



**LAZER TEKNOLOJİSİNİN ÇORAP
ÖRME TEKNİĞİ İLE ÜRETİLMİŞ İÇ
GÖSTERMEYEN TAYTLARDA RENKLENDİRME VE
DESENLENDİRME OLANAKLARI ÜZERİNE
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**Sevda KÖKSAL DABAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Danışman: Prof. Rıza ATAV**

2021

T.C.
TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**LAZER TEKNOLOJİSİNİN ÇORAP ÖRME TEKNİĞİ İLE ÜRETİLMİŞ
İÇ GÖSTERMEYEN TAYTLARDA RENKLENDİRME VE
DESENLENDİRME OLANAKLARI ÜZERİNE ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

Sevda KÖKSAL DABAN

TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: Prof. Dr. Rıza ATAV

TEKİRDAĞ-2021

Her hakkı saklıdır.



Bu tez TÜBİTAK tarafından 1501 Sanayi Ar-Ge projeleri destekleme programının 3190032 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

LAZER TEKNOLOJİSİNİN ÇORAP ÖRME TEKNİĞİ İLE ÜRETİLMİŞ İÇ GÖSTERMEYEN TAYTLARDA RENKLENDİRME VE DESENLENDİRME OLANAKLARI ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Sevda KÖKSAL DABAN

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Rıza ATAV

Bu tez çalışması kapsamında çorap örme tekniğiyle üretilmiş iç göstermeyen taytlarda modaaya uygun desen ve tasarımların eldesi için lazer teknolojisinin kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla öncelikle pamuk ve poliakrilonitril ipliklerden üretilmiş örme kumaşlarda boyama öncesi veya boyama sonrası farklı çözünürlüklerde (10, 20 ve 30 dpi) ve piksel sürelerinde (80, 100 ve 120 µs) lazer ile işlemin elde edilen renk üzerine etkileri incelenmiştir. Ayrıca boyalı pamuk ve akrilik kumaşlara lazerle işlem yapılarak elde edilebilecek renk efektleri saptanmıştır. Kumaşlara renk ölçümleri, haslık testleri (yıkama, sürtme, ter ve ışık), tarayıcı elektron mikroskopu analizi, FTIR analizi, sarılık indeksi tayini ve patlatma mukavemeti testleri uygulanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda lazer ile işlemin pamuklu kumaşlarda boyama öncesi yapılması durumunda daha açık renkte boyamaya yol açtığı, boyama sonrası yapılması durumunda ise rengi aşındırarak daha açık hâle getirdiği görülmüştür. Akrilik kumaşlarda ise boyama öncesi lazer işlemi uygulanmasının bazik boya alımını bir miktar azaltmakla birlikte önemli bir etkiye yol açmadığı, boyama sonrası lazer uygulanması durumunda ise renkte bir miktar aşınmaya yol açarak sınırlı da olsa desen eldesini sağladığı saptanmıştır.

Tez kapsamında numune ölçekli üretim denemelerinde ön yüzü %100 pamuk iplik ve arka yüzü siyah boyalı poliester/elastan iplikten tayt numuneleri üretilmiş ve seçilen bir desene göre taytın bazı bölgelerine lazerle iki farklı koşulda (20 dpi ve 80 µs ile 20 dpi ve 120 µs) desenlendirme yapılmıştır. Daha sonra bu taytlar mavimsi rengine boyandığında aynı rengin farklı tonlarını içeren desen eldesi gerçekleşmiştir. Benzer şekilde reaktif veya indigo boya ile boyanmış taytların çeşitli bölgelerine desene göre lazerle farklı koşulda işlem uygulandığında yine desen eldesinin mümkün olduğu görülmüştür. Ayrıca ön yüzü indigo boyalı pamuk/akrilik iplik ve arka yüzü siyah boyalı poliester/elastan iplikten oluşan taytlarda bölgesel lazer uygulanması sonucu desen elde edilebileceği saptanmıştır.

Tez kapsamında elde edilen bulguların ışığı altında, çevredostu temiz lazer uygulamalarının çoraplarda desenlendirme ve renk efekti eldesinde başarıyla kullanılabilmesi ve bu bulguların katma değeri yüksek moda-marka ürünlerin üretilmesinin büyük önem taşıdığı günümüz koşullarında oldukça önemli olduğu söylenebilir.

Anahtar kelimeler: Lazer, pamuk, poliakrilonitril, reaktif boya, bazik boya, haslık, çevredostu

ABSTRACT

MSc.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF LASER TECHNOLOGY ON THE COLORING
AND PATTERNING POSSIBILITIES IN NON-SEE-THROUGH TIGHTS PRODUCED
BY SOCK KNITTING TECHNIQUE

Sevda KOKSAL DABAN

Tekirdağ Namık Kemal University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Textile Engineering

Supervisor: Prof.Dr. Rıza ATAV

In this thesis, it was investigated the usability of laser technology for obtaining fashionable patterns and designs in non-see-through tights produced by sock knitting technique. For this purpose, the effects of laser treatment on the color obtained at different resolutions (10, 20 and 30 dpi) and pixel times (80, 100 and 120 μ s) were investigated before or after dyeing on knitted fabrics made of cotton and polyacrylonitrile yarns. In addition, the color effects that can be obtained by laser treatment on dyed cotton and acrylic fabrics were determined. Color measurements, fastness tests (washing, rubbing, perspiration and light), scanning electron microscopy analysis, FTIR analysis, yellowness index measurement and bursting strength tests were applied to the fabrics. As a result of the studies, it was observed that the the laser treatment led to a lighter color in dyeings if it is applied prior to dyeing on cotton fabrics, and if it is applied after dyeing, it abrades the dye and makes the color lighter. In acrylic fabrics, it was determined that the application of laser treatment prior to dyeing slightly reduced the basic dye uptake, but did not cause a significant effect. In the case of laser application after dyeing, it was determined that it caused some degradation in the color and provided a limited pattern.

Within the scope of the thesis, tights samples were produced from 100% cotton yarn on the front side and black-dyed polyester/elastane yarn on the back side, and laser patterning on some parts of the tights was carried out in two different conditions (20 dpi and 80 μ s; 20 dpi and 120 μ s) according to a selected pattern. When these tights were dyed with blue reactive dye, a pattern containing different shades of the same color was obtained. Similarly, it was seen that it was possible to obtain a pattern when various parts of the tights dyed with reactive or indigo dye were treated with laser under different conditions according to the pattern. In addition, it was determined that a pattern could be obtained by applying regional laser on tights consisting of indigo dyed cotton/acrylic yarn on the front and polyester/elastane yarn on the back.

In the light of the findings obtained within the scope of the thesis, it can be said that environmentally friendly clean laser applications can be successfully used to obtain patterning and color effect in socks, and these findings are very important in today's conditions where it is of great importance to produce fashion-brand products with high added value.

Key words: Laser, cotton, polyacrylonitrile, reactive dye, basic dye, fastness, ecofriendly

2021, 88 pages

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGE DİZİNİ.....	v
ŞEKİL DİZİNİ.....	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	xi
TEŞEKKÜR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	4
2.1 Lazer Teknolojisi ve Çalışma Prensipleri	4
2.2 Lazer Teknolojisinin Tarihçesi ve Lazer Tipleri	4
2.3 Lazer Teknolojisinin Tekstil Boyamacılığı Alanında Kullanımı	5
2.3.1 Lazer Teknolojisinin Selüloz Liflerinin Boyanmasında Kullanımına İlişkin Önceki Çalışmalar.....	8
2.3.2 Lazer Teknolojisinin Protein Liflerinin Boyanmasında Kullanımına İlişkin Önceki Çalışmalar.....	10
2.3.3 Lazer Teknolojisinin Poliamid Liflerinin Boyanmasında Kullanımına İlişkin Önceki Çalışmalar.....	10
2.3.4 Lazer Teknolojisinin Poliester Liflerinin Boyanmasında Kullanımına İlişkin Önceki Çalışmalar.....	11
2.3.5 Lazer Teknolojisinin Diğer Sentetik Liflerin Boyanmasında Kullanımına İlişkin Önceki Çalışmalar	14
3. MATERYAL VE METOD	15
3.1 Lazer ile Kimyasal Modifikasyonun Pamuk Liflerinin Boyanabilirliği Üzerine Etkisinin İncelenmesi	16
3.1.1. Pamuğun Lazer ile Modifikasyonuna İlişkin Laboratuvar Ölçekli Denemeler	16
3.1.2. Pamuğun Lazer ile Modifikasyonuna İlişkin Numune Ölçekli Üretim Denemeleri	19
3.2. Lazer ile Kimyasal Modifikasyonun Poliakrilonitril Liflerinin Boyanabilirliği Üzerine Etkisinin İncelenmesi.....	20
3.2.1. Boyama öncesi lazer ile kimyasal modifikasyonun poliakrilonitril liflerinin boyanabilirliği üzerine etkisinin incelenmesi.....	20
3.2.2. Boyama sonrası lazer ile bazik boyalı poliakrilonitril çoraplarda desenlendirme olanaklarının incelenmesi.....	21
3.3. Boyama Sonrası Lazer ile Kimyasal Modifikasyon Yoluyla Ön Yüz Boyalı Pamuk/Poliakrilonitril Karışımı İplik / Arka Yüz Siyah Boyalı PES/Elastan İplik Olacak Şekilde Üretilmiş Taytlarda Desen Eldesi	22

4. BULGULAR VE TARTIŞMA	25
4.1. Lazer ile Kimyasal Modifikasyonun Pamuk Liflerinin Boyanabilirliği Üzerine Etkisinin İncelenmesi	25
4.1.1. Pamuğun Lazer ile Modifikasyonuna İlişkin Laboratuvar Ölçekli Denemeler	25
4.1.2. Pamuğun Lazer ile Modifikasyonuna İlişkin Numune Ölçekli Üretim Denemeler.	43
4.1.2.1. Boyama öncesi lazer ile kimyasal modifikasyon yoluyla ön yüz %100 pamuk iplik / arka yüz siyah boyalı PES/Elastan iplik olacak şekilde üretilmiş taytlarda desen eldesine ilişkin sonuçlar	43
4.2. Lazer ile Kimyasal Modifikasyonun Poliakrilonitril Liflerinin Boyanabilirliği Üzerine Etkisinin İncelenmesi.....	52
4.2.1. Boyama öncesi lazer ile kimyasal modifikasyonun poliakrilonitril liflerinin boyanabilirliği üzerine etkisinin incelenmesine ilişkin sonuçlar	52
4.2.2. Boyama sonrası lazer ile reaktif boyalı poliakrilonitril çoraplarda desenlendirme olanaklarının incelenmesine ilişkin sonuçlar	59
4.3 Boyama Sonrası Lazer ile Kimyasal Modifikasyon Yoluyla Ön Yüz Boyalı Pamuk/Poliakrilonitril Karışımı İplik / Arka Yüz Siyah Boyalı PES/Elastan İplik Olacak Şekilde Üretilmiş Taytlarda Desen Eldesine İlişkin Sonuçlar	63
5. GENEL SONUÇLAR.....	69
KAYNAKLAR.....	71
ÖZGEÇMİŞ	76

ÇİZELGE DİZİNİ

Çizelge 2.1. Farklı lif türlerine lazer işlemi uygulanarak boyama özelliklerinin geliştirilmesine yönelik son 20 yılda gerçekleştirilen yayın sayılarının yıllara göre değişimi	7
Çizelge 3.1. Lazer ile ön işlem denemelerinde kullanılan faktörler ve seviyeleri.....	17
Çizelge 3.2. Denemelerde kullanılan reaktif boyarmaddelerin özellikleri (MCT: Monoklortriazin, VS: Vinilsülfon)	17
Çizelge 4.1. Lazerle farklı çözünürlük ve piksel sürelerinde işlem gören pamuklu çorap kumaşlarının patlama mukavemeti (kPa) ve mukavemet kaybı (%) değerleri.....	25
Çizelge 4.2. Lazerle farklı çözünürlük ve piksel sürelerinde işlem gören pamuklu çorapların sarılık indeksi değerleri	26
Çizelge 4.3. İşlemsiz ve lazerle işlem görmüş pamuklu çorap numunelerinin SEM fotoğrafları (X2000).....	27
Çizelge 4.4. Çeşitli koşullarda lazerle ön işlem görmüş ve işlemsiz pamuklu kumaş numunelerinin Remazol Yellow RR boyası ile boyanması sonucu elde edilen renk verimi değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları	31
Çizelge 4.5. Çeşitli koşullarda lazerle ön işlem görmüş ve işlemsiz pamuklu kumaş numunelerinin Remazol Red RR boyası ile boyanması sonucu elde edilen renk verimi değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları	31
Çizelge 4.6. Çeşitli koşullarda lazerle ön işlem görmüş ve işlemsiz pamuklu kumaş numunelerinin Remazol Blue RR boyası ile boyanması sonucu elde edilen renk verimi değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları	31
Çizelge 4.7. Çeşitli koşullarda lazerle ön işlem görmüş ve işlemsiz pamuklu kumaş numunelerinin Remazol Yellow RR ile boyanması sonucu elde edilen renk verimi değerlerine ilişkin Tukey (%95 güven aralığı) test sonuçları (Çözünürlük(dpi) = 10, PikselSüresi(μ s) = 80)	32
Çizelge 4.8. Çeşitli koşullarda lazerle ön işlem görmüş ve işlemsiz pamuklu kumaş numunelerinin Remazol Red RR ile boyanması sonucu elde edilen renk verimi değerlerine ilişkin Tukey (%95 güven aralığı) test sonuçları (Çözünürlük (dpi) = 10, PikselSüresi (μ s) = 80).....	32
Çizelge 4.9. Çeşitli koşullarda lazerle ön işlem görmüş ve işlemsiz pamuklu kumaş numunelerinin Remazol Blue RR ile boyanması sonucu elde edilen renk verimi değerlerine ilişkin Tukey (%95 güven aralığı) test sonuçları (Çözünürlük (dpi) = 10, Piksel Süresi (μ s) = 80).....	32
Çizelge 4.10. İşlemsiz ve boyama öncesi lazerle işlem görmüş pamuklu kumaş numunelerinin fotoğrafları.....	33
Çizelge 4.11. Çeşitli koşullarda lazerle ön işlem görmüş ve işlemsiz pamuklu kumaş numunelerinin Remazol Yellow RR boyarmaddesi ile boyanması sonucu elde edilen CIE L*a*b* değerleri.....	34
Çizelge 4.12. Çeşitli koşullarda lazerle ön işlem görmüş ve işlemsiz pamuklu kumaş numunelerinin Remazol Red RR boyarmaddesi ile boyanması sonucu elde edilen CIE L*a*b* değerleri.....	34

Çizelge 4.13. Çeşitli koşullarda lazerle ön işlem görmüş ve işlemsiz pamuklu kumaş numunelerinin Remazol Blue RR boyarmaddesi ile boyanması sonucu elde edilen CIE L*a*b* değerleri.....	35
Çizelge 4.14. Çeşitli koşullarda lazerle ön işlem görmüş ve işlemsiz pamuklu kumaş numunelerinin reaktif boyarmaddeler ile boyanması sonucu elde edilen yıkama, sürtme ve ışık haslığı değerleri	36
Çizelge 4.15. Çeşitli koşullarda lazerle ön işlem görmüş ve işlemsiz pamuklu kumaş numunelerinin reaktif boyarmaddeler ile boyanması sonucu elde edilen asidik ve alkali ter haslığı değerleri	36
Çizelge 4.16. Remazol Yellow RR boyarmaddesi ile boyama sonrası çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz pamuklu kumaş numunelerinden elde edilen renk verimi değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları	38
Çizelge 4.17. Remazol Red RR boyarmaddesi ile boyama çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz pamuklu kumaş numunelerinden elde edilen renk verimi değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları	39
Çizelge 4.18. Remazol Blue RR boyarmaddesi ile boyama sonrası çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz pamuklu kumaş numunelerinden elde edilen renk verimi değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları	39
Çizelge 4.19. Remazol Yellow RR ile boyama sonrası çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz pamuklu kumaş numunelerinin renk verimi değerlerine ilişkin Tukey (%95 güven aralığı) test sonuçları (Çözünürlük (dpi) = 10, Piksel Süresi (μs) = 80)	40
Çizelge 4.20. Remazol Red RR ile boyama sonrası çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz pamuklu kumaş numunelerinin renk verimi değerlerine ilişkin Tukey (%95 güven aralığı) test sonuçları (Çözünürlük (dpi) = 10, Piksel Süresi (μs) = 80)	40
Çizelge 4.21. Remazol Blue RR ile boyama sonrası çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz pamuklu kumaş numunelerinin renk verimi değerlerine ilişkin Tukey (%95 güven aralığı) test sonuçları (Çözünürlük (dpi) = 10, Piksel Süresi (μs) = 80)	40
Çizelge 4.22. İşlemsiz ve boyama sonrası lazerle işlem görmüş pamuklu kumaş numunelerinin fotoğrafları.....	41
Çizelge 4.23. Reaktif boyarmaddeler ile boyama sonrası çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz pamuklu kumaş numunelerinin yıkama ve sürtme haslığı değerleri	42
Çizelge 4.24. Reaktif boyarmaddeler ile boyama sonrası çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz pamuklu kumaş numunelerinin asidik ve alkali ter haslığı değerleri	42
Çizelge 4.25. Lazer ile desenlendirilip ardından reaktif boya ile boyanmış önyüzü %100 pamuk iplik ve arka yüzü siyah boyalı polyester / elastin iplikten üretilmiş tayt numunesinin yıkama ve sürtme haslığı değerleri.....	44
Çizelge 4.26. Lazer ile desenlendirilip ardından reaktif boya ile boyanmış önyüzü %100 pamuk iplik ve arka yüzü siyah boyalı polyester / elastin iplikten üretilmiş tayt numunesinin asidik ve alkali ter haslığı değerleri	44
Çizelge 4.27. Reaktif boya ile boyanıp ardından lazer ile desenlendirilmiş ön yüzü %100 pamuk iplik ve arka yüzü siyah boyalı poliester/elastan iplikten üretilmiş tayt numunesinin yıkama ve sürtme haslığı değerleri	45

Çizelge 4.28. Reaktif boya ile boyanıp ardından lazer ile desenlendirilmiş ön yüzü %100 pamuk iplik ve arka yüzü siyah boyalı poliester/elastan iplikten üretilmiş tayt numunesinin asidik ve alkali ter haslığı değerleri	46
Çizelge 4.29. Ön yüzü indigo boyalı pamuk ipliğinden yapılmış çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz tayt kumaşı numunelerinden elde edilen renk verimi değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları	47
Çizelge 4.30. Ön yüzü indigo boyalı pamuk ipliğinden yapılmış çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz tayt kumaşı numunelerinin renk verimi değerlerine ilişkin Tukey (%95 güven aralığı) test sonuçları (Çözünürlük (dpi) = 10, PikselSüresi (μ s) = 80)	48
Çizelge 4.31. Çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz ön yüzü indigo boyalı pamuk iplik ve arka yüzü siyah boyalı poliester/elastandan yapılmış tayt kumaşı numuneleri.....	49
Çizelge 4.32. Çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz ön yüzü indigo boyalı pamuk iplik ve arka yüzü siyah boyalı poliester/elastandan yapılmış tayt kumaşı numunelerinin CIE L*a*b* değerleri.....	49
Çizelge 4.33. Çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz ön yüzü indigo boyalı pamuk iplik ve arka yüzü siyah boyalı poliester/elastandan yapılmış tayt kumaşı numunelerinin yıkama ve sürtme haslığı değerleri.....	50
Çizelge 4.34. Çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz ön yüzü indigo boyalı pamuk iplik ve arka yüzü siyah boyalı poliester/elastandan yapılmış tayt kumaşı numunelerinin asidik ve alkali ter haslığı değerleri	50
Çizelge 4.35. Lazerle farklı çözünürlük ve piksel sürelerinde işlem gören akrilik çorap kumaşlarının sarılık indeksi değerleri.....	52
Çizelge 4.36. İşlemsiz ve lazerle işlem görmüş akrilik çorap kumaşı numunelerinin SEM fotoğrafları.....	54
Çizelge 4.37. İşlemsiz ve lazerle işlem görmüş akrilik çorap kumaşı numunelerinin SEM-EDX sonuçları (Wt: Ağırlıkça, At: Atomik)	54
Çizelge 4.38. Çeşitli koşullarda lazerle ön işlem görmüş ve işlemsiz akrilik çorap kumaşı numunelerinin boyanması sonucu elde edilen renk verimi değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları	58
Çizelge 4.39. Çeşitli koşullarda lazerle ön işlem görmüş ve işlemsiz akrilik çorap kumaşı numunelerinin bazik boyarmadde ile boyanması sonucu elde edilen yıkama ve sürtme haslığı değerleri.....	58
Çizelge 4.40. Çeşitli koşullarda lazerle ön işlem görmüş ve işlemsiz akrilik çorap kumaşı numunelerinin bazik boyarmadde ile boyanması sonucu elde edilen asidik ve alkali ter haslığı değerleri.....	59
Çizelge 4.41. AstrazonRed FBL boyarmaddesi ile boyama sonrası çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz akrilik çorap kumaşı numunelerinden elde edilen renk verimi değerlerine ait varyans analizi sonuçları	60
Çizelge 4.42. Boyama sonrası çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz akrilik kumaş numunelerinin renk verimi değerlerine ilişkin Tukey (%95 güven aralığı) test sonuçları	61
Çizelge 4.43. İşlemsiz ve boyama sonrası lazerle işlem görmüş akrilik çorap kumaşı numunelerinin fotoğrafları.....	62

Çizelge 4.44. Bazik boyayleboyama sonrası çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz akrilik çorap kumaşı numunelerinin yıkama ve sürtme haslığı değerleri.....	62
Çizelge 4.45. Bazik boya ile boyama sonrası çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz akrilik çorap kumaşı numunelerinin asidik ve alkali ter haslığı değerleri.....	62
Çizelge 4.46. Çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz ön yüzü indigo boyalı pamuk/poliakrilonitril iplik ve arka yüzü siyah boyalı poliester/elastan iplikten oluşan çorap kumaşı numunelerinden elde edilen renk verimi değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları	64
Çizelge 4.47. Çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz ön yüzü indigo boyalı pamuk/poliakrilonitril iplik ve arka yüzü siyah boyalı poliester/elastan iplikten oluşan çorap kumaşı numunelerinden elde edilen renk verimi değerlerine ilişkin Tukey (%95 güven aralığı) test sonuçları (Çözünürlük (dpi) = 10, PikselSüresi (μ s) = 80).....	64
Çizelge 4.48. Ön yüzü indigo boyalı pamuk/akrilik iplik ile arka yüzü siyah boyalı poliester/elastan iplikten oluşan tayt kumaşlarının 10 dpi 80 μ s ve 20 dpi 120 μ s lazer işlemine tabi tutulmuş hâllerinin fotoğrafları.....	65
Çizelge 4.49. Çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz ön yüzü indigo boyalı pamuk/poliakrilonitril iplik ve arka yüzü siyah boyalı poliester/elastan iplikten oluşan çorap kumaşı numunelerinden elde edilen CIE L*a*b* değerleri	66
Çizelge 4.50. Çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz ön yüzü indigo boyalı pamuk/poliakrilonitril iplik ve arka yüzü siyah boyalı poliester/elastan iplikten oluşan çorap kumaşı numunelerinin yıkama ve sürtme haslığı değerleri	67
Çizelge 4.51. Çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz ön yüzü indigo boyalı pamuk/poliakrilonitril iplik ve arka yüzü siyah boyalı poliester/elastan iplikten oluşan çorap kumaşı numunelerinin asidik ve alkali ter haslığı değerleri	67

ŞEKİL DİZİNİ

Şekil 3.1: Denemelerde kullanılan reaktif boyama grafiği.....	18
Şekil 3.2: Denemelerde kullanılan bazik boyama grafiği.....	21
Şekil 4.1. İşlemsiz ve lazer ile işlem görmüş pamuk numunelerinin ATR/FT-IR spektrumları	28
Şekil 4.2. Çeşitli koşullarda lazerle ön işlem görmüş ve işlemsiz pamuklu çorap kumaşı numunelerinin Remazol Yellow RR boyarmaddesi ile boyanması sonucu elde edilen renk verimi değerlerine ilişkin ikili etkileşimler	29
Şekil 4.3. Çeşitli koşullarda lazerle ön işlem görmüş ve işlemsiz pamuklu çorap kumaşı numunelerinin Remazol Red RR boyarmaddesi ile boyanması sonucu elde edilen renk verimi değerlerine ilişkin ikili etkileşimler.....	29
Şekil 4.4. Çeşitli koşullarda lazerle ön işlem görmüş ve işlemsiz pamuklu çorap kumaşı numunelerinin Remazol Blue RR boyarmaddesi ile boyanması sonucu elde edilen renk verimi değerlerine ilişkin ikili etkileşimler.....	29
Şekil 4.5. Remazol Yellow RR boyarmaddesi ile boyama sonrası çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz pamuklu kumaş numunelerinden elde edilen renk verimi değerlerine ilişkin ikili etkileşimler.....	37
Şekil 4.6. Remazol Red RR boyarmaddesi ile boyama sonrası çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz pamuklu kumaş numunelerinden elde edilen renk verimi değerlerine ilişkin ikili etkileşimler.....	37
Şekil 4.7. Remazol Blue RR boyarmaddesi ile boyama sonrası çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz pamuklu kumaş numunelerinden elde edilen renk verimi değerlerine ilişkin ikili etkileşimler.....	38
Şekil 4.8. Lazer ile desenlendirilip ardından reaktif boya ile boyanmış önyüzü %100 pamuk iplik ve arka yüzü siyah boyalı polyester / elastin iplikten üretilmiş tayt numuneleri	43
Şekil 4.9. Reaktif boya ile boyanıp ardından lazer ile desenlendirilmiş ön yüzü %100 pamuk iplik ve arka yüzü siyah boyalı poliester/elastan iplikten üretilmiş tayt numunesi	45
Şekil 4.10. Çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz ön yüzü indigo boyalı %100 pamuk iplik ve arka yüzü siyah boyalı poliester/elastan iplikten üretilmiş tayt numunelerinden elde edilen renk verimi değerlerine ilişkin ikili etkileşimler.....	46
Şekil 4.11. Lazer ile desenlendirilmiş ön yüzü indigo boyalı pamuk ipliği ve arka yüzü siyah boyalı poliester/elastan iplikten oluşan tayt numunesi.....	51
Şekil 4.12. Nitril gruplarının asitamid veya karboksil gruplarına dönüşmesi (Seventekin, 2004)	53
Şekil 4.13. Nitril gruplarının konjuge çift bağ içeren halkalara dönüşmesi (Seventekin, 2004)	53
Şekil 4.14. Lazer ile işlem sırasında oluşan yüksek ısının etkisiyle akrilik liflerinde meydana gelen değişim(Watt ve Johnson, 1975).....	55
Şekil 4.15. Lazer ile işlem sırasında oluşan yüksek ısının ve hava oksijeninin kombine etkisiyle akrilik liflerinde meydana gelen değişim(Watt ve Johnson, 1975).....	55

Şekil 4.16. İşlemsiz ve lazer ile işlem görmüş akrilik numunelerinin ATR/FT-IR spektrumları	56
Şekil 4.17. Çeşitli koşullarda lazerle ön işlem görmüş ve işlemsiz akrilik çorap kumaşı numunelerinin AstrazonRed FBL boyarmaddesi ile boyanması sonucu elde edilen renk verimi değerleri.....	57
Şekil 4.18. Astrazon Red FBL boyarmaddesi ile boyama sonrası çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz akrilik çorap kumaşı numunelerinden elde edilen renk verimi değerleri .	59
Şekil 4.19. Çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz ön yüzü indigo boyalı pamuk/poliakrilonitril iplik ve arka yüzü siyah boyalı poliester/elastan iplikten oluşan çorap kumaşı numunelerinden elde edilen renk verimi değerlerine ilişkin ikili etkileşimler	63
Şekil 4.20. Ön yüzü indigo boyalı pamuk/poliakrilonitril ipliği ve arka yüzü siyah boyalı poliester/elastan iplikten oluşan taytlarda lazer ile desenlendirme	68



SİMGELER VE KISALTMALAR

SEM	: Tarayıcı Elektron Mikroskobu
FTIR	: Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
dpi	: Inch başına düşen nokta sayısı
μ s	: Mikrosaniye
CO ₂	: Karbondioksit
kPa	: Kilo paskal
WO	: Yün
PES	: Poliester
PAC	: Poliakrilonitril
PA	: Poliamid
CO	: Pamuk
CA	: Selüloz Asetat

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın başlangıcından itibaren tüm aşamalarında her konuda destek olan tez danışmanım Prof.Dr. Rıza ATAV'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışma denemelerimde her türlü fiziksel imkânı sağlayan ve destek olan başta Mehmet KARACALI, Erdoğan ÇETİN ve Belgin KOÇ olmak üzere PENTİ Çorap San. ve Tic. A.Ş. yetkililerine teşekkür ederim.

Yoğun deneysel laboratuvar çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen Uğur ERGÜNAY ve Bürhan BUĞDAYCI'ya, altyapı imkânlarını kullanmama izin veren Gülle Tekstil San. ve Tic. A.Ş, Denge Kimya ve Tekstil San. Tic. A.Ş., Era Denim Konfeksiyon Sanayi Tic. A.Ş. ve Dystar Kimya San.ve Tic. Ltd. Şti. yetkililerine ve ayrıca 1501 TUBİTAK Sanayi Ar-Ge Projeleri Destekleme Programı kapsamında 3190032 kodlu proje ile destek sağlayan TUBİTAK'a teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışma döneminde maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen değerli aileme teşekkür ederim.

Haziran, 2021

Sevda KÖKSAL DABAN
Deri Mühendisi & Tekstil Mühendisi

1. GİRİŞ

Lazer, fotonların uyarılmış emisyonuna dayanan bir optik amplifikasyon (yükseltme) işlemi yoluyla ışık (elektromanyetik radyasyon) yayan bir cihazdır. “Lazer” terimi, “Uyarılmış Radyasyon Emisyonuyla Işığın Yükseltilmesi (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)” tanımının kısaltmasından gelmektedir (Atav, 2013).

Lazerler sağlık sektöründen, coğrafik bilgi sistemlerine, metal endüstrisinden mobilya endüstrisine, görsel sanatlardan tekstile, birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlar; lazer ile mesafe bulma, bilgi işleme (DVD’ler ve Blu-ray), barkod okuyucu, lazer cerrahisi, holografik görüntüleme, lazer spektroskopisi ve lazer malzeme işleme (kesme, gravür, delme, işaretleme ve yüzey modifikasyonu) olarak sıralanabilir. Buradan da anlaşılacağı üzere artık lazer teknolojisi hayatımızın her alanına etki etmiş durumdadır.

Tekstil endüstrisi her geçen gün büyümekte, artan nüfus nedeniyle hem sayısal olarak daha fazla tekstil ürününe ihtiyaç duyulmakta hem de gelişen teknoloji nedeniyle tekstil ürününden beklenen özellikler de değişmektedir. Bundan dolayı lazer teknolojisinin tekstil endüstrisinde de kullanımı şaşırtıcı değildir ve her geçen gün yaygınlaşmaktadır.

Nayak ve Padhye (2016) lazerin tekstilde kullanım alanlarını aşağıdaki gibi sınıflandırmıştır;

- Kumaş hata tespiti
- Lazer kesim
- Dikiş büzülmesinin objektif değerlendirilmesi
- Müşteri eksenli üretim, kişiselleştirilmiş tekstil ürünleri, milimetrik vücut ölçü taraması
- Denim eskitme, soldurma
- Lazer aşındırma, görsel baskı, resim veya şeklin kumaş, deri vb. tekstile uygulanması
- Termoplastik malzemelerin ısıyla birbirine tutturulması yoluyla kaynaklı giysi üretimi
- Barkod tarama
- Lazerle işaretleme

- Diğer çeşitli kullanım alanları (Son üründe herhangi bir iğne parçası vb. metal madde bulunup bulunmadığının kontrolü, herhangi bir yüzey katmanına istenilen bir desenin işlenmesi (yüzey süsleme) vb.)

Lazerler tekstil endüstrisinde görüldüğü üzere çok farklı amaçlar için kullanılmaktadır. Lazer teknolojisinin tekstilde kullanımı tekstil endüstrisinde bazı avantajlar yaratmaktadır. Örneğin, denim alanında çok yoğun toksik kirleticiler kullanılırken lazer ile bu toksik etkiler azaltılabilmektedir. Bilindiği üzere tekstil üretiminde iş etüdü ve planlama gibi çalışmalar ile hata payını azaltma, minimum sürede en yüksek verimi sağlama gibi konular üzerine yoğun emek harcanmaktadır. Üretimde anlık gerçekleşen hatalar üretimin durmasına, ciddi zaman ve maliyet kayıplarına neden olabilmektedir. Lazer teknolojisi sayesinde üretimde hata payı, sarf miktarları, üretim maliyetleri azaltılabilir. Günümüzde tasarımlar ve modeller başka firmalar tarafından taklit edilebilmektedir. Bunun için faydalı model ve patent gibi üreticiyi koruma altına alan uygulamalar olsa da tam olarak bu durumun önüne geçilememektedir. Lazer teknolojisi sayesinde oluşturulan özgün tasarımlar ürünlerin taklidini oldukça zor hâle getirmektedir. Günümüz teknoloji çağı olduğundan, teknolojinin avantajlarını kullanan sektörler daha da kazançlı hâle gelmektedirler. Lazerler ile 3 boyutlu grafikler, resimler ve hologramlar tekstil ürünlerine uygulanabilir hâle gelmiş ve dijitalleşmeye geçilmiştir.

Görüldüğü üzere lazer teknolojisinin tekstil endüstrisinde kullanımının önemi yadsınamaz boyuttadır. Buna karşılık dünyada ve ülkemizde hâlen lazer teknolojisinin tekstil alanında kullanımına ilişkin literatürdeki çalışmalar oldukça sınırlıdır.

Ülkemizde çorap sektörü günümüzde dünyada önemli bir konuma sahiptir. Bilindiği gibi çoraplar tüm insanlar için vazgeçilmez giysilerdir. Her geçen gün çorapların kullanım sahası dahada genişlemektedir. Kilotlu bayan çoraplarının kullanımında geline bir nokta da iç göstermeyen tayt işlevine sahip çoraplardır. Bu tez projesi kapsamında iç göstermeyen tayt işlevine sahip çoraplarda modaya uygun desen ve tasarımların eldesi için lazer teknolojisinin çorap sektöründe kullanım olanaklarının incelenmesi hedeflenmiştir. Bu sayede çorap sektörüne temiz, hızlı ve esnek desenlendirme yönteminin kazandırılmasını sağlamak istenmiştir. Bu açıdan tezin hem bilime hem de endüstriyel üretime sağlayacağı katkının öneminin büyük olduğu söylenebilir.

Bu tez çalışması kapsamında çorap örme tekniği ile üretilen iç göstermeyen taytlarda boyama öncesi ve boyama sonrası lazer ile desen eldesi hedeflenmiştir. Bu amaçla ön yüzü

pamuk, poliakrilonitril veya pamuk/poliakrilonitril karışımı, arka yüzü ise poliester/elastandan üretilen iç göstermeyen taytlar hedef ürün grubu olarak seçilmiştir. Bu şekildeki bir ürünün üretiminin başarılması için lazer işleme kumaşın ön yüzüne uygulanacağından öncelikle pamuk ve poliakrilonitril lifleri için boyama öncesi ve sonrası uygulanacak optimum lazer işleme koşullarının ayrı ayrı belirlenmesi üzerinde çalışılmıştır. Bu amaçla etkileri net olarak görebilmek için öncelikle %100 pamuk ve %100 poliakrilonitril ipliğinden çorap bacakları örülmüş ve bu çorap kumaşları üzerinde lazer çalışmaları yapılmıştır. Lazer için optimum koşullar saptandıktan sonra ise hedef ürün grubu olan ön yüzü pamuk, poliakrilonitril veya pamuk/poliakrilonitril karışımı; arka yüzü ise poliester/elastandan oluşan iç göstermeyen taytlar üretilmiş ve bunlara boyama öncesi veya boyama sonrası lazer işleme uygulanarak desen eldesi gerçekleştirilmiştir.



2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1 Lazer Teknolojisi ve Çalışma Prensibi

Lazer teknolojisi, lazerin tanımı ve tarihçesini anlayabilmek için öncelikle ışık ve ışığın tarihçesini anlamak gerekmektedir. Işık, foton adı verilen kütsüz atom altı parçacıklardan oluşan, elektrik ve manyetik alan bileşenlerine sahip bir elektromanyetik enerjidir (Gribbin, 2000). Işığın yapısı ve özelliği hakkındaki bilimsel çalışmalara, Farslı matematikçi ve filozof İbn-i El Haysem tarafından 1021 yılında yayınlanan Kitab-ül Menazir (Optik Kitabı) adlı eserde rastlanmaktadır. Ancak ışığın karakteristik özellikleri ile ilgili tatminkâr çalışmalara 1900'lü yıllara kadar rastlanamamaktadır. Max Planck tarafından bu dönemde temelleri atılan kuantum teorisi, daha sonrasında Ernst Rutherford tarafından geliştirilmiş ve Niels Bohr tarafından elektronların enerji kazanarak ya da kaybederek, yörüngelerini değiştirebileceği ortaya koyulmuştur. 1917 yılında ise Albert Einstein tarafından stimüle ışımının varlığı öne sürülmüştür (Miserendino ve Pick, 1995; Torretti, 1999).

Lazer ışığı yapay yollarla elde edilir ve doğal ışıktan farklı özelliklere sahiptir. Foton-madde etkileşimi lazerlerin oluşum mekanizmasını oluşturur. Etki eden foton, alt enerji seviyesi ile üst enerji seviyesi arasındaki enerji farkına eşit enerjili fotondur. Elektronun aynı dalga boyunda foton yaymasıyla iki foton da atomdan uzaklaşır. Işığın güçlenmesi sonucunda lazer demeti oluşur. Basit bir ışık kaynağı tarafından üretilen sıcak beyaz ışık, odaklanmamış yaygın bir ışımaya yapar. Bu ışık insan gözü ile görünebilir ve renk tayfı içerisindeki pek çok rengin toplamından oluşmaktadır. Öte yandan lazerler dar ve yoğun bir eş-faz ve tek renkli ışık ışını üreten aygıtlar olduğundan lazerlerden çıkan ışık, bilinen ışıktan bütünüyle farklı özellikler taşır. Lazer ışığı monokromatiktir yani tek renklidir ve dalga boyu belirlidir. Lazer ışığında her foton bir diğer foton ile senkronize hareket eder, lazerin yönü tektir ve mesafe arttıkça ışın açısında oldukça az değişimler meydana gelir. Lazer ışığının çapı düşük olmasına rağmen oldukça yüksek enerjiye sahiptir (Miserendino ve Pick, 1995; Gribbin, 2000).

2.2 Lazer Teknolojisinin Tarihçesi ve Lazer Tipleri

Lazer teknolojisinin tarihsel gelişimi incelendiğinde, bu teknolojinin temelini Albert Einstein'ın 1917 yılında lazer çalışma prensibi olan "Uyarılmış Emisyon" olgusunu keşfetmesiyle atıldığı görülmektedir. 1939-1950 yılları arasında Valentin Fabrikant, radyasyonu yükseltmek için uyarılmış emisyon kullanımını teorileştirmiştir. Charles Townes,

NikolayBasov ve Alexander Prokhorov, uyarılmış emisyonun kuantum teorisini geliştirerek Nobel almışlardır. 1960'lı yıllarda 1 miliwatt çıkışlı ilk CO₂ lazer üretilmiştir. 1967'de 1000 watt çıkışa ulaşılmış ve Peter Houldcroff ilk kez 1 mm kalınlıktaki çelik yaprağı oksijen destekli CO₂ lazerle kesmiştir. 1970'li yıllarda Laser-Work A.G. Firması 1975 yılında 2 eksenli lazeri geliştirmiştir. Otomotiv ve uçak üreticileri metal kesim ve kaynağı için lazer teknolojisini geliştirmeye devam etmişlerdir. 1980'lerde küçük ve ucuz CO₂ Slab Lazerler üretilmiş ve lazer kullanım alanı plastik, kauçuk, köpük gibi malzemeleri kesmeye yarar hâle gelerek genişlemiştir. Bu tarihten itibaren lazerler kullanım alanları doğrultusunda geliştirilmeye devam etmiş ve günümüzde birçok endüstride yaygın olarak kullanılır hâle gelmiştir. Günümüzde kullanılan lazerler 6 ana grup altında toplanmaktadır. Bunlar şu şekilde sıralanabilir;

- **Helyum-neon lazerler:** Helyum-neon gaz karışımıdır. En yaygın lazerlerden biridir. Hologramlar, sunum göstergeçleri, röntgende hasta hizalama, kereste kesim hizalama vb. uygulamaları vardır.

- **Karbondiyoksit (CO₂) lazerler:** En güçlü gaz lazeridir. Kaynak ve kesme amaçlı kullanılır.

- **Argon, kripton ve zenoniyon lazerler:** Kullanım alanı ve üretim mantığı Helyum-neon lazere benzer, en büyük fark, lazer tüpünde akan elektrik akımınının 10-20 amper olmasıdır.

- **Neodimyum katkılı kristal itriyum alüminyum garnet lazerleri:** Katı hâl lazerleri sınıfına aittir. Katı hâl lazerleri sağlamdır, bakımı kolaydır ve yüksek güç üretebilir.

- **Eksimer lazerler:** Yüksek güçlü ultraviyole (UV) lazerler, mikrometre boyutunda odaklanmış bir ışın üretebilir. Ameliyathanelerde hassas cerrahi işlemlerde, endüstride milimetrik hassasiyetli işlerde kullanılmaktadır.

- **Yarı iletken veya diyot enjeksiyon lazerleri:** Katı hâl lazeri türüdür. Yarı iletken lazerler mesafe dedektörlerinde ve uzaktan algılama sistemlerinde, telemetrelerde ve ses ve veri iletişimde kullanılır (Anonim, 2018).

2.3 Lazer Teknolojisinin Tekstil Boyamacılığı Alanında Kullanımı

Son zamanlarda, polimer yüzeylerini modifiye etmek için fiziko-kimyasal yüzey işlemlerine büyük ilgi duyulmaktadır. Bir polimerin yüzeyinin yapısı sürtünme, adhezyon, ışık yansıtma, ıslanma ve boyanma özellikleri gibi özelliklerini güçlü bir şekilde etkilemektedir

(Yip vd., 2002a). Tekstil malzemelerinin özelliklerini değiştirmek için UV ışınlanması, plazma, elektron ışını ve iyon implantasyonu gibi yüzey işlemleri uygulanabilmektedir. Malzeme yüzeyinin lazer ile modifikasyonu en çok çalışılan teknolojilerden biridir (Kan, 2007).

Lazer, polimerlerin yüzeyinde fiziksel ve kimyasal özelliklerinde değişikliklere neden olan morfolojik değişimler yaratabilir (Esteves ve Alonso, 2007). Fiziksel modifikasyonlar ışınlanmış alanlarda belirli ve düzenli bir yüzey yapısı değişikliği şeklinde meydana gelir (Knittel ve Schollmeyer, 1998). Lazer radyasyonu ile polimerlerde yaratılan modifikasyonlar günümüzde çok iyi bilinen bir konudur. 90'lı yılların sonlarından bu yana, yüzey modifikasyonu için farklı tipte ticari lazerler geliştirilmiştir (Esteves ve Alonso, 2007). Tekstil ve hazır giyim endüstrisinde CO₂ lazeri yaygın ve başarılı uygulamalara sahiptir. Lazer tekniği, herhangi bir kirliliğe neden olmadan tasarım ve işlem esnekliği avantajlarına sahip olduğu için geleneksel tekstil işlemlerinden farklıdır (Shahidi vd., 2013a).

Yüzey modifikasyon işlemlerinde belirli bir uygulama için yeterli güç seviyeleri çok önemlidir, çünkü aşırı miktarda enerji polimerlere zarar verebilir. CO₂ gibi kızılötesi lazerler en güçlü lazerlerdir. Eğer uygulanan güç seviyesi uygun olmazsa ciddi termal hasarlar meydana gelebilir. Bununla birlikte, bu sorun sürekli dalga modunda çalışan lazerlerden daha kolay kontrol edilebilir olan darbeli-mod CO₂ lazerleri kullanılarak aşılabilir (Esteves ve Alonso, 2007).

Rouette (2001) lazeri, uyarılmış ışımının yayımı ile ışığın güçlendirilmesi olarak tanımlamış ve yüksek hızı, daha fazla proses güvenliği ve basit uygulama prosesinden dolayı lazer kullanımının faydalı olduğunu bildirmiştir. Tekstil endüstrisinde kullanılan lazer, bazı araştırmacılar tarafından yüksek öneme sahip olarak nitelendirilmiş ve denimlerin yeniden renklendirilmesinde (Dascalu vd., 2001; Ortiz-Morales vd., 2003) endüstride kumaş kesiminde (Rouette, 2001) ve yünlerin büzüşmesinin kontrolünde (Nourbakhsh ve Ashjarian, 2012) kullanıldığı bildirilmiştir. Polimerlerin yüzey modifikasyonunda lazer teknolojisinin uzun zamandan beri kullanıldığı, lazer ışınlanması ile poliamid ve poliester gibi polimerlerin yüzey morfolojisi üzerinde karakteristik modifikasyonlar sağlanabileceği bildirilmiştir (Bahners ve Schollmeyer, 1989; Kesting vd., 1990; Knittel ve Schollmeyer, 1998; Mayer vd., 2006). Kumaş boyamada ve farklı fiziksel özellikler kazandırmada temiz ve kuru fiziksel işlemlerin yaş kimyasal işlemlere göre daha avantajlı olduğu, kuru ve temiz prosesler sayesinde su, kimyasal ve enerji tüketimi önemli ölçüde azaltılabileceği ya da tamamen ortadan kaldırılabilceği ifade

edilmiştir Bilgisayar kontrollü lazer uygulamalarının kuru ve fiziksel yöntemler arasında güvenilir yüzey modifikasyonlarından bir tanesi olduğu bildirilmiştir (İbrahim vd., 2004).

Lazer teknolojisinin tekstil endüstrisindeki olası uygulamaları arasında, denim indigo boyasının uzaklaştırılması, liflerin boyanabilirliklerini değiştirmek üzere tekstil materyalleri üzerinde desenler oluşturulması, yüzey pürüzlülüğü yaratılması, tekstil yüzeylerinin kesilmesi bulunmaktadır. Polimer yüzeyine uygulanan lazer ışınlanması, modifiye edilmiş bir yüzey morfolojisi oluşturmak için kullanılır (Nourbakhsh ve Ebrahimi, 2012).

Lazerin metalden tekstile kadar arzu edilen materyale temassız uygulanabilen bir teknik olduğu, tekstil endüstrisinde kottan ev tekstiline kadar tasarım uygulamak için kullanıldığı açıklanmıştır. Tekstil tasarımındaki bu uygulamaların, güçleri 50-200 W arası değişen karbondioksit, neodimiyum-itriyum alüminyum lantaş lazeri ve diyot lazerler gibi farklı lazer makineleriyle gerçekleştirildiği, tekstil ve konfeksiyon endüstrisinde CO₂ gaz lazerlerin geniş kullanımı ve başarılı uygulamaları ile öne çıktığı, lazer tekniğinin tekstilde kullanılan sıradan uygulamalardan herhangi bir kirlilik yaratmadan uygulama esnekliği ve tasarım avantajları ile ayrıldığı ortaya koyulmuştur (Yuan vd., 2012). Eksimer lazerlerden çıkan UV ile sentetik liflerin yüzey modifikasyonunun sağlanabildiği bilindiğinden beri lazer teknolojisinin boyanabilirliği geliştirmede de kullanılabileceği düşünülmüştür. Fakat buna rağmen lazer enerjisinin tekstildeki uygulamalarının halen yaygın olmadığı ve genelde denim giysi üretimindeki kullanımıyla sınırlı kaldığı açıklanmıştır (Bahtiyari, 2011).

Çizelge 2.1’de farklı lif türlerine lazer işlemi uygulanarak boyama özelliklerinin geliştirilmesine yönelik son 20 yılda gerçekleştirilen yayın sayılarının yıllara göre değişimi verilmektedir.

Çizelge 2.1. Farklı lif türlerine lazer işlemi uygulanarak boyama özelliklerinin geliştirilmesine yönelik son 20 yılda gerçekleştirilen yayın sayılarının yıllara göre değişimi

Lif	2001-2005	2006-2010	2011-2015	2016-2020	Toplam
Selüloz	0	1	3	2	6
Protein	0	0	1	1	2
Poliamid	2	1	1	2	6
Poliester	1	1	5	3	10
Poliakrilonitril	0	0	0	0	0
Diğer sentetik lifler	0	0	1	0	1
Toplam	3	3	11	8	25

Çizelge 2.1 incelendiğinde literatürde lazer ışınlamasının pamuk, yün, poliester, poliamid ve diğer sentetik liflerinin boyanabilirliğine etkilerine ilişkin sınırlı sayıda da olsa çalışma olduğu ve çalışma sayısının son 10 yılda önceki yıllara göre önemli artış gösterdiği anlaşılmaktadır. En çok çalışmanın poliester lifleri üzerinde olduğu dikkati çekmektedir. Literatürde lazerle işlem sonrası pamuk liflerinin direkt boyarmaddelerle boyanabilirliğini inceleyen bir çalışmaya, reaktif boya ile boyanabilirliğini inceleyen 3 çalışmaya rastlanmıştır. Bu çalışmalardan birisi emdirme yöntemine göre boyamada lazer ile fiksaj olanakları üzerinedir. Diğer ikisinde ise sadece mavi renkli birer reaktif boyarmadde ile çalışılmıştır. Bilindiği gibi endüstriyel uygulamalar sarı, kırmızı ve mavi boyalarla trikromik boyama şeklinde gerçekleştirilmekte olup herhangi bir işlemin bu üç boya üzerindeki etkisini de bilmek gerekmektedir. Bu nedenle çalışmamızda trikormiye ait sarı, kırmızı ve mavi reaktif boya ile çalışılmıştır. Ayrıca elde edilen sonuçların numune ölçekli endüstriyel üretim koşullarında denenmesi de gerçekleştirilmiştir. Öte yandan poliakrilonitril lifleri ve pamuk/poliakrilonitril karışımları ile ilgili hiçbir yayına rastlanmamıştır. Tüm bu hususlar bu tez projesinin özgünlüğünü ortaya koymaktadır.

2.3.1 Lazer Teknolojisinin Selüloz Liflerinin Boyanmasında Kullanımına İlişkin Önceki Çalışmalar

Kan vd. (2010), lazer ışınlamasının denim kumaşların renk verimi üzerindeki etkisini incelemiştir. Çözünürlük ve piksel süresi olmak üzere iki lazer işlem değişkeni ayrıntılı olarak incelenmiştir. Yüksek lazer güç yoğunluğunun etkisi altında, büyük ölçüde daha düşük K/S değerlerine ve daha soluk bir yüzey görünümüne sahip denim kumaşlar elde edilmiştir. Bu da denim kumaş üzerinde bulunan boya miktarının önemli ölçüde azaldığını ortaya koymuştur. Ayrıca lazer işlemi sonrası denim kumaş numunelerinde yeşil-sarı bir renk tonu gözlemlenmiştir.

Chow vd. (2012) farklı çözünürlük (40, 50 ve 60 dpi) ve piksel sürelerinde (100, 110 ve 120 μ s) pamuklu kumaşlara CO₂ lazer işlemi uygulamışlardır. Çözünürlük ve piksel süresi arttıkça kumaş ağırlığı ve mukavemeti azalmıştır. Bununla birlikte, lazerle muamele edilmiş pamuklu kumaşta sararma gözlenmiştir, ancak bu sararmanın boyutu, farklı lazer işlemi parametreleri altında hemen hemen aynı olmuştur. Taramalı elektron mikroskobu görüntüleri, pamuk elyafının yüzey morfolojisinin değiştiğini göstermiştir. Çalışmada ayrıca kumaşların mekanik özelliklerinin de değiştiği saptanmıştır. Lazerle muamele edilen kumaşın boyama performansı; boyanabilirlik, boya alım hızı ve renk haslığı açısından

değerlendirilmiştir. Reflektans eğrilerine göre, lazer işlemi kumaş tarafından absorblanan boya miktarını azaltmış ve daha yüksek refleksiyon değerleri elde edilmiştir. Çözünürlük ve piksel süresi artırıldığında K/S değerleri azalmıştır. Alım eğrileri, lazer işleminin pamuk üzerinde renk solmasına ve işlemsiz numuneye kıyasla yarı boyama süresinde hafif bir artışa neden olabileceğini göstermiştir. Yıkamaya karşı renk haslığı açısından, lazer ile muamele edilmiş numuneler, çözünürlük ve piksel süresine bağlı olmaksızın, işlem görmemiş numuneyle aynı değerleri vermiştir. Öte yandan lazer ile işleme tabi tutulmuş numuneler, işlemsiz numune ile karşılaştırıldığında nispeten daha düşük sürtme haslığı değerlerine sahip olmuştur.

Montazer vd. (2013) CO₂ lazer ışınlamasının ham ve ağartılmış pamuklu kumaşların kumaş ağırlığı, eğilme dayanımı, ıslanabilirlik ve hava geçirgenliği ile boyama gibi çeşitli özellikleri üzerindeki etkisini incelemiş ve karşılaştırmıştır. Lazer işleminin kumaş özelliklerine etkisini belirlemek için deneyler 4,5 ile 6 W arasında değişen üç farklı lazer gücünde gerçekleştirilmiştir. Özellikle lazer ışınının CI Reactive Blue 198 ile işlem görmüş kumaşların boyanma özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Lazer işleminin ham ve ağartılmış pamuklu kumaşların özellikleri üzerindeki etkilerinin farklı olduğu görülmüştür. Örneğin, lazer ışınlamasından sonra ham pamuk numunelerinin ıslanabilirliği azalırken, ağartılmış pamuklu kumaşların ıslanabilirliği artmıştır. Ayrıca sonuçlar, boyama sonrası ışınlanmış ağartılmış pamuklu kumaşlarda gözlenen daha yüksek boya adsorpsiyonuna kıyasla, boyama öncesi ve sonrası ışınlanmış ham pamuklu kumaşların boyanabilirliğinin olumsuz etkilendiğini ortaya koymuştur. Lazerle işlem görmüş numunelerin renk haslığının ise değişmediği saptanmıştır.

Hung ve ark. (2014) reaktif boya ile boyama öncesi ve sonrası pamuklu kumaşlara CO₂ lazer ile farklı parametreler altında işlem yapmışlardır. İşlem görmüş kumaşların reflektans, K/S ve CIE L*a*b* dâhil renk özellikleri spektrofotometre ile değerlendirilmiştir. Boyanmış ve ardından lazerle işlenmiş kumaş daha açık, daha yeşilimsi ve daha az mavimsi bir renk sergilemiştir. Öte yandan, önce lazer uygulanmış ve daha sonra boyanmış numuneler daha iyi bir renk verimine, daha az yeşilimsi ve daha mavimsi bir renge sahip olmuşlardır.

Kaşparová ve ark. (2019) pamuklu kumaşlara emdirme yöntemine göre fularda applike edilen reaktif boyaların kurutma sonrası lazer ile fiksajı üzerinde çalışmışlardır. Aynı koyulukta yapılan konvansiyonel boyamaya kıyasla lazer fiksajı ile boyanmış numunelerin renginin daha açık olduğu, yıkama haslıklarının çok iyi olduğu saptanmıştır.

2.3.2 Lazer Teknolojisinin Protein Liflerinin Boyanmasında Kullanımına İlişkin Önceki Çalışmalar

Morgan vd. (2015), yünlü tekstiller için yakın zamanda geliştirilen bir dijital lazer boyama tekniğini açıklamışlardır. Araştırma, %100 yünü boyamak için bir ön işlem olarak kızılötesi lazer ışınlanmasının etkisini ve tekstil işleme için bir tasarım aracı olarak potansiyelini incelemiştir. İşlem görmüş yünlü materyallerin boya performans özelliklerinin analizi ve tekniğin potansiyel sürdürülebilirlik avantajları sunulmuştur. Yün liflerinin dış pul tabakasının lazer ile modifikasyonunu sonucu uzaklaştırıldığı ve hidrofobik yüzeyin parçalandığı saptanmıştır. Bu nedenle lazer işleminden sonra boya difüzyon hızının artmasının beklenebileceği belirtilmiştir.

Morgan (2016) yaptığı tez çalışmasında sürdürülebilir tasarım ve üretimin sağlanabilmesi için lazer boyama ve lazer şekillendirme üzerine çalışmıştır. Bu çalışmada 4 farklı lazer tekstil tasarım tekniği uygulanmıştır. Bunlar, yünler için geliştirilen lazer boyama tekniği, “Peri-Dyeing” olarak isimlendirilen lazer boya fiksasyon tekniği, lazer ile şekillendirme tekniği ve lazer ile keten ağartma tekniğidir. Bu teknikler ile çok tonlu ve çok renkli, 3 boyutlu, net grafik desenlerinin elde edilebileceği bildirilmiştir. Bu teknik ile selüloz, protein ve sentetik liflerde fiziksel doku kaybı yaşanmadan istenilen ve renk ve desenlerin sağlanabildiği belirtilmiştir. Kuru proses ve hedeflenen boya alımın gerçekleşmesi sayesinde, su, enerji ve boya sarfının azaltıldığı, kumaştan doğrudan konfeksiyon ürünü elde edilebildiği ve sektör paydaşları tarafından yapılan incelemeler neticesinde sistemin ticari ve sürdürülebilir olduğunun onaylandığı bildirilmiştir.

2.3.3 Lazer Teknolojisinin Poliamid Liflerinin Boyanmasında Kullanımına İlişkin Önceki Çalışmalar

Yip vd. (2002a), lazerle modifiye edilmiş PA6 kumaşların boyanabilirliğini araştırmıştır. Lazer işleminin, poliamidin uzun zincirli moleküllerini kırdığını, asit ve dispers boyaların boyama özelliklerini değiştiren amin uç gruplarının sayısını artırdığını belirtmişlerdir. Sonuçlar, poliamid kumaşın dispers boya ile boyama özelliklerini geliştirmek için lazer işleminin kullanılabileceğini göstermektedir.

Yip vd. (2002b) tarafından poliamid 6 kumaşlar lazer ile ışınlanmış ve daha sonra asit, dispers ve reaktif boyalarla boyanmıştır. İşlemden sonra poliamid kumaşlar üzerindeki tüm

boyaların boyama özelliklerinin önemli ölçüde değiştiği saptanmıştır. Boyanabilirlik değişikliklerinin nedenlerinden birinin, işlem görmüş malzemelerin kimyasal özelliklerindeki değişiklikler olduğu belirtilmiştir. Bu çalışma, lazer modifikasyonundan sonra naylon üzerindeki dispers ve reaktif boyaların boyama özelliklerinin iyileştirilebileceğini göstermektedir.

Esteves ve Alonso (2007) gerçekleştirdikleri çalışmada poliamid kumaşları CO₂ darbeli lazer ile işleme tabi tutmuş ve daha sonra farklı ticari boyalarla boyamıştır. Ardından liflerin boyanma özellikleri araştırılmış ve lazerle işlenmiş liflerin boyanma kabiliyetinde değişiklikler meydana getirdiği saptanmıştır. Lazer işleminin lif yüzeyinde belirli bir pürüzlülük yarattığı, bunun da toplam yüzey alanının artmasına ve boya adsorpsiyonunun artmasına neden olduğu belirtilmiştir.

Bahtiyari (2011), CO₂ lazer kullanarak örme PA kumaşlar üzerinde çalışmıştır. Poliamid kumaşın lazer modifikasyonundan sonra boyanabilirliğinin önemli ölçüde arttığı, patlama mukavemetinin ise azaldığı tespit edilmiştir. Poliamid kumaşların boyanabilirliklerindeki bu büyük artışın nedenleri, FTIR ve iyot sorpsiyon yöntemleri yardımıyla analiz edilmiş ve poliamidinkristalliğindeki bir azalma ile ilişkili olduğu ortaya koyulmuştur. Kumaşın lazer modifikasyonu düşük yoğunlukta yapıldığında, asit ve reaktif boyalarla boyama sırasında gerekli olan serbest amino gruplarının konsantrasyonunun arttığı gözlenmiştir.

Morgan vd. (2018a) pratik tekstil tasarımı açısından Lazer Peri-Dyeing yöntemini açıklamışlardır. Bu çalışmada infrared Synrad CO₂ lazer ile ışınlama gerçekleştirilmiş, infrared lazerin fototermal özelliğinden dolayı tekstil yüzeyinde boya fiksasyonu ve difüzyonu sağlandığı belirtilmiştir. Lazer işleminin ise %85 naylon-%15 elastan ve %80 naylon-%20 elastandan oluşan karışım kumaşlara uygulandığı belirtilmiştir. Peri-dyeing olarak isimlendirilen lazer boyama tekniğinin, tekstil yüzey şekillendirme ve renklendirilmesinde pratik ve verimli bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir.

2.3.4 Lazer Teknolojisinin Poliester Liflerinin Boyanmasında Kullanımına İlişkin Önceki Çalışmalar

Lau vd. (1997) exsimer lazer ışınmasına bağlı olarak poliester kumaşın yüzey parlaklığı, ıslanabilirlik, boyanabilirlik özelliklerini incelemişlerdir. Exsimer lazer işleminden sonra,

ışınlanmış poliester kumaş numunelerinin oda sıcaklığında daha iyi hidrofobiklik sergilediği ve kumaşın boyanabilirliğinin geliştiği saptanmıştır.

Liang vd. (2002), UV lazer uygulamasının polietilen tetrafalat kumaşlarda meydana getirdiği yüzey yapısı ve özellik değişimlerini incelemiştir. Çalışmada lazer işlemi uygulanmış kumaşlarda ilave karboksilik radikaller ve artan oranda amorf lif yüzeyleri tespit edilmiştir. Buna ilaveten polietilen tetrafalat kumaşların boyanma özelliklerinin önemli derecede değiştiği ifade edilmiştir.

Esteves ve Alonso (2007) gerçekleştirdikleri çalışmada poliester kumaşları CO₂ darbeli lazer ile işleme tabi tutmuş ve daha sonra farklı ticari boyalarla boyamıştır. Ardından liflerin boyanma özellikleri araştırılmış ve lazerle işlenmiş liflerin boyanma kabiliyetinde değişiklikler meydana getirdiği saptanmıştır. Lazer işleminin lif yüzeyinde belirli bir pürüzlülük yarattığı, bunun da toplam yüzey alanının artmasına ve boya adsorpsiyonunun artmasına neden olduğu belirtilmiştir.

Montazer vd. (2011) CO₂ lazer uygulamasının başta boyama olmak üzere poliester kumaşların farklı özelliklerine etkilerini araştırmışlardır. Bu amaçla lazer uygulaması kırmızı, sarı ve mavi dispers boyalar ile boyama öncesi ve sonrası kumaşa uygulanmıştır. Yazarlar lazer uygulamasının toplam renk farklılığı değeri üzerine artırıcı etki gösterdiğini tespit etmişlerdir. Lazere ilişkin 3 parametre arasında en güçlü etkiye lazer gücünün sahip olduğunu belirlemişlerdir. Düşük lazer yoğunluğunda renk haslığında önemli derecede gelişim görülmediğini, yüksek yoğunluklu lazer ışınlamasının ışık ve sürtünme haslığında artışa neden olduğunu ifade etmişlerdir. Lazer yoğunluğunun artması ile birlikte ıslanabilirlik ve eğilme direncinde negatif etki tespit etmişlerdir.

Kamel vd. (2012) poliester ve selüloz asetat kumaşları eksimer lazer ışınlaması ile modifiye etmişlerdir. Endüklenen yüzey değişiklikleri, Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile karakterize edilmiştir. Hem poliester hem de selüloz asetat kumaşların boyama davranışı üzerindeki ışınlama gücü ve süresi gibi lazer işlem koşullarının etkisi incelenmiştir. Aynı boyama koşullarında disperse boya ile boyanmış işlem görmemiş kumaşa kıyasla lazerle işlem görmüş kumaşlarda daha yüksek renk derinliği elde edilmiştir.

Akiwowo vd. (2014) poliester kumaşlar için dijital lazer boyama isimli çalışmalarında tekstiller için yeni bir lazer-boyalı biçimlendirme yöntemi geliştirmeyi ve estetik, bilim ve teknolojiyi bütünleşik bir konseptte sunmayı amaçlamışlardır. Buna ilaveten bu yenilikçi

yöntemi ticari olarak kabul edilebilir ve ekolojik olarak sürdürülebilir kılmayı amaçlamışlardır. Kumaşlar disperse boya olan Blue 3RL 150% ile boyanmıştır. Yazarlar bu boyama sisteminin, yüksek çözünürlük özelliği sayesinde kontrollü lazer enerjisini kullanarak değişken boya yoğunlukları verebildiğini ifade etmişlerdir. Sistemin bir diğer avantajı ise su ve solvent kullanılmadığından daha düşük enerji sarfiyatına yol açması ve buna bağlı olarak daha düşük çevresel etkiye neden olması olarak belirtilmiştir.

Akiwowo (2015a) yaptığı doktora tez çalışmasının ana amacının lazer ile boyama işleminde tasarım odaklı bir bakış açısı sağlamak olduğunu, mühendislik tabanlı çalışmalarda bunun uzağında kalındığını belirtmiştir. Çalışmada geleneksel yöntemle alternatif olarak lazer boya biçimlendirme tekniği denenmiştir. Bu teknik, lazer işlemi, boyama prosedürü ve CAD teknolojisinin bir araya gelmesiyle oluşturulmuştur. Tekstiller için dijital biçimlendirmede farklılık yaratan bu sistemde lazer dalgası, tekstil lifi, boyalar ve bilgisayar tasarım programlarının entegre olarak çalıştığı ifade edilmiştir. Önceden CAD sisteminde çizimi yapılan tasarımların çok daha geniş ton aralığında kumaşa uygulanabilir olduğu, çevresel olarak geleneksel sisteme göre çok daha çevreci olduğu belirtilmiştir. Bu sistemin en büyük avantajının çok daha az miktarda boya kullanılarak çok daha fazla renk koyuluğu elde edilebilmesi olduğu bildirilmiştir.

Akiwowo (2015b) poliester tekstillerin biçimlendirilmesi ve renklendirilmesi için yeni olanakların sağlanabilmesi açısından dijital lazer-boya prosesinin nasıl geliştirilebileceği üzerine çalışmıştır. Çalışmada yazar enerji yoğunluğu yaklaşımına dayalı yüksek çözünürlükteki şekiller ile oldukça geniş boya alımının sağlandığını, daha az enerji ve su kullanımından dolayı geleneksel yöntemlere göre ekolojik olarak sürdürülebilir bir sistem olduğunu belirtmiştir.

Akiwowo vd. (2017) CO₂ lazer ile işlemin poliester liflerinin boyanabilirliği üzerine etkisini araştırmışlardır. Öncelikle Adobe İllustrator ve Adobe Photosop ile orijinal tasarım çizimleri gerçekleştirilmiş ve bu çizimler Win Mark Pro lazer yazılımında uygun resim moduna dönüştürülmüştür. Lazer işlemi sonrası Yellow 3G, Yellow Brown SERL (150%), Rubine CGL (150%), Red 2BE (200%), Blue 3RL (150%) ve Navy CD2G (200%) ticari dispers boyaları ile boyama yapılmıştır. Yazarlar bu sistem sayesinde boyama öncesi lazer işlemi ile boyama sonrası desenlendirme ya da kumaştan direkt ürün elde edilmesinin mümkün olduğunu bildirmişlerdir. Bunun yanında, sistemin geleneksel yöntemlere göre çok hızlı olduğu, çok daha estetik desenler ve geniş renk yelpazesinin elde edilebildiği, çok daha az sarf malzemesi kullanımı nedeniyle daha az maliyetli olduğunu bildirmişlerdir.

Morgan vd. (2018b) sentetik liflerin 3 boyutlu şekillendirilmesinde bir dijital şekillendirme tekniği olan Lazer Shibori tekniğini denemişlerdir. Lazer Shibori tekniğinin sentetik kumaşlar için mono malzeme işleme fikri üzerine kurulu, tekstillere değer ve biçim katan bir teknik olduğu ifade edilmiştir. Bu dijital tekniğin, malzemeleri dönüştüren lazer şekillendirme ve lazer boyama prosedürlerini birleştirdiği, böylece tasarım özelliklerini kumaştan geri dönüştürülebilirlik veya yaşam döngüsünün sonraki bir aşamasında yeniden kullanılma özelliklerini etkilemeden ortaya çıkardığı belirtilmiştir. Ayrıca, şekillendirme özelliklerinin tersine çevrilebilir olması sayesinde, tasarım esnekliği ve yeniden tasarım döngüsü sunabildiği ifade edilmiştir. Ayrıca bu sistemin, lif yapısına zarar vermeden 3 boyutlu özellikler sunduğundan geri dönüştürülebilir olduğu, desenlerin değiştirilebilmesinin çok hızlı olduğu, sistemin kontrolünün ve tekrar edilebilirliğinin kolay olduğu ve geleneksel yöntemlere göre eşsiz tasarımlar sunabildiği açıklanmıştır.

2.3.5 Lazer Teknolojisinin Diğer Sentetik Liflerin Boyanmasında Kullanımına İlişkin Önceki Çalışmalar

Shahidi vd. (2013b) farklı yoğunluktaki lazer uygulamasının polipropilen kumaşların boyanabilirliğine etkisini araştırmışlardır. Modifiye edilmiş yüzeylerin morfolojisi, taramalı elektron mikroskobu kullanılarak incelenmiştir. Boyama işlemi için %3 Astrazon Red Violet 3RN (CI Basic Violet 16) boyası içeren sulu çözeltiler kullanılmıştır. Kumaşların boya alım miktarları karşılaştırılmış ve boyanan numunelerin ışık ve yıkama haslıkları ölçülmüştür. Sonuçlar, PP kumaşların CO₂ lazer ile işleminden sonra renk derinliğinde önemli bir artış olduğunu göstermiştir.

3. MATERYAL VE METOT

Bu tez çalışması kapsamında lazer ile kimyasal modifikasyonun;

- pamuk
- poliakrilonitril ve
- pamuk/poliakrilonitril karışımı

çorap/tayt kumaşları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Her birine ilişkin materyal-yöntem aşağıda ayrı ayrı açıklanmaktadır.

Tez kapsamında kullanılan bütün çorap ve taytların üretiminde Penti Çorap San.ve Tic. A.Ş. firmasındaki Matec çorap örgü makineleri kullanılmıştır. Matec çorap örgü makinelerinde (240 iğne, 4 pus ve 16 fine) örgü zincir yapılarının tasarımı MatecWorkBench programı kullanılarak yapılmıştır. Örülen numuneler bel lastiği, külot, bacak ve bilek lastiği olmak üzere 4 bölümden oluşmaktadır. İlk olarak çorap örme makinesinde tüp formunda çorap/tayt bacakları örülmüştür. Laboratuvar denemelerinde doğrudan bu parçalar (çorap kumaşı) kullanılmıştır.

Her bir kumaş tipinde lazer işlemi için optimum koşullar bulunduktan sonra ise numune denemeleri çorap örme tekniği ile üretilen iç yüzü şardonlu taytlar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla farklı iplik karışımlarından oluşan numuneler çorap makinesinde tüp formunda örüldükten sonra manuel dikiş bölümünde uç uca eklenmiş ve uzun bir şerit hâline getirilmiştir. Daha sonra şerit hâlindeki çorap ters çevrilerek şardon makinesinin tamburuna uygun hâle getirilmiştir. Ters çevrilmiş şerit hâlindeki tayt bacakları şardon makinesindeki silindir hâlindeki taraklardan geçirilerek kumaş yüzeyinde hav yapısı oluşturulmuştur. Şardon makinesinden çıkan şerit hâlindeki tayt bacakları düz çevrilmiş ve ekli kısımlardan kesilerek birbirinden ayrılmış ve böylece tekrar tek bacak (tüp) hâline getirilmiştir. Tüp hâline getirilen taytlara külot birleştirme işlemi için giyotin makinesi ile kesim işlemi uygulanmıştır. Bu işlemin ardından külot kısmının birleştirme işlemi overlok dikiş ile gerçekleştirilmiştir. Reçme makinesi ile bel ve bilek lastiği kapama işlemi yapılmıştır. Böylece tüp formundaki bacaklar birleştirilerek tayt/çorap formuna sokulmuştur

3.1 Lazer ile Kimyasal Modifikasyonun Pamuk Liflerinin Boyanabilirliği Üzerine Etkisinin İncelenmesi

Bu gruptaki denemeler laboratuvar ölçekli ve numune üretim ölçekli olmak üzere iki farklı şekilde gerçekleştirilmiştir.

3.1.1. Pamuğun Lazer ile Modifikasyonuna İlişkin Laboratuvar Ölçekli Denemeler

Bu denemelerde %100 pamuk Ne 30/1 iplikten oluşan (sıra sıklığı: 22 çubuk/cm, çubuk sıklığı: 25 çubuk/cm) düz örgü (süprem) çoraplar (149 g/m²) kullanılmıştır. Bu gruptaki çalışmalar da pamuğun boyama öncesi ve boyama sonrası lazer ile modifikasyonu olmak üzere kendi arasında iki alt gruba ayrılmaktadır.

3.1.1.1. Boyama öncesi lazer ile kimyasal modifikasyonun pamuk liflerinin boyanabilirliği üzerine etkisinin incelenmesi

Bu gruptaki denemelerde pamuklu çorap bacakları önce lazer ile işleme tabi tutulmuş ve ardından reaktif boyalarla boyanmıştır. Denemelerin yapılışı aşağıda açıklanmaktadır.

- Lazer İşlemi

Öncelikle kumaşların ön yüzüne atmosfer koşullarında ticari darbeli CO₂ lazer makinesi (Jeanologia Laser Flexi Lab.) kullanılarak Çizelge 3.1’de verilen farklı çözünürlük (lazer gücü) (10, 20 ve 30 dpi) ve piksel sürelerinde (80, 100 ve 120 µs) ön işlem yapılmıştır. Lazer işleminde uygulanan çözünürlük ve piksel süresi aralıkları literatürdeki önceki çalışmalar da dikkate alınarak yapılan ön denemelerle belirlenmiştir. Ön denemelerde söz konusu örme çorap kumaşlarının 30 dpi’nin üzerinde gözle görülebilecek seviyede aşırı zarar gördüğü tespit edildiğinden, uygulamada bu değerin üzerine çıkılmamıştır. Denemelerde lazer demetinin darbe enerjisi 210 W, dalga boyu ise 10,6 µm olarak ayarlanmıştır.

Çizelge 3.1. Lazer ile ön işlem denemelerinde kullanılan faktörler ve seviyeleri

Numune No	Çözünürlük (dpi)	Piksel Süresi (µs)
1	-	-
2	10	80
3	10	100
4	10	120
5	20	80
6	20	100
7	20	120
8	30	80
9	30	100
10	30	120

Lazer işlemi uygulanmış numunelere patlama mukavemeti, sarılık indeksi tayini, tarayıcı elektron mikroskobu (SEM) analizi ve Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) analizi yapılmıştır.

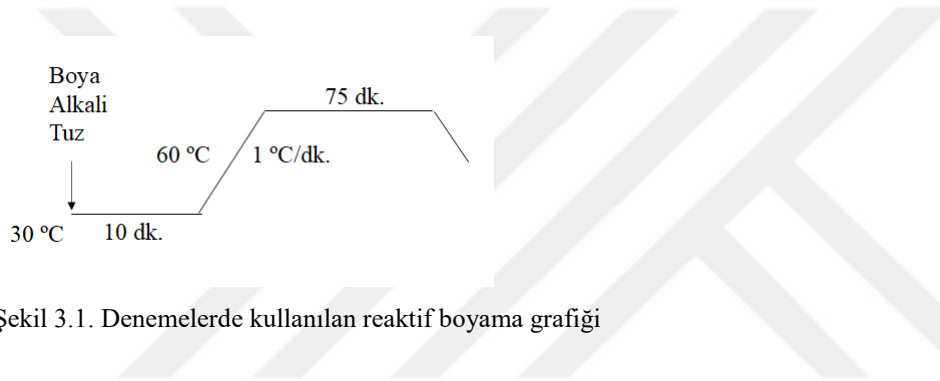
- Reaktif Boyama

İşlem görmemiş ve lazer ile çeşitli koşullarda işlem görmüş tüp formundaki çoraplardan kesilerek alınan çorap kumaşı numuneleri sarı, kırmızı ve mavi renkli ticari reaktif boyalarla (Dystar) %2'lik koyulukta boyama işlemlerine tabi tutulmuştur. Boyama işlemleri her numune ayrı bir tüpte olacak şekilde Termal HT (Yilmak Makine HBM 50 S) Laboratuvar tipi boyama cihazında gerçekleştirilmiştir. Denemelerde kullanılan reaktif boyarmaddelerin ticari isimleri ve özellikleri Çizelge 3.2'de verilmektedir.

Çizelge 3.2. Denemelerde kullanılan reaktif boyarmaddelerin özellikleri (MCT: Monoklortriazin, VS: Vinilsülfon)

Boyarmadde	Remazol Yellow RR	Remazol Red RR	Remazol Blue RR
Reaktif grup	VS	MCT/VS	VS/VS
Reaktivlik	Orta	Orta	Orta
Substantivite	Yüksek	Yüksek	Orta

Flotte oranı tüm boyama işlemlerinde 1:15 olarak alınmıştır. Boyama başlangıç pH'ı 6,5-7'dir. Boyama prosesi olarak 30 °C → 60 °C sıcaklık yükseltme yöntemi kullanılmıştır. Alkali-tuz ilavesi olarak ise her şeyi baştan koyma yöntemi uygulanmıştır. Boyarmadde, sodyumklorür (50 g/L) ve soda (13 g/L) içeren flotteyle boyama işlemine 30 °C'ta başlanmış ve sıcaklık 1 °C/dk. hızla 60 °C'a yükseltilerek bu sıcaklıkta 75 dk. boyama yapılmıştır. Boyama sonrası flotteler boşaltılmış ve kumaş numuneleri sırasıyla; soğuk su ile 10 dk. taşar durulama → 60 °C'ta asetik asit ile 10 dk. nötralizasyon → 80 °C'ta 10 dk. durulama → 95 °C'ta 10 dk. durulama → 80 °C'ta 10 dk. durulama → soğuk su ile dk. taşar durulama uygulanmıştır. Boyama grafiği Şekil 3.1'de verilmektedir. Boyanan kumaş numunelerinin spektrofotometre ile renk verimi (K/S) ve CIE L*a*b* değerleri ölçülmüş ve yıkama, sürtme (kuru ve yaş), ter (asidik ve alkali) ve ışık haslığı testleri yapılmıştır.



Şekil 3.1. Denemelerde kullanılan reaktif boyama grafiği

3.1.1.2. Boyama sonrası lazer ile reaktif boyalı pamuklu çoraplarda desenlendirme olanaklarının incelenmesi

Bu gruptaki denemelerde ise pamuklu çoraplar önce reaktif boyaların trikromisine ait sarı, kırmızı ve mavi renklerle %2'lik koyulukta Bölüm 3.1.1.1'de verilen koşullarda boyanmış, ardından boyalı kumaşlara farklı çözünürlük (10, 20 ve 30 dpi) ve piksel sürelerinde (80, 100 ve 120 µs) lazer ile işlem yapılarak kumaşların renginde ve haslıklarında meydana gelen değişimler incelenmiştir. Yalnız bu deney grubunda boyama işlemleri doğrudan çorap formunda numune boyama kazanında gerçekleştirilmiştir. Her renk için 10 çift çorap boyanmış ve daha sonra birisine lazer işlemi yapılmayıp geri kalanlara Çizelge 3.1'de verilen 9 farklı koşulda lazer işlemi uygulanmıştır. Lazer işlemi sonrası lazer uygulanmamış ve farklı koşullarda lazer işlemi uygulanmış çorap kumaşlarının spektrofotometre ile renk verimi (K/S) değerleri ölçülmüş ve yıkama, sürtme (kuru ve yaş), ter (asidik ve alkali) ve ışık haslığı testleri yapılmıştır.

3.1.2. Pamuğun Lazer ile Modifikasyonuna İlişkin Numune Ölçekli Üretim Denemeleri

Bu gruptaki çalışmalar pamuğun boyama öncesi ve boyama sonrası lazer ile modifikasyonu olmak üzere kendi arasında iki alt gruba ayrılmaktadır.

3.1.2.1. Boyama öncesi lazer ile kimyasal modifikasyon yoluyla ön yüz %100 pamuk iplik / arka yüz siyah boyalı PES/Elastan iplik olacak şekilde üretilmiş taytlarda desen eldesi

Denemelerde ön yüzü %100 pamuk Ne 30/1 iplik, arka yüzü ise siyah boyalı 150 denye/148 filament poliester/44 denye elastandan oluşan single cover gipe iplik karışımlarından oluşan (sıra sıklığı: 21 çubuk/cm, çubuk sıklığı: 25 çubuk/cm) vanize örgü taytlar (337 g/m²) kullanılmıştır. Bu taytlara boyama öncesi daha önce pamuk için saptanmış olan optimum koşullarda (20 dpi ve 80 µs ile 20 dpi ve 120 µs) lazer ile desen uygulaması yapılmıştır. Ardından daha önce açıklanan şekilde mavi renkli reaktif boyarmadde ile %2'lik koyulukta Bölüm 3.1.1.1'de verilen koşullarda numune boyama kazanında boyanmıştır. Bu tayt numunesine patlama mukavemeti testi uygulanmıştır. Ayrıca taytın lazer işlemi görmemiş, 20 dpi ve 80 µs ile 20 dpi ve 120 µs olacak şekilde lazer işlemi uygulanmış bölgelerinden alınan numunelere ayrı ayrı yıkama (60 °C'ta), sürtme (kuru ve yaş) ve ter (asidik ve alkali) haslığı testleri yapılmıştır.

3.1.2.2. Boyama sonrası lazer ile kimyasal modifikasyon yoluyla ön yüz %100 pamuk iplik / arka yüz siyah boyalı PES/Elastan iplik olacak şekilde üretilmiş taytlarda desen eldesi

Denemelerde ön yüzü %100 pamuk Ne 30/1 iplik, arka yüzü ise siyah boyalı 150 denye/148 filament poliester/44 denye elastandan oluşan single cover gipe iplik karışımlarından oluşan (sıra sıklığı: 21 çubuk/cm, çubuk sıklığı: 25 çubuk/cm) vanize örgü taytlar (337 g/m²) kullanılmıştır. Bu taytlar mavi renkli reaktif boyarmadde ile %2'lik koyulukta Bölüm 3.1.1.1'de verilen koşullarda numune boyama kazanında boyanmıştır. Ardından pamuk için saptanmış olan boyama sonrası lazer işlemi için optimum koşullarda (10 dpi ve 100 µs ile 20 dpi ve 100 µs) desen uygulaması yapılmıştır. Bu tayt numunesine patlama mukavemeti testi uygulanmıştır. Ayrıca taytın lazer işlemi görmemiş, 10 dpi ve 100 µs ile 20 dpi ve 100 µs olacak şekilde lazer işlemi uygulanmış bölgelerinden alınan numunelere ayrı ayrı yıkama (60 °C'ta), sürtme (kuru ve yaş) ve ter (asidik ve alkali) haslığı testleri yapılmıştır.

Bilindiği gibi indigo boyalı ürünler çok tercih edilmektedir. Bu nedenle denemelerde ön yüzü %100 indigo boyalı pamuk Ne 30/1 iplikten, arka yüzü ise siyah boyalı 150 denye/148

filament poliester/44 denye elastandan oluşan single cover gipe iplikten (sıra sıklığı: 30 çubuk/cm, çubuk sıklığı: 27 çubuk/cm) vanize örgü taytlar (332 g/m²) da üretilmiş ve bunların lazer ile desenlendirilmesi olanakları üzerinde çalışılmıştır. Bu taytlara Çizelge 3.1’de verilen farklı çözünürlük (10, 20 ve 30 dpi) ve piksel sürelerinde (80, 100 ve 120 µs) lazer ile işlem yapılarak kumaşların renginde, haslıklarında ve mukavemetinde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Daha sonra elde edilen sonuçların ışığı altında, ön yüzü indigo boyalı pamuk ipliği ve arka yüzü siyah poliester iplik ve elastandan oluşan taytlara bölgesel olarak 10 dpi 80 µs ve 20 dpi 80 µs lazer işlemi yapılmış ve tayt üzerinde desen elde edilmiştir.

3.2. Lazer ile Kimyasal Modifikasyonun Poliakrilonitril Liflerinin Boyanabilirliği Üzerine Etkisinin İncelenmesi

Bu gruptaki denemeler elde edilen renk efektleri sınırlı olduğu için yalnızca laboratuvar ölçekli olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan akrilik elyafı Mitsubishi firması tarafından geliştirilmiş olan Miyabi ticari isimli mikroakrilik lifidir.

Bu denemelerde %100 poliakrilonitril Ne 20/1 iplikten oluşan (sıra sıklığı: 26 çubuk/cm, çubuk sıklığı: 36 çubuk/cm) düz örgü (süprem) çoraplar (72,5 g/m²) kullanılmıştır. Bu gruptaki çalışmalar da akriliğin boyama öncesi ve boyama sonrası lazer ile modifikasyonu olmak üzere kendi arasında iki alt gruba ayrılmaktadır.

3.2.1. Boyama öncesi lazer ile kimyasal modifikasyonun poliakrilonitril liflerinin boyanabilirliği üzerine etkisinin incelenmesi

Bu gruptaki denemelerde akrilik çoraplar önce lazer ile işleme tabi tutulmuş ve ardından bazik boyayla boyanmıştır. Denemelerin yapılışı aşağıda açıklanmaktadır.

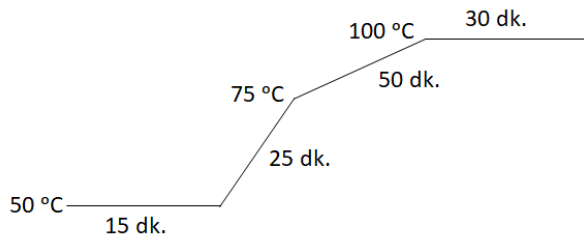
- Lazer İşlemi

Akrilik kumaşlarda da lazer işleminin koşulları için ön denemeler yapılmış ve Bölüm 3.1.1.1’de verilen şekilde çalışmanın uygun olacağına karar verilmiştir. Lazer işlemi uygulanmış numunelere patlama mukavemeti, sarılık indeksi tayini, tarayıcı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dağıtıcı x-ışını (EDX) analizi ve Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) analiziyapılmıştır.

- Bazik (Katyonik) Boyama

İşlem görmemiş ve lazer ile çeşitli koşullarda işlem görmüş tüp formundaki çoraplardan kesilerek alınan çorap kumaşı numuneleri kırmızı renkli Astrazon Red FBL (CI Basic Red 46) ticari isimli bazik boya ile (Dystar) %2'lik koyulukta boyama işlemlerine tabi tutulmuştur. Boyama işlemleri her numune ayrı bir tüpte olacak şekilde Termal HT Laboratuvar tipi (Yılmak Makine HBM 50 S) boyama cihazında gerçekleştirilmiştir.

Flotte oranı tüm boyama işlemlerinde 1:20 olarak alınmıştır. Boyama başlangıcında asetik asit ile flottenin pH'ı 4,5-5'e ayarlanmıştır. Boyama işlemine 50 °C'ta başlanmıştır ve 15 dk. sonra ısıtılarak 75 dk. içerisinde 100 °C'a çıkılarak 30 dakika boyama işlemi yapılmıştır. Boyama sonrası flotteler boşaltılmış ve kumaş numunelerine sırasıyla; soğuk su ve sıcak su ile 10 dk. taşar durulama uygulanmıştır. Boyama grafiği Şekil 3.2'de verilmektedir



Şekil 3.2. Denemelerde kullanılan bazik boyama grafiği

Boyanan kumaş numunelerinin spektrofotometre ile renk verimi (K/S) değerleri ölçülmüş ve yıkama, sürtme (kuru ve yaş) ve ter (asidik ve alkali) haslığı testleri yapılmıştır.

3.2.2. Boyama sonrası lazer ile bazik boyalı poliakrilonitril çoraplarda desenlendirme olanaklarının incelenmesi

Bu gruptaki denemelerde ise akrilik çoraplar önce kırmızı renkli bazik boya ile %2'lik koyulukta Bölüm 3.2.1'de verilen koşullarda boyanmış, ardından boyalı kumaşlara farklı çözünürlük (10, 20 ve 30 dpi) ve piksel sürelerinde (80, 100 ve 120 µs) lazer ile işlem yapılarak kumaşların renginde ve haslıklarında meydana gelen değişimler incelenmiştir. Yalnız bu deney grubunda boyama işlemleri doğrudan çorap formunda numune boyama kazanında gerçekleştirilmiştir. Her renk için 10 çift çorap boyanmış ve daha sonra birisine lazer işlemi yapılmayıp geri kalanlara Çizelge 3.1'de verilen 9 farklı koşulda lazer işlemi uygulanmıştır. Lazer işlemi sonrası lazer uygulanmamış ve farklı koşullarda lazer işlemi uygulanmış çorap

kumaşlarının spektrofotometre ile renk verimi (K/S) değerleri ölçülmüş ve yıkama, sürtme (kuru ve yaş) ve ter (asidik ve alkali) haslığı testleri yapılmıştır.

3.3. Boyama Sonrası Lazer ile Kimyasal Modifikasyon Yoluyla Ön Yüz Boyalı Pamuk/Poliakrilonitril Karışımı İplik / Arka Yüz Siyah Boyalı PES/Elastan İplik Olacak Şekilde Üretilmiş Taytlarda Desen Eldesi

Denemelerde ön yüzü indigo boyalı %70/30 pamuk/poliakrilonitril Ne 30/1 iplikten ve arka yüzü siyah boyalı 150 denye/148 filament poliestere/44 denye elastandan oluşan single cover gipe iplik karışımından oluşan (sıra sıklığı: 19 çubuk/cm, çubuk sıklığı: 25 çubuk/cm, kumaş ağırlığı: 345 g/m²) vanize örgü taytlar kullanılmıştır. Bu taytlara Çizelge 3.1’de verilen farklı çözünürlük (10, 20 ve 30 dpi) ve piksel sürelerinde (80, 100 ve 120 µs) lazer ile işlem yapılarak kumaşların renginde, haslıklarında ve mukavemetinde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Daha sonra elde edilen sonuçların ışığı altında, ön yüzü indigo boyalı pamuk/poliakrilonitril iplik ve arka yüzü siyah poliestere/elastan iplikten oluşan taytlara bölgesel olarak 10 dpi 80 µs ve 20 dpi 120 µs lazer işlemi yapılmış ve tayt üzerinde desen elde edilmiştir.

Yapılan Test ve Analizler

- Patlama Mukavemeti

Çorapların lazer işlemi sırasında hasar görüp görmediğini belirlemek için, çorapları oluşturan kumaşlar ISO 13938:2 1999 standardına göre pnömatik James H. Heal cihaz ile test edilmiştir.

- Sarılık İndeksi

Lazer işleminin numunelerin sarılık derecesi üzerindeki etkisini belirlemek için, lazerle işleme tabi tutulan örneklerin sarılık indeksleri ASTM E313 standardına göre X-rite spektrofotometresi kullanılarak 10° gözlemci açısı ile D65 ışık kaynağı altında ölçülmüştür. Her numunenin üç ölçümünden ortalama değer alınmıştır.

- Tarayıcı Elektron Mikroskopisi (SEM)

Lazer işlemi sonucu liflerin yüzey yapılarında bir değişim meydana gelip gelmediğini saptamak amacıyla Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Uygulama ve Araştırma Merkezi’nde (NABİLTEM) bulunan FEİ marka Quanta FEG 250 model tarayıcı

electron mikroskobu (SEM) kullanılarak numunelerin SEM fotoğrafları çekilmiştir. Ayrıca, liflerin elementel bileşimini elde etmek için enerji dağıtıcı x-ışını (EDX) analizi de gerçekleştirilmiştir.

- Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR)

Lazer işlemi sonucu liflerin fonksiyonel gruplarında meydana gelen değişimleri saptamak amacıyla NABİLTEM’de bulunan Bruker marka Vertex 70 ATR model Fourier dönüşümlü kızılötesi spektrofotometresi kullanılarak numunelerin FT-IR ölçümleri yapılmıştır.

- Renk Ölçümü

Kumaşların remisyon (%R) değerlerinin ölçümleri D65 gün ışığı altında, 10° gözlem açısı altında yapılmıştır. 400-700 nm’lik spektral bölgede ve maksimum absorpsiyon (minimum remisyon) dalga boyunda ölçülen remisyon (%R) değerleri ile Kubelka-Munk eşitliğinden faydalanılarak renk verimi (K/S) değerleri hesaplanmıştır.

$$K/S = (1-R)^2/(2*R) \quad (3.1)$$

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

K =Absorsiyon katsayısı

S =Yansıma katsayısı

Spektral fotometre ile numunelerin ayrıca CIEL*a*b* değerleri ölçülmüştür.

L*: Açıklık/koyuluk değeri (0: ideal siyah, 100: ideal beyaz)

a*: Kırmızılık/yeşillik değeri (+ daha kırmızı, - daha yeşil)

b*: Sarılık/mavilik değeri (+ daha sarı, - daha mavi)

- Yıkamaya karşı renk haslığı tayini: Boyanmış numunelerin yıkamaya haslığı tayini TS-7584’e (ISO-105 C06) göre yapılmış ve gri skala ile değerlendirilmiştir. Yıkama haslığı tayini için bir yüzüne multifiber dikilmiş olan numune, 60 °C’ta 30 dakika süreyle 4 g/L’lik deterjan çözeltisiyle işleme tabi tutulmuştur.

- Sürtünmeye karşı renk haslığı tayini: Numunelerin sürtünmeye karşı renk haslığı tayini TS-717’ye (ISO 105-X12) göre sürtünme test cihazı (crockmeter) ile kuru ve yaş olarak yapılmış ve gri skala ile değerlendirilmiştir.

- Ter haslığı tayini: Numunelerin asidik ve alkali ter haslığı ISO 105-E04’e göre yapılmış ve gri skala ile değerlendirilmiştir.

- Işığa karşı renk haslığı tayini: Boyalı numunelerin ışığa karşı renk haslığı tayini TS-1008'e (ISO 105 B02) göre yapılmış ve mavi skala ile değerlendirilmiştir.



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Lazer ile Kimyasal Modifikasyonun Pamuk Liflerinin Boyanabilirliği Üzerine Etkisinin İncelenmesi

4.1.1. Pamuğun Lazer ile Modifikasyonuna İlişkin Laboratuvar Ölçekli Denemeler

4.1.1.1. Boyama öncesi lazer ile kimyasal modifikasyonun pamuk liflerinin boyanabilirliği üzerine etkisinin incelenmesine ilişkin sonuçlar

- Patlama Mukavemeti

Çizelge 4.1’de farklı koşullarda (yani çözünürlük ve piksel süresi) lazer ön işlemi uygulanmış pamuklu çorap kumaşlarının patlama mukavemeti ve mukavemet kaybı (%) değerleri verilmektedir.

Çizelge 4.1. Lazerle farklı çözünürlük ve piksel sürelerinde işlem gören pamuklu çorap kumaşlarının patlama mukavemeti (kPa) ve mukavemet kaybı (%) değerleri

No	Çözünürlük (dpi)	Piksel Süresi (μ s)	Patlama Mukavemeti (kPa)	Mukavemet Kaybı (%)
1	-	-	220,18	Referans
2	10	80	206,45	6,24
3	10	100	193,60	12,07
4	10	120	190,77	13,36
5	20	80	197,63	10,24
6	20	100	187,20	14,98
7	20	120	182,93	16,92
8	30	80	163,83	25,59
9	30	100	138,63	37,04
10	30	120	111,17	49,51

Çizelge 4.1’den, lazer işleminin tüm numuneler için patlama mukavemetinin azalmasına neden olduğu görülebilir. 30 dpi’de yapılan lazer işlemi en fazla zarara yol açarken bunu 20 dpi ve 10 dpi izlemektedir. Piksel süresi ile ilgili olarak, piksel süresi ne kadar yüksek

olursa patlama mukavemetinin o kadar düştüğü söylenebilir. Dolayısıyla bu, lazer ışmasına maruz bırakıldıktan sonra numunelerin zarar gördüğü anlamına gelmektedir. Patlama mukavemeti değerlerinin çözünürlük ve piksel süresi arttıkça azalmasının nedeninin, literatürde belirtildiği gibi lazer güç yoğunluğundaki artışla ilişkili olduğu düşünülmektedir (Chow vd., 2012). Kumaş mukavemeti 30 dpi çözünürlükte ve 120 µs piksel süresinde %49,51 azalmıştır ki bu en yüksek mukavemet düşüştür. 10 dpi ve 80 µs piksel süresinde işlem gören kumaş numuneleri ise mukavemette en az azalmayı göstermiştir.

- Sarılık indeksi

İşlemsiz ve çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş pamuklu çorapların sarılık indeksi değerleri Çizelge 4.2’te gösterilmektedir.

Çizelge 4.2. Lazerle farklı çözünürlük ve piksel sürelerinde işlem gören pamuklu çorapların sarılık indeksi değerleri

No	Çözünürlük (dpi)	Piksel Süresi (µs)	L*	a*	b*	Sarılık İndeksi
1	-	-	86,45	1,75	14,10	28,71
2	10	80	85,94	1,77	14,38	29,36
3	10	100	86,30	1,77	14,01	28,60
4	10	120	85,52	1,63	13,95	28,53
5	20	80	86,22	1,81	14,46	29,47
6	20	100	86,05	2,00	14,87	30,40
7	20	120	85,05	2,35	16,25	33,40
8	30	80	83,07	2,92	17,54	36,77
9	30	100	79,24	4,22	20,18	43,97
10	30	120	73,61	5,60	22,69	52,23

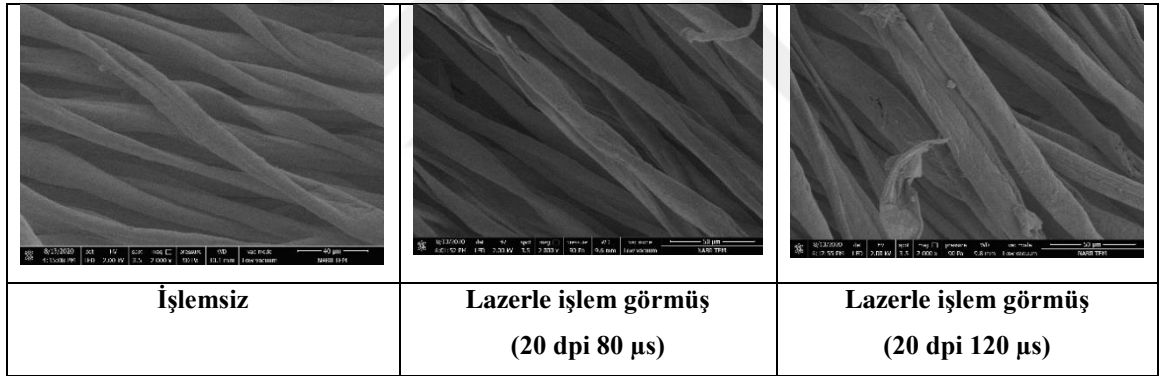
CO₂ lazer uygulamasına maruz bırakılan pamuklu kumaşlardaki sararmanın belirlenebilmesi için sarılık indeksi değerleri kullanılabilir. Çizelge 4.2, piksel süresi uzadığında, düşük çözünürlükte (10 dpi) sarılık derecesinin değişmediğini göstermektedir. Ancak çözünürlük orta (20 dpi) veya yüksek (30 dpi) iken, sarılık derecesi artmıştır. Diğer yandan sarılık derecesi çözünürlük artışı ile birlikte istikrarlı bir şekilde artmıştır. Lazer ile

işlem görmemiş numune en düşük sarılık indeks değerine sahip iken, 30 dpi ve 120 μm 'de lazer ile işlem görmüş numune en yüksek sarılık indeks değerine sahiptir. Lazerle işlem görmüş numunelerde sarılıktaki artışın ana nedeni, lazer işlemine tabi tutulduktan sonra kumaşın yüzeyinde oksidasyon meydana gelmesidir (Chow vd., 2012).

- SEM Analizi

Lazerle işlem görmüş pamuk numunelerinin yüzey morfolojisindeki değişim SEM analizi ile incelenmiştir. Patlama mukavemeti ve sarılık indeks değerleri gözönünde bulundurulduğunda, pamuklu çorapların boyanabilirliğini değiştirebilmek için lazer işleminde 20 dpi çözünürlük değeri aşılmamalıdır. Diğer yandan 10 dpi önemli derecede bir etki yaratmamıştır. Bu nedenle, pamuklu çoraplarda lazer işleminin 20 dpi çözünürlükte yapılması gerektiği anlaşılmış ve SEM analizi yalnızca 20 dpi'de 80 ve 120 μs işleme maruz bırakılmış örnekler uygulanmıştır. Sonuçlar Çizelge 4.3'te verilmektedir.

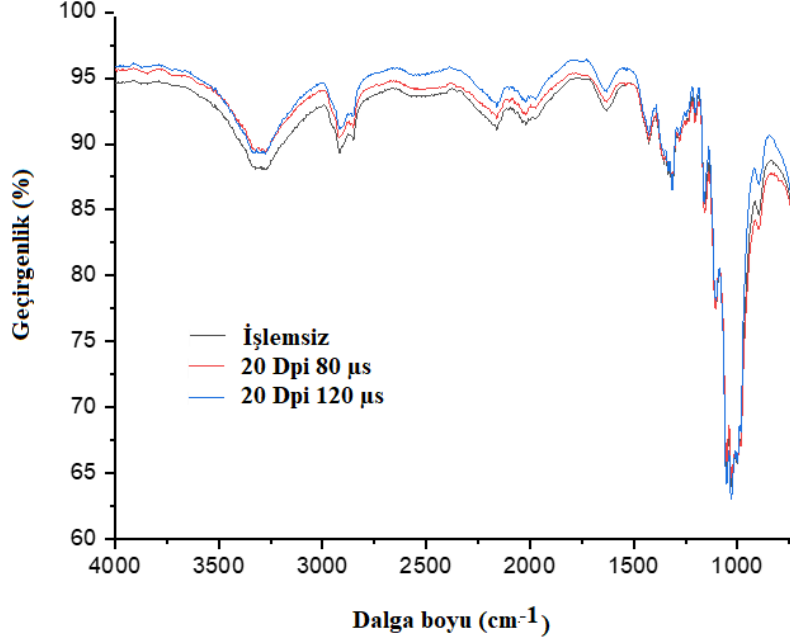
Çizelge 4.3. İşlemsiz ve lazerle işlem görmüş pamuklu çorap numunelerinin SEM fotoğrafları (X2000)



Çizelge 4.3'ten görülebileceği gibi, pamuk lifi yüzeyi kıvrımlı ve pürüzsüzdür. Kırık çizgileri ve lif ekseninin yönüne paralel bazı oluklar da belirgindir. Öte yandan, lazerle işlem görmüş (20 dpi'de 120 μs) lif yüzeyinde farklı gözenek boyutlarının oluştuğu açıktır. Ayrıca, Chow vd. (2012)'nin belirttiği gibi lif yüzeyi hafifçe soyulurken bazı çatlaklar oluşmuştur.

- FTIR-ATR

Lazer işlemiyle lif yapısında ne tür değişikliklerin meydana geldiğini belirlemek için ATR / FT-IR analizi yapılmış olup elde edilen sonuçlar Şekil 4.1'de sunulmaktadır.



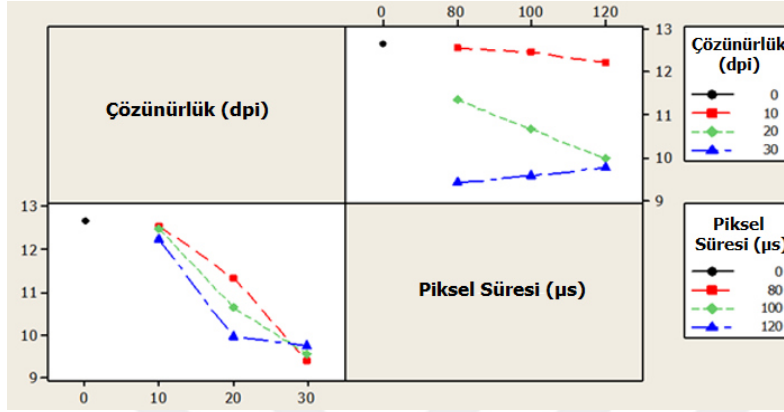
Şekil 4.1. İşlemsiz ve lazer ile işlem görmüş pamuk numunelerinin ATR/FT-IR spektrumları

Şekil 4.1 incelendiğinde liflerin ATR/FTIR spektrumlarının 3300, 1050 ve 1035 cm^{-1} dolaylarında çok belirgin pikler verdiği, 2900, 1420, 1330 ve 1210-1320 cm^{-1} dolaylarında ise diğerlerine kıyasla az olmakla birlikte yine de belirgin pikler verdiği görülmektedir. Tüm bu pikler pamuk liflerindeki selüloz yapısı ile ilişkilidir. 3300 cm^{-1} civarındaki pik “O-H” bağlarını gösterirken, 1060, 1035 ve 1210-1320 cm^{-1} civarındaki pikler sırasıyla hidroksil grubunun bağlı olduğu “C-O” ve eter grubuna ait “-O-” bağlarını göstermektedir. 2900 cm^{-1} ’deki pik, organik materyallerin çoğunda bulunan C-H gerilmesinin karakteristiğidir. Son olarak, 1420 ve 1330 cm^{-1} ’deki pikler, selüloz yapısında bulunan hidroksil gruplarıdır (Hartzell-Lawson ve Hsieh, 2000).

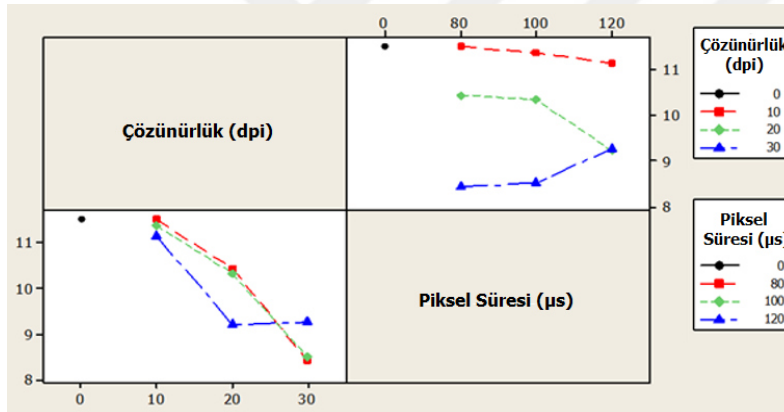
Lazer uygulamasından sonra, lazer işlemi görmüş (20 dpi 80 μs ve 20 dpi 120 μs) numunelerin hidroksil gruplarına karşılık gelen 3300 cm^{-1} bölgesindeki piklerin yoğunluğunda bir azalma meydana gelmiştir. Hidroksil gruplarındaki azalma, lazer ışımalarının neden olduğu termal bozulmadan ve -OH gruplarının oksidasyonundan kaynaklanmaktadır (Ferrero vd., 2002).

- Boyanabilirlik

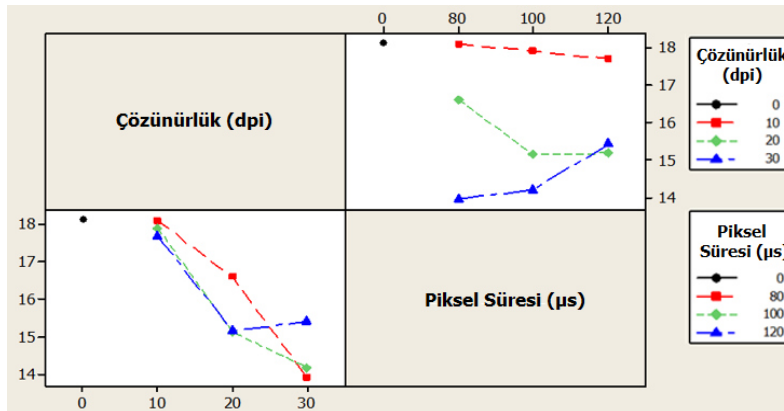
Farklı Çözünürlük ve piksel sürelerinde lazerle ön işlem görmüş ve işlemsiz pamuklu çorap kumaşı numunelerinin reaktif boyarmaddelerle %2'lik koyulukta boyanması sonucu elde edilen renk verimi değerlerine ilişkin ikili etkileşimler Şekil 4.2-4.4'te verilmektedir.



Şekil 4.2. Çeşitli koşullarda lazerle ön işlem görmüş ve işlemsiz pamuklu çorap kumaşı numunelerinin Remazol Yellow RR boyarmaddesi ile boyanması sonucu elde edilen renk verimi değerlerine ilişkin ikili etkileşimler



Şekil 4.3. Çeşitli koşullarda lazerle ön işlem görmüş ve işlemsiz pamuklu çorap kumaşı numunelerinin Remazol Red RR boyarmaddesi ile boyanması sonucu elde edilen renk verimi değerlerine ilişkin ikili etkileşimler



Şekil 4.4. Çeşitli koşullarda lazerle ön işlem görmüş ve işlemsiz pamuklu çorap kumaşı numunelerinin Remazol Blue RR boyarmaddesi ile boyanması sonucu elde edilen renk verimi değerlerine ilişkin ikili etkileşimler

Şekil 4.2-4.4 incelendiğinde ilk dikkati çeken husus her üç boyarmadde ile yapılan boyamada da lazer ile işlem görmüş kumaş numunelerinin işlemsize göre daha açık boyandığıdır. %2'lik boyamadan sonra işlemsiz kumaş numunesi en yüksek K/S değerine sahipken, 30 dpi lazer ile muamele edilmiş kumaş numuneleri en düşük K/S değeri vermişlerdir. Ayrıca, piksel süresi 80 µs olacak şekilde lazerle muamele edilen boyalı kumaş numunelerinin renk verimi, 100 µs ve 120 µs olacak şekilde muamele edilen numunelerden daha yüksek çıkmıştır. Genel olarak çözünürlük ve piksel süresi arttıkça renk verimi değerlerinin azaldığı söylenebilir. Bununla birlikte, lazer işlemi 30 dpi'de gerçekleştirildiğinde ilginç bir eğilim gözlenmiştir. Bu çözünürlükte, daha düşük piksel sürelerinde (yani 80 µs) lazerle muamele edilen numunelerin K/S değerleri, yüksek piksel sürelerinde (100 µs ve özellikle 120 µs) lazerle muamele edilen örneklerden daha düşük çıkmıştır. Lazerle muamele edilmiş kumaş numunelerinin renk verimi değerlerindeki azalmanın nedeninin, lazer ışınlamasına tabi tutulan kumaş yüzeyinde meydana gelen oksidasyondan kaynaklandığı düşünülmektedir.

ATR-FTIR sonuçları, pamuk lifinde bulunan hidroksil gruplarının lazer işleminin oksidatif etkisi ile azaldığını doğrulamaktadır. Oksidasyon sonucu hidroksil grupları karbonil / karboksil gruplarına dönüştüğünden, bu gruplara ilişkin pik yoğunluğunda azalma olmaktadır. Bu dönüşüm ise, reaktif boyaların pamuğa karşı afinitesini azaltmaktadır. Reaktif boyalar anyonik olduğundan, hidroksil gruplarının sulu ortamda anyonik olan karboksil gruplarına oksidasyonu nedeniyle pamuk yüzeyinin anyonik karakterindeki artış, boya-lif etkileşimini doğal olarak azaltmaktadır. Bu nedenle, lazerle işlem görmüş numunelerde daha düşük renk verimi değerlerinin elde edildiği düşünülmektedir. Ayrıca Çizelge 4.3'teki SEM görüntülerinde gösterildiği gibi, lazer kaynaklı gözenekler ve yüzeyi aşındırma etkileri daha yüksek piksel sürelerinde artmıştır. Pamuk liflerinin dış tabakalarından soyulma şeklinde parçalar kopmuş ve bu nedenle liflerdeki boya bağlanabilecek merkezler azalmıştır (Chow vd., 2002).

Buraya kadar yapılan açıklamalardan lazer ile işlemin liflerin yüzey negatif yükünü artırdığı ve aynı zamanda yüzeyinde gözenekler ve çatlaklar oluştuğu anlaşılmaktadır. Aslında bunlardan ilkinin boya alımını azaltıcı etki göstermesi beklenirken, ikincisi lif yapısını daha kolay erişilebilir hale getireceğinden boya alımını artırıcı etki göstermelidir. Sonuçta ilk etki daha ağır bastığı için liflerin toplamda boya alımı azalmaktadır. Ancak yüksek çözünürlükte lazer işlemi yapıldığında piksel süresi de arttığında muhtemelen ikinci etki daha baskın hale gelmekte ve sonuçta işlemsiz numuneye göre boya alımındaki düşüş azalmaktadır.

Farklı çözünürlük ve piksel sürelerinde lazerle ön işlem görmüş ve işlemsiz kumaş numunelerinin reaktif boyarmaddelerle %2'lik koyulukta boyanması sonucu elde edilen renk verimi değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları Çizelge 4.4-4.6'da verilmektedir.

Çizelge 4.4. Çeşitli koşullarda lazerle ön işlem görmüş ve işlemsiz pamuklu kumaş numunelerinin Remazol Yellow RR boyası ile boyanması sonucu elde edilen renk verimi değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları

Kaynak	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Çözünürlük (dpi)	2	37,0293	37,0293	18,5146	430,8900	0,0000
Piksel Süresi (µs)	2	0,9269	0,9269	0,4634	10,7900	0,0010
Çözünürlük (dpi) * Piksel Süresi (µs)	4	2,3154	2,3154	0,5789	13,4700	0,0000
Hata	18	0,7734	0,7734	0,0430		
Toplam	26	41,0450				
S = 0,207289		R-Sq = %98,12		R-Sq(adj) = %97,28		

Çizelge 4.5. Çeşitli koşullarda lazerle ön işlem görmüş ve işlemsiz pamuklu kumaş numunelerinin Remazol Red RR boyası ile boyanması sonucu elde edilen renk verimi değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları

Kaynak	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Çözünürlük (dpi)	2	30,5051	30,5051	15,2525	469,2000	0,0000
Piksel Süresi (µs)	2	0,3252	0,3252	0,1626	5,0000	0,0190
Çözünürlük (dpi) * Piksel Süresi (µs)	4	3,9230	3,9230	0,9807	30,1700	0,0000
Hata	18	0,5851	0,5851	0,0325		
Toplam	26	35,3383				
S = 0,180299		R-Sq = % 98,34		R-Sq(adj) = %97,61		

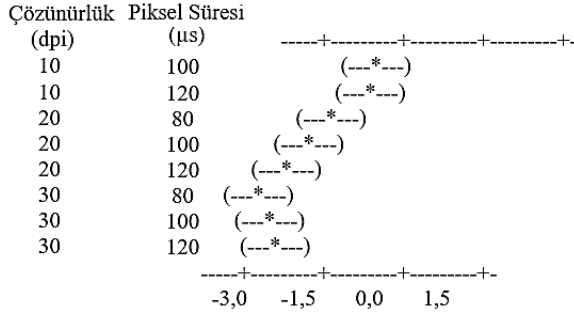
Çizelge 4.6. Çeşitli koşullarda lazerle ön işlem görmüş ve işlemsiz pamuklu kumaş numunelerinin Remazol Blue RR boyası ile boyanması sonucu elde edilen renk verimi değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları

Kaynak	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Çözünürlük (dpi)	2	53,7242	53,7242	26,8621	577,0800	0,0000
Piksel Süresi (µs)	2	1,0721	1,0721	0,5360	11,5200	0,0010
Çözünürlük (dpi) * Piksel Süresi (µs)	4	7,1766	7,1766	1,7942	38,5400	0,0000
Hata	18	0,8379	0,8379	0,0465		
Toplam	26	62,8108				
S = 0,215752		R-Sq = %98,67		R-Sq(adj) = %98,07		

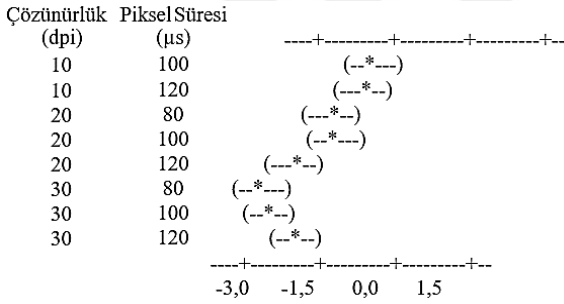
Çizelge 4.4-4.6 incelendiğinde her üç boyarmadde ile yapılan boyamada da çözünürlük ve piksel süresi parametrelerinin ve bunların ikili etkileşimlerinin her birinin etkisinin

istatistiksel olarak önemli ($p < 0,05$) olduğu görülmektedir. Her bir parametre için farklılığın kaynağını görmek için Tukey testi de yapılmış olup sonuçlar Çizelge 4.7-4.9’da verilmektedir.

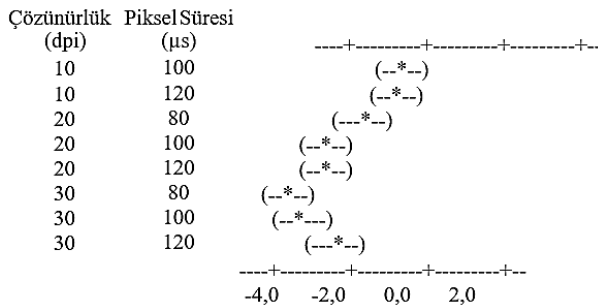
Çizelge 4.7. Çeşitli koşullarda lazerle ön işlem görmüş ve işlemsiz pamuklu kumaş numunelerinin Remazol Yellow RR ile boyanması sonucu elde edilen renk verimi değerlerine ilişkin Tukey (%95 güven aralığı) test sonuçları (Çözünürlük(dpi) = 10, PikselSüresi(μs) = 80)



Çizelge 4.8. Çeşitli koşullarda lazerle ön işlem görmüş ve işlemsiz pamuklu kumaş numunelerinin Remazol Red RR ile boyanması sonucu elde edilen renk verimi değerlerine ilişkin Tukey (%95 güven aralığı) test sonuçları (Çözünürlük (dpi) = 10, PikselSüresi (μs) = 80)



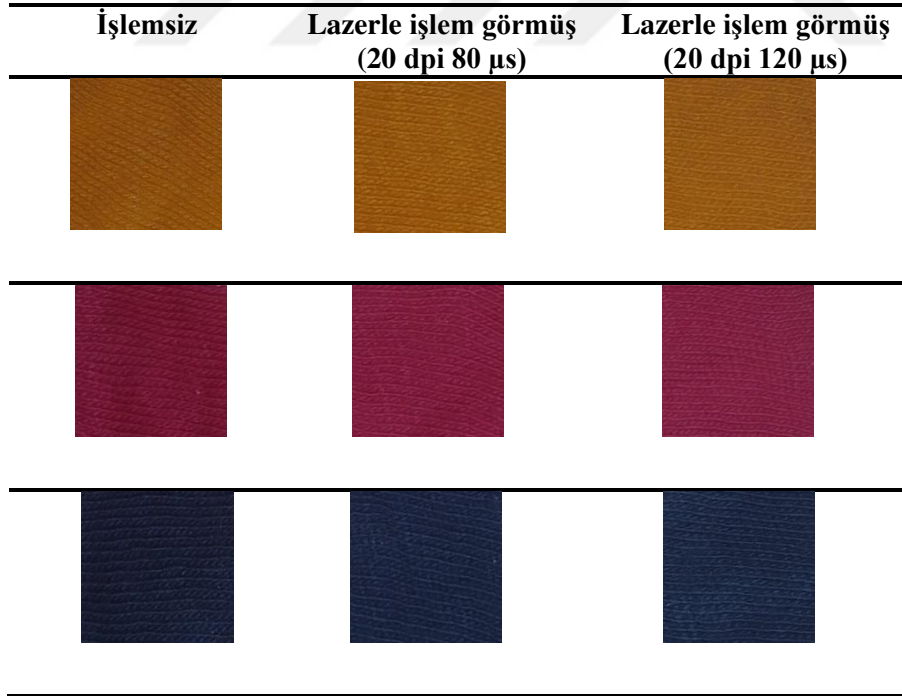
Çizelge 4.9. Çeşitli koşullarda lazerle ön işlem görmüş ve işlemsiz pamuklu kumaş numunelerinin Remazol Blue RR ile boyanması sonucu elde edilen renk verimi değerlerine ilişkin Tukey (%95 güven aralığı) test sonuçları (Çözünürlük (dpi) = 10, Piksel Süresi (μs) = 80)



Çizelge 4.7-4.9 incelendiğinde her üç boyarmadde ile yapılan boyamada da 10 dpi 80 μs , 10 dpi 100 μs ve 10 dpi 120 μs 'in 1 grup; 20 dpi 120 μs , 30 dpi 80 μs , 30 dpi 100 μs ve 30 dpi 120 μs 'in ikinci bir grup oluşturduğu ve bu iki gruptaki numuneler arasındaki farkların istatistiksel olarak önemli olduğu anlaşılmaktadır. 20 dpi 80 μs ve 20 dpi 100 μs 'in ise bu iki

grubun arasında olduğu ve iki grup ile de arasındaki farkın önemsiz olduğu söylenebilir. Bu çalışmanın amacı daha önce açıklandığı üzere pamuklu çoraplarda bölgesel olarak farklı dozlarda lazer uygulayarak ve ardından reaktif boyama yaparak aynı rengin farklı tonlarının eldesi olduğundan, işlemsize göre önemli renk farkı yaratabilecek lazer işlem koşullarının saptanması gerekmektedir. Bu noktada birinci gruptaki koşullar arasında Şekil 4.2, 4.3 ve 4.4'ten de görülebileceği üzere işlemsize göre en belirgin farkı yaratan 20 dpi 80 µs olduğundan bu numune seçilmiştir. İkinci gruptaki koşullar arasında hem renk açısından önemli bir fark olmadığından hem de Çizelge 4.1'de verilen mukavemet kayıpları değerlerinden görülebileceği gibi 30 dpi'de işlem gören numuneler aşırı zarar görmüş olduğundan 20 dpi 120 µs koşullarında işlem gören numune seçilmiştir. Böylece pamuklu çorap üzerinde bazı bölgelere lazer ile işlem uygulamayıp, bazı bölgelere 20 dpi 80 µs, bazı bölgelere ise 20 dpi 120 µs lazer uygulandıktan sonra çorap reaktif boya ile boyanacak olursa aynı rengin farklı tonları elde edilebilecektir. Çizelge 4.10'da işlemsiz, 20 dpi 80 µs ve 20 dpi 120 µs lazer işlemine tabi tutulmuş kumaşların sarı, kırmızı ve mavi renkli reaktif boyalarla boyanmasına ilişkin numunelerin fotoğrafları verilmektedir.

Çizelge 4.10. İşlemsiz ve boyama öncesi lazerle işlem görmüş pamuklu kumaş numunelerinin fotoğrafları



Çizelge 4.10 incelendiğinde işlemsiz numuneye göre lazer ile ön işlem görmüş numunelerin daha açık renge boyandığı görülmektedir. Farklı çözünürlük ve piksel sürelerinde lazerle ön işlem görmüş ve işlemsiz çorap kumaşı numunelerinin reaktif boyarmaddelerle

%2'lik koyulukta boyanması sonucu elde edilen CIE L*a*b* değerleri Çizelge 4.11-4.13'te verilmektedir.

Çizelge 4.11. Çeşitli koşullarda lazerle ön işlem görmüş ve işlemsiz pamuklu kumaş numunelerinin Remazol Yellow RR boyarmaddesi ile boyanması sonucu elde edilen CIE L*a*b* değerleri

No	Çözünürlük (dpi)	Piksel Süresi (µs)	L*	a*	b*	C*	h°
1	-	-	66,82	31,38	73,23	79,67	66,81
2	10	80	67,66	31,87	74,78	81,29	66,92
3	10	100	67,61	31,70	74,58	81,04	66,97
4	10	120	67,34	31,76	73,74	80,29	66,69
5	20	80	67,89	31,33	73,16	79,59	66,81
6	20	100	68,15	31,88	72,26	78,97	66,10
7	20	120	68,34	32,19	71,26	77,62	66,65
8	30	80	68,47	30,91	70,30	76,79	66,27
9	30	100	68,10	30,23	70,00	76,25	66,64
10	30	120	68,45	30,53	70,99	77,28	66,77

Çizelge 4.12. Çeşitli koşullarda lazerle ön işlem görmüş ve işlemsiz pamuklu kumaş numunelerinin Remazol Red RR boyarmaddesi ile boyanması sonucu elde edilen CIE L*a*b* değerleri

No	Çözünürlük (dpi)	Piksel Süresi (µs)	L*	a*	b*	C*	h°
1	-	-	43,32	54,37	1,50	54,40	1,58
2	10	80	43,65	55,16	1,10	55,17	1,14
3	10	100	43,75	55,18	0,95	55,19	0,98
4	10	120	43,91	54,80	0,50	54,80	0,52
5	20	80	44,28	54,25	0,60	54,25	0,63
6	20	100	44,19	54,34	0,78	54,34	0,82
7	20	120	45,07	53,14	-0,04	53,14	239,96
8	30	80	45,77	52,30	0,01	52,31	240,01
9	30	100	45,95	52,91	0,16	52,91	120,17
10	30	120	44,92	53,17	0,58	53,17	0,62

Çizelge 4.13. Çeşitli koşullarda lazerle ön işlem görmüş ve işlemsiz pamuklu kumaş numunelerinin Remazol Blue RR boyarmaddesi ile boyanması sonucu elde edilen CIE L*a*b* değerleri

No	Çözünürlük (dpi)	Piksel Süresi (µs)	L*	a*	b*	C*	h°
1	-	-	27,67	-6,16	-17,50	18,55	250,62
2	10	80	27,59	-5,94	-18,39	19,33	252,10
3	10	100	27,68	-5,98	-18,24	19,20	251,85
4	10	120	27,91	-6,12	-18,24	19,24	251,37
5	20	80	28,44	-6,11	-18,13	19,13	251,38
6	20	100	29,53	-6,29	-17,91	18,98	250,66
7	20	120	29,23	-6,24	-17,79	18,83	250,66
8	30	80	30,40	-6,39	-17,45	18,59	249,89
9	30	100	30,16	-6,44	-17,74	18,87	250,05
10	30	120	28,76	-6,25	-17,59	18,68	250,43

Çizelge 4.11, 4.12 ve 4.13 incelendiğinde lazer ile işlemin rengin nüansı (a* ve b* değerleri) ve cinsinden (h° değeri) ziyade açıklık-koyuluğunu (L* değeri) değiştirdiği görülmektedir. Genel olarak lazerle işlem görmüş numunelerde L* değerlerinin uygulanan çözünürlük ve piksel süresine bağlı olarak arttığı, yani rengin açıldığı söylenebilir.

- Haslık

Boyanmış numunelerin yıkama (60°C'ta), sürtme (kuru ve yaş), ışııkve ter (asidik ve alkali) haslığı değerleri test edilmiş olup sonuçlar Çizelge 4.14 ve 4.15'te verilmektedir.

Çizelge 4.14. Çeşitli koşullarda lazerle ön işlem görmüş ve işlemsiz pamuklu kumaş numunelerinin reaktif boyarmaddeler ile boyanması sonucu elde edilen yıkama, sürtme ve ışık haslığı değerleri

Boya	Lazer	Yıkama Hashğı					Sürtme Hashğı		Işık Hashğı	
		WO	PAC	PES	PA	CO	CA	Kuru		Yaş
Remazol Yellow RR	-	4	4	4/5	4/5	3	4	4/5	3/4	4/5
	20 dpi 80 µs	4	4	4/5	4/5	3	4	4/5	3	4/5
	20 dpi 120 µs	3/4	4	4/5	4/5	3	4	4/5	3	4/5
Remazol Red RR	-	4	4	4/5	4/5	3	4	4/5	3	4
	20 dpi 80 µs	4	4	4/5	4/5	3	4	4/5	3	4
	20 dpi 120 µs	4	4	4/5	4/5	2/3	4	4/5	2/3	4
Remazol Blue RR	-	4	4	4/5	4/5	3	4	4/5	3	3/4
	20 dpi 80 µs	4	4	4/5	4/5	3	4	4/5	3	3/4
	20 dpi 120 µs	3/4	4	4/5	4/5	2/3	4	4/5	2/3	3/4

Çizelge 4.15. Çeşitli koşullarda lazerle ön işlem görmüş ve işlemsiz pamuklu kumaş numunelerinin reaktif boyarmaddeler ile boyanması sonucu elde edilen asidik ve alkali ter haslığı değerleri

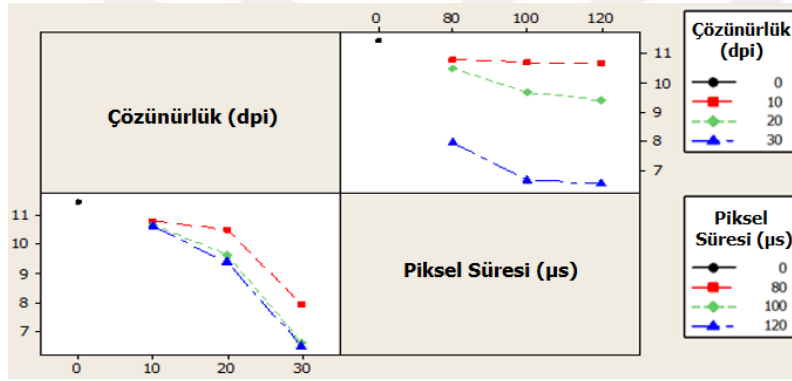
Boya	Lazer	Asidik Ter Hashğı						Alkali Ter Hashğı					
		WO	PAC	PES	PA	CO	CA	WO	PAC	PES	PA	CO	CA
Remazol Yellow RR	-	4/5	4/5	4/5	4	4	4	4/5	4	4/5	4	3	3/4
	20 dpi 80 µs	4/5	4/5	4/5	3/4	3/4	3/4	4/5	4	4/5	3/4	2/3	3
	20 dpi 120 µs	4/5	4	4/5	3/4	3/4	3/4	4/5	4	4/5	3/4	2/3	3
Remazol Red RR	-	4	4	4/5	3/4	2/3	3	4/5	4	4/5	4	2/3	3
	20 dpi 80 µs	4	4	4/5	3/4	2/3	3	4/5	4	4/5	4	2/3	3
	20 dpi 120 µs	4	4	4/5	3/4	2/3	3	4/5	4	4/5	4	2/3	3
Remazol Blue RR	-	4	4	4/5	3/4	2/3	3	4	4	4/5	3/4	2/3	3
	20 dpi 80 µs	4	4	4/5	3/4	2/3	3	4	4	4/5	3/4	2/3	3
	20 dpi 120 µs	4	4	4/5	3	2/3	3	4	4	4/5	3/4	2/3	3

Çizelge 4.14 ve 4.15 incelendiğinde genel olarak işlemsiz ve lazer ile işlem görmüş numunelerin haslık değerleri arasında önemli bir farklılık olmadığı söylenebilir. Yalnız yaş

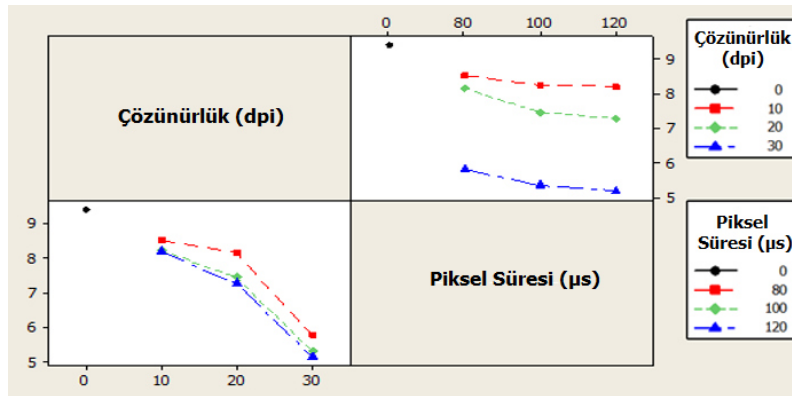
sürtme haslığı değerlerinde yarım puanlık düşüşler dikkat çekmektedir. Bu durumun nedeni literatürde, liflerin dış yüzeyinin zarar görmesi (SEM fotoğraflarından görülmektedir) ve bazı zayıf noktalar oluşması sonucu daha kolay sürtmeye maruz kalmasına dayandırılmıştır (Chow vd., 2012).

4.1.1.2. Boyama sonrası lazer ile reaktif boyalı pamuklu çoraplarda desenlendirme olanaklarının incelenmesine ilişkin sonuçlar

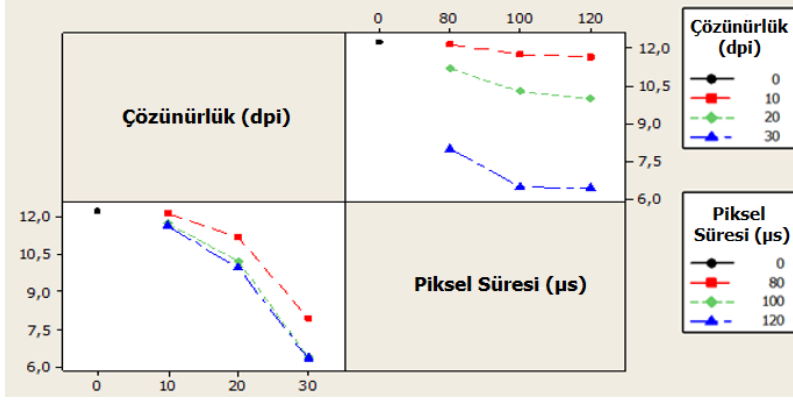
Sarı, kırmızı ve mavi renkli reaktif boyarmaddeler ile %2'lik koyulukta boyama sonrası farklı çözünürlük ve piksel sürelerinde lazerle işlem görmüş ve işlemsiz pamuklu çorap kumaşı numunelerinden elde edilen renk verimi değerlerine ilişkin ikili etkileşimler Şekil 4.5, 4.6 ve 4.7'de verilmektedir.



Şekil 4.5. Remazol Yellow RR boyarmaddesi ile boyama sonrası çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz pamuklu kumaş numunelerinden elde edilen renk verimi değerlerine ilişkin ikili etkileşimler



Şekil 4.6. Remazol Red RR boyarmaddesi ile boyama sonrası çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz pamuklu kumaş numunelerinden elde edilen renk verimi değerlerine ilişkin ikili etkileşimler



Şekil 4.7. Remazol Blue RR boyarmaddesi ile boyama sonrası çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz pamuklu kumaş numunelerinden elde edilen renk verimi değerlerine ilişkin ikili etkileşimler

Şekil 4.5-4.7 incelendiğinde ilk dikkati çeken husus her üç boyarmadde ile yapılan boyamada da lazer ile işlem görmüş kumaş numunelerinin işlemsize göre daha açık renk tonuna sahip olduğudur. %2'lik boyamadan sonra işlemsiz kumaş numunesi en yüksek K/S değerine sahipken, 30 dpi lazer ile muamele edilmiş kumaş numuneleri en düşük K/S değeri vermişlerdir. Ayrıca, piksel süresi 80 µs olacak şekilde lazerle muamele edilen boyalı kumaş numunelerinin renk verimi, 100 µs ve 120 µs olacak şekilde muamele edilen numunelerden daha yüksek çıkmıştır. Genel olarak çözünürlük ve piksel süresi arttıkça renk verimi değerlerinin azaldığı söylenebilir. Ayrıca çözünürlüğün piksel süresine göre daha belirgin değişim yarattığı söylenebilir. Lazerle muamele edilmiş kumaş numunelerinin renk verimi değerlerindeki azalmanın nedeninin, lazer ışınlamasına tabi tutulan kumaş yüzeyindeki reaktif boyaların lazer enerjisi ile kromofor gruplarının zarar görmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Reaktif boya ile %2 koyulukta boyama sonrası farklı çözünürlük ve piksel sürelerinde lazerle işlem görmüş ve işlemsiz çorap kumaşı numunelerinden elde edilen renk verimi değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları Çizelge 4.16, 4.17 ve 4.18'de verilmektedir.

Çizelge 4.16. Remazol Yellow RR boyarmaddesi ile boyama sonrası çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz pamuklu kumaş numunelerinden elde edilen renk verimi değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları

Kaynak	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Çözünürlük (dpi)	2	133,015	133,015	66,508	1859,240	0,000
Piksel Süresi (µs)	2	8,434	8,434	4,217	117,890	0,000
Çözünürlük (dpi) * Piksel Süresi (µs)	4	3,231	3,231	0,808	22,580	0,000
Hata	45	1,610	1,610	0,036		
Toplam	53	146,290				

$$S = 0,189133 \quad R\text{-Sq} = \%98,90 \quad R\text{-Sq(adj)} = \%98,70$$

Çizelge 4.17. Remazol Red RR boyarmaddesi ile boyama çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz pamuklu kumaş numunelerinden elde edilen renk verimi değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları

Kaynak	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Çözünürlük (dpi)	2	81,641	81,641	40,821	1916,32	0,000
Piksel Süresi (µs)	2	3,693	3,693	1,847	86,690	0,000
Çözünürlük (dpi) * Piksel Süresi (µs)	4	0,523	0,523	0,131	6,140	0,000
Hata	45	0,959	0,959	0,021		
Toplam	53	86,816				

S = 0,145950 R-Sq = %98,90 R-Sq(adj) = %98,70

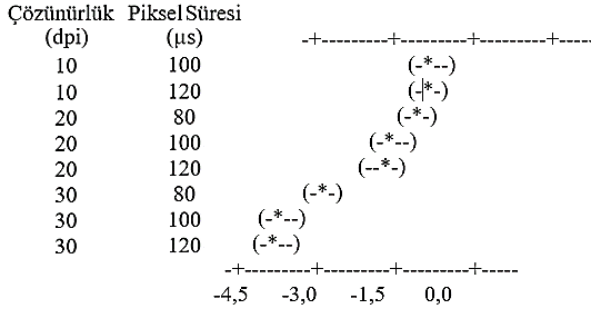
Çizelge 4.18. Remazol Blue RR boyarmaddesi ile boyama sonrası çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz pamuklu kumaş numunelerinden elde edilen renk verimi değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları

Kaynak	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Çözünürlük (dpi)	2	231,186	231,186	115,593	5282,560	0,000
Piksel Süresi (µs)	2	13,014	13,014	6,507	297,360	0,000
Çözünürlük (dpi) * Piksel Süresi (µs)	4	2,565	2,565	0,641	29,310	0,000
Hata	45	0,985	0,985	0,022		
Toplam	53	247,749				

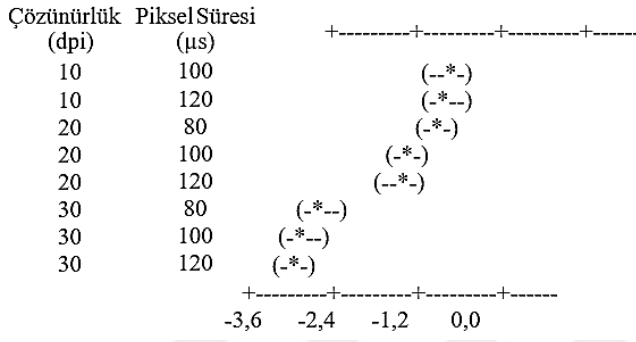
S = 0,147926 R-Sq = %99,60 R-Sq(adj) = %99,53

Çizelge 4.16, 4.17 ve 4.18 incelendiğinde her üç boyarmadde ile yapılan boyamada da çözünürlük ve piksel süresi parametrelerinin ve bunların ikili etkileşimlerinin her birinin etkisinin istatistiksel olarak önemli ($p < 0,05$) olduğu görülmektedir. Her bir parametre için farklılığın kaynağını görmek için Tukey testi de yapılmış olup sonuçlar Çizelge 4.19, 4.20 ve 4.21'de verilmektedir.

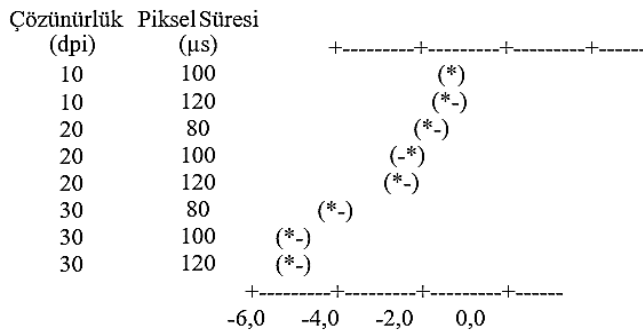
Çizelge 4.19. Remazol Yellow RR ile boyama sonrası çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz pamuklu kumaş numunelerinin renk verimi değerlerine ilişkin Tukey (%95 güven aralığı) test sonuçları (Çözünürlük (dpi) = 10, Piksel Süresi (µs) = 80)



Çizelge 4.20. Remazol Red RR ile boyama sonrası çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz pamuklu kumaş numunelerinin renk verimi değerlerine ilişkin Tukey (%95 güven aralığı) test sonuçları (Çözünürlük (dpi) = 10, Piksel Süresi (µs) = 80)




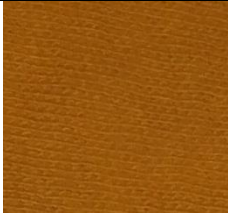



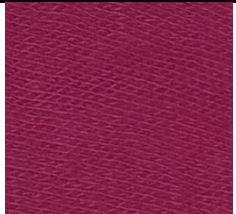
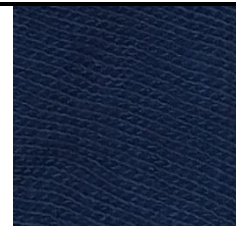
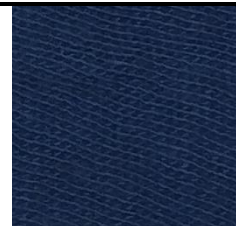
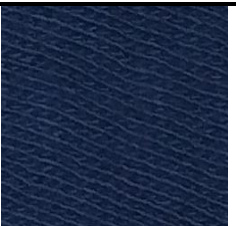
Çizelge 4.21. Remazol Blue RR ile boyama sonrası çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz pamuklu kumaş numunelerinin renk verimi değerlerine ilişkin Tukey (%95 güven aralığı) test sonuçları (Çözünürlük (dpi) = 10, Piksel Süresi (µs) = 80)



Çizelge 4.19, 4.20 ve 4.21 incelendiğinde her üç boyarmadde ile yapılan boyamada da 10 dpi 80 µs, 10 dpi 100 µs ve 10 dpi 120 µs'in bir grup; 20 dpi 100 µs ve 20 dpi 120 µs'in ikinci bir grup; 30 dpi 80 µs, 30 dpi 100 µs ve 30 dpi 120 µs'in üçüncü bir grup oluşturduğu ve bu üç gruptaki numuneler arasındaki farkların istatistiki olarak önemli olduğu anlaşılmaktadır. Buradaki amaç daha önce açıklandığı üzere reaktif boyalı pamuklu çoraplarda bölgesel olarak

farklı dozlarda lazer uygulayarak desen eldesi olduğundan, işlemsiz bölgeye göre önemli renk farkı yaratabilecek lazer işlem koşullarının saptanması gerekmektedir. Bu noktada birinci gruptaki koşullar arasında Şekil 6, 7 ve 8’den de görülebileceği üzere işlemsize göre en belirgin farkı yaratan koşullar arasında liflere zarar verme riski en düşük olan 10 dpi 100 µs seçilmiştir. İkinci gruptaki koşullar arasında ise renk açısından önemli bir fark olmadığından yine liflere zarar verme riski en düşük olan 20 dpi 100 µs seçilmiştir. Çok belirgin renk farkı yaratılmak istenildiğinde ise Şekil 4.5, 4.6 ve 4.7’den de görülebileceği üzere 30 dpi’ye çıkılması gerekmektedir. Ancak daha önce verilen pamuklu çorap kumaşlarının lazer ile işlem sonrası patlama mukavemeti değerleri incelendiğinde çözünürlüğün 20 dpi’nin üzerine çıkarılması mukavemette kabul edilemez kayıplara yol açmaktadır. Bu nedenle, reaktif boyalı pamuklu çoraplar üzerinde bazı bölgelere lazer ile işlem uygulamayıp bazı bölgelere 10 dpi 100 µs, bazı bölgelere ise 20 dpi 100 µs lazer uygulanırsa çoraplar üzerinde aynı rengin farklı tonlarını içeren desenlerin eldesinin mümkün olabileceği söylenebilir. Çizelge 4.22’de sarı, kırmızı ve mavi renkli reaktif boyalarla boyanmış işlemsiz, 10 dpi 100 µs ve 20 dpi 100 µs lazer işlemine tabi tutulmuş numunelerin fotoğrafları verilmektedir.

Çizelge 4.22. İşlemsiz ve boyama sonrası lazerle işlem görmüş pamuklu kumaş numunelerinin fotoğrafları

İşlemsiz	Lazerle işlem görmüş (20 dpi 80 µs)	Lazerle işlem görmüş (20 dpi 120 µs)
		
		
		

Reaktif boyarmaddeler ile boyama sonrası çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz kumaş numunelerinin yıkama (60°C'ta), sürtme (kuru ve yaş), ışıkve ter (asidik ve alkali) haslığı değerleri test edilmiş olup sonuçlar Çizelge 4.23 ve 4.24'te verilmektedir.

Çizelge 4.23. Reaktif boyarmaddeler ile boyama sonrası çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz pamuklu kumaş numunelerinin yıkama ve sürtme haslığı değerleri

Boya	Lazer	Yıkama Haslığı						Sürtme Haslığı		Işık Haslığı
		WO	PAC	PES	PA	CO	CA	Kuru	Yaş	
Remazol Yellow RR	-	4/5	4/5	4/5	4/5	4	4/5	4/5	3/4	4/5
	10 dpi 100 µs	4/5	4/5	4/5	4/5	4	4/5	4/5	3/4	4/5
	20 dpi 100 µs	4/5	4/5	4/5	4/5	4	4/5	4/5	3/4	4/5
Remazol Red RR	-	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	3/4	3/4
	10 dpi 100 µs	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	3/4	3/4
	20 dpi 100 µs	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	3/4	3/4
Remazol Blue RR	-	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	3/4	3/4
	10 dpi 100 µs	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	3/4	3/4
	20 dpi 100 µs	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	3/4	3/4

Çizelge 4.24. Reaktif boyarmaddeler ile boyama sonrası çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz pamuklu kumaş numunelerinin asidik ve alkali ter haslığı değerleri

Boya	Lazer	Asidik Ter Haslığı						Alkali Ter Haslığı					
		WO	PAC	PES	PA	CO	CA	WO	PAC	PES	PA	CO	CA
Remazol Yellow RR	-	4/5	4/5	4/5	3/4	3/4	4	4/5	4	4/5	4	3	4
	10 dpi 100 µs	4/5	4/5	4/5	4	3/4	4	4/5	4	4/5	4	3	4
	20 dpi 100 µs	4/5	4/5	4/5	4	4	4	4/5	4	4/5	4	3	4
Remazol Red RR	-	3/4	4	4/5	2/3	2	2/3	4	4	4/5	4	1/2	1/2
	10 dpi 100 µs	4	4	4/5	3	2/3	2/3	4/5	4	4/5	4	2	2
	20 dpi 100 µs	4	4	4/5	3	2/3	3	4/5	4	4/5	4	2	2
Remazol Blue RR	-	4	4	4/5	3	3/4	4	4	4	4/5	4	3	4
	10 dpi 100 µs	4/5	4/5	4/5	3/4	4	4	4/5	4/5	4/5	4/5	3	4
	20 dpi 120 µs	4/5	4/5	4/5	3/4	4	4	4/5	4/5	4/5	4/5	3	4

Çizelge 4.23 ve 4.24 incelendiğinde genel olarak işlemsiz ve lazer ile işlem görmüş numunelerin haslık değerleri arasında önemli bir farklılık olmadığı söylenebilir.

4.1.2 Pamuğun Lazer ile Modifikasyonuna İlişkin Numune Ölçekli Üretim Denemeler

4.1.2.1. Boyama öncesi lazer ile kimyasal modifikasyon yoluyla ön yüz %100 pamuk iplik / arka yüz siyah boyalı PES/Elastan iplik olacak şekilde üretilmiş taytlarda desen eldesine ilişkin sonuçlar

Belirli bir desene göre bazı bölgelerine iki farklı şekilde lazerle (20 dpi ve 80 µs ile 20 dpi ve 120 µs) desenlendirme yapılmış ve ardından mavi renkli reaktif boya ile boyanmış olan ön yüzü %100 pamuk iplik ve arka yüzü siyah boyalı poliester/elastan iplikten üretilmiş tayt numuneleri Şekil 4.8’de verilmektedir.



Şekil 4.8. Lazer ile desenlendirilip ardından reaktif boya ile boyanmış önyüzü %100 pamuk iplik ve arka yüzü siyah boyalı polyester / elastin iplikten üretilmiş tayt numuneleri

Şekil 4.8 incelendiğinde ön yüzü pamuk ipliğinden üretilmiş iç göstermeyen taytlarda önce desene ait bölgelere lazer işlemi uygulayıp ardından reaktif boya ile boyama yapıldığında lazer uygulanmamış ve farklı dozlarda lazer uygulanmış bölgelerin farklı boya alma kabiliyetleri nedeniyle aynı rengin farklı tonlarını içeren desen eldesinin mümkün olacağı anlaşılmaktadır.

Bu tayt numunesine patlama mukavemeti testi uygulanmış ancak patlama meydana gelmemiştir. Bunun nedenin taytın arka yüzündeki poliester/elastan single cover gipe ipliğın kazandırdığı mukavemetten kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu durum boyama öncesi lazer ile işlem yapmak suretiyle desen eldesinin güvenli bir şekilde gerçekleştirilebileceğini ortaya koymaktadır.

Taytların lazer işlemi görmemiş, 20 dpi ve 80 µs ile 20 dpi ve 120 µs olacak şekilde lazer işlemi uygulanmış bölgelerinden alınan numunelere ayrı ayrı yıkama (60°C'ta), sürtme (kuru ve yaş) ve ter (asidik ve alkali) haslığı testleri yapılmış olup sonuçlar Çizelge 4.25 ve 4.26'da verilmektedir.

Çizelge 4.25. Lazer ile desenlendirilip ardından reaktif boya ile boyanmış önyüzü %100 pamuk iplik ve arka yüzü siyah boyalı polyester / elastin iplikten üretilmiş tayt numunesinin yıkama ve sürtme haslığı değerleri

Boya	Lazer	Yıkama Haslığı					Sürtme Haslığı			
		WO	PAC	PES	PA	CO	CA	Kuru	Yaş	
Remazol Blue RR	-	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	3/4
	20 dpi 80 µs	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	3/4
	20 dpi 120 µs	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	3/4

Çizelge 4.26. Lazer ile desenlendirilip ardından reaktif boya ile boyanmış önyüzü %100 pamuk iplik ve arka yüzü siyah boyalı polyester / elastin iplikten üretilmiş tayt numunesinin asidik ve alkali ter haslığı değerleri

Boya	Lazer	Asidik Ter Haslığı						Alkali Ter Haslığı					
		WO	PAC	PES	PA	CO	CA	WO	PAC	PES	PA	CO	CA
Remazol Blue RR	-	4	4	4/5	3	3/4	4	4	4	4/5	4	3	4
	10 dpi 100 µs	4/5	4/5	4/5	3/4	4	4	4/5	4/5	4/5	4/5	3	4
	20 dpi 120 µs	4/5	4/5	4/5	3/4	4	4	4/5	4/5	4/5	4/5	3	4

Çizelge 4.25 ve 4.26 incelendiğinde genel olarak taytın işlemsiz ve lazer ile işlem görmüş bölgelerinin haslık değerleri arasında fark olmadığı söylenebilir

4.1.2.2. Boyama sonrası lazer ile kimyasal modifikasyon yoluyla ön yüz %100 pamuk iplik / arka yüz siyah boyalı PES/Elastan iplik olacak şekilde üretilmiş taytlarda desen eldesine ilişkin sonuçlar

Önce mavi renkli reaktif boya ile boyanmış ve ardından belirli bir desene göre bazı bölgelerine iki farklı şekilde lazerle (10 dpi ve 100 µs ile 20 dpi ve 100 µs) desenlendirme yapılmış olan ön yüzü %100 pamuk iplik ve arka yüzü siyah boyalı poliester/elastan iplikten üretilmiş tayt numuneleri Şekil 4.9'da verilmektedir.



Şekil 4.9. Reaktif boya ile boyanıp ardından lazer ile desenlendirilmiş ön yüzü %100 pamuk iplik ve arka yüzü siyah boyalı poliester/elastan iplikten üretilmiş tayt numunesi

Şekil 4.9 incelendiğinde ön yüzü pamuk ipliğinden üretilmiş iç göstermeyen taytlarda önce reaktif boyama işlemi yapıp ardından desene ait bölgelere lazer işlemi uygulanırsa lazer uygulanmamış bölgeler olduğu gibi kalırken farklı dozlarda lazer uygulanmış bölgelerin renginde aşınma meydana gelecektir. Bu durum aynı rengin farklı tonlarını içeren desen eldesinin mümkün olacağını ortaya koymaktadır. Bu tayt numunesine patlama mukavemeti testi uygulanmış ancak patlama meydana gelmemiştir. Bunun nedenin tayt arka yüzündeki poliester / elastan single cover giye ipliğinin kazandırdığı mukavemetten kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu durum boyama sonrası lazer ile desen eldesinin güvenli bir şekilde gerçekleştirilebileceğini ortaya koymaktadır.

Taytların lazer işlemi görmemiş, 10 dpi ve 100 µs ile 20 dpi ve 100 µs olacak şekilde lazer işlemi uygulanmış bölgelerinden alınan numunelere ayrı ayrı yıkama (60 °C'ta), sürtme (kuru ve yaş) ve ter (asidik ve alkali) haslığı testleri yapılmış olup sonuçlar Çizelge 4.27 ve 4.28'de verilmektedir.

Çizelge 4.27. Reaktif boya ile boyanıp ardından lazer ile desenlendirilmiş ön yüzü %100 pamuk iplik ve arka yüzü siyah boyalı poliester/elastan iplikten üretilmiş tayt numunesinin yıkama ve sürtme haslığı değerleri

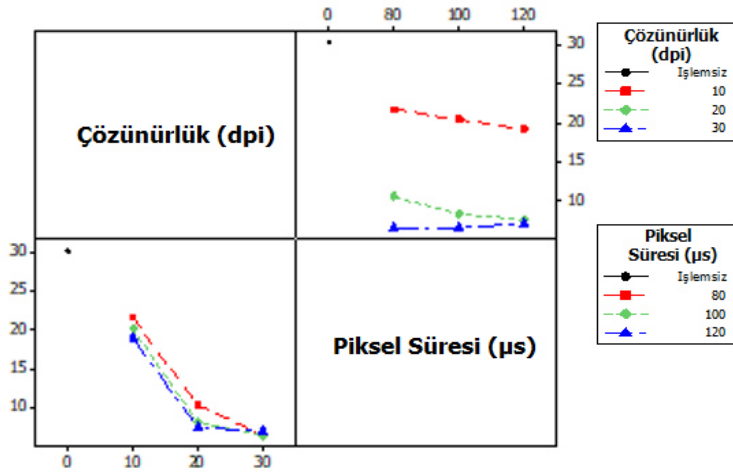
Boya	Lazer	Yıkama Haslığı					Sürtme Haslığı		
		WO	PAC	PES	PA	CO	CA	Kuru	Yaş
Remazol Blue RR	-	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	3/4
	10 dpi 100 µs	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	3/4
	20 dpi 100 µs	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	3/4

Çizelge 4.28. Reaktif boya ile boyanıp ardından lazer ile desenlendirilmiş ön yüzü %100 pamuk iplik ve arka yüzü siyah boyalı poliester/elastan iplikten üretilmiş tayt numunesinin asidik ve alkali ter haslığı değerleri

Boya	Laser	Asidik Ter Haslığı						Alkali Ter Haslığı					
		WO	PAC	PES	PA	CO	CA	WO	PAC	PES	PA	CO	CA
	-	4	4	4/5	3	3/4	4	4	4	4/5	4	3	4
Remazol Blue RR	10 dpi 100 µs	4/5	4/5	4/5	3/4	4	4	4/5	4/5	4/5	4/5	3	4
	20 dpi 120 µs	4/5	4/5	4/5	3/4	4	4	4/5	4/5	4/5	4/5	3	4

Çizelge 4.27 ve 4.28 incelendiğinde genel olarak taytın işlemsiz ve lazer ile işlem görmüş bölgelerinin haslık değerleri arasında fark olmadığı söylenebilir.

Daha önce indigo boyanın aşındırılmasına ilişkin optimum koşullar saptanmamış olduğundan öncelikle indigonun aşındırılması için uygun lazer koşulları belirlenmeye çalışılmıştır. Farklı çözünürlük ve piksel sürelerinde lazerle işlem görmüş ve işlemsiz ön yüzü indigo boyalı %100 pamuk iplik ve arka yüzü poliester/elastandan yapılmış tayt kumaşı numunelerinden elde edilen renk verimi değerlerine ilişkin ikili etkileşimler Şekil 4.10'da verilmektedir.



Şekil 4.10. Çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz ön yüzü indigo boyalı %100 pamuk iplik ve arka yüzü siyah boyalı poliester/elastan iplikten üretilmiş tayt numunelerinden elde edilen renk verimi değerlerine ilişkin ikili etkileşimler

Şekil 4.10 incelendiğinde ilk dikkati çeken lazer ile işlem görmüş kumaş numunelerinin işlemsize göre belirgin oranda daha açık renk tonuna sahip olduklarıdır. 10 ve 20 dpi’de yapılan lazer işlemleri sonrası renkler süreye bağlı olarak giderek açılırken 30 dpi’de yapılan işlemde renklerde süreye bağlı belirgin bir değişim meydana gelmediği gibi süre uzadıkça kumaş yüzeyinde yırtılmalar meydana gelmiştir. Genel olarak çözünürlük ve piksel süresi arttıkça renk verimi değerlerinin azaldığı söylenebilir. Lazer gücü 10 dpi’den 20 dpi’ye çıkarıldığında çok belirgin fark elde edilirken 20 dpi’den 30 dpi’ye çıkarıldığında elde edilen fark oldukça daha az belirgin olmaktadır. Ayrıca çözünürlüğün piksel süresine göre daha belirgin değişim yarattığı söylenebilir. Lazerle muamele edilmiş kumaş numunelerinin renk verimi değerlerindeki azalmanın nedeninin, lazer ışınlamasına tabi tutulan kumaş yüzeyindeki indigo boyaların lazer enerjisi ile kromofor gruplarının zarar görmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Ön yüzü indigo boyalı pamuk ipliğinden yapılmış farklı çözünürlük ve piksel sürelerinde lazerle işlem görmüş ve işlemsiz tayt kumaşı numunelerinden elde edilen renk verimi değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları Çizelge 4.29’da verilmektedir.

Çizelge 4.29. Ön yüzü indigo boyalı pamuk ipliğinden yapılmış çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz tayt kumaşı numunelerinden elde edilen renk verimi değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları

Kaynak	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Çözünürlük (dpi)	2	982,560	982,560	491,280	13073,320	0,000
Piksel Süresi (µs)	2	13,180	13,180	6,590	175,350	0,000
Çözünürlük (dpi)*Piksel Süresi (µs)	4	11,190	11,190	2,800	74,460	0,000
Hata	18	0,680	0,680	0,040		
Toplam	26	1007,610				

S = 0,193853 R-Sq = %99,93 R-Sq(adj) = %99,90

Çizelge 4.29 incelendiğinde çözünürlük ve piksel süresi parametrelerinin her birinin etkisinin istatistiksel olarak önemli ($p < 0,05$) olduğu görülmektedir. Her bir parametre için farklılığın kaynağını görmek için Tukey testi de yapılmış olup sonuçlar Çizelge 4.30’da verilmektedir.

Çizelge 4.30. Ön yüzü indigo boyalı pamuk ipliğinden yapılmış çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz tayt kumaşı numunelerinin renk verimi değerlerine ilişkin Tukey (%95 güven aralığı) test sonuçları (Çözünürlük (dpi) = 10, PikselSüresi (μ s) = 80)

Çözünürlük (dpi)	Piksel Süresi (μ s)	
10	100	(*)
10	120	(*)
20	80	(-*)
20	100	(*)
20	120	(*)
30	80	(*)
30	100	(*)
30	120	(*)

-15,0 -10,0 -5,0 0,0

Çizelge 4.30 incelendiğinde ön yüzü indigo boyalı pamuk ipliği ve arka yüzü siyah poliester iplik ve elastandan oluşan tayt numuneleri 10 dpi 80 μ s, 10 dpi 100 μ s, 10 dpi 120 μ s bir grup; 20 dpi 80 μ s'in ikinci bir grup; 20 dpi 100 μ s, 20 dpi 120 μ s, 30 dpi 80 μ s, 30 dpi 100 μ s ve 30 dpi 120 μ s'in üçüncü bir grup oluşturduğu ve bu üç gruptaki numuneler arasındaki farkların istatistiki olarak önemli olduğu anlaşılmaktadır. Buradaki amaç daha önce açıklandığı üzere ön yüzü indigo boyalı pamuk ipliği ve arka yüzü siyah poliester iplik ve elastandan oluşan taytlarda bölgesel olarak farklı dozlarda lazer uygulayarak desen eldesi olduğundan, işlemsiz bölgeye göre önemli renk farkı yaratabilecek lazer işlem koşullarının saptanması gerekmektedir. Bu noktada birinci gruptaki koşullar arasında Şekil 4.10'dan da görülebileceği üzere işlemsiz göze en belirgin farkı yaratan koşullar arasında liflere zarar verme riski en düşük olan 10 dpi 80 μ s seçilmiştir. İkinci grupta ise sadece 20 dpi 80 μ s bulunduğundan bu seçilmiştir. Bu koşullar işlemsiz hâline göre zaten çok belirgin renk farklılıkları yarattığından daha ağır koşullara gerek kalmamaktadır. Ancak eğer çok daha belirgin renk farkı yaratılmak istenilirse Şekil 4.10'dan da görülebileceği üzere 20 dpi 100 μ s'ye çıkılabilir. Hatta 30 dpi 80 μ s'de çalışılabilir. Ancak ön yüzü indigo boyalı pamuklu ile arka yüzü siyah poliester ve elastantayt kumaşlarının lazer ile işlem sonrası kumaş yüzeyi incelendiğinde çözünürlüğün 30 dpi'ye çıkarılması sonucu liflerde yanmalara neden olarak yırtılmalar olduğu gözlemlenmiştir. Çizelge 4.31'de ön yüzü indigo boyalı pamuk ipliği ve arka yüzü siyah poliester iplik ve elastandan oluşan tayt kumaşlarının 10 dpi 80 μ s ve 20 dpi 80 μ s lazer işlemine tabi tutulmuş hâllerinin fotoğrafları verilmektedir.

Çizelge 4.31. Çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz ön yüzü indigo boyalı pamuk iplik ve arka yüzü siyah boyalı poliestere/elastandan yapılmış tayt kumaşı numuneleri



Çizelge 4.31 incelendiğinde, indigo boyalı pamuklu taytlar üzerinde bazı bölgelere lazer ile işlem uygulamayıp bazı bölgelere 10 dpi 80 µs, bazı bölgelere ise 20 dpi 80 µs lazer uygulanırsa taytlara zarar vermeden taytlar üzerinde aynı rengin farklı tonlarını içeren desenlerin eldesinin mümkün olabileceği söylenebilir. Çizelge 4.32’de kumaş numunelerine ait CIE L*a*b* değerleri verilmektedir.

Çizelge 4.32. Çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz ön yüzü indigo boyalı pamuk iplik ve arka yüzü siyah boyalı poliestere/elastandan yapılmış tayt kumaşı numunelerinin CIE L*a*b* değerleri

No	Çözünürlük (dpi)	Piksel Süresi (µs)	L*	a*	b*	C*	h°
1	-	-	19,88	0,31	-18,00	18,00	270,99
2	10	80	23,41	-0,07	-17,41	17,43	269,49
3	10	100	24,09	0,01	-17,69	17,71	272,71
4	10	120	25,03	-0,04	-18,05	18,05	269,81
5	20	80	31,72	-0,99	-15,85	15,89	266,43
6	20	100	34,92	-1,24	-15,50	15,55	266,09
7	20	120	36,07	-1,40	-15,15	15,21	264,71
8	30	80	37,81	-1,79	-13,82	13,94	262,58
9	30	100	37,75	-2,19	-13,37	13,54	260,70
10	30	120	36,30	-2,06	-12,12	12,29	260,31

Çizelge 4.32 incelendiğinde işlemsizlere göre en büyük değişimin L* değerlerinde yani rengin açıklık-koyuluğunda olduğu görülmektedir. Lazer gücü ve piksel süresi arttıkça renk

giderek açılmaktadır. Rengin nüansının ise daha yeşil (daha küçük a* değerleri) ve daha az mavi (daha büyük b* değerleri) yönüne kaydığı söylenebilir.

Farklı çözünürlük ve piksel sürelerinde lazerle işlem görmüş ve işlemsiz ön yüzü indigo boyalı pamuk iplik ve arka yüzü poliester/elastandan yapılmış tayt kumaşı numunelerine patlama mukavemeti testi de uygulanmış olup sadece 30 dpi çözünürlük ve 120 µs piksel süresinde lazer uygulanmış çorapta 51,1 kpa değeri elde edilmiştir. Diğer çözünürlük ve piksel sürelerinde lazer uygulanmış ve işlemsiz çorap numunelerinde patlama meydana gelmemiştir. Bunun nedenin çorabın arka yüzeyindeki poliester/elastan single cover gipe ipliğın kazandırdığı mukavemetten kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu durum ön yüzü indigo boyalı pamuk iplik ve arka yüzü poliester/elastandan yapılmış taytlarda lazer ile desen eldesinin güvenli bir şekilde gerçekleştirilebileceğini ortaya koymaktadır.

Ön yüzü indigo boyalı pamuk ipliğinden yapılmış çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz kumaş numunelerinin yıkama (60 °C'ta), sürtme (kuru ve yaş) ve ter (asidik ve alkali) haslığı değerleri test edilmiş olup sonuçlar Çizelge 4.33 ve 4.34'te verilmektedir.

Çizelge 4.33. Çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz ön yüzü indigo boyalı pamuk iplik ve arka yüzü siyah boyalı poliester/elastandan yapılmış tayt kumaşı numunelerinin yıkama ve sürtme haslığı değerleri

Lazer	Yıkama Haslığı						Sürtme Haslığı	
	WO	PAC	PES	PA	CO	CA	Kuru	Yaş
-	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	3/4	2/3
10 dpi 80 µs	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	3/4	3
20 dpi 80 µs	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	3/4	3

Çizelge 4.34. Çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz ön yüzü indigo boyalı pamuk iplik ve arka yüzü siyah boyalı poliester/elastandan yapılmış tayt kumaşı numunelerinin asidik ve alkali ter haslığı değerleri

Lazer	Asidik Ter Haslığı						Alkali Ter Haslığı					
	WO	PAC	PES	PA	CO	CA	WO	PAC	PES	PA	CO	CA
-	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
10 dpi 80 µs	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
20 dpi 80 µs	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5

Çizelge 4.33 ve 4.34 incelendiğinde genel olarak işlemsiz ve lazer ile işlem görmüş numunelerin haslık değerleri arasında önemli bir fark olmadığı söylenebilir.

Ön yüzü indigo boyalı pamuk ipliğinden yapılmış çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz kumaş numunelerinin yıkama (60 °C'ta), sürtme (kuru ve yaş) ve ter (asidik ve alkali) haslığı değerleri test edilmiş olup sonuçlar Çizelge 4.33 ve 4.34'te verilmektedir.

Elde edilen bu sonuçların ışığı altında, ön yüzü indigo boyalı pamuk ipliği ve arka yüzü siyah boyalı poliester/elastan iplikten oluşan taytlara bölgesel olarak 10 dpi 80 µs ve 20 dpi 80 µs lazer işlemi yapılmış ve tayt üzerinde desen elde edilmiştir. Numuneye ait fotoğraf Şekil 4.11'de verilmektedir.



Şekil 4.11. Lazer ile desenlendirilmiş ön yüzü indigo boyalı pamuk ipliği ve arka yüzü siyah boyalı poliester/elastan iplikten oluşan tayt numunesi

Şekil 4.11 incelendiğinde ön yüzü indigo boyalı pamuk ipliğinden üretilmiş iç göstermeyen taytlarda desene ait bölgelere lazer işlemi uygulanırsa lazer uygulanmamış bölgeler olduğu gibi kalırken farklı dozlarda lazer uygulanmış bölgelerin renginde aşınma meydana gelecektir. Bu durum aynı rengin farklı tonlarını içeren desen eldesinin mümkün olacağını ortaya koymaktadır.

4.2. Lazer ile Kimyasal Modifikasyonun Poliakrilonitril Liflerinin Boyanabilirliği Üzerine Etkisinin İncelenmesi

4.2.1. Boyama öncesi lazer ile kimyasal modifikasyonun poliakrilonitril liflerinin boyanabilirliği üzerine etkisinin incelenmesine ilişkin sonuçlar

- Patlama mukavemeti

Yapılan analizlerde lazer işlemi görmüş kumaşların ilginç şekilde patlama mukavemeti değerlerinin işlemsiz kumaştan daha yüksek olduğu görülmüştür. Örneğin, işlemsiz numunenin patlama mukavemeti 111,06 kPa iken 30 dpi'de 100 µs işlem gören numuneninki 118,86 kPa çıkmıştır. Bu durumun nedeni lazer ile işlem sonrası liflerin yapışkan bir hâl almasıdır. Lifler yapışkan hâl aldığı kumaş yapısında bir büzülme meydana geldiği, ilmek boyutlarının küçüldüğü ve kumaşın daha sert bir tutum kazandığı gözlenmiştir. Bütün bunlar ise kumaşın patlamaya karşı direncinin artmasına yol açmaktadır. Dolayısı ile liflerde zarar oluşmuş olmasına rağmen bu durum kumaş patlama mukavemetine farklı yansımasıdır. Ancak sözü edilen olumsuz etkiler 30 dpi'de kendini belirgin şekilde gösterirken 10 dpi ve 20 dpi'de işlem yapılmasının sözü edilen sakıncalara yol açmadığını belirtmekte fayda vardır.

- Sarılık indeksi

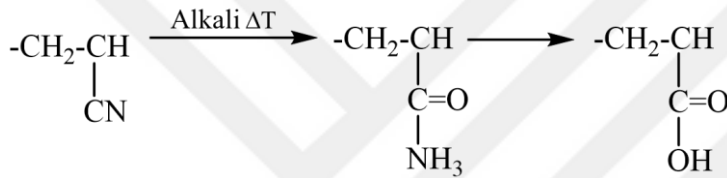
İşlemsiz ve çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş akrilik çorap kumaşlarının sarılık indeksi değerleri Çizelge 4.35'te gösterilmektedir.

Çizelge 4.35. Lazerle farklı çözünürlük ve piksel sürelerinde işlem gören akrilik çorap kumaşlarının sarılık indeksi değerleri

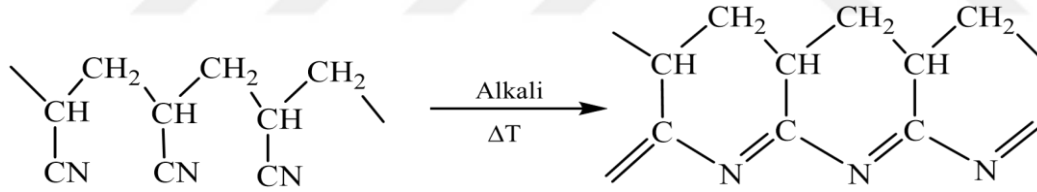
No	Çözünürlük (dpi)	Piksel Süresi (µs)	L*	a*	b*	Sarılık İndeksi
1	-	-	90,57	-0,87	1,53	2,36
2	10	100	89,95	-0,90	1,54	2,36
3	20	100	89,78	-0,81	1,61	2,58
4	30	100	89,89	-0,80	1,74	2,84

Çizelge 4.35 piksel süresi uzadığında, düşük çözünürlükte (10 dpi) sarılık derecesinin pek değişmediğini göstermektedir. Ancak çözünürlük orta (20 dpi) veya yüksek (30 dpi) iken, sarılık derecesi artmıştır.

Bilindiği gibi PAC lifleri lif tipine bağlı olarak 230 °C'un üzerinde, lifler yumuşamaktadır. Makromoleküller parçalanmaya ve lifler yapışkan bir tutum kazanmaya başlamaktadır. Ayrıca uzun süre yüksek sıcaklık etkisinde ($T > 160^{\circ}\text{C}$) kalan PAC lifleri sararmaktadır. Sıcaklığın etkisiyle nitril grupları Şekil 4.12'de gösterildiği gibi asitamid veya karboksil gruplarına dönüşüyor olsa da sarı veya kahverengi bir rengin oluşmasına yol açan ana etken Şekil 4.13'de gösterildiği üzere nitril gruplarının konjuge çift bağ içeren halkalara dönüşmesine dayanmaktadır (Seventekin, 2004).



Şekil 4.12. Nitril gruplarının asitamid veya karboksil gruplarına dönüşmesi (Seventekin, 2004)

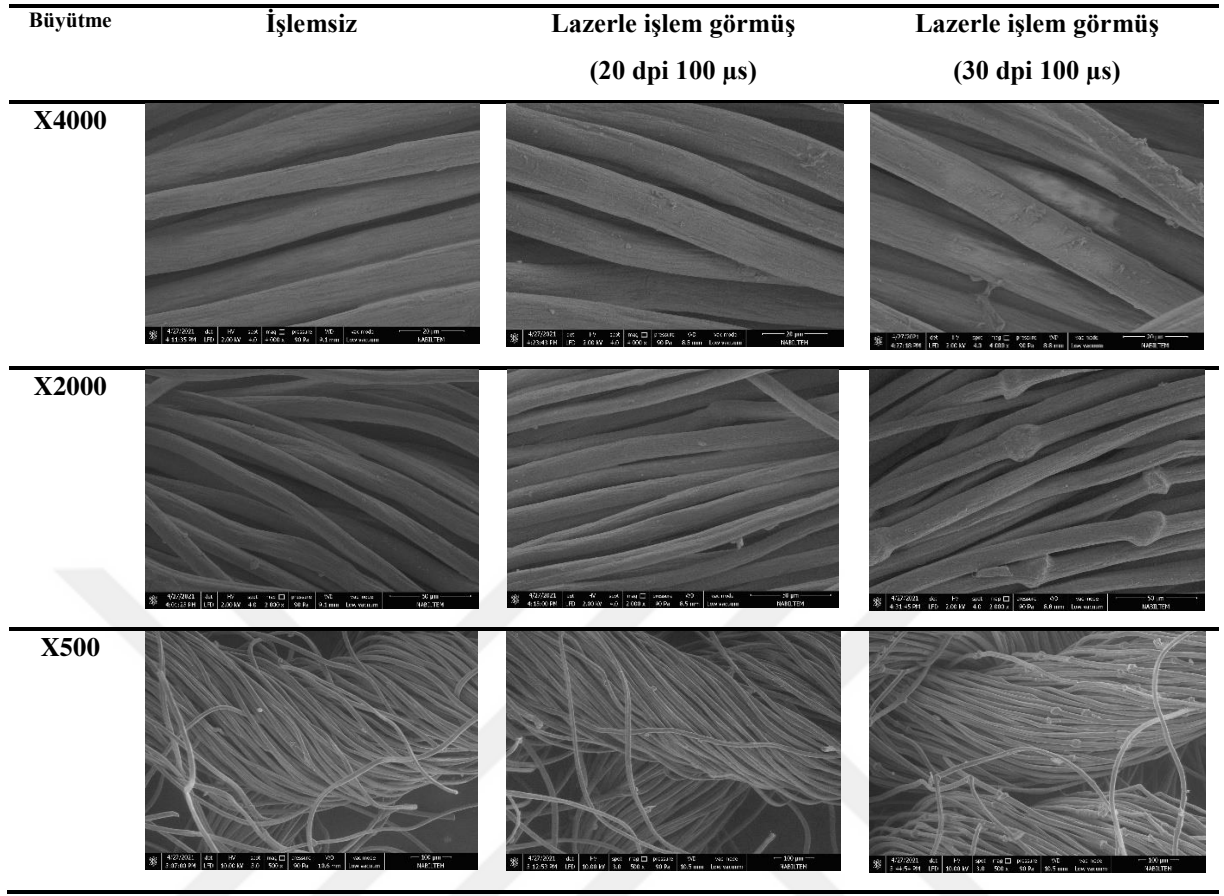


Şekil 4.13. Nitril gruplarının konjuge çift bağ içeren halkalara dönüşmesi (Seventekin, 2004)

- SEM Analizi

Her ne kadar lazerle işlem yapılması akrilik çorap kumaşı numunelerinin bazik boya alımını önemli ölçüde değiştirmemiş olsa da, bu işlemin liflerin yüzey morfolojisinde değişime yol açıp açmadığını saptamak için seçilen numunelere (20 dpi 100 μs ve 30 dpi 100 μs) SEM analizi yapılmıştır. Sonuçlar Çizelge 4.36'da verilmektedir.

Çizelge 4.36. İşlemsiz ve lazerle işlem görmüş akrilik çorap kumaşı numunelerinin SEM fotoğrafları



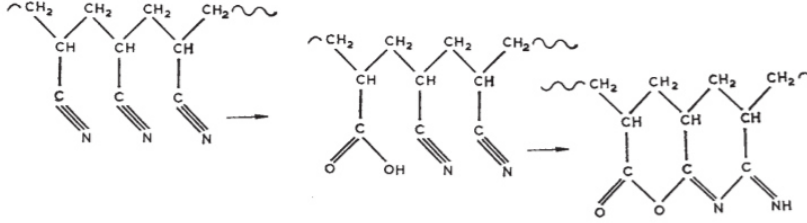
Çizelge 4.36 incelendiğinde 20 dpi'de yapılan lazer işleminin liflerin yüzey morfolojisinde belirgin bir değişim yaratmadığı, sadece bir miktar aşınmaya yol açtığı (bkz. X4000 büyütme)anlaşılmaktadır. Öte yandan lazer işleminin 30 dpi'de yapılması durumunda liflerde erime küreciklerinin oluştuğu (bkz. X500 ve X2000 büyütme) ve lif yüzeyinde şiddetli aşınmaların meydana geldiği (bkz. X4000 büyütme) açık bir şekilde görülmektedir.

Lazer ile işlemin akrilik liflerineelementel bileşiminde yol açtığı değişimi görmek için SEM-EDX analizleri yapılmış olup sonuçlar Çizelge 4.37'de verilmektedir.

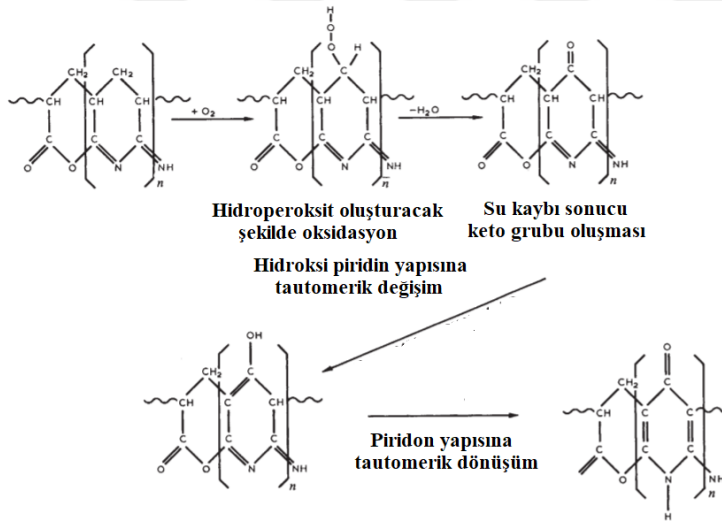
Çizelge 4.37. İşlemsiz ve lazerle işlem görmüş akrilik çorap kumaşı numunelerinin SEM-EDX sonuçları (Wt: Ağırlıkça, At: Atomik)

Element	İşlemsiz		20 dpi 100 µs		30 dpi 100 µs	
	Wt (%)	At (%)	Wt (%)	At (%)	Wt (%)	At (%)
C	73,84	77,16	72,27	75,74	72,75	75,92
N	20,78	18,62	21,86	19,64	21,55	19,36
O	5,38	4,22	5,87	4,62	6,00	4,72

Çizelge 4.37 incelendiğinde lazer işleminin koşulu ağırlaştıkça liflerin elementel bileşiminde oksijen içeriğinde artış meydana geldiği dikkati çekmektedir. Bu durum liflerde lazer etkisiyle yüzey oksidasyonu oluştuğunu göstermektedir. Lazer ile işlem sırasında akrilik liflerinde oluşan yüksek ısının etkisiyle meydana gelen değişim Şekil 4.14'te, yüksek ısının ve hava oksijeninin kombine etkisiyle meydana gelen değişim ise Şekil 4.15'te verilmektedir.



Şekil 4.14. Lazer ile işlem sırasında oluşan yüksek ısının etkisiyle akrilik liflerinde meydana gelen değişim (Watt ve Johnson, 1975)

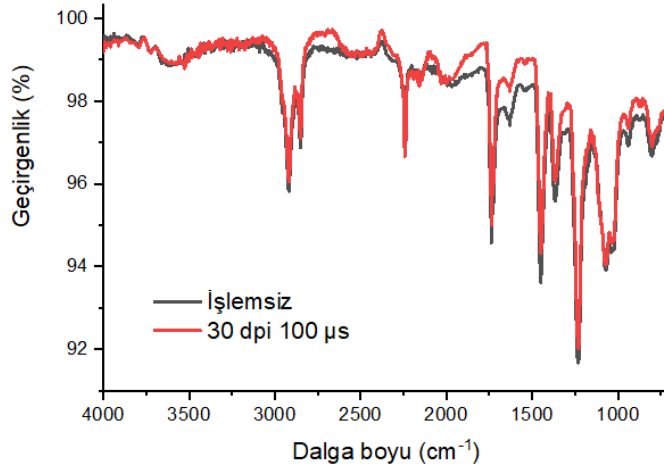


Şekil 4.15. Lazer ile işlem sırasında oluşan yüksek ısının ve hava oksijeninin kombine etkisiyle akrilik liflerinde meydana gelen değişim (Watt ve Johnson, 1975)

Şekil 4.14 ve 4.15 incelendiğinde lazer ile işlem gören akrilik liflerinin kimyasal yapısındaki oksijen içeriğinin arttığı anlaşılmaktadır. Elde edilen SEM-EDX sonuçları bunu desteklemektedir.

- FTIR-ATR

Lazer işlemiyle lif yapısında ne tür değişikliklerin meydana geldiğini belirlemek için ATR / FT-IR analizi yapılmış olup elde edilen sonuçlar Şekil 4.16'da sunulmaktadır.

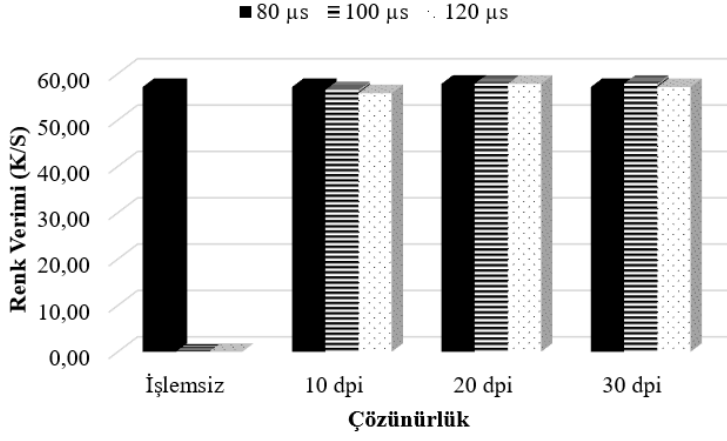


Şekil 4.16. İşlemsiz ve lazer ile işlem görmüş akrilik numunelerinin ATR/FT-IR spektrumları

Şekil 4.16 incelendiğinde poliakrilonitrilin karakteristik tüm absorpsiyon bantları 2920, 2852, 2243, 1740, 1615, 1450, 1367, 1230, 1074, 1022 ve 802 cm⁻¹'de görülmektedir. Bu pikler sırasıyla; polimer yapısındaki C-H gerilmesine, -CH₂ simetrik gerilmesine, C≡N gerilmesine, C=O gerilmesine, C=C gerilmesine, CH₂'deki C-H bükülmesine, -CH bükülmesine, C-N gerilmesine, -CH₂ gerilmesine, -C-O gerilmesine ve C-CN gerilmesine karşılık gelmektedir (Karacan ve Erdogan, 2012; Karbownik vd., 2019). Yalnız lazer işlemi görmüş numune ile işlemsiz numune arasında çok belirgin bir farklılık görülemedi. İşlemsiz denilen akrilik kumaş aslında lazer işlemi görmemiş olsa da ısı fikse işlemi sırasında termooksidatif etkilere maruz kalmakta ve bu nedenle de bu işlemsiz denilen numune de benzer fonksiyonel gruplar oluşmaktadır.

- Boyanabilirlik

Farklı çözünürlük ve piksel sürelerinde lazerle ön işlem görmüş ve işlemsiz akrilik çorap kumaşı numunelerinin kırmızı renkli bazik (katyonik) boyarmaddeyle %2'lik koyulukta boyanması sonucu elde edilen renk verimi değerleri Şekil 4.17'de verilmektedir.



Şekil 4.17. Çeşitli koşullarda lazerle ön işlem görmüş ve işlemsiz akrilik çorap kumaşı numunelerinin AstrazonRed FBL boyarmaddesi ile boyanması sonucu elde edilen renk verimi değerleri

Şekil 4.17 incelendiğinde akrilik kumaşlara lazer ile ön işlem yapılmasının bazik boya alımı üzerinde çok büyük bir etkisinin olmadığı, ancak işlemsiz numuneye göre lazer ile ön işlem görmüş numunelerin biraz daha açık renge boyandığı görülmektedir. Aslında yapılan çalışmalarda 30 dpi’de işlem görmüş numunelerin erimeye başladığı ve kumaşın oldukça fazla zarar gördüğü, ancak 10 ve 20 dpi’de işlem gören kumaşların ise hiç etkilenmediği saptanmıştır. Yani akrilik kumaşların boyama davranışını değiştirmek için 10-20 dpi gibi çözünürlükler yetersiz gelmekte ancak bunun üzerine çıkıldığı zaman da lifler aşırı zarar görmektedir. Bu sonuçlar lazer ile kimyasal modifikasyon yoluyla akrilik liflerinin bazik boya alımını değiştirmenin pek mümkün olamayacağını göstermektedir.

Lazer ile ön işlem görmüş akrilik liflerinin bazik boya alımında bir miktar da olsa azalma meydana gelmesinin nedeni ise akrilik liflerinin lazer işlemi sonucu termik ve oksidatif olarak zarar görmüş olmasıdır. Şekil 4.14 ve 4.15’den görüldüğü üzere lazer ile modifikasyon sonrası akrilik liflerindeki nitril grupları değişime uğramakta ve liflerin yapısında imino (-NH-) ve amino (-NH₂) grupları oluşmaktadır. Akrilik liflerinin boyama işlemlerinin yapıldığı pH 5 civarında bu gruplar yapılarına asidin protonunu bağlayarak sırasıyla (+) yüklü amido ve (+) yüklü amonyum gruplarına dönüşeceklerdir. Bazik boyaların sulu ortamda katyonik karakter gösterdikleri dikkate alınacak olursa anyonik karakterli liflerin katyonik karakterli hâle dönüşmesinin bazik boya alımının azalmasına yol açmasının nedeni anlaşılabilir.

Farklı çözünürlük ve piksel sürelerinde lazerle ön işlem görmüş ve işlemsiz kumaş numunelerinin kırmızı bazik boyarmadde ile %2’lik koyulukta boyanması sonucu elde edilen renk verimi değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları Çizelge 4.38’de verilmektedir.

Çizelge 4.38. Çeşitli koşullarda lazerle ön işlem görmüş ve işlemsiz akrilik çorap kumaşı numunelerinin boyanması sonucu elde edilen renk verimi değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları

Kaynak	DF	Adj SS	Adj MS	F	P
Çözünürlük (dpi)	2	2,8469	1,4235	7,13	0,048
Piksel Süresi (µs)	2	0,4008	0,2004	1,00	0,443
Hata	4	0,7981	0,1995		
Toplam	8	4,0459			
S=0,446691		R-sq=%80,27	R-sq(adj)=%60,55		

Çizelge 4.48 incelendiğinde lazer işlemine ait piksel süresi parametresinin istatistiksel olarak önemli fark yaratmadığı ($p>0,05$) görülmektedir. Öte yandan her ne kadar çözünürlük parametresi istatistiksel olarak önemli ($p<0,05$) fark yaratmış olarak görülse de p değerinin 0,048 olduğu dikkate alınacak olursa bunun da çok büyük etki yaratmadığı söylenebilir. Sonuç olarak akrilik liflerinde boyama öncesi lazer ile işlem yapılmasının çözünürlüğe bağlı olarak bir miktar fark yaratmakla birlikte büyük değişimlere yol açmadığı söylenebilir. Bu sonuçların ışığı altında akrilik çoraplara boyama öncesi belirli bir desene göre lazer işlemi uygulayıp ardından boyama yapmak suretiyle desen eldesinin mümkün olmadığı söylenebilir.

- Haslık

Boyanmış numunelerin yıkama (60 °C'ta), sürtme (kuru ve yaş) ve ter (asidik ve alkali) haslığı değerleri test edilmiş olup sonuçlar Çizelge 4.39 ve 4.40'da verilmektedir.

Çizelge 4.39. Çeşitli koşullarda lazerle ön işlem görmüş ve işlemsiz akrilik çorap kumaşı numunelerinin bazik boyarmadde ile boyanması sonucu elde edilen yıkama ve sürtme haslığı değerleri

Lazer	Yıkama Haslığı					Sürtme Haslığı		
	WO	PAC	PES	PA	CO	CA	Kuru	Yaş
-	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4
20 dpi 80 µs	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4
20 dpi 120 µs	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4

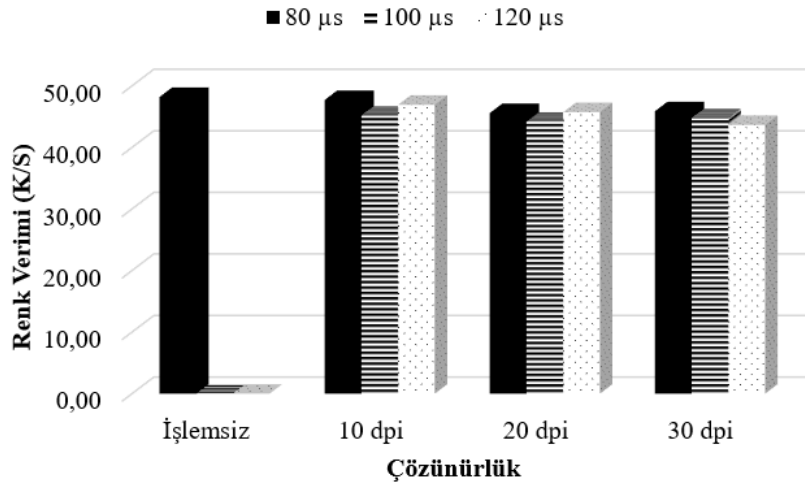
Çizelge 4.40. Çeşitli koşullarda lazerle ön işlem görmüş ve işlemsiz akrilik çorap kumaşı numunelerinin bazik boyarmadde ile boyanması sonucu elde edilen asidik ve alkali ter haslığı değerleri

Lazer	Asidik Ter Haslığı						Alkali Ter Haslığı					
	WO	PAC	PES	PA	CO	CA	WO	PAC	PES	PA	CO	CA
-	4	4	4/5	4	4	4	4	4	4/5	3/4	4	4
20 dpi 100 µs	4/5	4	4/5	4	4/5	4/5	4/5	4	4/5	4	4/5	4/5
30 dpi 100 µs	4/5	4	4/5	4	4/5	4/5	4/5	4	4/5	4	4/5	4/5

Çizelge 4.39 ve 4.40 incelendiğinde genel olarak işlemsiz ve lazer ile işlem görmüş numunelerin haslık değerleri arasında önemli bir farklılık olmadığı söylenebilir. Yalnız ter haslıklarında 1/2 puanlık artışlar dikkat çekmektedir. Bu durumun nedeni lazer uygulanmış numunelerin işlemsize göre az da olsa açık renkte boyanmış olmasıdır.

4.2.2. Boyama sonrası lazer ile reaktif boyalı poliakrilonitril çoraplarda desenlendirme olanaklarının incelenmesine ilişkin sonuçlar

Kırmızı renkli bazik boyarmadde ile %2'lik koyulukta boyama sonrası farklı çözünürlük ve piksel sürelerinde lazerle işlem görmüş ve işlemsiz akrilik çorap kumaşı numunelerinin renk verimi değerleri Şekil 4.18'de verilmektedir.



Şekil 4.18. Astrazon Red FBL boyarmadde ile boyama sonrası çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz akrilik çorap kumaşı numunelerinden elde edilen renk verimi değerleri

Şekil 4.18 incelendiğinde ilk dikkati çeken husus lazer ile işlem görmüş kumaş numunelerinin işlemsiz göre genel olarak daha açık renk tonuna sahip olduğudur. %2'lik boyamadan sonra işlemsiz kumaş numunesi en yüksek K/S değerine sahipken, 30 dpi lazer ile muamele edilmiş kumaş numuneleri en düşük K/S değeri vermişlerdir. Ayrıca, piksel süresi 80 µs olacak şekilde lazerle muamele edilen boyalı kumaş numunelerinin renk verimi, 100 µs ve 120 µs olacak şekilde muamele edilen numunelerden daha yüksek çıkmıştır. Genel olarak çözünürlük ve piksel süresi arttıkça renk verimi değerlerinin azaldığı söylenebilir. Ayrıca çözünürlüğün piksel süresine göre daha belirgin değişim yarattığı söylenebilir. Lazerle muamele edilmiş kumaş numunelerinin renk verimi değerlerindeki azalmanın nedeninin, lazer ışınlamasına tabi tutulan kumaş yüzeyindeki bazik boyaların lazer enerjisi ile kromofor gruplarının zarar görmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Bazik boya ile %2 koyulukta boyama sonrası farklı çözünürlük ve piksel sürelerinde lazerle işlem görmüş ve işlemsiz çorap kumaşı numunelerinden elde edilen renk verimi değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları Çizelge 4.41'te verilmektedir.

Çizelge 4.41. AstrazonRed FBL boyarmaddesi ile boyama sonrası çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz akrilik çorap kumaşı numunelerinden elde edilen renk verimi değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Kaynak	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Çözünürlük (dpi)	2	16,7958	16,7958	8,3979	24,0000	0,0000
Piksel Süresi (µs)	2	12,8261	12,8261	6,4130	18,3300	0,0000
Çözünürlük (dpi)* Piksel Süresi (µs)	4	9,0795	9,0795	2,2699	6,4900	0,0020
Hata	18	6,2981	6,2981	0,3499		
Toplam	26	44,9995				

$$S = 0,145950 \quad R\text{-Sq} = \%98,90 \quad R\text{-Sq(aj)} = \%98,70$$

Çizelge 4.41 incelendiğinde çözünürlük ve piksel süresi parametrelerinin ve bunların ikili etkileşimlerinin her birinin etkisinin istatistiksel olarak önemli ($p < 0,05$) olduğu görülmektedir. Buradaki amaç daha önce açıklandığı üzere bazik boyalı akrilik çoraplarda bölgesel olarak farklı dozlarda lazer uygulayarak desen eldesi olduğundan, işlemsiz bölgeye göre önemli renk farkı yaratabilecek ve liflerin gördüğü zararın kabul edilebilir olduğu lazer işlem koşullarının saptanması gerekmektedir. Bu noktada 20 dpi 100 µs en uygun görünmektedir. 10 dpi yeterli etki sağlamazken 30 dpi ise liflere aşırı zarar vermektedir.

Öyleyse, bazik boyalı akrilik çoraplar üzerinde bazı bölgelere lazer ile işlem uygulamayı bazı bölgelere 20 dpi 100 µslazer uygulanırsa çoraplar üzerinde aynı rengin iki farklı tonunu içeren desenlerin eldesinin mümkün olabileceği söylenebilir. Her bir parametre için farklılığın kaynağını görmek için Tukey testi de yapılmış olup sonuçlar Çizelge 4.42’de verilmektedir.

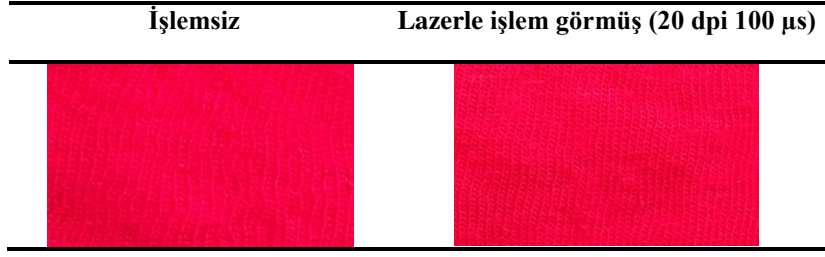
Çizelge 4.42. Boyama sonrası çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz akrilik kumaş numunelerinin renk verimi değerlerine ilişkin Tukey (%95 güven aralığı) test sonuçları

Dpi*Ps	N	Ortalama	Gruplama	
10*80	3	47,7067	A	
10*120	3	46,9267	A	B
30*80	3	45,8800	B	C
20*120	3	45,7367	B	C
20*80	3	45,5867	B	C
10*100	3	45,1733	C	D
30*100	3	44,7567	C	D
20*100	3	44,1933	C	D
30*120	3	43,6500	D	

Çizelge incelendiğinde 4 grup oluştuğu, ancak bunlardan C grubunun iki grupla kesişim olmasından dolayı A, B ve D olmak üzere birbirinden farklı üç grup olduğu söylenebilir. Burada amaç en belirgin renk farklılığını yaratmak olduğu için D grubuna giren işlem koşullarında çalışılmasının istenilen efekt eldesinde fayda sağlayabileceği söylenebilir. Ancak daha önce açıklandığı üzere 30 dpi’de çalışılması liflere çok belirgin zarar verdiği için 10 veya 20 dpi’de 100 µs işlem yapılmasının uygun olacağı düşünülmektedir. Aslında bunlar arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz olsa da, hedef ürün için renk efektinin biraz bile derinleşmesi life zarar vermedikten ve işlem süresini uzatmadıktan sonra fayda sağlayacağı için 20 dpi 100 µs’de çalışılması kararlaştırılmıştır.

Çizelge 4.43’de kırmızı renkli bazik boyayla boyanmış işlemsiz ve 20 dpi 100 µs lazer işlemine tabi tutulmuş numunelerin fotoğrafları verilmektedir.

Çizelge 4.43. İşlemsiz ve boyama sonrası lazerle işlem görmüş akrilik çorap kumaşı numunelerinin fotoğrafları



Bazik boya ile boyama sonrası çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz kumaş numunelerinin yıkama (60°C'ta), sürtme (kuru ve yaş) ve ter (asidik ve alkali) haslığı testleri yapılmış olup sonuçlar Çizelge 4.44 ve Çizelge 4.45'te verilmektedir.

Çizelge 4.44. Bazik boyayleboyama sonrası çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz akrilik çorap kumaşı numunelerinin yıkama ve sürtme haslığı değerleri

Lazer	Yıkama Haslığı						Sürtme Haslığı	
	WO	PAC	PES	PA	CO	CA	Kuru	Yaş
-	4/5	4/5	4/5	4	4/5	4/5	4/5	4
20 dpi 100 µs	4/5	4/5	4/5	4	4/5	4/5	4/5	4

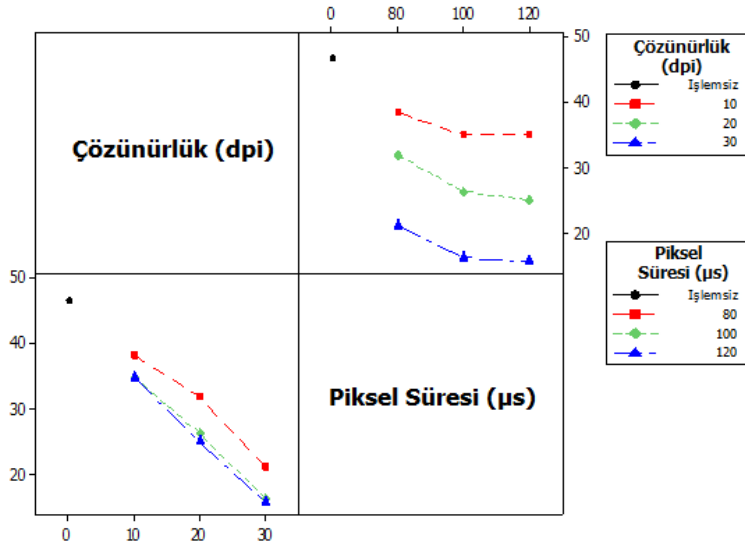
Çizelge 4.45. Bazik boya ile boyama sonrası çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz akrilik çorap kumaşı numunelerinin asidik ve alkali ter haslığı değerleri.

Lazer	Asidik Ter Haslığı						Alkali Ter Haslığı					
	WO	PAC	PES	PA	CO	CA	WO	PAC	PES	PA	CO	CA
-	4	4	4/5	4	4	4	4	4	4/5	3/4	4/5	4/5
20 dpi 100 µs	4	4	4/5	4	4	4	4	4	4/5	3/4	4/5	4/5

Çizelge 4.44 ve 4.45 incelendiğinde genel olarak işlemsiz ve lazer ile işlem görmüş numunelerin haslık değerleri arasında önemli bir farklılık olmadığı söylenebilir.

4.3 Boyama Sonrası Lazer ile Kimyasal Modifikasyon Yoluyla Ön Yüz Boyalı Pamuk/Poliakrilonitril Karışımı İplik / Arka Yüz Siyah Boyalı PES/Elastan İplik Olacak Şekilde Üretilmiş Taytlarda Desen Eldesine İlişkin Sonuçlar

Farklı çözünürlük ve piksel sürelerinde lazerle işlem görmüş ve işlemsiz ön yüzü indigo boyalı pamuk/poliakrilonitril iplik ve arka yüzü siyah boyalı polyester/elastan iplikten oluşan tayt kumaşı numunelerinden elde edilen renk verimi değerlerine ilişkin ikili etkileşimler Şekil 4.19'da verilmektedir.



Şekil 4.19. Çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz ön yüzü indigo boyalı pamuk/poliakrilonitril iplik ve arka yüzü siyah boyalı polyester/elastan iplikten oluşan çorap kumaşı numunelerinden elde edilen renk verimi değerlerine ilişkin ikili etkileşimler

Şekil 4.19 incelendiğinde ilk dikkati çeken lazer ile işlem görmüş kumaş numunelerinin işlemsize göre daha açık renk tonuna sahip olduğudur. 10, 20 ve 30 dpi'de yapılan lazer işlemleri sonrası renklerin süreye bağlı olarak giderek açıldığı görülmüştür. 30 dpi'de yapılan işlemde renklerde süreye bağlı olarak süre uzadıkça sararma meydana gelmeye başlamıştır. Genel olarak çözünürlük ve piksel süresi arttıkça renk verimi değerlerinin azaldığı söylenebilir. Ayrıca çözünürlüğün piksel süresine göre daha belirgin değişim yarattığı söylenebilir. Lazerle muamele edilmiş kumaş numunelerinin renk verimi değerlerindeki azalmanın nedeninin, lazer ışınlamasına tabi tutulan kumaş yüzeyindeki indigo boyaların lazer enerjisi ile kromofor gruplarının zarar görmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Ön yüzü indigo boyalı pamuk/poliakrilonitril iplik ve arka yüzü siyah boyalı poliester/elastan iplikten oluşan çorap kumaşı numunelerinden elde edilen renk verimi değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları Çizelge 4.46’te verilmektedir.

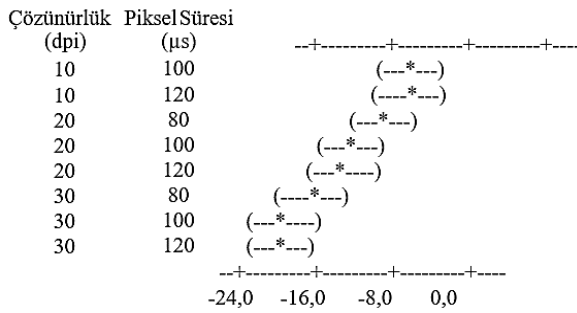
Çizelge 4.46. Çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz ön yüzü indigo boyalı pamuk/poliakrilonitril iplik ve arka yüzü siyah boyalı poliester/elastan iplikten oluşan çorap kumaşı numunelerinden elde edilen renk verimi değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları

Kaynak	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Çözünürlük (dpi)	2	1508,960	1508,960	754,480	523,280	0,000
Piksel Süresi (µs)	2	148,110	148,110	74,060	51,360	0,000
Çözünürlük (dpi)*Piksel Süresi (µs)	4	9,310	9,310	2,330	1,610	0,214
Hata	18	25,950	25,950	1,440		
Toplam	26	1692,330				

$$S = 1,20076 \quad R\text{-Sq} = \%98,47 \quad R\text{-Sq(aj)} = \%97,78$$

Çizelge 4.46 incelendiğinde çözünürlük ve piksel süresi parametrelerinin her ikisinin de istatistiksel olarak önemli ($p < 0,05$) olduğu görülmektedir. Her bir parametre için farklılığın kaynağını görmek için Tukey testi de yapılmış olup sonuçlar Çizelge 4.46’da verilmektedir.

Çizelge 4.47. Çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz ön yüzü indigo boyalı pamuk/poliakrilonitril iplik ve arka yüzü siyah boyalı poliester/elastan iplikten oluşan çorap kumaşı numunelerinden elde edilen renk verimi değerlerine ilişkin Tukey (%95 güven aralığı) test sonuçları (Çözünürlük (dpi) = 10, Piksel Süresi (µs) = 80)



Çizelge 4.47 incelendiğinde 10 dpi 80 µs, 10 dpi 100 µs, 10 dpi 120 µs’in bir grup; 20 dpi 100 µs ve 20 dpi 120 µs’in ikinci bir grup; 30 dpi 100 µs ve 30 dpi 120 µs’in üçüncü bir grup oluşturduğu ve bu üç gruptaki numuneler arasındaki farkların istatistiksel olarak önemli olduğu anlaşılmaktadır. 20 dpi 100 µs 1. ve 2. grup arasında yer almakta olup her iki grup ile de arasında fark yoktur. 30 dpi 80 µs ise 2. ve 3. grup arasında yer almakta olup her iki grup ile

de arasında fark yoktur. Buradaki amaç daha önce açıklandığı üzere ön yüzü indigo boyalı pamuk/poliakrilonitril ipliği ve arka yüzü siyah boyalı poliester/elastan iplikten oluşan taytlarda bölgesel olarak farklı dozlarda lazer uygulayarak desen eldesi olduğundan, işlemsiz bölgeye göre önemli renk farkı yaratabilecek lazer işlem koşullarının saptanması gerekmektedir. Bu noktada birinci gruptaki koşullar arasında liflere zarar verme riski en düşük olan 10 dpi 80 µs seçilmiştir. Daha belirgin renk farkı yaratmak için ise yine liflere zarar verme riski en düşük olan 20 dpi 120 µs seçilmiştir. Çok daha belirgin renk farkı yaratılmak istenildiğinde ise Şekil 4.19'dan da görülebileceği üzere 30 dpi'ye çıkılması gerekmektedir. Ancak lazer ile işlem sonrası kumaş yüzeyleri incelendiğinde çözünürlük 30 dpi'de liflerde yanıklar meydana geldiği ve kumaş tuşesinin olumsuz etkilendiği görülmüştür. Bu nedenle, ön yüzü indigo boyalı pamuk/akrilik ve arka yüzü siyah boyalı poliester/elastan iplikten oluşan çoraplar üzerinde bazı bölgelere lazer ile işlem uygulamayıp bazı bölgelere 10 dpi 80 µs, bazı bölgelere ise 20 dpi 120 µs lazer uygulanırsa çoraplar üzerinde aynı rengin farklı tonlarını içeren desenlerin eldesinin mümkün olabileceği söylenebilir. Çizelge 4.48'de ön yüzü indigo boyalı pamuk/akrilik iplik ve arka yüzü siyah boyalı poliester/elastan iplikten oluşan tayt kumaşlarının 10 dpi 80 µs ve 20 dpi 120 µs lazer işlemine tabi tutulmuş hâllerinin fotoğrafları verilmektedir.

Çizelge 4.48. Ön yüzü indigo boyalı pamuk/akrilik iplik ile arka yüzü siyah boyalı poliester/elastan iplikten oluşan tayt kumaşlarının 10 dpi 80 µs ve 20 dpi 120 µs lazer işlemine tabi tutulmuş hâllerinin fotoğrafları



Çizelge 4.48 incelendiğinde lazer ile işlem sonrası kumaş numunelerinin renginin açıldığı görülmektedir. Çizelge 4.49'de kumaş numunelerine ait CIE L*a*b* değerleri verilmektedir.

Çizelge 4.49. Çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz ön yüzü indigo boyalı pamuk/poliakrilonitril iplik ve arka yüzü siyah boyalı poliester/elastan iplikten oluşan çorap kumaşı numunelerinden elde edilen CIE L*a*b* değerleri

No	Çözünürlük (dpi)	PikselSüresi (µs)	L*	a*	b*	C*	h°
1	-	-	10,32	0,95	-5,26	5,35	280,28
2	10	80	12,16	1,09	-5,81	5,91	280,63
3	10	100	12,89	1,22	-6,01	6,13	281,5
4	10	120	12,86	1,19	-5,82	5,63	281,59
5	20	80	13,87	1,09	-6,59	6,68	279,35
6	20	100	15,72	1,19	-7,00	7,10	279,34
7	20	120	16,22	1,17	-6,98	7,07	279,53
8	30	80	17,86	1,04	-6,08	6,18	279,91
9	30	100	20,72	1,09	-6,06	6,16	280,29
10	30	120	21,13	1,05	-6,29	6,38	279,51

Çizelge 4.49 incelendiğinde öncelikle işlemsiz göre lazer ile işlem görmüş numunelerin rengindeki en büyük farkın açıklık-koyuluk değeri olan L* değerinden kaynaklandığı ve piksel süresi ve özellikle de lazer gücü arttıkça elde edilen rengin açıldığı (L* değerinin büyüdüğü) söylenebilir. Rengin nüansına bakıldığında kırmızılık-yeşilik (a*) açısından farkların az olduğu, ancak lazer ile işlem gören numunelerde özellikle 30 dpi'de işlem yapıldığında rengin nüansının belirgin ölçüde mavi yöne kaydığı (daha küçük b* değeri) görülmektedir.

Farklı koşullarda (çözünürlük ve piksel süresinde) lazer ile muamele edilmiş çorap numunelerinin patlama mukavemeti testinde lazer uygulanmış ve işlemsiz çorap numunelerinde patlama meydana gelmemiştir. Bunun nedenin çorabın arka yüzeyindeki poliester/elastan single cover gipe ipliğin kazandırdığı mukavemetten kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu durum ön yüzü indigo boyalı pamuk/poliakrilonitril iplik ve arka yüzü siyah boyalı poliester/elastan iplikten oluşan taytlarda lazer ile desen eldesinin güvenli bir şekilde gerçekleştirilebileceğini ortaya koymaktadır.

Ön yüzü indigo boyalı pamuk/poliakrilonitril iplik ile arka yüzü siyah boyalı poliester/elastan iplikten yapılmış çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz kumaş

numunelerinin yıkama (60 °C'ta), sürtme (kuru ve yaş) ve ter (asidik ve alkali) haslığı değerleri test edilmiş olup sonuçlar Çizelge 4.50 ve Çizelge 4.51'de verilmektedir.

Çizelge 4.50. Çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz ön yüzü indigo boyalı pamuk/poliakrilonitril iplik ve arka yüzü siyah boyalı poliester/elastan iplikten oluşan çorap kumaşı numunelerinin yıkama ve sürtme haslığı değerleri

Lazer	Yıkama Haslığı						Sürtme Haslığı	
	WO	PAC	PES	PA	CO	CA	Kuru	Yaş
-	4/5	4/5	4/5	4	4	4/5	4	2
10 dpi 80 µs	4/5	4/5	4/5	4	4	4/5	3/4	1
20 dpi 120 µs	4/5	4/5	4/5	4	4	4/5	3/4	1

Çizelge 4.51. Çeşitli koşullarda lazerle işlem görmüş ve işlemsiz ön yüzü indigo boyalı pamuk/poliakrilonitril iplik ve arka yüzü siyah boyalı poliester/elastan iplikten oluşan çorap kumaşı numunelerinin asidik ve alkali ter haslığı değerleri

Lazer	Asidik Ter Haslığı						Alkali Ter Haslığı					
	WO	PAC	PES	PA	CO	CA	WO	PAC	PES	PA	CO	CA
-	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
10 dpi 80 µs	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
20 dpi 120 µs	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5

Çizelge 4.50 ve Çizelge 4.51 incelendiğinde genel olarak işlemsiz ve lazer ile işlem görmüş numunelerin haslık değerleri arasında fark olmadığı söylenebilir.

Elde edilen bu sonuçların ışığı altında, ön yüzü indigo boyalı pamuk/poliakrilonitril ipliği ve arka yüzü siyah boyalı poliester/elastan iplikten oluşan taytlara bölgesel olarak 10 dpi 80 µs ve 20 dpi 120 µs lazer işlemi yapılmış ve tayt üzerinde desen elde edilmiştir. Numuneye ait fotoğraf Şekil 4.20'de verilmektedir.



Şekil 4.20. Ön yüzü indigo boyalı pamuk/poliakrilonitril ipliği ve arka yüzü siyah boyalı poliester/elastan iplikten oluşan taytlarda lazer ile desenlendirme

Şekil 4.20 incelendiğinde ön yüzü indigo boyalı pamuk/poliakrilonitril ipliğinden üretilmiş iç göstermeyen taytlarda desene ait bölgelere lazer işlemi uygulanırsa lazer uygulanmamış bölgeler olduğu gibi kalırken farklı dozlarda lazer uygulanmış bölgelerin renginde aşınma meydana gelecektir. Bu durum aynı rengin farklı tonlarını içeren desen eldesinin mümkün olacağını ortaya koymaktadır.

5. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada lazer ile ön işlemin pamuklu çoraplarda patlama mukavemetinin azalmasına neden olduğu; 30 dpi'de yapılan işlemin kumaşa en çok zarar verdiği görülmüştür. 10 dpi ve 20 dpi'de yapılan işlemlerdeki hasarın ise kabul edilebilir seviyelerde olduğu saptanmıştır. Lazer ile işlemin pamuklu kumaşın renginde sararmaya neden olduğu ancak bu sararmanın 30 dpi'ye kıyasla 10 dpi ve 20 dpi'de yapılan işlemlerde oldukça daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Öte yandan, lazer ile işlem gören numunelerin reaktif boyalalarla işlemsiz kumaşlara kıyasla daha açık tonlarda boyandığı görülmüştür. Genel olarak lazer işlemindeki çözünürlük ve piksel süresi arttıkça renk verimi değerlerinin azaldığı söylenebilir. Ancak numunelerin yıkama ve sürtme haslığı değerlerinde önemli bir değişiklik gözlenmemiştir. Ayrıca FTIR analizi, liflerdeki hidroksil gruplarına karşılık gelen piklerin şiddetinde bir azalma olduğunu ortaya koymuştur. Elde edilen sonuçların ışığı altında, pamuklu çoraplar üzerinde bazı bölgelere lazer ile işlem uygulamayıp, bazı bölgelere 20 dpi 80 µs, bazı bölgelere ise 20 dpi 120 µs lazer uygulandıktan sonra çoraplar reaktif boya ile boyanacak olursa aynı rengin farklı tonlarının elde edilebileceği söylenebilir.

Bu çalışma kapsamında elde edilen bir diğer sonuç ise reaktif boyalı pamuklu çoraplarda boyama sonrası bazı bölgelere lazer ile işlem uygulamayıp bazı bölgelere 10 dpi 100 µs, bazı bölgelere ise 20 dpi 100 µs olacak şekilde lazer uygulanırsa çoraplar üzerinde aynı rengin farklı tonlarını içeren desenlerin eldesinin mümkün olacağıdır. Boyama sonrası lazer ile işlem yapılması haslıklar üzerinde ise olumsuz bir etkiye yol açmamıştır.

Çalışma kapsamında numune ölçekli üretim denemelerinde ön yüzü %100 pamuk iplik ve arka yüzü siyah boyalı poliester/elastan iplikten tayt numuneleri üretilmiş ve seçilen bir desene göre taytın bazı bölgelerine lazerle iki farklı koşulda (20 dpi ve 80 µs ile 20 dpi ve 120 µs) desenlendirme yapılmıştır. Daha sonra bu taytlar mavi renkli reaktif boya ile boyandığında tayt üzerinde aynı rengin farklı tonlarını içeren desen eldesi gerçekleşmiştir. Benzer şekilde reaktif boya veya indigo boya ile boyanmış taytların çeşitli bölgelerine desene göre lazerle farklı koşulda işlem uygulandığında yine desen eldesinin mümkün olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada pamuğun yanı sıra akrilik (Miyabi ticari isimli) çoraplarda da lazerle desenlendirme imkânı incelenmiştir. Lazer ile ön işlemin akrilik çorap kumaşlarının patlama mukavemetinin azalmasına neden olmadığı, hatta kumaşta oluşan büzülme nedeniyle bir miktar mukavemet artışı bile meydana geldiği görülmüştür. Lazer ile işlemin akrilik kumaşın renginde

de özellikle 30 dpi'de yapılan işlemde sararmaya yol açtığı tespit edilmiştir. Öte yandan, lazer ile ön işlem yapılmasının bazik boya alımı üzerinde çok büyük bir etkisinin olmadığı, ancak işlemsiz numuneye göre lazer ile ön işlem görmüş numunelerin biraz daha açık renge boyandığı görülmüştür. Aslında yapılan çalışmalarda 30 dpi'de işlem görmüş numunelerin erimeye başladığı ve kumaşın oldukça fazla zarar gördüğü, ancak 10 ve 20 dpi'de işlem gören kumaşların ise hiç etkilenmediği saptanmıştır. Bu durum SEM analizleri ile doğrulanmış olup 30 dpi'de yapılması durumunda liflerde erime küreciklerinin oluştuğu ve lif yüzeyinde şiddetli aşınmaların meydana geldiği görülmüştür. Özetle akrilik kumaşların boyama davranışını değiştirmek için 10-20 dpi gibi çözünürlükler yetersiz gelmekte ancak bunun üzerine çıkıldığı zaman da lifler aşırı zarar görmektedir. Bu sonuçların ışığı altında akrilik liflerinde lazer ile kimyasal modifikasyon yoluyla bazik boya alımını değiştirmenin pek mümkün olamayacağı söylenebilir. Akrilik kumaşlarda lazer teknolojisinin kullanılmasına ilişkin elde edilen bir diğer sonuç ise bazik boyalı akrilik çoraplarda boyama sonrası bazı bölgelere lazer ile işlem uygulamayıp bazı bölgelere 20 dpi 100 µslazer uygulanırsa çoraplar üzerinde aynı rengin iki farklı tonunu içeren desenlerin eldesinin mümkün olacaktır. Ancak elde edilecek renk efektinin çok şiddetli olmayacağını belirtmekte fayda vardır. Boyama sonrası lazer ile işlem yapılması haslıklar üzerinde ise olumsuz bir etkiye yol açmamıştır.

Çalışma kapsamında numune ölçekli üretim denemelerinde ön yüzü indigo boyalı pamuk/poliakrilonitril, arka yüzü siyah boyalı poliester/elastandan tayt numuneleri üretilmiş ve seçilen bir desene göre taytın bazı bölgelerine lazerle iki farklı koşulda (10 dpi 80 µs ve 20 dpi 120 µs) desenlendirme yapılmıştır. Böylece lazer uygulanmamış bölgeler olduğu gibi kalırken farklı dozlarda lazer uygulanmış bölgelerin renginde aşınma meydana gelmiştir. Bu durum aynı rengin farklı tonlarını içeren desen eldesinin mümkün olduğunu ortaya koymaktadır.

Bu tez çalışması lazer teknolojisinin çorap sektöründe ilk kez kullanılmış olması bakımından oldukça yenilikçi ve özgündür. Ayrıca literatürde akrilik ve pamuk/akrilik karışımı kumaşların lazer ile modifikasyonuna ilişkin bir çalışmaya rastlanmamış olup bu tezin literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Çalışma kapsamında elde edilen bulguların ışığı altında, katma değeri yüksek moda-marka ürünlerin üretilmesinin büyük önem taşıdığı günümüz koşullarında çorap sektörü gibi etkili ürünlerin beğeni ile karşılandığı bir uygulama alanında çevre dostu temiz lazer uygulamalarının çoraplarda desenlendirme ve renk efekti eldesinde başarıyla kullanılabileceği söylenebilir.

KAYNAKLAR

- Akiwowo, K., Kane, F., Tyrer, J., Weaver, G. ve Filarowski, A. (2014). Digital Laser-dyeing for Polyester Fabrics. *Journal of Textile Design Research and Practice*, 2(2), 133-151.
- Akiwowo, K. (2015a). *Digital laser-dyeing: coloration and patterning techniques for polyester textiles* (PhD Thesis), The University of Loughborough, Leicestershire, UK.
- Akiwowo, K. (2015b, November 2-5). *Digital laser-dye patterning for PET textiles*. Paper presented at the IASDR Congress, Brisbane, Australia. Erişim adresi: <https://www.semanticscholar.org/paper/Digital-laser-dye-patterning-for-PET-textiles-Akiwowo/f8cd2af0a17feb71570a4512f20b03044801c39f?p2df>
- Akiwowo, K., Kane, F. E., Tyrer, J. R., Weaver, G. ve Filarowski, A. (2017). CO₂ laser dye patterning for textile design and apparel manufacture. *Journal of Textile Engineering and Fashion Technology*, 2(3), 394-399.
- Anonymus (2018). *History of Laser: The journey of twists and turn to innovation*. 26 October 2018, Erişim Adresi <https://www.sltl.com/blog/39/history-of-laser-the-journey-of-twists-and-turn-to-innovation>
- Atav, R. (2013). The Use of New Technologies in Dyeing of Proteinous Fibers. In *Eco-Friendly Textile Dyeing and Finishing* (103-147). Croatia: INTECH Publishing.
- Bahners, T. ve Schollmeyer, E. (1989). Morphological changes of the surface structure of polymers due to excimer laser radiation: a synergetic effect? *Journal of Applied Physics*, 66, 1884.
- Bahtiyari, M. I. (2011). Laser Modification of Polyamide Fabrics. *Optics & Laser Technology*, 43(1), 114-118.
- Chow, Y. L. F., Chan, A. ve Kan, C. (2012). Effect Of CO₂ Laser Irradiation on the Properties of Cotton Fabric. *Textile Research Journal*, 82(12), 1220-1234.
- Dascalu, T., Dascalu, C. ve Pavel, N. A. (2001, June 29). *Nd:YAG laser continuous wave-pumped Q-switched by hybrid passive-active methods*. Paper presented at the ROMOPTO 2000: Sixth Conference on Optics, Bucharest, Romania. Erişim adresi: <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/4430/0000/Nd-YAG-laser-continuous-wave-pumped-Q-switched-by-hybrid/10.1117/12.432899.short>

- Esteves, F. ve Alonso, H. (2007). Effect of CO₂ Laser Radiation on Surface and Dyeing Properties of Synthetic Fibers. *Research Journal of Textile and Apparel*, 11(3), 42-47.
- Ferrero, F., Testore, F., Tonin, C. ve Innocenti, R. (2002). Surface degradation of linen textiles induced by laser treatment: Comparison with electron beam and heat source. *AUTEX Research Journal*, 2, 109-114.
- Gribbin, J. R. (2000). *Q is For Quantum: an Encyclopedia of Particle Physics*. New York: Touchstone.
- Hartzell-Lawson, M. M. ve Hsieh, Y. L. (2000). Characterizing the Noncellulosics in Developing Cotton Fibers. *Textile Research Journal*, 70(9), 810-819.
- Hung, O. N., Chan, C. K., Kan, C. W. ve Yuen, C.W.M. (2014). Comparison of Color Properties of CO₂ Laser Treated Cotton Fabric Before and After Dyeing. *Journal of Textile Engineering*, 60(2), 23-25.
- Ibrahim, Y. M., Alsharaeh, E. H. ve El-Shall, M. S. (2004). Evidence for Penning Ionization in the Generation of Electronically Excited States of Transition Metal Cations by Laser Vaporization. *The Journal of Physical Chemistry B*, 108(13), 3959-3962.
- Kamel, M. M., Raslan, W. M., Helmy, H. M. ve Al-Ashkar, E. (2012). Improving Properties of Polyester and Cellulose Acetate Fabrics using Laser Irradiation. *Journal of Textile Science and Engineering*, 2(5), 1-6.
- Kan, C. W. (2007). Effects of laser irradiation on polyester textile properties. *Journal of Applied Polymer Science*, 107, 1584-1589.
- Kan, C. W., Yuen, C. W. M. ve Cheng, C. W. (2010). Technical study of the effect of CO₂ laser surface engraving on the colour properties of denim fabric. *Coloration Technology*, 126(6), 365-371.
- Karacan, I. ve Erdogan, G. (2012). The influence of thermal stabilization stage on the molecular structure of polyacrylonitrile fibers prior to the carbonization stage. *Fibers and Polymers*, 13(3), 295-302.
- Karbownik, I., Rac-Rumijowska, O., Fiedot-Toboła, M., Rybicki, T. ve Teterycz, H. (2019). The Preparation and Characterization of Polyacrylonitrile-Polyaniline (PAN/PANI) Fibers. *Materials*, 12(4), 664.

- Kašparová, M., Wiener, J., Šašková, J. ve Kalužná, A. (2019, June 11-15). *New Method of Reactive Dyes Fixation*. Paper presented at the AUTEK2019 – 19th World Textile Conference on Textiles at the Crossroads Ghent, Belgium. Erişim adresi: <https://ojs.ugent.be/autex/article/download/11734/11172>.
- Kesting, W., Bahnert, T. ve Schollmeyer, E. (1990). Controlled structuring of polymer surfaces by UV-laser irradiation. *Applied Surface Science*, 46(1-4), 326-329.
- Knittel, D. ve Schollmeyer, E. (1998). Surface Structuring of Synthetic Fibers by UV Laser Irradiation. Part III. Surface Functionality Changes Resulting from Excimer-Laser Irradiation. *Polymer International*, 45, 103-109.
- Lau, K. S., Chan, P. W., Yeung, K. W., Chan, K. ve Gong, W. Z. (1997). Surface properties of polyester fabrics induced by excimer laser processing. *Journal of Materials Processing Technology*, 63(1-3), 524-528.
- Liang, S., Zhou, X., Lou, Q., Tu, T. ve Xing, Z. (2002). Surface structure and property changes of poly(ethylene terephthalate) fabric induced by UV-laser irradiation. *Proceedings of the SPIE*, 4915, 272-277.
- Mayer, G., Blanchemain, N., Dupas-Bruzek, C., Miri, V., Traisnel, M., Gengembre, L., Derozier, D. ve Hildebrand, H. F. (2006). Physico-chemical and biological evaluation of excimer laser irradiated polyethylene terephthalate (pet) surfaces. *Biomaterials*, 27(4), 553-566.
- Miserendino, L. J. ve Pick, R. M. (1995). *Lasers in Dentistry* (1st ed.). Chicago: Quintessence Publishing.
- Montazer, M., Taheri, S. J. ve Harifi, T. (2011). Effect of Laser CO₂ Irradiation on Various Properties of Polyester Fabric: Focus on Dyeing. *Journal of Applied Polymer Science*, 124, 342-348.
- Montazer, M., Chizarifard, G. ve Harifi, T. (2013). CO₂ laser irradiation of raw and bleached cotton fabrics, with focus on water and dye absorbency. *Coloration Technology*, 130(1), 13-20.
- Morgan, L., Tyrer, J. R., Kane, F. ve Shen, J. (2015, June 10-12). *Laser-Dyeing for Sustainable Textile Design*. Paper presented at the 13th International Wool Research Conference (IWRC-13) and AATCC Sustainability Symposium, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou, China. Erişim Adresi: <https://dora.dmu.ac.uk/handle/2086/13479>

- Morgan, L. (2016). *Laser textile design: the development of laser dyeing and laser moulding processes to support sustainable design and manufacture* (PhD Thesis), The University of Loughborough, Leicestershire, UK.
- Morgan, L., Shen, J., Matthews, J. ve Tyrer, J. (2018a, June 20-22). *Laser Peri-Dyeing for Agile Textile Design: Implementing Laser Processing Research within the Textile Industry*. Paper presented at the 18th Autex World Textile Conference, Istanbul, Turkey. Erişim adresi: <https://dora.dmu.ac.uk/handle/2086/16500>
- Morgan, L., Kane, F., Tyrer, J. ve Shen, J. (2018b). Laser Shibori: A Digital Moulding Technique Supporting Circular Textile Design in Three Dimensions. *Journal of Textile Design Research and Practice*, 6(1), 5-22.
- Nayak, R. ve Padhye, R. (2016). The use of laser in garment manufacturing: an overview. *Fashion Text*, 3(5), 1-16.
- Nourbakhsh, S. ve Ashjari, A. (2012). Laser Treatment of Cotton Fabric for Durable Antibacterial Properties of Silver Nanoparticles. *Materials*, 5, 1247-1257.
- Nourbakhsh, S. ve Ebrahimi, I. (2012). Different Surface Modification of Poly (Ethylene Terephthalate) and Polyamide 66 Fibers by Atmospheric Air Plasma Discharge and Laser Treatment: Surface Morphology and Soil Release Behavior. *Journal of Textile Science and Engineering*, 2(2), 1-5.
- Ortiz-Morales, M., Poterasu, M., Acosta-Ortiz, S. E., Compean, I. ve Hernandez-Alvarado, M. R. (2003). A comparison between characteristics of various laser-based denim fading processes. *Optics and Lasers in Engineering*, 39(1), 15-24.
- Rouette, H. K. (2001). *Encyclopedia of Textile Finishing*. Cambridge, UK: Woodhead Publishing.
- Seventekin, N. (2004). *Tekstil Kimyası*. İzmir: Ege Üniversitesi Tekstil ve Konfeksiyon Araştırma-Uygulama Merkezi Yayınları.
- Shahidi, S., Wiener, J. ve Ghoranneviss, M. (2013a). Surface modification methods for improving the dyeability of textiles fabrics. In *Eco-friendly textile dyeing and finishing* (33-52). Rijeka: InTech.
- Shahidi, S., Moazzenchi, B. ve Ghoranneviss, M. (2013b). Improving the Dyeability of Polypropylene Fabrics Using Laser Technology. *The Journal of The Textile Institute*, 104(10), 1113-1117.

- Standards Turkey (2010). Textiles - Tests for colour fastness - Part C06: Colour fastness to domestic and commercial laundering (TS EN ISO 105-C06). Erişim adresi: <http://intweb.tse.org.tr/Standard>
- Standards Turkey (2013). Textiles - Tests for colour fastness - Part E04: Colour fastness to perspiration (TS EN ISO 105-E04). Erişim adresi: <http://intweb.tse.org.tr/Standard>
- Standards Turkey (2014). Textiles - Tests for colour fastness - Part B02: Colour fastness to artificial light: Xenon arc fading lamp test (TS EN ISO 105-B02). <http://intweb.tse.org.tr/Standard>
- Standards USA (2015). Standard Practice for Calculating Yellowness and Whiteness Indices from Instrumentally Measured Color Coordinates (ASTM E313-15e1). Erişim adresi: <http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?E313-15e1>
- Standards Turkey (2016). Textiles - Tests for colour fastness - Part X12: Colour fastness to rubbing (TS EN ISO 105-X12). Erişim adresi: <http://intweb.tse.org.tr/Standard>
- Standards Turkey (2020). Textiles - Bursting properties of fabrics - Part 2: Pneumatic method for determination of bursting strength and bursting distension (TS EN ISO 13938-2). Erişim adresi: <https://intweb.tse.org.tr/Standard>
- Torretti, R. (1999). *The Philosophy of Physics*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Watt, W. ve Johnson, W. (1975). Mechanism of oxidisation of polyacrylonitrile fibres. *Nature*, 257(5523), 210-212.
- Yip, J., Chan, K., Sin, K. M. ve Lau, K. S. (2002a). Study of physico-chemical surface treatments on dyeing properties of polyamides. Part 2: Effect of UV excimer laser irradiation. *Coloration Technology*, 118(1), 31-34.
- Yip, J., Chan, K., Sin, K. M. ve Lau, K. S. (2002b). UV excimer laser modification of polyamide materials: effect on dyeing properties. *Materials Research Innovation*, 6(2), 73-78.
- Yuan, G., Jiang, S., Newton, E., Fan, J. ve Au, W. (2012). Application of laser treatment for fashion design. *Journal of the Textile Institute*, 103(1), 48-54.