelliklerin değiştirilmesi ve karışım renklerin eldesi
PP veya PE kaplamalı SiO ₂ veya Al ₂ O ₃ nano parçacıklar	Üstün su iticilik apresi
İndiyum-kalay-oksit nano parçacıklar	EM/IR koruyucu giysi
Nano gözenekli köpükler	Köpüklerin ısı yalıtım ve mukavemet özelliklerinde artış
TiO ₂ veya ZnO parçacıklar	UV koruması, lif koruması, oksidatif kataliz
Fe-nano parçacıklar	İletimli manyetik özellikler, "uzaktan ısıtma"

KAYNAK: Beringer ve Hofer, 2004

Son 10 yılda nanoteknolojinin geldiği nokta, tekstil teknolojisi alanındaki hızlı gelişmeyi desteklemiştir. Günümüze kadar doğal ve sentetik liflerden üretilen mamullerin dokunmasında, renklendirilmesinde veya tamamen yeni tekstür veya son kullanım özelliklerine sahip liflerin eldesinde görülen gelişmelerin, önümüzdeki 25 yıl içindeki yenilikler karşısında gölgede kalacağı ve buna nanoteknolojinin sebep olacağı öngörülmektedir (Sudarshan 2003).

Anti-UV, anti bakteriyel, infrared absorblayıcı, yanma dayanımlı gibi spesifik kumaşların üretimi için nanoteknolojinin kullanımına yönelik bir çok araştırma yapılmaktadır; ana aplikasyon konusunun özellikli ve koruyucu giysilerde olacağı düşünülmektedir. GP Nanotechnology Group Ltd. (Hong Kong), Nano-Tex LLC. (ABD), Schoeller (İsviçre) gibi firmalar kir ve su itici nano kimyasallar üretmeyi başarmıştır.

Nanoteknolojinin tekstilde etkili kullanımının öncüsü askeri giysiler olacaktır. Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (MIT) 21.yy.'ın askerleri için nanoteknolojiyi kullanarak "süper üniformalar" geliştirmeye çalışmaktadır. Bu üniformalar, kamuflajı desteklemek üzere renk değiştirme, faz değiştiren malzemeler ile kırık durumunda destek vazifesi göreceğ biçimde sıkışma hatta yapay kas geliştirme ve enerji depolayabilme gibi spesifik özelliklere sahip kumaşlardan (morph fabrics) oluşacak; bu kumaştaki lifler, ortam sıcaklığı veya hava sirkülasyonuna bağlı olarak daralacak veya genişleyecektir. Askeri amaçlı kullanılacak nanosensör iliştilmiş kumaşlar, askerin vücut sinyallerini tıp

merkezine iletecek, kumaştaki entegre iletişim ve dolaşım ekipmanları ile yaralı bir askerin sağlık bilgilerini veya nitrik oksit düzeyi gibi stres göstergelerini ve konumunu merkeze bildirerek müdahale hızını arttıracaktır. Nanoteknoloji ile üretilmiş üniformalar, günümüzde kullanılanlardan %80 daha hafif olacak (kağıt ağırlığında ancak hafif ve esnek), ortamdaki biyolojik veya kimyasal tehlike durumuna moleküler düzeyde adapte olarak geçirgenliğini kaybedecektir. Bu üniformalar, ortamın sıcaklık, ışık, hava kalitesi vb. değişikliklerini kolayca fark edecek, nanokaplamayla geliştirilmiş özel lifler karanlıkta dahi ayırt edilebilir olacak, böylece askerler birbirlerini kilometrelerce uzaktan seçebilecek, karanlık ortamlarda düşmanı ayırt edebileceklerdir (Sudarshan 2003).

Tüm dünyada bir çok araştırmacı, nano düzeyde tekstil yüzeylerini modifiye edecek bir çok tıbbi uygulama yöntemleri geliştirmektedir. Örneğin, tekstil implantlarda biyolojik uyumluluğu arttıracak nano ince yüzeylerin eldesine çalışılmaktadır. Bu sayede tıbbi yaraların daha hızlı tedavisi, kontrollü ilaç alımı, yaralı bölgenin daha yüksek nefes alabilirliğinin sağlanması mümkün olacaktır. Yatalak veya sürekli tıbbi gözetim isteyen hastalar için, kıyafetlerde yüksek hijyen sağlayan anti-mikrobiyal kaplamalar geliştirilmiştir. Nanoskopik oyuklara sahip yapılar, sürekli gözetime gerek kalmadan gerekli ilaç miktarını temin edebilir. Bazı durumlarda tekstil ürünleri, kaplama şeklinde iliştilen sensörler vasıtasıyla vücut gereksinimlerini ölçebilir ve şeker, tansiyon gibi uyarıları tespit edip gerekli müdahale sinyallerini tıp merkezlerine yollayabilir. Terörizmle mücadele kapsamında, zararlı gaz vb. maddeleri vücutla temas etmeden toplayan koruyucu giysiler üretilmektedir. Bu şekildeki giysiler, polimer olmayan nano yapıların tekstil yüzeyine aktarılması ile elde edilmektedir. Örnek uygulamalar, UV korumalı yazlık ve spor giysiler, düşük UV geçirgenliğine sahip liflerden üretilmiş UV korumalı ve foto-yaşlanma (photo-aging) dayanımlı ürünler olarak gösterilebilir (Sudarshan 2003).

Nanoteknolojinin bir başka araştırma sahası, teknik tekstil ürünlerinin performanslarının geliştirilmesidir. Bir kumaşın mukavemet ve sertlik değerlerini arttırmak amacıyla kumaştaki liflerin moleküler düzeyde karbon molekülleriyle takviyelendirilmesine yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Karbin, karbonun sp-hibritlenmesiyle elde edilen lineer allotrobudur ve yapısında sırayla tek ve üç

bağ yapan karbon atomları bulunur. Karbinin uzun molekül zincirli formda elde edilmesi ve yüksek elastikiyet sergilemesi nedeniyle lif takviyelendirmesinde kullanılması mümkün olmuştur. Karbin, ayrıca karbon nanotüplerin eldesinde de kullanılmaktadır.

Karbon nanotüpler, bir silindir çevresine sarılmış çok ince grafit kabuklarından oluşmuştur. Çelikten 100 kat daha büyük çekme mukavemeti, saf elmadan daha iyi termal iletkenlik, bakıra yakın ancak daha fazla akım taşıyan elektrik iletkenliği gibi sıra dışı özellikleriyle yüksek mukavemet ve yüksek elektrik iletkenliği gerektiren malzemeler için inanılmaz yapı taşları durumundadır. Köprü, uçak ve uzay asansörü yapmaya çok uygun olmasına karşın tek sorun, laboratuvar kaynaklı en uzun nanotüpün 10 milimetre boyunda olmasıdır. Bununla beraber küçük makineler için nanotüpler son derece yararlı gözükmemektedir. Çünkü MEMS aygıtlarını etkileyen sorunlardan biri, saniyede binlerce kez sürtünerek birbirini aşındıran minik parçacıklardır. Nanotüp yataklar ise hemen hiç sürtünüp aşınmaz, çünkü karbonun bütün kimyasal bağları kullanılmaktadır. Başka bir ifadeyle yabancı elektronların bağlanıp kopartarak aşındıracağı boş bağlar yoktur; hem iletken hem de yalıtkan olarak yararlanılabilen karbon nanotüpler, hemen her elektromekanik cihaza uygundur (Demircan 2004, Qian 2004, Çıracı 2005).

Karbon nanotüplerin ilk kullanım alanları nanotransistörler, yüksek çözünürlüklü ekranlar ve çeşitli gaz detektörleri olmuştur (Yuen ve ark. 2005).

Kuramsal çalışmalar, karbon dışında alüminyum, silisyum, altın gibi elementlerin ve galyum arsenit bileşiklerin de tüp yapısında kararlı olabileceğini göstermiştir; bu yapıların çok güçlü elektromıknatıs yapımına olanak vereceği düşünülmektedir (Çıracı 2005).

Karbon nanotüplerin tekstilde başarılı uygulama sahalarından birisi polivinil alkol lifinin koagüle bazlı çekim prosesi ile mikrometre mertebesinde lif çapı verecek biçimde üretilmesidir. Bu kompozit lifin, mukavemet ve rijitlik değerlerinin aynı ağırlık ve uzunluktaki çelikten 20, Kevlar'dan 17 kat daha büyük olduğu bulunmuştur. Bu yüzden bu lif, savunma amaçlı tekstil yüzeylerinin (koruyucu zırh ve elektromanyetik koruyucuların) üretiminde önemli bir potansiyel taşımaktadır. Karbon nanotüplerin, polimetilakrilat ve

poliakrilonitril gibi farklı liflerle kompozit lif eldesine yönelik çalışmalar halen sürmektedir (Qian 2004).

Nanoteknoloji, molekül boyutlu bilgisayarların, sensörlerin, makinelerin ve elektronik cihazların kumaşlara entegre edilebilmesine olanak sağlayarak İnteraktif Elektronik Tekstillere (IET) üretimini mümkün kılmıştır. IET'ler, genel olarak 1 mm²'den daha küçük alana sahip; mikro/nano yapı, makine, güç çevirici ve elektroniklerin toplandığı elektromekanik sistemlerle bir güç kaynağının tekstil yüzeyine entegre edildiği yapılardır. Bu entegrasyonun sağlanması için lehimlemek, toksik olmayan iletken yapıştırıcılarla tutturmak, zımbalamak, elektronik bileşenlerin devre tellerini tekstil yüzeyi içine dikerek veya dokuyarak tutturmak gibi farklı yöntemler kullanılmaktadır. Kablosuz iletişim teknolojisini kullanarak IET'lerin üretimi üzerine çalışmalar ise sürmektedir (Meoli ve May-Plumlee 2002).

Günümüzde IET'ler, haberleşme, eğlence, sağlık ve güvenlik amaçlı tekstil uygulamaları için üretilmektedir. CD çalıcılar, elektronik oyun panelleri, dijital kameralar veya iPod entegre edilmiş günlük ve aktif spor giysiler, ısı kontrollü ceketler, müzik ritmine göre renk değiştiren gece kulübü kıyafetleri ticari üretimleri yapılan örneklerdir. Üzerinde televizyon, klima ya da müzik seti kumandası bulunduran koltuk döşemelikleri veya elektrik paneli ile oda aydınlatmasını kontrol edebilen perdeler, uyumak üzere olan sürücülerini uyandıran araba koltukları, oda sıcaklığına göre renk değiştiren dokumalar diğer ilginç uygulamalardan sayılabilir. İET'ler, vücut sıcaklığı, kan basıncı, nabız, kalp atışı, stres düzeyi gibi tıbbi verilerin izlenmesi amacıyla da kullanılmaktadır. Kalp atışlarını dinleyen yatak çarşafı, ani bebek ölümü sendromunun önüne geçebilmek için bebeğin soluk alması durduğunda, kalp atış sayısında ya da vücut ısısında beklenmedik değişimler olduğunda ebeveynleri haberdar eden bebek tulumları örnek uygulamalardır. Yine GPS entegre edilmiş kıyafetlerle (kayak ve dağcılık giysileri vb.) kullanıcıların nerede olduğu herhangi bir zamanda ve herhangi bir iklim şartında tam olarak belirlenebilmektedir (Meoli ve May-Plumlee 2002,)

Giyilebilir elektroniklerin üretiminde metalik ve optik lif, iletken iplik, kumaş, kaplama ve boya gibi malzemelerin kullanılmasına yönelik çalışmalar

sürmektedir. Doğal iletken olan metallere (nikel, çelik, bakır, karbon, alüminyum, titanyum vb.) üretilen lifler yanında konvansiyonel liflerin çevresini bakır sülfid gibi metal tuzu, galvanik substrat veya metal parçacıklarla kaplayarak elde edilen iletken yapılar, optik lifler, cam lifleri, metalik iplikler, polianilin ve polipirol gibi iletken polimerlerle yapılan kaplamalar İET üretiminde kullanılabilen yapı taşları arasındadır (Meoli ve May-Plumlee 2002).

Nanoteknolojideki gelişme süreci, yakın gelecekte İET'lerle birlikte programlanmış kumaş eldesini mümkün kılacaktır (Forrest 1995, McGuinness 1997). Örneğin:

- Mikro pompalar ve mikro tüpler ısıtıcı yada soğutucu bir gazı kumaş içinde dolaştırabilir. Böylece ceket inceliğinde ancak palto kadar sıcak tutacak giysiler üretilebilir.
- Robot "mite" lar kumaş yüzeyini periyodik olarak temizleyerek kendi kendine temizlenen giysi veya döşemelikler üretilebilir.
- Yırtık, patlak vb. hasarları mikrosensörlerle fark edip programlanmış mikro makineler vasıtasıyla kendi kendini onaran kumaşlar üretilebilir.
- Büyük kumaş parçaları, mikroskobik mekanik tutucularla dikişsiz birleştirilebilir.
- Ultraesnek, ultrince kumaşlar astronotların uzayda daha kolay hareket etmelerini sağlamak için üretilebilir.

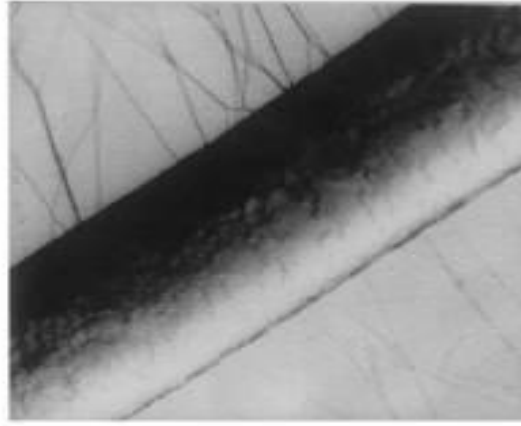
2.3.4. Nano-Tekstillerin Sınıflandırılması

Nano-tekstil malzemeleri, kullanım alanlarına göre şu şekilde sınıflandırılabilir:

2.3.4.1. Nano Lifler

Genel anlamda lifler söz konusu olduğunda nano, lif çapının büyüklüğü hakkında bilgi verir. Burada lif çapı için farklı görüşler vardır; bazıları çapı bir mikronun altındaki liflere nano lif derken, bazıları ise nano lif için çapı 0,3 mikron veya daha az olan lifler tanımını uygun görmüşlerdir (Hagewood 2004). Ko

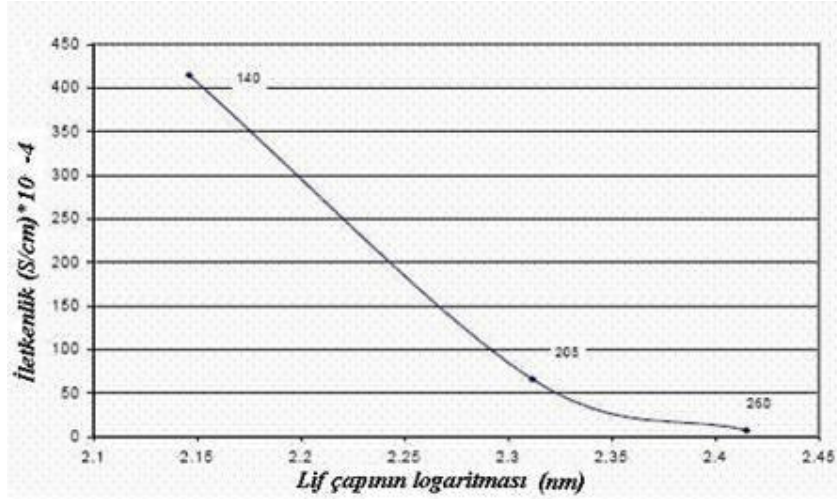
(2003)'ya göre nano lif tanımı, çapı 100 nm'ye eşit yada daha küçük lifler için kullanılmalıdır. Şekil 2.7'de, saç teli yüzeyine serpiştirilmiş nano poliamid 6.6. liflerinin SEM fotoğrafı görülmektedir.



Şekil 2.7. Nano poliamid 6.6. lifleri ve saç teli (Gibson, 2001)

Nano lifler yüksek moleküler oryantasyona sahiptir, kristalit büyüklükleri konvansiyonel liflere göre daha küçüktür, küçük boyutları sayesinde daha az yapısal kusur taşırlar, bu sayede oldukça iyi mekanik özellikleri vardır. Lif çapı nanometre düzeyine indirildiğinde, atom başına düşen gerinim enerjisi üssel olarak artmakta ve karbon nano tüplerde 30 GPa seviyelerine çıkmaktadır. Küçük çaplarından ötürü yüzey / hacim oranları veya yüzey / kütle oranları yüksektir, dolayısıyla yüksek spesifik yüzey alanlarına sahiptirler. Çapı 5-500 nm arasında olan liflerin spesifik yüzey alanları 10000 – 1000000 m²/kg arasında değişmektedir; çapı 3 nm olan ve yaklaşık 40 molekülden oluşan bir nano lifte bu moleküllerin yarısı yüzeyde toplanmaktadır. Bu özellik nano liflere fonksiyonel gruplar, moleküller, iyonlar, katalitik parçalar ve diğer bir çok nano mertebede parçacıklarla bağlanma yeteneği kazandırır. Nano lifler, küçük çaplarından ötürü daha yüksek biyo-aktivite, elektro-aktivite ve iletkenlik sergilerler (Buer ve ark. 2001, Ko 2003). Şekil 2.8'de, iletken bir lif olan polietilendioksitofen (PEDT) lifinin çapı ile elektrik iletkenliği arasındaki ilişki görülmektedir. PEDT lifinin çapı 260 nm'den 140 nm'e düşürüldüğünde elektrik iletkenliği yaklaşık 20 kat artmaktadır. Bu durum, küçük çaplarda elde edilen

yüksek paketleme yoğunluğu ve geometrik pürüzsüzlüğün etkisi ile ilişkilendirilmiştir.



Şekil 2.8. PEDT lifinin çapı ve elektrik iletkenliği arasındaki ilişki (Ko, 2003)

Nano lifler için yaygın bir şekilde tartışılan potansiyel pazarlar arasında filtrasyon, koruyucu giysi, ince dokular, güç hücreleri, nano elektrik cihazlar öne çıkmaktadır (Hagewood 2004, Lukas ve ark. 2004). Warner ve ark. (2001), Öktem ve Seventekin (2004) ise nano liflerin kullanıldığı tekstil ürünlerine şu örnekleri vermiştir:

- Nano gözenekli yüksek yüzey alana sahip dokusuzlar
- Filtrasyon amaçlı membran yapılar
- Süper hızlı sensörler
- Biyolojik ve farmakolojik özellikli membran yapılar
- Kompozit takviyelendiriciler
- Foto elektronik cihazlarda iletken tüpler
- Tıbbi tekstiller (ilaç iletim kanalları, karbon tüpler)
- Kimyasal ve biyolojik koruyucu kaplamalar
- Geri dönüşümlü katalistler
- Kumaş mühendisliğine yönelik üç boyutlu materyaller

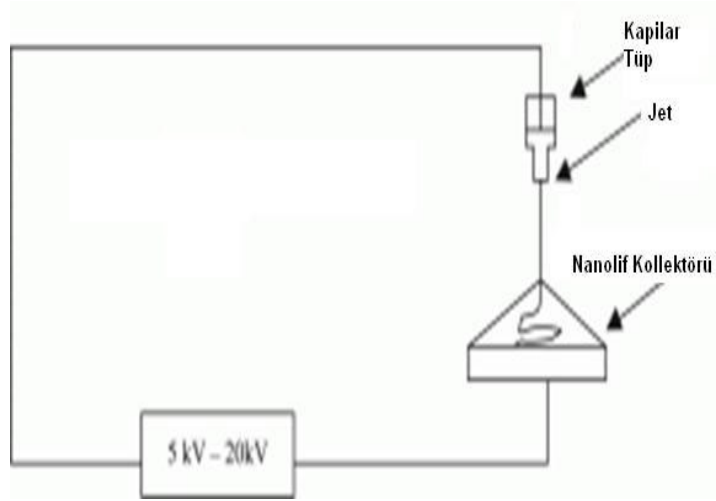
Nano lifler, özellikle dokusuz yüzey üretiminde önemli uygulama sahası bulmuştur. Çeşitli dokusuz kumaşların yüzeyindeki küçük miktardaki nano liflerin dahi su tutma özelliklerini arttırdığı ve su temas açısını düşürdüğü

bulunmuştur. Hava direnci, nefes alabilirlik gibi diğer özellikler de dokusuz kumaşların yüzeylerinde nano lifler kullanıldığında büyük çapta iyileştirme göstermektedir (Öktem ve Seventekin 2004).

Nano lif kavramı, özellikle son yıllarda geniş araştırma sahaları bulmuştur. Konvansiyonel liflerden çok daha küçük çaplı, hatta 0,1 denye' den daha ince üretilen sentetik liflere ve 0,01-0,5 denye inceliğinde olan ultra ince liflere karşın, mikro lifler nano skalaya göre büyük boyutlarda kalmaktadır. Nano lif teknolojisi mikro lif üretiminden çok farklıdır ve genelde polimer esaslı nano liflerin üretimi için yaygın kullanılan üretim tekniği elektrospindir.

Konvansiyonel lif çekim yöntemlerinde lif eriyiğinin düzelerden püskürtülmesini ve ardından sarımını sağlayan mekanik kuvvetlerdir, elektrospin yönteminde ise elektrostatik kuvvetler kullanılır. Elektrospin, polimer eriyiğinin yüksek elektrik alanına püskürtülmesi olarak tarif edilebilir. Bu teknikte, polimer uygun bir çözücüde çözülür veya ısı ile eritilir, bir ucu kapalı ve daralan, öbür ucunda küçük bir delik bulunan cam bir pipetin (kapılar tüp) içine yerleştirilir. Daha sonra polimer çözeltisi/eriyiği ve pipetin açık ucunun yakınındaki bir toplayıcı levhaya gerilim uygulanır. Meydana gelen büyük elektrik kuvvetleri eriyiğin yüzey gerilimini yenerek bir eriyik demetinin (jetinin) çıkmasını sağlar. Bu yüklü jet çekilerek uzatılır (Taylor konisi), elektrik alanında hızlandırılır, jet stabilitesinin bozulmasının ardından bir yüzeyde (nano lif kolektörü) toplanır. Yüzeyde toplanan lifler genelde ıslaktır; birkaç dakika içinde çözücünün buharlaşması nedeniyle ağırlık kaybı ve lif jetinin gerilmesi gözlenir. Uygulanan gerilimin arttırılması, yüklü jetin uzunluğunu düşürürken oluşan koninin tepe açısını arttırır; bu haldeki jetin stabil kaldığı mesafe daha fazladır. Bu etki, polimer eriyiğinin konsantrasyonu ile beraber elde edilen nano lif çapını belirleyen bir faktördür. Lukas ve ark. (2004), elektrospin sistemlerinde elektrik alan yoğunluğu ile polimer eriyiğinin yüzey enerjisi arasında ikinci dereceden bir ilişki olduğunu göstermişlerdir. Toplayıcı yüzeyde çapları 30 nm'den 1 mikronun üzerindeki değerlere kadar değişen lifler bulunmasına rağmen, bu işlem çapı genellikle 50-500 nm boyutunda nano liflerin üretimine imkan verir. Elektrospin yöntemi, üretim için az miktarda polimer eriyiğine ihtiyaç duyduğundan hızlı ve basit bir prosestir (Warner ve ark. 2001, Hsieh ve ark. 2003). Kontinü nano lif

üretimi için elektrospın yönteminin basitleştirilmiş bir şeması Şekil 2.9'da görülmektedir.



Şekil 2.9. Nano lif üretimi için elektrospın yöntemi

Elektrik alanı ile polimer damlası arasındaki etkileşim üzerine ilk çalışmaları 1914 yılında Zewey gerçekleştirirken, Formhals 1934 yılında bir elektrik alanı içinde çekim prosesi ile ilgili patent almıştır. Taylor da 1960'larda elektrik alanı etkisindeki herhangi bir sıvının, kritik voltaj değeri aşıldığında koni şeklinde uzatılabildiğini göstermiştir (Buer ve ark. 2001).

Elektrospın üzerine yapılan çalışmalarda, farklı pH değerlerinde çözücüler kullanılarak molekül ağırlıkları 10000 – 300000 arasında değişen çok sayıda polimerden lif üretilebilmiştir. Bu polimerlerden bazı örnekler Çizelge 2.5'te görülmektedir. Ko (2003), elektrospın ile elde edilen lif çapı ve moleküler konformasyonla ilişkilendirdiği boyutsuz Berry (Be) katsayısını geliştirmiştir. Be katsayısı, polimer eriyiğinin konsantrasyonuna ve viskozitesine bağlıdır; elektrospın ile lif elde edilebilmesi için Be katsayısının 1'den büyük olması gerekir, değer büyüdükçe üretilen lifin çapı da artmaktadır.

Çizelge 2.5. Elektrospin ile üretilen lif örnekleri

Polimer	Çözücü
Rayon	Kostik soda
Akrilik	Dimetilformamid
Polifenileneter (PPE), Polietilen (PE)	Eritme
Polietilenoksit (PEO)	Su
Kevlar	Sülfürik Asit (%98)
Poliester	1:1 diklorometan : trifloroasetik asit
DNA	70:30 su : etanol
Poliüretan	Dimetilformamid
Bombix mori ipeği, örümcek ipeği	Formik asit
Poliamid 6	95:5 hekzafloroisopropanol : su
Polilaktik asit (PLA)	Kloroform
2-hidroksietilmetakrilat (HEMA)	50:50 formik asit : etanol

KAYNAK: Ko, 2003

Elektrospin prosesi, lif yüzeyini nanometre incelikte tabakayla kaplamak veya farklı polimer, lif ve parçacıkların bir araya getirildiği ultra-ince yüzeyler üretmek amacıyla da kullanılmaktadır. Örnek olarak gümüş kaplamalı bir lif, yüksek elektrik iletimine, oldukça düşük statik elektriklenmeye sahip olur ayrıca antibakteriyel ve antifungisid özellik kazanır¹. Toray Ind. (Japonya), konvansiyonel tipten 1000 kez daha ince, higroskobik nemi pamuktan daha fazla olan poliamid lifi üretmiştir. Benzer şekilde Kanebo Ltd. (Japonya), yüzeyini bir kaç nanometre kalınlıkta bir film tabakasıyla kaplayarak konvansiyonel poliester lifinin higroskobik nemini 30 kat arttırmıştır². Gibson ve ark. (2001), koruyucu amaçlı kullanılan membran yüzeylerin elektrospin ile üretilmesi durumunda, su buharı difüzyonuna karşı daha düşük öz direnç ve daha yüksek filtrasyon özelliği temin edileceğini göstermiştir. Aktif karbon içeren poliüretan köpük tabakası üzerine nano liflerin elektrospin ile kaplanması ile elde edilen koruyucu yapıların hava akışı direnci ve aerosol filtreme özellikleri, koruyucu amaçlı konvansiyonel membran yapılardan daha iyi çıkmıştır.

Elektrospin ile üretimin verimi, genelde birim saatte, birim kapılar tüp düzesinden geçen polimerin gram cinsinden miktarı ile ölçülür. Günümüzde bir çok şirket bu tekniği kullanarak filtreleme ürünleri imal etmektedir. The Donaldson Co. (ABD), ince bir nano lif tabakasının eğirmeli bağlantı (spunbond) veya eriyik üfleme (meltblown) yöntemiyle üretilen taşıyıcı kumaşının üzerine

¹ <http://www.empa.ch>

² <http://textileinfo.com/en/tech/nano/index.html>

kaplandığı bir teknik kullanılarak, günde yaklaşık 10000 m²'lik filtre malzemesi üretmektedir; Nano Technics (G.Kore) firması da benzer bir kumaş üretimini sürdürmektedir. Ancak, nano lif ağların taşıyıcı yüzeye bağlanma sorunu, geniş yüzey alanı ve nano lif katmanından kaynaklanan elektrostatik kuvvetler, dışardan kuvvetlere maruz kaldığında kumaşın kolayca sıyrılabilen bir yapıya sahip olması bu ürünlerle ilgili ciddi sorunlar olarak tartışılmaktadır (Hagewood 2004).

Buer ve ark. (2001) malzeme özelliklerinin elektrospin işlemine etkisini inceledikleri çalışmalarında, elektrospin işleminin Taylor konisinin birkaç santimetre altında stabilitesini kaybeden, hızlandırılabilen polimer eriyiği jeli oluşturabildiğini göstermiştir. Bu çalışmada, elektrospin ile üretilen polipropilen lifinin, kısmi oryantasyona uğradığı ve ortalama çapının eriyikten üretilen klasik polipropilen lifinden beş kez daha küçük olduğu görülmüştür.

Acatay ve ark. (2003), değişik konsantrasyonlarda kuarterner amonyum tuzu içeren perflorlanmış polimerler sentezlemiş ve bunlardan elektrospin yöntemi ile tülbent yüzeyler üretmiştir. Polimer içinde kuarterner amonyum tuzu oranı arttıkça, elde edilen tülbent yüzeyin tüylülüğünün arttığı görülmüştür. Tülbent yüzeylerin *E.coli*'ye karşı antibakteriyel etkinliği incelendiğinde ise, %25 kuarterner amonyum tuzu içeren polimerden elektrospin yöntemi ile elde edilen yüzeyin, yüksek tüylülükte ve yüksek antibakteriyel etkinlikte olduğu bulunmuştur.

Adanur ve Aşcıoğlu (2005), elektrospin yöntemiyle 200-400 nm aralığında çaplarda polivinilalkol (PVA) lifleri ürettikleri çalışmalarında, elektrik alanına bırakılacak optimum PVA çözelti konsantrasyonunun %12-14 olması gerektiğini bulmuşlardır. Bu liflerden ürettikleri ipliğin taşıyabildiği maksimum yük değeri 2.45 N (0.25 kgf) olarak tespit edilmiştir.

Klata ve ark. (2005), elektrokimyasal kapasitörlerde kullanılan karbon liflerinin üretileceği poliakrilnitril liflerinin elektrospin tekniği ile eldesi üzerine yaptıkları çalışmalarında, poliakrilnitril / dimetilformamid (PAN/DMF) çözeltisinden 640 nm ortalama çapında ve %40 kristaliniteye liflerden oluşan tülbent yüzey elde etmişlerdir. Mikolajczyk ve Bogun (2005) ise kemik rekonstrüksiyonunda kullanılacak karbon liflerinin, daha yüksek mukavemet ve

gözeneklilikte olması için, PAN/DMF çözeltisinin silikat (50-150 nm), montmorilonit (800x500 nm) ve hidroksiapatit (30-120 nm) parçacıklarla takviyelendirilmesi üzerine çalışmalar yapmıştır.

Jalili ve ark. (2005), elektrospin düzeneğinde üretilen nano liflerin düzgün yönlendirilmesinde en önemli faktörün uygulanan elektrik alanı olduğunu, güç kaynağından sağlanan 11 kV ve üzeri elektrik değerlerinde yönlenmenin düzgün olmadığını göstermişlerdir.

Demir ve ark. (2002) elektrospin yöntemiyle poliüretan lifi ürettikleri çalışmalarında, eriyik konsantrasyonu arttıkça lif çapının da arttığını, eriyik viskozitesi ve sıcaklığının da diğer etkili parametreler olduğunu göstermişlerdir. Elektropin sistemlerinde, çözelti sıcaklığının artırılmasının, işlem hızını arttırdığı ayrıca lif morfolojisinde iyileşmelere sebep olduğu bulunmuştur.

Kwon ve ark.' a göre (2004), elektrospin düzeneğinde polimer jetinin davranışını belirleyen faktörler eriyiğin viskozitesi, dielektrik sabiti, iletkenliği ve kaynama noktasıyken, akış hızı, uygulanan elektrik alan büyüklüğü ve kolektör zeminin uzaklığı da kontrol parametrelerindedir.

Nano liflerin üretiminde bir başka yaklaşım, selüloz gibi lineer hücresel yapıya sahip liflerin, nano boyutlu daha ince lifçikler haline fibrilasyonudur (fibrilasyon ile nano lif üretimi). KX Industries, kolayca fibrile edilebilen lyocell liflerinin, nano lif ağlarına dönüştürüldüğü işlemleri içeren pek çok çalışma sonuçlarını ortaya koymuştur. Bu teknikle üretilen lifler orta düzeyde mukavemet özelliklerine sahip olmalarına rağmen, boyut ve oluşumda büyük değişiklikler göstermektedir. Çok miktarda küçük çaplı lif üretmek için kullanılan bir diğer üretim yöntemi ise meltblowing tekniğidir (eriyikten üfleme ile lif üretimi). Ancak, bu teknikle üretilen liflerin çapları genellikle 2 mikron veya daha fazladır. Ayrıca bu metotla üretilen liflerin mukavemetleri düşük olmakla birlikte, üretildikleri haliyle lif çapları, lif boyunca ve lifler arasında büyük değişiklikler göstermektedir. Eriyikten üretimin, çok miktarda lif üretimine elverişli olması nedeniyle, nano liflerin doğrudan eriyikten üretim tekniği ile üretimini mümkün kılmak için bu işlemin modifikasyonu doğrultusunda pek çok araştırma ve geliştirme çalışmaları sürdürülmektedir. Nano liflerin üretimi için bir başka yöntem, ayrıştırılabilen veya çözülebilen bikomponent lifleri kullanmaktır. Nano

liflerin üretiminde bu teknolojinin kullanımı için bir çok yaklaşım ileri sürülmüştür. Üzerinde en çok çalışılan yaklaşım ise standart bir üretim-çekim işlemi ile deniz-adacık tipi bikomponent liflerin üretimidir. (Hagewood 2004).

2.3.4.2. Nano Kompozitler

Nano ölçekli tanecik içeren yapılardır. Oldukça küçük tanecik boyutu yüksek spesifik yüzey alanı oluşturarak kompozit yapının mekanik özelliklerini geliştirir, bu yüzeyler daha serttir, oldukça iyi yıpranma dayanımına sahiptirler.

Nano kompozitlerde polimer matrise veya kaplamaya katılan nano parçacıklar, yüksek sürtünme dayanımı, kolay temizlenebilme, farklı optik performans kazandırabilir. Nano kompozit teknolojisi, yapılarına katılan çevreci nano parçacıklarla polimerik malzemelerin yanma/tutuşma davranışını zorlaştırıcı yönde kullanılabilir. Metal oksitlerin nano parçacıkları, antimikrobiyal, dekontaminasyon ve UV absorblama gibi fonksiyonel özelliklerin eldesinde kullanılmaktadır.

Nano kompozitlerin kullanıldığı tekstil ürünlerine şu örnekler verilebilir:

- Polyester / Silis kompozitleri
- Güç tutuşur polioleninler
- Asit ve dispers boyarmadde ile boyanabilen polipropilen lifler
- Katalist binderler

Günümüzde nano takviyelendiricileri kullanan nano kompozit lifler çeşitli ticari ürünlerde kullanılmaktadır. Kompozit liflerde kullanılan nano dolgular nano parçacıkları (kil, metal oksitler, kömür tozu), grafit nano lifleri ve karbon nano tüpleri içerir. Kil, kömür tozu gibi parçacıklar yıllardır kompozit malzemelerde mikro dolgu maddesi olarak kullanılmasına karşın, boyutları nanometre aralığına kadar küçültmekle daha yüksek performans ve pazar payı oluşturulmuştur (Qian ve Hinestroza 2004).

Nano kil parçacıkları yüksek elektrik, ısı ve kimyasal direnç, UV dayanımı ve yüksek mekanik mukavemet istenildiği durumlarda kullanılmaktadır. Nano kil içeren kompozit lifler nano kilin yüksek termal dayanımı sebebiyle mükemmel yanma direnci gösterirler. Nano killerin korozif kimyasallara karşı inertliği ve lif

içindeki düzgün tabakalı konfigürasyonu, UV dayanımı ve dış ortamda bariyer fonksiyonu oluşturmaktadır. Mekanik özellikler açısından ifade edilirse %5 hacim oranı ile hazırlanan poliamid 6 / kil kompoziti, %40 daha yüksek çekme mukavemeti, %68 daha yüksek çekme modülü, %60 daha yüksek bası mukavemeti ve %126 daha yüksek bası modülü gösterir. Böyle etkili bir iyileşme, nano kil dolguların asker kasklarında kullanımını mümkün kılmıştır (Qian 2004).

Kim ve ark. (2003), %5 hacim oranına kadar nano kil içeren eriyikten çekilen poliamid 6 lifinin oldukça yüksek modül değerleri verdiğini hesaplarken, bu liflerdeki yüksek moleküler oryantasyonun nano kil dolgunun bazı efektlerini gölgelediğini ileri sürmüşlerdir.

Mani ve ark. (2003), yapısal stabilitesi ve boyarmaddenin yerleşeceği grupların olmaması nedeniyle zor boyanan bir lif olan polipropilenin, kuarterner amonyum tuzları ile modifiye edilmiş nano kil kullanımı ile boyanabilirliğini inceledikleri çalışmalarında, ağırlıkça %5'e kadar modifiye nano kil katılması ile polipropilen lifinin asit ve dispers boyarmaddelerle boyanabildiğini göstermişlerdir. Modifiye nano kil, polipropilen lifinde boyarmaddelerin tutunacağı gruplar oluşturmuş ve lif içinde boyarmaddenin yerleşeceği boşluk hacmini arttırmıştır. Bu işlem, lifin diğer mekanik özelliklerinde bir kayba yol açmamıştır.

TiO₂, Al₂O₃, ZnO ve MgO gibi metal oksitlerin nano parçacıkları, alev-aerosol, plazma, lazerle kesme, çöktürme gibi yöntemlerle 10-100 nm aralığında elde edilebilmektedir. Bu parçacıklar, takviyelendirici olarak kullanıldıklarında elektrik iletkenliği, kimyasal ve biyolojik etkilere karşı foto-oksidasyon kapasitesi, foto-katalitik özellik, süper-hidrofobluk, süneklik, yüksek aşınma dayanımı gibi fonksiyonlar kazandırmaktadır. Sivil ve askeri uygulamalarda antimikrobiyel, self-dekontaminasyon ve UV bloklama gibi özellikleri kazandırmaya yönelik olarak metal oksit nano parçacıkların kullanımı şeklinde çalışmalar sürmektedir. ZnO ile takviyelendirilmiş poliamid lif, UV koruma sağlarken statik elektriklenmesi düşüktür. TiO₂ / MgO nano parçacık içeren kompozit lifler self-sterilizasyon özellik göstermektedir (Qian 2004, ¹).

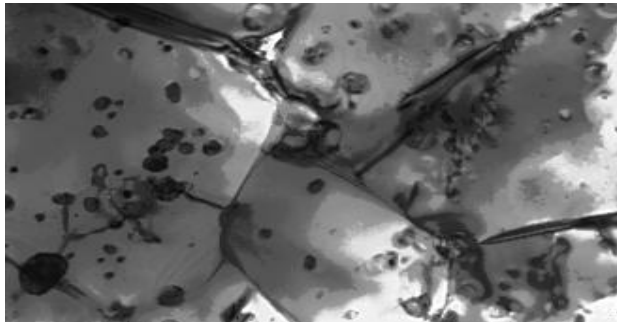
¹ [http:// www.empa.ch](http://www.empa.ch)

Patra ve ark. (2003), poliamid 6 / nano laponit kil ve poliamid 6 / nano montmorilonit kil liflerinin erime noktası ve dekompoze olan kütle miktarları açısından poliamid 6'dan daha farklı davranış sergilediğini ve kompozit liflerin gelişmiş yanma dayanımı gösterdiğini termogravimetrik analiz yöntemiyle bulmuşlardır.

Mikolajczyk ve Olejnik (2005), tutuşma ve ısı akışına karşı daha yüksek direnç gösterdiği bilinen, yanma eğilimi düşük poliimidoamid lifinin %3 oranında 50-150 nm boyutlarında silikat parçacıkları veya 800x550 nm ebatlarında montmorilonit lamelleri ile takviyelendirildiğinde, reolojik özelliklerinin değiştiğini ve lif eriyiğinin *Newtonian* olmayan akış karakterinin iyileştiğini göstermişlerdir. Mikolajczyk ve Bogun (2005), nano parçacık oranı arttıkça *Newtonian* olmayan akış karakterinin daha da belirginleşeceğini ifade etmiştir.

Poliester, poliamid ve polietilen matrislerine, ağırlık oranı % 5 ile %20 arasında kömür tozu nano parçacık ekleyerek elde edilen kompozitlerin, adı geçen polimer matrislerin kimyasal dayanım ve elektrik iletkenliğini arttırdığı bulunmuştur. Karbon nano lifler de, kompozit liflerin çekme mukavemetini arttırmak için kullanılmaktadır (Qian ve Hinestroza 2004).

Şekil 2.10'da tanecik büyüklüğü 20-200 nanometre arasında değişen SiC ile %5 hacimsel oranla takviyelendirilmiş alüminyum oksit yüzey görülmektedir. Elde edilen kompozitin, monolitik alüminyum okside göre %30 daha fazla mukavemete sahip olduğu, aşınma direncinin %65 büyüdüğü ve kırılma tokluğunun arttığı tespit edilmiştir ¹.



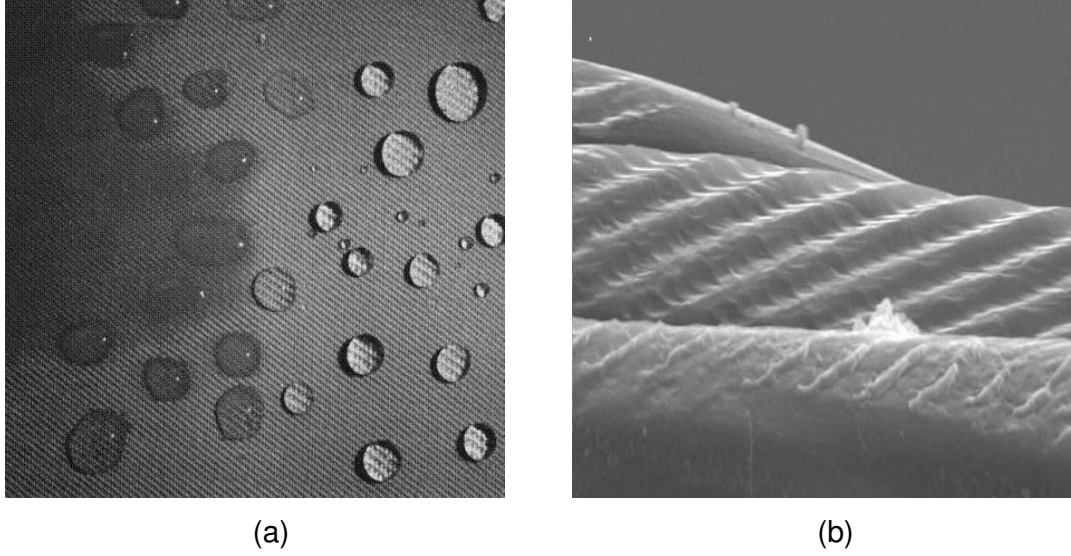
Şekil 2.10. SiC / Al₂O₃ nano kompozit yüzey (<http://www.materials.ox.ac.uk>)

¹ <http://www.materials.ox.ac.uk>

Nano kompozit liflerin üretiminde nano dolguların yanında lif polimeri içinde nano gözenekli yapı oluşturmak da bir diğer çalışma sahasıdır. Lif içinde belli bir derece nano gözeneklilik, hafiflik, yüksek termal izolasyon, yüksek çatlama direnci gibi faydalar kazandırmaktadır; bu esnada mekanik özelliklerdeki değişim nano skalada veya altındadır. Ayrıca nano dolgular, nano gözenekli kompozit lifleri takviyelendirmekte de kullanılmaktadır. Nano gözenekli kompozit liflerin üretiminde düşük kaynama noktasına sahip organik çözücü ve süperkritik sıvı kullanımı gibi farklı yöntemler söz konusudur. Polimer eriyiğine düzgünce dispers edildikten sonra kullanılan sıvı taneciklerinin hacimleri, sıcaklık artırılarak yada basınç düşürülerek büyütülür. Sonuç olarak eğer polimer yüksek sıcaklıkta katılaşırsa polimer matris içinde nano gözenekler oluşur. Yüksek performanslı nano gözenekli kompozit lifler üzerine süren araştırmalar, termodinamik köpük oluşturma prosesinin kontrolü ile gözenek boyutunu 10-20 nm'de tutmak üzerine yoğunlaşmıştır (Qian ve Hinestroza 2004, Qian 2004).

2.3.4.3. Nano Ölçekli Yüzey Uygulamaları

Nano ölçekli parçacıkların makro ölçekli kumaş yapısıyla kombine uygulamaları bu başlıkta incelenebilir. Bu uygulamalar ile kalıcı buruşma dayanımı, su-kir-yağ itici, yüksek boyutsal stabilite, hidrofilik, hidrofobik, güç tutuşur, UV dayanımı, koku giderici, yüksek iletkenlik, bio-parçalanma özellikleri konvansiyonel kumaşlara kazandırılmaktadır; nano ince kaplamalar, yüzeylerin optik özelliklerini değiştirerek kamuflaj yeteneğini arttırmaktadır. Kullanılan parçacıklar, konvansiyonel kimyasallara göre daha geniş yüzey alanı sunmaktadır. Ayrıca büyüklükleri nanometre düzeyinde olduğu için kumaşların rengi, parlaklığı ve tutumunu etkilememektedir. Şekil 2.11'de nano bitim işlemi ile su itici özellik kazanmış kumaş ve işlem sonrası lif yüzeyi görülmektedir (Sudarshan 2003, Qian 2004, Yuen ve ark. 2005).



Şekil 2.11. a) Hidrofil kumaş nano bitim sonrası su itici hale gelmiştir. b) İşlem sonrası lif yüzeyindeki nano yapıyı gösteren SEM fotoğrafı (www.empa.ch)

Nano parçacıklar, lif çekimi sırasında dahil edilebilir veya yaygın şekilde kullanıldığı haliyle kumaşlara terbiye aşamasında normal aplikasyon yöntemleriyle ya da bir ön işlem sonrasında spreyle veya elektrostatik metotla aktarılabilir (Qian 2004).

Tekstil yüzeylerinin nano skalada parçacıklarla işlem görmesi, çeşitli bitim işlemlerinin daha hassas ve düzgün biçimde yapılmasını sağlamaktadır. Nano parçacıkların polimerik tekstil yüzeylerine aktarılması ile elde edilen yüzeyler birer nano kompozit olarak nitelendirilebilir. Bu işlemlerin başarısı büyük ölçüde parçacıkların tekstil yüzeyi içinde düzgün dağılması ile mümkündür. Düzgün bir dispersiyon ise parçacıkların spesifik yüzey alanlarının aglomerat oluşturmadan geniş tutulmasına bağlıdır. Nano parçacıkların aglomerat oluşturması parçacık boyutunu arttırmakta ve boyutların nano düzeyde tutulmasının, birim kütle başına yüzey alanlarının düşük olmasının (yüksek yüzey / hacim oranı) ve hacimsel davranışlar ortaya çıkmadan önce moleküller arasındaki etkileşimlerin getirdiği mekanik, optik, reolojik, yapısal özelliklerdeki kazanımları, bu sayede tekstil yüzeyi ile daha iyi etkileşimin kurulmasını olumsuz yönde etkilemektedir (Mani ve ark. 2003, ¹). Yine Beringer ve Höfer 'e (2004) göre, kumaşlara kimyasal ve biyolojik koruyuculuk

¹ <http://vizyon2023.tubitak.gov.tr/stratejikteknoloji/nano.pdf>

kazandırmak için kullanılan metal oksit parçacıkların tekstil yüzeylerine aktarılmasında esas problem, parçacıkların topaklanmasının önlenmesidir. Bu nedenle, aplikasyonlar sırasında stabilize edilmiş nano dispersiyonların veya çeşitli inhibitörlerin kullanılması gerekebilir. Wang ve ark. (2004), nano parçacıkların aglomerat oluşturma eğiliminin, yüzey enerjilerinin yüksek olmasından kaynaklandığını ifade etmişlerdir. Demir ve ark. (2004)'a göre, aglomerat oluşumunu önlemenin yolları arasında yüzey aktif maddeler veya polimerik keriyer kullanımı bulunmaktadır; nano parçacıkların elektrospin yöntemi ile lif yüzeyine yığılması da oldukça etkili olmaktadır.

Bu parçacıklarla elde edilecek emülsiyonların stabiliteleri, parçacık boyutu ile yakın ilişkilidir. Parçacık boyutu küçüldükçe, emülsiyonların stabilitesi artar (Wiacek ve Chibowski 1999). Bu sayede bitim işlemlerinde kullanılacak emülsiyonların ortam şartlarındaki değişime karşı stabilitelerini ve özelliklerini korumaları, parçacık boyutunun küçültülmesiyle büyük oranda sağlanabilir.

Lee ve Jeung (2004), nano gümüş parçacıkların su ve etanol bazlı çözeltilerinin %100 PES dokusuz yüzey üzerine aktardıkları ve gram-pozitif (S.Aureus) ve gram-negatif (E.Coli) bakteriye karşı antibakteriyel etkinliği değerlendirdikleri çalışmalarında, gümüş parçacıkların büyüklüğü azaldıkça (150 nm'den 11,6 nm'e) antibakteriyel etkinliğin iyileştiğini göstermişlerdir.

Yuen ve ark. (2005), pamuklu kumaşlara su itici nano bitim kimyasalının emdirme ve şablon baskı yöntemleriyle aktarılmasını karşılaştırdıkları ve kumaşların su itici performansını istatistik modelleme ile optimize ettikleri çalışmalarında, daha az miktarda kimyasal tüketimi ile daha iyi sonuç alındığı (daha yüksek su iticilik değeri) için emdirmenin daha uygun bir işlem olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmada, baskı patında kıvamlaştırıcı olarak kullanılan white spirit'in kumaşların su itici performansı üzerinde çok etkili olduğu ve 400 ml/L üzeri konsantrasyonlarda kullanılması durumunda su itici performansın gerilediği görülmüştür.

Güneşoğlu ve ark. (2005), su itici nano bitim işlemini, konvansiyonel su iticilik bitim işlemi ile karşılaştırdıkları çalışmalarında; nano bitim sonrası kumaşlarda görülen sararma problemini işlemin en önemli handikabı olarak belirtmişlerdir.

Nano-Text LLC (ABD), çok farklı amaca yönelik geliştirdiği kimyasallarla nanoteknolojinin tekstil yüzey uygulamalarında kullanımının (nano-bitim) öncülüğünü yapmıştır. Firma, spor giysilikte aranan kılcallık (teri vücuttan hızla uzaklaştıracak), zor temizlenir lekeler (kahve, şarap vb.) karşı bile zor kirlenme, yüksek buruşma ve çekme dayanımı, koku giderici, kullanım esnasında vücuda masaj yapma gibi fonksiyonel özelliklerin teminine yönelik nano skalalı kimyasallar üretmiştir. Nano-Text'in bir diğer uygulama sahası koku tutuculuk olmuştur. Nano-text kaplamalı kumaşlar, kokuya sebep olan ter buharını absorblamakta, böylece giysiler uzun süreli yıkama aralıklarında kullanılabilir (Sudarshan 2003, ¹).

Nano-Text patentli ticari ürünler şu uygulama sahalarına ve ticari isimlere sahiptir:

- Nano-Pel: Bu sistem, nefes alabilirlik, görünüm, konfor ve kalıcılık gibi özelliklerden ödün vermeden kir ve su itici özellik kazandırmaktadır. Bu aplikasyon, doğal lifler kadar sentetik liflere de uygulanabilmektedir. Nano-Pel, liflerle moleküler düzeyde etkileşime girmektedir. Oldukça küçük (sigara dumanı molekülünden 1000 kat daha küçük) fırça benzeri lifçikler (nano-whiskers), liflere tutunmakta; bu mikroskobik lifçikler parmak gibi çalışarak sıvıları kumaşa temas etmeden taşıyıp uzaklaştırmaktadır. Nano-Pel, hastanelerde kullanmak üzere çarşaflık kumaşlarda, ev tekstili ve mobilya döşemeliklerinde kullanılmaktadır.
- Nano-Care: Bu işlem, özellikle pamuk ve keten gibi selülozik mamullerin su ve kir itici, aşınma ve çekme dayanımı özelliği kazanması için uygulanmaktadır. Kolay bakım ürünlerinin son nesli olarak sunulmuştur. İşlem sonrası kumaşların su ve kir iticilik özelliğini 50 yıkamaya kadar koruduğu iddia edilmektedir.
- Nano-Dry: Polyester ve nylon gibi sentetik mamullere yönelik geliştirilen, özellikle ter emicilik amaçlı hidrofilleştirme bitim işlemidir. Japonya'da geliştirilen ve polietilen glikol molekülleri kullanılarak yapılan hidrofil poliester eldesine yönelik işlemde daha uzun kalıcılık sergilemekte;

¹ <http://www.nano-text.com>

ayrıca koyu ton boyamalarda bu işlem sonrası görülen migrasyon sorununu çözmektedir.

- Nano-Touch: Sentetik liflerin çevresinde pamuk benzeri selülozik bir tabakanın sarılmasını sağlar. Sentetik çekirdek ve selülozik kılıfın bir araya gelmesi sentetik liflerin hidrofobluk, statik elektriklenme, parlaklık gibi dezavantajlarına karşı çözüm getirmeye çalışmaktadır. İşlem yüksek yıkama dayanıklılığı gösterir ve sentetik mamullerin mukavemet, haslık, buruşmazlık açısından iyi mekanik özellikleriyle selülozik mamullerin tutum ve konfor özelliklerini kombine etmeyi amaçlamaktadır. Ayrıca bu işlem sonrası sentetik mamulün anti-statik özelliği, pamuklu mamulden daha iyi olmaktadır.
- Nano-Press: İnce pamuklu kumaşların boyutsal stabilite ve eğilme dayanımı özelliklerini geliştirmek üzere kullanılan bir işlemdir. 100% pamuklu kumaşların şekillerini korumaları ve boyutsal stabilite kazanmaları için yapılan klasik bitim işlemleri, özellikle atkı yönünde mukavemeti %35-60 arası düşürmekte, bu problem nano yüzey işlemi ile aşılmaktadır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Doktora tezinin deneysel çalışmaları, nano ve konvansiyonel bitim reçetelerinde kullanılan kimyasalların yapısal karşılaştırılmasına yönelik olarak çeşitli spektrofotometrik yöntemlerle alınan kimyasal yapı analizleri, konvansiyonel ve nano bitim reçeteleri ile işlem gören kumaşlardan alınan çeşitli performans analizleri ve deneysel çalışmada incelenen yıkama dayanımı yüksek su/kir/yağ itici bitim işleminin kumaşlara aktarılmasında farklı aplikasyon tekniklerinden faydalandığında ulaşılan etkinin belirlenmesinden oluşmaktadır. Burada amaç, nano bitim işlemine yönelik uygun koşulların belirlenmesi ve işlem ve kimyasalların tanınmasının ardından farklı aplikasyon teknikleriyle efektif kumaş performansının alınabilmesi için gerekli deneysel tasarımın yapılabilmesidir.

3.1. Materyal

Doktora çalışmasında kullanılan materyal üç grupta incelenebilir:

- Deneysel çalışmada kullanılan kumaşlar
- Deneysel çalışmada kullanılan nano ve konvansiyonel tekstil bitim kimyasalları
- Aplikasyonların yapıldığı ve ölçümlerin alındığı cihaz ve düzenekler

3.1.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Kumaşlar ve Özellikleri

Doktora çalışmasında ağırlıklı olarak, spor giysilik olarak kullanıma uygun örgü, kalınlık ve gramaja sahip %100 pamuklu örme kumaşlar kullanılmıştır. Kumaşlara ait bazı özellikler Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan pamuklu kumaşlar ve özellikleri

Kumaş Kodu	Örgü	İplik no	Sıklık (sıra x çubuk)	Gramaj (gr/m ²)	Kalınlık (mm)
I	1x1 Lacoste	Ne 20/1 ring	15x11	235	0,95
II	1x1 Lacoste	Ne 20/1 ring	15x11	235	0,96

Yeşim Tekstil A.Ş. / Bursa'da işletme şartlarında, yüksek sıcaklıkta reaktif boyarmadde ile boyanmış bu kumaşlara ait AATCC 173/1998'e göre tanımlanan CIELAB 1976 renk uzayındaki eksen değerleri (renk bilgileri) ise Çizelge 3.2'de verilmiştir. Bu kumaşların bir arada kullanılması, nano bitim işleminin renk haslıkları üzerindeki etkisini açık ve koyu renklerde karşılaştırma imkanı sağlamıştır.

Çizelge 3.2. Boyanmış pamuklu kumaşlara ait renk bilgileri

Kumaş Kodu	L*	a*	b*	C*	h	K/S
I (Açık renk boyalı)	63,11	-6,07	-28,49	29,12	257,97 ⁰	1,68 (640nm)
II (Koyu renk boyalı)	29,79	34,48	15,03	37,61	23,55 ⁰	9,76 (554nm)

Farklı aplikasyon tekniklerinin kullanıldığı ve etkinliğin karşılaştırıldığı deneysel çalışmalarda ise Çizelge 3.1'de verilen kumaşlara ek olarak, yapısal detayları Çizelge 3.3'te verilen %100 poliester ve %100 poliamid dokuma kumaşlar da kullanılmıştır. Bu kumaşların kullanılması, pamuklu kumaşlar için geliştirilen nano bitim işleminin sentetik kumaşlardaki etkinliğinin geliştirilmesi üzerine çalışmalar yapmayı sağlamıştır.

Çizelge 3.3. Çalışmada kullanılan sentetik kumaşlar ve özellikleri

Kumaş Kodu	Örgü	İplik no (çözgüxatki)	Sıklık (çözgüxatki)	Gramaj (gr/m ²)	Kalınlık (mm)
III	Bezayağı	75/36 Denye %100 PES	39 x 28	58,5	0,10
IV	Bezayağı	70/24 Denye %100 PA	46 x 29	62,6	0,18

Çizelge 3.3'te yapısal detayları verilmiş kumaşlar Faniteks Tekstil A.Ş./ Bursa'da işletme şartlarında boyanmıştır. Kumaşlara ait renk bilgileri Çizelge 3.4'te görülmektedir.

Çizelge 3.4. Boyanmış sentetik kumaşlara ait renk bilgileri

Kumaş Kodu	L*	a*	b*	C*	h	K/S
III (Koyu ton boyalı)	23,01	0,53	-1,09	1,21	295,93 ⁰	12,05 (580nm)
IV (Koyu ton boyalı)	18,79	0,24	-1,39	1,41	279,79 ⁰	18,45 (580nm)

3.1. 2. Nano ve Konvansiyonel Tekstil Bitim Kimyasalları

Deneyisel çalışmada kumaşlara aktarılan nano ve konvansiyonel bitim reçetelerinde kullanılan kimyasallar ve özellikleri Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.5. Çalışmada kullanılan kimyasallar

	Kimyasal Yapısı	Kullanım Alanı	Özellikleri
NT-X293	Floropolimer dispersiyon (Dipropilen glikol içerikli)	Su / Kir /Yağ itici	Beyaz emülsiyon, sıvı Özgül ağırlığı : 1,10 g/cm ³ pH : 3 - 5
REACEL NTR2	Dimetiloldihidroksietilenüre (DMDHEU) (Dietilen glikol / MgCl ₂ içerikli)	Çapraz bağlama maddesi	Sarımsı, parlak sıvı Özgül ağırlığı : 1,21 g/cm ³ pH : 3
DRAIG NT-EX	Florlanmış yüzeyaktif madde	Ekstender	Yoğun, beyaz sıvı Özgül ağırlığı : Veri yok pH : 2,5 – 4,5
WELKIN NT-40	Polietilen karışimli mikrosilikon (noniyonik)	Yumuşatıcı	Beyaz emülsiyon Özgül ağırlığı : 1,00 g/cm ³ pH : 4,5
CEROFIL NT-RE	Mikro polisiloksan (noniyonik)	Yumuşatıcı	Beyaz emülsiyon, sıvı Özgül ağırlığı : 1,00 g/cm ³ pH : 4,5 - 5
FIMBIL NRW	Silikonsuz alkil fostat yağ alkolü karışımı (noniyonik)	Islatıcı	Renksiz, berrak sıvı Özgül ağırlığı : 1,00 g/cm ³ pH : 7
RUCO-GUARD AFC	Florokarbon reçine (katyonik)	Su / Kir / Yağ itici	Beyaz emülsiyon Özgül ağırlığı : 1,02 g/cm ³ pH : 2 - 4
RUCON FAN	Modifiye edilmiş N-metilol dihidroksietilenüre (DMDHEU) (noniyonik)	Çapraz bağlama maddesi	Berrak, sarımsı sıvı Özgül ağırlığı : 1,22-1,24 g/cm ³ pH: 4 - 5
PERRUSTOL VNO	Yağ asidi kondenzasyon ürünü (noniyonik)	Yumuşatıcı	Beyaz emülsiyon Özgül ağırlığı : 0,96 g/cm ³ pH: 4 - 5
1,2,3,4-BTCA	Bütantetrakarboksilik asit	Polikarboksilik asit	C ₈ H ₁₀ O ₈ M = 234,16 gr
SHP	Sodyumhipofosfit monohidrat	Hipofosfit katalizatörü	H ₂ NaO ₂ P.H ₂ O M = 105,99 gr

Çizelge 3.5. (Devam) Çalışmada kullanılan kimyasallar

	Kimyasal Yapısı	Kullanım Alanı	Özellikleri
	Asetik Asit	pH ayarı	%60 'lık
	Magnezyum Klorür	Metal tuzu katalizatörü	Katı madde

Çizelge 3.5'teki kimyasallardan oluşan ve üretici firmaların (Nano-Tex LLC ve Rudolf-Duraner) önerileri göz önüne alınarak hazırlanan, işletme ortamında da kullanılan reçeteler ise Çizelge 3.6'da görülmektedir. Sıvı iticilik kazandırmaya yönelik olan N1, N2, N3 ve N1Ş kodlu reçeteler nano bitim, S ve S+B kodlu reçeteler konvansiyonel bitim ve BT kodlu reçete kombine bitim reçetesi olarak adlandırılmıştır. Nano ve konvansiyonel bitim reçetelerinde floropolimerle birlikte kullanılan çapraz bağlayıcının kumaş özelliklerine etkisini değerlendirmek amacıyla, çapraz bağlayıcı maddenin ana kimyasal olarak yer aldığı buruşmazlık bitim reçeteleri de (B ve B*) ayrıca kullanılmıştır.

Çizelge 3.6. Çalışmada kullanılan reçeteler

Reçete Kodu	Reçete İçeriği	Kurutma ve kondenzasyon
N1	50 g/l NT-X293 40 g/l REACEL NTR2 35 g/l DRAIG NT-EX 15 g/l WELKIN NT-40 15 g/l CEROFIL NT-RE 1 g/l FIMBIL NRW	Kurutma: 150 °C, 45" Kondenzasyon: 170 °C, 1' 10" pH: 4
N2	50 g/l NT-X293 20 g/l REACEL NTR2 35 g/l DRAIG NT-EX 15 g/l WELKIN NT-40 15 g/l CEROFIL NT-RE 1 g/l FIMBIL NRW	Kurutma: 150 °C, 45" Kondenzasyon: 170 °C, 1' 10" pH: 4
N3	50 g/l NT-X293 35 g/l DRAIG NT-EX 15 g/l WELKIN NT-40 15 g/l CEROFIL NT-RE 1 g/l FIMBIL NRW	Kurutma: 150 °C, 45" Kondenzasyon: 170 °C, 1' 10" pH: 4
N1Ş	50 g/l NT-X293 40 g/l REACEL NTR2 35 g/l DRAIG NT-EX 15 g/l WELKIN NT-40 15 g/l CEROFIL NT-RE 1 g/l FIMBIL NRW	Kurutma / Kondenzasyon: 175 °C, 1' 25" pH: 4

Çizelge 3.6. (Devam) Çalışmada kullanılan reçeteler

Reçete Kodu	Reçete İçeriği	Kurutma ve kondenzasyon
S	50 g/l RUCO-GUARD AFC 1 ml/l A. Asit	Kurutma: 130 °C, 5' Kondenzasyon: 170 °C, 1' 10" pH: 5
B	40 g/l RUCON FAN 40 g/l PERRUSTOL VNO 20 g/l MgCl ₂	Kurutma: 130 °C, 5' Kondenzasyon: 170 °C, 1' 10" pH: 3,5
B*	40 g/l REACEL NTR2 40 g/l PERRUSTOL VNO 20 g/l MgCl ₂	Kurutma: 130 °C, 5' Kondenzasyon: 170 °C, 1' 10" pH: 3,5
S+B	80 g/l RUCO-GUARD AFC 20 g/l RUCON FAN 5 g/l MgCl ₂ 1 ml/l A. Asit	Kurutma: 130 °C, 5' Kondenzasyon: 170 °C, 1' 10" pH: 4,5
BT	50 g/l NT-X293 40 g/l BTCA 35 g/l DRAIG NT-EX 30 g/l CEROFIL NT-RE 10 g/l SHP 1 g/l FIMBIL NRW	Kurutma: 130 °C, 5' Kondenzasyon: 170 °C, 1' 10" pH: 2,5

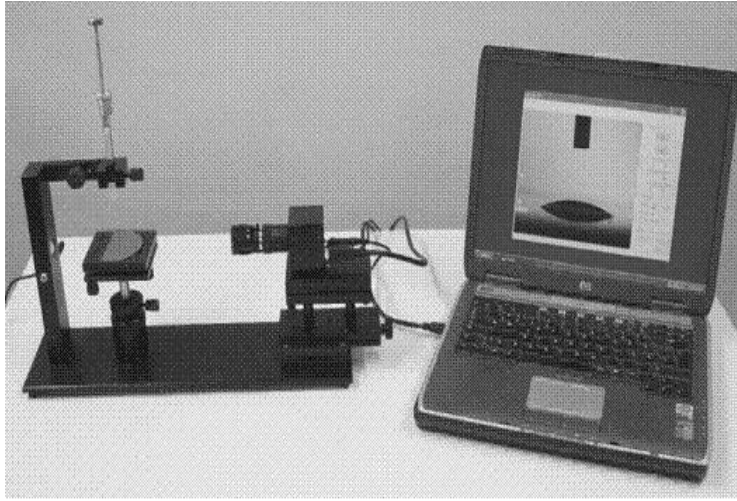
3.1.3. Çalışmada Kullanılan Cihaz ve Düzenekler

3.1.3.1. Emdirme Yöntemine Göre Aplikasyonların Yapıldığı Laboratuvar Cihazları

Çizelge 3.4'te verilen reçetelerin aplikasyonları laboratuvar tip Mathis fulard ile yapılmıştır. Emdirme yöntemine göre yapılan aplikasyonlarda, pamuklu kumaş üzerine alınan banyo oranı (AF) %70 olacak şekilde fulard silindirlerinde 3 bar sıkma basıncı uygulanmıştır. Aplikasyon sonrasında kumaşların kurutma ve kondenzasyon işlemleri LTF tip Werner Mathis AG etüvde tamamlanmıştır.

3.1.3.2. KSV CAM 100 Temas Açısı Ölçüm Cihazı

Floropolimer içeren reçeteler aktarılmış kumaşların ıslanma davranışını değerlendirmek için kullanılan temas açısı ölçümleri, KSV CAM 100 SN 7170 cihazı ile yapılmıştır. CAM 100, katı/sıvı yüzeyler arasındaki etkileşimin anlaşılması, sıvının ıslatma, yayılma, adsorbsiyon gibi özelliklerin incelenmesi amacıyla önemli bir parametre olan temas açısı değerini ($0 - 180^{\circ}$) aralığında, $\pm 0,1$ hassasiyette ölçebilmektedir. Şekil 3.1'de CAM 100 cihazı görülmektedir.



Şekil 3.1. CAM 100 Temas Açısı Ölçüm Cihazı (KSV cihaz kataloğu)

3.1.3.3. Brookhaven 90Plus Parçacık Boyut Analiz Cihazı

Brookhaven 90Plus, uygun ıslatıcı ve/veya disperse edici kimyasal ile $\%0,01-1,0$ hacim oranında seyreltilmiş ve oluşması muhtemel topaklanmaların ultrasonikatör ile kırıldığı dispersiyon içinde parçacık büyüklüğü ve dağılımı analizi yapmaktadır. Cihaz dinamik ışık saçılma (DLS) prensibine göre yapılan ölçümlerle, 1-3 mL dispersiyon içindeki 1 nanometre - 6 mikrometre aralığında parçacık boyutlarını tespit etmekte ve efektif parçacık çapını $\pm \%1$ hassasiyette tayin etmektedir.



Şekil 3.2. 90Plus Parçacık Boyut Analiz Cihazı ([Brookhaven](#) cihaz kataloğu)

3.1.3.4. Jeol JSM 6060 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Doktora çalışmasında kumaş yüzeylerinin yüksek vakum altında detaylı karakterizasyonu yapmak (yüzey morfolojisini, yüzey üzerindeki parçacıkların büyüklüğü ve şeklini incelemek) ve elektron ışın demeti kullanarak SEM görüntüleri almak için 300.000 kez büyütme yapabilen ve 10 nanometre ayırt etme gücüne sahip Jeol JSM 6060 kullanılmıştır. JSM 6060 birlikte kullanılan EDX enerji dağılımlı X- ışınları spektroskopisi (Oxford Inst./İngiltere) ile de parçacıkların kimyasal yapı analizi yapılabilmektedir.

3.1.3.5. Bio-rad FTS 185 Fourier Transform Infrared Spektrometresi (FT-IR)

Çalışmada kullanılan kimyasalların molekül yapılarının açıklanması amacıyla kimyasallardan ve işlem görmüş kumaşlardan alınan FTIR analizleri, MCT dedektörü donanımı bulunan Bio-rad FTS 185 FT-IR sistemi ile KBr pelet içinde tamamlanmıştır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Kimyasal Yapı Analizleri

3.2.1.1. Brookhaven 90Plus Cihazı ile Alınan Ölçümler

Brookhaven 90Plus, koloidal dispersiyon içinden geçen bir ışık demetindeki (dispersiyondaki parçacık veya damlacıkların sebep olduğu) saçılmayı analiz ederek parçacık boyutunu ve dağılımını belirlemektedir. Dinamik ışık saçılma prensibine göre, ışık demetindeki saçılma her doğrultuda olabilir; eğer parçacıkların büyüklüğü ışığın dalgaboyuna kıyasla çok küçükse, saçılma yoğunluğu her doğrultuda aynı iken, 250 nanometre ve üzeri çapa sahip parçacıkların sebep olduğu saçılma belli bir açı doğrultusuna yoğunlaşır. Bununla beraber, yeterince küçük parçacıkların düzensiz termal hareketlenmelerinden (Brownian hareketliliği) ve komşu parçacıklara olan uzaklıklarının zaman içinde değişmesinden dolayı saçılma yoğunluğu dalgalanmalar gösterebilir. Eğer ışık demeti lazer gibi kohorent ve monokromatik ise, bu dalgalanmalar gözlemlenebilir ve zamana bağlı olarak grafikleştirilebilir¹.

Brookhaven 90Plus, ölçüm yapılan dispersiyon içinden belli bir dalgaboyunda lazer demeti geçirmekte ve meydana gelen saçılmaları, saçılma yoğunluğunu ve yoğunluktaki dalgalanmaları dijital bir dedektör ile belirleyip zamana bağlı olarak grafikleştirmektedir. Bu grafiğin cihaz yazılımında yer alan oto-korelasyon fonksiyonu ile analiz edilmesi, dispersiyonun çok modlu boyut dağılımı ve ortalama efektif parçacık çapı hakkında bilgi vermektedir.

Dispersiyon içindeki boyut dağılımı, boyutsuz bir büyüklük olan polidispersite değeri ile karakterize edilmektedir. Polidispersite, dispersiyondaki parçacıkların boyut dağılımındaki düzgünlüğünün bir ölçüsüdür; başka bir ifadeyle boyut dağılımının genişliği hakkında bilgi verir. Monodispers bir sistemde bu değer 0'dır. Dağılım dar ise 0,02 – 0,08 arasındadır ve daha geniş dağılmış numuneler için daha büyüktür (Wiacek ve Chibowski 1999).

¹ <http://www.brookhaven.co.uk/dynamic-light-scattering.html>

Polidispersite, kümülan analiz metoduyla hesaplanmaktadır ve bu metotta temel eşitlik şu şekildedir:

$$g(t) = \int G(\Gamma)e^{-\Gamma t} \partial\Gamma \quad (3.1)$$

Eşitlik 3.1'de, $g(t)$ ölçülen veri, t gecikme süresi, $G(\Gamma)$ parçacıkların dağılımına bağlı fonksiyondur. Γ ise Eşitlik 3.2'deki gibi tanımlanır:

$$\Gamma = Dq^2 \quad (3.2)$$

Bu eşitlikte q , ışığın parçacıktan kaynaklanan saçılma mesafesidir ve Eşitlik 3.3 ile verilir:

$$q = \frac{4\pi n}{\lambda} \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (3.3)$$

Eşitlik 3.3'te n dispersiyonun kırılma indisi, θ saçılma açısı ve λ dispersiyon içinden geçen ışık demetinin (lazer) dalga boyudur.

Eşitlik 3.2'de görülen D ise ışık demetindeki saçılmadan elde edilen difüzyon katsayısıdır ve parçacık boyutuyla ilişkilendirilerek Eşitlik 3.4'teki gibi verilir:

$$D = \frac{kT}{3\pi\eta d} \quad (3.4)$$

Burada k Boltzmann sabiti, T mutlak sıcaklık, η dispersiyonun viskozitesi ve d efektif parçacık çapıdır.

Eşitlik 3.1'de görülen eksponansiyel ifadenin Taylor serisi yardımıyla açılımında elde edilen ilk kümülan, Eşitlik 3.2 ile verilen Γ değeridir. İkinci kümülan, Eşitlik 3.5 ile verilen ifadedeki değerdir:

$$\mu_2 = (D^2 - D^{*2})q^2 \quad (3.5)$$

Bu ifadede D^* ortalama difüzyon katsayısıdır. Bu kümülan, difüzyon katsayısının saçılma yoğunluğuna bağlı varyasyonunun hesaplanmasını sağlar. İki kümülanın birbirine oranı ise, boyut dağılımının genişliği hakkında bilgi verecektir (polidispersite).

Brookhaven 90Plus, saçılma yoğunluğunun zamana bağlı grafiğini otokorelasyon fonksiyonu ile analiz ederek kümülanları belirlemekte ve yukarıda sıralanan eşitlikleri kullanarak parçacık çapına ulaşmaktadır. Efektif çap (d_{eff}), katı ile sıvı arasındaki hidrodinamik etkileşimin gerçekleştiği yüzeyi ifade eden

dalgaboyu 670 nm'dir ve ölçümler 90⁰'lik saçılma açısından alınmıştır. Her bir kimyasal için, ölçümler dört kez tekrarlanmıştır.

3.2.1.2. Jeol JSM 6060 ile alınan SEM görüntüleri

İşlemler sonrası kumaş morfolojisinin incelenmesi, kumaş ve lif yüzeyinde kimyasal yerleşiminin karşılaştırılması ve görüntülerin kimyasalların parçacık büyüklükleriyle ilişkilendirilmesi amacıyla TÜBİTAK MAM'da farklı büyütme oranlarında SEM görüntüleri alınmıştır. Kumaş yüzeyleri, inceleme öncesinde altın ile kaplanarak iletken hale getirilmiştir.

3.2.1.3. Fourier Transform Infrared Spektrometresi (FT-IR) analizleri

Doktoranın deneysel çalışmasında kullanılan kimyasallardan ve işlem sonrası kumaşlardan alınan FT-IR analizleri, TÜBİTAK MAM'da numunelerin infrared radyasyonla dörder kez taranması ile elde edilen ortalama spektrumun, oda sıcaklığında 4 cm⁻¹ çözünürlükle kaydedilmesiyle alınmıştır.

3.2.2. Aplikasyonlar ve Sonrasında Alınan Performans Ölçümleri

Çizelge 3.6'da verilen reçeteler kullanılarak yapılan nano bitim işleminde kurutma ve kondenzasyonun iki adımda tamamlanması yerine tek adımda (şok kondanze) tamamlanmasının işlem üzerine etkisini değerlendirmek için, N1 ve N1Ş reçeteleri ile işlem görmüş kumaşların çeşitli performans özellikleri ölçülmüştür. Ölçümler, tekrarlı yıkamalar sonrasında tekrarlanmıştır.

Özellikle stabil örgü yapılarına sahip kumaşlara aktarılabacak nano bitim reçetesinde, çapraz bağlayıcının miktarının azaltılmasının işlem üzerine etkisini değerlendirmek için, ayrı banyolarda N1, N2, N3, S, B, B* ve S+B reçeteleri emdirilmiş kumaşlara ait çeşitli performans ölçümleri alınmıştır. Ölçümler, tekrarlı yıkamalar sonrasında tekrarlanmıştır.

Nano bitim reçetesinde yer alan ve düşük formaldehit içeren çapraz bağlayıcı yerine polikarboksilik asit kullanılmasının, işlem etkinliğine etkisini

değerlendirmek üzere N1 ve BT reçeteleri ile işlem görmüş kumaşların çeşitli performans özellikleri ölçülmüştür. Ölçümler, tekrarlı yıkamalar sonrasında tekrarlanmıştır.

Aplikasyonlar sonrası ölçülen kumaş performans özellikleri ise Çizelge 3.7'de görülmektedir.

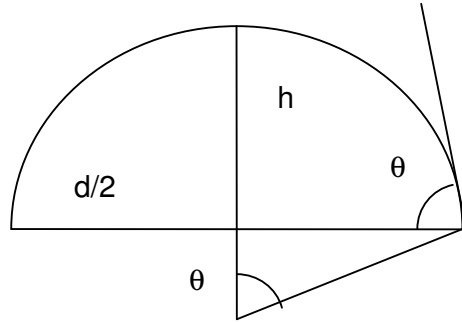
Çizelge 3.7. Aplikasyonlar sonrası ölçülen performans özellikleri

Ölçüm	Standart	Düzenek / Cihaz	Ölçüm Yapılan Yer
Renk Farkı	AATCC 173	Macbeth MS2020+ Reflektans Spektrofotometresi	Uludağ Üniversitesi Tekstil Müh. Böl. Laboratuvarları
Kuru / Yaş Sürtme Haslığı	AATCC 8	Crockmeter	Uludağ Üniversitesi Tekstil Müh. Böl. Laboratuvarları
Asidik / Bazik Ter Haslığı	EN ISO105 / E04	Persprometre	TÜBİTAK BUTAL
Suya Karşı Renk Haslığı	EN ISO105 / E01	Persprometre	TÜBİTAK BUTAL
Su İticilik	AATCC 22	Standart Spray Test Düzeneği	Rudolf Duraner AŞ Laboratuvarı
Yağ İticilik	AATCC 118	Standart Hidrokarbon Yağ Kiti	Rudolf Duraner AŞ Laboratuvarı
Formaldehit Tespiti	AATCC 112	Kolorimetrik yöntem	Yeşim Tekstil AŞ Laboratuvarı
Patlama Mukavemeti	ASTM D 3786	Pnömatik Patlama Mukavemeti Ölçeri	Yeşim Tekstil AŞ Laboratuvarı
Aşınma Dayanımı	ASTM D 4966	Martindale	Uludağ Üniversitesi Tekstil Müh. Böl. Laboratuvarları
Kalınlık	ASTM D 1777	James H. Heal Kumaş Kalınlık Ölçeri	Uludağ Üniversitesi Tekstil Müh. Böl. Laboratuvarları

3.2.2.1. CAM 100 Cihazı ile Alınan Ölçümler

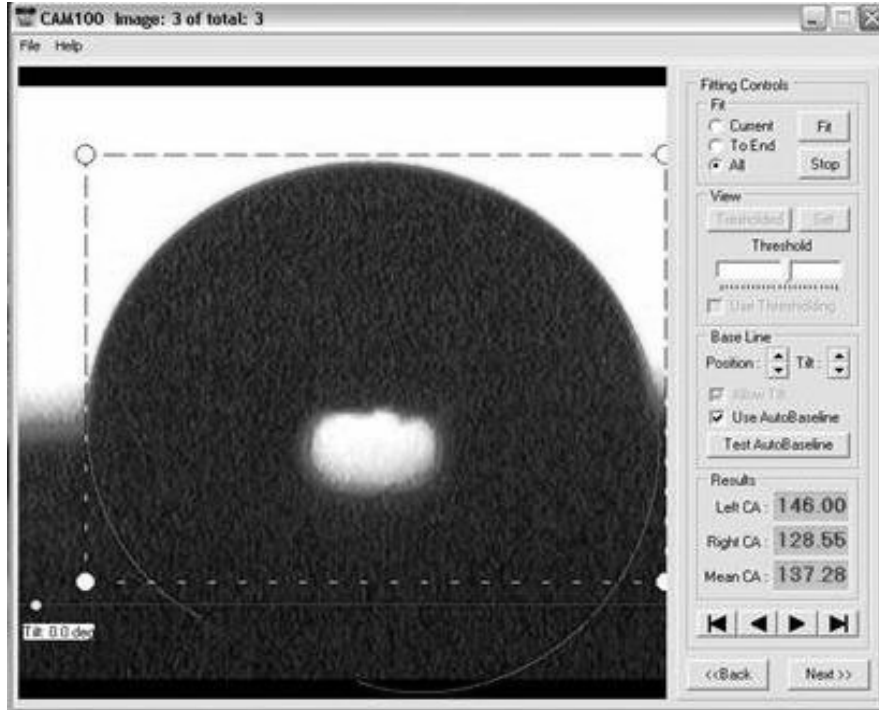
Floropolimer içeren nano (N1, N2, N3, N1Ş), konvansiyonel (S, S+B) ve kombine bitim işlemi (BT) görmüş kumaşların ıslanma davranışlarını karşılaştırmak için Dokuz Eylül Üniversitesi / Tekstil Mühendisliği Bölümü'nde KSV CAM 100 ile temas açısı ölçümleri alınmış ve adhezyon gerilimleri hesaplanmıştır.

KSV CAM 100, hidrofob yüzey üzerine bırakılan su damlasının küresel görüntüsünü 50 mm. optikli, entegre CCD kamera ile saniyede 30 poz olarak fotoğraflamakta ve elde ettiği görüntü üzerinde imaj analizi ile damlanın yükseklik (h) ve çap (d) değerlerini belirleyerek (Şekil 3.4) Eşitlik 3.1 ile temas açısını (θ) hesaplamaktadır. Temas açısı ölçümlerindeki ekran görüntüsü Şekil 3.5'te görülmektedir.



Şekil 3.4. Yüzeydeki damlanın geometrisi

$$\theta = \arctan \frac{4hd}{d^2 - 4h^2} \quad (3.1)$$



Şekil 3.5. CAM 100 ile yapılan ölçümlerinde ekran görüntüsü ve bulunan temas açısı değerleri

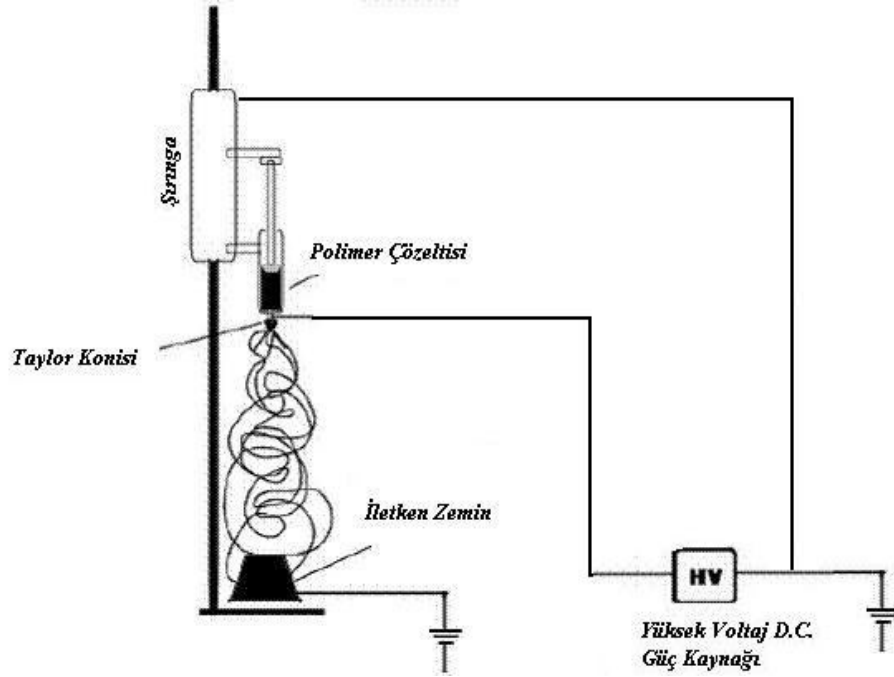
CAM 100 ile ilgili kumaşlardan temas açısı ölçümleri, kumaş üzerine distile su damlası bırakılarak yapılmış ve her kumaş için ölçüm 4 kez tekrarlanmıştır. Bulunan ortalama temas açısı değerlerinden işlem görmüş kumaşlar için adhezyon gerilimleri hesaplanmıştır.

3.2.3. Farklı Aplikasyon Tekniklerinin Kullanılması

3.2.3.1. Elektrospin Düzeneği ile Yapılan Denemeler

Nano bitim reçetesinin emdirme yöntemiyle aktarılması esnasındaki yüksek kimyasal tüketiminin (kumaş üzerine alınan banyo oranı) azaltılması ve kimyasaldaki aglomerat oluşumunun önlenmesi amacıyla, Çizelge 3.6'da yer alan N1 ve BT kodlu nano bitim reçeteleri ile nano floropolimerin kumaşlara elektrospin düzeneği vasıtasıyla aktarılması (elektrospray) üzerine çalışmalar yapılmıştır.

Sabancı Üniversitesi/Doğa Bilimleri Mühendisliği/Polimer Laboratuvarı'nda yapılan çalışmalarda, Şekil 3.6'da görülen elektrospin düzeneğinin şırıngası içine koyulan 1,5 ml'lik nano bitim reçetesi, kV mertebesinde voltaj uygulanarak 10 cm uzaklıktaki alüminyum plaka kolektör (iletken zemin) üzerine yerleştirilen 12x12 cm ebatlarındaki kumaşa doğru püskürtülmüştür. Univentör 801 şırınga pompası, şırıngadan dışarı akış hızını belirlenen değerinde sabit tutmuştur. Aplikasyon sonrası kumaşlar 170°C'de kondenzasyona tabi tutulmuştur.



Şekil 3.6. Elektrospin düzeneği

3.2.3.2. Plazma Yöntemi ile Yapılan Denemeler

Plazma, ısı (yüksek sıcaklık plazması) veya elektriksel boşalım (düşük sıcaklık plazması) yoluyla aktive edilen yüklü, reaktif bir ortamdır. Gazın nötr atomlarının ve moleküllerinin negatif veya pozitif yüklü iyonlara, negatif yüklü elektronlara ve diğer radikallere parçalanması ile oluşan yüklü parçacıkların karışımı bu ortam içindeki enerji yüklenmiş elektronlarla gaz moleküllerinin çarpışmaları sonucunda iyonlar, serbest radikaller, UV radyasyon ve yeni bazı aktif kimyasallar oluşturulur ve yüklenmiş bu partiküller tekstil malzemesi yüzeyinde bir takım yüzeysel değişikliklere yol açar. Plazma uygulaması, tekstil materyallerinin polimerik, metalik veya seramik malzemelerle kaplanması, temizlenmesi, aşındırılması ve hidrosil, karboksil gibi fonksiyonel gruplarla yüzey özelliklerinin modifikasyonunda / aktivasyonunda kullanılan; yüzey özelliklerini kontrollü biçimde etkilerken malzeme fiziki özelliklerinde değişime yol açmayan, kısa süreli ve çevre dostu bir uygulama tekniğidir. Laboratuvar ortamında çalışmalar, elektriksel boşalım ile üretilen plazma ortamının vakum

kamarasında tekstil malzemesiyle muamelesi ile yapılmaktadır. (Özdoğan 2003, Hegemann ve Fischer 2004).

Doktora çalışmasında, plazma işlemi ile pamuklu ve sentetik kumaşların lif yüzeyinde fonksiyonel grupların oluşturulması / sayısının artırılması, bu gruplar vasıtasıyla nano bitim kimyasalların malzeme yüzeyine bağlanmasının sağlanması / geliştirilmesi ve bu sayede nano bitim işleminin etkinliğinin artırılması üzerine Hacettepe Üniversitesi / Gıda Mühendisliği Bölümü'nde denemeler yapılmıştır. Denemelerde kumaşlar, PICO Plazma Sistemine ait vakum kamarasında 30 Watt giriş gücü, 0.8 mbar basınçta ve 20 dakika boyunca mikrodalga (2.45 GHz) jeneratör ile üretilen O₂ plazma ortamına tabi tutulmuştur. İşlem öncesi ve sonrasında Ar gazı ile kumaş üzerindeki safsızlıklar temizlenmiştir.

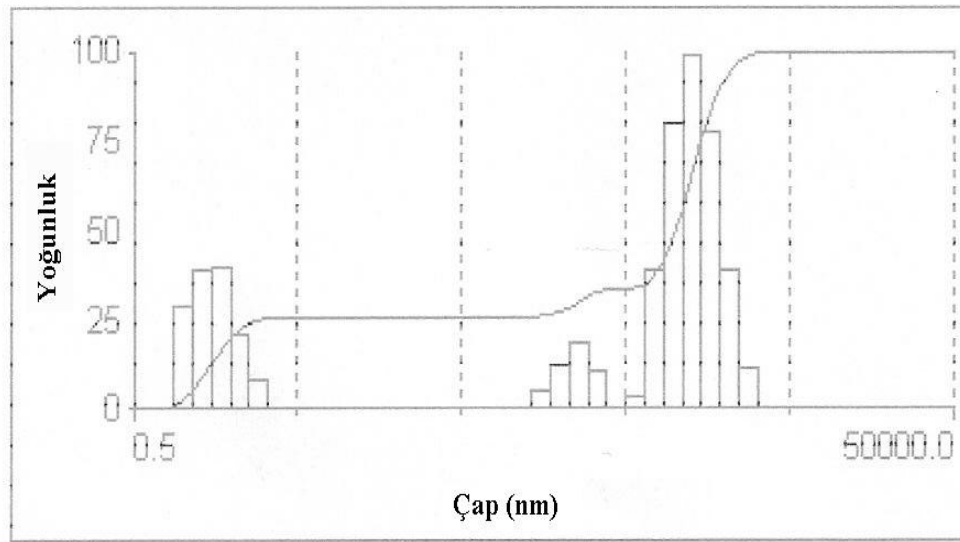


Şekil 3.7. PICO Düşük Basınç Plazma Sistemi

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Parçacık büyüklüğü ve dağılımı analizi

Konvansiyonel bitim işlemlerinde kullanılan çapraz bağlama maddesi için bulunan çokmodlu boyut dağılım grafiği Şekil 4.1'de görülmektedir. Bu grafiklerde, elde edilen piklerin pozisyonları ve alanlarının oranı en kullanışlı bilgileri vermektedir (Wiacek ve Chibowski 1999). Ölçümlerde, 250 nanometre ve 1250 nanometre civarı parçacık büyüklükleri için saçılma yoğunluklarında dalgalanmalar (pikler) görülmektedir. Saçılma yoğunluklarında 1250 nanometre için tespit edilen dalgalanmanın 250 nanometre için olandan daha yüksek ve geniş olması (logaritmik normal eğrinin daha yüksek değerler vermesi), bu dispersiyon içinde büyük parçacık oranının daha yüksek olduğuna işaret etmektedir. 1-3 nanometre için görülen saçılma yoğunlukları ise ihmal edilmiştir. Çizelge 4.1'de ise konvansiyonel bitim işlemlerinde kullanılan çapraz bağlayıcı için çap (d_{nm}), saçılma yoğunluğu (G_d) ve logaritmik normal eğri değeri (C_d) dağılımı görülmektedir.



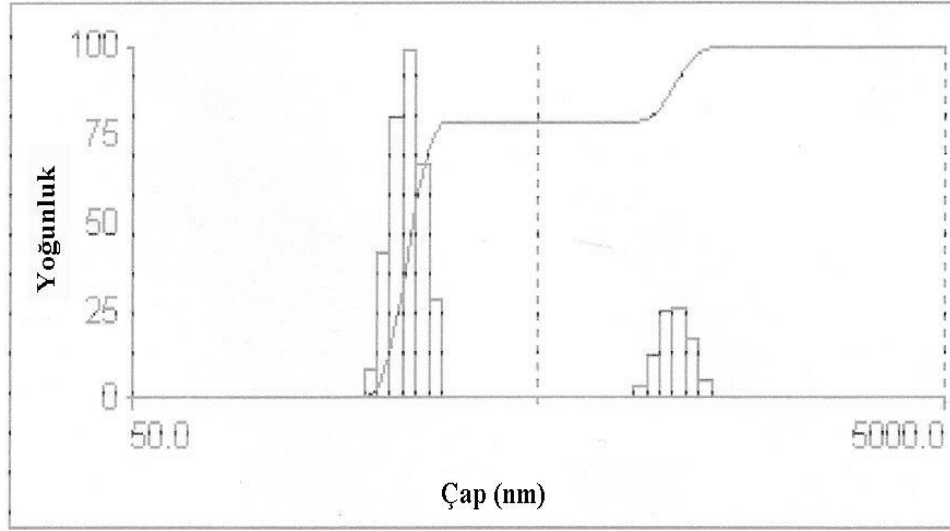
Şekil 4.1. Konvansiyonel tip çapraz bağlayıcı için boyut dağılımı grafiği

Çizelge 4.1. Konvansiyonel tip çapraz bağlayıcı için boyut dağılımı

d_{nm}	G_d	C_d	d_{nm}	G_d	C_d	d_{nm}	G_d	C_d
1,0	29	5	16,2	0	25	330,8	10	34
1,3	39	13	23,7	0	25	430,7	0	34
1,7	39	20	30,8	0	25	560,6	3	34
2,2	20	24	40,1	0	25	729,8	38	42
2,9	7	25	52,2	0	25	950,0	81	57
3,7	0	25	68,0	0	25	1236,7	100	76
4,9	0	25	88,5	0	25	1609,8	78	91
6,3	0	25	115,2	0	25	2095,6	39	98
8,2	0	25	150,0	4	25	2728,0	10	100
10,7	0	25	195,2	12	25	3551,1	0	100
14,0	0	25	254,1	18	25	4622,7	0	100

Nano bitim işlemlerinde kullanılan çapraz bağlayıcı madde için 250 nanometre civarı için tespit edilen saçılma yoğunluğundaki dalgalanma, 1000 nanometre civarı için tespit edilene göre çok daha fazladır (Şekil 4.2.) Bu sonuç, nano çapraz bağlayıcı dispersiyonu içinde küçük parçacık dağılımının fazla olduğunu ve konvansiyonel çapraz bağlayıcı madde arasında parçacık büyüklüğü açısından önemli fark olduğunu göstermektedir. Nano bitim işlemlerinde kullanılan çapraz bağlayıcı için boyut dağılımı ise Çizelge 4.2'de görülmektedir.

Nano reçetelerinde kullanılan çapraz bağlayıcı madde için ortalama efektif çap (d_{eff}) 280,9 nanometre, konvansiyonel tip içinse 851,8 nanometre olarak bulunmuştur. Konvansiyonel çapraz bağlayıcı madde dispersiyonu için polidispersite (parçacık dağılımı) değeri 0,319, nano tip için 0,183 olarak hesaplanmıştır; bu değerler de konvansiyonel tipte çapraz bağlayıcı dispersiyonu içerisinde parçacık büyüklüğü varyasyonlarının nano tiptekinden daha fazla olduğunu göstermektedir.



Çokmodlu Boyut Dağılımı

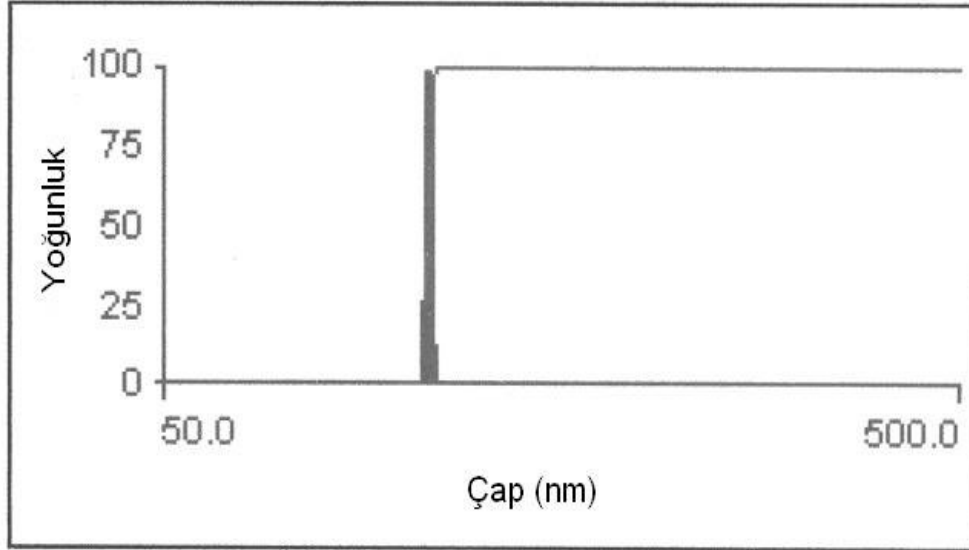
Şekil 4.2. Nano tip çapraz bağlayıcı için boyut dağılımı grafiği

Çizelge 4.2. Nano tip çapraz bağlayıcı için boyut dağılımı

d_{nm}	G_d	C_d	d_{nm}	G_d	C_d	d_{nm}	G_d	C_d
167,2	0	0	371,9	0	79	827,1	0	79
179,8	0	0	400,0	0	79	889,5	0	80
193,4	8	2	430,1	0	79	956,5	11	83
208,0	41	12	462,5	0	79	1028,6	24	89
223,6	80	32	497,4	0	79	1106,1	25	95
240,5	100	56	534,9	0	79	1189,5	16	99
258,6	67	73	575,2	0	79	1279,1	4	100
278,1	27	79	618,5	0	79	1375,5	0	100
299,1	0	79	665,1	0	79	1479,2	10	100
321,6	0	79	715,3	0	79	1590,7	0	100
345,9	0	79	769,2	0	79	1710,6	0	100

Su/kir/yağ itici floropolimerler için alınan ölçümlerde, konvansiyonel floropolimer dispersiyon için 100 nanometre civarında tek bir dalgalanma tespit edilmiştir (Şekil 4.3). Nano bitim reçetelerinde kullanılan floropolimer madde için 20 ve 80 nanometre civarı için saçılma yoğunluğunda dalgalanmalar görülmektedir (Şekil 4.4). Nano tip floropolimer için efektif parçacık çapı 82,5 nanometre, konvansiyonel tipte floropolimer için 104,4 nanometre olarak bulunmuştur; konvansiyonel bitim reçetelerinde kullanılan floropolimer dispersiyonu için bulunan oldukça düşük polidispersite değeri (0,073), parçacık büyüklüğü bakımından yüksek bir homojenliğe sahip olduğunu göstermektedir.

Nano tip floropolimer için polidispersite değeri ise 0,110 olarak bulunmuştur. Konvansiyonel ve nano tip floropolimerler için çap (d_{nm}), saçılma yoğunluğu (G_d) ve logaritmik normal eğri değeri (C_d) dağılımları sırasıyla Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4'te görülmektedir.

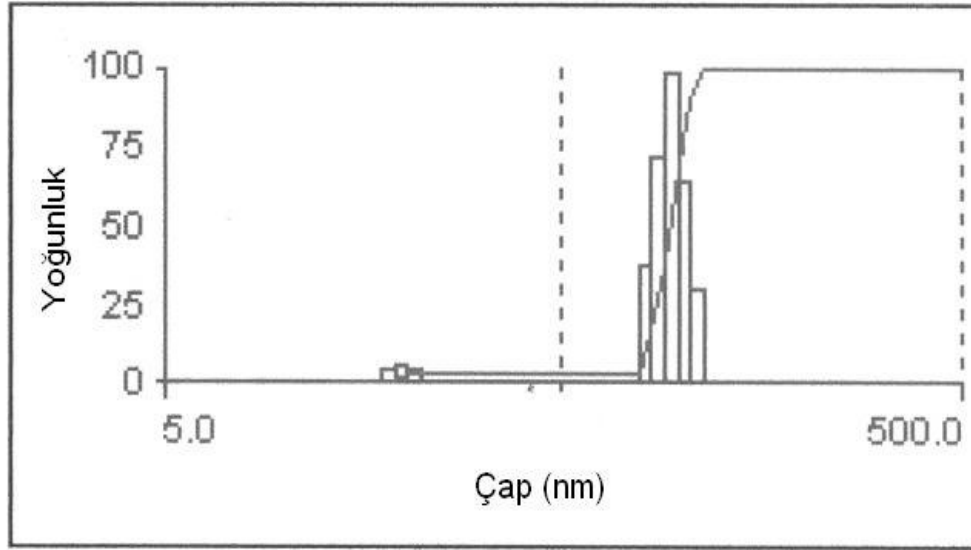


Çokmodlu Boyut Dağılımı

Şekil 4.3. Konvansiyonel tip floropolimer için boyut dağılımı grafiği

Çizelge 4.3. Konvansiyonel tip floropolimer için boyut dağılımı

d_{nm}	G_d	C_d	d_{nm}	G_d	C_d
27,4	0	0	128,6	0	100
32,7	0	0	134,5	0	100
38,9	0	0	142,4	0	100
45,4	0	0	149,6	0	100
54,3	0	0	158,2	0	100
65,2	0	0	169,4	0	100
77,5	24	7	179,3	0	100
84,6	82	89	189,2	0	100
103,4	100	92	202,3	0	100
108,1	11	100	209,1	0	100
117,4	0	100	217,2	0	100



Çokmodlu Boyut Dağılımı

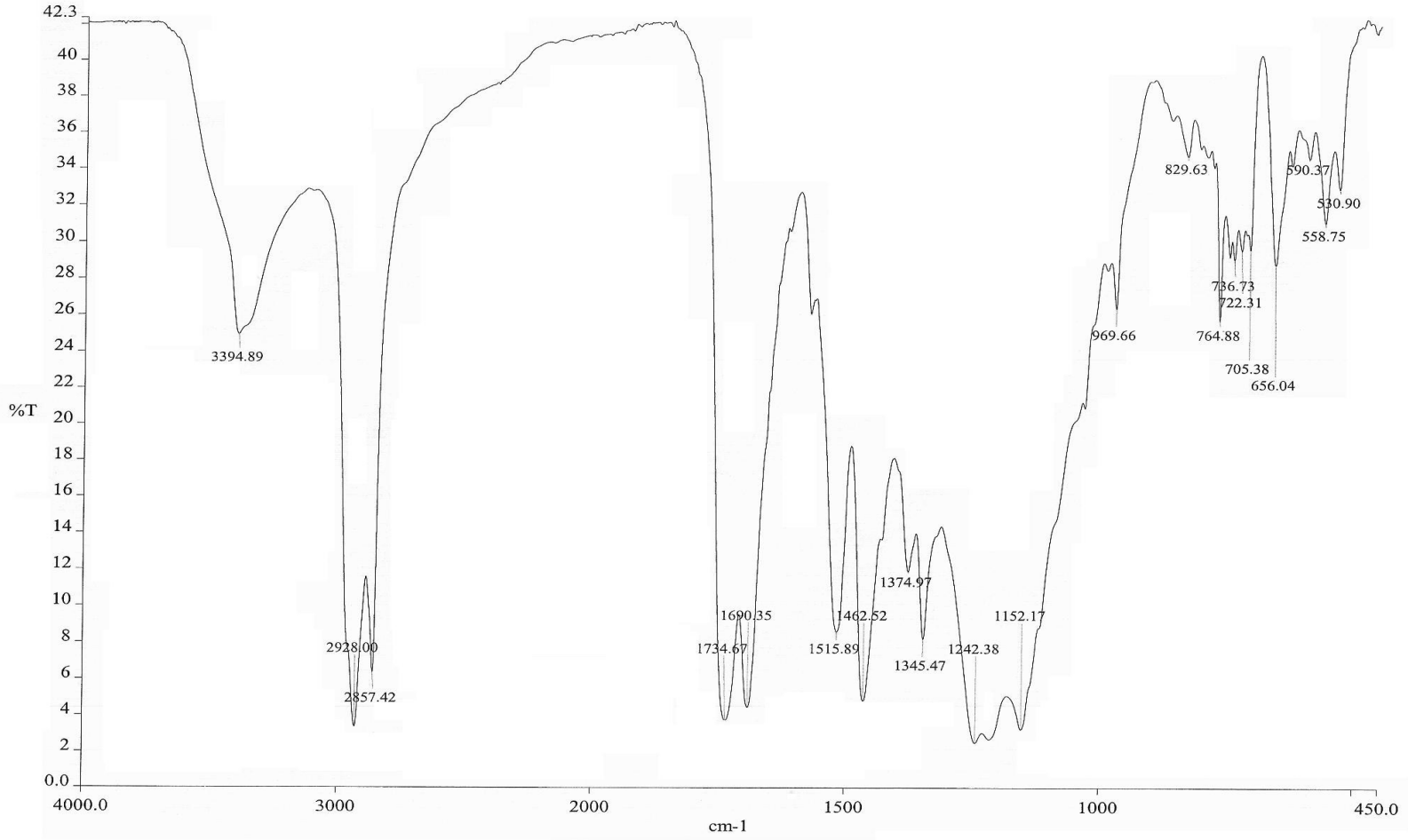
Şekil 4.4. Nano tip floropolimer için boyut dağılımı grafiği

Çizelge 4.4. Nano tip floropolimer için boyut dağılımı

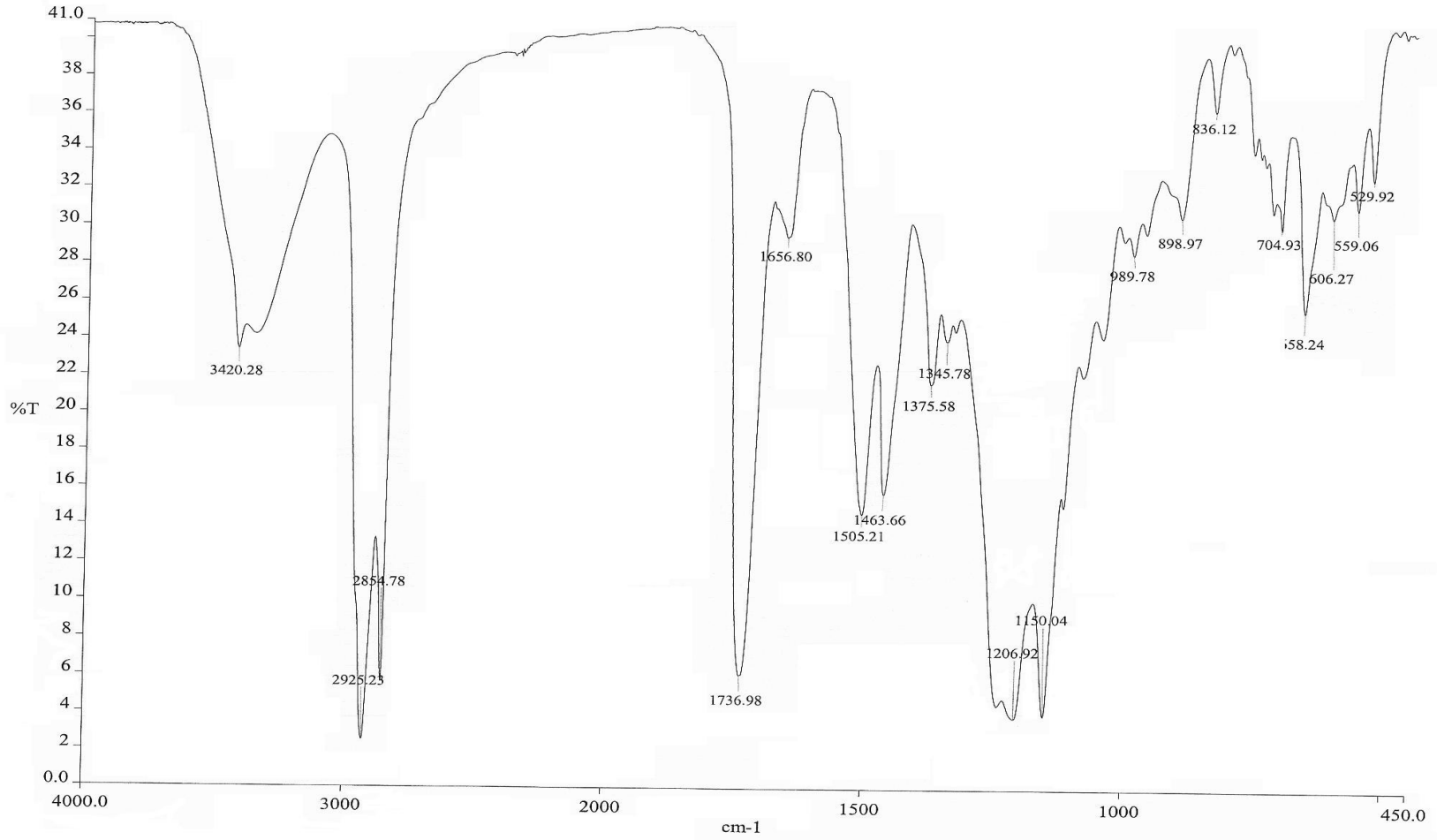
d_{nm}	G_d	C_d	d_{nm}	G_d	C_d
3,2	0	0	69,2	42	19
5,3	0	0	75,1	71	54
9,2	0	0	82,3	100	79
14,5	6	2	87,1	64	92
19,2	8	4	92,6	32	100
24,2	5	5	98,5	0	100
35,2	0	5	106,2	0	100
42,2	0	5	111,6	0	100
48,1	0	5	118,2	0	100
56,3	0	5	125,3	0	100
64,9	0	5	135,2	0	100

Nano ve konvansiyonel bitim işleminde kullanılan bu kimyasalların parçacık büyüklükleri arasındaki farkın etkisini değerlendirmek için, Çizelge 3.1'de yer alan I kodlu kumaş numunelerine ayrı ayrı (40 g/L kimyasal, %70 AF ile fulardda emdirme, etüvde 130 °C'de kurutma, 170°C kondenzasyon şartlarında) aplikasyonlar yapılmış; işlemler öncesi ve sonrasında Reflektans Spektrofotometresinde renk ve renk farkı ölçümü alınmıştır.

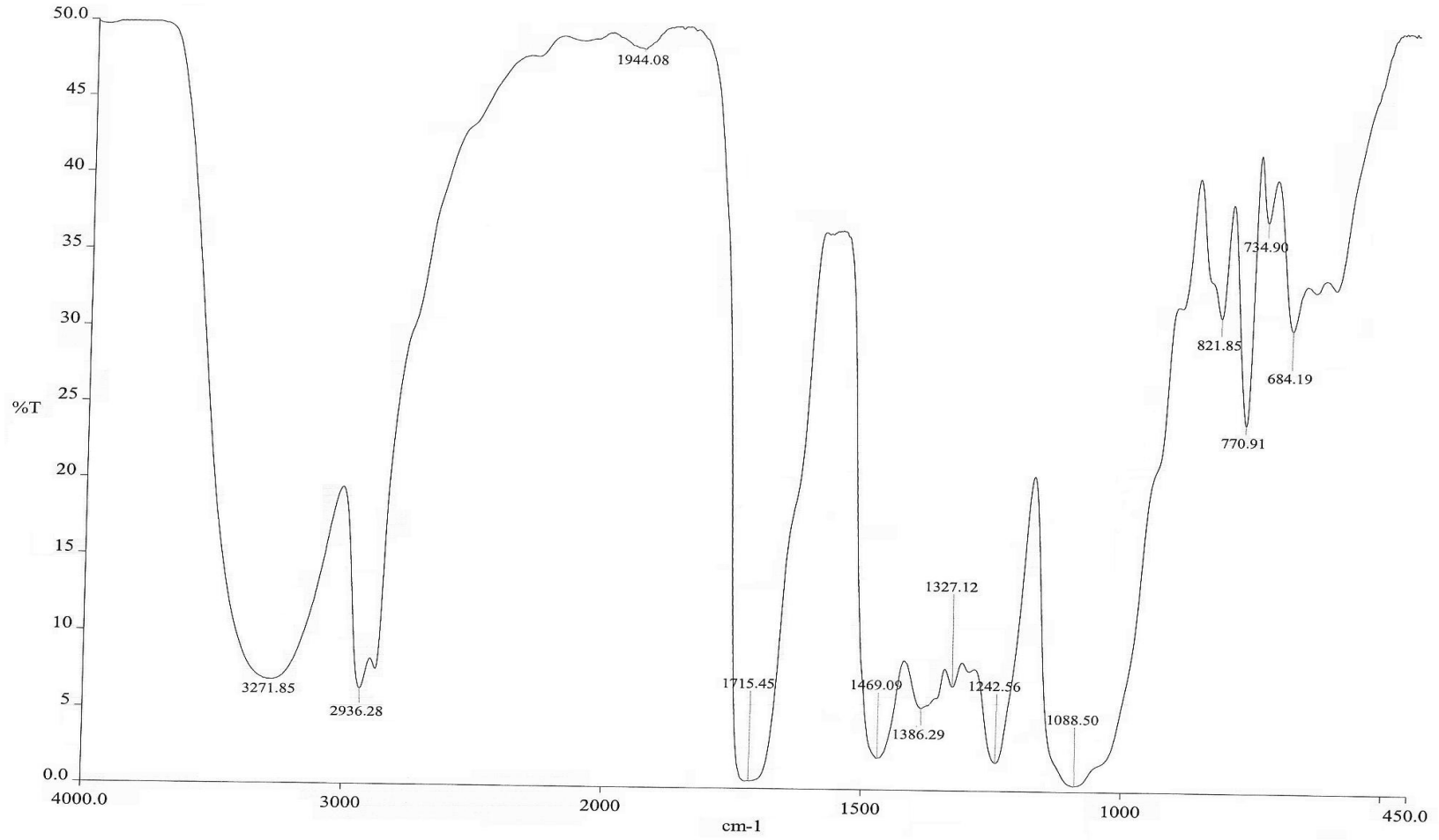
Kimyasalların, 105⁰'de tamamen kurutulduktan sonra alınan FTIR analizleriyle elde edilen spektrumlar Şekil 4.5 – 4.8'de verilmiştir.



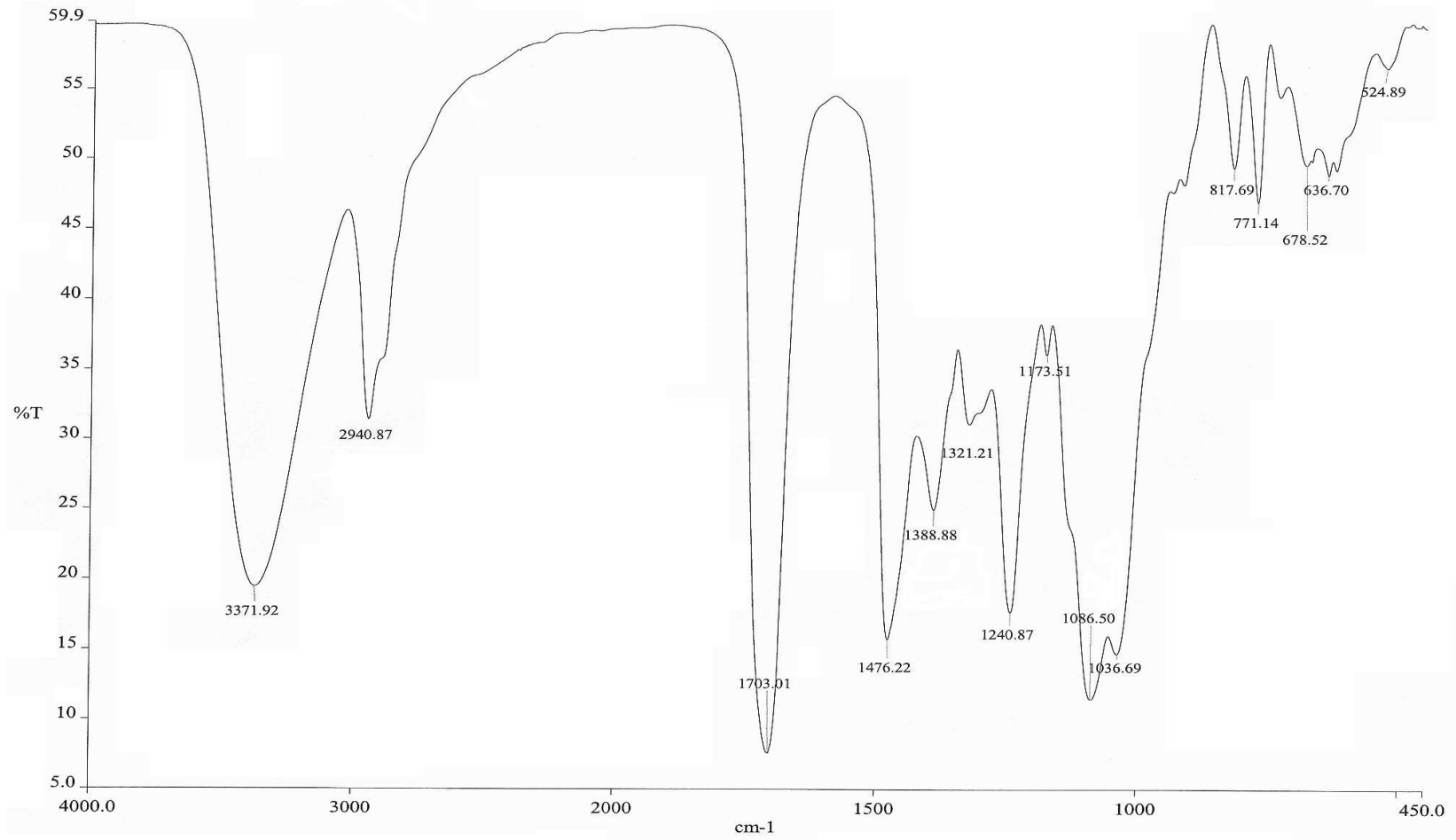
Şekil 4.5. Nano tip floropolimer için FTIR spektrumu



Şekil 4.6. Konvansiyonel tip floropolimer için FTIR spektrumu



Şekil 4.7. Nano tip çapraz bağlayıcı için FTIR spektrumu



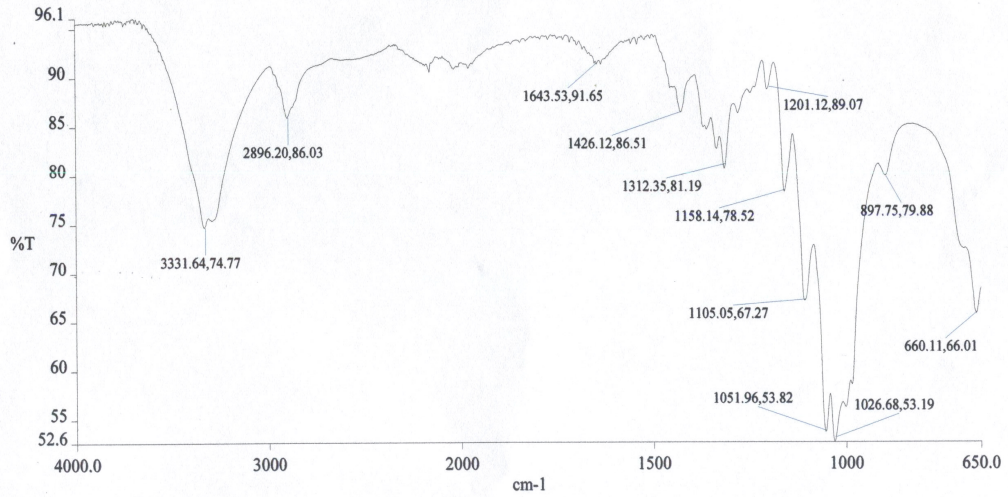
Şekil 4.8. Konvansiyonel tip çapraz bağlayıcı için FTIR spektrumu

Şekil 4.5'deki FTIR analizinde, nano tip floropolimer için ilk olarak C-H gerilme ($2928-2857\text{ cm}^{-1}$), C-H bükülme (1462 cm^{-1}), C-F gerilme (1152 cm^{-1}), C-O gerilme (1242 cm^{-1}) ve O-H gerilme (3394 cm^{-1}) pikleri dikkat çekmektedir. Konvansiyonel tip floropolimer için de Şekil 4.6'da benzer pikler görülmektedir ($2925-2584\text{ cm}^{-1}$ 'de C-H gerilme, 1463 cm^{-1} 'de C-H bükülme, 1206 cm^{-1} 'de C-O gerilme, 1150 cm^{-1} 'de C-F gerilme ve 3420 cm^{-1} 'de O-H gerilme). Her iki tip floropolimerdeki -OH gruplarının varlığı, floropolimerlerin pamuk lifindeki hidroksil grupları ile çapraz bağlanabileceği anlamına gelmektedir. İki kimyasal yapı arasındaki belirgin fark, karbonil bölgesinde konvansiyonel floropolimer için 1736 cm^{-1} 'de görülen ester piki (C=O gerilmesi), nano floropolimer içinse $1734-1690\text{ cm}^{-1}$ 'de (iki C=O grubu nedeniyle) görülen çift karbonil pikidir. Bu durumun hidrofobik floropolimerlerin hidrofilik liflerle arasındaki tutunma (adhezyon) kuvvetini iyileştirmek için yapılarına eklenen grupların farklı olmasından kaynaklandığı; konvansiyonel tip floropolimer için adhezyonun iyileştirilmesinin üretan bağıyla sağlandığı, nano tip floropolimer içinse karboksilik asit anhidridin kullanıldığı düşünülmektedir ki literatürde yer alan ve florokarbon yapıların sentezlendiği bazı çalışmalarda da (Jiang ve ark. 2005) benzer yaklaşımlar kullanılmıştır. Bununla birlikte kimyasalların $400-1200\text{ cm}^{-1}$ arasındaki parmak izi bölgesinde piklerin konumlarının benzer olması ve kurutma yapılmadan alınan FTIR analizleri arasındaki benzerlik faktörünün 0,90'ın üzerinde bulunması, floropolimerlerin kimyasal yapıları arasında paralellikler bulunduğunu, temel farkın yapısal içerik değil parçacık büyüklüğü olduğunu göstermektedir.

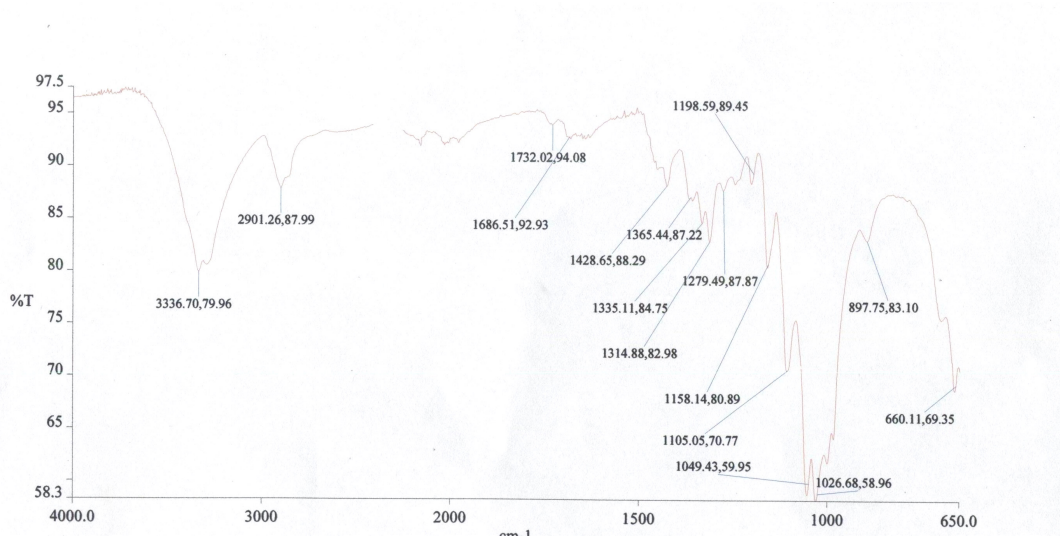
Şekil 4.7 ve 4.8'deki FTIR analizlerinde ise, her iki kimyasal yapı için 3000 cm^{-1} üzerinde O-H gerilme (nano tip çapraz bağlayıcı için 3271 , konvansiyonel tip için 3371 cm^{-1} civarında), 3000 cm^{-1} hemen altında C-H gerilme (nano tip çapraz bağlayıcı için 2936 , konvansiyonel tip için 2940 cm^{-1} 'de), nano ve konvansiyonel çapraz bağlayıcı için sırasıyla 1715 ve 1703 cm^{-1} 'de C=O gerilme, 1469 ve 1476 cm^{-1} 'de C-H bükülme ve 1400 cm^{-1} 'e yakın bölgede C-N gerilme (nano tip çapraz bağlayıcı için 1386 , konvansiyonel tip için 1388 cm^{-1} 'de) pikleri görülmektedir. Çapraz bağlayıcı kimyasalların (kurutma yapılmadan alınan) FTIR analizleri için de benzerlik faktörü 0,90'ın

üzerinde çıkmıştır. FTIR analizleri parçacık büyüklüğünün renk değerlendirmesine etkisinin söz konusu kimyasallarla incelenebileceğini göstermektedir.

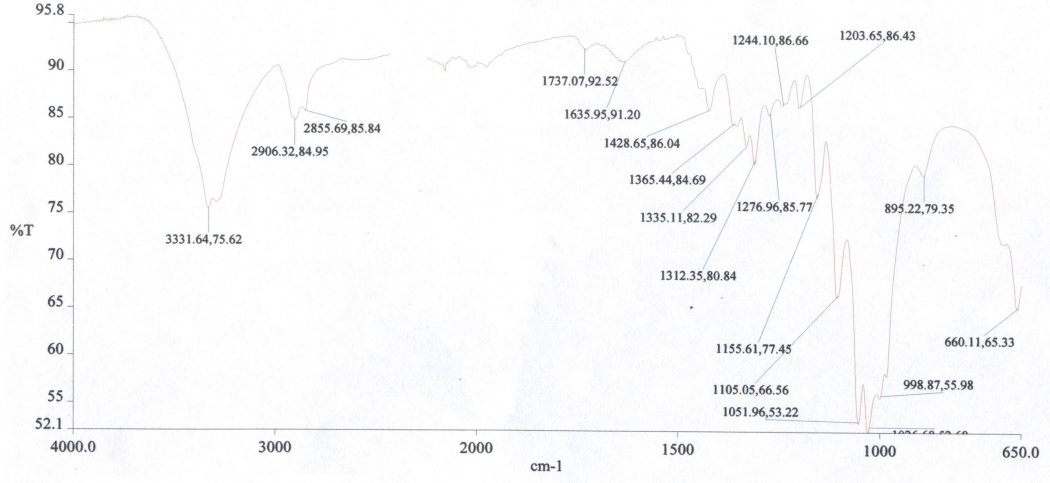
Daha önce belirtildiği şekilde (sayfa 66) kimyasal aktarılmış kumaşlardan alınan FTIR analizlerinde ise, işlem öncesi ve sonrasına ait spektrumlar arasında fark görülmemiştir. Bu nedenle, sadece yüzeyden tarama yaptığı için lif yüzeyindeki kimyasal varlığının belirlenmesine imkan tanıyan FTIR-ATR analizleri yapılmış ve FTIR-ATR spektrumları Şekil 4.9 – 4.14’de verilmiştir.



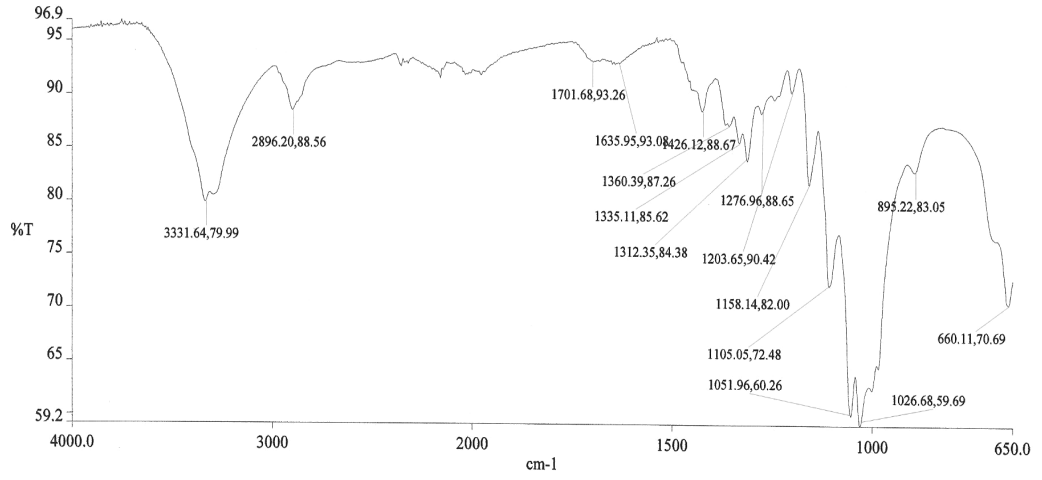
Şekil 4.9. İşlem görmemiş kumaşa ait FTIR-ATR spektrumu



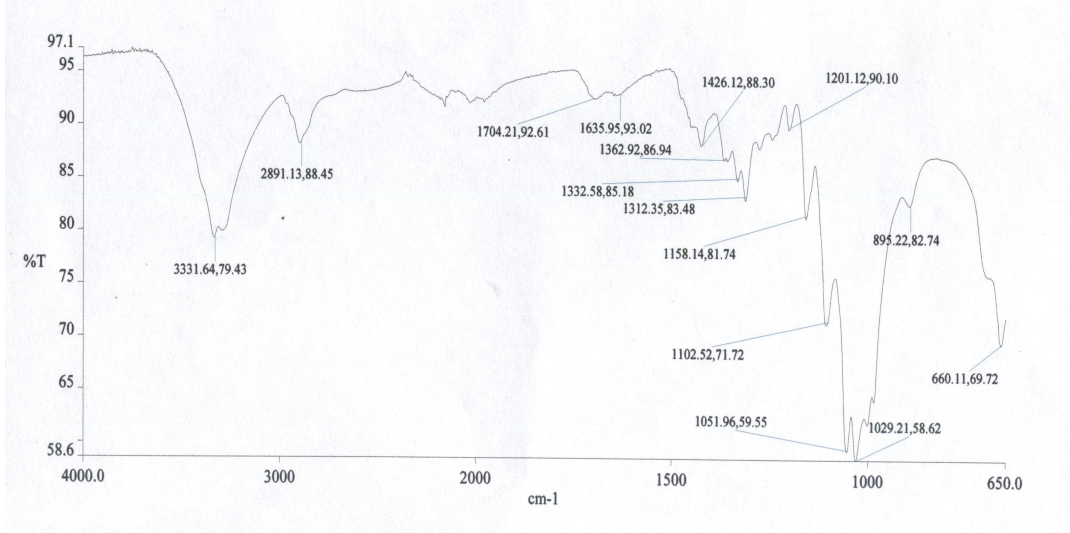
Şekil 4.10. Nano floropolimer aktarılmış kumaşa ait FTIR-ATR spektrumu



Şekil 4.11. Konvansiyonel floropolimer aktarılmış kumaşa ait FTIR-ATR spektrumu



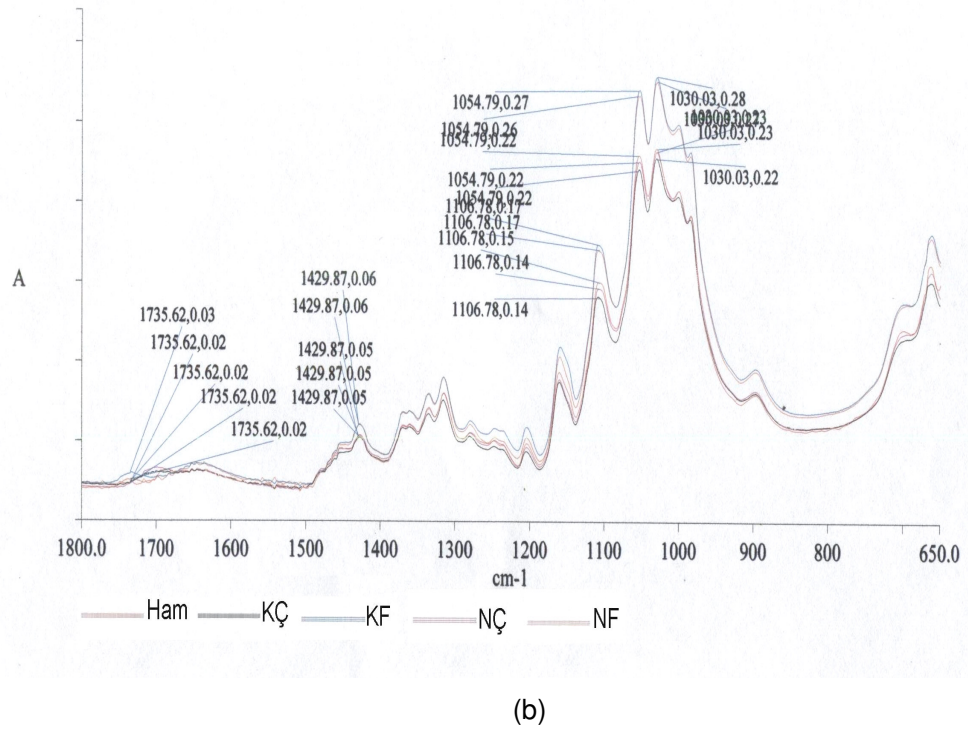
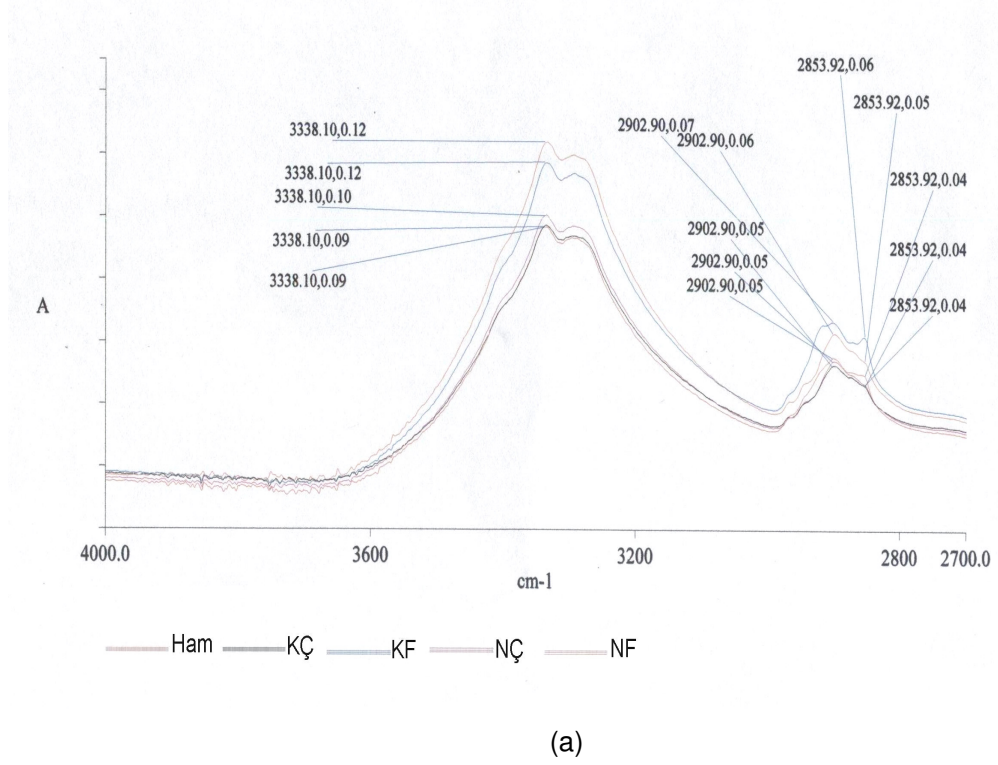
Şekil 4.12. Nano çapraz bağlayıcı aktarılmış kumaşa ait FTIR-ATR spektrumu



Şekil 4.13. Konvansiyonel çapraz bağlayıcı aktarılmış kumaşa ait FTIR-ATR spektrumu

Şekil 4.10 ve 4.11’de verilen floropolimer aktarılmış kumaşlara ait FTIR-ATR spektrumları, aplikasyon öncesinden (Şekil 4.9) farklı olarak, Şekil 4.5 ve 4.6’daki FTIR spektrumlarıyla uyumlu biçimde nano tip floropolimer aktarılmış kumaş için çift karbonil pikinin (1732 ve 1686 cm^{-1}), konvansiyonel tip floropolimer aktarılmış kumaş için ester pikinin (1737 cm^{-1}) görüldüğünü göstermektedir. Şekil 4.12 ve 4.13’teki spektrumlarda da 1704 ve 1701 cm^{-1} ’de ester pikleri görülmektedir. Bu pikler, kimyasallardan kaynaklanan ve lif yüzeyinde bağlanmamış C=O gruplarının varlığını işaret etmektedir.

Şekil 4.14’te ise tüm kumaşların absorbans / dalga sayısı eksenine hazırlanan ATR spektrumları bir arada verilmiştir. Şekil 4.14a’da 3338 cm^{-1} civarındaki O-H gerilme pikinin absorbans değerinin aplikasyonlar sonrası gerilemesi, kimyasalların kumaştaki serbest hidroksil gruplarına bağlandığını göstermektedir. Çapraz bağlayıcı maddeler floropolimerlerden daha fazla hidroksil grubunu kapatmıştır. Nano tip floropolimer aktarılmış kumaşın konvansiyonel tip aktarılmış olandan daha düşük absorbans değerinde O-H piki vermesi, yapısındaki asit anhidridin daha fazla sayıda hidroksil grubuyla bağlanabildiği şeklinde yorumlanmıştır. Şekil 4.1b ise, floropolimer aplikasyonunun kumaşta belirgin şekilde 1054 ve 1030 cm^{-1} ’de artışa (C-H pikleri) neden olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.14. FTIR / ATR spektrumları Ham: İşlem görmemiş kumaş (Çizelge 3.1.), KÇ: Konvansiyonel çapraz bağlayıcı aktarılmış kumaş, KF: Konvansiyonel floropolimer aktarılmış kumaş, NÇ: Nano çapraz bağlayıcı aktarılmış kumaş, NF: Nano floropolimer aktarılmış kumaş

AATCC 173'e göre CIELAB renk uzayında yapılan renk ve renk farkı değerlendirmesi, standart aydınlatıcıdan gönderilen ışığın görünür bölgedeki (400-700 nm dalgaboyu aralığı) yansıma miktarına dayanmaktadır. Renkli yüzeyden yansıyan ışık miktarını değiştiren etkiler renk farkına sebep olmaktadır.

Yüzey profili yüksekliğinin Gaussian olasılık dağılımı ile tanımlandığı pürüzlü bir yüzeydeki yansıma miktarı, Eşitlik 4.1'deki gibi ilişkilendirilebilir (Jang ve Jeong 2006):

$$R_r = R_s \exp [-(4\pi\sigma \cos i / \lambda)^2] \quad (4.1)$$

Eşitlik 4.1'de R_s and R_r sırasıyla, tamamen pürüzsüz ve tamamen pürüzlü yüzeyin düzgün yansıma (reflektans) değerleri, σ yüzey pürüzlülüğünün bir fonksiyonu olarak yüzey yüksekliğinin ortalama değerinden olan standart sapma, i ve λ ise ışığın geliş açısı ve dalgaboyu değerleridir. Bu eşitlik, yüzey pürüzlülüğünün ışığın yansıma miktarını özellikle yüksek geliş açısı değerlerinde azalttığını ve dalgaboyu büyüdükçe pürüzlü yüzeylerden gerçekleşen yansımanın arttığını göstermektedir.

Kumaşların bitim işlemlerinde kullanılan kimyasal maddeler, genellikle yüzeyde yerleşim gösterir ve bu durum kimyasal madde yapısına da bağlı olarak kumaş yüzey morfolojisinde (pürüzlülüğünde) değişimler meydana getirir. Eşitlik 4.1'e paralel bir eşitlik, kimyasalların kumaşlara uygulaması öncesi (R_s olarak) ve sonrası (R_r olarak) için kurulursa, doktora çalışmasında kullanılan kimyasalların parçacık büyüklüğü ve işlem görmüş kumaşların yansıma özelliği ile ilgili olarak şu şekilde bir görüş ileri sürülebilir: "Nano bitim işleminde kullanılan kimyasalların küçük parçacık boyutunun, aktarıldığı kumaş içinde daha homojen ve dispers yerleşime sebep olması; geniş yüzey alanı nedeniyle daha düzgün yansıma yüzeyi sunması beklenmektedir. Bu durumda, bu kimyasalların aktarıldığı kumaş numunelerinin Reflektans Spektrofotometresi analizlerinde, konvansiyonel bitim işleminde kullanılan kimyasallar aktarılmış numunelere göre daha yüksek yansıma değerleri (ışığın yüzeyden yansıma yüzdesi) ölçülmesi gerekir; benzer şekilde CIELAB renk uzayında açıklık ifade eden L^* eksenindeki değerlerin de daha yüksek olması beklenir."

Çizelge 4.5'te söz konusu numunelere ait yansıma ve CIELAB renk uzayındaki L* eksenini değerleri görülmektedir. Sonuçlar, her bir numuneden alınan dört ölçümün ortalamalarıdır.

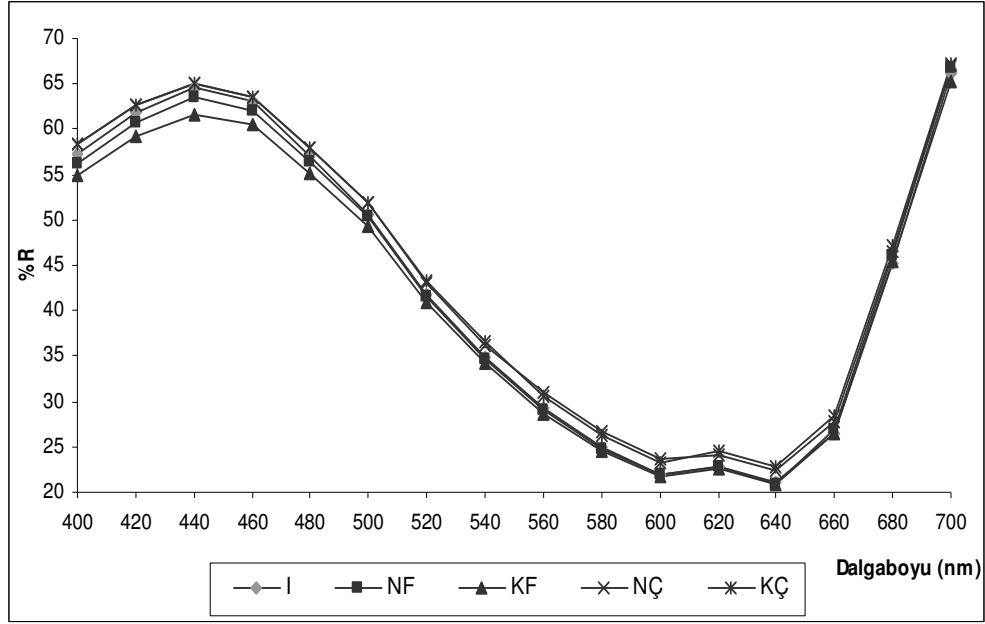
Çizelge 4.5. I kodlu kumaş numunelerine ait yansıma değerleri

Dalgaboyu (nm)	Yansıma Değeri (% R)				
	I	NF	KF	NÇ	KÇ
400	57,21	56,17	54,95	58,37	58,33
420	61,91	60,73	59,18	62,59	62,58
440	64,62	63,46	61,70	65,04	64,99
460	63,01	62,11	60,48	63,55	63,45
480	57,03	56,50	55,23	57,89	57,89
500	50,65	50,34	49,34	51,89	51,81
520	41,80	41,58	40,90	43,13	43,38
540	34,88	34,70	34,22	36,27	36,59
560	29,24	29,07	28,72	30,95	30,59
580	25,02	24,84	24,59	26,68	26,34
600	22,03	21,92	21,75	23,25	23,66
620	22,76	22,73	22,53	24,45	24,06
640	21,10	20,96	20,81	22,27	22,36
660	26,45	26,82	26,57	28,37	28,76
680	45,19	46,17	45,38	47,21	46,49
700	66,22	66,71	65,28	67,17	66,94
	L* eksenini değeri				
	62,83	63,21	62,90	64,77	64,22

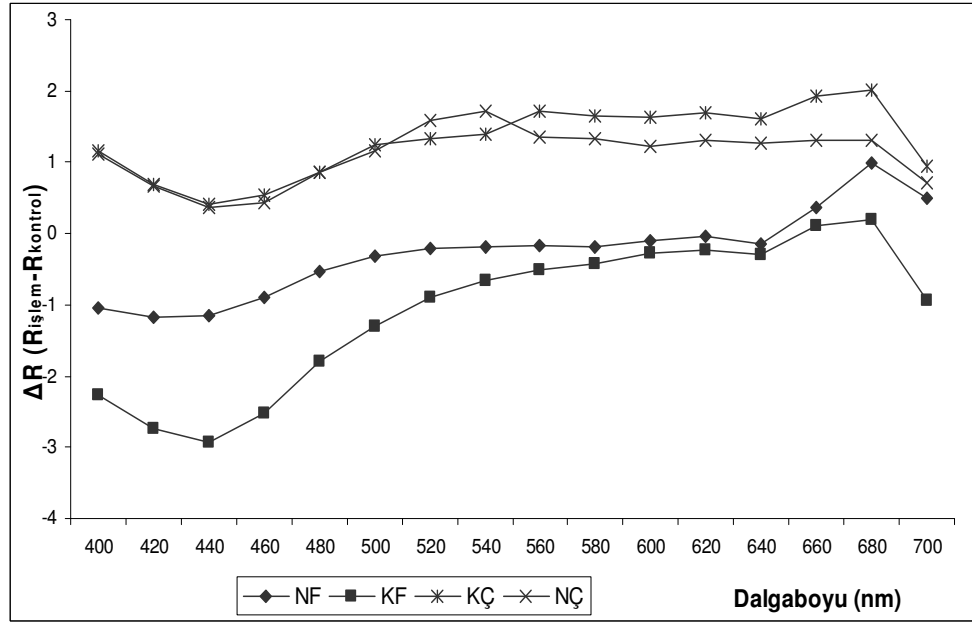
I : İşlem görmemiş kumaş (Çizelge 3.1.), NF: Nano floropolimer aktarılmış kumaş, KF: Konvansiyonel floropolimer aktarılmış kumaş, NÇ: Nano çapraz bağlayıcı aktarılmış kumaş, KÇ: Konvansiyonel çapraz bağlayıcı aktarılmış kumaş

Çizelge 4.5'teki sonuçlar, ileri sürülen görüşe uygun şekilde nano bitim işleminde kullanılan küçük parçacık büyüklüğüne sahip kimyasalların konvansiyonel bitim işleminde kullanılanlara göre, aktarıldıkları kumaşta hemen hemen tüm dalgaboylarında daha yüksek yansıma ve L* değerlerine (NF'nin KF'den, NÇ'nin ise KÇ'den) sebep olduğunu göstermektedir.

Kimyasal aktarılmış kumaşlar, kimyasal tipine bağlı olarak (burada floropolimer veya çapraz bağlayıcı madde) aplikasyon öncesine göre yansıma değerlerinde değişimler göstermiştir. Kumaşların dalgaboyu / yansıma eğrileri Şekil 4.15'de görülmektedir. Kumaşların aplikasyon öncesine göre yansıma değerlerindeki fark ise, işlem görmüş kumaşın yansıma değerinden ($R_{işlem}$), I kodlu (boyanmış ama işlem görmemiş kontrol kumaşı) kumaşın yansıma değerini ($R_{kontrol}$) çıkartarak bulunmuştur ve sonuçlar Şekil 4.16'da verilmiştir.



Şekil 4.15. Kumaş numunelerinin dalgaboyu / % R eğrileri I : İşlem görmemiş kumaş (Çizelge 3.1.), NF: Nano floropolimer aktarılmış kumaş, KF: Konvansiyonel floropolimer aktarılmış kumaş, NÇ: Nano çapraz bağlayıcı aktarılmış kumaş, KÇ: Konvansiyonel çapraz bağlayıcı aktarılmış kumaş

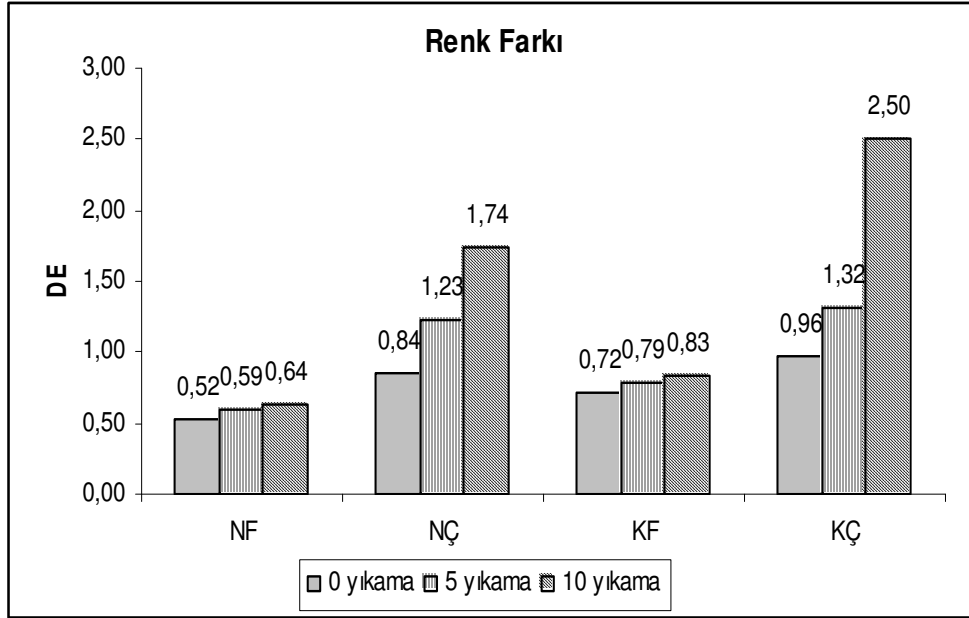


Şekil 4.16. İşlem görmüş kumaş numunelerinin yansıma değeri değişimi NF: Nano floropolimer aktarılmış kumaş, KF: Konvansiyonel floropolimer aktarılmış kumaş, NÇ: Nano çapraz bağlayıcı aktarılmış kumaş, KÇ: Konvansiyonel çapraz bağlayıcı aktarılmış kumaş

Şekil 4.16, floropolimer aktarılmış kumaşların yansıma değerlerinde işlem öncesine göre azalma, çapraz bağlayıcı kimyasal aktarılmış kumaşlarda ise artış olduğunu göstermektedir. Bu sonuç, kullanılan tekstil bitim kimyasallarının yansıma indekslerinin kumaşa ait yansıma değerinden düşük (floropolimerler için $\Delta R < 0$) veya yüksek (çapraz bağlayıcılar için $\Delta R > 0$) olması ile ilgilidir. Bununla birlikte tüm kimyasallar için ΔR eğrilerinde 400-440 nm civarı için bir minimum görülmektedir. Bu durum, kumaş yüzey pürüzlülüğü yüksekliğinin ışığın görünür bölgedeki kısa dalgalı boylarını daha fazla saçması ve yansıma değerlerinde daha fazla düşüşe neden olması ile açıklanabilmektedir (Jang ve Jeong 2006). Parçacık büyüklüğünün ΔR değerleri üzerine etkisi, floropolimerlerde daha belirgin çıkmıştır; bir başka ifadeyle nano ve konvansiyonel bitim işlemlerinde kullanılan çapraz bağlayıcı kimyasalların ortalama efektif parçacıkları arasındaki fark floropolimerler için bulunandan çok daha fazla olmasına karşın, çapraz bağlayıcı aktarılmış kumaşlara ait ΔR eğrileri özellikle kısa dalgalı boylarında benzerlik sergilemiştir. Çapraz bağlayıcı kimyasalların parçacık büyüklüklerindeki varyasyonların daha büyük olduğu (daha yüksek polidispersite değerleri vermeleri) göz önüne alındığında, işlem görmüş kumaşların yüzey pürüzlülüğü yüksekliği dağılımları ile kimyasalların parçacık büyüklüğü dağılımları birbirleriyle ilişkilendirilebilir ve işlem görmüş kumaşların yüzey yansıma değerleri değerlendirilirken parçacık büyüklüğü yanında parçacıkların dağılımlarının da etkili olduğu söylenebilir. Sonuç olarak parçacık büyüklüğündeki varyasyonlar, yansıma değerleri üzerinde etkili olmaktadır. Ayrıca daha yüksek dalgalı boylarında daha yüksek ΔR değerlerinin görülmesi de Eşitlik 4.1 için yapılan açıklamalarla uyumlu bir sonuçtur.

Dalgaboyu / yansıma eğrilerinden yola çıkarak, kimyasal aktarılmış kumaşlarda meydana gelen ve AATCC 173'e göre hesaplanan renk farkı değerleri ise Şekil 4.17'de görülmektedir. Renk farkı, belli koşullar altında iki renk arasındaki farkın büyüklüğü ve karakteridir (Becerir 2002); başka bir ifadeye göre renk farkı ton, kroma veya açıklıktaki değişimin göstergesidir (Anonim 1991). Kumaşlardaki renk farkı ölçümleri, aplikasyonlar sonrası (0 yıkama), 40°C de ardışık 5 ve 10 ev yıkaması sonunda alınmıştır. Şekil 4.11'deki (ΔE veya DE) renk farkı değeri, CIELAB renk farkı formülasyonuna

göre hesaplanan değerdir ve Reflektans Spektrofotometresi'nde her numuneden alınan dört ölçümün ortalamasıdır.

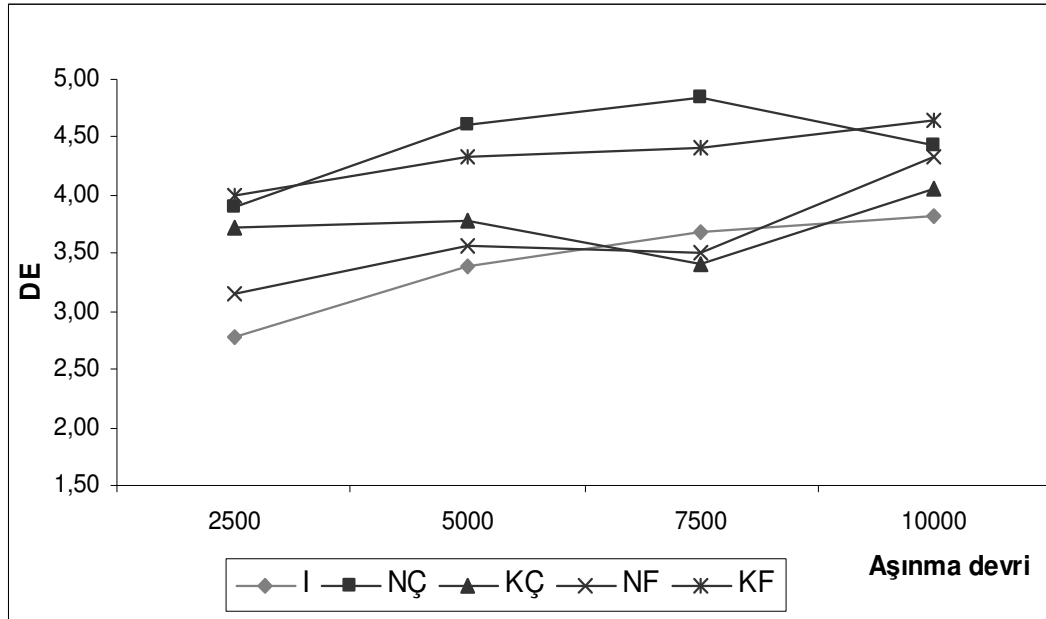


Şekil 4.17. Floropolimer ve çapraz bağlayıcı aktarılmış kumaşlarda renk farkı NF: Nano floropolimer aktarılmış kumaş, KF: Konvansiyonel floropolimer aktarılmış kumaş, NÇ: Nano çapraz bağlayıcı aktarılmış kumaş, KÇ: Konvansiyonel çapraz bağlayıcı aktarılmış kumaş

Şekil 4.17'deki sonuçlar, floropolimerlerin dimetiloldihidroksietilenüre (DMDHEU) esaslı çapraz bağlayıcı maddeden daha düşük renk farkına sebep olduğunu, nano bitim işleminde kullanılan, parçacık büyüklüğü daha düşük kimyasalların (NF ve NÇ) konvansiyonel bitim işleminde kullanılanlara (KF ve KÇ) göre daha düşük renk farkı verdiğini göstermektedir. Yıkamalar sonrası kumaşlardaki renk farkının (yıkama esnasındaki mekanik etkiler ve yıkama maddelerinden kaynaklanan) artışı beklenen bir sonuçtur; nano bitim işleminde kullanılan kimyasalların aktarıldığı numuneler, tekrarlı yıkamalar sonrasında da daha düşük renk farkı değerleri vermiştir. Bu sonuçlar, kimyasal aktarılmış kumaşlardan alınan yansıma değerleriyle bir arada değerlendirildiğinde, nano bitim kimyasallarının küçük parçacık boyutunun malzeme yüzey morfolojisinde daha küçük değişimlere yol açtığı şeklinde yorumlanmıştır.

Nano bitim işleminde kullanılan kimyasalların parçacık büyüklükleriyle ilişkilendirilen daha düşük renk farkına sebep olmaları, kaynak araştırmasında yer alan ifadelerle uyumlu bir sonuçtur.

Yüksek seviyedeki mekanik deformasyonun etkisini değerlendirmek için söz konusu kumaşların Martindale cihazında 9kPa yük altında aşındırılmaları sonrasında ise, aşınma öncesine göre meydana gelen renk farkı ölçümlerinde parçacık büyüklüğünün anlamlı etkisi görülmemiştir (Şekil 4.18). İşlem görmemiş kumaşın renk farkı değerleri aşınma devri arttıkça artmış, 2500 aşınma devri sonunda alınan ilk renk farkı ölçümlerinde en düşük değeri yine işlem görmemiş kumaş vermiştir. Kumaşlardaki aşınmadan kaynaklanan en büyük renk farkı artışı 0-2500 devir arasında ölçülmüştür. 10000 devir sonunda tüm kumaşların aşınmadan kaynaklanan renk farkı değerleri birbirlerine yaklaşmıştır.



Şekil 4.18. Kumaş numunelerinin aşınma devirleri sonrasında ölçülen renk farkı değerleri I : İşlem görmemiş kumaş (Çizelge 3.1.), NF: Nano floropolimer aktarılmış kumaş, KF: Konvansiyonel floropolimer aktarılmış kumaş, NÇ: Nano çapraz bağlayıcı aktarılmış kumaş, KÇ: Konvansiyonel çapraz bağlayıcı aktarılmış kumaş

4.2. Aplikasyonlar Sonrası Ölçülen Performans Analizleri

Çizelge 3.6'da verilen konvansiyonel ve nano bitim reçeteleri ile işlem gören kumaşlardan alınan çeşitli performans analizleri bu başlıkta değerlendirilmiştir.

4.2.1. Aplikasyonlar Sonrası Renk Farkı

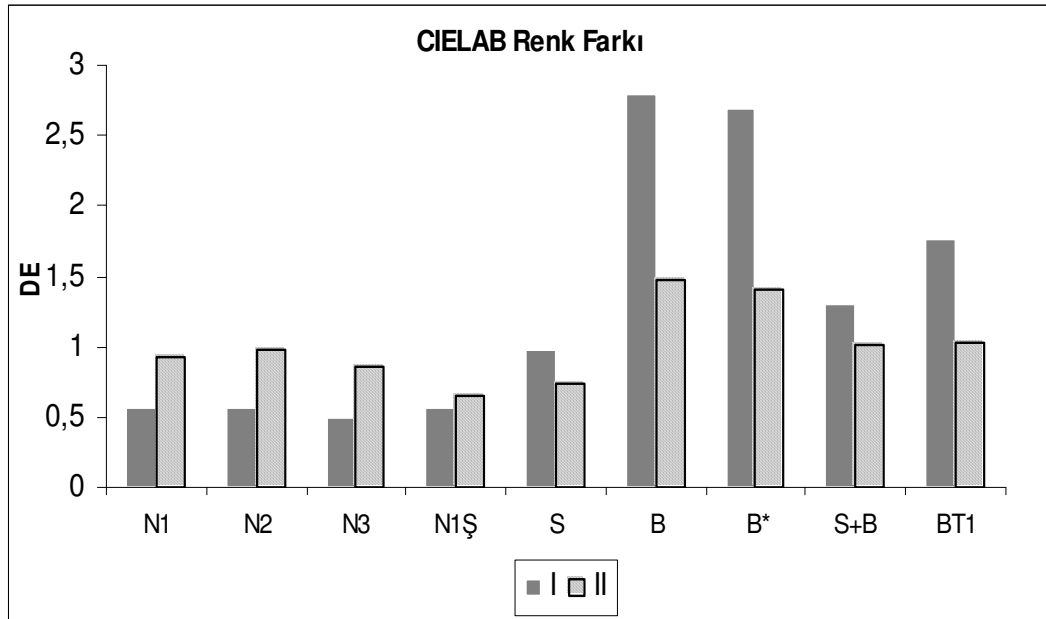
İşlem görmüş I ve II kodlu (Çizelge 3.1) pamuklu kumaşlarda meydana gelen ve Macbeth Reflektans Spektrofotometresinde D65/10⁰ aydınlatıcısı ile alınan ölçümlerle belirlenen CIELAB renk uzayına göre renk farkı değerleri Çizelge 4.6 ve Şekil 4.19'da görülmektedir. Sonuçlar, her bir kumaştan alınan dört ölçümün ortalamalarıdır ve her ölçüm sonrasında kumaşlar 90⁰ döndürülmüştür.

Çizelge 4.6. Kumaşlardan alınan Reflektans Spektrofotometre ölçüm sonuçları

<i>Kod</i>	<i>I kodlu kumaş</i>				<i>II kodlu kumaş</i>			
	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE
N1	0,54	0,10	0,14	0,57	-0,05	0,79	0,47	0,92
N2	0,53	0,14	0,13	0,56	-0,05	0,87	0,47	0,98
N3	0,47	0,07	0,16	0,50	-0,13	0,70	0,13	0,85
N1Ş	0,39	0,08	0,39	0,56	-0,23	0,48	0,29	0,65
S	-0,06	-0,02	0,97	0,97	0,61	0,26	-0,31	0,73
B	1,47	-0,07	2,37	2,79	0,80	0,46	1,15	1,48
B*	1,33	-0,05	2,33	2,69	0,78	0,33	1,13	1,41
S+B	0,66	0,11	1,11	1,30	0,73	0,70	0,13	1,02
BT	0,76	0,11	1,59	1,77	0,02	0,06	1,03	1,03

Çizelge 4.6'daki sonuçlar, Şekil 4.17'de verilenlerle uyumlu olarak, küçük parçacık büyüklüğüne sahip kimyasalların bir arada kullanıldığı nano bitim reçetelerinin daha düşük renk farkına sebep olduğunu göstermektedir. Nano bitim işlemindeki renk farkına sebep olan temel kimyasal, reçetedeki çapraz bağlayıcı olarak görülmektedir. Çünkü, glikollenmiş DMDHEU esaslı çapraz bağlayıcınının çıkartıldığı N3 reçetesinde, her iki kumaşta da düşük seviyelerde

renk farkı tespit edilmiştir (I kodlu açık ton boyalı kumaşta %12, II kodlu koyu ton boyalı kumaşta %8 oranında renk farkında azalma gerçekleşmiştir.) N1Ş ile kodlanmış kumaşlarda, tek adımda kurutma / kondenzasyonun nano bitim işleminin yol açtığı renk farkını özellikle koyu ton boyalı kumaşta (I kodlu kumaşta %2, II kodlu kumaşta %30 oranında) azalttığı görülmektedir. En yüksek renk farkı değerleri, buruşmazlık bitim işlemi görmüş B ve B* kodlu kumaşlarda tespit edilmiştir. BT kodlu kombine bitim işlemi de, içerdiği nano florokarbon polimer yanında içerdiği polikarboksilik asit sebebiyle yüksek renk farkına yol açmıştır. B ve B* reçeteleri bir arada değerlendirildiğinde ise B* işleminin daha düşük renk farkına sebep olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar, nano bitim işlemlerinde kullanılan çapraz bağlayıcı maddenin parçacık büyüklüğünün kumaşların renk farkı üzerinde olumlu etkisi olduğu şeklinde yorumlanmıştır.



Şekil 4.19. Kumaşların aplikasyonlar sonrası ölçülen renk farkı (DE) değerleri

4.2.2. Aplikasyonlar Sonrası Renk Haslıkları

Renk haslığı üretim, test, depolama veya kullanım esnasında malzemenin renk karakterinden herhangi birisinin değişimine veya

renklendiricisinin bitişik malzemeye transferine karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanmaktadır. Tekstil malzemesinden transfer olan renk miktarı, standart Gri Skala ile değerlendirilir ve 1-5 (düşükten yükseğe) arası derecelendirilir (Anonim 1991). Bu tanıma göre I ve II kodlu kumaşların, aplikasyonlar sonrası ve 40°C de ardışık 5 yıkama sonrası tere, suya ve sürtünmeye karşı renk haslık değerleri, Çizelge 4.7 – Çizelge 4.18 de verilmiştir.

Çizelge 4.7. I kodlu kumaşların aplikasyonlar sonrası tere karşı renk haslıkları

Kirlenme	N1		N2		N3	
	Alkali	Asit	Alkali	Asit	Alkali	Asit
Yün	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Akrilik	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Poliester	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Naylon	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Pamuk	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Asetat	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Renk Değişimi	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Kirlenme	N1Ş		B		B*	
	Alkali	Asit	Alkali	Asit	Alkali	Asit
Yün	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Akrilik	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Poliester	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Naylon	4/5	4/5	4	4	4/5	4/5
Pamuk	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Asetat	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Renk Değişimi	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Kirlenme	S		S+B		BT	
	Alkali	Asit	Alkali	Asit	Alkali	Asit
Yün	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Akrilik	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Poliester	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Naylon	4/5	4/5	4/5	4/5	4	4
Pamuk	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Asetat	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Renk Değişimi	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5

Çizelge 4.8. I kodlu kumaşların 5 yıkama sonrası tere karşı renk haslıkları

Kirlenme	N1		N2		N3	
	Alkali	Asit	Alkali	Asit	Alkali	Asit
Yün	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Akrilik	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Poliester	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Naylon	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Pamuk	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Asetat	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Renk Değişimi	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5

Çizelge 4.8. (Devam) I kodlu kumaşların 5 yıkama sonrası tere karşı renk haslıkları

Kirlenme	N1Ş		B		B*	
	Alkali	Asit	Alkali	Asit	Alkali	Asit
Yün	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Akrilik	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Poliester	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Naylon	4/5	4/5	4	4	4	4
Pamuk	4/5	4/5	4	4/5	4	4
Asetat	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Renk Değişimi	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5

Kirlenme	S		S+B		BT	
	Alkali	Asit	Alkali	Asit	Alkali	Asit
Yün	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Akrilik	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Poliester	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Naylon	4/5	4/5	4/5	4/5	4	4
Pamuk	4/5	4/5	4/5	4/5	4	4/5
Asetat	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Renk Değişimi	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5

Çizelge 4.9. I kodlu kumaşların aplikasyonlar sonrası suya karşı renk haslıkları

Kirlenme	N1	N2	N3	N1Ş	B	B*	S	S+B	BT
Yün	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4
Akrilik	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Poliester	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Naylon	4/5	4/5	4/5	4	3/4	4	4/5	4/5	4
Pamuk	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Asetat	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5

Çizelge 4.10. I kodlu kumaşların 5 yıkama sonrası suya karşı renk haslıkları

Kirlenme	N1	N2	N3	N1Ş	B	B*	S	S+B	BT
Yün	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4
Akrilik	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Poliester	4/5	4/5	4/5	4	4	4	4/5	4/5	4/5
Naylon	4/5	4/5	4/5	4/5	3	3/4	4/5	4/5	4
Pamuk	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Asetat	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5

Çizelge 4.7 – 4.10'daki sonuçlar, açık ton boyalı kumaşların aplikasyonlar sonrasında tere ve suya karşı yüksek renk haslıkları verdiğini (B kodlu kumaşın naylon refakat bezine olan akma hariç) ve nano bitim, konvansiyonel bitim ve kombine bitim işlemi görmüş kumaşların renk haslıkları arasında anlamlı fark olmadığını göstermiştir. 5 yıkama sonrasında ise, renk haslıklarında gerileme kaydedilmemiştir.

Çizelge 4.11. I kodlu kumaşların aplikasyonlar sonrası sürtünmeye karşı renk haslıkları

	N1		N2		N3	
	Sıra	Çubuk	Sıra	Çubuk	Sıra	Çubuk
Kuru	5	5	5	4/5	4/5	4/5
Yaş	4/5	4/5	4/5	4/5	4	4
	N1Ş		B		B*	
	Sıra	Çubuk	Sıra	Çubuk	Sıra	Çubuk
Kuru	5	4/5	4/5	4	4/5	4/5
Yaş	4/5	4/5	4	4	4	4
	S		S+B		B+T	
	Sıra	Çubuk	Sıra	Çubuk	Sıra	Çubuk
Kuru	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4
Yaş	4/5	4/5	4/5	4/5	4	4

Çizelge 4.12. I kodlu kumaşların 5 yıkama sonrası sürtünmeye karşı renk haslıkları

	N1		N2		N3	
	Sıra	Çubuk	Sıra	Çubuk	Sıra	Çubuk
Kuru	4/5	5	4/5	4/5	4/5	4/5
Yaş	4/5	4/5	4/5	4	4	4
	N1Ş		B		B*	
	Sıra	Çubuk	Sıra	Çubuk	Sıra	Çubuk
Kuru	5	4/5	4/5	4	4/5	4/5
Yaş	4/5	4/5	4/5	4	4	4
	S		S+B		B+T	
	Sıra	Çubuk	Sıra	Çubuk	Sıra	Çubuk
Kuru	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4
Yaş	4/5	4/5	4/5	4/5	4	4

Çizelge 4.11 ve 4.12'deki sonuçlar nano bitim, konvansiyonel bitim ve kombine bitim işlemlerinin açık ton boyalı pamuklu kumaşların sürtünmeye karşı renk haslıkları üzerine etkileri arasında anlamlı fark olmadığını göstermiştir.

Çizelge 4.13. II kodlu kumaşların aplikasyonlar sonrası tere karşı renk haslıkları

Kirlenme	N1		N2		N3	
	Alkali	Asit	Alkali	Asit	Alkali	Asit
Yün	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Akrilik	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Poliester	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Naylon	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Pamuk	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Asetat	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Renk Değişimi	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Kirlenme	N1Ş		B		B*	
	Alkali	Asit	Alkali	Asit	Alkali	Asit
Yün	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Akrilik	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Poliester	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Naylon	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Pamuk	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Asetat	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Renk Değişimi	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Kirlenme	S		S+B		BT	
	Alkali	Asit	Alkali	Asit	Alkali	Asit
Yün	4/5	4/5	4/5	4/5	4	4
Akrilik	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Poliester	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Naylon	4/5	4/5	4/5	4/5	4	4/5
Pamuk	4/5	4/5	4/5	4/5	4	4/5
Asetat	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Renk Değişimi	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5

Çizelge 4.14. II kodlu kumaşların 5 yıkama sonrası tere karşı renk haslıkları

Kirlenme	N1		N2		N3	
	Alkali	Asit	Alkali	Asit	Alkali	Asit
Yün	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Akrilik	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Poliester	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Naylon	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Pamuk	4	4	3/4	4	4	4
Asetat	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Renk Değişimi	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Kirlenme	N1Ş		B		B*	
	Alkali	Asit	Alkali	Asit	Alkali	Asit
Yün	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Akrilik	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Poliester	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Naylon	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Pamuk	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Asetat	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Renk Değişimi	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5

Çizelge 4.14. (Devam) II kodlu kumaşların 5 yıkama sonrası tere karşı renk haslıkları

Kirlenme	S		S+B		BT	
	Alkali	Asit	Alkali	Asit	Alkali	Asit
Yün	4/5	4/5	4/5	4/5	4	4
Akrilik	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Poliester	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Naylon	4/5	4/5	4/5	4/5	4	4/5
Pamuk	4/5	4/5	4/5	4/5	3	4/5
Asetat	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Renk Değişimi	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5

Çizelge 4.15. II kodlu kumaşların aplikasyonlar sonrası suya karşı renk haslıkları

Kirlenme	N1	N2	N3	N1Ş	B	B*	S	S+B	BT
Yün	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4
Akrilik	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Poliester	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Naylon	4/5	4/5	4/5	4/5	4	4	4/5	4/5	4
Pamuk	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Asetat	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5

Çizelge 4.16. II kodlu kumaşların 5 yıkama sonrası suya karşı renk haslıkları

Kirlenme	N1	N2	N3	N1Ş	B	B*	S	S+B	BT
Yün	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4
Akrilik	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Poliester	4/5	4/5	4/5	4	4	4	4/5	4/5	4/5
Naylon	4/5	4/5	4/5	4/5	4	4	4/5	4/5	4
Pamuk	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Asetat	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5

Çizelge 4.13 - Çizelge 4.16'daki sonuçlar, nano, konvansiyonel ve kombine bitim işleminin çalışmada kullanılan koyu ton boyalı pamuklu kumaşların tere ve suya karşı renk haslıkları üzerinde etkisi arasında fark olmadığını göstermektedir.

Çizelge 4.17. II kodlu kumaşların aplikasyonlar sonrası sürtünmeye karşı renk haslıkları

Kuru	N1		N2		N3	
	Sıra	Çubuk	Sıra	Çubuk	Sıra	Çubuk
Yaş	4	4/5	4/5	4/5	4	4/5
	3/4	3/4	3	3	4	3/4
Kuru	N1Ş		B		B*	
	Sıra	Çubuk	Sıra	Çubuk	Sıra	Çubuk
Yaş	4/5	4	4/5	4	4/5	4
	3/4	3/4	3/4	3	3/4	3/4

Çizelge 4.17. (Devam) II kodlu kumaşların aplikasyonlar sonrası sürtünmeye karşı renk haslıkları

	S		S+B		BT	
	Sıra	Çubuk	Sıra	Çubuk	Sıra	Çubuk
Kuru	4/5	4/5	4/5	4/5	4	4
Yaş	3/4	3	3	3	4	3/4

Çizelge 4.18. II kodlu kumaşların 5 yıkama sonrası sürtünmeye karşı renk haslıkları

	N1		N2		N3	
	Sıra	Çubuk	Sıra	Çubuk	Sıra	Çubuk
Kuru	4/5	4/5	4/5	4/5	4	4/5
Yaş	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4
	N1Ş		B		B*	
	Sıra	Çubuk	Sıra	Çubuk	Sıra	Çubuk
Kuru	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Yaş	4/5	4	3	3	3	3
	S		S+B		BT	
	Sıra	Çubuk	Sıra	Çubuk	Sıra	Çubuk
Kuru	4/5	4/5	4/5	4/5	4	4/5
Yaş	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4

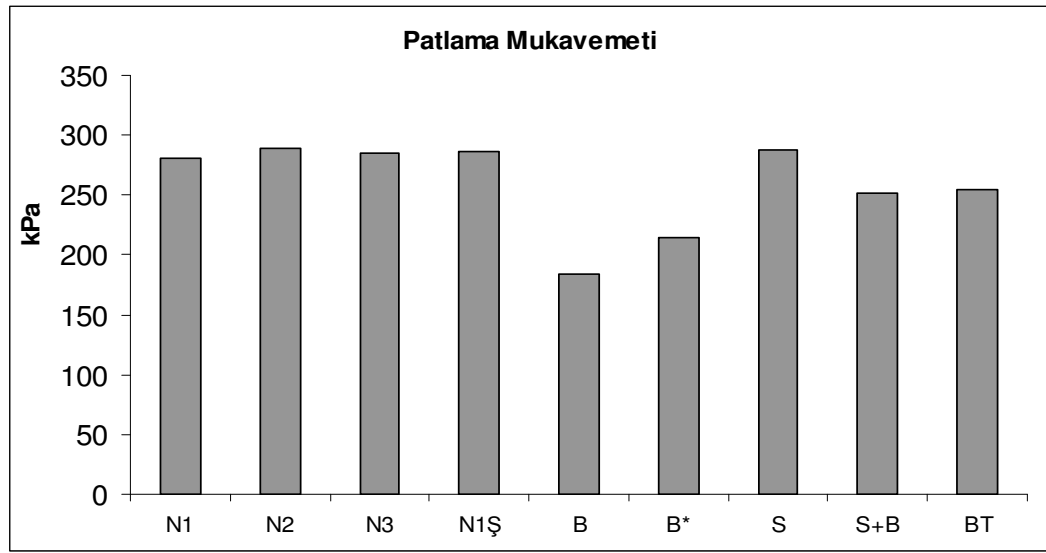
Çizelge 4.17 ve 4.18'deki sonuçlar, işlem görmüş koyu ton boyalı pamuklu kumaşların sürtünmeye karşı renk haslıkları arasında $\pm 1/2$ derece fark olduğunu göstermektedir. Buna göre nano bitim, konvansiyonel bitim ve kombine bitim işlemlerinin, I. grup kumaşlarda olduğu gibi sürtünmeye karşı renk haslıkları üzerinde ayırt edici etkisi olmadığı sonucu çıkartılmalıdır.

4.2.3. Aplikasyonlar Sonrası Kumaş Mukavemeti

I kodlu kumaşların aplikasyonlar sonrası patlama mukavemeti değerleri ve işlem öncesine göre mukavemetteki değişim Çizelge 4.19 ve Şekil 4.20'de verilmiştir. Sonuçlar, her bir kumaş için alınan dört ölçümün ortalamalarıdır.

Çizelge 4.19. Aplikasyon sonrası kumaş mukavemetleri ve işlem öncesine göre kayıp

Aplikasyon	Patlama mukavemeti (kPa)	CV (%)	İşlem öncesine göre mukavemetteki kayıp (%)
N1	280,83	5,0	7,93
N2	289,00	9,0	5,25
N3	285,00	5,7	6,55
N1Ş	286,63	5,0	6,22
B	184,00	7,5	39,67
B*	215,00	3,4	29,50
S	288,25	7,6	5,57
S+B	252,25	6,9	17,37
BT	255	7,8	16,39

**Şekil 4.20.** Kumaşların patlama mukavemeti değerleri

Sonuçlar, konvansiyonel tip çapraz bağlayıcı içeren reçetelerle işlem görmüş kumaşların (S+B, B, BT) mukavemet değerlerinin, nano çapraz bağlayıcı içeren reçetelerle işlem görmüş kumaşlara (N1, N2, N1Ş, B*) göre daha düşük olduğunu göstermektedir. İşlem görmüş kumaşlar arasında en düşük mukavemet değerini (en yüksek mukavemet kaybını), konvansiyonel buruşmazlık bitim işlemi görmüş (B) olan kumaşlar vermiştir. Bu sonuç, DMDHEU esaslı çapraz bağlayıcıların kullanıldığı işlemlerde beklenen bir sonuçtur. Ayrıca kurutma ve kondenzasyonun tek adımda yapılmasının (N1Ş), iki adımda yapılmasına göre (N1) mukavemette iyileşmeye yol açtığı görülmektedir. Çapraz bağlayıcının çıkartıldığı nano bitim reçetesi (N3) ise

patlama mukavemeti açısından konvansiyonel su iticilik reçetesine (S) benzer davranış sergilemiştir. Kombine bitim işlemi görmüş kumaşlar ise, nano bitim işlemi görenlerden daha düşük mukavemet değerleri vermiştir; nano bitim işleminde ise kurutma ve kondenzasyon işleminin tek adımda yapılmasının ve çapraz bağlayıcı miktarının azaltılmasının mukavemet kaybını azalttığı görülmüştür.

4.2.4. Aplikasyonlar Sonrası Su ve Yağ İticilik Değerleri

Floropolimer içeren reçeteler aktarılmış I kodlu kumaşlara ait, 0, 20 ve 50 ev yıkaması sonrası su iticilik ve yağ iticilik test sonuçları Çizelge 4.20'de verilmiştir. Yıkamalar sırasında kumaşlar, her ardışık 10 yıkama sonrasında etüvde 130⁰C'de 5 dakika bekletilerek ısı işlem görmüştür.

Çizelge 4.20. Kumaşların su ve yağ iticilik değerleri

Aplikasyon	<i>Su İticilik Değeri</i>			<i>Yağ İticilik Değeri</i>		
	I*	II**	III**	I*	II**	III**
N1	90	80	50/70	6	6	3
N2	90	80	50/70	6	6	3
N3	90	80	50	6	5	2
N1Ş	90	80	50	6	6	2
S	90/100	70	0	6	6	1
S+B	90/100	80	0	6	6	1
BT	80	70	0	6	6	1

* İşlem sonrası ** 20 yıkama sonrası *** 50 yıkama sonrası

Çizelge 4.20'deki sonuçlar, aplikasyonlar sonrası kombine bitim işleminin (BT) en düşük su iticilik değeri sağladığını, 20 yıkama sonrasında nano bitim ve kombine bitim işlemlerinin su iticilik değerlerinin bir kademe, konvansiyonel bitim işleminin su iticilik değerinin iki kademe gerilediğini, kumaşların yağ iticilik özelliğinin ise 20 yıkamaya kadar dayanım sergilediğini göstermektedir. 50 yıkama sonrasında nano bitim işleminin su ve yağ iticilik değerleri, aplikasyonlar içinde en yüksek değerleri vermiştir. Nano bitim işleminde kurutma ve

kondenzasyonun tek adımda yapılması, işlemin su ve yağ iticilik performansı üzerinde gerilemeye yol açmamıştır.

4.2.5. Aplikasyonlar Sonrası Açığa Çıkan Formaldehit Miktarları

Çapraz bağlayıcı içeren reçetelerle işlem görmüş I kodlu kumaşlardan alınan formaldehit ölçüm sonuçları, (ppm) olarak Çizelge 4.21'de verilmiştir. Sonuçlar, nano bitim işlemi sonrası açığa çıkan formaldehit miktarının düşük seviyelerde olduğunu, çapraz bağlayıcının çıkartıldığı N3 ya da kombine bitim reçetesi olan BT reçetesinin kullanıldığı durumda ise sıfır formaldehite yakın sonuçlara ulaşmanın mümkün olduğunu göstermektedir. Nano bitim işleminde kurutma / kondenzasyonun tek adımda tamamlanmasının (N1Ş), daha düşük miktarda formaldehit çıkışına sebep olduğu görülmektedir. Bu sonuç, tek adımda kurutma / kondenzasyon işleminin nano bitim reçetesinde yer alan çapraz bağlayıcının lifle yaptığı bağlanma derecesini azalttığı şeklinde açıklanabilir; çünkü formaldehit çıkışı çapraz bağlayıcının reaktif gruplar üzerinden selüloza bağlanması ile sonuçlanan hidrolizi sonrası gerçekleşmektedir. Ayrıca düşük çapraz bağlanma derecesi, kumaş mukavemetinde daha az kayıp olarak kendini göstermelidir; bu durum da Çizelge 4.19'de verilen aplikasyonlar sonrası kumaş mukavemeti değerlerinde görülmektedir.

Çizelge 4.21. İşlem görmüş kumaşlardaki formaldehit düzeyleri

	Aplikasyon							
	N1	N2	N3	N1Ş	B	B*	S+B	BT
Açığa çıkan formaldehit (ppm)	56	52	7	49	96	54	41	8

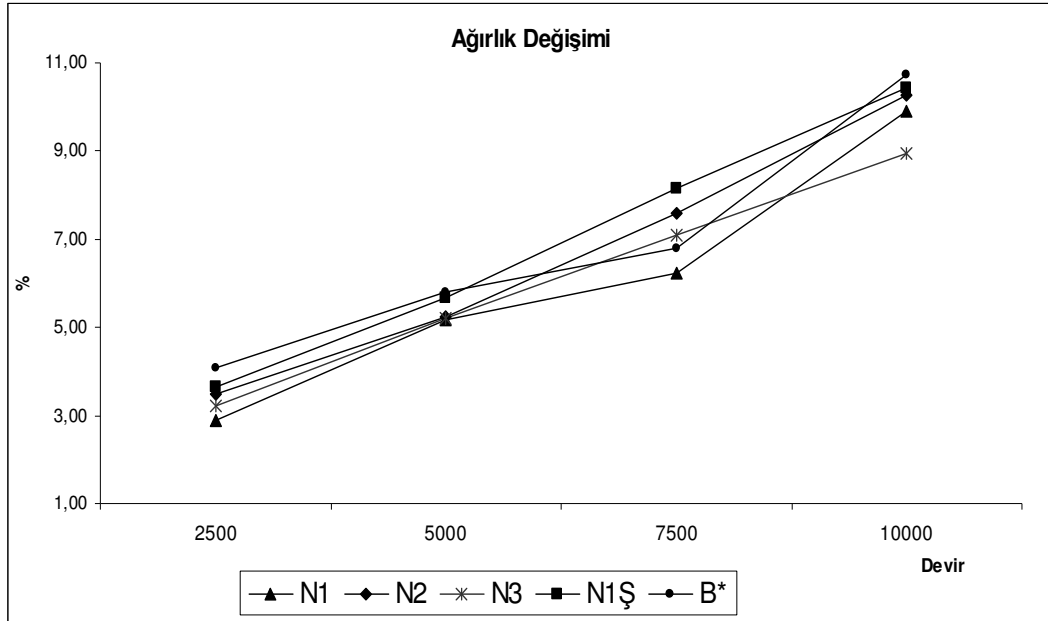
4.2.6. Aplikasyonlar Sonrası Aşınma Dayanımı

Aplikasyonlar sonrası aşınma dayanımı değerlendirilmesi, işlem görmüş I kodlu kumaşlardan alınan ve Martindale cihazında 9kPa yük altında sürtünen 4 adet numunenin 2500, 5000, 7500 ve 10000 devir sonrasındaki % ağırlık

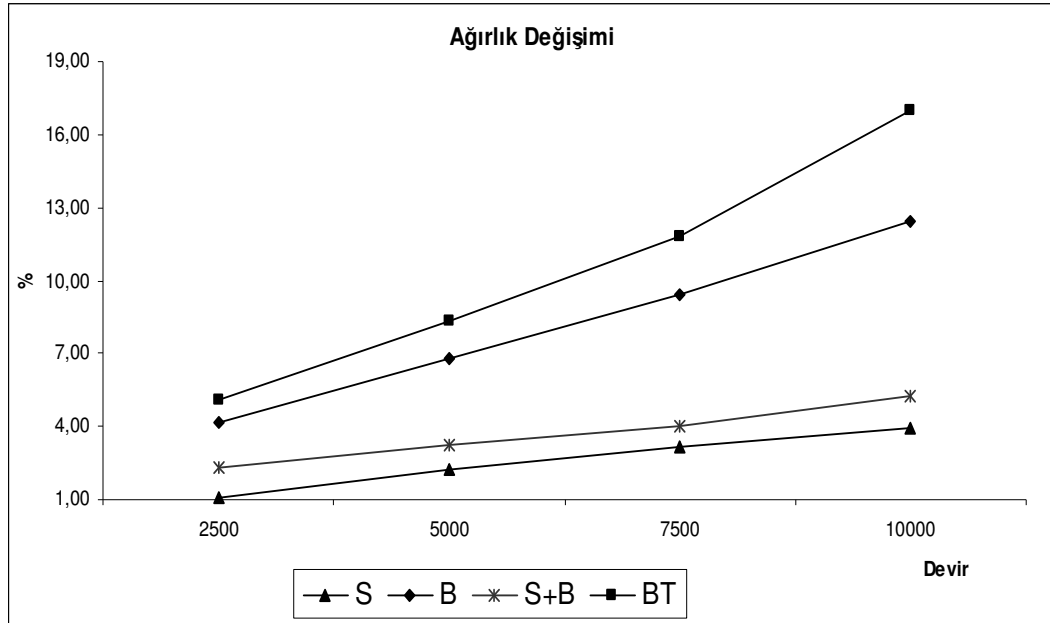
değişiminin tespiti ile yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, Çizelge 4.22 ve Şekil 4.21-4.22'de görülmektedir.

Çizelge 4.22. Sürtünme devirleri sonrası % ağırlık değişimi

Aplikasyon	Devir Sayısı			
	2500	5000	7500	10000
N1	2,89	5,16	6,23	9,91
N2	3,48	5,24	7,58	10,28
N3	3,21	5,20	7,09	8,94
N1Ş	3,66	5,68	8,16	10,43
S	1,09	2,25	3,18	3,96
B	4,19	6,78	9,40	12,43
B*	4,08	5,81	6,81	10,74
S+B	2,31	3,22	4,04	5,22
BT	5,07	8,30	11,81	16,98



Şekil 4.21. N1, N2 N3, N1Ş ve B* aplikasyonu sonrası kumaşların aşınma dayanımı



Şekil 4.22. S, B, S+B, BT aplikasyonu sonrası kumaşların aşınma dayanımı

Alınan sonuçlar, sürtünme süresince uygulanan mekanik zorlamaya bağlı olarak kumaşlardan uzaklaşan döküntü miktarının (% ağırlık değişimi), farklı reçetelerde farklı seviyelerde olduğunu göstermektedir. En yüksek % ağırlık değişimi (en düşük aşınma dayanımı) kombine bitim (BT) ve konvansiyonel buruşmazlık (B) reçetesi aktarılmış kumaşlarda görülürken, konvansiyonel su / yağ itici (S) reçetesi aktarılmış kumaşlar en yüksek aşınma dayanımı değerleri vermiştir. Nano bitim reçeteleri ile işlem görmüş kumaşların aşınma dayanımları, konvansiyonel floropolimer ve çapraz bağlayıcı kimyasalların bir arada kullanıldığı aplikasyondan (S+B) daha düşük görülmektedir; bu durum (S+B) reçetesinde daha düşük konsantrasyonda çapraz bağlayıcı kimyasal kullanımının bir sonucu olarak yorumlanmalıdır. Konvansiyonel buruşmazlık reçetesindeki çapraz bağlayıcının nano kimyasalla yer değiştirdiği (B*) aplikasyonu yapılmış kumaşlar, B reçetesi ile işlem görenlerden daha yüksek aşınma dayanımı sergilemiştir ki söz konusu kumaşların daha yüksek mukavemet değeri verdikleri göz önüne alındığında (Çizelge 4.19), bu beklenen bir sonuçtur. Çapraz bağlayıcı olarak polikarboksilik asit kullanılan kombine bitim işleminin (BT) düşük aşınma dayanımı, bu reçetenin aktarıldığı kumaşlarda yüzeye doğru gerçekleşen kimyasal migrasyonunun yüksek

olduğunu göstermektedir. Şekil 4.21'deki sonuçlar, nano bitim işleminde kurutma / kondenzasyonun tek adımda gerçekleşmesinin işlem görmüş kumaşların aşınma dayanımında bir miktar gerilemeye (ovalama devirlerindeki ağırlık kayıpları arasındaki ortalama değişim olarak ifade edilirse; % 18,2) yol açtığına işaret etmektedir.

4.2.7. Temas Açısı Ölçümleri

Floropolimer içeren nano (N1, N2, N3, N1Ş), konvansiyonel (S, S+B) ve kombine bitim işlemi (BT) görmüş I kodlu kumaşların aplikasyonlar sonrası temas açısı, Eşitlik 2.3 ile bulunan adhezyon gerilimi (dyn/cm) (su için oda sıcaklığında γ_{SB} yüzey gerilimi 72 dyn/cm) ve su iticilik (AATCC 22) değerleri Çizelge 4.23'te verilmiştir. Temas açısı (CA^0) değerleri, KSV / CA 100 cihazı ile alınan dörder ölçümün ortalamalarıdır.

Çizelge 4.23. I kodlu kumaşlara ait temas açısı, adhezyon gerilimi ve su iticilik değerleri

Aplikasyon	CA sol	CA sağ	CA ortalama	Adhezyon gerilimi	Su iticilik
N1	150,15	129,21	139,68	17,34	90/100
N2	131,82	135,72	137,21	19,42	90/100
N3	138,16	135,22	137,14	19,49	90
N1Ş	139,45	135,75	136,60	19,96	90
S	131,14	135,05	135,10	21,29	90/100
S+B	142,48	135,29	138,88	18,07	90/100
BT	133,45	130,55	131,99	24,16	80

Çizelge 4.23'teki sonuçlar genel olarak nano bitim işlemi sonrası adhezyon geriliminin konvansiyonel bitim işlemlerine göre (N1 nano bitim reçetesinde kumaşa aktarılan floropolimer miktarı, S+B reçetesi ile aktarılandan %35 oranında daha az olmasına karşın) daha küçük olduğunu göstermektedir. Bu sonuç, nano ve konvansiyonel florokimyasallar arasında önemli bir fark olarak görülmektedir. AATCC 22'ye göre belirlenen su iticilik değerlerine göre ise N1, N2, N3, S ve S+B işlemleri arasında seviye farkı görülmemektedir. Bu

durumda hesaplanan adhezyon gerilimine göre reçetelerin kumaşlara kazandırdığı ıslanma davranışı karşılaştırılırsa N1 nano bitim reçetesi ile kumaşların en yüksek su iticilik performansı sergilediği görülmektedir.

4.2.8. Film Tabakası Dayanımı

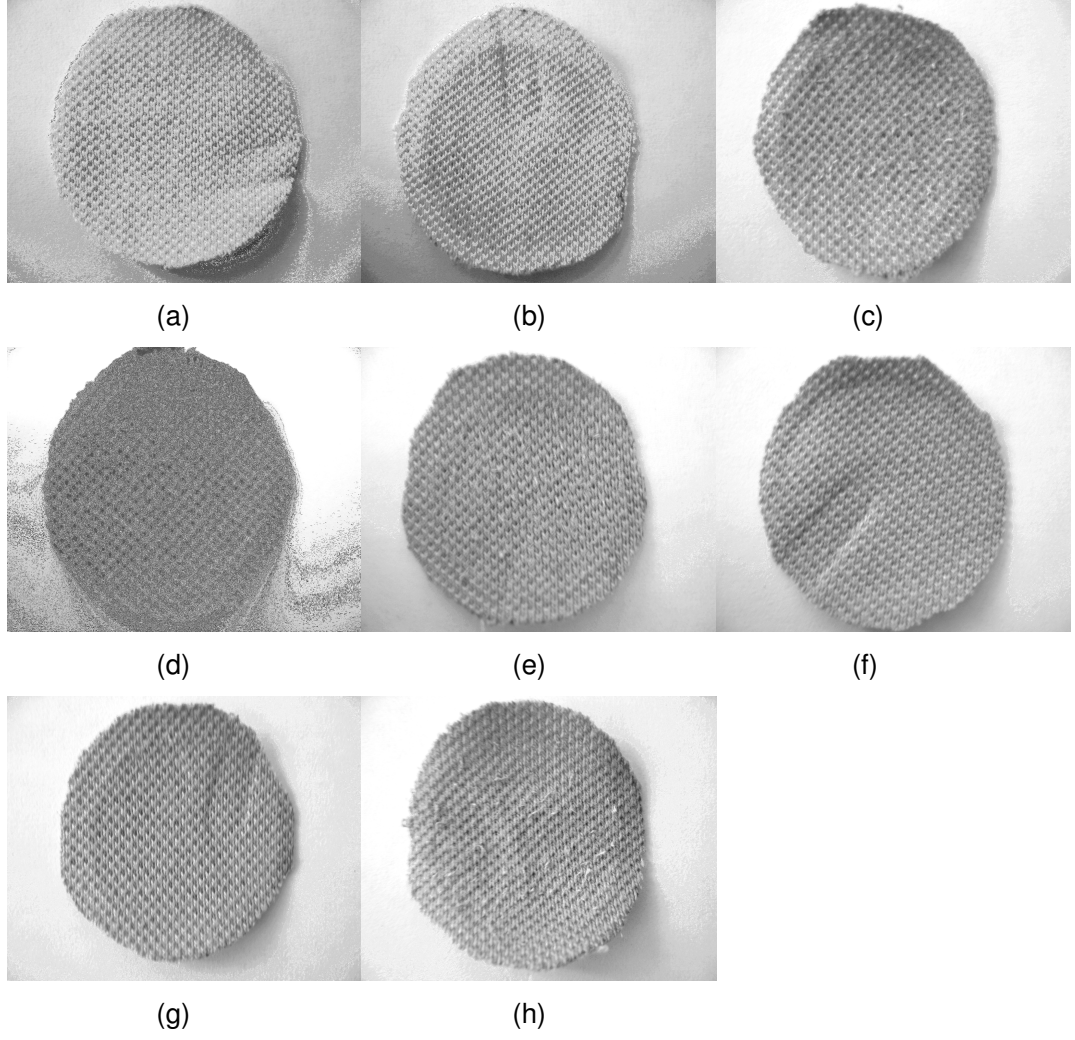
Floropolimer içeren reçetelerin film tabakası dayanımları, işlem görmüş I kodlu kumaşların Martindale cihazında 9 kPa yük altında belirli devirler ovalanması sonrası yapılan yağ iticilik değerlendirmeleri ile ölçülmüştür. Sonuçlar, Çizelge 4.24'te verilmiştir.

Çizelge 4.24. I kodlu kumaşlara ait film tabakası dayanımı ölçümleri

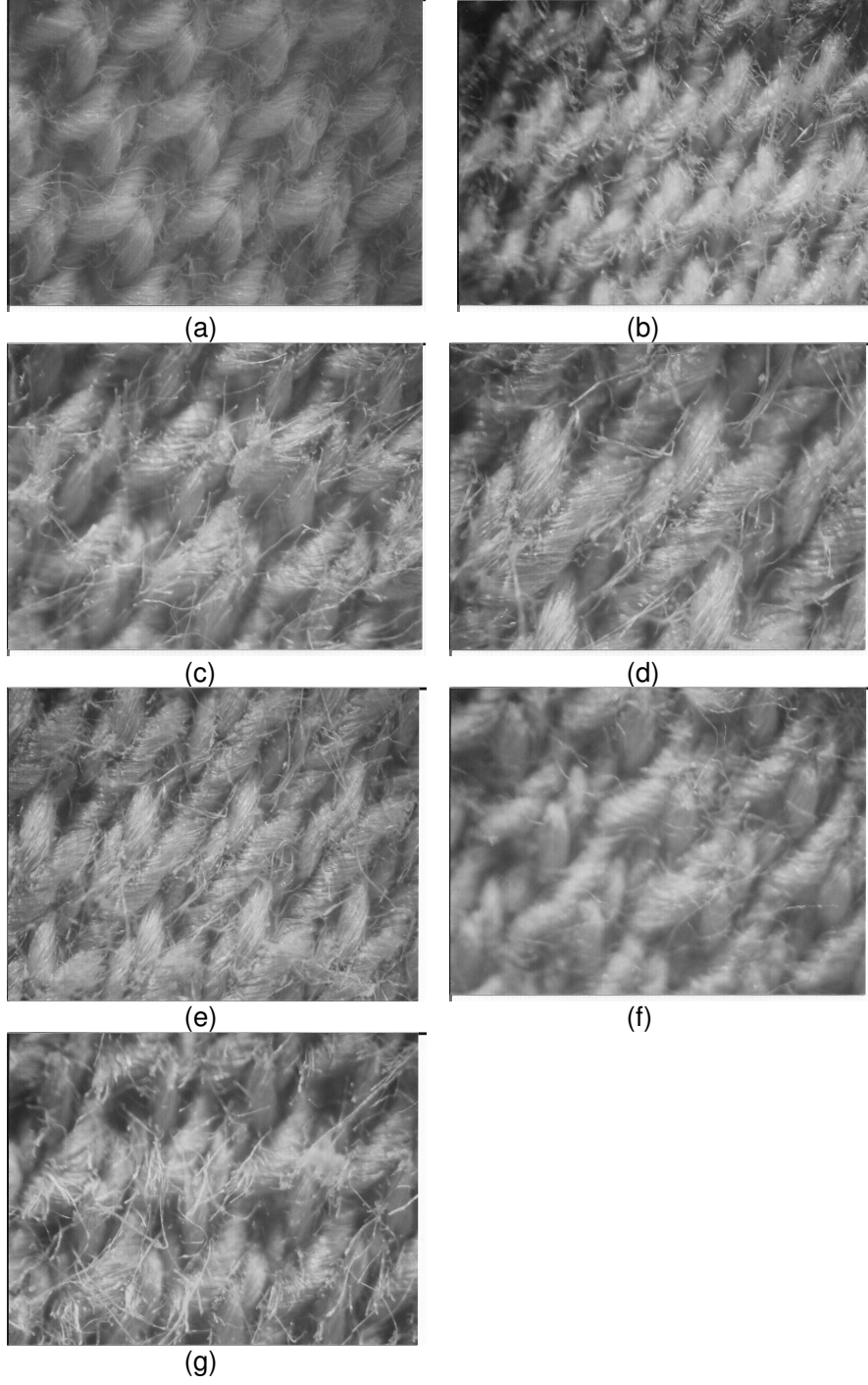
<i>Kod</i>	<i>Yağ İticilik Değerleri</i>				
	<i>100 devir</i>	<i>250 devir</i>	<i>500 devir</i>	<i>1000 devir</i>	<i>5000 devir</i>
N1	6/5	5	4	3/2	1
N2	5	4	3/2	2	1
N3	5	4	2	2/1	1
N1Ş	5	5/4	4	2	1
S	5	5/4	4/3	2	1
S+B	5	5	5/4	4/3	2
BT	4	2	2	2	1

Sonuçlar, kumaşlar üzerinde oluşturulan floropolimer film tabakasının aşınma dayanımının genel olarak 500 devir sonunda gerilemeye başladığını, S+B reçetesiyle kumaşa aktarılan yüksek floropolimer miktarının aşınma dayanımını 1000 devire kadar arttırdığını göstermektedir. Nano bitim işleminde çapraz bağlayıcı kimyasalın çıkartılması, film tabakası dayanımında gerilemeye yol açmış, kurutma / kondenzasyonun tek adımda tamamlanması ise değişime sebep olmamıştır. Kombine bitim işlemi (BT), düşük film tabakası dayanımı vermiştir. N1 kodlu nano bitim reçetesinin film tabakası dayanımının konvansiyonel tipten daha yüksek çıkması, küçük parçacık büyüklüğü nedeniyle lif yüzeyinde daha sıkı ve yoğun yerleşim sergilediği şeklinde yorumlanmıştır.

Martindale cihazında uygulanan aşındırma işleminin, kumaşların kullanım esnasında meydana gelen aşınma etkisine (kullanım aşınması), kısa sürede ulaşılmasını sağladığı açıktır. Söz konusu aşınmanın, Juhue ve ark. (2001)'nin çalışmasında ileri sürdükleri şekilde florokarbon film morfolojisinde bozulmaya ve sıvı iticilik etkinliğinde gerilemeye yol açtığı Çizelge 4.24'de görülmektedir. Bu durumda işlem görmüş kumaşların, hiç yıkama işlemi görmeden kullanımı süresinde, belli bir aşınma efekti kazandığında sıvı iticilik özelliğini kaybedeceği anlaşılmaktadır. Kumaşların genel olarak sıvı iticilik özelliğini kaybettiği görülen 5000 aşınma devri sonrası görüntüleri Şekil 4.23, optik mikroskopta 20x büyütme oranında alınan görüntüleri ise Şekil 4.24'te verilmiştir. Şekil 4.23 ve Çizelge 4.24 bir arada değerlendirildiğinde, nano, konvansiyonel ve kombine bitim işlemi görmüş kumaşların (kullanım sürecinde) verilen aşınma görünümüne ulaştığında sıvı iticilik özelliğini büyük oranda kaybedeceği görülmektedir. Şekil 4.24'de, 5000 devir sonunda özellikle BT işlemi görmüş kumaşın daha yüksek, S+B işlemi görmüş kumaşın daha düşük yoğunlukta aşındığını göstermiştir.



Şekil 4.23. Aşınma sonrası kumaş görüntüleri a)I kodlu (işlem görmemiş) kumaş b) 5000 devir sonunda I kodlu kumaş c) 5000 devir sonunda N1 işlemi görmüş kumaş d) 5000 devir sonunda N3 işlemi görmüş kumaş e) 5000 devir sonunda N1Ş işlemi görmüş kumaş f) 5000 devir sonunda S işlemi görmüş kumaş g) 5000 devir sonunda S+B işlemi görmüş kumaş h) 5000 devir sonunda BT işlemi görmüş kumaş



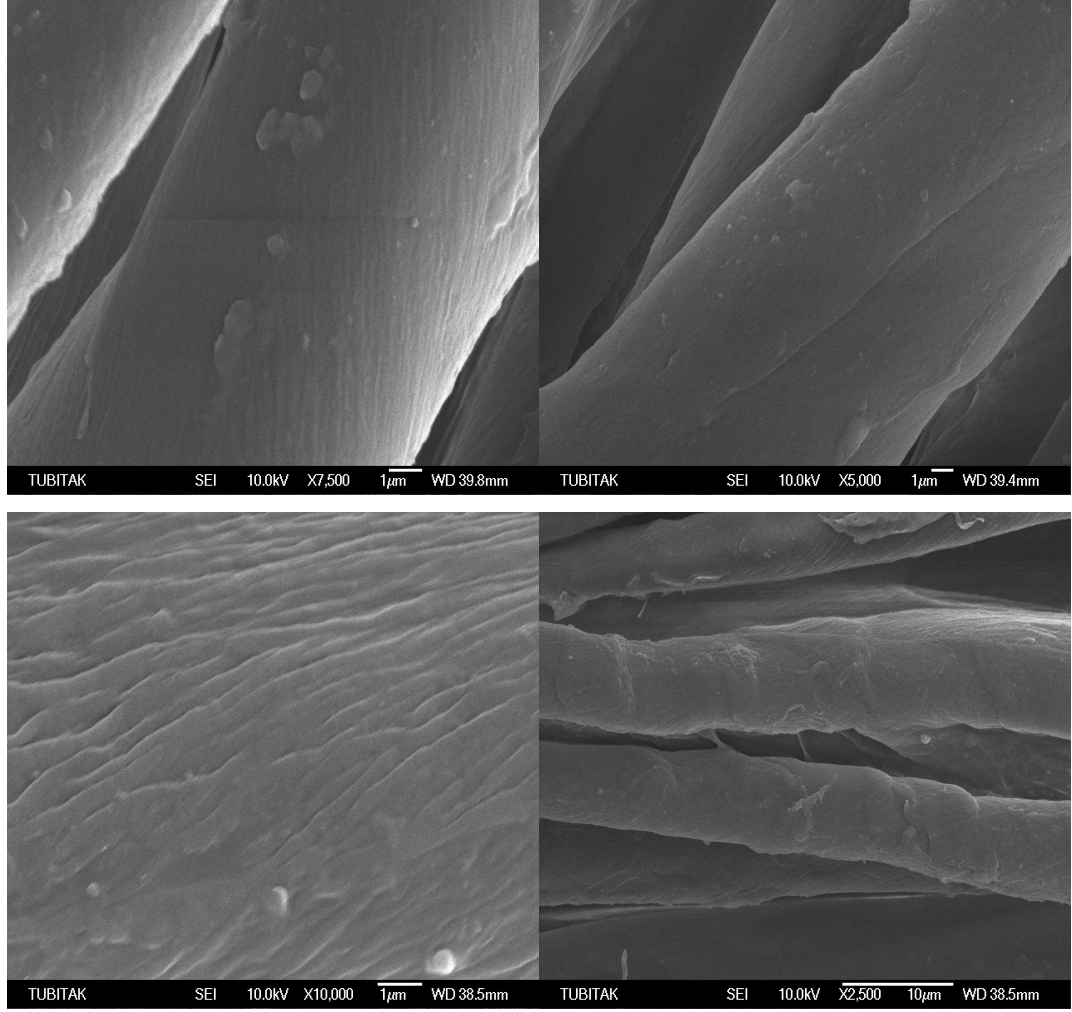
Şekil 4.24. Aşınma sonrası 20x büyütülmüş kumaş görüntüleri a) I kodlu (işlem görmemiş) kumaş b) 5000 devir sonunda I kodlu kumaş c) 5000 devir sonunda N1 işlemi görmüş kumaş d) 5000 devir sonunda N1Ş işlemi görmüş kumaş e) 5000 devir sonunda S işlemi görmüş kumaş f) 5000 devir sonunda S+B işlemi görmüş kumaş g) 5000 devir sonunda BT işlemi görmüş kumaş

4.3. Elektrosipin Denemeleri

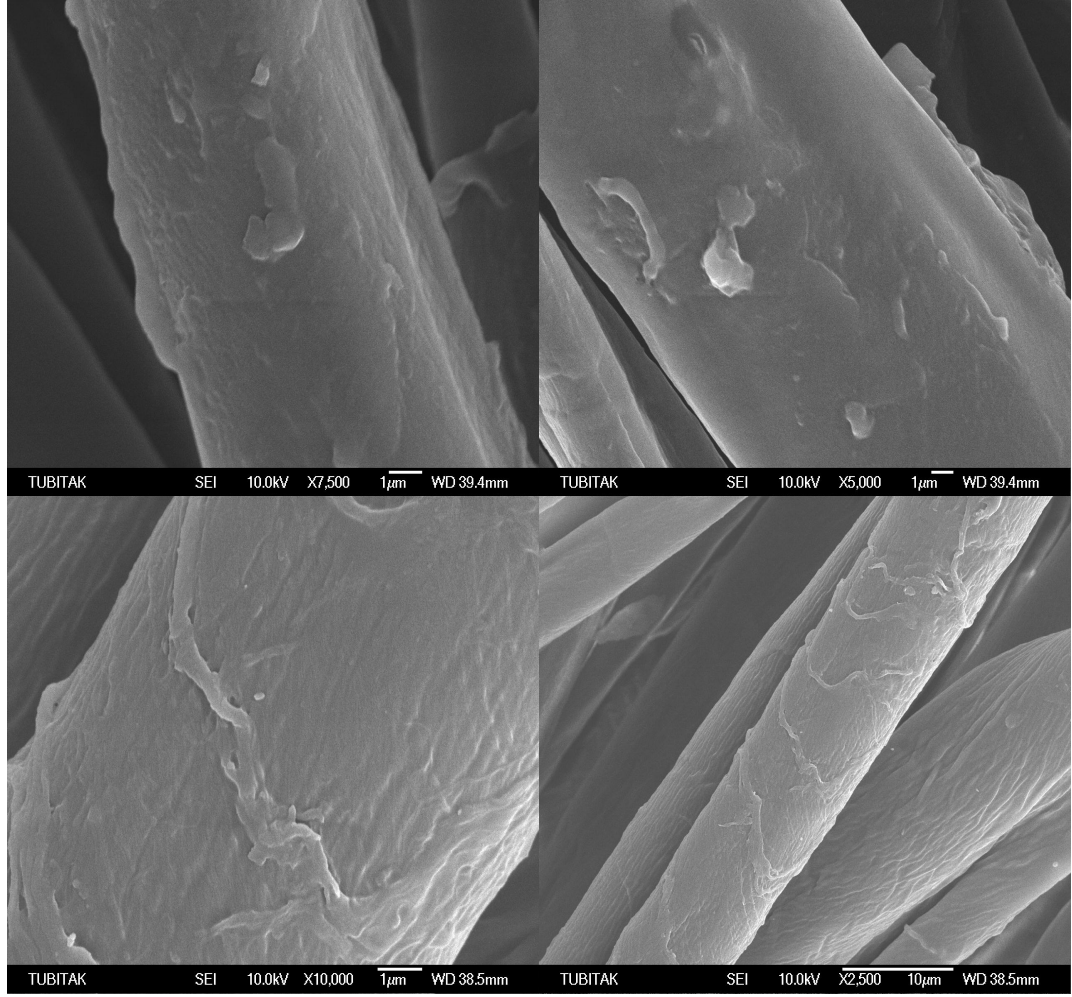
Kaynak araştırmasında yer verilen çeşitli çalışmalar, tekstil yüzeylerinin bitim işlemlerinde nano skalada parçacıklar kullanılmasında önemli bir problemin parçacıkların yüksek yüzey enerjileri nedeniyle aglomerat (topaklanma) oluşturması olduğunu göstermiştir. Parçacıkların spesifik yüzey alanlarının aglomerat oluşturmadan geniş tutulması, tekstil yüzeylerinde düzgün ve yoğun bir dağılım göstermesine sebep olacak ve nano bitim işleminin başarisını arttıracaktır. Elektrosipin işlemi ile nano parçacıkların tekstil yüzeyine yığılması, aglomerat oluşumunu nleme / azaltma amaçlı nano bitim işlemleri üzerine sürdürülen çalışmalara yönelik öneriler arasında yer almaktadır.

Doktora çalışmasında kullanılan nano ve konvansiyonel floropolimer ile çapraz bağlayıcı kimyasalların I kodlu kumaşlara fulardla aplikasyonu sonrasında kumaş yüzeyinden alınan SEM görüntüleri Şekil 4.25 – 4.26'da verilmiştir. Şekil 4.25 ve 4.26'daki farklı büyütme oranlarındaki SEM görüntüleri, lif yüzeyinin floropolimerle kaplanmasındaki sürekli liğinin ve yoğunluğun tam olarak sağlanamadığını, yer yer genişliği 1μm'nin (1000 nm) zerinde floropolimer adacıklarının oluştuğunu göstermektedir.

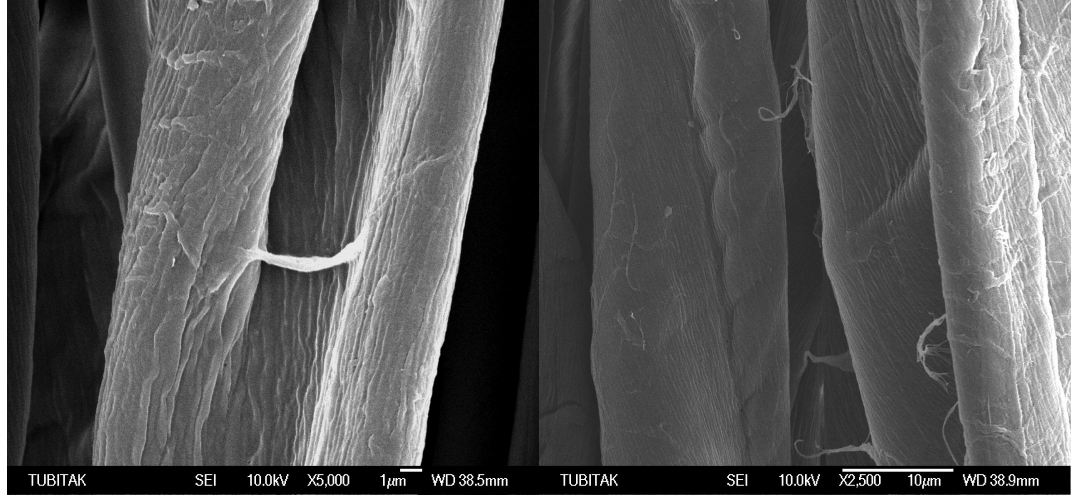
Nano ve konvansiyonel bitim işlemlerinde kullanılan çapraz bağlayıcıların kumaşa aktarıldığı durumda lifler arasında çapraz bağlanma gözlemlenirken, özellikle nano bitim işleminde kullanılan çapraz bağlayıcıda fulardla aplikasyon sonrasında görülen parçacık boyutundaki büyüme dikkat çekicidir (Şekil 4.27). Floropolimer ve çapraz bağlayıcının bir arada kullanıldığı nano ve konvansiyonel bitim reçetelerinde ise (N1 ve S+B kodlu), lifler üzerindeki yerleşim düzeni arasında paralellikler dikkat çekmektedir. Nano bitim işleminde kurutma / kondenzasyon işleminin tek adımda yapılması durumunda ise, SEM görüntülerinde belirgin çapraz bağlanma görülmemektedir (Şekil 4.28). Yine N1 ve N1Ő reçetelerinde lif yüzeyindeki floropolimer kaplamanın sürekli ve yoğun olmadığı söylenebilmektedir.



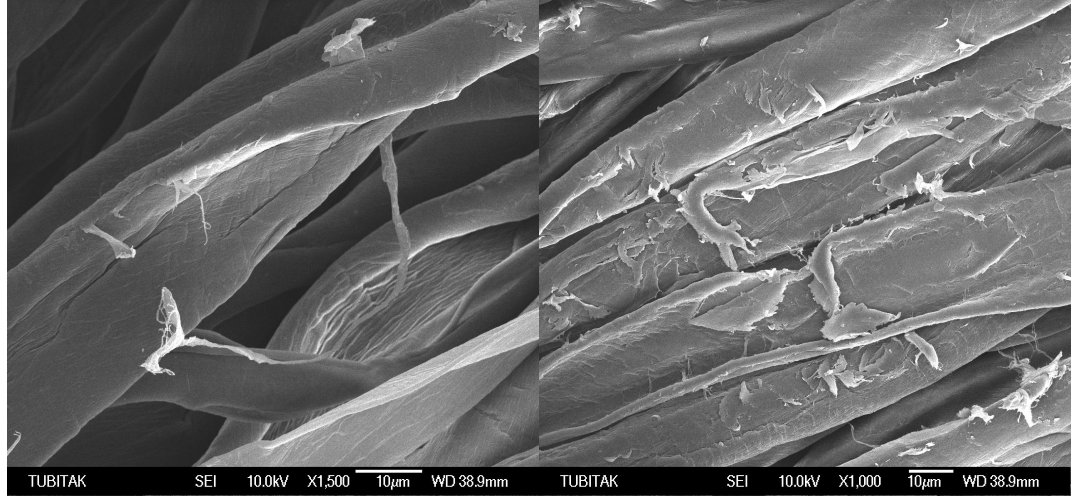
Şekil 4.25. Konvansiyonel floropolimer aktarılmış kumaş



Şekil 4.26. Nano floropolimer aktarılmış kumaş

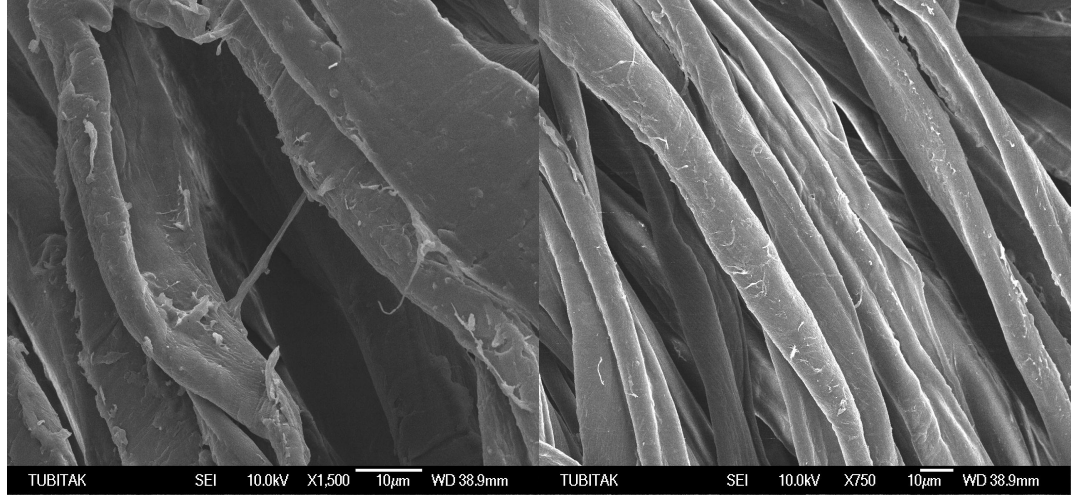


(a)

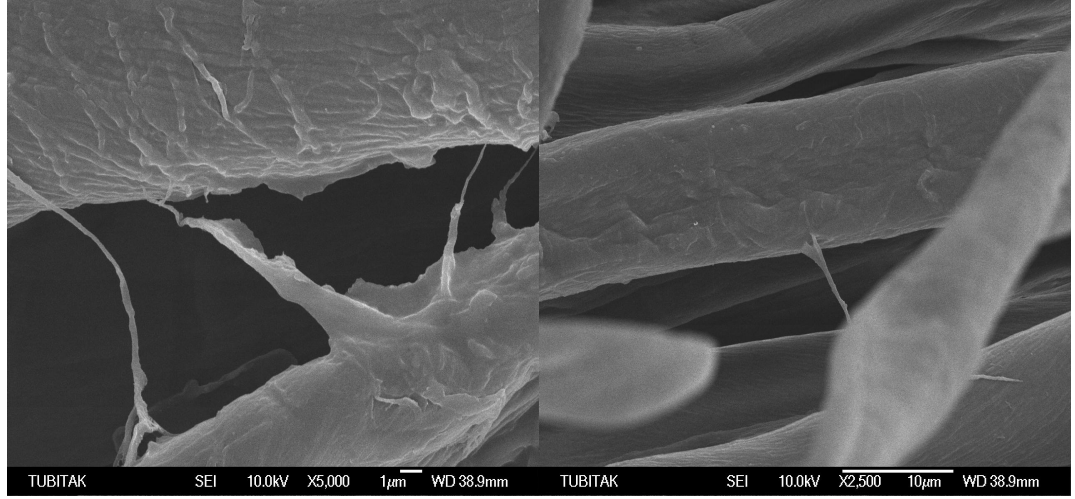


(b)

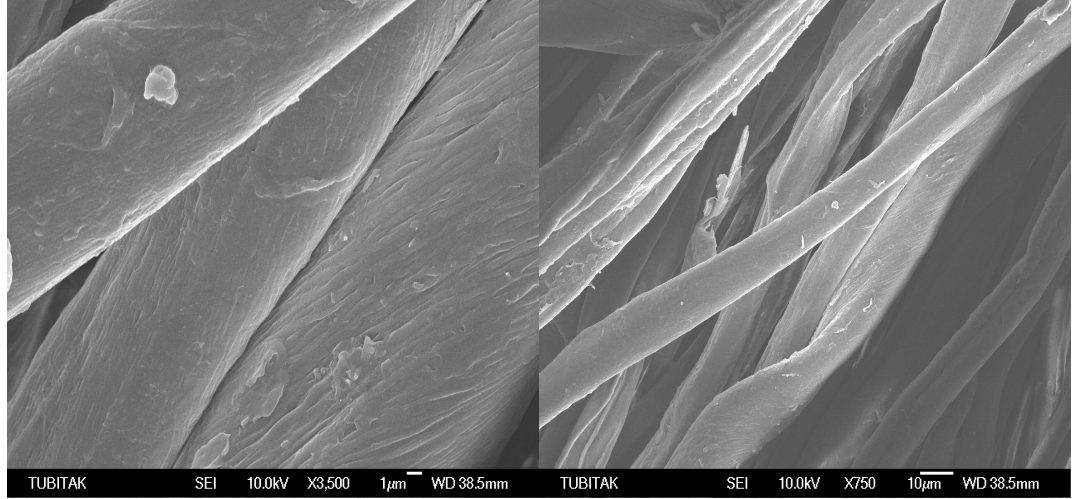
Şekil 4.27. a) Konvansiyonel çapraz bağlayıcı aktarılmış kumaş b) Nano çapraz bağlayıcı aktarılmış kumaş



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.28. a) N1 nano bitim b) S+B konvansiyonel bitim c) Tek adımda kurutma / kondenzasyon (şok kondezasyon) yapılmış N1Ş nano bitim aplikasyonu yapılmış kumaş

Doktora çalışmasında, elektrospin düzeneği vasıtasıyla nano floropolimer ile N1 ve BT kodlu nano bitim reçetelerinin aplikasyonuna yönelik denemeler yapılmıştır. Emülsiyonların yüzey geriliminin kırılması ve Taylor konisinin oluşması, elektrik alanına bırakılan emülsiyon miktarı (akış hızı) ve uygulanan elektrik alanının kV olarak büyüklüğünün belirlenmesiyle sağlanmıştır. Elektrik alanına bırakılan emülsiyonlar, içeriğindeki polimerin zincir uzunluğunun bir fonksiyonu olarak damlacıklar meydana getirerek kolektör zemin üzerine yerleştirilen I kodlu kumaş üzerine püskürtülmüştür. Denemeler, 1,5 mL emülsiyonun aplikasyonu tamamlanıncaya kadar sürdürülmüştür. Elektrospin düzeneğinde kullanılan çalışma parametreleri Çizelge 4.25'te verilmiştir.

Pamuk lifinin elektrostatik duyarlılığının ve elektrik alanına bırakıldığında şarj yüklenme yeterliliği olarak tanımlanan dielektrik sabitinin düşük olması nedeniyle, kullanılan pamuklu kumaşın elektrospin düzeneğindeki emülsiyonların püskürtülmesi esnasında zaman zaman büyük damlacıklar oluşmasına neden olduğu görülmüştür. Bu nedenle kumaş yüzeyinin elektriklenmesini hızlandırmak için gümüş iyonlarının varlığından faydalanmak amacıyla önceden fularda 40 g/L AgNO₃ çözeltisi emdirilmiş kumaş numunelerine de elektrospin düzeneğinde N1 reçetesinin aktarılmasına yönelik denemeler yapılmıştır. Kumaşların bir ohmmetre ile (ACL Staticide 880 Megaohmmeter) ölçülen elektriksel direnç değerleri (dört ölçümün ortalamaları), kullanılan pamuklu kumaşın elektrik direncinin AgNO₃ varlığında azaldığını ($8,24 \times 10^9 \Omega/\text{inç}^2$ 'den $1,85 \times 10^8 \Omega/\text{inç}^2$ 'e), başka bir ifadeyle pamuklu kumaşın iletkenliğinin hedeflendiği şekilde arttırıldığını göstermektedir.

Çizelge 4.25. Elektrospin düzeneğinde belirlenen çalışma parametreleri

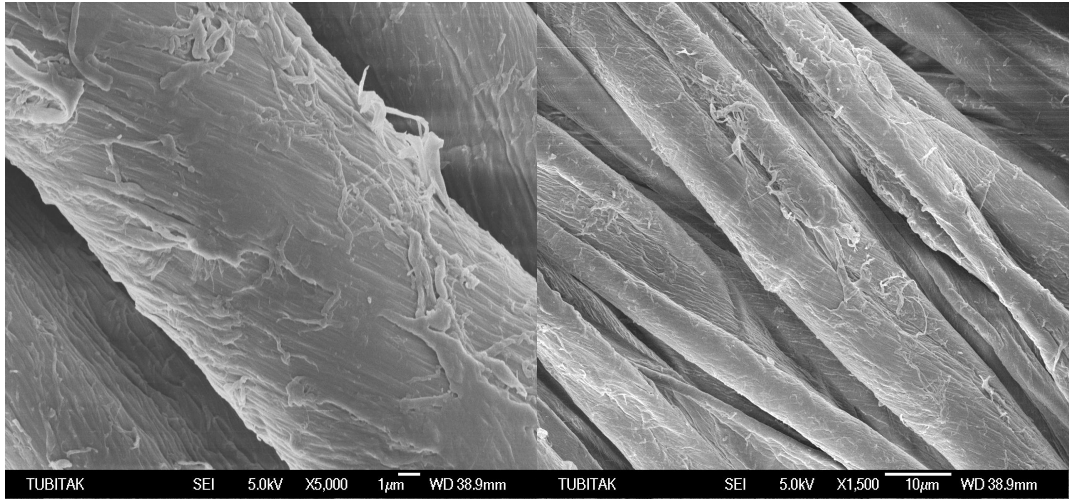
Aplikasyon	Akış hızı ($\mu\text{L}/\text{dak}$)	Elektrik alan büyüklüğü (kV)
Nano floropolimer	15	14
N1	9	12
BT	10	10
N1*	9	10

* AgNO₃ emdirilmiş kumaşa

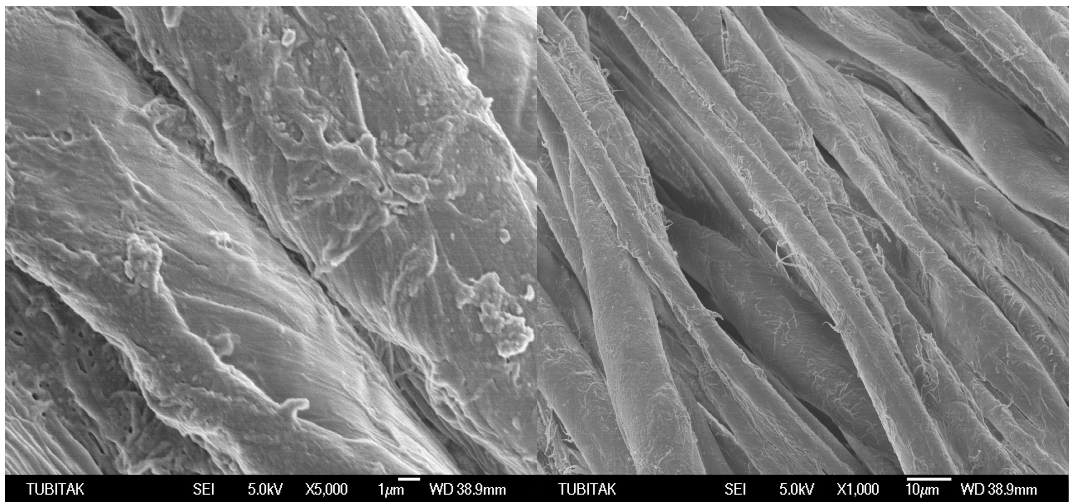
Çizelge 4.25'teki değerler, kumaşa nano floropolimer aktarılması esnasında çalışılan akış hızının diğer denemelerden daha yüksek olabileceğini

göstermektedir. Bu durum Acatay ve ark.'ın çalışmasına göre (2003) değerlendirildiğinde, nano floropolimer emülsiyonun yüzey geriliminin kırılması ve elektrik alanında Taylor konisi oluşturacak şekilde hızlandırılması sürecinin hızlı geliştiğini göstermektedir. Nano bitim reçeteleri hazırlandığında ise elde edilen çözeltilerin değişen viskozitesi, etkisini akış hızının azalması olarak göstermiştir. Bununla birlikte nano bitim reçetelerine uygulanan elektrik alanının daha düşük olması, gerekli elektrostatik kuvvetin daha küçük olduğuna işaret etmektedir. Bu durum elektrik alanına bırakılan emülsiyonların elektrik iletkenliğinin bir sonucudur (Acatay ve ark. 2003, Jalili ve ark. 2005) ve nano bitim reçetelerinin elektrik iletkenliklerinin nano floropolimerden farklı olduğunu ortaya koymaktadır. $AgNO_3$ emdirilmiş kumaş kullanılması durumunda ise daha düşük elektrik alanında çalışılabildiği görülmüştür.

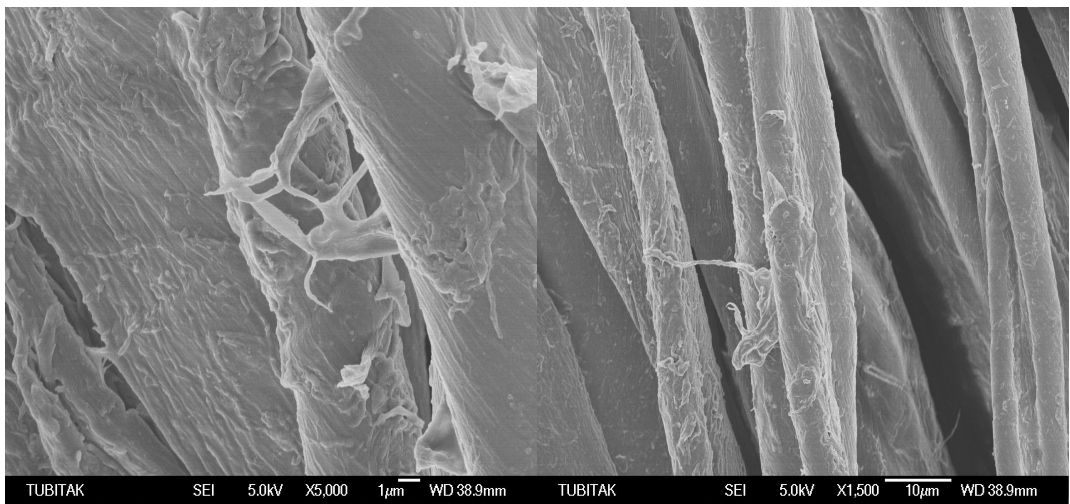
Elektrospin düzeneğinde yapılan aplikasyonlar sonrası kumaş yüzeyinden alınan SEM görüntüleri ise Şekil 4.29'da verilmiştir.



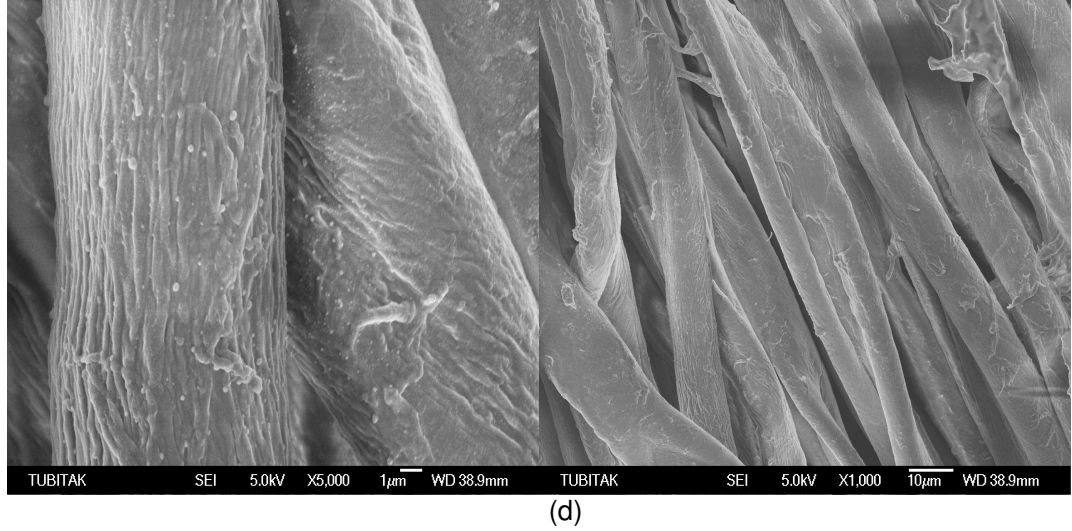
(a)



(b)



(c)



Şekil 4.29. Elektrospin düzeneğinde a) Nano floropolimer b) N1 nano bitim c) BT kombine bitim d) N1* nano bitim aplikasyonu yapılmış kumaş

Şekil 4.29'daki SEM görüntüleri, özellikle nano floropolimer ve N1 nano bitim aplikasyonu yapıldığı durumda, lif yüzeyinde daha yoğun ve sürekli bir kaplamanın gerçekleştirilebildiğini göstermektedir. $AgNO_3$ parçacıklarının varlığı küçük beyaz noktalar olarak kendini gösterirken (Şekil 4.29d), lif yüzeyindeki fibrillerin net olarak seçilmesi floropolimer yerleşiminin $AgNO_3$ varlığından olumsuz olarak etkilendiği şeklinde yorumlanmıştır.

Elektrospin ile aplikasyon yapılmış kumaşlardan alınan yağ iticilik değerlendirmesi sonuçları Çizelge 4.26'da verilmiştir.

Çizelge 4.26. Elektrospin ile aplikasyon sonrası yağ iticilik değerleri

Aplikasyon	Yağ İticilik Değeri
Nano floropolimer	4/5
N1	5/6
BT	4/5
N1*	2

* $AgNO_3$ emdirilmiş kumaşa

Çizelge 4.26'daki sonuçlar, elektrospin düzeneği ile yapılan nano bitim işlemi aplikasyonu ile sağlanan yağ iticilik değerlerinin kabul edilebilir seviyede olduğunu (yağ iticilik değeri >4) göstermektedir; bu değerler %4-7 AF değerleriyle elde edilmiştir. Ancak, söz konusu kumaşlar hidrostatik basınca karşı dayanım sergilememiştir. Bu durum, elektrospin aplikasyonu ile sağlanan sıvı iticilik özelliğinin mekanik dayanımının ve dolayısıyla kalıcılığının olmadığını

göstermektedir ki bu elektrospin ile yapılan çalışmalarda karşılaşılan genel bir sorundur.

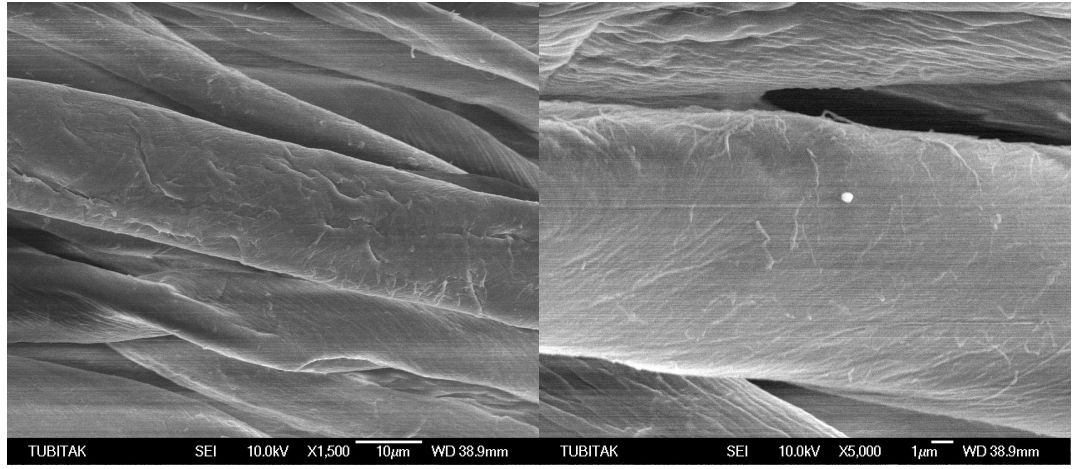
4.4. Plazma Denemeleri

Doktora çalışmasında plazma işleminin kullanımı, O₂ plazması uygulaması ile nano bitim işleminin fulardla aplikasyonu öncesinde kumaş hidrofilitésinin artırılmasına yönelik olmuştur. Tekstil mamulünün hidrofobik özelliği üzerine yapılan çeşitli çalışmalar (Wang ve ark. 2001, Vesa 2001, Hegemann ve Fischer 2004, Hegemann 2005, Pichal ve ark. 2005), plazma uygulaması sonrası yüzey ıslanabilirliğinin artırılabilirdiğini, efektif gözenek boyutlarının büyüyerek kumaşlardaki kapilar davranışın geliştiğini ve bu sayede yaş işlemlerdeki kimyasalların penetrasyonunun arttığını göstermiştir. Farklı plazma gazlarının (oksijen, nitrojen, argon, hava) denendiği bu çalışmalarda, MW (mikrodalga) ve RF (radyofrekans) plazma düzeneklerinde oksijen gazı ile yapılan uygulamalarda hidrofilité artışının en üst düzeyde olduğu görülmüş, bu durum lif yüzeyinde oksijen içeren ilave kimyasal bağların oluşmasıyla ilişkilendirilmiştir. Sun ve Stylios'a göre (2004) plazma oksidasyon reaksiyonları, polimer yüzeyine tutunan oksijen içeren fonksiyonel gruplar (-OOH, -OH, -C=O vb.) üretmektedir ve bu gruplar kumaşların hidrofilik özelliklerinin gelişmesinde önemli rol oynarlar.

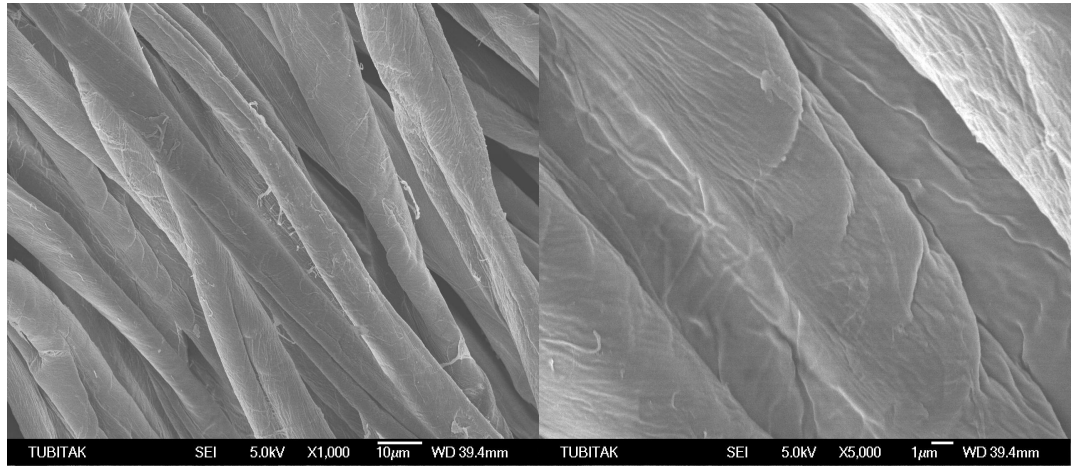
Plazma bir çok uyarılmış parçacık içerir ve bu parçacıkların sebep olduğu aşındırma etkisi uygulama yüzeyini kalıcı biçimde modifiye eder; bu nedenle plazma uygulaması sonrası lif yüzey morfolojisinde değişimler beklenir. Sun ve Stylios (2005), 1 dakika süreyle oksijen plazması uygulanmış pamuklu kumaşların yüzey pürüzlülüğünün ve sürtünme katsayısının arttığını göstermiştir; SEM fotoğrafları da plazma sonrası yüzeyin daha pürüzlü oluştuğunu desteklemektedir. Yine Sun ve Stylios'a göre (2004), yüzey morfolojisinde değişim ıslanabilirlik üzerinde çok küçük de olsa etkili olmaktadır.

Şekil 4.30 – 4.32'de, doktora çalışmasında plazma aplikasyonu yapılmış I (Çizelge 3.1), III ve IV kodlu (Çizelge 3.3) kumaş numunelerinden alınan işlem öncesi ve sonrasına ait SEM fotoğrafları verilmiştir.

Şekil 4.30'deki %100 pamuklu kumaşa ait SEM fotoğrafları, reaktif plazma gazının (oksijen) aşındırma efektinin pamuk lifi yüzeyinde plazma sonrası daha belirgin kanallı bir yapının oluşmasına neden olduğunu göstermektedir. Şekil 4.31'deki %100 poliamid kumaşa ait SEM fotoğrafları ise, plazma sonrasındaki pürüzlü / aşınmış lif yüzeyini açıkça ortaya koymaktadır. %100 poliester kumaşa ait Şekil 4.32'deki fotoğraflar lif yüzeyindeki aşınmaya paralel olarak, plazma öncesi lif yüzeyinde görülen ve Militky ve ark.'nın (1991) çalışmasındaki benzer SEM görüntülerinde yüzey oligomerleri olarak tanımlanan safsızlıkların plazma sonrası parçalanmaya başladığını göstermektedir. Bu durum, lifte belirli bir temizleme etkisinin olduğunu göstermektedir.

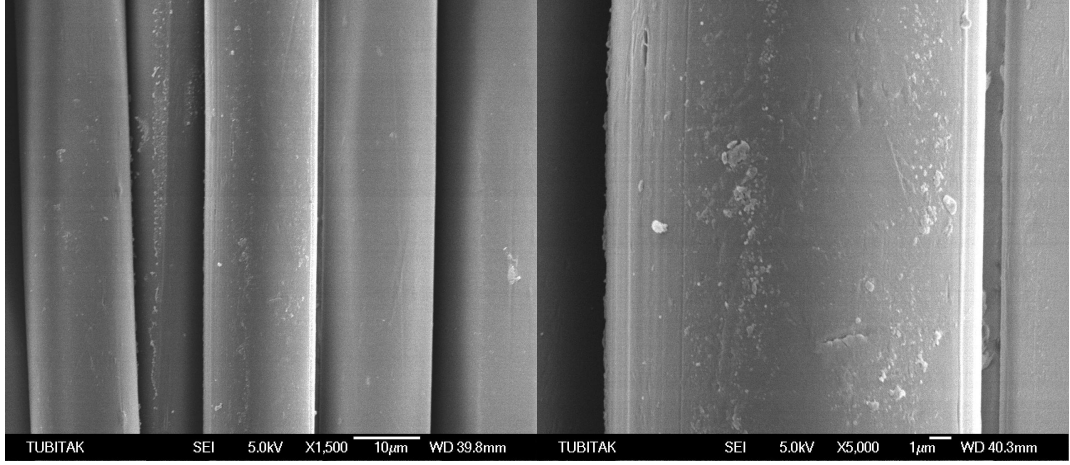


(a)

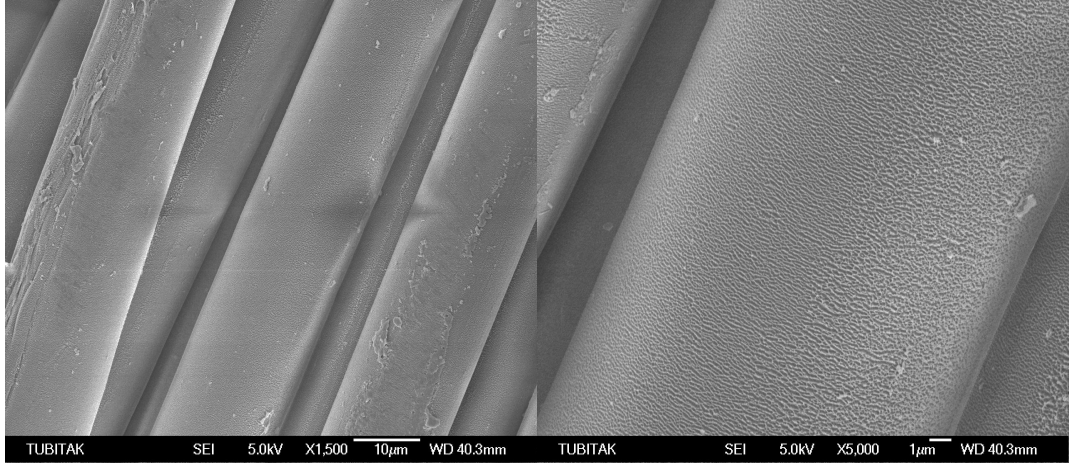


(b)

Şekil 4.30. a) Plazma öncesi b) plazma sonrası pamuk lifine ait SEM fotoğrafları

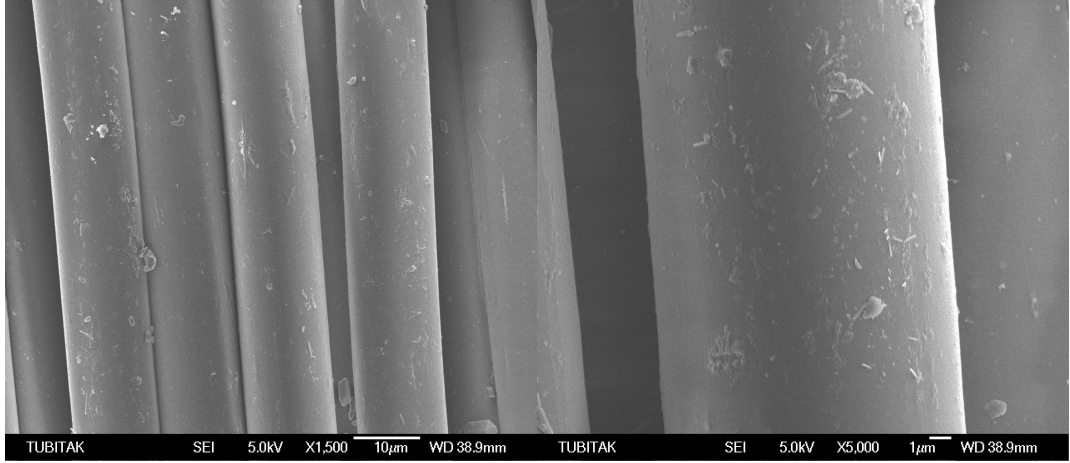


(a)

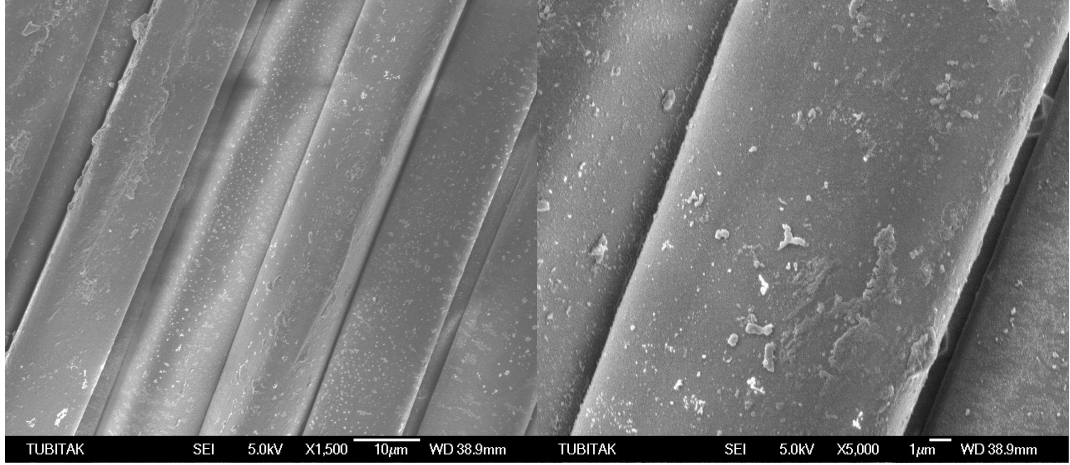


(b)

Şekil 4.31. a) Plazma öncesi b) plazma sonrası poliamid lifine ait SEM fotoğrafları



(a)



(b)

Şekil 4.32. a) Plazma öncesi b) plazma sonrası polyester lifine ait SEM fotoğrafları

Plazma uygulaması sonrası lif yüzeylerinin morfolojisinde görülen bu değişimler, ışığın yansıma davranışında sebep oldukları farklılaşmaya bağlı olarak kumaşların Reflektans Spektrofotometresinde ölçülen renk bilgisi değerlerinde de değişimlere yol açmıştır. Plazma sonrası yüzey pürüzlülüğünün artışı, kumaş rengine (CIELAB renk uzayındaki renk açısına) bağlı olarak, işlem görmemiş I kodlu pamuklu kumaşta b^* (sarı-mavi), III ve IV kodlu sentetik kumaşlarda ise L^* (açıklık / siyah-beyaz) eksenindeki gerilemede kendini göstermektedir. Plazma öncesi ve sonrasına ait kumaşların Reflektans Spektrofotometre ölçümleri Çizelge 4.27’de verilmiştir.

Çizelge 4.27. Kumaşlara ait CIEAB eksen değerleri

CIELAB eksenleri	%100 pamuklu (I)		%100 poliamid (III)		%100 polyester (IV)	
	Plazma öncesi	Plazma sonrası	Plazma öncesi	Plazma sonrası	Plazma öncesi	Plazma sonrası
L*	63,11	63,41	18,79	12,99	23,01	20,92
a*	-6,07	-5,66	0,24	0,32	0,53	0,64
b*	-28,49	-25,26	-1,39	-1,11	-1,09	-0,40

Plazma uygulaması sonrası kumaşlar, N1 kodlu nano bitim işlemi (Çizelge 3.6) görmüştür. İşlemin etkinliği, ilk olarak yağ iticilik testi (Çizelge 3.7) ile değerlendirilmiştir. Yağ iticilik test sonuçları (Çizelge 4.28), plazma uygulamasının, pamuklu mamuller için geliştirilen nano bitim kimyasalının etkinliğini sentetik kumaşlarda da belirgin biçimde arttırdığını göstermektedir çünkü plazma ve nano bitim işlemi görmüş sentetik kumaşlar, sadece nano bitim işlemi görmüş olanlardan daha yüksek yağ iticilik değerleri vermiştir.

Çizelge 4.28. Kumaşların yağ iticilik değerleri (AATCC 118)

Yağ İticilik Değeri	%100 pamuklu (I)	%100 poliamid (III)	%100 poliester (IV)
İşlemsiz	0	0	0
N1	6	2	2/3
Plz + N1 *	6	4/5	3/4

* Plazma uygulaması sonrası N1 nano bitim işlemi

Plazma ve nano bitim işleminin bir arada uygulanmasının kumaşların su iticilik özelliğine etkisi ise Mukhopadhyay ve ark. (2005)' nin, nano karbon lif / nitroselüloz kompozit filmi, mikrodalga plazma ile nano oksit ve florokarbon kapladıkları çalışmalarında yüzey afinitesini karşılaştırmak için kullandıkları yöntemle değerlendirilmiştir. Bu yöntemde basitçe, plazma uygulaması yapılmış numuneler belirli süreler boyunca suya daldırılır ve ağırlığındaki değişimler kaydedilir. Mukhopadhyay ve ark., plazma uygulaması yapılmış yüzeylerin su absorblama özelliğinin değiştiğini ve florokarbon kaplanmış filmin ağırlığının 15 dakika sonunda % 5, nano oksit (HDSMO) kaplanmış filmin ise %103 arttığını

göstermişlerdir. Çizelge 4.29'da, plazma uygulaması sonrası nano bitim işlemi görmüş numunelerle tek başına nano bitim işlemi yapılmış numunelerin, sözü edilen yöntemle bulunan ölçüm sonuçları görülmektedir. Sonuçlar, her iki uygulamanın bir arada yapıldığı numunelerin genel olarak daha düşük ağırlık değişimi değerleri verdiğini, plazma uygulamasının nano bitim işleminin yüzey hidrofobluğunu arttırmaya yönelik etkinliğini geliştirdiğini göstermektedir.

Çizelge 4.29. Belirli sürelerde suda bekletilen numunelerdeki ağırlık değişimi

Süre (dakika)	%100 pamuklu (I)		%100 poliamid (III)		%100 polyester (IV)	
	N1	Plz + N1*	N1	Plz + N1*	N1	Plz + N1*
5	2,91	1,79	3,78	4,45	3,33	1,07
10	6,62	3,93	4,29	4,65	5,78	4,26
15	7,14	5,03	10,38	7,33	6,28	5,88

* Plazma uygulaması sonrası N1 nano bitim işlemi

4.5. Sonuç

Farklı kullanım alanlarına yönelik tekstil yüzeylerinden beklentiler sürekli artarken özellikle su ve yağa karşı iticilik (sıvı iticilik), ilgi gören bir kullanım özelliği olarak öne çıkmaktadır. Sıvı iticilik, lif, iplik ve kumaş yapılarının sıvılar tarafından ıslatılmasına karşı gösterilen direnç olarak tanımlanmıştır. Su iticilik amaçlı uygulamalar için kullanılan parafin, poliakrilat, polisiloksan, metal tuzu sabunları, modifiye yağ asitleri gibi ürünlerin yerini son yıllarda, suyun yanında yağ iticilik özelliği de kazandırdığı için florokarbonlar almıştır. Floropolimer yapılar olan florokarbonlar sadece lif yüzeyini kapattığı ve kumaştaki gözeneklerin çoğu bu durumdan etkilenmediği için, işlem görmüş kumaşların hava, buhar ve nem geçirgenlikleri önemli oranda etkilenmemektedir; bu durum giysilerin kullanıcılara sunduğu konfor algısında önemli bir avantaj olarak değerlendirilmektedir. Floropolimer bileşiklerinin etki mekanizması, kritik üst yüzey gerilimi ile ilgilidir. Düşük serbest yüzey enerjisine sahip florokarbon polimeri, tekstil mamulü yüzeyinde düzgün bir dağılım meydana getirdiğinde mamulün kritik yüzey gerilimi değeri düşmektedir; bu değer su ve yağın havaya karşı yüzey gerilimi değerinden düşük olduğunda mamul suya ve yağa karşı iticilik özelliği kazanmaktadır. Floropolimer içeren bitim işlemlerinin etkinliğinin sürekliliğini ve dayanımını arttırmak için, dimetiloldihidroksietilenüre (DMDHEU) esaslı N-metilol bileşiğinin veya karboksilik asit ve karboksilik asit anhidridler arasından seçilen anhidrid grup içeren monomerlerin, florokarbon bileşikleriyle bir arada kullanılması denenen ve başarılı sonuçlar alınan uygulamalardır. Sıvı iticilik bitim işlemlerinde kullanılan bu tür fonksiyonel kimyasal maddelerin nanometrik polimerik bir kılıf içine yerleştirilmesi veya daha küçük parçacık boyutlarında tekstil yüzeyine aktarılması da yeni üretim yaklaşımlarındandır. Kimyasallarda daha küçük yapı ünitelerinin kullanılması, nanoteknolojik üretim yaklaşımının tekstildeki yansımalarından birisidir. Bu kimyasalların uygulandığı tekstil yüzeylerinin, nano skalada parçacıklarla işlem görmesinin çeşitli bitim işlemlerinin daha hassas ve düzgün biçimde yapılmasını sağladığı öngörülmektedir. Çünkü küçük parçacık boyutu, kimyasalların spesifik yüzey alanlarının geniş olmasına, bu sayede tekstil yüzeyi ile daha iyi etkileşimin

kurulmasına sebep olmaktadır. Ayrıca bu parçacıklarla elde edilecek emülsiyonların stabiliteyi daha yüksektir; bitim işlemlerinde kullanılacak emülsiyonların ortam şartlarındaki değişime karşı stabiliteyi ve özelliklerini korumaları, parçacık boyutunun küçültülmesiyle büyük oranda sağlanabilir.

Bu çalışmada, ana kimyasallar olarak floropolimer ve çapraz bağlayıcı içeren yıkama dayanımı yüksek nano ve konvansiyonel sıvı iticilik bitim kimyasalları, söz konusu kimyasalların çeşitli spektrofotometrik yöntemlerle alınan kimyasal yapı analizleri, sıvı iticilik bitim işlemi görmüş spor giysilik amaçlı kumaşlardan alınan çeşitli performans analizleri ve nano bitim işleminin kumaşlara aktarılmasında farklı aplikasyon tekniklerinden faydalanılması aşama aşama incelenmiştir.

Ticari kullanımı bulunan sıvı iticilik bitim reçetelerinde yer alan nano ve konvansiyonel tip floropolimer ve çapraz bağlayıcıya ait parçacık büyüklüğü ve dağılımı analizleri, nano tip kimyasallarda küçük parçacık dağılımının daha yoğun, dolayısıyla bu kimyasalların ortalama efektif çaplarının daha küçük, çapraz bağlayıcı dispersiyonlarındaki parçacık büyüklüğü varyasyonunun ise floropolimer dispersiyonlardan daha fazla olduğunu göstermiştir. FTIR analizleri de, nano ve konvansiyonel tip kimyasalların içerdiği fonksiyonel gruplar bakımından benzerlikler taşıdığını ortaya koymuştur.

Kimyasalların parçacık büyüklükleri arasındaki farkın etkisini değerlendirmek için, pamuklu örme kumaş numunelerine fulardda ayrı ayrı aplikasyonlar yapılmış; işlemler öncesi ve sonrasında Reflektans Spektrofotometresinde renk ve renk farkı ölçümü alınmıştır. Ölçüm sonuçları, nano bitim işleminde kullanılan küçük parçacık büyüklüğüne sahip kimyasalların konvansiyonel bitim işleminde kullanılanlara göre, aktarıldıkları kumaşta hemen hemen tüm dalgaboylarında daha yüksek yansıma ve L^* değerlerine sebep olduğunu göstermiştir. Bu sonuç, nano bitim işleminde kullanılan kimyasalların küçük parçacık boyutunun aktarıldığı kumaş içinde daha homojen ve dispers yerleşime sebep olduğu; geniş yüzey alanı nedeniyle daha düzgün yansıma yüzeyi sunduğu şeklinde yorumlanmıştır. Kumaşların dalgaboyu / yansıma değerlerindeki değişimler göz önüne alındığında, floropolimer aktarılmış kumaşların yansıma değerlerinde işlem öncesine göre azalma, çapraz bağlayıcı

kimyasal aktarılmış kumaşlarda ise artış olduğu görülmüştür. Tüm kimyasallar için yansıma değerlerindeki değişim incelendiğinde, 400-440 nm civarında yansıma değeri en düşük düzeyde gerçekleşmiştir. Bu durum Jang ve Jeong'ın (2006) çalışmasında da yer aldığı şekliyle aplikasyonlar sonrası meydana gelen kumaş yüzey pürüzlülüğü yüksekliğinin ışığın görünür bölgedeki kısa dalgaboylarını daha fazla saçması ve yansıma değerlerinde daha fazla düşüşe neden olması ile açıklanmıştır. Nano ve konvansiyonel bitim işlemlerinde kullanılan çapraz bağlayıcı kimyasalların ortalama efektif parçacıkları arasındaki fark floropolimerler için bulunandan çok daha fazla olmasına karşın, çapraz bağlayıcı aktarılmış kumaşlara ait ΔR (işlem öncesi ve sonrası kumaşlardan ölçülen 400-700 nm arasındaki ışığın yansıma değerlerindeki fark) eğrileri özellikle kısa dalgaboylarında benzerlik sergilemiştir. Bu durumda, çapraz bağlayıcı kimyasalların parçacık büyüklüklerindeki varyasyonların daha büyük olduğu göz önüne alındığında, işlem görmüş kumaşların yüzey pürüzlülüğü yükseklik dağılımları ile kimyasalların parçacık büyüklüğü dağılımları birbirleriyle ilişkilendirilmiş ve işlem görmüş kumaşların yüzey yansıma değerleri değerlendirilirken, parçacık büyüklüğü yanında parçacıkların dağılımlarının da etkili olduğu sonucu çıkarılmıştır.

Kimyasal aktarılmış kumaşlarda meydana gelen ve AATCC 173'e göre hesaplanan renk farkı değerleri ise, nano boyutta, parçacık büyüklüğüne sahip kimyasalların, konvansiyonel bitim işleminde kullanılanlara göre daha düşük renk farkı verdiğini göstermiştir; nano bitim işleminde kullanılan kimyasalların aktarıldığı numuneler, tekrarlı yıkamalar sonrasında da daha düşük renk farkı değerleri vermiştir. Bu sonuçlar, kimyasal madde aktarılmış kumaşlardan alınan yansıma değerleriyle bir arada değerlendirildiğinde, nano bitim kimyasallarının küçük parçacık boyutunun, malzeme yüzey morfolojisinde daha küçük değişimlere yol açtığı şeklinde yorumlanmıştır. Yüksek seviyedeki mekanik deformasyonun etkisini değerlendirmek için söz konusu kumaşların Martindale cihazında 9kPa yük altında belli devirler aşındırılmaları sonrasında ise, aşınma öncesine göre meydana gelen renk farkı ölçümlerinde parçacık büyüklüğünün anlamlı etkisi görülmemiştir.

Üretici firmaların önerileri göz önüne alınarak hazırlanan ve işletme ortamında da kullanılan nano ve konvansiyonel sıvı iticilik bitim reçeteleri ile bu bitim reçetelerinde floropolimerle birlikte kullanılan çapraz bağlayıcının kumaş özelliklerine etkisini değerlendirmek amacıyla, çapraz bağlayıcının ana kimyasal olarak yer aldığı buruşmazlık bitim reçeteleri ve nano bitim reçetesindeki çapraz bağlayıcının polikarboksilik asitle yer değiştirdiği kombine bitim reçetesinin aktarıldığı, açık ve koyu ton boyalı pamuklu kumaşlardan alınan çeşitli performans analizleri incelendiğinde, nano bitim işleminin su ve yağ iticilik özelliğinin 50 yıkama sonrasında aplikasyonlar içinde en yüksek değerleri verdiği görülmüştür. Nano bitim işleminde kurutma ve kondenzasyonun tek adımda yapılması, işlemin su ve yağ iticilik performansı üzerinde gerilemeye yol açmamıştır.

Kumaşlardan alınan renk farkı ölçümleri, küçük parçacık büyüklüğüne sahip kimyasalların bir arada kullanıldığı nano bitim reçetelerinin daha düşük renk farkına sebep olduğunu göstermiştir. Nano bitim işlemindeki renk farkına sebep olan temel kimyasal, reçetede çapraz bağlayıcı olarak tespit edilmiştir çünkü glikollenmiş DMDHEU esaslı çapraz bağlayıcının azaltıldığı veya çıkartıldığı reçetelerin aktarıldığı kumaşlarda her iki renk açısından da daha düşük seviyelerde renk farkı ölçülmüştür. Nano bitim işleminde tek adımda kurutma / kondenzasyon yapılmasının özellikle koyu ton boyalı kumaşta renk farkını azalttığı görülmüştür. En yüksek renk farkı değerleri, buruşmazlık bitim işlemi görmüş kumaşlarda tespit edilirken, kombine bitim işlemi de yüksek renk farkına yol açmıştır. Bununla birlikte, nano, konvansiyonel ve kombine bitim işleminin açık ve koyu ton boyalı pamuklu kumaşların (tere, suya ve sürtünmeye karşı) renk haslıkları üzerine etkisi arasında fark olmadığı görülmüştür.

Ölçüm sonuçları, konvansiyonel tip çapraz bağlayıcı içeren reçetelerle işlem görmüş kumaşların mukavemet değerlerinin, nano çapraz bağlayıcı içeren reçetelerle işlem görmüş kumaşlara göre daha düşük olduğunu göstermiştir. Nano bitim işleminde kurutma ve kondenzasyon işleminin tek adımda yapılmasının ve çapraz bağlayıcı miktarının azaltılmasının, mukavemet kaybını azalttığı görülmüştür.

Çapraz bağlayıcı içeren reçetelerle işlem görmüş kumaşlardan alınan formaldehit ölçüm sonuçları, nano bitim işlemi sonrası açığa çıkan formaldehit miktarının düşük seviyelerde olduğunu, çapraz bağlayıcının çıkartıldığı ya da kombine bitim reçetesinin kullanıldığı durumda sıfır formaldehite yakın sonuçlara ulaşmanın mümkün olduğunu göstermiştir. Nano bitim işleminde kurutma / kondenzasyonun tek adımda tamamlanmasının, daha düşük miktarda formaldehit çıkışına sebep olduğu görülmüştür. Bu sonuç, tek adımda kurutma / kondenzasyon işleminin nano bitim reçetesinde yer alan çapraz bağlayıcının lifle yaptığı bağlanma derecesini azalttığı şeklinde açıklanmıştır. Düşük çapraz bağlanma derecesi, kumaş mukavemetinde daha az kayıp olarak da kendini göstermiştir.

Aplikasyonlar sonrası yapılan aşınma dayanımı değerlendirilmesi, en düşük aşınma dayanımının kombine bitim ve konvansiyonel buruşmazlık reçeteleri aktarılmış kumaşlarda görüldüğünü, nano bitim reçeteleri ile işlem görmüş kumaşların aşınma dayanımlarının konvansiyonel floropolimer ve çapraz bağlayıcı kimyasalların bir arada kullanıldığı aplikasyondan daha düşük olduğunu ve konvansiyonel buruşmazlık reçetesindeki çapraz bağlayıcının nano kimyasalla yer değiştirdiği durumda kumaşların daha yüksek aşınma dayanımı sergilediğini göstermiştir. Ayrıca nano bitim işleminde kurutma/kondenzasyonun tek adımda gerçekleşmesinin kumaşların aşınma dayanımında gerilemeye yol açtığı bulunmuştur.

Floropolimer içeren nano, konvansiyonel ve kombine bitim işlemi görmüş kumaşların temas açısı ve adhezyon gerilimi ölçümleri, genel olarak nano bitim işlemi sonrası adhezyon geriliminin konvansiyonel bitim işlemlerine göre daha küçük olduğunu, nano bitim reçetesi ile kumaşların en yüksek su iticilik performansı sergilediğini göstermiştir.

Floropolimer içeren reçetelerin kumaş üzerinde oluşturduğu film tabakası dayanımı ölçüm sonuçları, işlem görmüş kumaşların, hiç yıkama işlemi görmeden kullanımı süresinde, belli bir aşınma efekti kazandığında sıvı iticilik özelliği kaybedeceğini göstermiştir. Söz konusu aşınmanın Juhue ve ark. (2001)'nin çalışmasında ileri sürdükleri şekilde florokarbon film morfolojisindeki bozulmadan kaynaklandığı düşünülmektedir. Sonuçlar, floropolimer film

tabakasının aşınma dayanımının genel olarak 500 devir sonunda gerilemeye başladığını, kumaşa aktarılan floropolimer miktarının yüksek tutulmasının aşınma dayanımını arttırdığını, nano bitim işleminde çapraz bağlayıcı kimyasalın çıkartılmasının film tabakası dayanımında gerilemeye yol açtığını, kurutma / kondezasyonun tek adımda tamamlanmasının ise değişime sebep olmadığını göstermiştir. Kombine bitim işlemi düşük film tabakası dayanımı vermiştir. Nano bitim reçetesinin film tabakası dayanımının konvansiyonel tipten daha yüksek çıkması, küçük parçacık büyüklüğü nedeniyle lif yüzeyinde daha sıkı ve yoğun yerleşim sergilediği şeklinde yorumlanmıştır.

Doktora çalışmasında kullanılan nano ve konvansiyonel floropolimer ile çapraz bağlayıcı kimyasalların kumaşlara fulardla aplikasyonu sonrasında kumaş yüzeyinden alınan SEM görüntüleri, literatürde yer alan ifadelere paralel olarak nano skalada parçacıklar kullanıldığında, lif yüzeyinde düzgün ve yoğun bir dağılım sergilenmesine engel olacak şekilde aglomerat (topaklanma) oluştuğunu göstermiştir. Aglomerat oluşumunun önlenmesine yönelik olarak, Demir ve ark. (2004)'ün çalışmasında uygulandığı üzere, nano floropolimer, nano ve kombine bitim reçetelerinin elektrospin düzeneği vasıtasıyla kumaşlara püskürtülmesine yönelik denemeler yapılmıştır. Elektrospin düzeneğinde emülsiyonların yüzey geriliminin kırılması ve Taylor konisinin oluşması, elektrik alanına bırakılan emülsiyon miktarı (akış hızı) ve uygulanan elektrik alanının kV olarak büyüklüğünün belirlenmesiyle sağlanmıştır. Başta Acatay ve ark. (2003) ve Kwon ve ark. (2004)'ün olmak üzere literatürdeki çalışmalar, elektrospin düzeneği ile aplikasyonunda uygulanan elektrik alanı büyüklüğü ve akış hızı değerlerindeki farkın emülsiyonların elektrik iletkenliği ve viskoziteleri arasındaki farktan kaynaklandığına işaret etmektedir. Elektrospin denemeleri, pamuklu kumaşın bir ön işleme elektrik iletkenliğinin artırılması durumunda daha düşük elektrik alanı değerlerinde çalışılabileceğini göstermiştir. Elektrospin düzeneğinde yapılan aplikasyonlar sonrası kumaş yüzeyinden alınan SEM görüntüleri, özellikle nano floropolimer ve nano bitim aplikasyonu yapıldığı durumda lif yüzeyinde daha yoğun ve sürekli bir kaplamanın gerçekleştirilebildiğini göstermiştir. Ölçüm sonuçları, elektrospin düzeneği ile yapılan nano bitim işlemi aplikasyonu ile sağlanan yağ iticilik değerlerinin kabul

edilebilir seviyede olduğunu (yağ iticilik değeri >4) göstermektedir. Ancak, söz konusu kumaşlar hidrostatik basınca karşı dayanım sergilememiştir.

Doktora çalışmasında, plazma işlemi ile pamuklu ve sentetik kumaşların lif yüzeyinde fonksiyonel grupların oluşturulması / sayısının artırılması, bu gruplar vasıtasıyla nano bitim kimyasallarının malzeme yüzeyine bağlanmasının sağlanması / geliştirilmesi ve bu sayede nano bitim işleminin etkinliğinin artırılması üzerine denemeler yapılmıştır. Plazma işleminin kullanımı, mikrodalga O₂ plazması uygulaması ile nano bitim işleminin fulardda aplikasyonu öncesinde kumaş hidrofilitésinin artırılmasına yönelik olmuştur. Plazma uygulaması yapılmış pamuklu ve sentetik kumaşlara ait SEM görüntüleri, reaktif plazma gazının (oksijen) lif yüzeyini aşındırma etkisini ortaya koymuştur. Plazma uygulaması sonrası lif yüzeylerinin morfolojisinde görülen bu değişimler, ışığın yansıma davranışında meydana gelen farklılaşma şeklinde kendini göstermiştir. Plazma uygulaması sonrası kumaşlar, nano bitim işlemi görmüştür. Yağ iticilik test sonuçları, plazma uygulamasının pamuklu mamuller için geliştirilen nano bitim işleminin etkinliğini sentetik kumaşlarda belirgin biçimde arttırdığını göstermiştir. Çünkü plazma ve nano bitim işlemi görmüş sentetik kumaşlar, sadece nano bitim işlemi görmüş olanlardan daha yüksek yağ iticilik değerleri vermiştir. Bu sonuç, Hegemann ve Fischer (2004)'in O₂ plazması uygulanmış %100 poliester kumaşların florokarbon aplikasyonu sonrası daha yüksek yağ iticilik değeri verdiğini gösterdikleri çalışmalarıyla desteklenmektedir. Kumaşların belirli süreler boyunca suya daldırıldığı ve ağırlığındaki değişimlerin kaydedildiği ölçümler de, plazma uygulaması sonrası nano bitim işlemi görmüş kumaşların, tek başına nano bitim işlemi yapılmış olanlara göre daha düşük ağırlık değişimi değerleri verdiğini; plazma uygulamasının nano bitim işleminin yüzey hidrofobluğunu arttırmaya yönelik etkinliğini geliştirdiğini göstermiştir.

Günümüzde %80'ini KOBİ'lerin oluşturduğu tekstil sektörü, Avrupa ve ABD'nin iş gücünün önemli bir kısmını istihdam etmektedir. 1993-2003 döneminde, dünya ölçeğinde gerçekleşen ithalat-ihracat rakamlarının %20'sini Avrupa'nın, %24'ünü ABD'nin tekstil ticareti oluşturmuştur. AB üyelerinde, 120.000 civarında işletmede 2 milyon'dan fazla kişi tekstil – konfeksiyon

sahasında çalışmakta, birliğin genişleme süreci sonunda yaklaşık 5 milyon kişinin bu sayıya eklenmesi beklenmektedir. Asya'lı üreticiler, bilhassa tekstil kotalarının kaldırıldığı 2005 yılından itibaren Avrupa tekstil sanayisi üzerinde çok büyük bir baskı oluşturmuştur. Bu nedenle, Avrupa tekstil üretiminde yeni bir düzenleme; katma değeri yüksek, bilgiye dayalı üretim zorunlu görülmektedir (Hegemann ve Fischer 2004).

Nanoteknolojik üretim yaklaşımı, tekstilin her sahasında söz konusu ürünlerin eldesine imkan sağlarken, fonksiyonel tekstil yüzeylerinin üretiminde önemli bir potansiyel taşımaktadır. Avrupa'da spor giyim pazarının yıllık 20 Milyar Euro civarında olarak tahmin edildiği göz önüne alınırsa (D'Silva ve Anand 2001), spor giysilik ürünlerin fonksiyonel özelliklerinin nano bitim işlemleriyle yüksek düzeyde geliştirildiği üretim anlayışının ülkemiz tekstil sanayisi için önemli bir pazar aracı olacağı açıktır. Nano bitim işlemlerinden birisi olan sıvı iticilik işlemi, ülkemizde artan bir oranda uygulanmaktadır. Bu çalışma, söz konusu nano bitim işleminin etkinliğinin ve kumaş performansına etkisinin konvansiyonel uygulamalarla karşılaştırıldığı sonuçlarıyla bu alandaki araştırmalara temel oluşturacaktır. Çalışma sonuçlarına göre, nano sıvı iticilik bitim işleminin uygulanmasına yönelik olarak aşağıdaki önerilerde bulunulabilir:

- Nano bitim işleminde genel kullanımı olan iki adımda kurutma yerine tek adımda kurutma/kondanze işlemi (şok kondenzasyon) uygulanabilmektedir. Şok kondenzasyon, işlemin sıvı iticilik etkinliğinde gerilemeye sebep olmazken, işlem sonrası kumaşlardaki renk farkı değerinde iyileşmeye yol açmaktadır.
- Nano bitim floropolimerinin polikarboksilik asit ve hipofosfit katalizörü ile birlikte kullanımı, sıfır formaldehit istenen durumlar için mümkün görülmektedir.
- Nano bitim işleminde kullanılan kimyasal miktarının azaltılması, maliyet açısından bir zorunluluktur. Kumaşların aplikasyon öncesi, işletme ortamında açık en / kontinü plazma kabininde işlem görmesi, nano bitim işleminin etkinliğinin artırılması veya reçetelerdeki kimyasal miktarının azaltılması bakımından avantaj taşımaktadır.

- Plazma aplikasyonu ile sentetik kumaşların yüzeyinde oluşturulan fonksiyonel gruplar sayesinde, pamuklu kumaşlar için önerilen nano sıvı iticilik bitim işlemi sentetik kumaşlara uygulanabilir.
- Fulard aplikasyonu, nano bitim kimyasalların aglomerat oluşumunu engellemekte yetersiz görülmektedir. Nano bitim kimyasallarının aktarılmasında elektrospin düzeneğinin kullanımına yönelik laboratuvar düzeyinde denemeler, bu açıdan olumlu sonuçlar vermiştir. Yakın gelecekte elektrospin sisteminin işletmeler düzeyinde kullanımının başlaması beklenmektedir. Elektrospin sistemi, nano kimyasalların aplikasyonunda çok düşük oranda kimyasal tüketimine olanak sağlaması açısından da önemli bir avantaj taşımaktadır. Elektrospin sisteminde işlem görecekt pamuklu bir kumaşın iletkenliğinin artırılması (örneğin gümüş içeren emülsiyonların emdirilmesi yoluyla), çalışma kolaylığı sağlayacaktır.
- Nano bitim işleminin farklı etkinlik değerlerinde eldesi farklı aplikasyon teknikleriyle mümkün görülmektedir. Elektospin, mevcut haliyle yağ iticilik özelliğinin arandığı uygulamalarda kullanılabilir, su iticiliğın gerekli olduğu durumda su geçirmezlik bitim işlemi ile kombine çalışılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- ACATAY, K., E. ŞİMŞEK, M. AKEL, Y. MENCELOĞLU. 2003. Electrospinning of Low Surface Energy Quaternary Ammonium Salt Containing Polymers and Their Antibacterial Activity. NATO-Advance Study Institute (ASI) Nanoengineered Nanofibrous Materials. Antalya: 97-10 p.
- ADANUR S., B. AŞÇIOĞLU. 2005. Challenges and Opportunities in Nano Fiber Manufacturing and Applications. II. Uluslararası Teknik Tekstiller Kongresi, DEÜ, İstanbul: 29-31.
- ANONİM. 1991. AATCC Technical Manual. Vol.66. NC, USA. 387p.
- ANONİM.2002. Nanotech Report. 1(4): 8p.
- ANONİM.2004.Brookhaven 90Plus Nano Partikül Boyut Analiz Cihazı Kataloğu. Terralab Lab. Malz. San. İstanbul. 7p.
- ANONİM.2004.Contact Anglemeter-CAM 100 Catalogue. KSV Instruments. Finland. 2p.
- AYDINLI, A., A. DANA. 2005. Nanokristalden Geleceğe Bakmak. Bilim ve Teknoloji. Bilim ve Teknik, Yeni Ufuklara. (8): 22-23.
- BECERİR, B.2002. Bazı Renk Terimleri ve Açıklamaları. Tekstil Teknoloji. (1): 92-98.
- BERINGER, J., D. HOFER. 2004. Nanotechnology and It's Application. Melliand Textilberichte English. 85(9): E107.
- BUER, A., S.C. UGBOLUE, S.B. WARNER. 2001. Electrospinning and Properties of Some Nanofibers. Textile Research Journal. 71(4): 323-328.
- CASTELVETRO, V., G. FRANCINI, G. CIARDELLI, M. CECCATO. 2001. Evaluating Fluorinated Acrylic Latices as Textile Water and Oil Repellent Finishes. Textile Research Journal. 71(5): 399-406.
- CHOİ, H.M. 1992. Nonformaldehde Polymerization-Crosslinking Treatment of Cotton Fabrics for Improved Strength Retention. Textile Research Journal. 62 (10): 614-618.
- CORPAT, J.M., A. DESSAINT. 1997. Flourine-based Textile Finishes. Melliand Textilberichte English. 78(9): E135-E137.
- ÇIRACI, S. 2005. Metrenin Milyarda Birinde Bilim ve Teknoloji. Bilim ve Teknik, Yeni Ufuklara. (8): 6-10.

DAL, V. 2005. Giysilerin Değişen Fonksiyonları. II. Uluslararası Teknik Tekstiller Kongresi, DEÜ, İstanbul: 623-631.

DEMİR, M.M., I. YILGOR, E. YILGOR. B. ERMAN. 2002. Electrospinning of Polyurethane Fibers. Polymer. (43): 3303-3309.

DEMİR, M.M, M.A. GULGUN, Y.Z. MENCELOGLU, B. ERMAN, S. ABRAMCHUK, E. E. MAKHAEVA, A.R. KHOKKLOV, V.G. MATVEEVA, M.G. SULMAN. 2004. Palladium Nanoparticles by Electrospinning from Poly(acrylonitrile-co-acrylic acid)-PdCl₂ Solutions. Relations Between Preparation Conditions, Particle Size, and Catalytic Activity. Macromolecules (37): 1787-1792.

DEMİRCAN, K. 2004. Küçük Dünya. Focus. (4): 36-43.

D'SILVA, A.P., S.C. ANAND 2001. Responsive Garments for Sportwear. ITU Textile 2001 Congress, İstanbul. p.1-8.

FORREST, D.R. 1995. The Future Impact of Molecular Nanotechnology on Textile Technology and on the Textile Industry. Discover Expo '95. Industrial Fabric & Equipment Exposition, Charlotte, North Carolina, USA .

FITZGERALD, M. 2002. The Next Wave. Business 2.0. (7): 54-58.

GHALI, K., B.JONES, J.TRACY 1994. Experimental Techniques for Measuring Parameters Describing Wetting and Wicking in Fabrics. Textile Research Journal,64(2):106-111.

GIBSON, P., H.S. GIBSON, D. RIVIN. 2001.Transport Properties of Porous Membranes Based on Electrospun Nanofibers. Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Asp. (187-188): 469-481.

GÜLSEREN, O. 2005. Nano Haberler. Bilim ve Teknoloji. Bilim ve Teknik, Yeni Ufuklara. (8): 12-13.

GÜNEŞOĞLU, C., D. KUT, M.ORHAN. 2005. An Investigation on Nanotechnology in Textiles: A Comparison with Traditional Textile Finishing Applications. ArchTex, Cracow, Poland: 195-200.

HAGEWOOD, J. 2004. Production of Polymeric Nanofibres. International Fiber Journal. (2): 11-14.

HEGEMANN, D. 2005. Plasma Polymers and Related Materials. M. Mutlu (Editor in Chief). Hacettepe University Pres, p.191-200.

HEGEMANN, D., A. FISCHER. 2004. Plasma Functionalization of Textile Materials. International Textile Congress, Universitat Politecnica de Catalunya: 225-238.

HSIEH, Y.L., B. YU 1992. Liquid Wetting, Transport and Retention Properties of Fibrous Assemblies, Part I: Water Wetting Properties of Woven Fabrics and Their Constituent Single Fibers. *Textile Research Journal*, 62(11):677-685.

HSIEH Y.L. 1995. Liquid Transport in Fabric Structures. *Textile Research Journal*, 65(5):299-307.

HSIEH, Y.L., S.B. WARNER, H.S. GIBSON. 2003. Nano-Porous Ultra-High Surface Area Fibers. National Textile Center, C03-CD01.3 p.

JALILI, R., M. MORSHED, S.A., HOSSEINI. 2005. The Effect of Voltage on Electrospinning of PAN Nanofibres as Uniaxially Aligned Fibers. 8Th Asian Textile Conference, AmirKabir University of Technology, Tehran: 1p.

JANG, J., Y. JEONG. 2006. Nano Roughening of PET and PTT fabrics via Continuous UV/O₃ Irradiation. *Dyes and Pigments*. (69): 137-143.

JIANG, W.C., W.D. MENG, F.L. QING. 2005. A Novel Perfluoroalkyl-Containing Bisulfite Adduct of Polyisocyanate: Synthesis and Finishing of Cotton Fabrics. *Textile Research Journal*. 75 (3): 240-244.

JUHUE, D., C. GAYON, J.M. CORPAT, C. QUET, P. DELICHERE, N. CHARRET, L. DAVID, J.Y. CAVAILLE, P. PERRIAT. 2002. Washing Durability of Cotton Coated with a Fluorinated Resin: An AFM, XPS, and Low Frequency Mechanical Spectroscopy Study. *Textile Research Journal*. 72 (9): 832-843.

KAPLAN, S., A.OKUR. 2005. Kumaşların Geçirgenlik-İletkenlik Özelliklerinin Giysi termal konforu Üzerindeki Etkileri. *Tekstil Maraton*, Mart-Nisan:56-65.

KASWELL, E.R. 1953. *Textile Fibers, Yarns and Fabrics, A Comparative Survey of Their Behaviour with Special Reference to Wool*, Reinhold Publishing Corporation, Boston USA, 242-243 p.

KISSA, E.1996. Wetting and Wicking. *Textile Research Journal*,66(10):660-668.

KIM, Y.K., S. WARNER, A. LEWIS, M.POLK, K.JACOB. 2003. Nano-Composite Fibers. National Textile Center, M00-D08. 3 p.

KLATA, E., K. BABEL, I. KRUCINSKA. 2005. Preliminary Investigation into Carbon Nanofibres for Electrochemical Capacitors. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 13 (49): 32-34.

KO, F. 2003. Nanofiber Technology., NATO-Advance Study Institute (ASI) Nanoengineered Nanofibrous Materials. Antalya: 1-18 p.

- KWON, I.K., S. KIDOAKI, T. MATSUDA. 2004. Electrospun Nano-to Microfiber Fabrics Made of Biodegradable Copolyesters: Structural Characteristics, Mechanical Properties and Cell Adhesion Potential. *Biomaterials*. (26): 3929-3939.
- LAMMERMANN, D. 1991. Fluorocarbons in Textile Finishing-Properties and Applications. *Melliand Textilberichte English*. 72(11): E380-E382.
- LEE, H.J., S.H. JEONG. 2004. Bacteriostasis of Nanosized Colloidal Silver on Polyester Nonwovens. *Textile Research Journal*. 74 (5): 442-447.
- LUKAS, D., E. KOSAKOVA, S. TORRES. 2004. Relationship Between Surface Tension and Electric Field Intensity for Electrospinning. *International Textile Congress, Universitat Politecnica de Catalunya*: 124-134.
- MANI G., Q. FAN, S.C. UGBOLUE, I. M. EIFF. 2003. Effect of Nanoparticle Size and its Distribution on the Dyeability of Polypropylene. *AATCC*. 3(1): 22-26.
- MCGUINNESS, K. 1997. Fabrics and Nanotechnology. *The Futurist*. (4):12 1997
- MEOLI, D., T. MAY-PLUMLEE. 2002. Interactive Electronic Textile Development. *Journal of Textile and Apparel Technology and Management*. 2(2): 5-12.
- MIKOLAJCZYK, T., M. OLEJNIK. 2005. Rheological Properties of Spinning Solutions of a Modified Polyimidoamide Containing Ceramic Nanoparticles. *RHEOLOGICAL. Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 13 (49): 24-27.
- MIKOLAJCZYK, T., M. BOGUN. 2005. Effect of Ceramic Nanoparticles on the Rheological Properties of Spinning Solutions of Polyacrylonitrile in Dimethylformamide. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 13 (49): 28-31.
- MILITKY, J., J. VANICEK, J. KRYSTUFEK, V. HARTYCH. 1991. *Modified Polyester Fibers*. Elsevier Science Publishing, NY, USA. p.99.
- MUKHOPADHYAY, S.M., P. JOSHI, R.V. PULIKOLLU. 2005. Thin Films for Coating Nanomaterials. *Tsinghua Science and Technology*. 10 (6):709-717.
- ÖKTEM, T., N. SEVENTEKİN, 2004. Nano Lifler. *Tekstil ve Konfeksiyon*. (1):8-10.
- ÖZDOĞAN, E. 2003. Selüloz Esaslı Liflerin Katyonize Edilerek Boyama ve Baskı Özelliklerinin Geliştirilmesi. *Doktora Tezi (Yayınlanmamış)*. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. s.67-69.

PERSIN, Z., K.S. KLEINSCHEK, M.S. SMOLE, T. KREZE, V. RIBITSCH. 2004. Determining the Surface Free Energy of Cellulose Materilas with the Powder Contact Angle Method. *Textile Research Journal*, 74 (1): 55-62.

PICHAL, C., J. KOLLER, L. AUBRECHT, T. VATUNA, P. SPATENKA. 2005. *Plasma Polymers and Related Materials*. M. Mutlu (Editor in Chief). Hacettepe University Pres, p.201-207.

QI, H.,K. SUI, Z. MA, D. WANG. X. SUN. J. LU. 2002. Polymeric Fluorocarbon-Coated Polyester Substrates for Waterproof Breathable Fabrics. *Textile Research Journal*. 72 (2): 93-97.

QIAN, L., J.P. HINESTROZA. 2004. Application of Nanotechnology for High Performance Textiles. *Journal of Textile and Apparel Technology and Management*. 4(1): 1-6.

QIAN, L. 2004. Nanotecnology in Textiles : Recent Developments and Future Prospects. *AATCC*. 4(5): 14-16.

PATRA, K., S.B. WARNER, Y.K. KIM, R. BARKER, S. ADANUR. 2003. Nano Engineered Fire Resistant Composite Fibers. National Textile Center, M02-MD08. 3 p.

RAHEEL, M. 1989. Florlu Kimyasal Maddelerle İşlem Görmüş Tekstillerin Koruma Etkinliği, V. Uluslararası İzmir Tekstil Sempozyumu, Ege Üniversitesi, İzmir: T51-T60.

SATO, Y., T. WAKIDA, S. TOKINO, S. NUI, M. UEDA, H. MIZUSHIMA, S. TAKEKOSHI. 1994. Effect of Crosslinking Agents on Water Repellency of Cotton Fabrics Treated with Fuorocarbon Resin. *Textile Research Journal*. 64 (6): 316-320.

SAWATARI, C., Y. SEKIGUCHI, T. YAGI. 1998. Durable Water-Repellent Cotton Fabrics Prepared by Low-Degree Substitution of Long Chain Alkyl Groups. *Textile Research Journal*. 68 (7): 508-514.

SHAO, H., J.Y. SUN, W.D. MENG, F.L. QİNG. 2004. Water and Oil Repellency and Durable Press Finishes for Cotton Based on a Perfluoroalkyl-Containing Multi-Epoxy Compound and Citric Acid. *Textile Research Journal*. 74 (10): 851-855

SRICHARUSSIN, W., W. RYO-AREE, W. INTASEN, S. POUNGRAKSAKIRT. 2004. Effect of Boric Acid and BTCA on Tensile Strength Loss of Finished Cotton Fabrics. *Textile Research Journal*. 74(6): 475-480.

SUDARSHAN, T.S. 2003. New Horizons in Surface Engineering of Textiles. *Surface Engineering*. 19 (1): 1-3.

SUN, D., G.K. STYLIOU. 2004. Effect of Low Temperature Plasma Treatment on the Scouring and Dyeing of Natural Fabrics. *Textile Research Journal*. 74 (9): 751-756.

SUN, D., G.K. STYLIOU. 2005. Investigating the Plasma Modification of Natural Fiber Fabrics-The Effect on Fabric Surface and Mechanical Properties. *Textile Research Journal*. 75 (9): 639-644.

TOPRAKKAYA, D. 1999. Bitim İşlemleri. Yüksek Lisans Ders Notları. U.Ü. Fen Bil. Enst. Tekstil Müh. ABD. Bursa: 32-44.

VESA, P.2001. The Modification of Polyester Fabric Properties by Low-Temperature, Low-Pressure Plasma Treatment. *Tecnitex 2001 Autex Conference*. The University of Minho, Portugal:190-194.

WANG, D., Y. LIN, Y. ZHAO, L.GU. 2004. Polyacrylonitrile Fibers Modified by Nano-Antimony-Doped Tin Oxide Particles. *Textile Research Journal*. 74 (12): 1060-1065.

WARNER, S.B.1995. *Fiber Science*. Prentice Hall, NJ, USA. 231-233p.

WARNER, S.B., A. BUER, S.C. UGBOLUE, G.C. RUTLEDGE, M.Y. SHIN. 2001. A Fundamental Investigation of the Formation and Properties of Electrospun Fibers. *National Textile Center*, M98-D01. 9 p.

WIACEK, A., E. CHIBOWSKI. 1999. Stability of Oil:Water (Ethanol, Lysozyme or Lysine) Emulsions. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. (17) :175–190.

WIACEK, A., E. CHIBOWSKI, K. WILK. 2001. Investigation of Dialkyldimethylammonium Bromides as Stabilizers and / or Emulsifiers for O/W Emulsion. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. (193): 51–60.

WONG, K.K., X.M.TAO, C.W.M.YUEN, K.W.YEUNG. 2001. Wicking Properties of Linen Treated with Low Temperature Plasma. *Textile Research Journal*, 71(1):49-56.

XU, W., T. SHYR. 2000. Durable Press Finishing of Cotton Fabrics by Polycarboxylic Acids After Graft Copolymerization with Hydroxyethyl Methacrylate. *Textile Research Journal*. 70(1):8-10.

XU, W., T. SHYR. 2001. Applying a Nonformaldehyde Crosslinking Agent to Improve the Washing Durability of Fabric Water Repellency. *Textile Research Journal*. 71(9): 751-754.

YANG, C.Q., X. WANG. 1996. Formation of Cyclic Anhydride Intermediates and Esterification of Cotton Cellulose by Multifunctional Carboxylic Acids: Infrared Spectroscopy Study. *Textile Research Journal*. 66 (9): 593-603.

YANG, C.Q., L. XU, S. LI, Y. JIANG. 1998. Nonformaldehyde Durable Pres Finishing of Cotton Fabrics by Combining Citric Acid with Polymers of Maleic Acid. *Textile Research Journal*. 68(5): 457-464.

YUEN, C.W.M., Y. LI, S.K. KU, C.M. MAK, C.W. KAN. 2005. Experimental Study on Fabric Water Repellency Using Nanotechnology. *AATCC*. 5(8): 41-45.

<http://www.freepatentsonline.com/6855772.html>

<http://www.freepatentsonline.com/6872424.html>

<http://www.freepatentsonline.com/6472476.html>

<http://www.freepatentsonline.com/6607994.html>

<http://www.scifun.ed.ac.uk>

<http://www.sussex.ac.uk/Users/kroto/FullereneCentre/>

<http://www.luxresearchinc.com>

<http://vizyon2023.tubitak.gov.tr>

<http://vizyon2023.tubitak.gov.tr/stratejikteknoloji/nano.pdf>

<http://yunus.hacettepe.edu.tr/~emrecan/stm/nanoteknoloji.html>

[http:// www.empa.ch](http://www.empa.ch)

<http://textileinfo.com/en/tech/nano/index.html>

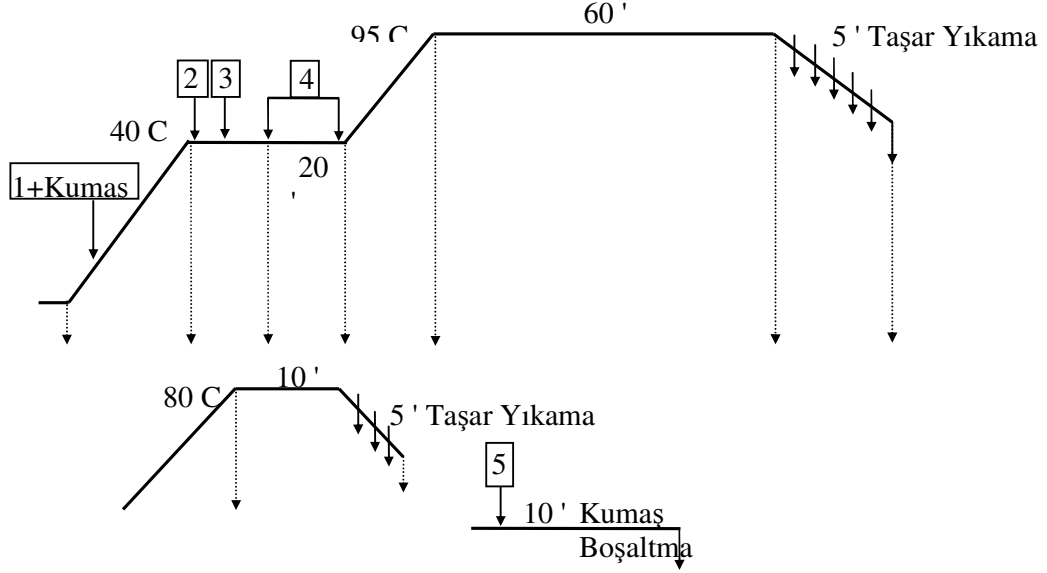
<http://www.materials.ox.ac.uk>

<http://www.nano-tex.com>

<http://www.brookhaven.co.uk/dynamic-light-scattering.html>

EK-1

I ve II kodlu pamuklu kumaşlara ön terbiye işlemleri, Yeşim Tekstil' de yaygın olarak kullanılan ağartma reçetesi seçilerek 1:10 çözelti oranı olacak şekilde çektirme yöntemine göre yapılmıştır. Ön terbiye banyosu, 95°C' ye kadar ısıtılıp bu sıcaklıkta 60 dakika kalınarak işlem tamamlanmıştır. Daha sonra kumaş, durulanmış ve santrifüjlenerek 150°C' de kurutulmuştur.



Şekil 1. I ve II kodlu kumaşlar için hidrojen peroksit ağartma prosesi

Çizelge 1. I ve II kodlu kumaşlar için hidrojen peroksit ağartmasında kullanılan kimyasallar

Kod	H ₂ O ₂ Ağartması	Oran
1	İyon tutucu	% 0,3
1	Islatıcı	% 1,0
1	H ₂ O ₂ stabilizatörü	% 1,5
2	Hidrojen peroksit (H ₂ O ₂)	% 6,0
3	Sıvı kostik	% 4,0
3	Asetik Asit	% 0,5
4	Optik beyazlatıcı (noniyonik stilben-triazin türevi)	% 0,2
5	pH düzenleyici	% 1,0

EK-2

I kodlu pamuklu kumaşa ait Yeşim Tekstil'de yapılan boyama işlemine ait reçete:

Levafix Gelb CA % 0.0015

Levafix Rot CA % 0.0021

Levafix Br. Blau EFFN %0.091

II kodlu pamuklu kumaşa ait Yeşim Tekstil'de yapılan boyama işlemine ait reçete:

Procion Yellow HEXL % 0.0714

Procion Deep Red HEXL % 4.305

Procion Blue HERD % 0,0978

TEŞEKKÜR

Lisansüstü çalışmalarım sırasında gösterdiği ilgi, destek ve emeği için danışmanım Doç.Dr. Dilek KUT'a teşekkür ederim.

Lisans eğitimimden bu yana bende büyük emekleri bulunan başta Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Halil Rifat ALPAY olmak üzere tüm bölüm hocalarıma teşekkür ederim.

Çalışmalarımda değerli katkıları ve yönlendirmeleri bulunan, laboratuvarlarında temas açısı ölçümlerini yapmamı sağlayan Dokuz Eylül Üniversitesi'nden Yrd. Doç. Dr. Aysun CİRELİ'ye teşekkür ederim.

Çalışmamda büyük desteğini gördüğüm Yeşim Tekstil Genel Md. Yrd. Sn. Mustafa DEMİRALAY'a, başta Ali TÜRKMEN ve Mustafa ÇÖLKESEN olmak üzere tüm Yeşim Tekstil çalışanlarına teşekkür ederim.

Deneyisel çalışmalarımda verdikleri destek dolayısıyla Adnan SAKA, Adnan GÜR ve tüm Rudolf-Duraner / Bursa çalışanlarına teşekkür ederim.

Analiz ve ölçümlerde yardımlarından dolayı, Terralab Laboratuvar Malzemeleri San. ve Tic. A.S.'den Orçun ÖZKAN'a, Brookhaven Ins.'dan Bruce WEINER'a, TUBITAK MAM ve BUTAL çalışanlarına teşekkür ederim.

Elektrospin denemelerinde değerli yardımlarından dolayı Sabancı Üniversitesi'nden Doç.Dr.Yusuf MENCELOĞLU, Eren ŞİMŞEK ve Kazım ACATAY'a teşekkür ederim.

Plazma düzeneğinde çalışmamı sağlayan Hacettepe Üniversitesi'nden Prof. Dr. Mehmet MUTLU ve Plazma Laboratuvarı çalışanlarına teşekkür ederim.

Destek ve yardımları için başta Mehmet ORHAN, Gülcan ÖZKAN, Mine AKGÜN olmak üzere tüm arkadaşlarıma, Dr. Nalan KAHRAMAN'a teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatım boyunca destek ve sabırları için aileme teşekkür ederim.

Tüm sıkıntılarımı kolaylaştıran, sevgili eşim Dr. Sinem GÜNEŞOĞLU'na teşekkür ederim.

ÖZGEÇMİŞ

1977 yılında Gaziantep'te doğdu. İlk ve Orta öğrenimini, Kahramanmaraş, Adana ve Gaziantep'te tamamladı. 1994 yılında Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü'nde lisans öğrenimine başladı. 1998 yılındaki mezuniyetinin ardından Gaziantep'te Tekerekoğlu Tekstil A.Ş.'de bir süre çalıştıktan sonra 1999 yılında Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitime ve Gaziantep Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak çalışmaya başladı. Kadrosunun Uludağ Üniversitesi'ne aktarılmasına takiben 2001 yılında yüksek lisansını tamamlayarak yüksek mühendis olmaya hak kazandı. 2001 yılında Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı'nda doktora öğrenimine başladı. Halen araştırma görevlisi olarak görevine devam etmektedir.