



**GİYSİ TABANLI AKILLI SENSÖRLERİN
ÜRETİMİ İÇİN PAMUKLU KUMAŞLARIN
HALOKROMİK VE FOTOKROMİK
BOYALARLA BOYANMASI**

Eray AKKUŞ

Yüksek Lisans Tezi

**Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Rıza ATAV
2021**

T.C.
TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**GİYSİ TABANLI AKILLI SENSÖRLERİN ÜRETİMİ İÇİN PAMUKLU
KUMAŞLARIN HALOKROMİK VE FOTOKROMİK BOYALARLA
BOYANMASI**

Eray AKKUŞ

TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: Prof. Dr. Rıza ATAV

TEKİRDAĞ-2021

Her hakkı saklıdır.



Bu tez TÜBİTAK tarafından 1505 kodlu Üniversite-Sanayi işbirliği destek programı kapsamında 5190051 numaralı proje ile desteklenmiştir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Giysi Tabanlı Akıllı Sensörlerin Üretimi İçin Pamuklu Kumaşların Halokromik ve Fotokromik

Boyalarla Boyanması

Eray AKKUŞ

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Rıza ATAV

Günümüzde kullanıcılar giydikleri giysilerden atmosfer şartlarından koruma ve süslenmenin ötesinde başka ek fonksiyonlar da sağlamasını istemektedirler. Bu nedenle katma değeri yüksek fonksiyonel ve akıllı tekstillere yönelim artmaktadır. Bu tez projesi kapsamında öncelikle pamuklu kumaşların halokromik ve fotokromik boyalarla konvansiyonel çektirme ve emdirme yöntemine göre boyanabilirliğini sağlayacak bir proses geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla pamuk liflerinin kimyasal modifikasyonu sonrası yün boyama veya parça boyamacıların kullandığı pigment boyama prosesine göre boyanması üzerinde çalışılmıştır. Ayrıca emdirme yöntemine göre aplikasyon da denenmiştir. Halokromik ve fotokromik boyalar için optimum aplikasyon yöntem ve koşulları saptandıktan sonra bu boyalar için saptanmış bulunan optimum koşullarda ikili kombinasyonları da gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda, ortamda tehlikeli bir kimyasal buharı olup olmadığını (asit-baz buharları) haber verebilme (halokromik) ve bir yandan UV ışınlarına karşı koruma sağlarken diğer yandan UV ışınları ile renk değiştirerek (fotokromik) görsel efekt yaratma fonksiyonlarından birini veya ikisini birden sağlayabilen pamuklu akıllı sensör giysilerin (veya bir giysiye monte edilecek küçük bir etiket veya bir bileklik vb.) üretilmesi için yöntem geliştirilmesi başarılmıştır.

Anahtar kelimeler: Fotokromik, Halokromik, Akıllı Tekstil, Sensör

2021, 124 sayfa

ABSTRACT

MSc. Thesis

DYEING OF COTTON FABRICS WITH HALOCHROMIC AND PHOTOCROMIC DYES FOR THE PRODUCTION OF GARMENT BASED SMART SENSORS

Eray AKKUŞ

Tekirdağ Namık Kemal University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Textile Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Rıza ATAV

Today, users want their clothes to provide additional functions beyond protection from atmospheric conditions and adomment. Therefore, the tendency towards functional and smart textiles with high added value is increasing. In the scope of this thesis project, it is aimed to develop a process that will ensure the dyeability of cotton fabrics with halochromic and photochromic dyes according to conventional exhaustion and padding methods. For this purpose, after chemical modification, dyeing of cotton fibers according to wool dyeing or pigment dyeing process used by piece dyers was studied. In addition, application according to the padding method was also tried. After determining the optimum application methods and conditions for halochromic and photochromic dyes, binary combinations were also performed under optimum conditions determined for these dyes. As a result of the work done, it has been achieved to develop a method for producing cotton smart sensor clothes (or a small tag to be attached to a garment or a wristband, etc.) that can provide one or both of the following functions, notifying if there is a dangerous chemical vapor (acid-alkali vapors) in the environment (halochromic) and creating a visual effect (photochromic) by changing color with UV rays on the one hand, while providing protection against UV rays on the other hand.

Key words: Photochromic, Halochromic, Smart Textile, Sensor

2021, 124 pages

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGE DİZİNİ.....	vi
ŞEKİL DİZİNİ.....	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	xii
TEŞEKKÜR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	3
2.1. Kromizm.....	3
2.2. Halokromizm (İyonokromizm).....	3
2.2.1. Halokromik Boyarmaddelerin Kimyasal Yapısı	4
2.2.2. Halokromik Boyarmaddelerin Kullanım Alanları	5
2.2.3. Halokromik Boyarmaddelerin Tekstil Alanında Kullanımı ile İlgili Yapılan Önceki Çalışmalar	6
2.3. Fotokromizm.....	14
2.3.1. Fotokromik Boyarmaddelerin Kimyasal Yapısı.....	14
2.3.1.1. Cis/Trans izomerizasyonu.....	14
2.3.1.2. Heterolitik ve homolitik bağ kırılması.....	15
2.3.1.3. Molekül içi hidrojen transferi	15
2.3.1.4. Molekül için grup transferi	16
2.3.1.5. Elektron transferi (yükseltgeme-indirgeme).....	16
2.3.1.6. Perisiklik reaksiyonlar	17
2.3.2. Fotokromik Boyarmaddelerin Kullanım Alanları	20
2.3.3. Fotokromik Boyarmaddelerin Tekstil Alanında Kullanımı ile İlgili Yapılan Önceki Çalışmalar	24
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	31
3.1. Materyal.....	31
3.2. Yöntem	32
3.2.1. Pamuk Liflerinin Katyonikleştirilmesi	32
3.2.2. Halokromik Boyalarla Boyama	32

3.2.2.1. Halokromik boyalarla katyonikleştirme sonrası yün boyama prosesiyle çektirme yöntemine göre boyama	32
3.2.2.2. Halokromik boyalarla katyonikleştirme sonrası pigment boyama prosesiyle çektirme yöntemine göre boyama	35
3.2.2.3. Halokromik boyalarla emdirme yöntemine göre boyama	36
3.2.3. Fotokromik Boyalarla Boyama	38
3.2.3.1. Fotokromik boyalarla katyonikleştirme sonrası yün boyama prosesiyle çektirme yöntemine göre boyama	39
3.2.3.2. Fotokromik boyalarla katyonikleştirme sonrası pigment boyama prosesiyle çektirme yöntemine göre boyama	40
3.2.3.3. Fotokromik boyalarla emdirme yöntemine göre boyama	41
3.2.4. Bikromik Kumaş Üretimi	42
3.2.5. Renk Değişimi Gözlem Kabini Tasarlanması	43
3.2.6. Yapılan Test ve Analizler	45
3.2.6.1. Renk verimi ve CIE L*a*b* değerlerinin tespiti	45
3.2.6.2. Renk değişimi gözlem kabininde görüntülenen kromik renk değişimi görüntülerinin sayısallaştırılması.....	46
3.2.6.3. UV/vis spektrofotometre ile çözeltilerde renk ölçümü	46
3.2.6.4. Yıkamaya karşı renk haslığı tayini	47
3.2.6.5. Sürtünmeye karşı renk haslığı tayini.....	47
3.2.6.6. Işığa karşı renk haslığı tayini	47
3.2.6.7. Ter haslığı tayini	47
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	48
4.1. Halokromik Boyalarla Boyamaya İlişkin Sonuçlar	48
4.1.1. Halokromik Boyalarla Katyonikleştirme Sonrası Yün Boyama Prosesiyle Çektirme Yöntemine Göre Boyamaya İlişkin Sonuçlar.....	48
4.1.2. Halokromik Boyalarla Katyonikleştirme Sonrası Pigment Boyama Prosesiyle Çektirme Yöntemine Göre Boyamaya İlişkin Sonuçlar.....	61
4.1.3. Halokromik Boyalarla Emdirme Yöntemine Göre Boyamaya İlişkin Sonuçlar ...	65
4.2. Fotokromik Boyalarla Boyamaya İlişkin Sonuçlar	77
4.2.1. Fotokromik Boyalarla Katyonikleştirme Sonrası Yün Boyama Prosesiyle Çektirme Yöntemine Göre Boyamaya İlişkin Sonuçlar.....	77
4.2.2. Fotokromik Boyalarla Katyonikleştirme Sonrası Pigment Boyama Prosesiyle Çektirme Yöntemine Göre Boyamaya İlişkin Sonuçlar.....	78
4.2.3. Fotokromik Boyalarla Emdirme Yöntemine Göre Boyamaya İlişkin Sonuçlar....	79
4.3. Bikromik Boyamalara İlişkin Sonuçlar	89

4.3.1. Bikromik kumaşın pH ile renk değiştirme özelliğinin incelenmesi	90
4.3.2. Bikromik kumaşın ter ile renk değiştirme özelliğinin incelenmesi	95
4.3.3. Bikromik kumaşların UV ışık ile renk değiştirme özelliğinin incelenmesi	96
5. GENEL SONUÇLAR.....	100
KAYNAKLAR.....	102
ÖZGEÇMİŐ.....	111



ÇİZELGE DİZİNİ

Çizelge 2.1. Pamuk lifleri üzerinde halokromizm ile ilgili çalışmalar.....	13
Çizelge 2.2. Pamuk lifleri üzerinde fotokromizm ile ilgili çalışmalar	29
Çizelge 3.1. Denemelerde kullanılan kumaşın özellikleri.....	31
Çizelge 3.2. Katyonikleştirme sonrası yün boyama prosesiyle halokromik boyalarla boyama denemelerinde kullanılan faktörler ve seviyeleri.....	33
Çizelge 3.3. Katyonikleştirme sonrası pigment boyama prosesiyle halokromik boyalarla boyama denemelerinde kullanılan faktörler ve seviyeleri.....	36
Çizelge 3.4. Emdirme yöntemine göre boyama denemelerinde kullanılan faktörler ve seviyeleri.....	37
Çizelge 3.5. Katyonikleştirme sonrası yün boyama prosesiyle fotokromik boyalarla boyama denemelerinde kullanılan faktörler ve seviyeleri.....	39
Çizelge 3.6. Katyonikleştirme sonrası pigment boyama prosesiyle fotokromik boyalarla boyama denemelerinde kullanılan faktörler ve seviyeleri.....	40
Çizelge 3.7. Emdirme yöntemine göre boyama denemelerinde kullanılan faktörler ve seviyeleri.....	41
Çizelge 4.1. Bromkresol moru için boyama koşullarının optimizasyonuna ilişkin varyans analizi sonuçları.....	49
Çizelge 4.2. Bromkresol moru için boya konsantrasyonunun etkisine ilişkin Tukey test sonuçları (Standart sapma bazında ortalamalar için %95 güven aralığı)	50
Çizelge 4.3. Bromkresol moru ile boyama koşullarının optimizasyonuna ilişkin kumaş numunelerinin fotoğrafları.....	50
Çizelge 4.4. Bromtimol mavisi için boyama koşullarının optimizasyonuna ilişkin varyans analizi sonuçları.....	52
Çizelge 4.5. Bromtimol mavisi boya konsantrasyonunun etkisine ilişkin Tukey test sonuçları (Standart sapma bazında ortalamalar için %95 güven aralığı)	53
Çizelge 4.6. Bromtimol mavisi ile boyama koşullarının optimizasyonuna ilişkin kumaş numunelerinin fotoğrafları.....	53
Çizelge 4.7. Fenol kırmızısı için boyama koşullarının optimizasyonuna ilişkin varyans analizi sonuçları	55
Çizelge 4.8. Fenol kırmızısı için boya konsantrasyonunun etkisine ilişkin Tukey test sonuçları (Standart sapma bazında ortalamalar için %95 güven aralığı)	55
Çizelge 4.9. Fenol kırmızısı ile boyama koşullarının optimizasyonuna ilişkin kumaş numunelerinin fotoğrafları.....	56
Çizelge 4.10. Halokromik boyarmaddelerle optimum koşullarda boyanmış kumaş numunelerinin fotoğrafları ve elde edilen renk verimi (K/S) değerleri.....	56

Çizelge 4.11. Optimum koşullarda halokromik boyalarla yapılan boyama işlemlerine ait yıkama, sürtme ve ışık haslığı değerleri	57
Çizelge 4.12. Optimum koşullarda halokromik boyalarla yapılan boyama işlemlerine ait asidik ve alkali ter haslığı değerleri	57
Çizelge 4.13. Çektirme yöntemine göre halokromik boyalarla boyanmış pamuklu kumaşların pH ile renk değişimi	60
Çizelge 4.14. Pigment boyama prosesine göre yapılan denemelerde bromkresol moru ile elde edilen renk verimi (K/S) değerleri ve numunelerin fotoğrafları.....	61
Çizelge 4.15. Pigment boyama prosesine göre yapılan denemelerde bromtimol mavisi ile elde edilen renk verimi (K/S) değerleri ve numunelerin fotoğrafları.....	62
Çizelge 4.16. Pigment boyama prosesine göre optimum koşullarda boyanan kumaşların sürtme, yıkama ve ışık haslığı sonuçları.....	63
Çizelge 4.17. Pigment boyama prosesine göre optimum koşullarda boyanan kumaşların asidik ve alkali ter haslığı sonuçları	63
Çizelge 4.18. Pigment boyama prosesine göre halokromik boyalarla boyanmış pamuklu kumaşların pH ile renk değişimi.....	64
Çizelge 4.19. Emdirme yöntemine göre yapılan denemelerde bromkresol moru ile elde edilen renk verimi (K/S) değerleri ve numunelerin fotoğrafları	65
Çizelge 4.20. Emdirme yöntemine göre yapılan denemelerde bromtimol mavisi ile elde edilen renk verimi (K/S) değerleri ve numunelerin fotoğrafları	66
Çizelge 4.21. Emdirme yöntemine göre yapılan denemelerde fenol kırmızısı ile elde edilen renk verimi (K/S) değerleri ve numunelerin fotoğrafları	66
Çizelge 4.22. Halokromik boyalarla emdirme yöntemine göre optimum koşullarda boyanan kumaşların yıkama ve sürtme haslığı sonuçları.....	67
Çizelge 4.23. Halokromik boyalarla emdirme yöntemine göre optimum koşullarda boyanan kumaşların ter ve ışık haslığı sonuçları	68
Çizelge 4.24. Emdirme yöntemine göre optimum reçete ile boyanan halokromik kumaşların farklı pH'lardaki çözeltilerde pH'ın etkisiyle renk değişimi.....	69
Çizelge 4.25. Emdirme yöntemine göre halokromik boyalarla boyanmış kumaşların renk değişimi gözlem kabinde pH'a bağlı renk değişimi	70
Çizelge 4.26. Emdirme yöntemine göre fenol kırmızısı ile boyanmış kumaşın renk değişimi gözlem kabinde her bir asit-baz döngüsü sonrası renk ölçüm değeri.....	75
Çizelge 4.27. Emdirme yöntemine göre optimum koşulda boyanmış halokromik kırmızı boya içeren kumaşın asidik ve alkali ter çözeltileri içerisindeki renk değişimi.....	75
Çizelge 4.28. Mavi renkli fotokromik boya ile emdirme yöntemine göre boyanan numunelerin renk verimi (K/S) değerleri ve fotoğrafları.....	79
Çizelge 4.29. Kırmızı renkli fotokromik boya ile emdirme yöntemine göre boyanan numunelerin renk verimi (K/S) değerleri ve fotoğrafları	80

Çizelge 4.30. Fotokromik boyalarla emdirme yöntemine göre optimum koşullarda boyanan kumaşların yıkama ve sürtme haslığı sonuçları.....	81
Çizelge 4.31. Fotokromik boyalarla emdirme yöntemine göre boyanan numunelerin ter ve ışık haslığı sonuçları.....	81
Çizelge 4.32. Kırmızı renkli fotokromik boya ile emdirme yöntemine göre farklı boya konsantrasyonlarında boyanan numunelerin renk verimi (K/S) değerleri ve fotoğrafları.....	82
Çizelge 4.33. Kırmızı renkli fotokromik boya ile emdirme yöntemine göre farklı konsantrasyonlarda boyanan numunelerin yıkama ve sürtme haslığı sonuçları.....	82
Çizelge 4.34. Kırmızı renkli fotokromik boya ile emdirme yöntemine göre farklı konsantrasyonlarda boyanan numunelerin ter ve ışık haslığı sonuçları	83
Çizelge 4.35. Emdirme yöntemine göre optimum reçete ile boyanan fotokromik kumaşların renk değişimi gözlem kabiniinde UV ışığın etkisiyle zamana bağlı renk değişimi	85
Çizelge 4.36. Emdirme yöntemine göre fotokromik kırmızı boya ile boyanmış kumaşın renk değişimi gözlem kabiniinde UV ışık döngüsü sonrası renk ölçüm değerleri	88
Çizelge 4.37. Emdirme yöntemine göre boyanan bikromik numunelerin renk verimi (K/S) değerleri ve fotoğrafları.....	90
Çizelge 4.38. Emdirme yöntemine göre boyanan bikromik numunenin yıkama ve sürtme haslığı sonuçları.....	90
Çizelge 4.39. Emdirme yöntemine göre boyanan bikromik numunenin ter ve ışık haslığı sonuçları	90
Çizelge 4.40. Emdirme yöntemine göre halokromik boyanın fotokromik boyayla ikili karışım şeklinde boyandığı numunenin farklı pH'a sahip çözeltilerde gösterdikleri renk değişimi	91
Çizelge 4.41. Emdirme yöntemine göre halokromik boyanın fotokromik boyayla ikili karışım şeklinde boyandığı numunenin renk değişimi gözlem kabiniinde pH'ın etkisiyle renk değişimi	92
Çizelge 4.42. Emdirme yöntemine göre halokromik boyanın fotokromik boyayla ikili karışım şeklinde boyandığı numunenin terin etkisiyle renk değişimi	95
Çizelge 4.43. Fotokromik boyanın halokromik boyayla ikili karışım şeklinde boyandığı kumaşın renk değişimi gözlem kabiniinde UV ışığın etkisiyle zamana bağlı renk değişimi	97

ŞEKİL DİZİNİ

Şekil 1.1. Kromizm formları ve tetikleyicileri (A ve B farklı renkleri göstermektedir)	1
Şekil 1.2. 2014'ten 2018'e akıllı tekstiller üzerine odaklanan yayın sayısı, 2014-2018 yılları arasında doğrudan tekstil alanına uygulanan kromizmin türüne göre yayın sayısı	2
Şekil 2.1. Fitalid yapısındaki halokromik boyarmadde molekülünün renk değiştirme mekanizması	4
Şekil 2.2. Triarilmetan yapısındaki bromkresol yeşili boyarmaddesinin molekül yapısı ve pH etkisiyle renginin sarıdan maviye dönüşümü	4
Şekil 2.3. Fluoran yapısındaki halokromik boyarmadde molekülünün renk değiştirme mekanizması	5
Şekil 2.4. Azo boyarmaddesi olan metil turuncusu halokromik boyarmaddesi	5
Şekil 2.5. Azo bileşiğine ait trans-cis izomerizasyonuna dayanan fotokromizm	15
Şekil 2.6. Triaril metanların heterolitik bağ kırılması	15
Şekil 2.7. Anile ait proton tautomerizmine dayanan fotokromizm	16
Şekil 2.8. Periariloksikinona ait molekül içi grup transferi ile fotokromizm	16
Şekil 2.9. Viologene ait elektron transferine dayanan fotokromizm	16
Şekil 2.10. Spiropiranlara ait fotokromizm	17
Şekil 2.11. Spirooksazinelere ait fotokromizm	18
Şekil 2.12. Naftopiranlara ait fotokromizm	19
Şekil 2.13. A540 1,7'e ait fotokromizm	19
Şekil 2.14. Diariletlenlere ait fotokromizm	20
Şekil 2.15. Fotokromik gözlüğün kapalı ve dış ortamdaki görüntüsü	21
Şekil 3.1. Denemelerde kullanılan halokromik boyalar	31
Şekil 3.2. Denemelerde kullanılan fotokromik boyalar	31
Şekil 3.3. Denemelerde kullanılan katyonikleştirme maddesinin yapısı	32
Şekil 3.4. Denemelerde kullanılan Termal HT boyama cihazı	33
Şekil 3.5. Katyonikleştirme sonrası yün boyama prosesine göre boyama grafiği	34
Şekil 3.6. Katyonikleştirme sonrası pigment boyama prosesiyle boyama grafiği	35
Şekil 3.7. Denemelerde kullanılan fulard ve gergefli kurutucu	37
Şekil 3.8. Renk değişimlerinin tespitinde kullanılan renk değişimi gözlem kabini	44
Şekil 3.9. Renk değişimi gözlem kabiniinde yapılan analizlerde kullanılan kamera	44
Şekil 3.10. Çalışmada kullanılan spektrofotometre	46
Şekil 3.11. Denemelerde kullanılan UV/vis spektrofotometresi	47

Şekil 4.1. Bromkresol moru için boyama koşullarının optimizasyonuna ilişkin renk verimi değerleri.....	48
Şekil 4.2. Bromkresol moru için boyama koşullarının optimizasyonuna ilişkin boxplot grafikleri.....	48
Şekil 4.3. Denemelerde kullanılmış olan katyonikleştirme maddesinin kimyasal yapısı ve pamuk liflerine olası bağlanma mekanizmaları.....	49
Şekil 4.4. Bromtimol mavisi için boyama koşullarının optimizasyonuna ilişkin renk verimi değerleri.....	51
Şekil 4.5. Bromtimol mavisi için boyama koşullarının optimizasyonuna ilişkin boxplot grafikleri.....	52
Şekil 4.6. Fenol kırmızısı için boyama koşullarının optimizasyonuna ilişkin renk verimi değerleri.....	54
Şekil 4.7. Fenol kırmızısı için boyama koşullarının optimizasyonuna ilişkin boxplot grafikleri.....	54
Şekil 4.8. Halokromik boyaların çözeltilerinin pH ile renk değişimi.....	58
Şekil 4.9. Halokromik boyarmaddelerin farklı farklı pH'lardaki çözeltilerine ait absorbans grafikleri.....	59
Şekil 4.10. Emdirme yöntemine göre fenol kırmızısı ile boyanmış pamuklu kumaşların renk değişimi gözlem kabiniinde gözlenen pH'a bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen L* değerleri.....	72
Şekil 4.11. Emdirme yöntemine göre fenol kırmızısı ile boyanmış pamuklu kumaşların renk değişimi gözlem kabiniinde gözlenen pH'a bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen a* ve b* değerleri.....	72
Şekil 4.12. Emdirme yöntemine göre fenol kırmızısı ile boyanmış pamuklu kumaşların renk değişimi gözlem kabiniinde gözlenen pH'a bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen ΔE değerleri.....	72
Şekil 4.13. Fenol kırmızısı ile boyanan kumaşın renk değişimi gözlem kabiniinde NH ₄ OH veya HCl buharı uygulanarak pH 1, pH 7 ve pH 14'de aldığı renkler.....	73
Şekil 4.14. Emdirme yöntemine göre fenol kırmızısı ile boyanmış kumaşın her bir asit-alkali döngüsü sonrası başlangıç haline göre toplam renk farklılığı değerleri.....	74
Şekil 4.15. Emdirme yöntemine göre fenol kırmızısı ile boyanmış pamuklu kumaşların asidik ve bazik ter çözeltilisine daldırılması sonrası renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen L*, a* ve b* değerleri.....	76
Şekil 4.16. Emdirme yöntemine göre fenol kırmızısı ile boyanmış pamuklu kumaşların asidik ve alkali ter çözeltilisine daldırılması sonrası renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen ΔE değeri.....	76
Şekil 4.17. Mavi renkli fotokromik boya ile çektirme yöntemine göre yapılan boyamaların sonuçları.....	77
Şekil 4.18. Mavi ve kırmızı renkli fotokromik boyalar ile katyonikleştirme sonrası pigment boyama prosesiyle çektirme yöntemine göre yapılan boyamaların sonuçları.....	78

Şekil 4.19. Fotokromik boya çözeltilerinin farklı ışık kaynakları altında aldıkları renkler	83
Şekil 4.20. Fotokromik boyarmaddelerin 0,5 g/L'lik çözeltilerinin absorbands ölçümleri	84
Şekil 4.21. Emdirme yöntemine göre kırmızı renkli fotokromik boya ile boyanmış pamuklu kumaşların renk değişimi gözlem kabini içinde gözlenen süreye bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen L^* değerleri.....	86
Şekil 4.22. Emdirme yöntemine göre kırmızı renkli fotokromik boya ile boyanmış pamuklu kumaşların renk değişimi gözlem kabini içinde gözlenen süreye bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen a^* ve b^* değerleri.....	86
Şekil 4.23. Emdirme yöntemine göre kırmızı renkli fotokromik boya ile boyanmış pamuklu kumaşların renk değişimi gözlem kabini içinde gözlenen süreye bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen ΔE değerleri	87
Şekil 4.24. Kırmızı renkli fotokromik boya ile 75 g/L konsantrasyonda boyanan kumaşın renk değişimi gözlem kabini içinde başlangıçta ve UV ışık altında 90 saniye bekletildikten sonra aldığı renkler.....	87
Şekil 4.25. Emdirme yöntemine göre fotokromik kırmızı boya ile boyanmış kumaşın renk değişimi gözlem kabini içinde her bir UV ışık döngüsü sonrası başlangıç haline göre toplam renk farklılığı değerleri	89
Şekil 4.26. Emdirme yöntemine göre halokromik boyanın fotokromik boyayla ikili karışım şeklinde boyandığı numunenin renk değişimi gözlem kabini içinde gözlenen pH'a bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen L^* değerleri.....	93
Şekil 4.27. Emdirme yöntemine göre halokromik boyanın fotokromik boyayla ikili karışım şeklinde boyandığı numunenin renk değişimi gözlem kabini içinde gözlenen pH'a bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen a^* ve b^* değerleri.....	93
Şekil 4.28. Emdirme yöntemine göre halokromik boyanın fotokromik boyayla ikili karışım şeklinde boyandığı numunenin renk değişimi gözlem kabini içinde gözlenen pH'a bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen ΔE değerleri	94
Şekil 4.29. Emdirme yöntemine göre halokromik boyanın fotokromik boyayla ikili karışım şeklinde boyandığı numunenin asidik ve bazik ter çözeltilerindeki renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen L^* , a^* ve b^* değerleri	95
Şekil 4.30. Emdirme yöntemine göre halokromik boyanın fotokromik boyayla ikili karışım şeklinde boyandığı numunenin asidik ve bazik ter çözeltilerindeki renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen ΔE değeri	96
Şekil 4.31. Fotokromik boyanın halokromik boyayla ikili karışım şeklinde boyandığı kumaşın renk değişimi gözlem kabini içinde gözlenen süreye bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen L^* değerleri.....	98
Şekil 4.32. Fotokromik boyanın halokromik boyayla ikili karışım şeklinde boyandığı kumaşın renk değişimi gözlem kabini içinde gözlenen süreye bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen a^* ve b^* değerleri.....	98
Şekil 4.33. Fotokromik boyanın halokromik boyayla ikili karışım şeklinde boyandığı kumaşın renk değişimi gözlem kabini içinde gözlenen süreye bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen ΔE değerleri	99

SİMGELER VE KISALTMALAR

Hk	: Halokromik Kırmızı
Fk	: Fotokromik Kırmızı
HCl	: Hidroklorik Asit
NaOH	: Sodyum Hidroksit
NH ₄ OH:	: Amonyum Hidroksit
UV	: Ultraviyole
MPa	: Megapascal
g/L	: Gram/Litre
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskopu
FTIR	: Fourier Dönüşümlü Kızılötesi

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada ve her zaman bana kattıkları, değerli rehberliği ve bilgeliği ile yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Rıza Atav'a büyük teşekkürlerimi borç bilirim. Yaptığımız bu çalışma ve projede birlikte çalıştığım, çalışmanın ve projenin çok iyi noktalara gelmesinde büyük emekleri olan çok değerli arkadaşım Uğur Ergünay'a da içten teşekkür ederim. Hayatımın her anında bana desteklerini esirgemeyen sevgili eşim Eylül Akkuş'a, bu günlere gelmemde büyük emekleri olan değerli aileme ve Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü'ndeki tüm hocalarıma şükranlarımı sunarım.

Üniversite-Sanayi işbirliği kapsamındaki 5190051 nolu TÜBİTAK 1505 projesi kapsamında verdiği destekten ötürü TÜBİTAK'a ve çalışma sırasında desteklerini esirgemeyen Özen Mensucat Boya Terbiye İşl. A.Ş.'ye, Başta Yönetim Kurulu Başkanımız Sayın Dr. Ahmet Temiroğlu ve Üretim Müdürümüz Sayın Sibel Şahin olmak üzere projede desteği olan tüm değerli Özen Mensucat A.Ş. çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs, 2021

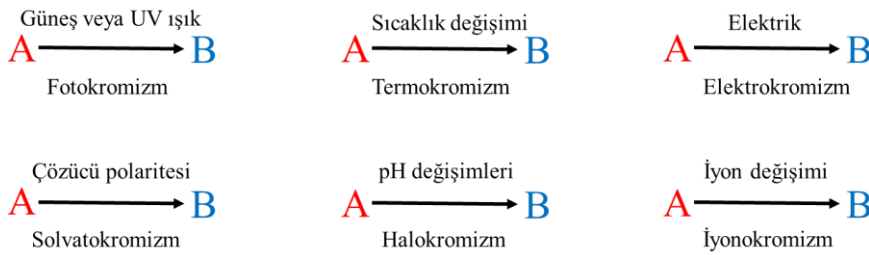
Eray AKKUŞ
Tekstil Mühendisi

1. GİRİŞ

Teknik tekstiller, tekstil malzemelerinin hem performans ve dekoratif özelliklerinin, hem de fonksiyonlarının bir araya getirildiği ürünlerdir ve “estetik veya dekoratif özelliklerinden ziyade, öncelikli olarak teknik performansları ve fonksiyonel özellikleri için üretilen tekstil malzemesi ve ürünleri” olarak tanımlanmaktadır (Byrne, 2000). Akıllı tekstiller, teknik tekstiller içerisinde katma değeri en yüksek alanlardan birisidir. Akıllı tekstiller çevredeki değişimleri algılayıp tepki veren tekstil malzemeleridir.

Akıllı tekstiller, normal tekstil ürünlerinin doğal atmosfer şartlarından koruma ve süsleme özelliklerine ilave olarak herhangi bir etkiyi (ışık, ısı, basınç, elektromanyetik dalgalar, ses ve ses ötesi dalgalar, hareket vs.) veya etki değişikliğini algılama ve buna bir tepki verme özelliğine sahip olan tekstil ürünleridir (Tarakçıoğlu, 2002). Akıllı tekstillerin bir sınıfı da kromik materyallerden elde edilen tekstillerdir (Çoşkun ve Oğulata, 2008).

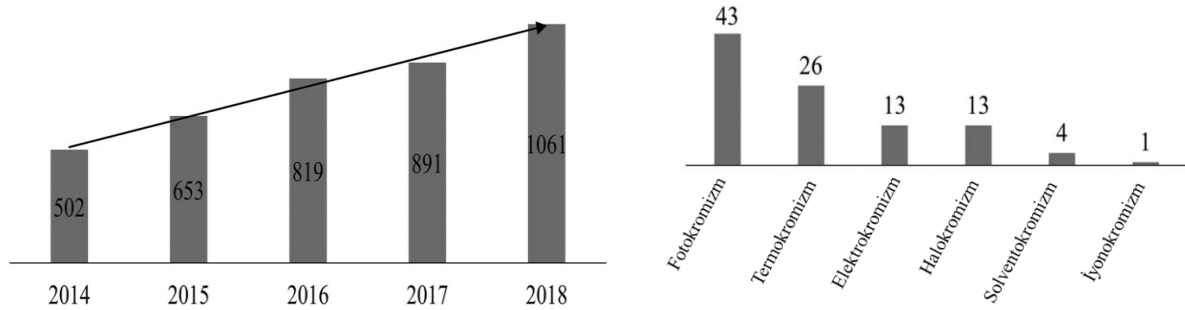
Son yıllarda renk değiştiren materyallere ya da diğer adıyla “**bukalemun tekstillerine**” karşı artan bir ilgi vardır. Bu materyaller, Şekil 1.1’de gösterildiği gibi sıcaklık (termokromik), ışık (fotokromik), elektrik (elektrokromik), çözücülerin polaritesi (solvatokromizm), pH (halokromizm), vb. çeşitli dış etkenlerin tetiklenmesiyle renk değiştirmektedirler (Bamfield, 2001).



Şekil 1.1. Kromizm formları ve tetikleyicileri (A ve B farklı renkleri göstermektedir) (Ramlow, 2021)

Kromik boyaların tekstil yüzeylerine konvansiyonel boyama prosesleriyle uygulamaları üzerine araştırma çalışmaları sınırlı olup bu boyalar tekstil yapılarına kaplama, ekstrüzyon ya da mikrokapsülasyonla eklenmektedir (Schueren ve Clerck, 2010).

Şekil 1.2’de solda 2014-2018 yılları arasında akıllı tekstiller üzerine odaklanan yayınların sayısını göstermektedir. Son yıllarda yayınların sayısında artış eğilimi gözlenerek bu umut vadeden alana olan ilgiyi ortaya koymaktadır. Ayrıca sağ taraftaki şekilde 2014-2018 yılları arasında kromizm türlerine göre yapılan çalışmalar görülmektedir (Ramlow, 2021).



Şekil 1.2. 2014'ten 2018'e akıllı tekstiller üzerine odaklanan yayın sayısı (sağda), 2014-2018 yılları arasında doğrudan tekstil alanına uygulanan kromizmin türüne göre yayın sayısı (solda) (Ramlow 2021)

Bu tez projesi kapsamında ise öncelikle pamuklu kumaşların halokromik ve fotokromik boyalarla konvansiyonel çektirme ve emdirme yöntemine göre boyanabilirliğini sağlayacak bir proses geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla pamuk liflerinin kimyasal modifikasyonu sonrası yün boyama veya parça boyamacıların kullandığı pigment boyama prosesine göre boyanması üzerinde çalışılmıştır. Ayrıca emdirme yöntemine göre aplikasyonlar denenmiştir. Halokromik ve fotokromik boyalar için optimum aplikasyon yöntem ve koşulları saptandıktan sonra bu boyalar için saptanmış bulunan optimum koşullarda ikili kombinasyonları da gerçekleştirilmiştir. Böylece bu tez projesi kapsamında;

- ortamda tehlikeli bir kimyasal buharı olup olmadığını (asit-alkali buharları) haber verebilme (**halokromik**) ve
- bir yandan UV ışınlarına karşı koruma sağlarken diğer yandan UV ışınları ile renk değiştirerek (**fotokromik**) görsel efekt yaratma fonksiyonlarından birini veya ikisini birden sağlayabilen pamuklu akıllı sensör giysilerin (veya bir giysiye monte edilecek küçük bir etiket veya bir bileklik vb.) üretilmesi için yöntem geliştirilmesi hedeflenmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1. Kromizm

Kromizm belirli etkenlerle (sıcaklık, çözücü, pH vb.) renkte oluşan tersinir değişikliktir. İnorganik ve organik bileşikler, iletken polimerler ve farklı mekanizmadan kaynaklanan özellikler içeren birçok madde kromiktir (Bozkurt, 2007). Bu olay maddelerin elektron yoğunluklarındaki değişime (özellikle π ve d elektron seviyelerindeki) veya maddelerin molekül yapısındaki değişimlere dayanmaktadır (Demir ve Gökçe, 2009). Değişik faktörlerin etkisine bağlı olarak birçok kromizm mekanizması bulunmaktadır.

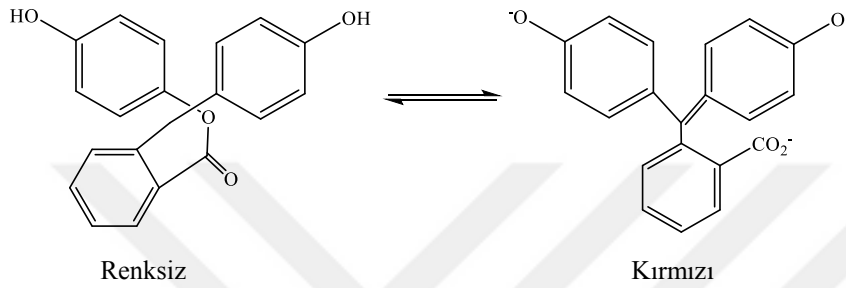
Tersinir renk değişim olaylarının hepsinin “izm” eki aldıkları bilinmektedir. Kromizm ise bir son ektir ve rengin tersinir değişimini ifade etmek için kullanılır. Rengin tersinir değişimiyle beraber fiziksel özelliklerinin ve molekül yapısının tersinir değişimi de söz konudur. Özellikle maddelerin π veya d elektron yoğunluğunun değişimine bağlı olarak renk değişimi meydana gelmektedir. Değişime neden olan uyarıcıyı (örneğin; ısı, ışık, pH vb.) gösteren ise ön ektir. Uyarıcı etkisi ortadan kalktığı zaman daha kararlı oldukları ilk hallerine geri dönerler ve ilk renklerini alırlar. Reaksiyonu başlatan etkilere göre pek çok renk değişim mekanizması bulunmaktadır ve renk değişimine neden olan bu etkinin türüne göre kromizm sınıflandırılmaktadır. Renk değişimi; ışık etkisi ile gerçekleşiyorsa fotokromik, ısı etkisi ile gerçekleşiyorsa termokromik, elektrik akımı ile gerçekleşiyorsa elektrokromik, çözelti etkisi ile gerçekleşiyorsa solvengkromik, pH değişimi ile gerçekleşiyorsa halokromik, sürtünme etkisi ile gerçekleşiyorsa tribokromik, basınç etkisi ile gerçekleşiyorsa piezokromik, deformasyon etkisi ile gerçekleşiyorsa mekanokromik, su etkisi ile gerçekleşiyorsa higrokromik olarak adlandırılmaktadır. Tekstil alanında en çok kullanılan ve uygulama bulan kromizm türleri fotokromizm ve termokromizmdir (Topbaş, 2020).

2.2. Halokromizm (İyonokromizm)

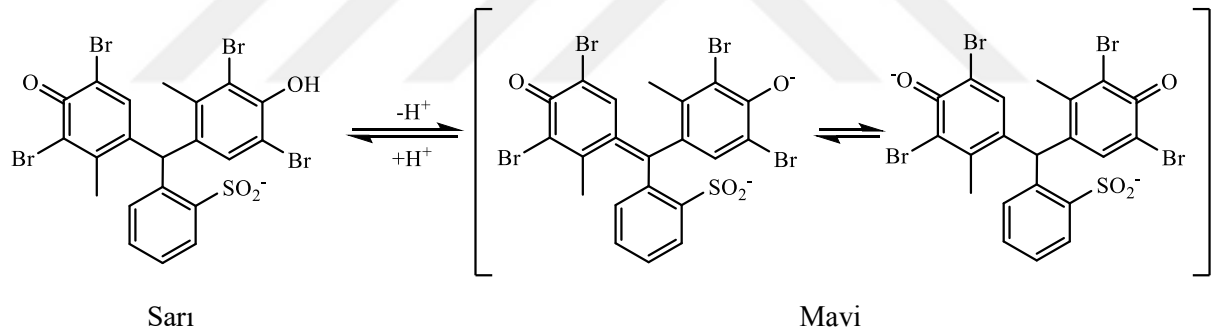
İyonokromizm, iyonik özellikleri olan materyal veya bileşiklerin etkileşimiyle ilişkilendirilmiş renk değişimine verilen isimdir. Ana iyonik türler çözünmüş hidrojen iyonu olup, bu durumda halokromik, asidokromik ya da pH hassasiyeti terimleri sıkça kullanılmaktadır (Bamfield, 2001).

2.2.1. Halokromik Boyarmaddelerin Kimyasal Yapısı

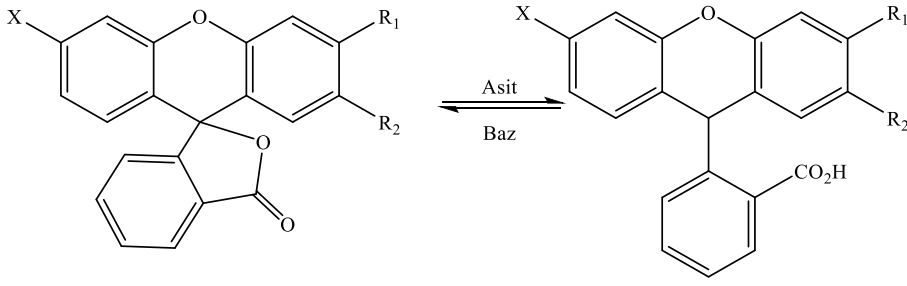
Ticari öneme sahip olan pH duyarlı temel boya sınıfları fitalidler, triarilmetanlar ve fluoranlardır (Şekil 2.1-2.4). Esasında, nötral azo boyaları, stiril boyaları ve indofenoller gibi birkaç kromofor protonlama ile iyi derecede renk değişimi sağlamaktadır (Bamfield, 2001). Temel pH-indikatör boyaları da göz ardı edilmemelidir (Schueren ve Clerck, 2010). Literatürde hibisküs, kırmızı lahana, zerdeçal gibi bitkilerden elde edilen doğal boyaların da halokromik özellik gösterdiği belirtilmektedir (Bamfield, 2001).



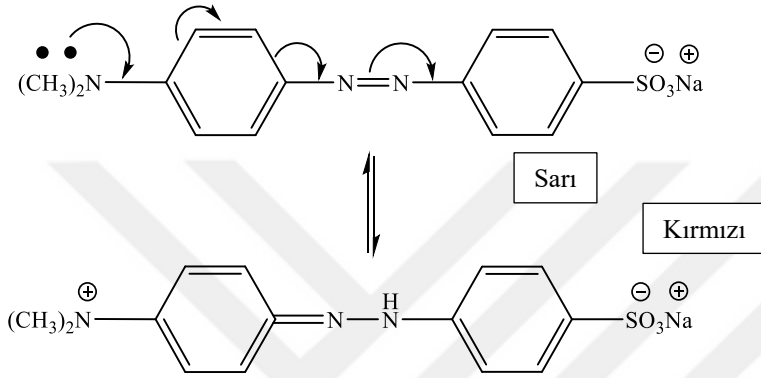
Şekil 2.1. Fitalid yapısındaki halokromik boyarmadde molekülünün renk değişime mekanizması (Schueren ve Clerck, 2012)



Şekil 2.2. Triarilmetan yapısındaki bromkresol yeşili boyarmaddesinin molekül yapısı ve pH etkisiyle renginin sarıdan maviye dönüşümü (Anonim, 2020a)



Şekil 2.3. Fluoran yapısındaki halokromik boyarmadde molekülünün renk değiştirme mekanizması (Bamfield, 2001)



Şekil 2.4. Azo boyarmaddesi olan metil turuncusu halokromik boyarmaddesi (Anonim, 2020b)

2.2.2. Halokromik Boyarmaddelerin Kullanım Alanları

Halokromik tekstiller birçok alanda kullanılabilirler. Renk değişimi hızlı bir şekilde herkes tarafından görülebilir ve bu nedenle uyarı işlevi gerçekleşir. Renk değiştiren malzemelerle ilgili çalışmalar hâla başlangıç aşamasındadır. Bu boyaların tekstil materyallerine immobilizasyonu çalışmaları oldukça sınırlıdır, bundan dolayı immobilizasyondan sonra renk değişiminin devam edip etmediği bilinmemektedir. Boya ve lif arasındaki etkileşim, sıvı çözeltideki renk değişiminden sorumlu olan molekül değişikliğini engellediğinden kararlı ve değişmez renkler elde edilebilmekte ve boyanın renk değiştirme özelliği tekstil materyali üzerinde gözlenemeyebilmektedir (Schueren ve Clerck, 2010).

Halokromik tekstiller ortamın pH değişimine karşı kolaylıkla görsel olarak gözlenebilen renk değişimi vererek sensör olarak geniş bir alanda kullanılabilirler. Örneğin, Osti (2008) yanığı olan hastaların deri pH değişimlerini incelemiştir. Yanmış derinin yandığı günden on ikinci güne kadar alkali pH değerinde olduğunu ve 4. gün alkali pH'ın pik yaptığını saptamıştır. Değerler on üçüncü günden itibaren yavaş yavaş normal (pH 5,5)

değerlerine dönmüştür (Osti, 2008). Tekstil yara sargıları, plasterleri ve bandajlarının tıbbi uygulamalarda yaygın bir kullanımı vardır. Genelde tekstil yara sargıları iyileşen yaraya yapışmakta tekstil sargısının kaldırılması sırasında yara tekrar açılmakta ve bu durum iyileşme sürecini kesintiye uğratmaktadır (Mahltig vd., 2005). Halokromik yara bandajı kullanarak yaraya zarar vermeden, yani gazlı bezi kaldırmak zorunda olmadan, bandajın renk değişimini takip ederek iyileşme sürecini izlemek mümkündür (Schueren ve Clerck, 2010). İyileşme sürecinde herhangi bir komplikasyon gelişmediğinden emin olmak için yaralar düzenli olarak kontrol edilmelidir. Yaralar erken bir aşamada kontrol edilir. Eğer bir enfeksiyon oluşursa, malzeme rengini değiştirmekte ve sargı bezini değiştirmeden yaraların kontrolünü mümkün kılmaktadır (Anonim, 2010).

Ek olarak halokromik tekstillerin gaz haldeki asit ve alkalinin tespiti için kullanılmasına yönelik çalışmalar (Park vd., 2020a), (Park vd., 2020b) ve asit yağmurları için sensör malzemesi olarak kullanılmasına yönelik çalışmalar mevcuttur (Stojkoski ve Kert, 2020).

2.2.3. Halokromik Boyarmaddelerin Tekstil Alanında Kullanımı ile İlgili Yapılan Önceki Çalışmalar

Staneva ve Betcheva (2007) yaptıkları çalışmada 1-((7-Okso-7H-benzo(de)antrasen-3-karbamik asit)-metil)-pirimidinyum klorür esaslı halokromik boyayı viskon kumaşa uygulayarak hem floresan değişimi hem de pH değerine bağlı renk değişimini incelemiştir. Renk değişimi hızlı ve tersinir bir şekilde sarıdan turuncu-kırmızıya doğru olmuştur. Viskon kumaş pH 10,5-12,5 arasında sensör olarak kullanılabilmiştir.

Pakolpakçıl (2013) çalışmasında poliamid 6,6 dokuma kumaşı bromkresol moru ve Alizarin Kırmızı S ile çektirme yöntemine göre, 98 °C'ta 1 saat boyamıştır. Yaş haslıkları iyileştirmek amacıyla, dört farklı ticari fiksator ve tannik asit ile ard işlem uygulamıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda fiksator ile yapılan denemelerde her iki boya için yüksek su haslığı değerleri elde edilmiştir. Bromokresol moru ile yapılan denemelerde fiksator ve tannik asit kullanımı renk kuvvetini olumsuz yönde etkilerken, Alizarin Kırmızı S'de bu etkinin olumlu yönde olduğu kaydedilmiştir. Çalışmada, seçilmiş kumaşlar HCl ve NaOH kullanılarak hazırlanan pH 2-10 arasında 5 farklı çözeltiye daldırılmış ve renk değişimi incelenmiştir. Ard işlem gören numunelerde renk değişiminin diğer işlem görmeyen kumaşlara kıyasla daha yavaş olduğu gözlemlenmiştir.

Steyaert vd. (2015) çalışmalarında poliamid 6 polimerlerinden elektro lif çekimi yöntemi kullanarak pH'a göre renk değiştiren nanolif yüzey elde etmiştir. Elde edilen yüzey asit buharı varlığında pembeden turuncuya renk değiştirmiştir. Üretilen bu yüzeyin çalışma ortamında asit buharı olan yerlerde koruyucu giysi olarak kullanılabilmesi belirtilmiştir.

Staneva vd. (2015) yaptıkları çalışmada pamuklu kumaşı çektirme yöntemine göre Eosin Y (ışığa duyarlı boya) ile boyamıştır. Daha sonra kumaşa çapraz bağlayıcı ile hidrojel (2-aminoetil metakrilat hidroklorür) applike edilip asit ve alkali ortamda hidrojel davranışı incelenmiştir. Asit ortamında hidrojel şişip alkali ortamda küçülerek renk farkı elde edilmiştir. Bu çalışmanın amacı suları kirletmeden sulardaki pH değişikliklerini tespit edebilen bir sensör geliştirmek olmuştur.

Sun vd. (2015) çalışmalarında pamuklu kumaşlardan sol-jel yöntemi ile pH duyarlılığına sahip akıllı tekstil malzemesi üretmeyi amaçlamışlardır. Denemelerde kumaşların pH 1-8 arasındaki renk farklılıkları absorbans ve L*a*b* değerleri ölçülerek gösterilmiştir. Sonuç olarak, pH algılama ve kumaşlarda pH konsantrasyon ölçümlerinin uygulanmasını genişletmek için bir araç olarak geliştirilebileceği görülmüştür.

Sharifabad ve Bahrami (2016) yaptıkları çalışmada poly(akrilonitril-kovinil asetat) ve PAN/fenolftalein (PAN/pH) çözeltilerini N,N-dimetilformamid ile birlikte elektro lif çekim yöntemi ile uygulamışlardır. Polimer konsantrasyonu, besleme hızı, uygulanan voltaj, uç ve toplayıcı arasındaki mesafe değişken olarak alınmıştır. Fenolftalein katkılı PAN çözeltisi ile elde edilen yüzeyin kalınlığının (194 nm), sadece PAN içeren çözelti ile elde edilen yüzeyden (299 nm) daha ince olduğu saptanmıştır. PAN/pH çözeltisi ile elde edilen yüzeyin halokromik özellik gösterdiği ve pH'a duyarlı olduğu tespit edilmiştir.

Meyer vd. (2016) Poliamid 6 kumaşın konvansiyonel boyanmasında ve elektro lif çekim yöntemi ile nanolif eldesinde pH indikatörü boyarmaddeler kullanmışlardır. Yapılan çalışmada sülfotalein boyarmaddesinin tüm substitüent grupları incelenmiş ve bu gruplar içerisinde halojen substitüent gruplarının renk değişiminde en önemli rolü üstlendiği gözlenmiştir.

Prietto vd. (2017) yaptıkları çalışmada zein polimer çözeltisine farklı konsantrasyonlarda mor lahana ekstraktı eklemişler ve elektro lif çekimi yöntemi ile nanolifli yüzeyler elde etmişlerdir. Elde edilen nanolifli yüzeyler farklı pH değerine sahip çözeltilere

daldırılmış ve renk ölçümleri yapılmıştır. Daldırmalar sonunda göz ile ayırt edilebilir renkler gözlemlenmiştir.

Caldara (2017) terin pH değerini sürekli olarak ölçebilen, akıllı bir tekstil ile birlikte kullanılan giyilebilir bir platformun geliştirilmesini sunmuşlardır. Bu amaçla pamuklu kumaş sol-jel yöntemine göre halokromik boyalarla boyanmıştır. pH modeli geliştirmek için ter solüsyonları kullanılmıştır. Kumaşın pH 2 ve pH 8'deki absorbans değerleri ölçülmüş ve bu pH'larda farklı pikler göstermiştir. Ayrıca kumaş, bluetooth arayüzüne sahip küçük bir elektronik cihaz ile birleştirilip insan bedenine bağlanmış ve pH değişiklikleri test edilmiştir.

Trovato vd. (2017) çalışmalarında sol-jel yöntemi ile 7-Hidroksi-3H-fenoksazin-3-on (Resorufin) ve 3-glisidoksipropiltrimetoksisilan kullanılarak pH algılama uygulamaları için halokromik bir hibrit tekstil tasarlamışlardır. Çalışmada ayrıca oluşturulan pH'a duyarlı boyanın FTIR-NMR-SEM ve absorbans değerleri incelenmiştir. Bu halokromik sistem, teknik ve akıllı tekstiller için pH sensörlü kumaşların geliştirilmesi için iyi bir başlangıç noktasını temsil etmektedir.

Mao vd. (2018) yaptıkları çalışmada tekstiller için ek akıllı özellikler sağlamak için su bazlı poliüretan ve azobenzen kromofor bazlı polimerik bir boya ile kaplama yoluyla asidokromik ve UV ışığa duyarlı selüloz kumaş geliştirmiştir. Asit ile renk değişimine bakıldığında pH 1'de kırmızı renkli olan kumaşın pH 6'da sarı renge dönüştüğü görülmüştür. Ayrıca oda koşullarında yeşil olan pamuklu kumaşın UV ışık altında turuncu renk olduğu saptanmıştır. Tersinir asidokromik ve fotoizomerik özelliklere sahip selüloz kumaş, çevresel değişiklikleri izlemek için giyilebilir ve esnek bir sensör geliştirmek için umut verici bir aday olmuştur.

Promphed vd. (2019) çalışmalarında üç farklı katmanın bir pamuklu kumaş üzerine aktarılmasıyla, ter pH'ı ve laktatın eşzamanlı tespiti için tekstil bazlı bir kolorimetrik sensör oluşturmuştur. Kimyasal ve boyalar kumaşa apliedikten sonra SEM ve FTIR testleri yapılarak kimyasalların karakterizasyonlarına bakılmıştır. pH arttıkça pH göstergesi yavaş yavaş kırmızıdan maviye kayarken, terdeki laktat konsantrasyonu ile mor renk yoğunluğunun arttığı görülmüştür. Çalışma sonunda üretilen kumaşın spor kıyafetlerinde ter ve laktat konsantrasyonunun izlenmesini sağlayabileceği öngörülmüştür.

Lee ve Kim (2020) yaptıkları çalışmada hassas, yeniden kullanılabilir ve yıkanabilir tekstil tabanlı akıllı sensörler geliştirmek için hem pH ile hem de floresan emisyon

spektrumunda değişiklik gösteren kumarin esaslı vapokromik boya sentezi üzerine çalışmışlardır. Çalışmalarında asidik bir gazın yanı sıra floresan özellik gösterecek yeni bir kumarin esaslı boyayı, uzun alkil grupları içerecek şekilde sentezlemişlerdir. Sentezledikleri yeni halokromik floresan boyayı yüksek moleköl ağırlıklı polietilen liflere uygulamışlardır. 1 g örme kumaşa %0,001-5,0 konantrasyonlarında 125 °C'ta 1 saat boyama yapılmıştır. Yapılan boyama sonrası optimum boya konantrasyonları belirlenmiş, ayrıca kumaş numuneleri oda sıcaklığında aseton ile üç kez yıkanmıştır. Boyama sonrası asit-gaz algılama durumunu hem çözelti içinde hem de normal ortamda test etmişlerdir. Numunenin halokromik renk değişiminin ölçümü için, kumaşı geliştirdikleri 3 katmanlı aparatın arasına alarak spektrofotometrede ölçümleri yapmışlardır. Dikdörtgen ve şeffaf alt ve üst katmanın arasında yer alan ortası dikdörtgen şeklinde boş olan ara aparatın ortasına kumaş yerleştirilmiş, orta aparata gaz giriş çıkışı için giriş-çıkışlar eklenmiş, içinde kumaş yer alan aparat spektrofotometrenin okuyucu gözüne yerleştirilmiştir. Ölçümleri D65 ışığı altında yapılmıştır. Akıllı sensörün floresan özelliği ise floresans spektrofotometre ile ölçülmüştür. Ürettikleri tekstil tabanlı akıllı sensör hem floresan özellik göstermiş hem de düşük konantrasyonlarda gaz fazındaki hidroklorik asit ile renk değişimi göstermiştir. Yapılan 20 tekrarlı yorulma testlerinde değişim tekrarlanabilir olmuştur.

Park vd. (2020a) yaptıkları çalışmada gaz halindeki kuvvetli asitlerin anında tespiti için rodamin boyası ile tekstil tabanlı akıllı sensör üretilmesini amaçlamışlardır. Çalışmada kullanılmak üzere üstün pH duyarlılığına ve yüksek termal stabiliteye sahip rodamin boyası sentezlenmiştir ve bu boya boyama ve baskı yöntemleri ile naylon 6 ve poliester kumaşlara aplike edilmiştir. Boyamalar poliamid kumaşa %5 rodamin boyası ile 1:50 flote oranında 100 °C'ta 60 dakika olarak yapılmıştır. Baskı işlemi ise poliester kumaşa etil selüloz, etanol ve dimetilformamid içine rodamin boyası ve trietil sitrat eklenerek hazırlanan baskı patı ile yapılmıştır. Baskı sonrası poliester kumaşlar 80 °C'ta 5 dakika kurutulmuştur. Çalışmada boyanın spektral özellikleri ve çözünürlüğü incelenmiş aynı zamanda tekstil tabanlı akıllı sensörün dayanıklılığı ve tersinirliği araştırılmıştır. Asit gazı etkisinde renk değişiminin tespiti için sensör kumaşı, geliştirdikleri 3 katmanlı aparatın arasına alarak spektrofotometrede ölçümleri yapmışlardır. Daire şeklinde şeffaf alt ve üst katmanın arasında yer alan ortası daire şeklinde boş olan ara aparatın ortasına kumaş yerleştirilmiş, orta aparata gaz giriş çıkışı için giriş-çıkışlar eklenmiş, içinde kumaş yer alan aparat spektrofotometrenin okuyucu gözüne yerleştirilmiştir ve ölçümler yapılmıştır. Renk ölçümleri sırasında boyalı ve baskılı sensörler 1, 5, 10, 50, 100 ppm HCl asit buharı ile muamele edilmiş ve renk ölçümleri yapılmıştır. Hem

boyalı hem de baskılı sensörlerde HCl konsantrasyonu arttıkça renk kuvvetinde de artış görülmüştür. Çalışmada hem boyalı hem de baskılı tekstiller, boyanın yüksek pH duyarlılığından dolayı asidik koşullar altında yüksek bir reaksiyon hızı ve belirgin renk değişimi sergilemişlerdir. Ek olarak her iki yöntemle de boyanan sensörler yıkama ve kurutmadan sonra olağanüstü dayanıklılık ve tersinirlik göstermişlerdir.

Park vd. (2020b) çalışmalarında NH₃ ve HCl gazlarının aynı anda algılanması için kolorimetrik tekstil sensörü geliştirilmesi üzerine çalışmışlardır. Park vd. daha önce yapılan çalışmalarda ikili gaz algılama için geliştirilen sensörlerin elektro lif çekimi yöntemi ile üretildiklerini belirtmişlerdir. Nanolifli sensörler mükemmel pH hassasiyetine sahip olsalar da, bu sensörlerin düşük verimlilikleri ve yüksek maliyetleri nedeniyle ticari olarak kullanılması zordur. Park vd. yaptıkları çalışmada hem asit hem de alkali gazların algılanması için baskı yöntemi ile düşük maliyetli kolorimetrik tekstil sensörleri üretmeyi amaçlamışlardır. Bahsi geçen tekstil sensörünün üretimi için çalışma kapsamında alkali gazların tespiti için ve asidik gazların tespiti içinse boyalar sentezlenmiş ve bu boyalar poliester kumaşa applike edilmiştir. Poliester kumaşa baskı işlemi etil selüloz, etanol, sentezlenen boyalar ve trietil sitrat eklenerek hazırlanan baskı patı ile yapılmıştır. Baskı sonrası poliester kumaşlar 80 °C'ta 5 dakika kurutulmuştur. Üretilen sensörler düşük gaz konsantrasyonlarında bile hem alkali hem de asidik ortamda yüksek algılama hızları sergilemişlerdir. Asit ve alkali gazı etkisinde renk değişiminin tespiti için, sensör kumaşı geliştirdikleri 3 katmanlı aparatın arasına alarak spektrofotometrede ölçümleri yapmışlardır. Daire şeklinde şeffaf alt ve üst katmanın arasında yer alan ortası daire şeklinde boş olan ara aparatın ortasına kumaş yerleştirilmiş, orta aparata gaz giriş çıkışı için giriş-çıkışlar eklenmiş, içinde kumaş yer alan aparat spektrofotometrenin okuyucu gözüne yerleştirilmiştir ve ölçümler yapılmıştır. Renk ölçümleri sırasında kumaş 1, 3, 5, 10, 50, 100 ppm HCl asit buharı ve 1, 3, 5, 10, 50, 100 ppm NH₃ alkali buharı ile muamele edilmiş ve renk ölçümleri yapılmıştır. Baskılı sensörlerde HCl ve NH₃ konsantrasyonu arttıkça renk kuvvetinde de artış görülmüştür. Ayrıca bu sensörler yıkama ve kurutma sonrası yüksek dayanım ve düşük yorulma göstermişlerdir.

Peila vd. (2020) yaptıkları çalışmada bromkresol moru, m-kresol moru, klorofenol kırmızısı, kurkumin ve bromtimol mavisi kullanarak 100 °C'ta 40 dakika süreyle poliakrilonitril, poliamid 6,6, pamuk ve selüloz asetat liflerini boyamışlardır. Çalışmada tüm boyalar yün ve poliamid 6,6'ya karşı doğrudan afinite göstermiştir. Pamuğun boyanmasından

önce ise mordanlama yapılması gerekmiştir. Çalışmada boyanan kumaşların farklı pH'larda renk değişiminin yanı sıra yıkama ve ışık haslıkları da test edilmiştir. Halokromik özellikler 4, 7 ve 10 pH değerlerine ayarlanmış çözeltiler ile incelenmiştir. Boyanan poliamid 6,6 ve yün lifleri tüm boyarmaddeler ile iyi haslık özelliği göstermiştir. Boyanmış kumaşlar pH 4-10 aralığında iyi halokromik özellikler sergilemiştir. Çalışmada pamuklu kumaşlar hemen renk değişimi sergilerken, poliamid 6,6 kumaşlarda renk değişimi birkaç dakika sürmüştür. Ayrıca çalışma kapsamında pamuk ve keten üzerinde endüstriyel ölçekli boyamalar gerçekleştirilmiştir.

Stojkoski ve Kert (2020) çalışmalarında asit yağmurları için sensör malzemesi olarak pH duyarlı tekstil ürünleri tasarımı üzerine çalışmışlardır. Asit yağmurunun habercisi olan sülfür dioksit ve azot oksitlerin varlığında yağmur suyunun pH değeri 5,6'nın altına düşer. Yapılan çalışmada Stojkoski ve Kert havadaki kirletici maddelerin varlığını haber verecek fonksiyonel bir tekstil ürünü elde etmeyi amaçlamışlardır. Bu amaçla poliamid 6 kumaş pH'a duyarlı bromkresol yeşili indikatör boyası ile boyanmıştır. Bromkresol yeşili pH 3,6'nın altında sarı, pH 5,4'ün üzerinde mavi renk vermesi nedeniyle tercih edilmiştir. Boyamalar %0,1, %0,2 ve %0,5 boyarmadde kullanılarak 1:50 flote oranında 100 °C'ta yapılmıştır. Ek olarak boyanmış poliamid 6 kumaş su ve yağ itici apre işlemlerinden geçirilmiştir. Su-yağ itici bitim işlemi uygulanmış ve uygulanmamış boyalı numunelerin farklı pH değerine sahip çözeltilere daldırılmadan önce ve sonra renk ve renk değişimi CIE L*a*b* renk uzayı kullanılarak spektrofotometrik olarak ölçülmüştür. %0,2 boya ile boyanan kumaşlar pH 3, 4, 5, 6, 7, 9, 11 arasında değişen tampon çözeltilere daldırılmış, çözeltilerde 1 saat bekletilen kumaşların oda sıcaklığında 1 saat kurutulduktan sonra spektrofotometrik ölçümleri alınmıştır. Ayrıca kumaşların sürtünme, yıkama ve ışığa karşı renk haslığı ve su ve yağ iticilik özelliği ölçülmüştür. Sonuçlar, su-yağ itici bitim işlemi uygulanmamış boyalı poliamid 6 kumaşın, işlem uygulanmış boyalı poliamid 6 kumaştan daha hızlı ve daha net bir şekilde tersinir renk değişimine maruz kaldığını göstermiştir. Boyanmış poliamid 6 kumaşlar, sürtünmeye, evsel ve ticari yıkamaya karşı iyi renk haslığına sahipken ışığa karşı zayıf renk haslığı vermiştir, ancak boyanmış poliamid 6 kumaş, bitim işlemi uygulanıp uygulanmamasından bağımsız olarak, ksenon ışığı altındaki boya bozunmasına rağmen pH'a duyarlılığını kaybetmemiştir.

Hong vd. (2021) yaptıkları çalışmada tersinir pH sensörü olarak kullanmak için elastik halokromik lif üretmeyi amaçlamışlardır. İçi boş PU-SnO₂ liflerine şırınga ile indikatör

boyalar aşılannmış ve bromtimolmavisi, timol mavisi ve metil sarısı gibi pH indikatör boyaları sızmalarını önlemek için içi boş lifin içerisinde katılaştırmışlardır. Bu şekilde üretilen halokromik lifler 5 farklı renk değişimi sergileyerek hem sıvı hem de buhar ortamında asit ve alkali varlığında renk değiştirmişlerdir. Yapılan yorulma testlerinde iyi dayanım ve hızlı renk değişimi tespit edilmiştir. Elde edilen liflerin pH 3'ten daha düşük ve pH 9'dan daha yüksek değerlerde renk dönüşümü yapmasının, akut toksik buharlara ve solüsyonlara maruz kalınan endüstriyel alanlarda insan güvenliğini koruyabileceği belirtilmiştir. Ayrıca boyarmaddenin lif içinde olması, geleneksel uygulama ve kaplama ile yapılan işlemlerin dezavantajı olan sürtünme, nem ve diğer etkenlerin neden olduğu problemlerin önüne geçebilecektir.

Lee vd. (2021) yaptıkları çalışmada giyilebilir ve yıkanabilir tekstil tabanlı akıllı sensörler geliştirmek için asit gazına duyarlı, optik özelliklere sahip kırmızı floresan boya sentezi üzerine çalışmışlardır. Kromofor grupları Ethyl NR (Nil kırmızısı) ile aynı olan iki halokromik kırmızı floresan boyanın afinitesini, yüksek molekül ağırlıklı hidrofobik polietilen liflerine karşı artırmak için, boyarmaddeler çözeltide dibütil ve diheksil eklenerek sentezlenmiştir. Sentezlenen iki boyanın (Dibütil NR ve Diheksil NR) maksimum absorpsiyon, stokes kayması, molar absorpsiyon ve kuantum verimi gibi özellikleri Ethyl NR (Nil kırmızısı) ile neredeyse aynı çıkmıştır. Sentezledikleri yeni halokromik floresan boyayı yüksek molekül ağırlıklı polietilen liflerine (HMWPE) uygulamışlardır. Uygulamada 1 g örme kumaşa %0,001-1,0 konstantrasyonlarında 125 °C'ta 1 saat boyama yapılmıştır. Yapılan boyama sonrası optimum boya konsantrasyonları belirlenmiş, ayrıca kumaş numuneleri oda sıcaklığında aseton ile dört kez yıkanmıştır. Hem halokromik renk değişimi hem de floresan özelliğın sadece hidroklorik asit çözeltisi içinde değil aynı zamanda düşük konsantrasyondaki gaz fazındaki hidroklorik asit ile de gerçekleştirilebileceği çalışmada görülmüştür. Numunenin halokromik renk değişiminin ölçümü için, kumaşı geliştirdikleri 3 katmanlı aparatın arasına alarak spektrofotometrede ölçümleri yapmışlardır. Dikdörtgen ve şeffaf alt ve üst katmanın arasında yer alan ortası dikdörtgen şeklinde boş olan ara aparatın ortasına kumaş yerleştirilmiş, orta aparata gaz giriş çıkışı için giriş-çıkışlar eklenmiş, içinde kumaş yer alan aparat spektrofotometrenin okuyucu gözüne yerleştirilmiştir. Ölçümleri D65 ışığı altında yapmışlardır. Akıllı sensörün floresan özelliği ise floresans spektrofotometre ile ölçülmüştür. Yapılan haslık ölçümlerinde Diheksil NR üç boya arasında en iyi yıkanabilirliği sergilemiştir. Çalışmada yıkanabilir ve yeniden kullanılabilir oldukça hassas tekstil sensörü, yüksek yorulma dayanımına sahip şekilde başarılı bir şekilde üretilebilmiştir.

Halokromizm ile ilgili pamuklu kumaşlar üzerinde bugüne kadar yapılmış çalışmalar Çizelge 2.1’de özetlenmektedir.

Çizelge 2.1. Pamuk lifleri üzerinde halokromizm ile ilgili çalışmalar

Çalışma	Kullanılan boya	Aplikasyon yöntemi
<i>Staneva vd. (2015)</i>	Eosin Y (ışığa duyarlı boya) + 2-aminoetil metakrilat hidroklorür	Çektirme
<i>Sun vd. (2015)</i>	Metil kırmızısı, fenol kırmızısı, bromokresol yeşili ve bromotimol mavisi	Sol-jel
<i>Caldara (2017)</i>	7-Hidroksifenoksazon (litmus)	Sol-jel
<i>Trovato vd. (2017)</i>	7-Hidroksi-3H-fenoksazin-3-on (Resorufin), boyarmadde	Sol-jel
<i>Mao vd. (2018)</i>	İzoforon diizosiyanat, polikarbonat diol, N-metildietanolamin, dibutiltin dilaurat	Kaplama
<i>Promphed vd. (2019)</i>	Bromokresol yeşili, metil turuncusu	Baskı

Çizelge 2.1 incelendiğinde pamuklu kumaşlara halokromik boyaların konvansiyonel emdirme yöntemine göre aplikasyonuna ilişkin hiçbir çalışmanın bulunmadığı, çektirme yöntemine göre ise sadece bir çalışmanın olduğu görülmektedir.

Staneva vd. (2015) çalışmalarında halokromik boya olarak kendi sentezlediği 1,8-naftalimid boyasını çektirme yöntemine göre applike etmiş olup tarafımızdan yapılan çalışmada kullanılan halokromik boyalardan farklıdır. Ayrıca katyonikleştirme sonrası parça boyamacıların kullandığı pigment boyama prosesine göre bir aplikasyon da mevcut değildir. Bu açıdan bakıldığında çalışmamızın yenilikçi ve özgün olduğu söylenebilir.

2.3. Fotokromizm

Fotokromizm, bir kimyasal yapının iki farklı absorpsiyon spektrumu arasında tersinir olarak renk değiştirmesidir. Eğer fotokromik bir malzeme ultraviyole ışınlarına maruz bırakılırsa rengi değişir. Fotokromizm halka açılması-halka kapanması ve cis-trans izomerizasyonu gibi mekanizmalara dayanır. T tipi fotokromizm, fotokromik malzemenin renkli halinden renksiz haline dönüşünün ısı veya görünür ışık yoluyla olmasıdır. P tipi fotokromizm, fotokromik malzemenin renkli halinden renksiz haline dönüşünün fotokimyasal olarak gerçekleşmesidir. Eğer bir fotokromik malzeme karanlıkta renksiz formdayken UV altında renkli hale geçiyorsa, pozitif fotokromizm olarak adlandırılır. Negatif fotokromizm ise, fotokromik malzemenin karanlıkta renkli olduğu ve UV ışını ile renksiz hale geçtiği fotokromizm tipidir (Delibaş, 2013).

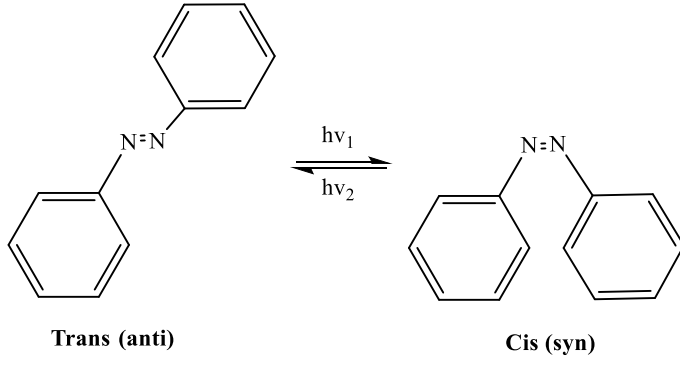
2.3.1. Fotokromik Boyarmaddelerin Kimyasal Yapısı

Fotokromik maddeler řu şekilde sınıflandırılabilir (Morsümbül, 2018);

- Cis/Trans izomerizasyonu
- Heterolitik ve homolitik bağ kırılması
- Molekül içi hidrojen transferi
- Molekül içi grup transferi
- Elektron transferi
- Perisiklik reaksiyonlar

2.3.1.1. Cis/Trans izomerizasyonu

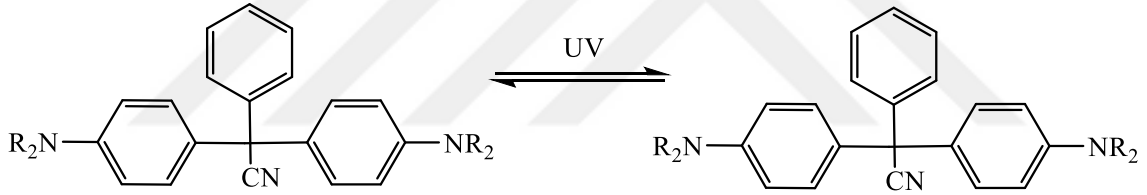
Cis-trans izomerizasyonlarına dayanan fotokromizm stilbenler, azo bileşenleri, azinler vb. bileşiklerde gözlenir. Örneğin şekil 2.5'te bir azo bileşiğinin gösterdiği trans-cis izomerizmine dayanan fotokromizm görölmektedir (Orhan, 2007).



Şekil 2.5. Azo bileşiğine ait trans-cis izomerizasyonuna dayanan fotokromizm (Orhan, 2007)

2.3.1.2. Heterolitik ve homolitik bağ kırılması

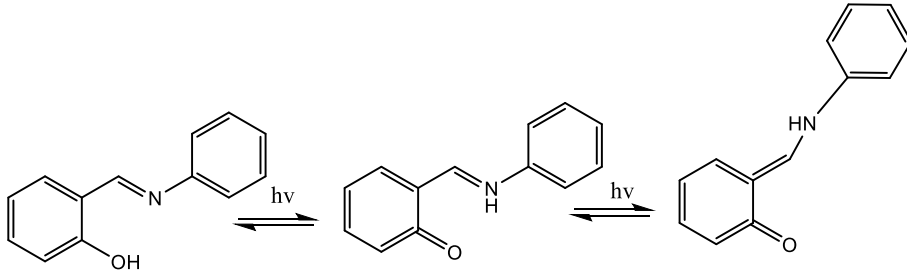
Bu tür fotokromik bileşiklerde bazı bağlar homolitik veya heterolitik olarak kırılmakta ve tersine reaksiyonda ise kırılan bağlar tekrar oluşmaktadır. Örneğin, triaril metanlar uygun dalga boyunda ışık ile heterolitik bağ kırılması vermekte ve ters reaksiyon ise termal yolla gerçekleşmektedir (T-tipi fotokromizm) (Morsümbül, 2018).



Şekil 2.6. Triaril metanların heterolitik bağ kırılması (Bouas-Laurent ve Dürr, 2001)

2.3.1.3. Molekül içi hidrojen transferi

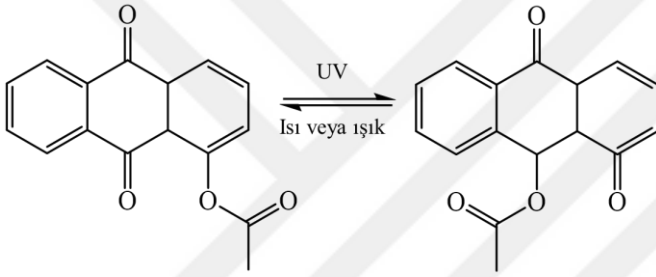
Molekül içi hidrojen transferi, aniller, benzilpiridinler ve ilgili bileşenler ile salisilatlar, triazololler, oksazololler, metal ditiyazonatlar ve perimidinspiroheksadienonlarda gözlenmektedir (Orhan, 2007).



Şekil 2.7. Anile ait proton tautomerizmine dayanan fotokromizm (Orhan, 2007)

2.3.1.4. Molekül için grup transferi

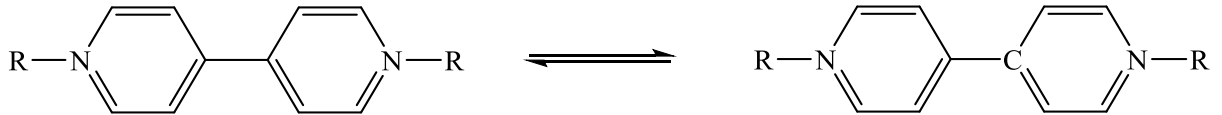
Polisiklik kinonlarda molekül içi grup transferi ile oluşan fotokromizm gözlenmektedir (Morsümbül, 2018).



Şekil 2.8. Periariloksikinona ait molekül içi grup transferi ile fotokromizm (Bouas-Laurent ve Dürr, 2001)

2.3.1.5. Elektron transferi (yükseltgeme-indirgeme)

Elektron transferleri (yükseltgenme-indirgenme) ışığa duyarlı viologenler ve benzer sistemlerde oluşur. Aynı sistemler elektrokromizm de sergilerler (Bozkurt, 2007)

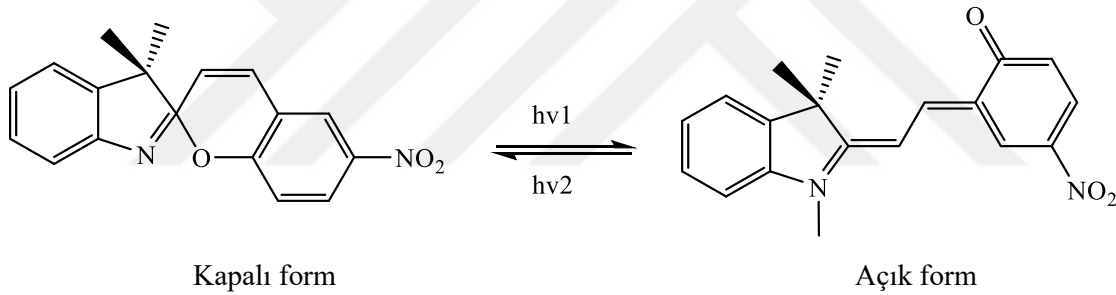


Şekil 2.9. Viologene ait elektron transferine dayanan fotokromizm (Bouas-Laurent ve Dürr, 2001)

2.3.1.6. Perisiklik reaksiyonlar

Bu sınıfa giren fotokromik bileşikler 5 ana grupta toplanabilir. Bunlar spiropiranlar, spirooksazinler, kromenler, diarileteler ve fulgidlerdir. Spiropiranlar, diarileteler ve fulgidler en fazla çalışılmış fotokromik bileşiklerdir. Her bir grupta yüzlerce türev mevcuttur. Diarileteler ve fulgidlerde her iki yöndeki reaksiyon da uygun dalga boylarında ışık ile ilerlerken, spiropiranlar, spirooksazinler ve kromenlerde halka açılma reaksiyonu ışık ile ($h\nu$), tersi reaksiyon ise termal yolla gerçekleşir (Orhan, 2007).

Spiropiranlar: Ticari uygulamalarda fotokromizmden yararlanmak amacıyla ilk modern girişimler spiropiranlar üzerine olmuştur. Çünkü bu boyalar kolaylıkla sentezlenebilmekte ve derin renklere dönüşebilmektedir. Bu boya sınıfı, indolin spirobenzopiran sisteminin ayrıntılı olarak keşfedilmesiyle birlikte 1950’li yıllardan 1970’li yıllara kadar en yoğun şekilde araştırılan organik fotokromik molekül grubu olmuştur (Morsümbül, 2018).



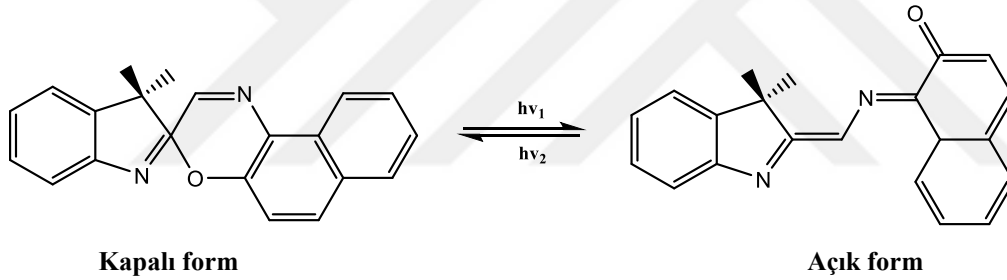
Şekil 2.10. Spiropiranlara ait fotokromizm (Orhan, 2007)

Açık halka ile kapalı halka formları arasındaki dinamik denge sistemin renk yoğunluğunu belirlemektedir. Denge sırasında her iki form bir arada bulunmaktadır. UV ışığı ile işlem sonucu halka açılma reaksiyonu meydana gelmekte ve denge bozularak fotomerosiyanin konsantrasyonu artmaktadır. Böylece renk yoğunluğunda artış gözlenmektedir. Işık kaynağının uzaklaştırılması ile tam tersi etkiler görülmektedir. Denge renksiz piran formuna doğru kaymakta ve bunun sonucu olarak cisim renksiz hale (ilk haline) dönmektedir (solmaktadır). Halka kapanma reaksiyonu termal olarak ilerlemektedir. Sıcaklıktaki artışı ile fotomerosiyanin formunun piran formuna dönüşü hızlanmaktadır. Böylece renk yoğunluğunda azalma meydana gelmektedir. Dolayısıyla, spiropiranların fotokromik etkisi sıcaklığa bağlı bir şekilde, yüksek sıcaklıklarda zayıf olacaktır. Boyanın

içerisinde çözüldüğü çözücüye bağlı olarak da fotokromik etkinin şiddeti değişebilmektedir. Spiropiran ürünleri genel olarak mavi ve mor renklere dönüşmektedir (Corns vd., 2009).

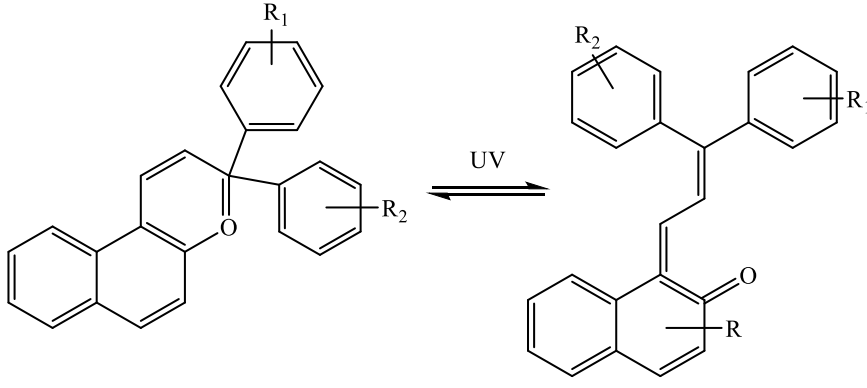
Spiropiran sınıfı doğası gereği genel olarak nispeten zayıf ışık stabilitesine sahiptir. Bu boya sınıfının yerini, yorulma dayanımı daha yüksek olan spirooksazin ve naftopiran sistemleri almıştır. Buna rağmen spiropiranlar hala biyokimyagerlerin ve malzeme bilimcilerin araştırma konuları içerisinde yer almaktadır (Corns vd., 2009).

Spirooksazinler: Bu boya sınıfı moleküler yapıları ve fotokromizm mekanizmaları açısından spiropiran grubuna benzemektedir ancak daha yüksek yorulma dereceleri göstermektedir. Nispeten yüksek bir stabiliteye sahip olmanın sonucu olarak spirooksazinler, 80'li yılların başlarında ilk ticari plastik fotokromik lenslerin üretiminde kullanılarak endüstriyel bir önem kazanmıştır. Bu ilk ürün lansmanı başarısız olmuş olsa da, bu sınıfın örnekleri ile üretilen lensler, 1990'ların başından itibaren başarılı bir şekilde pazarlanmıştır (Morsümbül, 2018).



Şekil 2.11. Spirooksazinlere ait fotokromizm (Orhan, 2007)

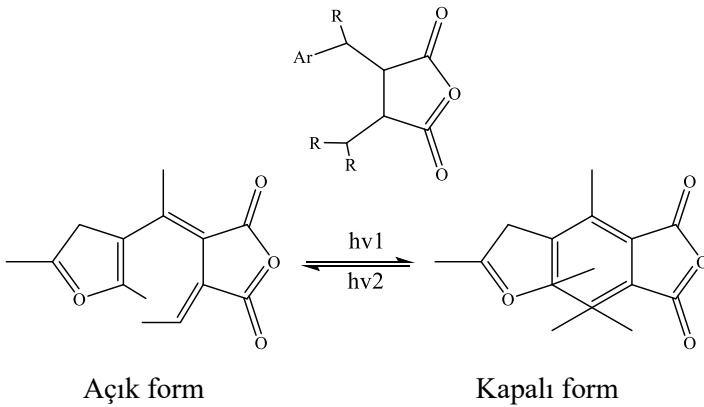
Naftopiranlar: Keşiflerinden bu yana uzun yıllar boyunca ihmal edilen naftopiranlar, son yirmi yılda üzerine çalışmalar yapılan ve günümüzde ticari olarak en önemli sınıf olan fotokromik boya grubudur. Kromenler olarak da bilinen naftopiranların da spiropiran ve spirooksazinlerde olduğu gibi ışık etkisi ile halka açılmasına dayanan fotokromik özellikleri bulunmaktadır (Morsümbül, 2018).



Şekil 2.12. Naftopiranlara ait fotokromizm (Bouas-Laurent ve Dürr, 2001)

Naftopiranların farklı fonksiyonel gruplara sahip olmaları, bu boyaların ekonomik açıdan faydalı olmasına ve sarılardan turunculara, kırmızılara, morlara ve mavilere kadar uzanan renklere sahip bir gama sahip olmasına olanak sağlamıştır. Ticari naftopiranlar genel olarak diğer bilinen sınıflar kadar iyi stabil özelliklere sahip olmamakla birlikte fotokromizm özellikleri ısıya karşı spirooksazınlere göre daha az duyarlıdır (Bouas-Laurent ve Dürr, 2001).

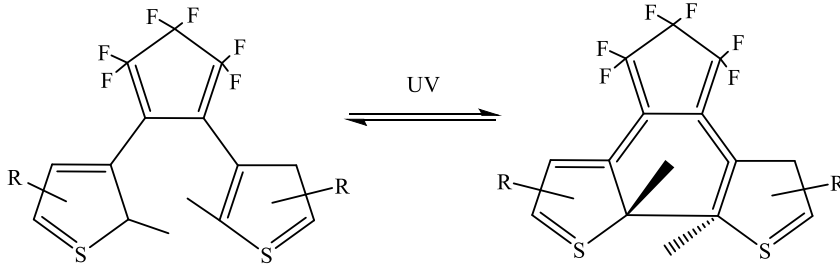
Fulgidler: Fulgidler, bismetilen süksinik anhidritlerin 1,6 aril türevleridir. İlk defa Stobbe tarafından sentezlenmiş ve fulgid olarak isimlendirilmiştir. Fulgid kelimesi latince bir kelime olan fulgere'den türetilmiştir (fulgere: parlamak, parıldamak). Fulgidler en çok çalışılan konulardan biridir ve bu konuda en çok katkıyı Heller yapmıştır. Aşağıda en önemli fulgid türevlerinden biri olan 1,7 A540 görülmektedir (Orhan, 2007).



Şekil 2.13. A540 1,7'e ait fotokromizm (Orhan, 2007)

Diariletener: Fulgidler gibi halka açılması reaksiyonu ile renksiz hale gelen bir diğer bileşik grubu ise diariletenerlerdir. Fulgidlere göre daha kolay sentezlenebilen bu bileşikler de P

tipi fotokromizm etkisi göstermekte olup tersinir reaksiyonları başka dalga boyundaki ışık ile birlikte gerçekleştirmektedir (Morsümbül, 2018).



Şekil 2.14. Diariletene ait fotokromizm (Bouas-Laurent ve Dürr, 2001)

2.3.2. Fotokromik Boyarmaddelerin Kullanım Alanları

Fotokromizmde sistemi uyaran UV ışığı veya görünür ışın olduğundan renk değişimi için dışarıdan enerji uygulaması veya ek maliyet gerekmemektedir. Bu sayede fotokromik etkiye sahip yapıların potansiyel uygulama alanları artmış ve aktif bir araştırma alanı haline gelmiştir (Topbaş, 2020).

Fotokromizm ve termokromizm; sağlık, biyoloji ve kimya gibi diğer alanlarda kullanılan fizikokimyasal bir fenomendir. Biyoalgılama uygulamalarında kullanmak için fotokromik ve termokromik boyaların kullanımının araştırılması ve geliştirilmesi üzerine çalışılmakla birlikte, literatürde yer alan sonuçlar çok azdır (Mattila, 2006).

Fotokromik boyalar kullanılarak elde edilen ürünler içerisinde en bilindik olanı fotokromik gözlüklerdir. Bu tip gözlükler UV ışık şiddetindeki artışla birlikte kararmakta ve böylece göze gelen ışığı azaltmaktadır. Gözlüğü takan kişi kapalı bir alana girdiğinde yani ortamdaki UV ışık şiddeti düştüğü zaman gözlük camları şeffaf haline geri dönmektedir (Şekil 2.15).



Şekil 2.15. Fotokromik gözlüğün kapalı (soldaki resim) ve dış ortamdaki (sağdaki resimler) görüntüsü (Morsümbül, 2018)

Fotokromik malzemelerin yüksek yorulma direnci gösterme yeteneklerinden dolayı çocuk oyuncaklarındaki ve tişörtlerdeki logoların baskısı için kullanımı önemli bir ticari çıkış noktası olmuştur. Bu alanda sarıdan kırmızıya, mordan yeşile kadar çok çeşitli renk seçeneği mevcuttur (Topbaş, 2020).

Polisakkarit esaslı bir polimer olan selüloz asetat çözeltisine spiropiran türevi bir fotokromik boyarmadde ilave ederek, elektro çekim yöntemiyle fotokromik nanolifli yüzey üretilmiştir. Ultraviyole-görünür (UV-VIS) spektrofotometri ve floresans mikroskopu sonuçları, elde edilen nanolifli yüzeylerin iyi fotokromik ve floresan özellikleri sağlayabileceğini göstermiştir. Mükemmel ışık duyarlılığına sahip fotokromik nanoliflerin, optik cihazlar ve/veya biyosensör uygulamalar için büyük bir potansiyele sahip olabileceğine değinilmiştir (Shuiping vd., 2010).

Optik bellek ve anahtarlarda fotokromik malzemeler, daha yüksek çözünürlük, yazma hızı, dalga boyu ve polarizasyon sağlamalarından dolayı bu alanda kullanım bulmuştur. Isı modu kayıt sistemlerinin aksine; geçirgenlik, yansıtma veya flüoresan gibi fiziksel özelliklerdeki değişiklikleri meydana getirerek foton modu kayıt sistemi oluşturmaktadırlar. Örneğin bir optik bellek diskinde kayıt katmanının oluşturmak için fotokromik malzeme (spiropiran, spirooksazinler, diarietenler gibi fotokromik bileşikler) yansıtıcı bir altın veya alüminyum katman üzerine akrilik bir reçineyle, uygulanır (Coles, Lester ve Owen, 2006; Ferguson, 1984).

Çevresel koşullara yanıt veren mimari yapıların ilk örneklerinden biri Institut du Monde Arabe (Paris, Fransa, 1981-1987, Jean Nouvel) yapısıdır. Cepheye gelen ışığa bağlı

olarak otomatik kontrol edilen mekanik diyafram düzeneğiyle içeri alınan ışığı ayarlayan cephe panellerinin kullanıldığı yapıda sadece ışık algılayıcılarda sınırlı biçimde akıllı malzeme kullanılmıştır. 1992 yılında Münih Modern Sanat Müzesi için açılan yarışmada Becker Gewers Kuhn & Kuhn tarafından sunulan proje, cephede güneş kontrolü için kromik cam kullanımının ilk örneklerinden biri olmuştur (Ritter, 2007). Böylece akıllı malzemeleri gerçek potansiyeliyle kullanarak çevresel koşullara yanıt veren ilk yapılar ortaya çıkmıştır (Gezer, 2008).

Biyolojik uygulamalarda fotokromik bileşikleri reseptörlere ve enzimlere bağlayarak katalitik aktivitelerini foto-regüle etmek mümkün olabilmektedir. Bu malzemeler kemoterapötik ajan, biyosensör ve biyoelektronik malzeme olarak biyolojik alanlarda da kullanılma potansiyeline sahip olup, bugüne kadar yapılan çalışmaların çoğunda fotokromik bileşiklerden spiropiranlar kullanılmıştır (Gray, 1990; McArdle, 1992).

Fotokromik boyarmaddelerin tersinir olarak renk değiştirebilmeleri yeni tasarımlar, dekorasyonlar ve moda etkileri için potansiyel bir ortam sunmaktadır. Böyle uygulamalar için tipik örnekler ayakkabılar, takılar, saat kayışları, bardaklar, kozmetik ürünleri ve mobilyalardır. Fotokromik boyarmaddeler paraların, çeklerin, belgelerin ve marka adlarının korunması için de kullanılırlar. Fotokromik boyarmaddelerden ayrıca mimarlık alanında pencerelerin ve şeffaf cephelerin gün ışığının kontrolünde de başarılı bir şekilde yararlanılmaktadır (Topbaş, 2020).

Fotokromik boyarmaddeler tekstilde başlangıçta geçici bir moda akımı olarak değerlendirilmiş olmalarına rağmen, yapılan çalışmalar sonucunda fonksiyonel kullanım alanlarının da ortaya çıkması ile kullanımları hızla yaygınlaşmaktadır. Fotokromik olarak üretilen giyim ürünleri zamanla piyasada yerini almıştır. İçeride açık renk veya beyazken, gün ışığında mavi, yeşil, mor ya da herhangi bir renge değişen kıyafetler özellikle gece kıyafetleri dikkat çekmektedirler (Topbaş, 2020).

Tekstil alanında fotokromik boyaların kullanımı 1990'lı yıllara dayanmakla birlikte günümüzde ticari anlamda çok yaygın kullanılmamaktadır (Ferrara ve Bengisu, 2014). Son yıllarda moda endüstrisi tarafından farklı efektler elde etmek amacıyla kullanılabilen fotokromik boyalar sentetik liflerin üretimleri sırasında polimer matriks içerisine yerleştirilerek fotokromik iplik şeklinde de üretilebilmektedir. Ayrıca parça baskı tekniğiyle

kumaş yüzeyine aktarılarak fotokromik tişört gibi ürünler de elde edilmektedir (Morsümbül, 2018).

Fotokromik boyarmaddeler çeşitli teknikler ile tekstil materyallerine uygulanabilmektedirler. Örneğin; fotokromik boyarmadde lif çekim çözeltisine ilave edilebilir, eriyik halinde veya bir reçine ile çözeltisi hazırlanarak karıştırılıp kumaş yüzeyine kaplanabilir. Aynı zamanda geleneksel boyama yöntemleriyle uygulanabilir (Alır, 2018). Ancak uygulanan tekniklerin çoğu kullanılan matriks materyallerin rijit yapısından dolayı fotokromik moleküllerin konfigürasyon değişikliğini kısıtlandırmaktadır. Buna ek olarak, piyasada bulunan fotokromik boyarmaddeler dispers boyarmaddelerdir ve bu yüzden bu boyarmaddelerin doğal liflere uygulanması sonucunda düşük yıkama hasılları elde edilmiştir (Cheng, Lin ve Fang, 2007; Bamfield, 2001).

Fotokromik boyaların endüstriyel tekstil uygulamalarının yanı sıra bu boyalarla ilgili tekstil alanında yapılan bilimsel çalışmalar da son yıllarda artmıştır. Birçok farklı araştırmacı fotokromik boyaları çektirme, emdirme ve baskı gibi yöntemlerle poliamid, poliester, poliakrilnitril ve pamuklu kumaşlar üzerine aktarmış ve kumaşların fotokromizm davranışlarını incelemişlerdir (Morsümbül, 2018).

Fotokromik boyarmaddelerin tekstil materyalleri üzerinde kamuflaj amaçlı kullanımı 1960'larda Amerikan firması Cynamid'in fotokromik spiropiranları geliştirmesi ile başlamıştır ve fotokromik boyalı ilk kumaş 1980'de piyasaya çıkmıştır. Japon üretici Kanebo Ltd. tekstil materyallerini boyayan mikrokapsüllenmiş spiropiran kullanmıştır. Dalga boyu 350-400 nm olan UV ışınlarının etkisi altında boyalar tersinebilir bir şekilde açık maviden koyu maviye renk değiştirir. 1980'lerin sonunda, stabil olmayan spiropiranlar yerini daha stabil olan spirookzasinlere bırakmıştır. Günümüzde Toray Industries şirketi, fotokromik olarak boyanmış giysilik kumaşlarının üretimini geliştirmiştir. Bu kumaş piyasada Sway UV® adı ile yer almaktadır. 350-380 nm dalga boyundaki UV ışıkların etkisi altında kumaşı maviye ya da violet renge dönüştürür. UV ışınlarının etkisi durdurulduğunda renk 30 saniyede gözden kaybolur. 1989'da Sway UV® tişört ve polo şortlarda kullanılmıştır (Topbaş, 2020).

2.3.3. Fotokromik Boyarmaddelerin Tekstil Alanında Kullanımı ile İlgili Yapılan Önceki Çalışmalar

Fotokromik boyaların tekstil alanında uygulamalarına ilişkin literatürde pek çok çalışma bulunmaktadır. Fotokromik boyaların protein liflerine (Billah vd., 2012; Si vd., 2021 gibi) ve sentetik liflere (Aldib ve Christie, 2011; Aldib ve Christie; 2012, Abate vd., 2020; Billah vd., 2008a; Billah vd., 2008b; Ghosh vd., 2018; Seipel vd., 2019; Son vd., 2007 gibi) aplikasyonuna ilişkin çeşitli çalışmaların yanı sıra elektro lif çekiminde kullanımına ilişkin yayınlar (Alır, 2018; Özdemir, 2018; Shuiping vd., 2010; Shen vd., 2021 gibi) da dikkati çekmektedir. Bu tez projesi fotokromik boyaların pamuk liflerine aplikasyonu ile ilgili olduğundan aşağıda fotokromik boyaların pamuk lifleri üzerindeki uygulamalarına ilişkin literatür özetleri sunulmaktadır.

Little ve Christie (2010a) naftopiran ve spirooksazin esaslı 4 farklı ticari fotokromik boyayı baskı ile pamuklu kumaşa aktarmışlar ve kumaşların renk değişimlerini UV ışık altında incelemiştir. Spirooksazin ve naftopiran yapıdaki boyarmaddeler ile basılan kumaşların UV ışık ile renk değiştirdiği fakat oda sıcaklığının artmasının bu renk değişimini olumsuz etkilediğini tespit etmişlerdir. Renk değişim reaksiyonunun ekzotermik bir reaksiyon olmasının bu duruma sebep olabileceğini belirtmişlerdir. Aynı zamanda spirooksazin türü fotokromik boyalarda, sıcaklık artışı ile naftopiran esaslı fotokromik boyalara göre daha az renk değişimi gerçekleştiğini belirtmişlerdir.

Bu çalışmanın devamında, beş farklı ticari boyarmaddeyi pamuklu ve polyester kumaşlara baskı ile applike etmişler ve kumaşların performans özelliklerini test etmişlerdir (Little ve Christie, 2010b).

Araştırmacılar 2011 yılında yaptıkları çalışmada ise fotokromik boyarmaddeleri baskı ile applike ettikleri kumaşların teknik performansına etki eden faktörleri araştırmışlardır (Little ve Christie, 2011).

Kumbasar vd. (2012) fotokromik boya kapsüllerini farklı bağlayıcılar kullanarak pamuklu kumaşlara baskı ve emdirme yöntemiyle aktarmışlar ve boyalı kumaşların UV koruma ve UV ışık ile renk değişimini çoklu yıkamalara karşı incelemiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda kumaşların UV koruma özelliklerinin geliştiğini ve en yüksek yıkama dayanımının akrilat ve poliüretan esaslı binderler ile sağlandığını belirtmişlerdir.

Fan vd. (2015) çalışmalarında kaplama yöntemi ile çift kabuklu poliüretan-kitosan fotokromik mikrokapsülleri pamuklu kumaşlara applike etmişlerdir.

Peng vd. (2015) çalışmalarında sentezledikleri ve spirooksazin A ve spirooksazin B olarak adlandırdıkları 2 farklı fotokromik boyarmaddeyi ultrasonik ışınlama altında 50 °C'ta 30 dakika boyamışlardır. Elde edilen kumaşlar incelendiğinde sprioksazin B olarak adlandırdıkları fotokromik boyarmadde ile boyanan kumaşların daha iyi fotokromik özelliklere ve daha yüksek yorulma direncine sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Kumbasar vd. (2016) spirooksazin bazlı fotokromik boyayı kapsülleyerek pamuklu kumaşa farklı bağlayıcı türleri ile pad-dry yöntemine göre applike etmişlerdir. Kumaşın ultraviyole (UV) koruyuculuğunun kapsüllemiş fotokromik boyanın uygulanmasıyla arttığı belirtilmiştir. Kullanılan bağlayıcı türü, UV ışınlaması sırasında fotokromik renk oluşumunu etkilemiş ve tekstiller üzerinde kapsüllemiş fotokromik boyaların sağladığı UV korumasını değiştirebileceği belirtilmiştir.

Fan ve Wu (2016) çalışmalarında çift kabuklu poliüretan-kitosan fotokromik mikrokapsülleri çeşitli karışım oranlarında sarı/kırmızı/mavi olarak üretilmişler ve pamuklu kumaş üzerine kaplama yoluyla applike etmişlerdir. Farklı renklerde applike edilen fotokromik mikrokapsül kaplı kumaşların oda ışığı ve güneş ışığı altındaki renk değişimi gözlemlenmiştir. Ayrıca kumaşlara 50 yıkama dayanımı testi ve sonrasında renk ölçümü yapılmıştır ve renk solmasının çok düşük seviyede olduğu belirtilmiştir.

Ayazi-Yazdi vd. (2017) çalışmalarında silika nanoparçacıklar ve fotokromik boyarmadde içeren bir karışımı kaplama yolu ile kumaş üzerine applike etmişler ve ardından kumaşı bir de alkilsilan bileşiği ile kaplamışlardır. Elde edilen kumaşların fotokromik özelliklerinin yanı sıra, antibakteriyel ve hidrofobik özellikleri ve ayrıca UV bloklama aktivitesi incelenmiştir. Sadece fotokromik boyarmadde ile kaplanan kumaşın fotokromik renk değişimi performansının silika nanoparçacıklar ile kaplanan kumaşa göre daha düşük olduğu görülmüştür. Ayrıca silika nanoparçacıklar ile kaplanan kumaşın antibakteriyel özellik gösterdiği ve kumaşın UV bloke edici aktivitesi olduğu saptanmıştır.

Jalan ve Butola (2017) çalışmalarında, pamuklu kumaşlarda farklı konsantrasyonlarda bağlayıcı tipinin renk gelişimi, yıkama haslığı ve bazı konfor özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Bu özellikler bağlayıcı tipine ve konsantrasyonuna göre değişirken, en iyi renk gelişiminin optimum %5 bağlayıcı konsantrasyonunda elde edildiği bulunmuştur.

Kert ve Gorjanc (2017) çalışmalarında pamuk, pamuk/poliester ve poliester kumaşlar üzerine piyasada ticari olarak yer alan mikrokapsüllenmiş fotokromik boyarmaddeleri pad-dry yöntemine göre applike etmiştir. Elde ettikleri kumaşın iyi bir renk değiştirme özelliği ve kabul edilebilir haslık değerleri sergilediğini belirtmişlerdir.

Khatab vd. (2018) Çalışmalarında fotokromik boya içeren farklı türdeki pigment çözeltilerinin (stronsium, alüminat ve organik pigment karşılaştırılmıştır) pamuklu kumaşa basılarak renk, yıkama, sürtme, ışık, ter, süblimasyon testleri yapılmıştır. Stronsiyum alüminat pigment ile basılan kumaş, organik pigmentlerle basılmış olanlardan daha iyi renk haslığı özellikleri göstermiştir. Yapılan çalışma sonunda üretilmiş olan kumaşın akıllı giysiler alanında ve askeri kamuflaj olarak kullanılabilmesi amaçlanmıştır.

Morsümbül (2018) yaptığı çalışmada tekstil malzemelerinin UV koruma özelliklerinin incelenmesini ve geliştirilmesini amaçlamıştır. Çalışmasının ilk kısmında konvansiyonel tekstil boyaları ile farklı cins kumaşlara farklı boya konsantrasyonlarında boyamalar yapmış ve kumaşların UV koruyuculuklarını tespit etmiştir. Çalışmasının diğer kısmında ise fotokromik boyarmaddelere kapsülasyon çalışmaları yapmış ve bu boyarmaddeleri kumaş üzerine applike etmiştir. Daha sonra bu kumaşların da UV koruyuculuğunu test etmiştir. Çalışma sonucunda fotokromik boyaların tekstil mamulüne aplikasyonu sonucu 50+ UPF (UV koruma faktörü)'nin üzerinde UV koruyuculuk elde edilmiştir.

Bao vd. (2019) çalışmalarında merkaptopropiltrioksolan ile modifiye ettikleri pamuk elyafını spiropiran esaslı fotokromik boyarmadde içeren 1:50 flote oranında hazırladıkları boya çözeltisine 2 saat daldırmışlar ve ardından kumaşları 50 °C'ta kurutmuşlardır. Elde ettikleri kumaşın iyi bir fotokromik renk değişimine ve kabul edilebilir haslıklara sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Rajapakse (2019) yaptığı çalışmada gözlemciler tarafından öngörülemez kadar çoklu renk değişimi elde edilmesi için farklı aktivasyon yöntemlerinin kullanımını araştırmıştır. Çoklu renk değiştiren tekstil ürünlerini üretmek için, primer renkler olan mavi, kırmızı ve sarı fotokromik renkler, bezayağı pamuklu beyaz kumaş üzerine basılmıştır. Fotokromik tekstillerin kinetik davranışlarını kontrol etmek için üç farklı yöntem kullanmıştır. Çalışmasında güneş ışığı, yapay UV ışıklar ve SMD UV LED'ler (Surface Mounted Device UV LED) olmak üzere üç farklı aktivasyon yöntemini incelemiş, bu aktivasyon yöntemlerinin kontrol edilebilir çoklu renk değiştiren fotokromik etkilerin eldesi

için kullanım olanaklarını ortaya koymuştur. Farklı UV radyasyon yoğunluğuna sahip yapay UV ışıkları, farklı mesafelerde kullanıldığında farklı fotokromik etkiler sergilemiştir. Rajapakse, ayrıca SMD UV Led'lerin kullanım potansiyelini incelemiştir. Tekstil ürününe 30 mm mesafede bulunan SMD Led'ler ile fotokromik etki alınabilmektedir. Elektronik olarak anında kontrol edilebilen, tekstil ürününün geniş bir alanına yayılan SMD UV Led'ler sayesinde çok renkli ve dinamik görsel efektli tekstil ürünlerinin ortaya çıkarılabileceğini göstermiştir.

He vd. (2020a) çalışmalarında antifouling özelliğe sahip mikrokapsüller ile fotokromik pamuklu kumaşlar elde etmişlerdir. Çalışmada UV ışık altında yüksek renk değiştirme hassasiyetine sahip, yüksek yorulma direncine sahip ve iyi bir hidrofobik özelliğe sahip pamuklu fotokromik kumaş elde etmeyi amaçlamışlardır. İlk olarak spiropiran bileşimini sentezlemişler ardından yorulma direncini arttırmak için çekirdekte kitosan yer alacak şekilde mikrokapsülleri hazırlamışlardır. Hazırlanan mikrokapsüller, polidimetilsiloksan ile karıştırılarak hazırlanan çözelti pamuklu kumaş üzerine kaplama ile aktarılmıştır. Polidimetilsiloksan varlığı mikrokapsülleri kumaş üzerine bağlamanın yanı sıra hidrofobik özelliği nedeniyle kir itici bir özellikte kazandırmıştır. Çalışmanın sonucunda iyi bir renk değiştirme ve solma özelliğinin yanı sıra iyi bir hidrofiliğe de sahip fotokromik pamuklu kumaş elde edilmiştir.

He vd. (2020b) yaptıkları çalışmada tabaka tabaka kaplama yöntemi ile fotokromik mikrokapsülleri kumaş üzerine sabitleyerek, silinebilir özellikte pamuklu kumaş geliştirmeyi amaçlamışlardır. Çalışmada aynı zamanda elde edilen pamuklu kumaşın fotokromik mikrokapsüller ve sodyum alginattan oluşan, kendi kendine birleşen elektrostatik katman teknolojisi kullanılarak yüksek yorulma direncine sahip olması da amaçlanmıştır. Fotokromik boyaların mikrokapsülasyon işleminde hem yorulma direncini artırmak hem de kendi kendine birleşen elektrostatik katman işleminde mikrokapsüllere zayıf asidik ortamda pozitif yük sağlamak için mikrokapsüllerin duvar malzemesi olarak kitosan kullanılmıştır. Negatif yük elde etmek için pamuklu kumaşın anyonik modifikasyonundan sonra, pH 5'te mikrokapsüllerin kabuk malzemesinin NH₃⁺ grubu ile sodyum aljinatın -COO- arasında elektrostatik tabaka tabaka birleşme gerçekleştirildi. Kumaş dâhil, iki mikrokapsül, iki sodyum alginat katmanından oluşan fotokromik kumaş UV ışık altında 12 saniyede hızlı bir şekilde renk değiştirmiş, ardından yeşil ışık altında 90 saniyede orijinal haline dönmüştür. Kumaşa uygulanan 20'den fazla tersinir renk döngüsünün ardından renk kuvvetinin %94,65'i

korunmuştur. Bu nedenle üretilen kumaş silinebilir optik depolama yönünden yeniden kullanılmaya müsaittir. Ayrıca, fotokromik boyalar UV ışığını absorbe edebildiğinden elde edilen fotokromik pamuklu kumaş mükemmel UV koruma özelliklerine sahip olmuştur.

Topbaş (2020) çalışmasında fotokromik boyarmaddelerin ürünlerin korunması, işaretlenmesi ve taklit edilebilmesinin önlenmesi konusunda kullanılabilirliğini araştırmıştır. Ayrıca kullanılan fotokromik boyarmaddelerin çevresel etkilere karşı uzun süre korunması, tekstil materyaline aplikasyonunun geliştirilmesi ve fotokromik etkilerin artırılması amacıyla, boyarmaddeler mikrokapsülasyon işlemine tabi tutulmuştur. Topbaş, fotokromik özellikteki üç farklı fotokromik boyarmaddeyi kabuk materyalleri (etil selüloz, melamin-üre-formaldehit) ile mikrokapsülasyon yöntemlerinden koaservasyon ve in-situ polimerizasyonu yöntemlerine göre kapsüllemiştir. Elde edilen mikrokapsüller tekstil ürünlerine (iplik ve dokuma kumaş) boyama ve baskı yöntemlerine göre applike etmiştir. Elde edilen tekstil ürünleri üzerinde fotokromik özellikteki mikrokapsüllerin etkinlikleri için farklı ışık kaynakları altında renk değişimlerini gözlemlemiş ve renk değerlerini belirlemiştir. Ayrıca çalışmada laboratuvar koşullarında elde edilen fotokromik özellikteki mikrokapsüllerin sağladığı etkiler, piyasada bulunan üç farklı renk (viyole, mavi ve turuncu) ticari fotokromik boyarmaddelerin sağladığı sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Üretilen ve baskı yöntemi ile kumaşlara aktarılan mikrokapsüllerin yorulma dirençleri, tersinir renk değişikliğinin meydana geldiği solma döngüsü üzerinden ve her 5 döngü sonrasında ölçülen K/S değerleri açısından değerlendirilmiştir. Kumaşlarda döngü sayısı artsa bile K/S değerinde çok az düşüş olmasından veya hiç değişiklik meydana gelmemesinden dolayı, kumaşların iyi yorulma dirençlerine sahip oldukları tespit edilmiştir. Kumaşların kuru sürtme haslık sonuçları yüksek çıkarken, yaş sürtme haslık sonuçları düşük çıkmıştır. Aynı zamanda yıkamaya karşı dayanımları da düşüktür. Ancak uygulama alanı dokuma kumaş kenarı olacağından, bu ürünlerde yüksek dayanım amaçlanmamıştır. Üretilen mikrokapsüllerin ve piyasada bulunan ticari fotokromik boyarmaddelerin çektirme yöntemine göre boyama ile ipliklere aktarım çalışmalarında %100 pamuk ipliği kullanılmıştır. Yapılan çalışmalarda mikrokapsüllerin bobin boyama işlemleri düzgün olarak gerçekleştirilememiştir. Topbaş çalışmasını genel olarak değerlendirdiğinde; fotokromik boyarmaddelerin mikrokapsül formunda üretiminde en uygun kapsül üretim yönteminin koaservasyon yöntemi olduğunu tespit etmiştir. Koaservasyon yöntemi ile elde edilen fotokromik esaslı mikrokapsüllerde daha homojen partikül boyut dağılımı, daha düzgün bir yüzey yapısı ve UV ışık kaynağı altında daha iyi bir renk değişimi gözlemlenmiştir. Çalışma kapsamında hem ticari fotokromik boyarmaddelerin

hem de üretilen mikrokapsüllerin tekstil materyaline aplikasyonunda baskı yönteminin daha uygulanabilir olduğu ortaya çıkmıştır. Baskı yöntemi ile yüzeyde daha homojen bir renk dağılımı elde edilmiş ve diğer yöntemlere göre daha aktif renk değişiminin olduğu ürünler oluşturulmuştur.

Fotokromizm ile ilgili pamuklu kumaşlar üzerinde bugüne kadar yapılmış çalışmalar Çizelge 2.2’de özetlenmektedir.

Çizelge 2.2. Pamuk lifleri üzerinde fotokromizm ile ilgili çalışmalar

Çalışma	Kullanılan boya	Aplikasyon yöntemi
<i>Little ve Christie (2010a)</i>	Spirooksazin yeşil ve mor; naftopiran sarı ve kırmızı boya	Baskı
<i>Little ve Christie (2010b)</i>	Ticari fotokromik boyarmaddeler	Baskı
<i>Little ve Christie (2011)</i>	Ticari fotokromik boyarmaddeler	Baskı
<i>Kumbasar vd. (2012)</i>	Fotokromik kırmızı	Baskı ve Emdirme
<i>Fan vd. (2015)</i>	2-(40-N,N-dimethylamine benzene azo) anthraquinone	Kaplama
<i>Peng vd. (2015)</i>	Spirooksazin A, Spirooksazin B	Çektirme
<i>Kumbasar vd. (2016)</i>	Kapsüllenmiş spirooksazin esaslı fotokromik boya	Pad-dry
<i>Fan ve Wu (2016)</i>	Sarı / kırmızı / mavi 2- (40-N, N-dimetilamin benzen azo) antrakınon	Kaplama
<i>Ayazi-Yazdi vd. (2017)</i>	1,3-dihidro-1,3,3-trimetilspiro[2H-indol-,3'-[3H] naft[2,1 b][1,4]oksazin]	Kaplama
<i>Jalan ve Butola (2017)</i>	Fotokromik pigment (violet) boya	Pad-dry
<i>Kert ve Gorjanc (2017)</i>	Fotokromik mavi	Pad-dry
<i>Khatab vd. (2018)</i>	Stronsiyum alüminat fosfor pigmenti	Baskı
<i>Morsümbül (2018)</i>	1,3-dihidro-1,3,3-trimetilspiro[2H-indol-,3'-[3H] naft[2,1-b] [1,4]oksazin]	Emdirme
<i>Bao vd. (2019)</i>	1-(2-Hidroksietil)-3,3-dimethyl-6-nitrospiro [1(2H)-benzopiran-2,2-indol]	Çektirme
<i>Rajapakse (2019)</i>	Mavi, kırmızı ve sarı fotokromik boyalar	Baskı
<i>He vd. (2020a)</i>	Spiropiran esaslı fotokromik boyarmadde	Kaplama
<i>He vd. (2020b)</i>	1-allil-6-nitro[2H]-1-benzopiran-2,2'-indolin	Kaplama
<i>Topbaş (2020)</i>	1,1'-Diheptil-4,4'-bipiridinyum dibromür 1',3'-dihidro-1',3',3'-trimetil-6-nitrospiro[2H-1-benzopiran-2,2'-(2H)-indol] 1',3'-dihidro-8-metoksi-1',3',3'-trimetil-6-nitrospiro[2H-1-benzopiran-2,2'-(2H)-indol]	Baskı ve Çektirme

Çizelge 2.2 incelendiğinde pamuk üzerine fotokromik boyaların aplikasyonunun ağırlıklı olarak baskı ve kaplama tekniği ile gerçekleştirildiği, çektirme ve emdirme yöntemi gibi konvansiyonel aplikasyon yöntemlerine göre çalışmaların çok sınırlı olduğu görülmektedir. Emdirme yöntemine göre çalışmaların genellikle boyanın kapsüllendikten sonra aplikasyonu şeklinde gerçekleştirildiği söylenebilir. Jalan ve Butola (2017) ile Kert ve Gorjanc (2017) ise doğrudan fotokromik boyaların emdirme yöntemine göre aplikasyonu gerçekleştirmişlerdir. Ancak gerek kullanılan boyalar açısından gerekse de kumaşlara uygulanan testler açısından çalışmamız farklıdır. Ayrıca bu çalışmaların hiçbirisinde fotokromik boyaların diğer kromik boyalarla ikili ve üçlü karışımları üzerinde çalışılmamıştır. Tarafımızdan yapılan çalışmada fotokromik boyaların emdirme yönteminin yanı sıra katyonikleştirme sonrası yün boyama prosesi ve parça boyamacıların kullandığı pigment boyama prosesi ile de kumaşa aplikasyonu araştırılmış, kumaşların UV ile renk değişimine karşı yorulmalarının yanı sıra zamana bağlı renk değişimi incelenmiştir. Topbaş (2020) çalışmasında üç farklı fotokromik boyarmaddeyi mikrokapsülasyon sonrası çektirme yöntemi ile %100 pamuk ipliğine applike etmiştir. Burada fotokromik boya doğrudan değil kapsüllendikten sonra ipliğe applike edilmiştir. Bao vd. (2019) çalışmalarında fotokromik boyarmaddeyi, merkaptopropiltrioksolan ile modifiye ettikleri pamuklu kumaş üzerine çektirme yöntemi ile applike etmeye çalışmışlardır. Yapılan bu çalışmada pamuk liflerinin konvansiyone çektirme yöntemine göre boyanmasından önce pamuk lifleri üzerinde gerçekleştirilen kimyasal modifikasyon yöntemi farklıdır. Ayrıca bu çalışmada parça boyamacıların kullandığı pigment boyama prosesine göre bir aplikasyon da mevcut değildir. Tüm bu hususlar dikkate alındığında çalışmamızın yenilikçi ve özgün olduğu söylenebilir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

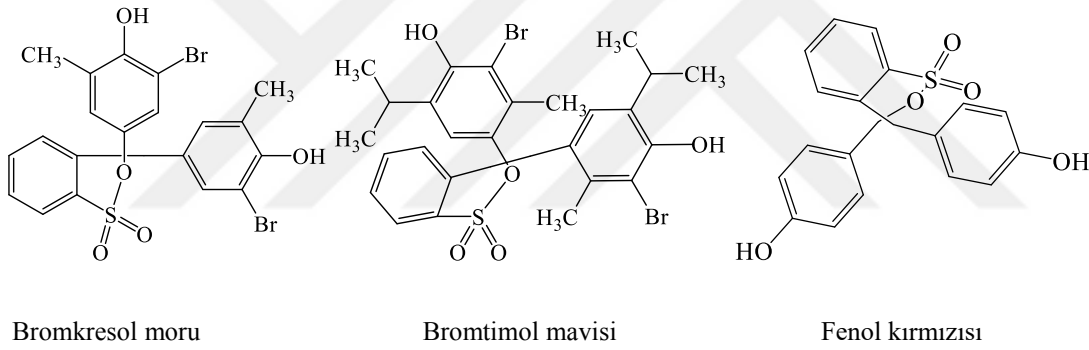
3.1. Materyal

Çalışmada Çizelge 3.1’de özellikleri verilen %100 pamuklu örme kumaş kullanılmıştır.

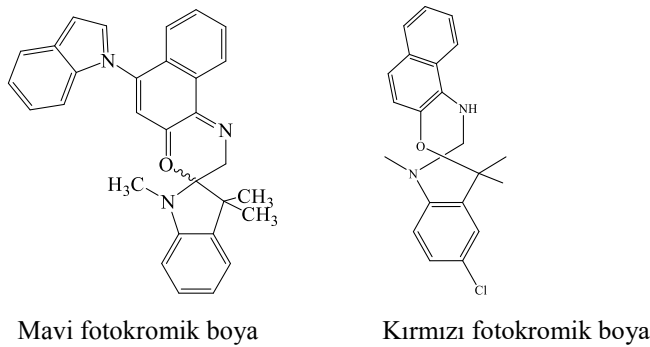
Çizelge 3.1. Denemelerde kullanılan kumaşın özellikleri

Elyaf Cinsi	Kumaş Konstrüksiyonu	İplik No	Pus/Fine	Gramaj	İlmek Sıra Sayısı/cm	İlmek Çubuk Sayısı/cm
Pamuk	Süprem	30/1 Ne Penye Ring	34/28	150 g/m ²	15,3	14,8

Denemelerde kullanılan pH (halokromik) ve ışık (fotokromik) ile renk değiştiren boyarmaddelerin kimyasal yapıları sırasıyla Şekil 3.1ve Şekil 3.2’de verilmektedir.



Şekil 3.1. Denemelerde kullanılan halokromik boyalar (Sigmaaldrich, 2019a; Sigmaaldrich, 2019b; Sigmaaldrich, 2019c)



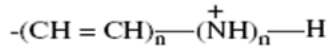
Şekil 3.2. Denemelerde kullanılan fotokromik boyalar (Pubchem, 2021a; Pubchem, 2021b)

3.2. Yöntem

Bütün kromik boyarmaddelerin kumaş üzerine aplikasyonları çektirme ve emdirme yöntemlerine göre gerçekleştirilmiştir. Çektirme yöntemine göre yapılan boyamalarda pamuklu kumaşlara önce katyonikleştirme işlemi uygulanmıştır.

3.2.1. Pamuk Liflerinin Katyonikleştirilmesi

Denemelerde katyonikleştirme maddesi olarak Albafix ECO (Huntsman) ticari isimli poliamin esaslı katyonik fiksator (Şekil 3.3) kullanılmıştır. İşlemler pH 5'te (asetik asit ile), %5'lik konsantrasyonda 50 °C'ta 30 dk. süreyle yapılmıştır. Tüm kumaş numuneleri arasında ön işlemde kaynaklı bir farklılık oluşmaması için bu işlem Özen Mensucat A.Ş.'de bulunan 10 kg'lık HT jet boyama makinesinde (Canlar Makina) 10 kg'lık pamuklu kumaşa 1:10 flote oranında tek seferde uygulanmıştır. Bu aplikasyon koşulları Prof. Dr. Rıza ATAV danışmanlığında daha önce yapılmış lisans öğrenci projesi kapsamında elde edilen bulgulara göre belirlenmiştir (Karabulut, 2013).



Şekil 3.3. Denemelerde kullanılan katyonikleştirme maddesinin yapısı (Karabulut, 2013)

3.2.2. Halokromik Boyalarla Boyama

Halokromik boyaların kumaş üzerine aplikasyonu;

- Katyonikleştirme sonrası yün boyama prosesiyle çektirme yöntemine göre boyama,
- Katyonikleştirme sonrası pigment boyama prosesiyle çektirme yöntemine göre boyama,
- Emdirme yöntemine göre boyama olmak üzere 3 farklı şekilde planlanmıştır. Aşağıda her birine ilişkin yöntem ayrı ayrı açıklanmaktadır.

3.2.2.1. Halokromik boyalarla katyonikleştirme sonrası yün boyama prosesiyle çektirme yöntemine göre boyama

Bu gruptaki denemelerde, halokromik boyaların anyonik karakteri nedeniyle katyonikleştirilmiş pamuk elyafını yünü boyayan asit boyarmaddesi gibi boyayabilecekleri

yaklaşımıyla çalışmalar yapılmıştır. Boyamalar katyonikleştirme işlemi görmüş ve işlemsiz kumaşlarla 1:10 flotte oranında Şekil 3.4'te verilen Termal HT laboratuvar tipi boyama cihazında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.4. Denemelerde kullanılan Termal HT boyama cihazı

Halokromik boya olarak bromkresol moru (Merck), bromtimol mavisi (Merck) ve fenol kırmızısı (Merck) kullanılmıştır. Denemeler 3 farklı boya ile çeşitli konsantrasyon, süre ve sıcaklıklarda yapılmıştır. Denemelerdeki faktörler ve seviyeleri Çizelge 3.2'de verilmektedir.

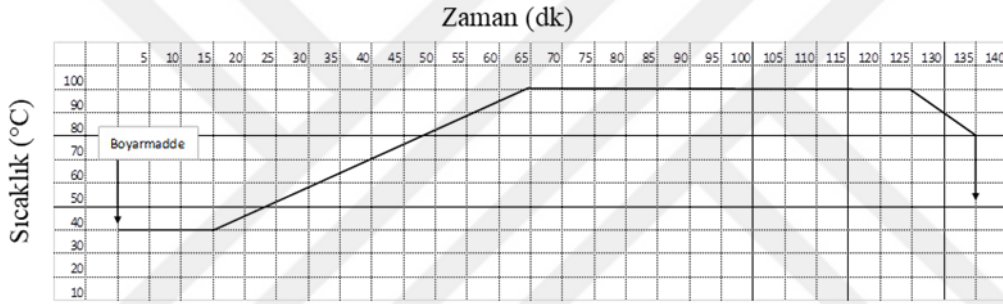
Çizelge 3.2. Katyonikleştirme sonrası yün boyama prosesiyle halokromik boyalarla boyama denemelerinde kullanılan faktörler ve seviyeleri

Katyonikleştirme	Boya (%)	Süre (dk.)	Sıcaklık (°C)
+	0,5	80	80
+	1	80	80
+	2	80	80
+	1	60	80
+	1	100	80
+	1	80	100
+	1	80	60
- (Referans)	1	80	80

Şekil 3.5'den görülebileceği üzere boyama işlemlerine 40 °C'ta başlanılmış 15 dk. boyama yapıldıktan sonra sıcaklık 1 °C/dk. ısıtma hızıyla 60, 80 ve 100 °C'a yükseltilmiştir. Bu sıcaklıklarda sırasıyla 45, 25 ve 5 dk. boyamaya devam edilerek toplam süre 80 dk. olacak şekilde boyama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Sürenin etkisini görmek için ayrıca 80 °C'a çıktıktan sonra 5 ve 45 dk. olacak şekilde boyamalar da yapılmıştır. Ardından flotteler

soğutulup boşaltılmış ve numuneler durulanıp kurutulmuştur. Numunelerin renk verimi değerleri spektrofotometre ile ölçülmüştür.

3 tekrarlı olarak elde edilen renk verimi değerleri üzerinden boyama sonucunu etkileyen faktörlerin her biri için varyans analizi yapılmıştır. İstatistiksel olarak hangi seviyeler arasında fark olduğunu görmek için ayrıca TUKEY analizi yapılmıştır. İstatistiksel analizler Minitab 15 programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Daha sonra optimal renk veriminin elde edildiği koşullarda her bir boyarmadde ile boyama işlemleri yapılmış ve elde edilen numunelere yıkama, sürtme, ter (asidik ve alkali) ve ışık haslığı testleri yapılmıştır. Elde edilen haslık değerlerini iyileştirmek amacıyla aynı zamanda boyalı kumaş numunelerine %2 fiksator (Tubicoat Fixierer Ex T (CHT)) ile 1:10 flote oranında 50 °C'ta 20 dk. süreyle ard işlem yapılarak haslık değerleri test edilmiştir.



Şekil 3.5. Katyonikleştirme sonrası yün boyama prosesine göre boyama grafiği

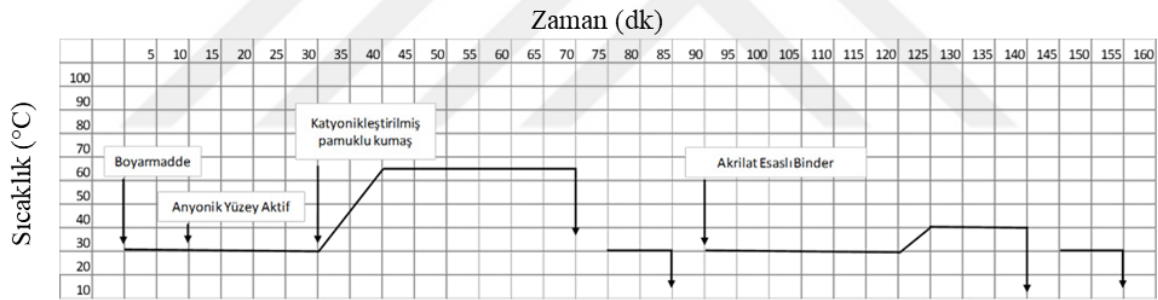
Denemelerde kullanılan halokromik boyaların pH ile renk değiştirme özelliklerini saptamak için pH 1 ile 14 arasındaki (0,01 g/L bromkresol moru, 0,02 g/L bromtimol mavisi ve 0,006 g/L fenol kırmızısı) çözeltileri hazırlanmış ve fotoğrafları çekilmiştir. Çözeltilerin pH ayarlamalarında hidroklorik asit (Merck) ve sodyum hidroksit (Merck) kullanılmıştır. Ayrıca bu boyaların pH 3-7-11'deki çözeltilerinin 400-700 nm arasında sıvı spektrofotometresi ile absorbans değerleri ölçülerek absorbans grafikleri oluşturulmuştur.

Daha sonra halokromik boyalarla boyanan kumaşların pH ile renk değişimlerini gözlemlemek amacıyla pH'ı 1'den 14'e kadar olan 14 farklı çözelti hazırlanmış ve kumaş numuneleri bu çözeltilerin içerisine daldırılıp 5 saniye sonra çıkartılarak fotoğrafları çekilmiştir. Çözeltilerin pH ayarlamalarında hidroklorik asit (Merck) ve sodyum hidroksit (Merck) kullanılmıştır.

3.2.2.2. Halokromik boyalarla katyonikleştirme sonrası pigment boyama prosesiyle çektirme yöntemine göre boyama

Bu deney grubunda parça boyamacıların pamuklu parça giysiler için kullandığı çektirme yöntemine göre pigment prosesi halokromik boyalara adapte edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla pamuklu kumaş önce katyonikleştirilip ardından anyonik yüzey aktifler ile misel oluşturmuş halokromik boya ile muamele edilmiş ve sonra akrilik esaslı binderle (Arristan SAC 10 FF (CHT)) işleme tabi tutulmuştur (Şekil 3.6). 1:10 flote oranında Termal HT tipi boyama cihazında yapılmıştır.

Boyama işlemleri bromkresol moru, bromtimol mavisi ve fenol kırmızısı ile %0,5 ve 1'lik konsantrasyonlarda yapılmıştır. Katyonikleştirilmiş pamuklu kumaş daha sonra yeni flottede 65 °C'ta 30 dk. işleme tabi tutulmuştur. İşlem sonrası numuneler soğuk suyla durulanmıştır. Son olarak akrilik esaslı binder ile 40 °C'ta 20 dk. muamele edilmiş ve ardından durulanıp kurutulmuştur.



Şekil 3.6. Katyonikleştirme sonrası pigment boyama prosesiyle boyama grafiği

Denemeler 3 farklı boya ile çeşitli boya konsantrasyonu, anyonik yüzeyaktif madde konsantrasyonu ve binder konsantrasyonlarında yapılmıştır. Denemelerdeki faktörler ve seviyeleri Çizelge 3.3'te verilmektedir.

Çizelge 3.3. Katyonikleştirme sonrası pigment boyama prosesiyle halokromik boyalarla boyama denemelerinde kullanılan faktörler ve seviyeleri

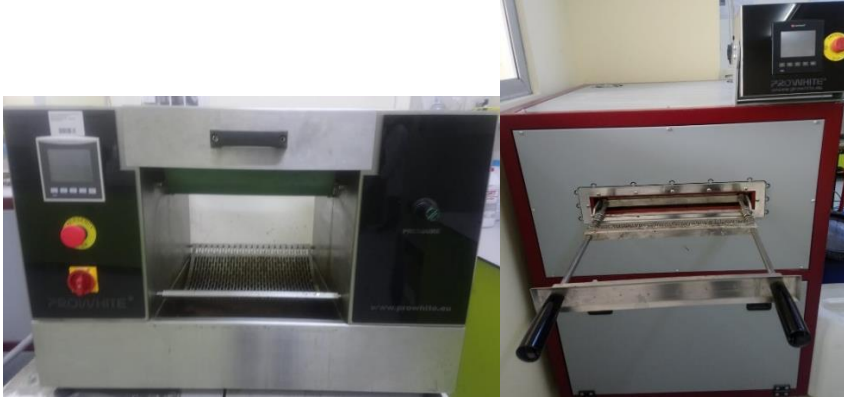
Katyonikleştirme	Boya (%)	Anyonik Yüzeyaktif Madde (g/L)	Akrilat Esaslı Binder (%)
+	0,5	2	4,5
+	0,5	2	6
+	0,5	4	4,5
+	0,5	4	6
+	1	2	4,5
+	1	2	6
+	1	4	4,5
+	1	4	6

Boyanmış numunelerin renk verimi değerleri spektrofotometre ile ölçülmüştür. Daha sonra optimal sonucun elde edildiği numunelere yıkama, sürtme, ter (asidik ve alkali) ve ışık haslığı testleri yapılmıştır. Elde edilen haslık değerlerini iyileştirmek amacıyla aynı zamanda boyalı kumaş numunelerine %2 Tubicoat Fixierer Ex T (CHT) isimli fiksator ile 1:10 flotte oranında 50 °C’ta 20 dk. süreyle ard işlem yapılarak haslık değerleri test edilmiştir.

Ardından halokromik boyalarla boyanan kumaşların pH ile renk değişimlerini gözlemlemek amacıyla pH’ı 1’den 14’e kadar olan 14 farklı çözelti hazırlanmış ve kumaş numuneleri bu çözeltilerin içerisine daldırılıp 5 saniye sonra çıkartılarak fotoğrafları çekilmiştir. Çözeltilerin pH ayarlamalarında hidroklorik asit (Merck) ve sodyum hidroksit (Merck) kullanılmıştır.

3.2.2.3. Halokromik boyalarla emdirme yöntemine göre boyama

Çektirme yöntemine göre boyamaların yanı sıra fulardda emdirme yöntemine göre de boyama işlemi yapılmıştır. Boyamalarda öncelikle hem katyonikleştirilmiş hem de işlem görmemiş pamuklu kumaşlarla boyamalar yapılmış, ancak katyonikleştirilmiş kumaşların halokromik boyalara karşı afinite göstermesi nedeniyle emdirme yöntemine göre boyamada düzgünlük sorunları görülmüştür. Bu nedenle, denemelere sadece işlemsiz pamuklu kumaşlarla devam edilmiştir. Fulardda yapılan aplikasyon sonrası kumaşlar oda sıcaklığında kurutulmuş ve ardından laboratuvar tipi gergefli kurutucuda (Miniram (Prowhite)) (Şekil 3.7.) 150 °C’ta 5 dk. süreyle fikse edilmiştir.



Şekil 3.7. Denemelerde kullanılan fulard (solda) ve gergefli kurutucu (sağda)

Boyamalarda 5 g/L'lik boya konsantrasyonları kullanılmıştır. Denemelerde binder ve çapraz bağlayıcı konsantrasyonları değiştirilmiştir. Denemelerdeki faktörler ve seviyeleri Çizelge 3.4'te verilmektedir.

Çizelge 3.4. Emdirme yöntemine göre boyama denemelerinde kullanılan faktörler ve seviyeleri

No	Binder (g/L)	Çapraz Bağ. (g/L)
1	10	5
2	20	5
3	40	5
4	10	10
5	20	10
6	40	10
7	-	5
8	20	-
9	-	-

Boylanmış numunelerin renk verimi değerleri spektrofotometre ile ölçülmüştür. Daha sonra optimal sonucun elde edildiği numunelere yıkama, sürtme, ter (asidik ve alkali) ve ışık haslığı testleri yapılmıştır. Ardından halokromik boyalarla boyanan kumaşların pH ile renk değişimlerini gözlemlemek amacıyla pH'ı 1'den 14'e kadar olan 14 farklı çözelti hazırlanmış ve kumaş numuneleri bu çözeltilerin içerisine daldırılıp 5 saniye sonra çıkartılarak fotoğrafları çekilmiştir. Çözeltilerin pH ayarlamalarında hidroklorik asit (Merck) ve sodyum hidroksit (Merck) kullanılmıştır.

Bu çalışmada halokromik boyaların hedef kullanım alanı çalışma ortamındaki asit veya alkali buharı konsantrasyonu insan sağlığını tehdit edecek hale geldiğinde haber veren akıllı giysiler (veya bir giysiye monte edilecek küçük bir etiket veya bir bileklik vb.) olduğundan kumaşların pH ile renk değiştirme özelliklerini test edebilmek için renk değişimi gözlem kabini tasarlanmıştır. Bu kabin içerisine kumaş yerleştirildikten sonra hidroklorik asit (Merck) ve amonyum hidroksit (Sigma-Aldrich) buharı verilerek renk değişimleri kamera ile gözlenmiştir.

Yapılan çalışmalarda en iyi sonucun fenol kırmızısı ile elde edildiği saptandıktan sonra, elde edilen görüntüler sayısallaştırılarak CIE L*a*b* değerleri elde edilmiştir. Bu değerlerden yola çıkılarak pH 7'deki renk referans alınıp ΔE değerleri de hesaplanmıştır.

Halokromik tekstillerde önemli olan bir konu da elde edilen renk değiştirme efektinin yorulma direncidir. Bu nedenle, renk değişim kabininde kumaşa bir asit buharı bir baz buharı olacak şekilde ardışık asit-alkali buharı döngüleri uygulanmış ve her döngüde kumaşın başlangıç hâline göre renk değiştirme kabiliyetinin bir ölçüsü olarak başlangıç rengi referans alınarak toplam renk farklılığı değerleri hesaplanmıştır.

Tez kapsamında aynı zamanda kişilerin terleyip terlemediğini haber veren giysi üretilmesi de hedeflenmiştir. Halokromik boya olarak fenol kırmızısı ile optimum şartlarda boyanmış kumaş asidik ve bazik ter çözeltilerine daldırılmış ve kumaşların renk değişimi incelenmiştir. Elde edilen görüntüler sayısallaştırılarak CIE L*a*b* değerleri elde edilmiştir. Bu değerlerden yola çıkılarak nötr hâldeki renk referans alınıp ΔE değerleri de hesaplanmıştır.

3.2.3. Fotokromik Boyalarla Boyama

Fotokromik boyaların kumaş üzerine aplikasyonu;

- Katyonikleştirme sonrası yün boyama prosesiyle çektirme yöntemine göre boyama,
- Katyonikleştirme sonrası pigment boyama prosesiyle çektirme yöntemine göre boyama,
- Emdirme yöntemine göre boyama olmak üzere 3 farklı şekilde planlanmıştır. Aşağıda her birine ilişkin yöntem ayrı ayrı açıklanmaktadır.

3.2.3.1. Fotokromik boyalarla katyonikleştirme sonrası yün boyama prosesiyle çektirme yöntemine göre boyama

Bu gruptaki deneylerde boyamalar katyonikleştirme işlemi görmüş ve işlemsiz kumaşlarla 1:10 flotte oranında Termal HT laboratuvar tipi boyama cihazında gerçekleştirilmiştir. Fotokromik boya olarak Photochromic Blue S (DAEHYUN) ve Photochromic Red S (DAEHYUN) kullanılmıştır. Denemeler 2 farklı boya ile çeşitli konsantrasyon, süre ve sıcaklıklarda yapılmıştır. Denemelerdeki faktörler ve seviyeleri Çizelge 3.5'te verilmektedir.

Çizelge 3.5. Katyonikleştirme sonrası yün boyama prosesiyle fotokromik boyalarla boyama denemelerinde kullanılan faktörler ve seviyeleri

Katyonikleştirme	Boya Kons. (%)	Süre (dk.)	Sıcaklık (°C)
+	1	80	80
+	2	80	80
+	4	80	80
+	2	60	80
+	2	100	80
+	2	80	100
+	2	80	60
- (Referans)	2	80	80

Şekil 3.5'ten görülebileceği üzere boyama işlemlerine 40 °C'da başlanılmış 15 dk. boyama yapıldıktan sonra sıcaklık 1 °C/dk. ısıtma hızıyla 60, 80 veya 100 °C'a yükseltilmiştir. Bu sıcaklıklarda sırasıyla 45, 25 ve 5 dk. boyamaya devam edilerek toplam süre 80 dk. olacak şekilde boyama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Sürenin etkisini görmek için ayrıca 80 °C'a çıktıktan sonra 5 ve 45 dk. olacak şekilde boyamalar da yapılmıştır. Ardından flotteler soğutulup boşaltılmış ve numuneler durulanıp kurutulmuştur. Yapılan denemelerde bütün numuneler düzensiz boyanmış olduğu için numunelere renk ölçümü ve haslık testleri yapılmamıştır.

3.2.3.2. Fotokromik boyalarla katyonikleştirme sonrası pigment boyama prosesiyle çektirme yöntemine göre boyama

Bu deney grubunda parça boyamacıların pamuklu parça giysiler için kullandığı çektirme yöntemine göre pigment prosesi fotokromik boyalara adapte edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla pamuklu kumaş önce katyonikleştirilip ardından anyonik yüzey aktifler ile misel oluşturmuş fotokromik boya ile muamele edilmiş ve sonra akrilik esaslı binderle (Arristan SAC 10 FF (CHT)) işleme tabi tutulmuştur. 1:10 flotte oranında Termal HT tipi boyama cihazında yapılmıştır. Boyama işlemleri Photochromic Blue S (DAEHYUN) ve Photochromic S (DAEHYUN) ile %2 ve 4'lük konsantrasyonlarda yapılmıştır. Katyonikleştirilmiş pamuklu kumaş daha sonra verilen yeni flottede 65 °C'ta 30 dk. işleme tabi tutulmuştur. İşlem sonrası numuneler soğuk suyla durulanmıştır. Son olarak akrilik esaslı binder ile 40 °C'ta 20 dk. muamele edilmiş ve ardından durulanıp kurutulmuştur.

Denemeler 2 farklı boya ile çeşitli boya konsantrasyonu, anyonik yüzeyaktif madde konsantrasyonu ve binder konsantrasyonlarında yapılmıştır. Denemelerdeki faktörler ve seviyeleri Çizelge 3.6'da verilmektedir.

Çizelge 3.6. Katyonikleştirme sonrası pigment boyama prosesiyle fotokromik boyalarla boyama denemelerinde kullanılan faktörler ve seviyeleri

Katyonikleştirme	Boya Kons. (%)	Anyonik Yüzeyaktif Madde (g/L)	Akrilat Esaslı Binder (%)
+	2	2	4,5
+	2	2	6
+	2	4	4,5
+	2	4	6
+	4	2	4,5
+	4	2	6
+	4	4	4,5
+	4	4	6

Yapılan denemelerde bütün numuneler düzensüz boyanmış olduğu için numunelere renk ölçümü ve haslık testleri yapılmamıştır.

3.2.3.3. Fotokromik boyalarla emdirme yöntemine göre boyama

Çektirme yöntemine göre boyamaların yanı sıra fulardda emdirme yöntemine göre de boyama işlemi yapılmıştır. Boyamalarda 25 g/L'lik boya konsantrasyonunda çalışılmıştır. Denemelerde binder ve çapraz bağlayıcı konsantrasyonları değiştirilmiştir. Denemelerdeki faktörler ve seviyeleri Çizelge 3.7'de verilmektedir.

Çizelge 3.7. Emdirme yöntemine göre boyama denemelerinde kullanılan faktörler ve seviyeleri

No	Binder (g/L)	Çapraz Bağ. (g/L)
1	10	5
2	20	5
3	40	5
4	10	10
5	20	10
6	40	10
7	-	5
8	20	-
9	-	-

Boyanmış numunelerin renk verimi değerleri spektrofotometre ile ölçülmüştür. Daha sonra seçilen numunelere yıkama, sürtme, ter (asidik ve alkali) ve ışık haslığı testleri yapılmıştır. Elde edilen haslık değerleri oldukça iyi olduğu için herhangi bir ard işlem yapılmamıştır.

Multikromik kumaş eldesi deneylerinde fotokromik boyalardan 25 g/L konsantrasyonda kullanıldığında kumaştaki halokromik ve termokromik boyaların baskın gelmesi nedeniyle UV ışık altındaki renk değişimleri zayıf kalmıştır. Bu nedenle, fotokromik boya konsantrasyonunun artırılması gerektiğine karar verilmiş ve sadece kırmızı renkli fotokromik boyayla optimum koşullarda 50-75-100 g/L'lik boyamalar da yapılmıştır.

Denemelerde kullanılan fotokromik boyaların 0,5 g/L'lik çözeltileri hazırlanmış ve bunların oda ışığındaki ve UV ışığındaki renkleri görsel olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca bu çözeltilerin 220-700 nm arasında absorbans değerleri ölçülerek absorbans grafikleri çıkartılmıştır.

Fotokromik boyaların farklı ışık kaynakları altında renk değiştirdiği görüldükten sonra optimum reğeteyle emdirme yöntemine göre boyanan kumaşların farklı ışık kaynakları altında renk değiştirme özelliklerini test edebilmek için renk değişimi gözlem kabini tasarlanmıştır. Bu kabin içerisine kumaş yerleştirildikten sonra UV ışık verilerek zamana bağlı renk değişimleri gözlenmiştir.

Fotokromik boyalar ile boyanan kumaşların renk değişimleri renk değişimi gözlem kabininde gözlemlendikten sonra, kırmızı boya ile 75 g/L konsantrasyonda yapılan boyama için elde edilen görüntüler sayısallaştırılarak CIE L*a*b* değerleri elde edilmiştir. Bu değerlerden yola çıkılarak başlangıçtaki renk referans alınıp ΔE değerleri de hesaplanmıştır.

Fotokromik tekstillerde önemli olan bir konu da elde edilen renk değiştirme efektinin yorulma direncidir. Bu nedenle, renk değişim kabininde kumaşa ortamda UV ışık olacak ve olmayacak Şekilde ardışık 20 döngü uygulanmış ve her döngüde kumaşın başlangıç haline göre renk değiştirme kabiliyetinin bir ölçüsü olarak başlangıç rengi referans alınarak toplam renk farklılığı değerleri hesaplanmıştır.

3.2.4. Bikromik Kumaş retimi

Halokromik ve fotokromik boyaların her ikisi için de emdirme yöntemine göre aplikasyonun iyi sonuç verdiği saptanmış olduğu için bunlarla ikili kombinasyon boyamalarda aplikasyonlar emdirme yöntemine göre daha önce bu boyalar için belirlenmiş olan optimum koşullarda gerçekleştirilmiştir. Kombinasyonlarda rengi çok baskın olan halokromik boyaların rengini dengelemek için bu boyaların konsantrasyonu fotokromik boyalara kıyasla oldukça düşük tutulmuştur. Bu nedenle, 1 g/L halokromik ve 75 g/L fotokromik boya kullanılmıştır. Fulardda 20 g/L binder varlığında yapılan aplikasyon sonrası kumaşlar kurutulmuş ve ardından laboratuvar tipi gergefli kurutucuda (Miniram (Prowhite)) 150 °C'ta 5 dk. süreyle fikse edilmiştir. Bikromik efekt eldesinde halokromik boya olarak fenol kırmızısı ve fotokromik boya olarak kırmızı renkli boya seçilmiştir. Kromik boyalarla ikili kombinasyon Şeklinde yapılan boyamaların yıkama, sürtme, ter ve ışık haslığı testleri gerçekleştirilmiştir.

“Halokromik Kırmızı+ Fotokromik Kırmızı” ile boyanmış kumaşın pH ile renk değişimini gözlemlemek amacıyla pH'ı 1'den 14'e kadar olan 14 farklı çözelti hazırlanmış ve kumaş numuneleri bu çözeltilerin içerisine daldırılıp 5 saniye sonra çıkartılarak fotoğrafları

çekilmiştir. Çözeltilerin pH ayarlamalarında hidroklorik asit (Merck) ve sodyum hidroksit (Merck) kullanılmıştır. Bu çalışmada hedef kullanım alanı çalışma ortamındaki asit veya baz buharı konsantrasyonu insan sağlığını tehdit edecek hale geldiğinde haber veren akıllı giysiler (veya bir giysiye monte edilecek küçük bir etiket veya bir bileklik vb.) olduğundan kumaşların pH ile renk değiştirme özelliklerini test edebilmek için renk değişimi gözlem kabini tasarlanmıştır. Bu kabin içerisine kumaş yerleştirildikten sonra hidroklorik asit (Merck) ve amonyum hidroksit (Sigma Aldrich) buharı verilerek renk değişimleri kamera ile gözlenmiştir. Bikromik kumaş için elde edilen görüntüler sayısallaştırılarak CIE L*a*b* değerleri elde edilmiştir. Bu değerlerden yola çıkılarak pH 7'deki renk referans alınıp ΔE değerleri de hesaplanmıştır.

Tez kapsamında aynı zamanda kişilerin terleyip terlemediğini haber veren giysi üretilmesi de hedeflenmiştir. Halokromik boyanın fotokromik boyayla ikili karışım şeklinde boyandığı numune asidik ve bazik ter çözeltilerine daldırılmış ve kumaşların renk değişimi incelenmiştir. Elde edilen görüntüler sayısallaştırılarak CIE L*a*b* değerleri elde edilmiştir. Bu değerlerden yola çıkılarak nötr hâldeki renk referans alınıp ΔE değerleri de hesaplanmıştır.

Bikromik kumaşın UV ışık ile renk değiştirme özelliğini incelemek için ise renk değişimi gözlem kabini içerisine kumaş yerleştirildikten sonra sonra UV ışık verilerek zamana bağlı renk değişimleri gözlenmiştir. Daha sonra, elde edilen görüntüler sayısallaştırılarak CIE L*a*b* değerleri elde edilmiştir. Bu değerlerden yola çıkılarak başlangıçtaki renk referans alınıp ΔE değerleri de hesaplanmıştır.

3.2.5. Renk Değişimi Gözlem Kabini Tasarlanması

Halokromik ve fotokromik boyalar ile boyanmış kumaşların renk değişimlerini gözlemleyebilmek için Şekil 3.8'de verilen "renk değişim gözlem kabini" tasarlanmıştır.



Şekil 3.8. Renk değişimlerinin tespitinde kullanılan renk değişimi gözlem kabini

Renk değişimi gözlem kabini tek bir yüzeyi şeffaf pleksi plakadan oluşan, diğer yüzeyleri ışık kabinlerinde kullanılan özel gri boyalar ile boyanmış dikdörtgen prizma bir kabindir. Kabinin içinde kumaşları asacak yer mevcuttur. Kumaşlara tam karşıdan bakacak şekilde kamera yerleştirilmiştir. Şekil 3.9’da verilen Canon marka EOS 200 model kamera kullanılmıştır.



Şekil 3.9. Renk değişimi gözlem kabininde yapılan analizlerde kullanılan kamera

Renk değişimi gözlem kabini 50 cm en, 100 cm boy, 42 cm yüksekliğe sahiptir. Renk değişimi gözlem kabini dahili bir UV lambaya sahiptir. Ayrıca hava giriş-çıkışları ve bu giriş-çıkışlara bağlı bir ısıtma odası ve kimyasal odası mevcuttur. Renk değişimi gözlem kabininde sıcaklık 50 °C’a kadar artırılabilen termokromik kumaşlar incelenebilmektedir.

Sıcaklık değeri 1000 Watt değere sahip serpantinli rezistansa bağlı ENDA marka PID sıcaklık kontrol cihazı ile ayarlanmaktadır. Aynı zamanda kimyasal odasına koyulacak baz veya asitler ile halokromik boyaların renk değişimi gözlenebilmektedir. Ek olarak dâhili Philips marka UV ışığı sayesinde fotokromik boyaların renk değişimi de saptanabilmektedir. Deneyle sırasında ortam sıcaklığını ölçmek için cihazın dâhili sıcaklık ölçüm göstergesi mevcuttur. Aynı zamanda kameranın kumaş ile birlikte görebileceği bir konumda sıcaklık ve nem ölçer ile ortam pH'ını tespit etmek için pH ölçüm kâğıdı da yerleştirilmiştir.

3.2.6. Yapılan Test ve Analizler

3.2.6.1. Renk verimi ve CIE L*a*b* değerlerinin tespiti

Boyama sonrası renk verimini tespit edebilmek amacıyla kumaş numunelerinin 400-700 nm'lik spektral bölgede ve maksimum absorpsiyon (minimum remisyon) dalga boyunda Miniscan EZ (Hunterlab) (Şekil 3.10) spektrofotometre (D 65/10°) kullanılarak %R (remisyon) ve K/S değerleri ölçülmüştür. Kubelka/Munk formülüne göre;

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

R: Maksimum absorpsiyon dalga boyundaki reflektans değeri

K: Absorpsiyon katsayısı

S: Yayılma 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)

L*, a*, b* değerlerinden referansa göre toplam renk farklılığı ise aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (3.2)$$

$\Delta L^* = L - L_0$; $\Delta a^* = a - a_0$; $\Delta b^* = b - b_0$. L_0 , a_0 ve b_0 standart değerleri referans kumaşın yani nötral durumdaki (pH 7) kumaşın değerleridir.



Şekil 3.10. Çalışmada kullanılan spektrofotometre

3.2.6.2. Renk değişimi gözlem kabiniinde görüntülenen kromik renk değişimi görüntülerinin sayısallaştırılması

Kumaşların fotoğraflanması için Şekil 3.9.'da verilen fotoğraf makinesi kullanılmıştır. Kabinin zemininden 40 cm yüksekte asılı vaziyette olan olan kumaşlar, asılı haldeki kumaşa 50 cm uzaklıktaki ve 35 cm yükseklikteki fotoğraf makinesi ile 1920 x 1080 piksel çözünürlükte videoya alınmıştır. pH'ın etkisi ile gerçekleşen renk değişimlerinin saptanmasında 1'den 14'e kadar olan değerlerde kumaşın her bir pH değerinde aldığı rengin tespit edilmesi ve farklı pH değerlerinde kumaşın aldığı rengin sayısallaştırılması için ilgili pH değerlerinde kumaşın görüntüleri videodan kesilmiştir. Işığın etkisi ile gerçekleşen renk değişiminin tespitinde ise 0 saniye ve 120 saniye arasında belirlenen seviyelerde, çekilen videodan fotoğraflar kesilmiştir. Videolardan elde edilen 1920 x 1080 piksel boyutundaki görüntülerden 183 x 100 piksel boyutlarında fotoğraflar kesilmiştir. Kesilen bu fotoğrafların 20 farklı yerinden (20, 40, 60, 80 piksel sıralarının ve 30, 60, 90, 120, 150 piksel sütunlarının kesiştiği piksellerden) RGB değeri ölçülmüş ve ortalama alınmıştır. RGB ve CIE L*a*b* değerlerini elde etmek için Adobe Photoshop CS4 kullanılmıştır. RGB değerleri; kırmızı, yeşil ve mavi renkleri, L* açıklık-koyuluk (0: ideal siyah, 100: ideal beyaz), a* kırmızılık (+) - yeşillik (-), b* sarılık (+) - mavilik (-) değerleridir. Renk değişimi gözlem kabiniinde elde edilen fotoğrafların RGB değerleri MATLAB yardımıyla CIE 1976 L*a*b* değerlerine dönüştürülmüştür. Tüm görüntülemeler 20 °C ± 2 sıcaklık ve %65 ± 5 bağıl nem içeren standart ortam şartlarında yapılmıştır.

3.2.6.3. UV/vis spektrofotometre ile çözeltilerde renk ölçümü

Denemelerde kullanılan kromik boya çözeltilerinin 220-700 nm'lik spektral bölgede UV 1800 (Shimadzu) spektrofotometre (Şekil 3.11) absorbans ölçümleri yapılmış ve dalga boyuna bağlı absorbans eğrileri çıkartılmıştır.



Şekil 3.11. Denemelerde kullanılan UV/vis spektrofotometresi

3.2.6.4. Yıkamaya karşı renk haslığı tayini

Boyanmış numunelerin yıkamaya haslığı tayini TS-7584'e (ISO-105 C06) göre yapılmıştır. Yıkama haslığı tayini için bir yüzüne multifiber dikilmiş olan numune, 60 °C'da 30 dakika süreyle 4 g/L'lik deterjan çözeltisiyle işleme tabi tutulmuştur.

3.2.6.5. 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 yağ olarak yapılmış ve gri skala ile değerlendirilmiştir.

3.2.6.6. Işığa karşı renk haslığı tayini

Boyalı numunelerin ışığa karşı renk haslığı tayini TS-1008'e (ISO 105 BO2) göre yapılmıştır.

3.2.6.7. Ter haslığı tayini

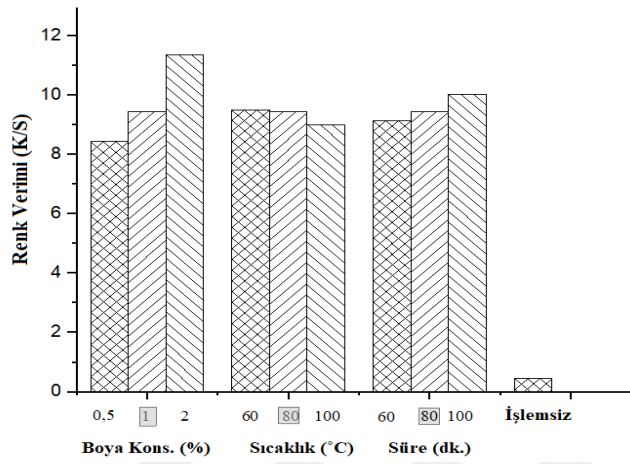
Numunelerin ter haslığı tayini TS EN- ISO 105-D01'e göre asidik ve bazik olarak yapılmış ve gri skala ile (1-5 arası) değerlendirilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

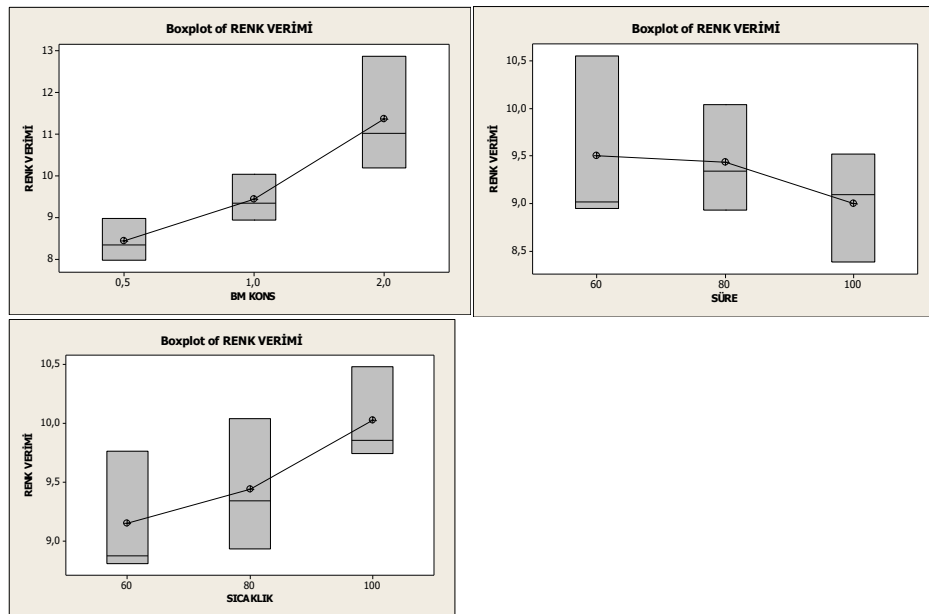
4.1. Halokromik Boyalarla Boyamaya İlişkin Sonuçlar

4.1.1. Halokromik Boyalarla Katyonikleştirme Sonrası Yün Boyama Prosesiyle Çektirme Yöntemine Göre Boyamaya İlişkin Sonuçlar

Bromkresol moru için yapılan optimizasyon çalışmalarından elde edilen renk verimi sonuçları Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de, varyans analizi sonuçları ise Çizelge 4.1’de verilmektedir.



Şekil 4.1. Bromkresol moru için boyama koşullarının optimizasyonuna ilişkin renk verimi değerleri



Şekil 4.2. Bromkresol moru için boyama koşullarının optimizasyonuna ilişkin boxplot grafikleri

Çizelge 4.1. Bromkresol moru için boyama koşullarının optimizasyonuna ilişkin varyans analizi sonuçları

Source	DF	SS	MS	F	P
Boya (%)	2	13,259	6,630	8,17	0,019
Süre (dk.)	2	0,447	0,223	0,46	0,651
Sıcaklık(°C)	2	1,208	0,604	2,40	0,171

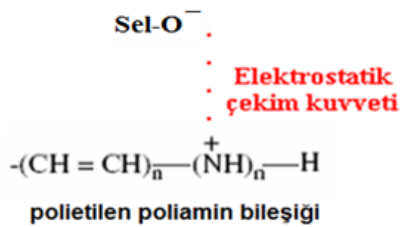
Şekil 4.1 incelendiğinde ilk dikkati çeken husus bromkresol moru ile işlemsiz pamuklu kumaşı boyamanın mümkün olmadığı, pamuklu kumaşın sadece kirlendiği görülmektedir. Oysa katyonikleştirme işlemi görmüş olan kumaşların tümü bromkresol moru ile doygun bir renk verebilecek şekilde boyanmıştır. Bunun nedeni bromkresol morunun Şekil 3.1’de verilen yapısı incelendiğinde anlaşılabilir. Şekil 3.1’den görülebileceği üzere bromkresol moru hidroksil (-OH) grupları içermektedir. Bu boya sulu ortamda;



şeklinde iyonlaşacak olup anyonik karakter gösterecektir. Ağartılmış pamuk lifleri de sulu ortamda;



Şeklinde iyonlaşarak anyonik karakter gösterdiğinden bromkresol moruna karşı affinite göstermesi mümkün değildir. Ancak boyama öncesi pamuk liflerine katyonikleştirme işlemi uygulandığında, pamuk lifinin yapısına Şekil 4.3’te gösterilen şekilde poliamin bileşiği katılmakta ve liflere çok sayıda katyonik gruplar eklenmiş olduğundan lifler katyonik karakter kazanmaktadır. Bu şekilde işlem gören pamuk lifi de anyonik bromkresol moru ile boyandığında boya moleküllerini iyonik çekim kuvvetleri ile yapısına bağlayabilmektedir.



Şekil 4.3. Denemelerde kullanılmış olan katyonikleştirme maddesinin kimyasal yapısı ve pamuk liflerine olası bağlanma mekanizmaları (Karabulut, 2013)

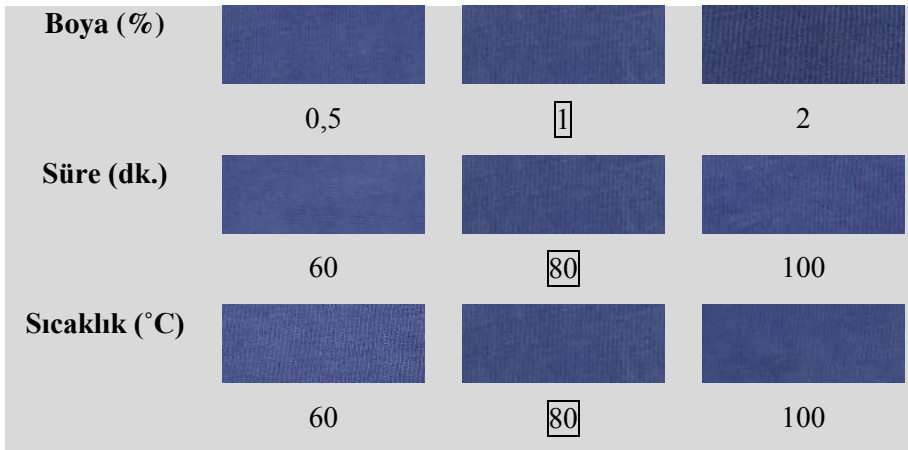
Çizelge 4.1 incelendiğinde bromkresol moru ile boyama üzerine sadece boya konsantrasyonunun etkisinin istatistiksel olarak önemli ($p < 0,05$) olduğu, süre ve sıcaklık parametrelerinin ise önemsiz olduğu görülmektedir. Boya konsantrasyonunun etkisi için Tukey testi de yapılmış olup sonuçlar Çizelge 4.2’de verilmektedir.

Çizelge 4.2. Bromkresol moru için boya konsantrasyonunun etkisine ilişkin Tukey test sonuçları (Standart sapma bazında ortalamalar için %95 güven aralığı)

Level	N	Mean	SD	Individual 95% CI's for Mean Based on Pooled Standard Deviation	
0.5	3	8,436	0,506	(-----*-----)	
1	3	9,435	0,558	(-----*-----)	
2	3	11,361	1,367	(-----*-----)	
Pooled SD = 0,901				7,5	9,0
				10,5	12,0

Çizelge 4.2 incelendiğinde %0,5 ile %1’lik veya %1 ile %2’lik boya konsantrasyonlarında elde edilen renk verimleri arasında önemli bir farklılık bulunmadığı, ancak %0,5 ile %2’lik boya konsantrasyonları arasındaki farkın önemli olduğu, en iyi renk veriminin en yüksek boya konsantrasyonu olan %2’de elde edildiği görülmektedir. Sözü edilen tüm bulgular Çizelge 4.3’te verilen kumaş numunelerinin fotoğraflarından da açıkça görülebilmektedir.

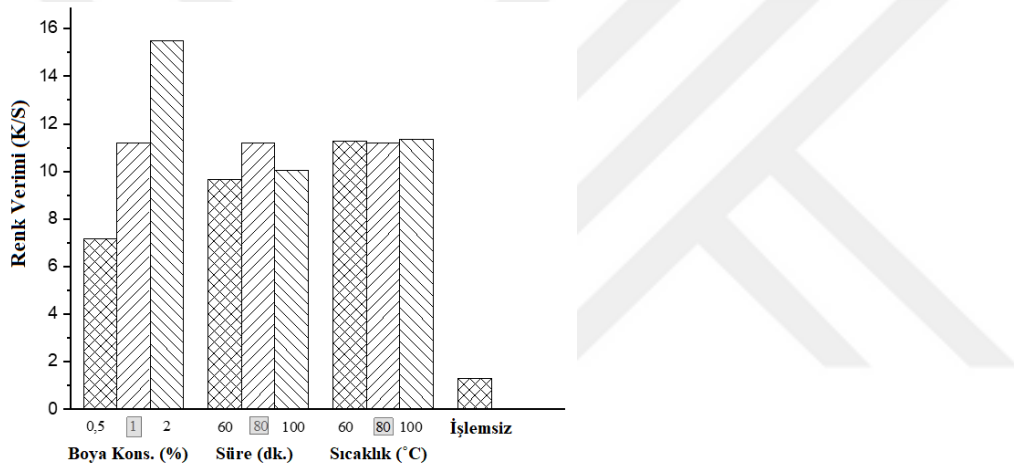
Çizelge 4.3. Bromkresol moru ile boyama koşullarının optimizasyonuna ilişkin kumaş numunelerinin fotoğrafları



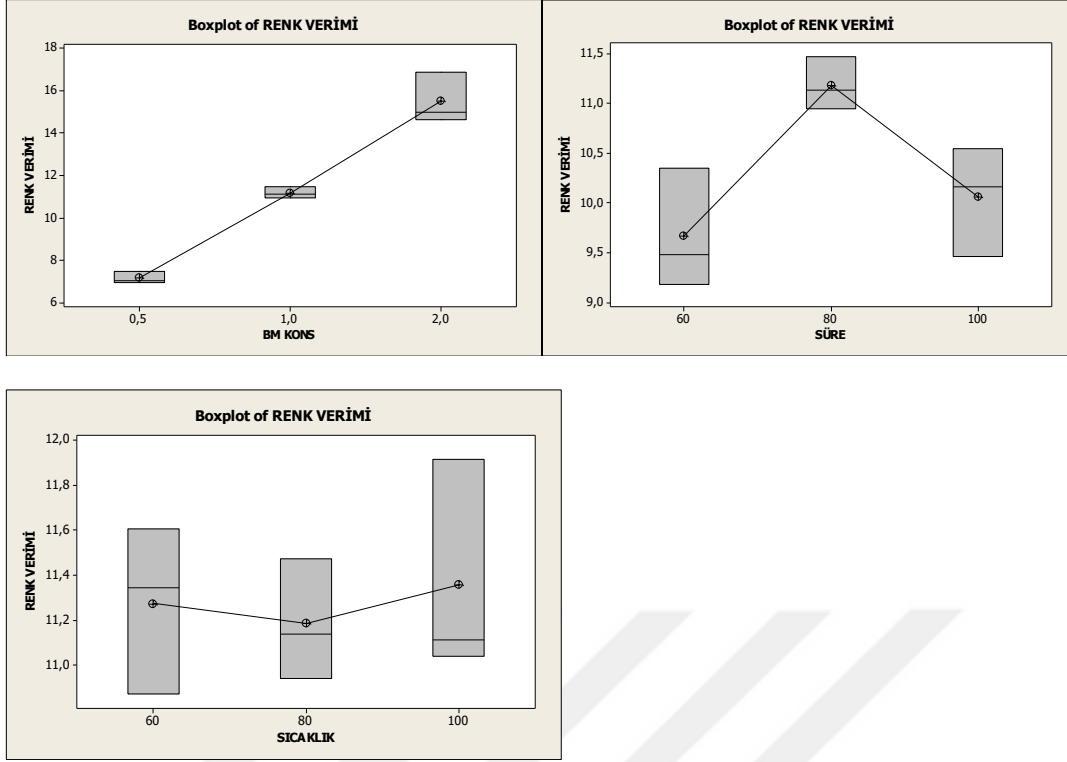
Çizelge 4.3’te verilen boyalı kumaş numunelerine ait fotoğraflar incelendiğinde boyama koyuluğu arttıkça rengin koyulaştığı, özellikle %2’lik boyamanın belirgin olarak daha koyu olduğu görülmektedir. Ancak bu projede hedeflenen pH ile renk değiştirme yoluyla

ortamda tehlikeli bir kimyasal buharı olup olmadığını (asit buharları vb.) haber verebilen bir kumaş geliştirilmesi olduğundan kumaşın doygun bir renge boyanmış olması yeterli olacaktır. Daha fazla boya kullanıp hem maliyeti artırmak hem de haslık problemlerine yol açmamak için aslında %0,5'lik boya konsantrasyonunun da istenilen sonuca ulaşmaya yeterli olduğu söylenebilir. Bunun ötesinde sıcaklık ve sürenin de etkisi önemsiz çıktığından düşük sıcaklık ve sürede çalışmak daha ekonomik olacaktır. Bütün bu değerlendirmelerin sonucunda bromkresol moru ile boyamanın optimum koşulları %0,5 boya konsantrasyonu, 60 °C, 60 dk. olarak belirlenmiştir.

Bromtimol mavisi için yapılan optimizasyon çalışmalarından elde edilen renk verimi sonuçları Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'de, varyans analizi sonuçları ise Çizelge 4.4'te verilmektedir.



Şekil 4.4. Bromtimol mavisi için boyama koşullarının optimizasyonuna ilişkin renk verimi değerleri



Şekil 4.5. Bromtimol mavisi için boyama koşullarının optimizasyonuna ilişkin boxplot grafikleri

Çizelge 4.4. Bromtimol mavisi için boyama koşullarının optimizasyonuna ilişkin varyans analizi sonuçları

Source	DF	SS	MS	F	P
Boya (%)	2	104,875	52,438	98,41	0,000
Süre (dk.)	2	3,717	1,859	7,50	0,023
Sıcaklık(°C)	2	0,044	0,022	0,15	0,867








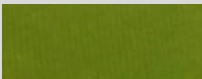

Şekil 4.4 incelendiğinde ilk dikkati çeken husus bromtimol mavisi ile işlemsiz pamuklu kumaşı boyamanın mümkün olmadığı, pamuklu kumaşın sadece kirlendiği görülmektedir. Oysa katyonikleştirme işlemi görmüş olan kumaşların tümü bromtimol mavisi ile doygun bir renk verebilecek şekilde boyanmıştır. Bunun nedeni, bromkresol morunda açıklandığı şekildedir. Çizelge 4.4 incelendiğinde bromtimol mavisi ile boyama üzerine boya konsantrasyonu ve boyama süresinin etkisinin istatistiksel olarak önemli ($p < 0,05$) olduğu, sıcaklık parametresinin ise önemsiz olduğu görülmektedir. Boya konsantrasyonunun etkisi için Tukey testi de yapılmış olup sonuçlar Çizelge 4.5'te verilmektedir.

Çizelge 4.5. Bromtimol mavisi boya konsantrasyonunun etkisine ilişkin Tukey test sonuçları (Standart sapma bazında ortalamalar için %95 güven aralığı)

Level	N	Mean	SD	Individual 95% CI's for Mean Based on Pooled Standard Deviation			
0,5	3	7,147	0,296	+-----+	+-----+		
1,0	3	11,184	0,269	(---*---)			
2,0	3	15,507	1,199		(---*---)		
Pooled SD = 0,730				6,0	9,0	12,0	15,0

Çizelge 4.5 incelendiğinde her üç boya konsantrasyonu arasındaki renk verimi farklarının da önemli olduğu ve en iyi renk veriminin en yüksek boya konsantrasyonu olan %2'de elde edildiği görülmektedir. Sözü edilen tüm bulgular Çizelge 4.6'da verilen kumaş numunelerinin fotoğraflarından da açıkça görülebilmektedir.

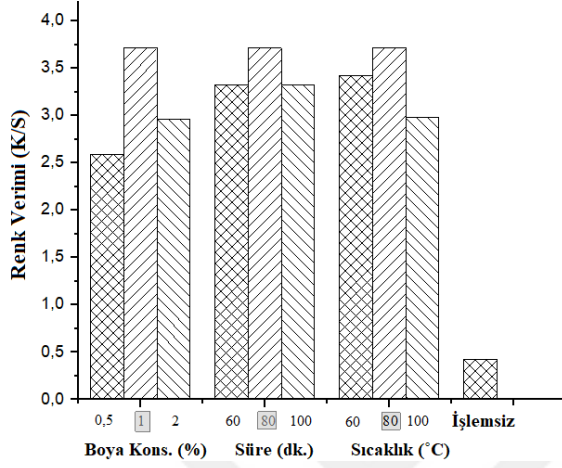
Çizelge 4.6. Bromtimol mavisi ile boyama koşullarının optimizasyonuna ilişkin kumaş numunelerinin fotoğrafları

Boya (%)			
	0,5	1	2
Süre (dk.)			
	60	80	100
Sıcaklık (°C)			
	60	80	100

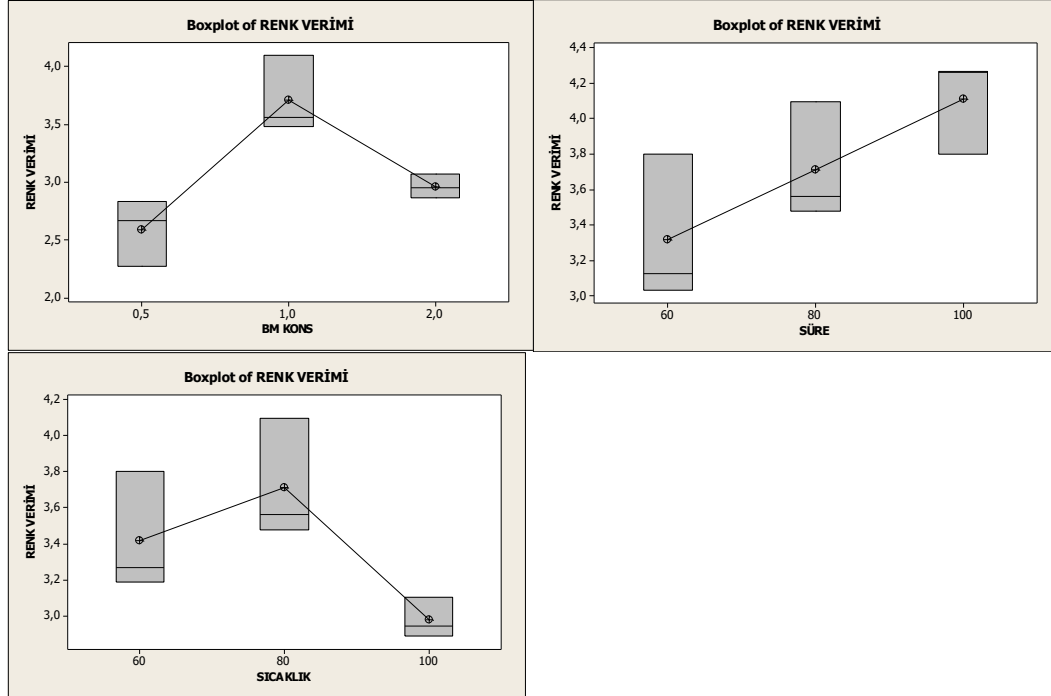
Çizelge 4.6'da verilen boyalı kumaş numunelerine ait fotoğraflar incelendiğinde boyama koyuluğu arttıkça rengin koyulaştığı görülmektedir. Yalnız koyuluk %2'liğe çıktığında rengin cinsinde de değişiklik meydana gelmiş ve sarımsı bir yeşil oluşmuştur. Bu projede hedeflenen pH ile renk değiştirme yoluyla ortamda tehlikeli bir kimyasal buharı olup olmadığını (asit buharları vb.) veya kişinin terleyip terlemediğini haber verebilen bir kumaş geliştirilmesi olduğundan kumaşın doygun bir renge boyanmış olması yeterli olacaktır. Daha fazla boya kullanıp hem maliyeti artırmak hem de haslık problemlerine yol açmamak için aslında %0,5'lik boya konsantrasyonunun da istenilen sonuca ulaşmaya yeterli olduğu söylenebilir. Süre olarak ise 80 dk. en iyi sonucu sağlamıştır. Bunun ötesinde sıcaklığın etkisi önemsiz çıktığından düşük sıcaklıkta çalışmak daha ekonomik olacaktır. Bütün bu

değerlendirmelerin sonucunda bromtimol mavisi ile boyamanın optimum koşulları %0,5 boya konsantrasyonu, 60 °C, 80 dk. olarak belirlenmiştir.

Fenol kırmızısı için yapılan optimizasyon çalışmalarından elde edilen renk verimi sonuçları Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de, varyans analizi sonuçları ise Çizelge 4.7’de verilmektedir.



Şekil 4.6. Fenol kırmızısı için boyama koşullarının optimizasyonuna ilişkin renk verimi değerleri



Şekil 4.7. Fenol kırmızısı için boyama koşullarının optimizasyonuna ilişkin boxplot grafikleri

Çizelge 4.7. Fenol kırmızısı için boyama koşullarının optimizasyonuna ilişkin varyans analizi sonuçları

Source	DF	SS	MS	F	P
Boya (%)	2	1,9588	0,9794	14,32	0,005
Süre (dk.)	2	0,939	0,469	3,90	0,082
Sıcaklık(°C)	2	0,8226	0,4113	5,22	0,049

Şekil 4.6 incelendiğinde ilk dikkati çeken husus fenol kırmızısı ile işlemsiz pamuklu kumaşı boyamanın mümkün olmadığı, pamuklu kumaşın sadece kirlendiği görülmektedir. Oysa katyonikleştirme işlemi görmüş olan kumaşların tümü fenol kırmızısı ile doygun bir renk verebilecek şekilde boyanmıştır. Bunun nedeni, bromkresol morunda açıklandığı şekildedir.

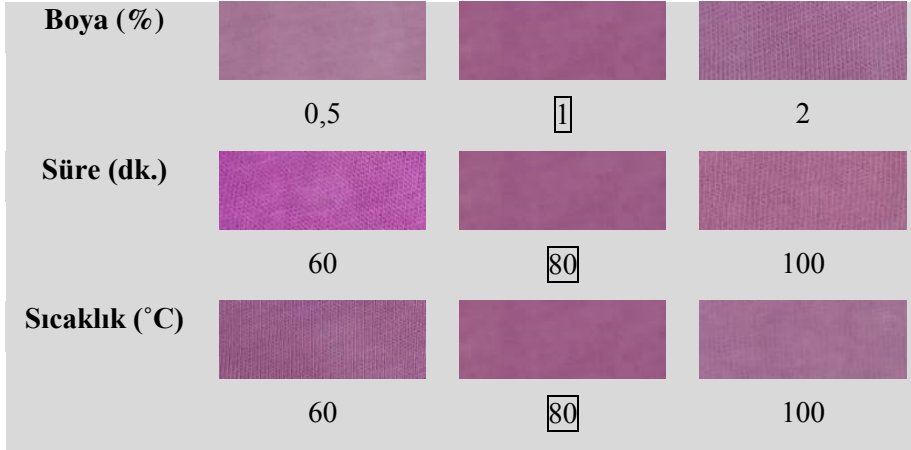
Çizelge 4.7 incelendiğinde fenol kırmızısı ile boyama üzerine sadece boya konsantrasyonunun etkisinin istatistiksel olarak önemli ($p < 0,05$) olduğu, süre ve sıcaklık parametrelerinin ise önemsiz olduğu görülmektedir. Boya konsantrasyonunun etkisi için Tukey testi de yapılmış olup sonuçlar Çizelge 4.8’de verilmektedir.

Çizelge 4.8. Fenol kırmızısı için boya konsantrasyonunun etkisine ilişkin Tukey test sonuçları (Standart sapma bazında ortalamalar için %95 güven aralığı)

Level	N	Mean	SD	Individual 95% CI's for Mean Based on Pooled Standard Deviation	
0,5	3	2,5897	0,2869	(-----*-----)	
1	3	3,7113	0,3356		(-----*-----)
2	3	2,9613	0,1013	(-----*-----)	
Pooled SD = 0,2616				2,50	3,00

Çizelge 4.8 incelendiğinde her üç boya konsantrasyonu arasındaki renk verimi farklarının da önemli olduğu ve en iyi renk veriminin en yüksek boya konsantrasyonu olan %2’de elde edildiği görülmektedir. Sözü edilen tüm bulgular Çizelge 4.9’da verilen kumaş numunelerinin fotoğraflarından da açıkça görülebilmektedir.

Çizelge 4.9. Fenol kırmızısı ile boyama koşullarının optimizasyonuna ilişkin kumaş numunelerinin fotoğrafları



Çizelge 4.9’da verilen boyalı kumaş numunelerine ait fotoğraflar incelendiğinde boyama koyuluğu arttıkça rengin koyulaştığı görülmektedir. Ancak bu projede hedeflenen pH ile renk değiştirme yoluyla ortamda tehlikeli bir kimyasal buharı olup olmadığını (asit buharları vb.) veya kişinin terleyip terlemediğini haber verebilen bir kumaş geliştirilmesi olduğundan kumaşın doygun bir renge boyanmış olması yeterli olacaktır. Daha fazla boya kullanıp hem maliyeti artırmak hem de haslık problemlerine yol açmamak için aslında %0,5’lik boya konsantrasyonunun da istenilen sonuca ulaşmaya yeterli olduğu söylenebilir. Süre ve sıcaklığın etkisi önemsiz çıktığından düşük süre ve sıcaklıkta çalışmak daha ekonomik olacaktır. Bütün bu değerlendirmelerin sonucunda fenol kırmızısı ile boyamanın optimum koşulları %0,5 boya konsantrasyonu, 60 °C, 60 dk. olarak belirlenmiştir.

Yapılan denemeler sonucunda her bir halokromik boyarmadde için optimum aplikasyon koşulları belirlenmiş ve bu koşullarda tekrar boyamalar yapılmıştır. Halokromik boyalarla optimum koşullarda boyanmış kumaş numunelerinin fotoğrafları ile elde edilen renk verimi (K/S) değerleri Çizelge 4.10’da verilmektedir.

Çizelge 4.10. Halokromik boyarmaddelerle optimum koşullarda boyanmış kumaş numunelerinin fotoğrafları ve elde edilen renk verimi (K/S) değerleri

Boya	Sıcaklık (°C)	Süre (dk.)	Boya (%)	Numune	K/S
Bromkresol moru	60	60	0,5		10,50
Bromtimol mavisi	60	80	0,5		6,80
Fenol kırmızısı	60	60	0,5		2,80

Çizelge 4.10 incelendiğinde katyonikleştirme işlemi görmüş olan pamuklu kumaşların her üç halokromik boya ile de verimli bir şekilde boyanabildiği görülmektedir. Boyanmış numunelere ait yıkama, sürtme ve ışık haslığı test sonuçları Çizelge 4.11, asidik ve alkali ter haslığı sonuçları ise Çizelge 4.12’de verilmektedir.

Çizelge 4.11. Optimum koşullarda halokromik boyalarla yapılan boyama işlemlerine ait yıkama, sürtme ve ışık haslığı değerleri

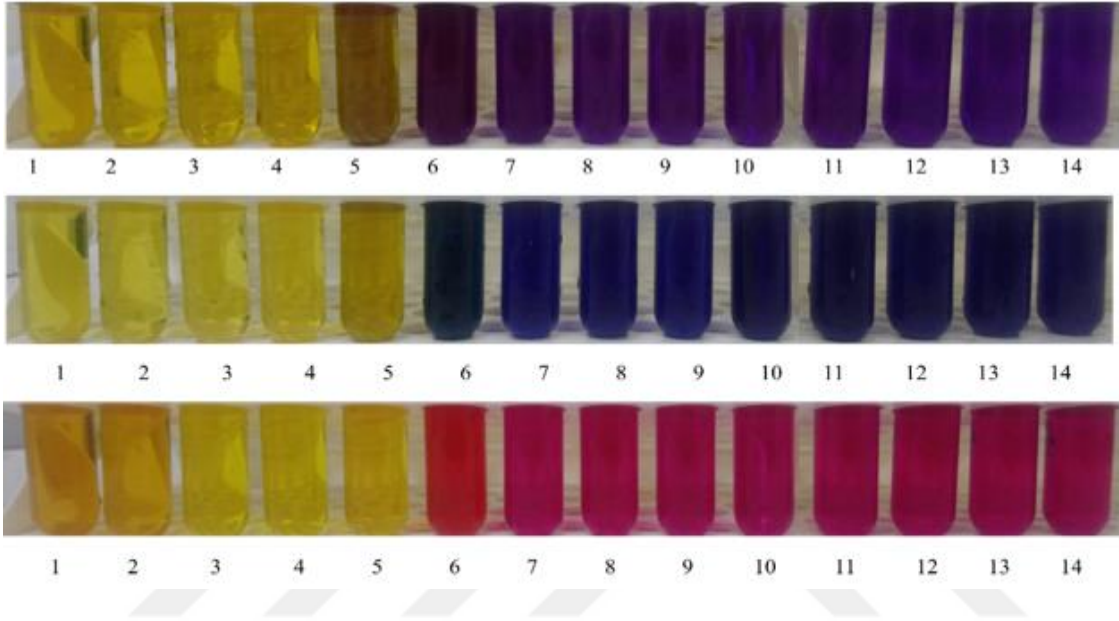
Kumaş Adı	Fiksator	Yıkama Haslığı						Sürtme Haslığı		Işık Haslığı
		WO	PAC	PES	PA	CO	CA	Kuru	Yaş	
Bromkresol moru	-	5	5	5	5	5	5	4	2	2
	+	5	5	5	5	5	5	4	2-3	2
Bromtimol mavisi	-	5	5	5	5	5	5	3-4	2-3	1-2
	+	5	5	5	5	5	5	3-4	3	1-2
Fenol kırmızısı	-	5	5	5	5	5	5	4-5	3-4	1
	+	5	5	5	5	5	5	4-5	4	1

Çizelge 4.12. Optimum koşullarda halokromik boyalarla yapılan boyama işlemlerine ait asidik ve alkali ter haslığı değerleri

Boyama	Fiksator	Asidik Ter Haslığı						Alkali Ter Haslığı					
		WO	PAC	PES	PA	CO	CA	WO	PAC	PES	PA	CO	CA
Bromkresol moru	-	2	2-3	2-3	1	2-3	3	2	2-3	2-3	1	3	2-3
	+	2	3	3	2-3	3-4	3	4	3	2-3	2-3	3-4	3
Bromtimol mavisi	-	3	3-4	3	2	3-4	3	3	4	3-4	2-3	3-4	3-4
	+	3-4	4	3-4	2-3	3-4	3-4	4	4	3-4	3-4	3-4	3-4
Fenol kırmızısı	-	4-5	4-5	4-5	4	4	4	4-5	4-5	4-5	3-4	4	4
	+	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 4.11 incelendiğinde genel olarak yıkama ve kuru sürtme haslıklarının çok iyi olduğu, ancak fenol kırmızısı dışındaki boyaların yaş sürtme haslıklarının oldukça düşük olduğu ve fiksatorle ard işlem yapılmasının sadece yarım puanlık bir iyileşme sağlayabildiği görülmektedir. Yalnız bütün numunelerin ışık haslıkları çok düşüktür. Fakat proje kapsamında çalışma ortamı insan sağlığı için risk oluşturduğunda haber veren akıllı giysi (veya bir giysiye monte edilecek küçük bir etiket veya bir bileklik vb) üretimi olduğundan, yani giysiler gün ışığında kullanılmayacağından ışık haslığının kritik önemi olmadığı söylenebilir.

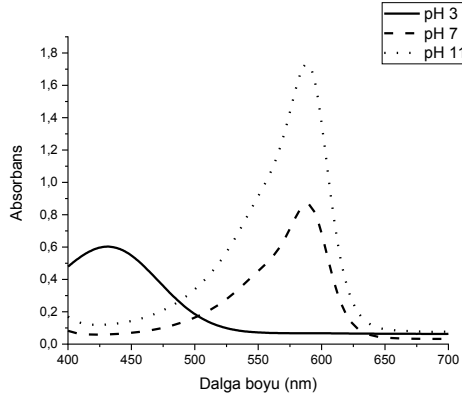
Halokromik boya ların tek başına çözelti halinde gösterdikleri yüksek pH hassasiyeti, kumaş üzerine aplike edildikten sonra kaybolabilmekte, başka bir deyişle halokromik boya larla boyanmış kumaşlarda pH ile renk de ğiştirme çok belirgin olarak gözlenemeyebilmektedir. Bu nedenle, her üç halokromik boya nın da hem çözelti halinde hem de kumaş üzerine aplike edildikten sonra pH ile renk de ğiştirme özellikleri incelenmiştir. Halokromik boya çözeltilerinin pH ile renk de ğiştirme özellikleri Şekil 4.8’de verilmektedir.



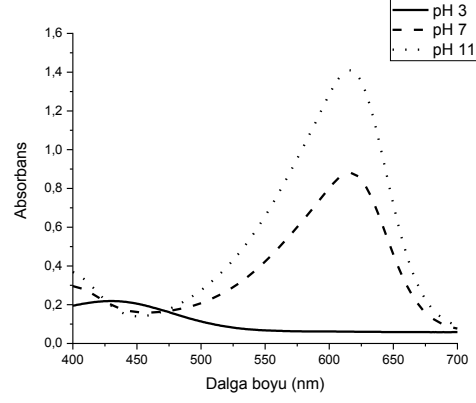
Şekil 4.8. Halokromik boya ların çözeltilerinin pH ile renk de ğişimi (Yukarıdan aşağıya sırasıyla: 0,01 g/L bromkresol moru, 0,02 g/L bromtimol mavisi ve 0,006 g/L fenol kırmızısı)

Şekil 4.8 incelendiğinde bromkresol moru çözelti halindeyken pH 1-5 arasında sarı renk verirken rengin pH 6’dan itibaren mora dönüştüğü görülmektedir. Bromtimol mavisine bakıldığında çözelti halindeyken pH 1-5 arasında sarı renk verirken rengin pH 6’da yeşile, pH 7 ve üstünde ise laciverte dönüştüğü görülmektedir. Fenol kırmızısı çözelti halindeyken pH 1-5 arasında sarı renk verirken, pH 6 ve üstünde kırmızıya dönüşmüştür.

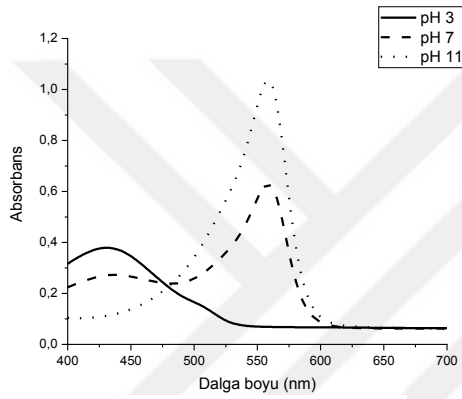
Halokromik boyarmaddelerin pH ile renk de ğişimi görsel olarak incelendikten sonra çözeltiler asidik (pH 3), nötr (pH 7) ve bazik (pH 11) olmak üzere 3 farklı pH bölgesine ayarlanmış ve spektrofotometre ile absorbans ölçümleri yapılmıştır. Şekil 4.9’da halokromik boyarmaddelerin farklı pH’lardaki çözeltilerine ait absorbans grafikleri verilmektedir.



Bromkresol Moru



Bromtimol Mavisı



Fenol Kırmızısı

Şekil 4.9. Halokromik boyarmaddelerin farklı farklı pH'lardaki çözeltilerine ait absorbans grafikleri

Bromkresol moruna ait absorbans grafikleri incelendiğinde maksimum absorpsiyon dalga boyunun pH 3'te 430 nm olduğu yani rengin sarı olduğu görülmektedir. pH 7 ve pH 11'de ise maksimum absorpsiyon dalga boyunun 585 nm bölgesinde olduğu, bu nedenle rengin kırmızı-mavi (mor) olduğu anlaşılmaktadır. Bromtimol mavisine ait absorbans grafikleri incelendiğinde ise maksimum absorpsiyon dalga boyunun pH 3'de 430 nm olduğu bu nedenle rengin sarı olduğu görülmektedir. pH 7 ve pH 11'de ise maksimum absorpsiyon dalga boyunun 615 nm olduğu yani rengin mavi olduğu dikkati çekmektedir. Fenol kırmızısına ait absorbans grafikleri incelendiğinde maksimum absorpsiyon dalga boyunun pH 3'de 430 nm olduğu, yani rengin sarı-turuncu olduğu görülmektedir. pH 7 ve pH 11'de ise maksimum absorpsiyon dalga boyunun 560 nm olduğu, yani rengin kırmızı olduğu dikkati çekmektedir. Tüm bu sonuçlar her üç halokromik boya için yapılan görsel değerlendirmeler ile paraleldir.

Halokromik boyalarla çektirme yöntemine göre boyanmış pamuklu kumaşların pH ile renk değişimi Çizelge 4.13'te verilmektedir.

Çizelge 4.13. Çektirme yöntemine göre halokromik boyalarla boyanmış pamuklu kumaşların pH ile renk değişimi





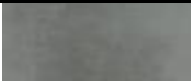

pH	Bromkresol Moru		Bromtimol Mavisi		Fenol Kırmızısı	
	Fiks. yok	Fiks. var	Fiks. yok	Fiks. var	Fiks. yok	Fiks. var
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						

Çizelge 4.13 incelendiğinde genel olarak Şekil 4.8'de çözeltili halinde görölen keskin renk geçişlerinin boyanmış kumaş üzerinde bu kadar keskin olmadığı söylenebilir. Bromkresol moruna bakıldığında, rengin pH 1-2'de sarı-yeşil, pH 3-11 arasında mor, 12-14 arasında lacivert olduğu görölmektedir. Bromtimol mavisi ise kumaş üzerinde pH 1-2'de sarı-turuncu, pH 3-11 arasında yeşil, pH 12-14 arasında mavi renk vermiştir. Fenol kırmızısı ile kumaş üzerinde pH 4-14 arasında pembe renk, pH 4'ün altında sarı renk elde edilmiştir. Öte yandan, fiksator ile yapılan ard işlemlerin pH ile renk değişimini olumsuz etkilemediği görölmüştür. Sadece fenol kırmızısında fiksatorlü ard işlemin rengi biraz açtığı söylenebilir. Bunun sebebi ise fiksatorle yapılan ard işlem sırasında bir miktar boyanın akmış olmasıdır.

4.1.2. Halokromik Boyalarla Katyonikleştirme Sonrası Pigment Boyama Prosesiyle Çektirme Yöntemine Göre Boyamaya İlişkin Sonuçlar

Bromkresol moru için yapılan optimizasyon çalışmalarından elde edilen renk verimi sonuçları ve boyanmış numunelerin fotoğrafları Çizelge 4.14'te verilmektedir.

Çizelge 4.14. Pigment boyama prosesine göre yapılan denemelerde bromkresol moru ile elde edilen renk verimi (K/S) değerleri ve numunelerin fotoğrafları




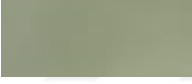




No	Numune	Boya (%)	Anyonik Yüzeyaktif mad. (g/L)	Binder (%)	K/S
1		0,5	2	4,5	0,22
2		0,5	2	6	düzensüz
3		0,5	4	4,5	0,10
4		0,5	4	6	0,12
5		1	2	4,5	düzensüz
6		1	2	6	3,31
7		1	4	4,5	düzensüz
8		1	4	6	düzensüz

Çizelge 4.14 incelendiğinde bromkresol moru ile yapılan %0,5'lik boyamalarda renklerin çok açık olduğu, yani boya konsantrasyonunun yetersiz geldiği anlaşılmaktadır. %1'lik boyamalarda ise anyonik yüzeyaktif madde konsantrasyonunun artırılmasının düzensüz boyamaya yol açtığı ve aynı zamanda renk verimini düşürdüğü ve rengi sarı yöne kaydırıldığı görülmüştür. Bunun nedeni (-) yüke sahip olan anyonik yüzeyaktif maddelerin katyonikleştirme işlemi ile (+) yüklü hale getirilmiş olan pamuk elyafına karşı afinitelerinin olması ve rastgele liflerdeki boya bağlanabilecek merkezleri bloklaması sonucu hem boyama verimini düşürmesi hem de liflerde blokladığı noktalar dağınık olduğu için boş kalan

kısımlara bağlanabilen boyaların düzgünsüz boyama vermesine yol açmasıdır. Bu sonuçlara dayanarak en iyi verimin %1 boya, 2 g/L anyonik yüzeyaktif madde ve %6 binder kullanılarak elde edilebileceği söylenebilir.

Bromtimol mavisi için yapılan optimizasyon çalışmalarından elde edilen renk verimi sonuçları ve boyanmış numunelerin fotoğrafları Çizelge 4.15'te verilmektedir.

Çizelge 4.15. Pigment boyama prosesine göre yapılan denemelerde bromtimol mavisi ile elde edilen renk verimi (K/S) değerleri ve numunelerin fotoğrafları

No	Numune	Boya (%)	Anyonik Yüzeyaktif mad. (g/L)	Binder (%)	K/S
1		0,5	2	4,5	0,60
2		0,5	2	6	0,75
3		0,5	4	4,5	0,56
4		0,5	4	6	0,59
5		1	2	4,5	düzgünsüz
6		1	2	6	3,08
7		1	4	4,5	1,72
8		1	4	6	1,83

Çizelge 4.15 incelendiğinde bromtimol mavisi ile yapılan %0,5'lik boyamalarda renklerin çok açık olduğu, yani boya konsantrasyonunun yetersiz geldiği anlaşılmaktadır. %1'lik boyamalarda ise anyonik yüzeyaktif madde konsantrasyonunun artırılmasının yukarıda açıklanan nedenle boyama verimini düşürdüğü ve rengi sarı yöne kaydıracağı görülmüştür. Bu sonuçlara dayanarak en iyi verimin %1 boya, 2 g/L anyonik yüzeyaktif madde ve %6 binder kullanılarak elde edilebileceği söylenebilir.

Fenol kırmızısı ile bu yöntemle göre yapılan optimizasyon çalışmalarında ise boya konsantrasyonunun artırılmasına rağmen hiç renk elde edilememiştir.

Bromkresol moru ve bromtimol mavisi ile optimum koşullarda boyanmış numunelere ait yıkama, sürtme ve ışık haslığı test sonuçları Çizelge 4.16, asidik ve alkali ter haslığı sonuçları ise Çizelge 4.17’de verilmektedir.

Çizelge 4.16. Pigment boyama prosesine göre optimum koşullarda boyanan kumaşların sürtme, yıkama ve ışık haslığı sonuçları

Kumaş Adı	Fiksator	Yıkama Haslığı						Sürtme Haslığı		Işık Haslığı
		WO	PAC	PES	PA	CO	CA	Kuru	Yaş	
Bromkresol moru	-	5	5	5	5	5	5	4	3	1
	+	5	5	5	5	5	5	4-5	3-4	1
Bromtimol mavisi	-	5	5	5	5	5	5	3	2-3	1
	+	5	5	5	5	5	5	3	3	1

Çizelge 4.17. Pigment boyama prosesine göre optimum koşullarda boyanan kumaşların asidik ve alkali ter haslığı sonuçları

Boyama	Fiksator	Asidik Ter Haslığı						Alkali Ter Haslığı					
		WO	PAC	PES	PA	CO	CA	WO	PAC	PES	PA	CO	CA
Bromkresol moru	-	3	4	4-5	2-3	4	3-4	3-4	4	4-5	3	4	4
	+	4-5	4-5	5	3-4	4-5	4-5	4-5	5	5	4	4-5	4-5
Bromtimol mavisi	-	3-4	3-4	4	2	3-4	3-4	3-4	4	4	2-3	3-4	3-4
	+	4	4-5	4-5	2-3	4	4	4	4-5	4-5	3	3-4	3-4

Çizelge 4.16 incelendiğinde bromkresol moru ve bromtimol mavisi ile yapılan boyamaların yıkama haslıklarının çok iyi olduğu görülmüştür. Fiksator kullanımının bromkresol morunda sürtme haslığında yarım puanlık artışa yol açtığı, ancak bromtimol mavisinde haslıkları değiştirmedeği saptanmıştır. Yalnız bütün numunelerin ışık haslıkları çok düşüktür. Fakat proje kapsamında çalışma ortamı insan sağlığı için risk oluşturduğunda haber veren akıllı giysi (veya bir giysiye monte edilecek küçük bir etiket veya bir bileklik vb) üretimi olduğundan, yani giysiler gün ışığında kullanılmayacağından ışık haslığının kritik önemi olmadığı söylenebilir.

Çizelge 4.17 incelendiğinde bromkresol moru ve bromtimol mavisi ile yapılan boyamaların ter haslıklarının problemlili olduğu, ancak katyonik fiksatorle ard işlem sonrası özellikle bromkresol morunun haslıklarının iyileştiği görülmüştür.

Çizelge 4.18’de halokromik boyalarla katyonikleştirme sonrası pigment boyama prosesine göre boyanan kumaşların pH ile renk değişimi görülmektedir.

Çizelge 4.18. Pigment boyama prosesine göre halokromik boyalarla boyanmış pamuklu kumaşların pH ile renk değişimi

pH	Bromkresol Moru		Bromtimol Mavisi	
	Fiks. yok	Fiks. var	Fiks. yok	Fiks. var
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				

Çizelge 4.18 incelendiğinde bromkresol moruna bakıldığında, rengin pH 1-3’de sarı-yeşil, pH 4-14 arasında mavi olduğu görülmektedir. Yalnız boyama sonrası katyonik fiksatorle ard işlem görmüş kumaşlarda pH’ı ayarlanmış çözelti içerisinde bekletme sonrası boyanın tamamen aktığı görülmüştür. Bromtimol mavisi ise kumaş üzerinde pH 1-3’te sarı-turuncu, pH 4-11 arasında yeşil, pH 12-14 arasında mavi renk vermiştir. Fiksatorle ard işlem görmüş kumaş ile görmemiş kumaş arasında renk değiştirme açısından belirgin farklılık olmadığı, ancak fiksatorler ard işlem görmüş kumaşın pH’ı ayarlanmış çözelti içerisinde

bekletme sonrası boyanın bir miktar akması nedeniyle renginin açıldığı görülmüştür. Öte yandan, fiksator ile yapılan ard işlemlerin pH ile renk değişimini olumsuz etkilemediği, fakat bromkresol morunda pH'ı ayarlanmış çözelti içerisinde bekletme sonrası boyanın yüksek oranda aktığı görülmüştür.

4.1.3. Halokromik Boyalarla Emdirme Yöntemine Göre Boyamaya İlişkin Sonuçlar

Çektirme yöntemine göre boyamaların yanı sıra fulardda emdirme yöntemine göre de boyama işlemi yapılmıştır. Denemeler 5 g/L boya konsantrasyonunda binder ve çapraz bağlayıcı konsantrasyonları değiştirilerek yapılmıştır.

Emdirme yöntemine göre yapılan denemelerde bromkresol moru, bromtimol mavisi ve fenol kırmızısı ile elde edilen renk verimi değerleri ve kumaş numunelerinin fotoğrafları sırasıyla Çizelge 4.19, Çizelge 4.20 ve Çizelge 4.21'de verilmektedir.

Çizelge 4.19. Emdirme yöntemine göre yapılan denemelerde bromkresol moru ile elde edilen renk verimi (K/S) değerleri ve numunelerin fotoğrafları

No	Numune	Binder (g/L)	Çapraz bağlayıcı (g/L)	K/S
1		10	5	12,53
2		20	5	12,46
3		40	5	11,76
4		10	10	10,48
5		20	10	11,92
6		40	10	11,54
7		-	5	12,46
8		20	-	13,04
9		-	-	14,87

Çizelge 4.20. Emdirme yöntemine göre yapılan denemelerde bromtimol mavisi ile elde edilen renk verimi (K/S) değerleri ve numunelerin fotoğrafları

No	Numune	Binder (g/L)	Çapraz bağlayıcı (g/L)	K/S
1		10	5	5,85
2		20	5	6,32
3		40	5	6,42
4		10	10	4,94
5		20	10	4,96
6		40	10	5,83
7		-	5	6,58
8		20	-	6,62
9		-	-	7,97

Çizelge 4.21. Emdirme yöntemine göre yapılan denemelerde fenol kırmızısı ile elde edilen renk verimi (K/S) değerleri ve numunelerin fotoğrafları

No	Numune	Binder (g/L)	Çapraz bağlayıcı (g/L)	K/S
1		10	5	6,51
2		20	5	5,50
3		40	5	15,11
4		10	10	8,09
5		20	10	18,92
6		40	10	19,56
7		-	5	14,61
8		20	-	14,83
9		-	-	15,43

Çizelge 4.19-4.21 incelendiğinde kumaşların halokromik boyalalarla oldukça düzgün bir şekilde boyandığı görülmektedir. Renk verimi açısından bromkresol moru ve bromtimol mavisi ile yapılan boyamalarda çapraz bağlayıcı konsantrasyonu 5 g/L'den 10 g/L'ye yükseltildiğinde renk veriminin azaldığı, fenol kırmızısında ise arttığı görülmektedir. Binder konsantrasyonu için ise tüm boyalarda 20 g/L'nin en iyi sonucu verdiği görülmektedir. Yalnız binder ve/veya çapraz bağlayıcı kullanılmadan yapılan boyamalarda da yaklaşık aynı verimler elde edilmiştir. Bilindiği gibi emdirme yönteminde zaten afinite olmadığından aktarılan boya miktarı çok etkilenmemektedir. Ancak binder ve/veya çapraz bağlayıcı kullanmanın nedeni liflere karşı afinitesi olmayan boya moleküllerini lif yüzeyine yapıştırmak ve istenilen haslık seviyelerini elde edebilmektir. Bu nedenle, haslık testleri bromkresol moru ve bromtimol mavisi için 20 g/L binder ve 5 g/L çapraz bağlayıcı; fenol kırmızısı için 20 g/L binder ve 10 g/L çapraz bağlayıcı varlığında boyanmış numunelerin yanı sıra binder ve/veya çapraz bağlayıcı kullanılmamış numuneler için de yapılmıştır. Sonuçlar Çizelge 4.22 ve 4.23'te verilmektedir.

Çizelge 4.22. Halokromik boyalarla emdirme yöntemine göre optimum koşullarda boyanan kumaşların yıkama ve sürtme haslığı sonuçları

Boya	Kumaş No	Yıkama Hashğı						Sürtme Hashğı	
		WO	PAC	PES	PA	CO	CA	Kuru	Yaş
Bromkresol moru	2	5	5	4-5	4-5	4-5	4-5	3-4	1-2
	7	5	5	4-5	4-5	4-5	4-5	2-3	1-2
	8	5	5	4-5	4-5	4-5	4-5	3-4	1-2
	9	5	5	4-5	4-5	4-5	4-5	3-4	1-2
Bromtimol mavisi	2	5	5	4-5	4-5	4-5	4-5	2-3	1-2
	7	5	5	4-5	4-5	4-5	4-5	1-2	1
	8	5	5	4-5	4-5	4-5	4-5	2-3	1-2
	9	5	5	4-5	4-5	4-5	4-5	2-3	1
Fenol kırmızısı	2	5	5	5	5	4-5	5	4-5	4-5
	7	5	5	5	5	4-5	5	4	3-4
	8	5	5	5	5	4-5	5	4-5	4-5
	9	5	5	5	5	4-5	5	4	4

Çizelge 4.23. Halokromik boyalarla emdirme yöntemine göre optimum koşullarda boyanan kumaşların ter ve ışık haslığı sonuçları

Boya	Kumaş No	Asidik Ter Haslığı						Alkali Ter Haslığı						Işık Haslığı	
		WO	PAC	PES	PA	CO	CA	WO	PAC	PES	PA	CO	CA		
Bromkresol moru	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1-2
	7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1-2
	8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1-2
	9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1-2
Bromtimol mavisi	2	1	2-3	2-3	1-2	2	2-3	1	2-3	2-3	1-2	2	2-3	1	1
	7	1	2-3	2-3	1-2	2	2-3	1	2-3	2-3	1-2	2	2-3	1	1
	8	1	2-3	2-3	1-2	2	2-3	1	2-3	2-3	1-2	2	2-3	1	1
	9	1	2-3	2-3	1-2	2	2-3	1	2-3	2-3	1-2	2	2-3	1	1
Fenol kırmızısı	2	2	2	1	2	3	2	3	1	2-3	3-4	3-4	3	1	1
	7	1-2	1	1	2	2-3	1	2	1	1	2	2	1	2	2
	8	2	1-2	1	2-3	2	1	2	1	1-2	2-3	2	1	2	2
	9	1-2	2	3	2-3	2	1	1-2	1	1-2	2-3	2	1	2	2

Çizelge 4.22 incelendiğinde bütün boyalar ile emdirme yöntemine göre yapılan boyamaların yıkama haslıklarının çok iyi olduğu görülmektedir. Ancak sürtme haslıklarına bakıldığında sadece fenol kırmızısı ile iyi sonuç alınabilmektedir. Boyamaların ter haslıklarına bakıldığında ise bromkresol morunda hem asidik hem alkali ter haslıklarının çok kötü olduğu görülmüştür. Çizelge 4.23 incelendiğinde bromtimol mavisi ve fenol kırmızısı karşılaştırıldığında arada çok fark olmadığı, her ikisinin de asidik ve alkali ter haslıklarının düşük olduğu söylenebilir. Bütün numunelerin ışık haslıkları çok düşüktür. Fakat proje kapsamında çalışma ortamı insan sağlığı için risk oluşturduğunda haber veren akıllı giysi (veya bir giysiye monte edilecek küçük bir etiket veya bir bileklik vb) üretimi olduğundan, yani giysiler gün ışığında kullanılmayacağından ışık haslığının kritik önemi olmadığı söylenebilir. Burada dikkati çeken bir husus boyamada çapraz bağlayıcı kullanılmamasının haslıklara olumsuz etkisi olmadığı, ancak binder kullanılmaması durumunda sürtme haslıklarının düştüğüdür. Bu nedenle, boyamanın optimal koşullarının çapraz bağlayıcı kullanmadan ve 20 g/L binder kullanılarak yapılan boyama olduğu söylenebilir.

Çizelge 4.24'te emdirme yöntemine göre halokromik boyalarla boyanan kumaşların pH ile renk değişimi görülmektedir.

Çizelge 4.24. Emdirme yöntemine göre optimum reçete ile boyanan halokromik kumaşların farklı pH'lardaki çözeltilerde pH'ın etkisiyle renk değişimi

pH	Bromkresol Moru	Bromtimol Mavisi	Fenol Kırmızısı
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			

Çizelge 4.24 incelendiğinde bromkresol moru için kumaşın renginin pH 3'ün altında turuncuya döndüğü, pH 4-10 arasında sarıda kaldığı, pH 11'in üzerinde ise laciverte döndüğü görülmektedir. Bromtimol mavisiyle kumaş üzerinde pH 4-10 arasında sarı, pH 4'ün altında sarı-turuncu, pH 11'de yeşil, pH 12'den itibaren ise mavi renk elde edilmiştir. Fenol kırmızısında ise kumaş üzerinde pH 7'de açık sarı olan rengin 8-10 arasında daha belirgin sarıya döndüğü, pH 11'de kırmızısı bir tona, pH 12'den itibaren ise pembe-mor renge döndüğü tespit edilmiştir. pH 7'den asidik ortama doğru gidildikçe sarı rengin yeniden koyulaştığı, pH 1-2'de ise hafif turuncumsu bir sarıya dönüştüğü görülmüştür. Bugüne kadar literatürde yapılan çalışmalarda halokromik boyalarla renklendirilmiş nanoyüzey veya kumaşların pH ile renk değiştirme kabiliyetlerinin ölçümünün pH'ı ayarlanmış sulu çözeltilerin içerisinde yapılmış olduğu görülmektedir. Son bir yayında (Sun vd., 2020) alkali buharında renk değişimi de incelenmiştir. Bu çalışmada halokromik boyaların hedef kullanım alanı çalışma ortamındaki asit veya baz buharı konsantrasyonu insan sağlığını tehdit edecek hale geldiğinde haber veren akıllı giysiler (veya bir giysiye monte edilecek küçük bir etiket

veya bir bileklik vb) olduğundan kumaşların bu özelliklerini test edebilmek için renk değişimi gözlem kabini tasarlanmıştır. Bu kabin içerisine kumaş yerleştirildikten sonra hidroklorik asit veya amonyum hidroksit buharı verilerek renk değişimleri gözlenmiştir. Sonuçlar Çizelge 4.25'te verilmektedir.

Çizelge 4.25. Emdirme yöntemine göre halokromik boyalarla boyanmış kumaşların renk değişimi gözlem kabininde pH'a bağlı renk değişimi

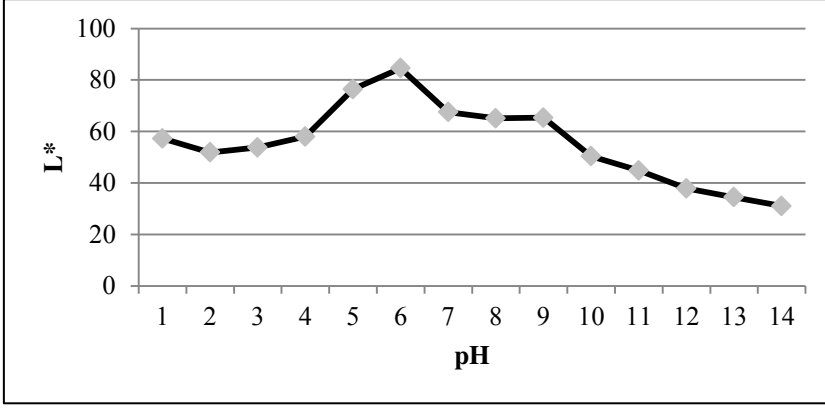
pH	Bromkresol Moru	Bromtimol Mavisi	Fenol Kırmızısı
1	Orange	Yellow	Red
2	Orange	Yellow	Red-Orange
3	Orange	Yellow	Orange
4	Orange	Yellow	Orange-Yellow
5	Orange	Yellow	Yellow
6	Orange	Yellow	Yellow
7	Yellow	Yellow	Yellow
8	Yellow-Green	Yellow	Yellow
9	Green	Yellow	Yellow
10	Dark Green	Green	Orange
11	Dark Green	Green	Red-Orange
12	Dark Green	Green	Red
13	Dark Blue	Green	Red
14	Dark Blue	Green	Red

Çizelge 4.25'te bromkresol moru ile boyanan kumaşa renk değişimi gözlem kabiniinde NH_4OH buharı uygulandığında, pH 7'de sarı olan renk pH 8-9'da açık yeşil, pH 10-11 değerinde koyu yeşil renk almıştır. pH 12 değerinden sonra ise sarılık tamamen kaybolarak renk tamamen mavi hale gelmiştir. Bromkresol moru ile boyanan kumaşa renk değişimi gözlem kabiniinde HCl asit buharı uyguladığımızda ise pH 7'de sarı olan renk çok az turuncu yöne kaymış, ancak pH 1-6 arasında belirgin bir renk değişimi meydana gelmemiştir.

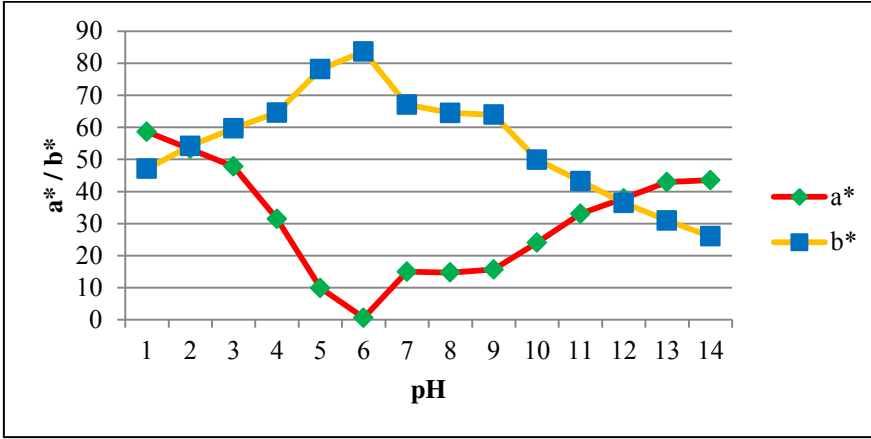
Bromtimol mavisi ile boyanan kumaşa renk değişimi gözlem kabiniinde NH_4OH buharı uygulanarak renk değişimi incelendiğinde, pH 7'de sarı olan rengin pH 8-9'da pek değişmediği, pH 10'dan itibaren ise yeşile döndüğü ve giderek daha koyu yeşil hale geldiği görülmektedir. Bromtimol mavisi ile boyanan kumaşa renk değişimi gözlem kabiniinde HCl asit buharı uygulandığında ise pH 7'de sarı olan renk pH 1'e kadar herhangi bir değişim göstermemiştir. Bu sonuçlar çözelti içine daldırılarak yapılan renk değişimi gözlemlerine paraleldir.

Son olarak fenol kırmızısı ile boyanan kumaşa NH_4OH buharı uygulandığında pH 8-9 değerlerinde büyük renk değişimi olmamakla beraber pH 10'a gelindiğinde renk turuncu bir hal almış ve bu turunculuk, pH değeri arttıkça artarak pH 14'de renk kırmızı hâle gelmiştir. Fenol kırmızısı ile boyanan kumaşa HCl asit buharı uygulandığında ise renk pH 5-6'da pH 7'ye göre biraz daha sarı yöne kaymış, ancak pH 4 değerinin altında, pH 1'e doğru gittikçe renk giderek turuncuya dönmüştür.

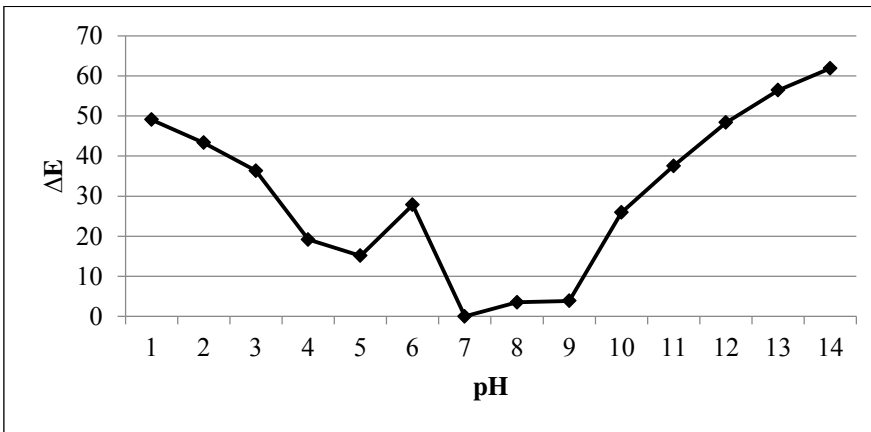
Bütün bu sonuçlara dayanarak hem asidik hem bazik ortamda renk değiştirerek haber verecek akıllı bir giysi için fenol kırmızısının kullanımının en uygun olacağı söylenebilir. Bu nedenle, fenol kırmızısı ile boyanan kumaşların renk değişimleri renk değişimi gözlem kabiniinde gözlemlendikten sonra, elde edilen görüntüler sayısallaştırılarak CIE $L^*a^*b^*$ değerleri elde edilmiştir. Bu değerlerden yola çıkılarak pH 7'deki renk referans alınıp ΔE değerleri de hesaplanmıştır. Sonuçlar Şekil 4.10-4.12'de verilmektedir. Elde edilen ΔE değerlerinde rengin anlamlı olarak farklı olup olmadığını tespit etmek için sınır değer "1" olarak belirlenmiştir. Renk farklılığı $\Delta E > 1$ olan renklerde rengin anlamlı olarak farklı olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 4.10. Emdirme yöntemine göre fenol kırmızısı ile boyanmış pamuklu kumaşların renk değişimi gözlem kabinde gözlenen pH'a bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen L* değerleri



Şekil 4.11. Emdirme yöntemine göre fenol kırmızısı ile boyanmış pamuklu kumaşların renk değişimi gözlem kabinde gözlenen pH'a bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen a* ve b* değerleri



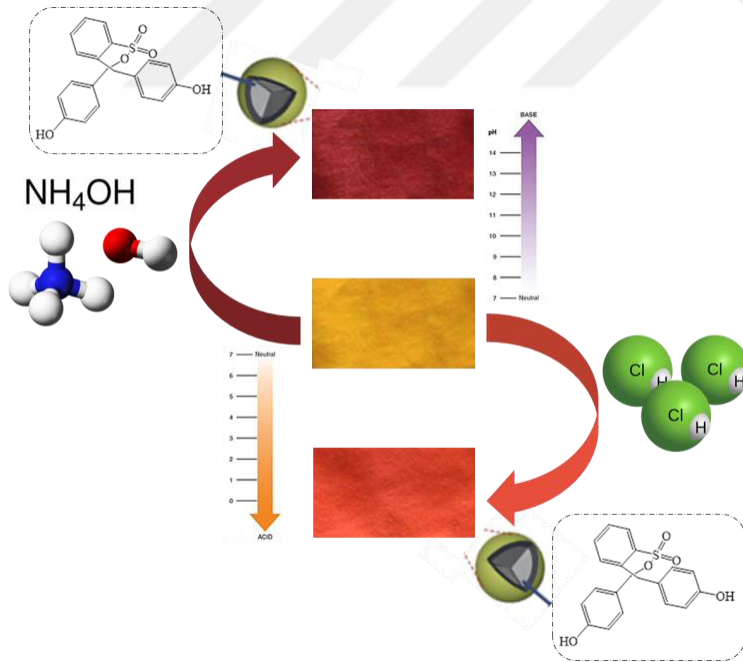
Şekil 4.12. Emdirme yöntemine göre fenol kırmızısı ile boyanmış pamuklu kumaşların renk değişimi gözlem kabinde gözlenen pH'a bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen ΔE değerleri

Şekil 4.10-4.12 incelendiğinde, Fenol kırmızısı ile boyanan kumaşın rengi pH 6'da en açık (en büyük L* değeri) çıkmıştır. pH 6 değerinden pH 14 değerine yani alkali ortama gidildikçe renk koyulaşmıştır. pH 6 değerinden pH 1 değerine yani asidik ortama gidildikçe de renk koyulaşmış, ama koyulaşma baz buharındaki renk değişimi kadar büyük olmamıştır.

Fenol kırmızısı ile boyanan kumaşta pH 6'da renk en sarı halini almıştır. pH değeri 6'dan 14'e veya 6'dan 1'e gittikçe b* değeri azalmış (daha az sarı), a* değeri ise artmıştır (daha kırmızı). Meydana gelen renk değişimi oldukça büyüktür.

Fenol kırmızısı ile boyanan kumaşta pH 7 noktası referans alınarak hesaplanan toplam renk farklılığı değerleri incelendiğinde, pH 14'e veya pH 1'e giderken ΔE değerinin arttığı görülmektedir. Ayrıca bazik ortamdaki renk değişiminin asidik ortama göre daha fazla olduğu söylenebilir.

Fenol kırmızısı ile boyanan kumaşın renk değişimi gözlem kabiniinde NH_4OH veya HCl buharı uygulanarak pH 1, pH 7 ve pH 14'de aldığı renkler Şekil 4.13'te şematik olarak gösterilmektedir.

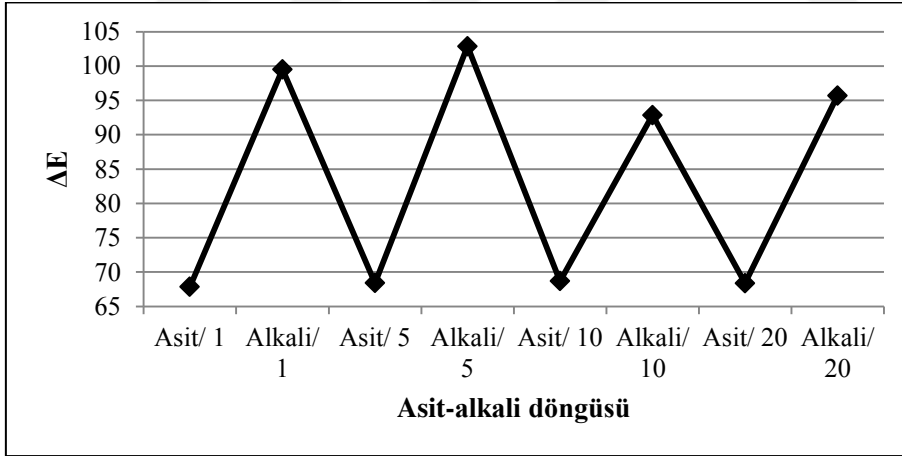


Şekil 4.13. Fenol kırmızısı ile boyanan kumaşın renk değişimi gözlem kabiniinde NH_4OH veya HCl buharı uygulanarak pH 1, pH 7 ve pH 14'de aldığı renkler

Halokromik tekstillerde önemli olan bir konu da elde edilen renk değiştirme efektinin yorulma direncidir. Ardışık kaç döngüye dayanabilecek olduğu ürünün kullanım ömrü










açısından kritik öneme sahip olacaktır. Bu nedenle, renk değişim kabininde kumaşa bir asit buharı bir baz buharı olacak şekilde ardışık 20 döngü uygulanmış ve her döngüde kumaşın başlangıç haline göre renk değiştirme kabiliyetinin bir ölçüsü olarak başlangıç rengi referans alınarak toplam renk farklılığı değerleri hesaplanmıştır. Çizelge 4.26'da fenol kırmızısı ile boyanmış her bir döngü sonrası CIE L*a*b* ve K/S değerleri verilmektedir. Şekil 4.14'te ise her bir asit-baz döngüsü sonrası başlangıç haline göre toplam renk farklılığı değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 4.26 incelendiğinde kumaşın asit buharına maruz kalması sonrası ardışık olarak 20 kere yapılan testte hemen hemen aynı renk değişimi kabiliyetini gösterdiği söylenebilir. Öte yandan alkali ortamda ise 10. döngüden itibaren yorulma meydana gelmekte, renk değiştirme kabiliyeti azalmaktadır. Ancak yine de halen çok büyük bir renk değişimi vardır. Bu sonuçlar Şekil 4.14'ten de açıkça görülebilmektedir. Dolayısıyla fenol kırmızısının halokromik bir tekstil ürünü üretiminde kullanılması durumunda renk değiştirme kabiliyetini yüksek döngü sayılarında koruyabileceği düşünülmektedir.






Şekil 4.14. Emdirme yöntemine göre fenol kırmızısı ile boyanmış kumaşın her bir asit-alkali döngüsü sonrası başlangıç haline göre toplam renk farklılığı değerleri

Çizelge 4.26. Emdirme yöntemine göre fenol kırmızısı ile boyanmış kumaşın renk değişimi gözlem kabininde her bir asit-baz döngüsü sonrası renk ölçüm değerleri

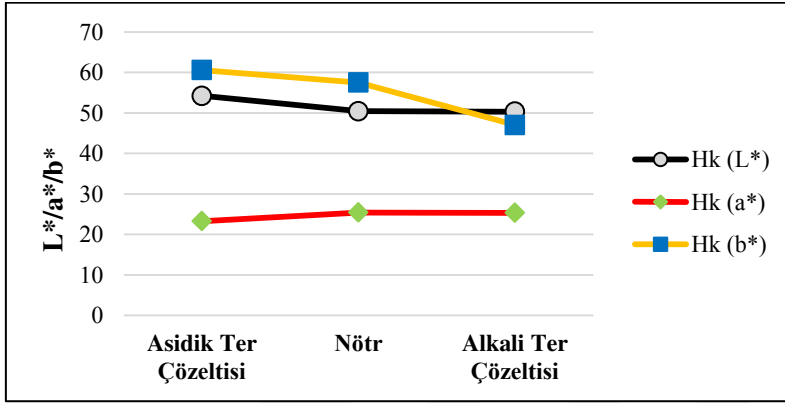
Kumaş	Renk	L*	a*	b*	C*	h°	ΔE	%R	K/S
İşlemsiz		79,44	14,34	69,78	71,24	78,39	-	8,00	6,2
Asit – 1. döngü		68,28	52,54	14,80	58,10	15,27	67,87	3,57	14,0
Alkali – 1. döngü		44,34	50,14	-16,18	52,69	342,12	99,51	3,77	13,2
Asit – 5. döngü		67,83	55,42	16,34	57,78	16,42	68,40	3,83	13,0
Alkali – 5. döngü		44,01	51,22	-19,48	54,80	339,17	102,87	3,71	13,5
Asit – 10. döngü		68,02	55,41	15,92	57,65	16,03	68,69	3,87	12,9
Alkali – 10. döngü		45,16	47,35	-9,96	48,39	348,12	92,86	4,85	10,3
Asit – 20. döngü		68,10	55,16	16,12	57,47	16,29	68,37	3,93	12,7
Alkali – 20. döngü		44,51	47,77	-12,80	49,46	345	95,69	4,67	10,7

Proje kapsamında aynı zamanda kişilerin terleyip terlemediğini haber veren giysi üretilmesi de hedeflenmiştir. Halokromik boya olarak fenol kırmızısı ile optimum şartlarda boyanmış kumaş asidik ve bazik ter çözeltilerine daldırılmış ve kumaşların renk değişimi incelenmiştir. Sonuçlar Çizelge 4.27’de görülmektedir.

Çizelge 4.27. Emdirme yöntemine göre optimum koşulda boyanmış halokromik kırmızı boya içeren kumaşın asidik ve alkali ter çözeltisi içerisindeki renk değişimi

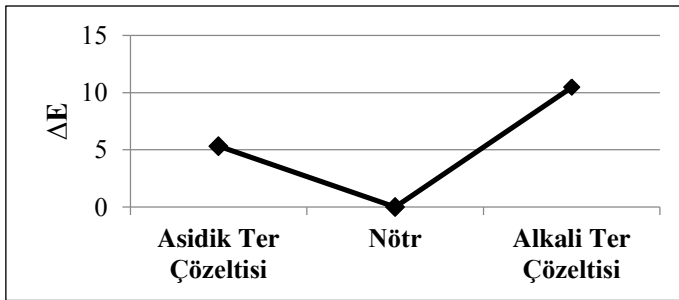
Kumaş	Asidik Ter Çözeltisi	Nötr	Alkali Ter Çözeltisi
Hk			

Çizelge 4.27 incelendiğinde halokromik kırmızı boya ile emdirme işlemine göre optimum koşullarda boyanan kumaşın nötr pH'daki hâline göre asidik ter çözeltisinde rengin nüansı değişmeden sadece açıldığı ve renk değişiminin daha az belirgin olduğu, bazik ter çözeltisinde ise kumaş renginin tamamen değiştiği ve sarıdan kırmızıya döndüğü anlaşılmaktadır. Fenol kırmızısı ile boyanan kumaşların renk değişimleri gözlemlendikten sonra, elde edilen görüntüler sayısallaştırılarak CIE $L^*a^*b^*$ ve ΔE değerleri elde edilmiştir. Sonuçlar Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da verilmektedir.



Şekil 4.15. Emdirme yöntemine göre fenol kırmızısı ile boyanmış pamuklu kumaşların asidik ve bazik ter çözeltisine daldırılması sonrası renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen L^* , a^* ve b^* değerleri

Şekil 4.15 ve Şekil 4.16 incelendiğinde kumaşın başlangıç hâline göre asidik ter çözeltisinde renginin açıldığı (L^* değerinin arttığı), alkali ter çözeltisi içerisinde ise renginin açıklık-koyuluğunda önemli bir değişim meydana gelmediği söylenebilir. Rengin nüansına gelince asidik ter çözeltisinde daha az kırmızı (daha küçük a^* değeri) ve daha sarı (daha büyük b^* değeri), alkali ter çözeltisinde ise daha kırmızı (daha büyük a^* değeri) ve daha az sarı (daha küçük b^* değeri) hâle geldiği söylenebilir.



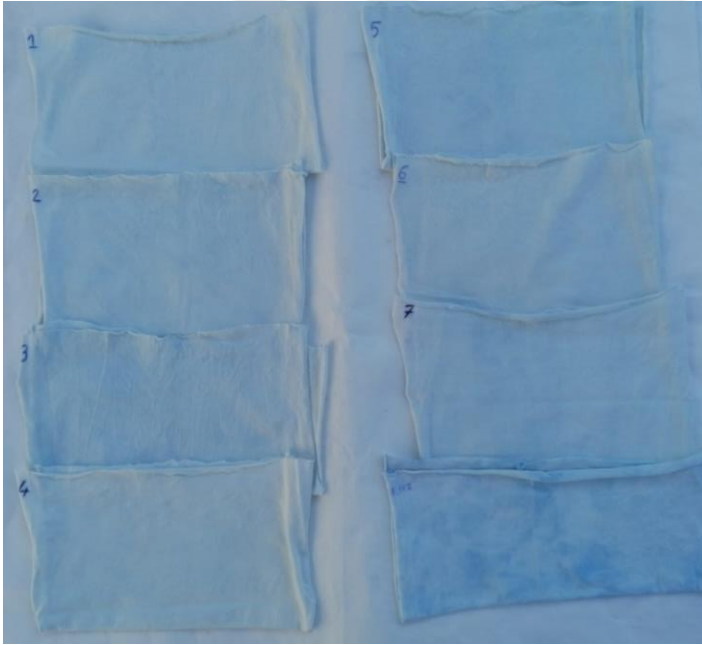
Şekil 4.16. Emdirme yöntemine göre fenol kırmızısı ile boyanmış pamuklu kumaşların asidik ve alkali ter çözeltisine daldırılması sonrası renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen ΔE değeri

Bu değerlerden yola çıkılarak nötr hâldeki renk referans alınıp ΔE değerleri hesaplandığında asidik ve alkali ter çözeltileri için sırasıyla 5,3 ve 10,4 olduğu görölmektedir. Bu da kumaşın alkali ter ortamında daha belirgin renk değiştirdiğini ortaya koymaktadır.

4.2. Fotokromik Boyalarla Boyamaya İlişkin Sonuçlar

4.2.1. Fotokromik Boyalarla Katyonikleştirme Sonrası Yün Boyama Prosesiyle Çektirme Yöntemine Göre Boyamaya İlişkin Sonuçlar

Katyonikleştirme işlemi görmüş ve işlemsiz kumaşlarla Çizelge 3.5'te verilen deney planına göre mavi renkli fotokromik boya ile farklı boya konsantrasyonu, farklı süre ve farklı sıcaklıklarda yapılan boyamalara ait kumaş numunelerinin fotoğrafları Şekil 4.17'de verilmektedir. Yalnız fotokromik boyayla boyanmış tüm kumaşlar normalde beyaz renkli görünmekte olup güneş ışığı altında yeterli süre beklediğinde renk oluşmaktadır. Bu nedenle, kumaş numuneleri güneş ışığı altında 15 dakika süreyle bekletilmiş ve ardından fotoğrafları çekilmiştir.



Şekil 4.17. Mavi renkli fotokromik boya ile çektirme yöntemine göre yapılan boyamaların sonuçları

Şekil 4.17'de görülebileceği gibi gerek işlemsiz gerekse katyonikleştirme işlemi görmüş pamuklu kumaşların boyama koyuluğu, süresi veya sıcaklığı ne olursa olsun fotokromik boya ile çektirme yöntemine göre düzgün ve verimli bir şekilde boyanması

mümkün olmamıştır. Boyamalar düzgünsüz olduğu için renk ölçümü ve haslık testleri yapılmamıştır.

4.2.2. Fotokromik Boyalarla Katyonikleştirme Sonrası Pigment Boyama Prosesiyle Çektirme Yöntemine Göre Boyamaya İlişkin Sonuçlar

Katyonikleştirme işlemi görmüş ve işlemsiz kumaşlarla Çizelge 3.6’da verilen deney planına göre mavi ve kırmızı renkli fotokromik boyalar ile farklı boya konsantrasyonu, anyonik yüzeyaktif madde konsantrasyonu ve binder konsantrasyonlarında yapılan boyamalara ait kumaş numunelerinin fotoğrafları Şekil 4.18’de verilmektedir. Yalnız fotokromik boyayla boyanmış tüm kumaşlar normalde beyaz renkli görünmekte olup güneş ışığı altında yeterli süre beklediğinde renk oluşmaktadır. Bu nedenle, kumaş numuneleri güneş ışığı altında 15 dakika süreyle bekletilmiş ve ardından fotoğrafları çekilmiştir.




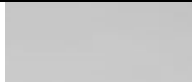













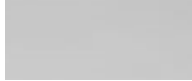

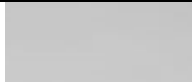
Şekil 4.18. Mavi ve kırmızı renkli fotokromik boyalar ile katyonikleştirme sonrası pigment boyama prosesiyle çektirme yöntemine göre yapılan boyamaların sonuçları

Pigment parça boyama prosesine göre iki farklı renkte yapılan boyamalar düzgünsüz (abrajlı) çıkmıştır. Boyamalar düzgünsüz olduğu için renk ölçümü ve haslık testleri yapılmamıştır.



















4.2.3. Fotokromik Boyalarla Emdirme Yöntemine Göre Boyamaya İlişkin Sonuçlar

İşlemsiz pamuklu kumaşlarla Çizelge 3.7’de verilen deney planına göre mavi ve kırmızı renkli fotokromik boyalar ile 25 g/L’lik boya konsantrasyonunda farklı binder ve çapraz bağlayıcı konsantrasyonlarında yapılan boyamalara ait kumaş numunelerinin renk verimi (K/S) değerleri ve fotoğrafları Çizelge 4.28 ve Çizelge 4.29’da verilmektedir. Yalnız fotokromik boyayla boyanmış tüm kumaşlar normalde beyaz renkli görünmekte olup güneş ışığı altında yeterli süre beklediğinde renk oluşmaktadır. Bu nedenle, kumaş numuneleri güneş ışığı altında 15 dakika süreyle bekletilmiş ve ardından fotoğrafları çekilmiştir.

Çizelge 4.28. Mavi renkli fotokromik boya ile emdirme yöntemine göre boyanan numunelerin renk verimi (K/S) değerleri ve fotoğrafları

Kumaş No	Binder (g/L)	Çapraz (g/L)	Kumaş rengi (Güneş ışığında)	K/S	Kumaş rengi (UV ışığında)	K/S
1	10	5		0,27		0,16
2	20	5		0,29		0,17
3	40	5		0,30		0,18
4	10	10		0,28		0,16
5	20	10		0,26		0,16
6	40	10		0,31		0,17
7	-	5		0,23		0,13
8	20	-		0,27		0,13
9	-	-		0,20		0,15

Çizelge 4.29. Kırmızı renkli fotokromik boya ile emdirme yöntemine göre boyanan numunelerin renk verimi (K/S) değerleri ve fotoğrafları

Kumaş No	Binder (g/L)	Çapraz bağ. (g/L)	Kumaş rengi (Güneş ışığında)	K/S	Kumaş rengi (UV ışığında)	K/S
1	10	5		0,22		0,19
2	20	5		0,25		0,27
3	40	5		0,23		0,24
4	10	10		0,22		0,21
5	20	10		0,26		0,20
6	40	10		0,24		0,24
7	-	5		0,17		0,20
8	20	-		0,24		0,25
9	-	-		0,23		0,16

Çizelge 4.28 ve 4.29 incelendiğinde her iki renk fotokromik boyayla yapılan boyamaların da oldukça düzgün bir şekilde boyandığı görülmektedir. Renk verimi açısından her iki renkte de çapraz bağlayıcı konsantrasyonu 5 g/L'den 10 g/L'ye yükseltildiğinde verimin azaldığı görülmektedir. Binder konsantrasyonu için ise 20 g/L'nin en iyi sonucu verdiği görülmektedir. Yalnız binder ve/veya çapraz bağlayıcı kullanılmadan yapılan boyamalarda da yaklaşık aynı verimler elde edilmiştir. Bilindiği gibi emdirme yönteminde zaten afinite olmadığından aktarılan boya miktarı çok etkilenmemektedir. Ancak binder ve/veya çapraz bağlayıcı kullanmanın nedeni liflere karşı afinitesi olmayan boya moleküllerini lif yüzeyine yapıştırmak ve istenilen haslık seviyelerini elde edebilmektir. Bu nedenle haslık testleri 20 g/L binder ve 5 g/L çapraz bağlayıcı varlığında boyanmış numunenin yanı sıra binder ve/veya çapraz bağlayıcı kullanılmamış numuneler için de yapılmıştır. Sonuçlar Çizelge 4.30 ve 4.31'de verilmektedir.

Çizelge 4.30. Fotokromik boyalarla emdirme yöntemine göre optimum koşullarda boyanan kumaşların yıkama ve sürtme haslığı sonuçları

Boya	Kumaş No	Yıkama Haslığı						Sürtme Haslığı	
		WO	PAC	PES	PA	CO	CA	Kuru	Yaş
Mavi	2	5	5	4-5	4-5	4-5	4	4	4
	7	5	5	4-5	4-5	4-5	4	4	4
	8	5	5	4-5	4-5	4-5	4	4	4
	9	5	5	4-5	4-5	4-5	4	4	4
Kırmızı	2	5	5	4-5	4-5	4-5	4	4	4
	7	5	5	4-5	4-5	4-5	4	3	3
	8	5	5	4-5	4-5	4-5	4	4	4
	9	5	5	4-5	4-5	4-5	4	3	3

Çizelge 4.31. Fotokromik boyalarla emdirme yöntemine göre boyanan numunelerin ter ve ışık haslığı sonuçları









Boya	Kumaş No	Asidik Ter Haslığı						Alkali Ter Haslığı						Işık Haslığı
		WO	PAC	PES	PA	CO	CA	WO	PAC	PES	PA	CO	CA	
Mavi	2	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	1
	7	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	1
	8	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	1
	9	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	1
Kırmızı	2	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	1
	7	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	1
	8	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	1
	9	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	1

Çizelge 4.30-4.31 incelendiğinde yapılan boyamaların açık pastel renkler olması nedeniyle tüm numunelerin yıkama, sürtme ve ter haslıklarının çok iyi olduğu görülmektedir. Bu nedenle hem mavi hem kırmızı renkli fotokromik boyarmadde için optimum koşullarının çapraz bağlayıcı kullanmadan ve 20 g/L binder kullanılarak yapılan boyama olduğu söylenebilir. Elde edilen haslık değerleri oldukça iyi olduğu için herhangi bir ard işlem yapılmamıştır.

Tekli boyamalarda yani sadece fotokromik kumaş üretilmek istendiğinde 25 g/L boya konsantrasyonu ile yapılan boyama renk değişimini görme açısından yeterli olmaktadır, fakat kombinasyon boyamalarda (ikili veya üçlü karışımlarda) boyaların renk değişimi açısından

birbirlerini olumsuz etkileyebileceği gözönüne alınmalıdır. Multikromik kumaş eldesi deneylerinde fotokromik boyalardan 25 g/L konsantrasyonda kullanıldığında kumaştaki halokromik ve termokromik boyaların baskın gelmesi nedeniyle UV ışık altındaki renk değişimleri zayıf kalmıştır. Bu nedenle, fotokromik boya konsantrasyonunun artırılması gerektiğine karar verilmiş ve sadece kırmızı renkli fotokromik boyayla optimum koşullarda 50-75-100 g/L'lik boyamalar da yapılmıştır. Sonuçlar Çizelge 4.32'de görülmektedir.

Çizelge 4.32. Kırmızı renkli fotokromik boya ile emdirme yöntemine göre farklı boya konsantrasyonlarında boyanan numunelerin renk verimi (K/S) değerleri ve fotoğrafları

Boya kons. (g/L)	Kumaş rengi (Güneş ışığında)	K/S	Kumaş rengi (UV ışığında)	K/S
25		0,24		0,25
50		0,58		0,24
75		0,91		0,40
100		1,12		0,41

Çizelge 4.32 incelendiğinde 25 g/L boya konsantrasyonunda yapılan boyamaların hem güneş ışığı altında hem UV ışık altında renk veriminin düşük olduğu görülmüştür. Boya konsantrasyonu artırıldığında her iki ışık altındaki renk veriminin de arttığı görülmekte olup 75 g/L boya konsantrasyonu ile yapılan boyamanın optimum oluşu söylenebilir.

Farklı konsantrasyonda boyanan fotokromik kırmızı kumaşların yıkama, sürtme, ter ve ışık haslıkları Çizelge 4.33-4.34'te görülmektedir.

Çizelge 4.33. Kırmızı renkli fotokromik boya ile emdirme yöntemine göre farklı konsantrasyonlarda boyanan numunelerin yıkama ve sürtme haslığı sonuçları

Boya Kons. (g/L)	Yıkama Haslığı						Sürtme Haslığı	
	WO	PAC	PES	PA	CO	CA	Kuru	Yaş
25	5	5	4-5	4-5	4-5	4	4	4
50	5	5	4-5	4-5	4-5	4	3-4	3-4
75	5	5	4-5	4-5	4-5	4	3-4	3
100	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4	3	2-3

Çizelge 4.34. Kırmızı renkli fotokromik boya ile emdirme yöntemine göre farklı konsantrasyonlarda boyanan numunelerin ter ve ışık haslığı sonuçları

Boya Kons. (g/L)	Asidik Ter Haslığı						Alkali Ter Haslığı						Işık Haslığı
	WO	PAC	PES	PA	CO	CA	WO	PAC	PES	PA	CO	CA	
25	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	1
50	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	1
75	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	1
100	4	4	4	4	4	4	4	4	5	4-5	4-5	4-5	1

Çizelge 4.33-4.34 incelendiğinde yıkama, sürtme ve ter haslıklarının oldukça iyi olduğu görülmektedir. Bu nedenle, numunelere herhangi bir ard işlem yapılmamıştır.

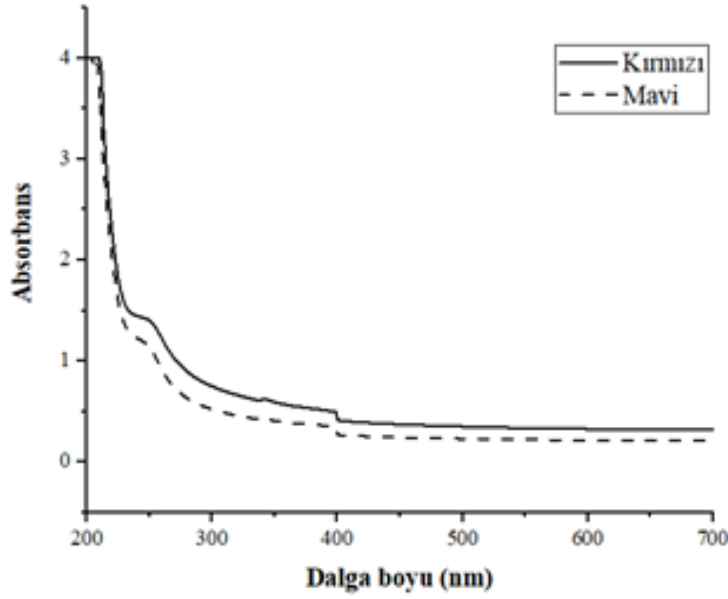
Şekil 4.19'da fotokromik boyaların 0,5 g/L'lik çözeltilerinin farklı ışık kaynakları altında renk değiştirme özellikleri görülmektedir.



Şekil 4.19. Fotokromik boya çözeltilerinin farklı ışık kaynakları altında aldıkları renkler (soldan sağa sırasıyla; oda koşulları, güneş ışığı, UV lamba altındaki fotoğrafları)

Şekil 4.19 incelendiğinde her iki fotokromik boyanın da oda koşullarında renksiz olduğu ama güneş ışığı altında renklerini gösterdiği görülmektedir. UV lamba altında ise kırmızı boya çözeltisi rengini çok belirgin gösterirken mavi boyanın renk değiştirmesi zayıf kalmıştır.

Fotokromik boyarmaddelerin ışık ile renk değişimi görsel olarak incelendikten sonra boya çözeltilerinin UV spektrofotometre ile absorbans ölçümleri yapılmıştır. Sonuçlar Şekil 4.20'de verilmektedir.





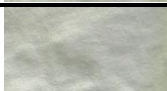









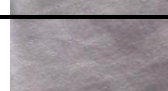







































Şekil 4.20. Fotokromik boyarmaddelerin 0,5 g/L'lik çözeltilerinin absorbans ölçümleri

Şekil 4.20 incelendiğinde kırmızı ve mavi renkli boyaların eşit konsantrasyondaki çözeltilerinin absorbans değerleri kıyaslandığında kırmızı boyanın daha yüksek renk kuvvetine sahip olduğu söylenebilir. Şekilden görüldüğü gibi bu boyaların absorpsiyon pikleri görünür bölgede değil 200-400 nm arasındaki UV bölgesindedir.

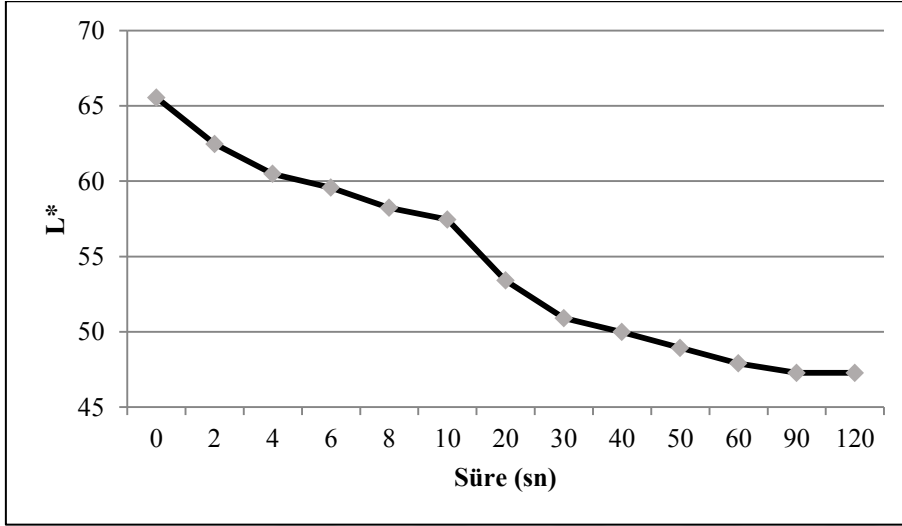
Fotokromik boyaların farklı ışık kaynakları altında renk değiştirdiği görüldükten sonra optimum reçeteye emdirme yöntemine göre boyanan kumaşların farklı ışık kaynakları altında renk değiştirme özelliklerini test edebilmek için renk değişimi gözlem kabini tasarlanmıştır. Bu kabin içerisine kumaş yerleştirildikten sonra UV ışık verilerek renk değişimleri gözlenmiştir. Fotokromik kırmızı boyarmadde ile boyanan kumaşın renk değişimi gözlem kabininde çekilen UV ışığın etkisiyle zamana bağlı renk değişimi fotoğrafları Çizelge 4.35'te verilmektedir.

Çizelge 4.35. Emdirme yöntemine göre optimum reçete ile boyanan fotokromik kumaşların renk değişimi gözlem kabinde UV ışığın etkisiyle zamana bağlı renk değişimi

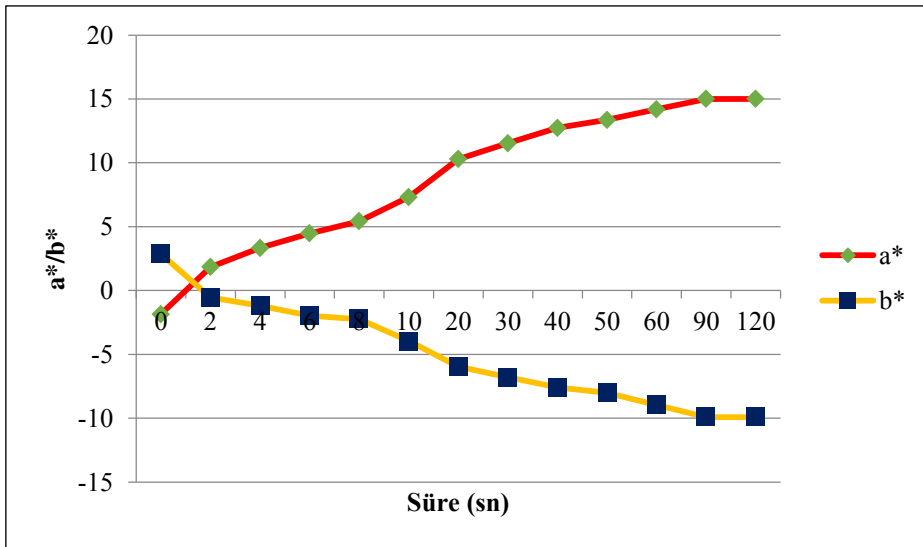
Süre (sn)	25 g/L Boya	50 g/L Boya	75 g/L Boya	100 g/L Boya
0				
2				
4				
6				
8				
10				
20				
30				
40				
50				
60				
90				
120				

Çizelge 4.35 incelendiğinde 25 ve 50 g/L boya konsantrasyonlarında elde edilen rengin çok zayıf olduğu, 75 g/L konsantrasyonun optimum olduğu anlaşılmaktadır. Zira 100 g/L'ye çıktığında renkte ekstra bir koyulaşma görülmemiştir. Ayrıca başlangıçta beyaz olan kumaş renginin kırmızıya dönmesi ve dengeye gelmesi için gereken sürenin 90 saniye civarında olduğu söylenebilir.

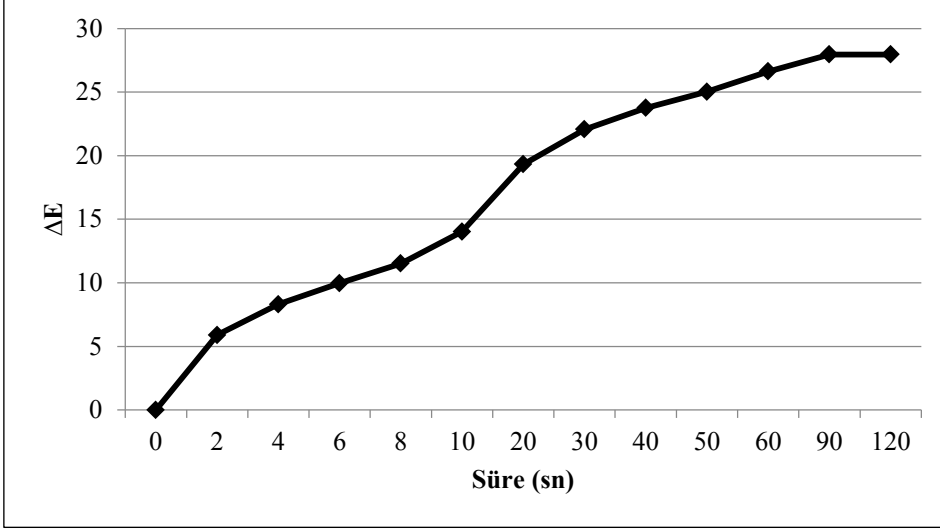
Fotokromik boyalar ile boyanan kumaşların renk değişimleri renk değişimi gözlem kabininde gözlemlendikten sonra, kırmızı boya ile 75 g/L konsantrasyonda yapılan boyama için elde edilen görüntüler sayısallaştırılarak CIE L*a*b* değerleri elde edilmiştir. Bu değerlerden yola çıkılarak başlangıçtaki renk referans alınıp ΔE değerleri de hesaplanmıştır. Sonuçlar Şekil 4.21-4.23'te verilmektedir.



Şekil 4.21. Emdirme yöntemine göre kırmızı renkli fotokromik boya ile boyanmış pamuklu kumaşların renk değişimi gözlem kabininde gözlenen süreye bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen L* değerleri



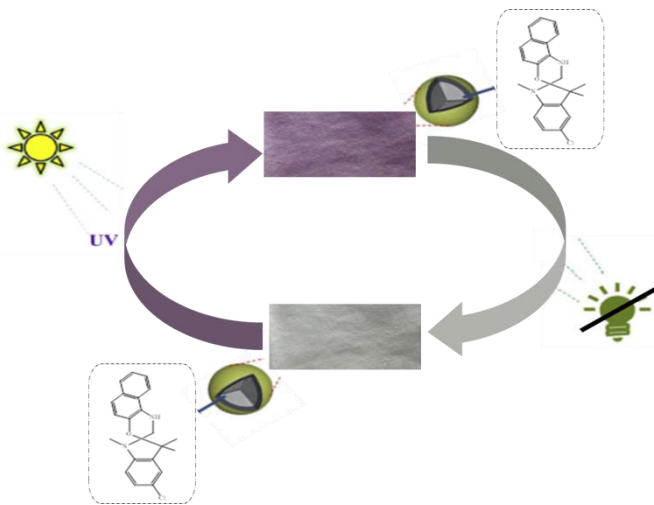
Şekil 4.22. Emdirme yöntemine göre kırmızı renkli fotokromik boya ile boyanmış pamuklu kumaşların renk değişimi gözlem kabininde gözlenen süreye bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen a* ve b* değerleri



Şekil 4.23. Emdirme yöntemine göre kırmızı renkli fotokromik boya ile boyanmış pamuklu kumaşların renk değişimi gözlem kabini içinde gözlenen süreye bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen ΔE değerleri

Şekil 4.21-4.23 incelendiğinde fotokromik kırmızı kumaşın UV ışığın etkisiyle zamana bağlı olarak renk koyuluğunun arttığı (L^* değerinin azaldığı), kırmızılık değerinin arttığı (a^* değerinin arttığı), sarılık değerinin azaldığı (b^* değerinin azaldığı) anlaşılmaktadır. Toplam renk farklılığı değerleri incelendiğinde ΔE değerinin de süreye bağlı olarak arttığı, 90 saniyede dengeye geldiği görülmüştür.

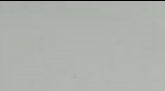

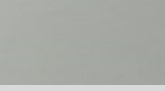



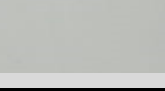

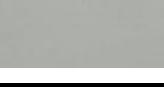
Şekil 4.24'te fotokromik kırmızı boya ile boyanan kumaşın, renk değişimi gözlem kabini içinde UV ışık altında renk değişimi şematik olarak gösterilmektedir.

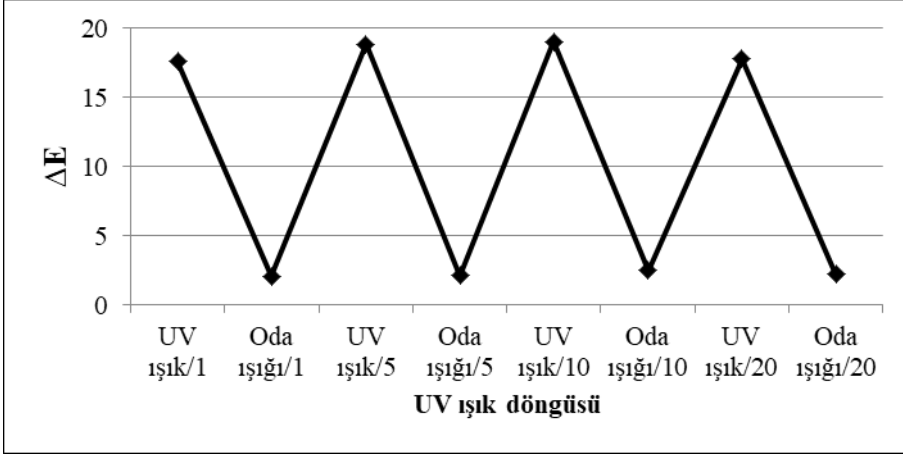


Şekil 4.24. Kırmızı renkli fotokromik boya ile 75 g/L konsantrasyonda boyanan kumaşın renk değişimi gözlem kabini içinde başlangıçta ve UV ışık altında 90 saniye bekletildikten sonra aldığı renkler

Fotokromik tekstillerde önemli olan bir konu da elde edilen renk değiştirme efektinin yorulma direncidir. Ardışık kaç döngüye dayanabilecek olduğu ürünün kullanım ömrü açısından kritik öneme sahip olacaktır. Bu nedenle, renk değişim kabininde kumaşa ortamda UV ışık olacak ve olmayacak şekilde ardışık 20 döngü uygulanmış ve her döngüde kumaşın başlangıç haline göre renk değiştirme kabiliyetinin bir ölçüsü olarak başlangıç rengi referans alınarak toplam renk farklılığı değerleri hesaplanmıştır. Çizelge 4.36'da fotokromik kırmızı boya ile boyanmış kumaşın her bir döngü sonrası CIE L*a*b* ve K/S değerleri verilmektedir. Şekil 4.25'te ise her bir UV ışık döngüsü sonrası başlangıç haline göre toplam renk farklılığı değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 4.36. Emdirme yöntemine göre fotokromik kırmızı boya ile boyanmış kumaşın renk değişimi gözlem kabininde UV ışık döngüsü sonrası renk ölçüm değerleri

Kumaş	Renk	L*	a*	b*	C*	h°	%R	K/S
İşlemsiz		93,83	-0,18	4,32	4,32	92,41	71,65	0,06
UV - 1. döngü		86,92	7,44	-0,11	7,44	359,17	57,65	0,16
Oda ışığı - 1. döngü		91,66	1,56	4,59	4,85	71,29	57,83	0,15
UV - 5. döngü		87,55	6,40	0,58	6,43	5,19	57,65	0,16
Oda ışığı - 5. döngü		91,66	1,57	4,53	4,79	70,93	57,82	0,15
UV - 10. döngü		87,65	6,28	0,57	6,30	5,15	57,96	0,15
Oda ışığı - 10. döngü		91,61	1,66	4,49	4,79	69,71	57,28	0,16
UV - 20. döngü		87,51	6,34	0,67	6,37	6	57,90	0,15
Oda ışığı - 20. döngü		90,92	2,45	3,85	4,56	57,57	57,91	0,15




Şekil 4.25. Emdirme yöntemine göre fotokromik kırmızı boya ile boyanmış kumaşın renk değişimi gözlem kabiniinde her bir UV ışık döngüsü sonrası başlangıç haline göre toplam renk farklılığı değerleri

Çizelge 4.36 incelendiğinde kumaşın UV ışığa maruz kalması sonrası ardışık olarak 20 kere yapılan testte hemen hemen aynı renk değişimi kabiliyetini gösterdiği söylenebilir. Bu sonuçlar Şekil 4.25'te de açıkça görülebilmektedir. Dolayısıyla fotokromik kırmızı boya ile boyanmış kumaşın fotokromik bir tekstil ürünü üretiminde kullanılması durumunda renk değiştirme kabiliyetini yüksek döngü sayılarında koruyabileceği düşünülmektedir.

4.3. Bikromik Boyamalara İlişkin Sonuçlar

Halokromik ve fotokromik boyaların her ikisinin de pamuk liflerine karşı afinitesi az olduğu için çektirme yöntemine göre aplikasyonların mümkün olmadığı, ancak emdirme yönteminin her iki boyaya da uygun olduğu görülmüştür. Bu nedenle, karışım boyamalarda aplikasyonlar emdirme yöntemine göre daha önce bu boyalar için belirlenmiş olan optimum koşullarda gerçekleştirilmiştir. Kombinasyonlarda rengi çok baskın olan halokromik boyanın rengini dengelemek için bu boyanın konsantrasyonu fotokromik boyaya kıyasla oldukça düşük tutulmuştur. Bu nedenle, 1 g/L halokromik ve 75 g/L fotokromik boya kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.37'de verilmektedir.

Çizelge 4.37. Emdirme yöntemine göre boyanan bikromik numunelerin renk verimi (K/S) değerleri ve fotoğrafları (Fk = Fotokromik kırmızı, Hk= Halokromik kırmızı)

Kullanılan Boya	Kumaş rengi	K/S
F _k -H _k		3,09

Çizelge 4.37 incelendiğinde kromik boyalarla ikili kombinasyon şeklinde emdirme yöntemine göre yapılan boyamaların oldukça düzgün olduğu görülmektedir. Kumaşın yıkama, sürtme, ter ve ışık haslığı sonuçları Çizelge 4.38 ve 4.39’da verilmektedir.

Çizelge 4.38. Emdirme yöntemine göre boyanan bikromik numunenin yıkama ve sürtme haslığı sonuçları

Kumaş ismi	Yıkama Haslığı						Sürtme Haslığı	
	WO	PAC	PES	PA	CO	CA	Kuru	Yaş
Fk-Hk	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	3-4

Çizelge 4.39. Emdirme yöntemine göre boyanan bikromik numunenin ter ve ışık haslığı sonuçları

Kumaş ismi	Asidik Ter Haslığı						Alkali Ter Haslığı						Işık Haslığı
	WO	PAC	PES	PA	CO	CA	WO	PAC	PES	PA	CO	CA	
Fk-Hk	3	2	1	2	3	2	3	2-3	3	3-4	3-4	3	1

Çizelge 4.38 incelendiğinde yıkama ve sürtme haslıklarının çok iyi olduğu görülmektedir. Çizelge 4.39 incelendiğinde ise bikromik kumaşın asidik ter haslıklarının zayıf olduğu alkali ter haslıklarının ise kabul edilebilir seviyede olduğu görülmektedir.

4.3.1. Bikromik kumaşın pH ile renk değıştirme özelliğinin incelenmesi

Çizelge 4.40’da halokromik boyanın fotokromik boyayla ikili karışım şeklinde boyandığı numunenin farklı pH’lardaki çözeltilerde gösterdikleri renk değıişimleri görülmektedir.

Çizelge 4.40. Emdirme yöntemine göre halokromik boyanın fotokromik boyayla ikili karışım şeklinde boyandığı numunenin farklı pH'a sahip çözeltilerde gösterdikleri renk değişimi

pH	Halokromik Kırmızı + Fotokromik Kırmızı
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	

Çizelge 4.40 incelendiğinde çözelti içerisine daldırılması durumunda kumaşın asidik ortamda pek renk değiştirmedeği, ancak pH 10'dan sonra renginin mora döndüğü görülmektedir. Bu sonuçlar fenol kırmızısı ile yapılan tekli boyamalarla paralellik göstermektedir. Bu nedenle, fenol kırmızısının fotokromik bir boya ile kombine edilmesi durumunda renk değiştirme özelliğini koruduğu söylenebilir.


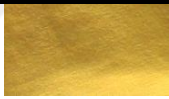
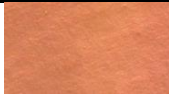





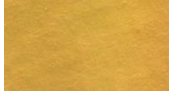

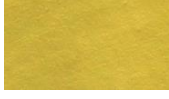



Bu çalışmada halokromik boyaların hedef kullanım alanı çalışma ortamındaki asit veya baz buharı konsantrasyonu insan sağlığını tehdit edecek hale geldiğinde haber veren akıllı giysiler (veya bir giysiye monte edilecek küçük bir etiket veya bir bileklik vb.) olduğundan kumaşların bu özelliklerini test edebilmek için renk değişimi gözlem kabini tasarlanmıştır. Bu kabin içerisine kumaş yerleştirildikten sonra hidroklorik asit veya amonyum hidroksit buharı verilerek renk değişimleri gözlenmiştir. Sonuçlar Çizelge 4.41'de verilmektedir.

Çizelge 4.41’de “Halokromik Kırmızı + Fotokromik Kırmızı” içeren ikili karışım ile boyanan kumaşa NH_4OH buharı uygulandığında pH 8-9 değerlerinde büyük renk değişimi olmamakla beraber pH 10’a gelindiğinde renk değişmeye başlamış ve pH değeri arttıkça renk koyulaşarak pH 14’te renk kırmızı-kahverengi hâle gelmiştir.

“Halokromik Kırmızı + Fotokromik Kırmızı” içeren ikili karışım ile boyanan kumaşa HCl asit buharı uygulandığında ise renk pH 5-6’da pH 7’ye göre biraz daha sarı yöne kaymış, ancak pH 4 değerinin altında, pH 1’e doğru renk giderek turuncuya dönmüştür.

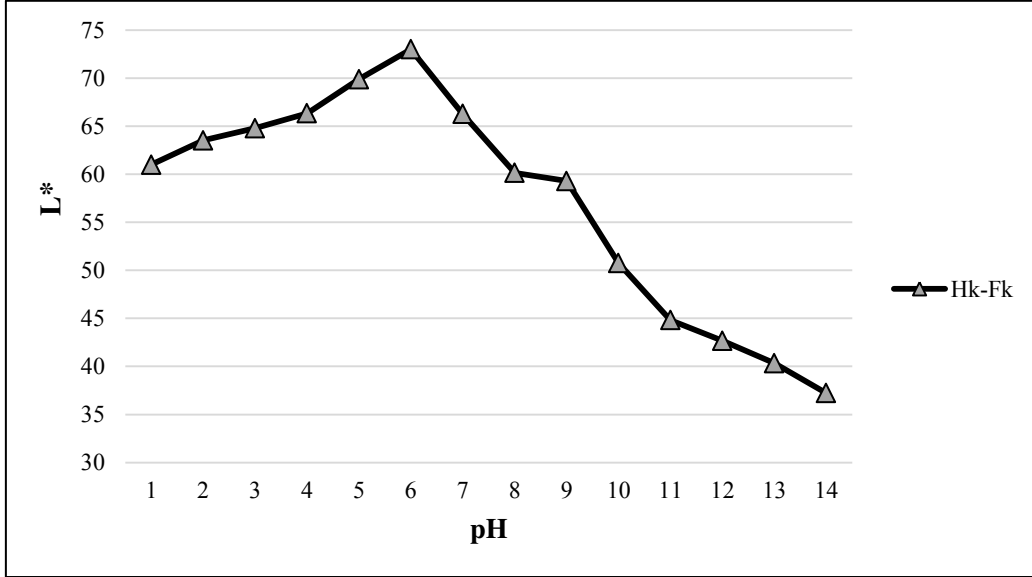
Bütün bu sonuçlardan anlaşılacağı gibi hem asidik hem bazik ortamda renk değiştirerek haber verecek akıllı bir giysi için fenol kırmızısının kullanımı olumlu sonuç vermektedir. Fenol kırmızısı tek başınayken gösterdiği renk değiştirme kabiliyetini fotokromik boyayla karışım halindeyken de gösterebilmektedir.

Çizelge 4.41. Emdirme yöntemine göre halokromik boyanın fotokromik boyayla ikili karışım şeklinde boyandığı numunenin renk değişimi gözlem kabiniinde pH’ın etkisiyle renk değişimi

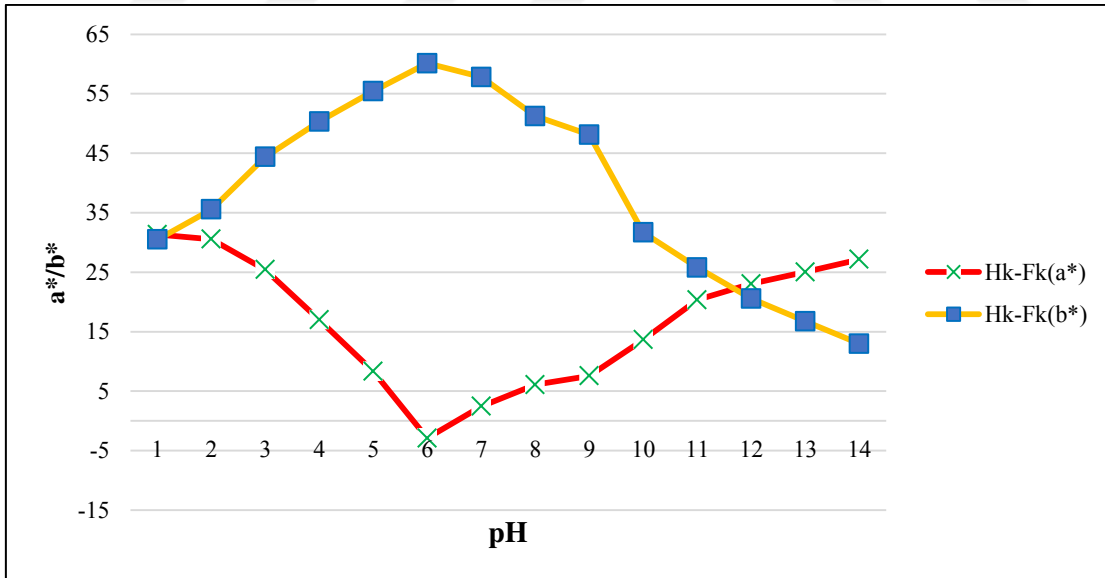
pH	Halokromik Kırmızı+ Fotokromik Kırmızı	pH	Halokromik Kırmızı+ Fotokromik Kırmızı
1		8	
2		9	
3		10	
4		11	
5		12	
6		13	
7		14	

Halokromik boyanın fotokromik boyayla ikili karışım şeklinde boyandığı numunenin renk değişimleri renk değişimi gözlem kabiniinde gözlemlendikten sonra, elde edilen

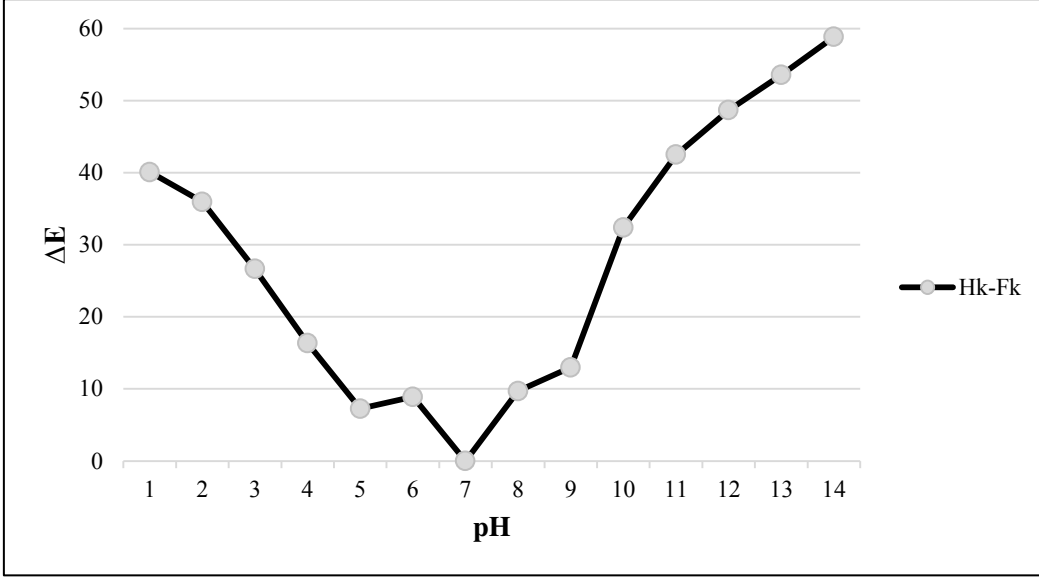
görüntüler sayısallaştırılarak CIE L*a*b* değerleri elde edilmiştir. Bu değerlerden yola çıkılarak pH 7'deki renk referans alınıp ΔE değerleri de hesaplanmıştır. Sonuçlar Şekil 4.26-4.28'de verilmektedir.



Şekil 4.26. Emdirme yöntemine göre halokromik boyanın fotokromik boyayla ikili karışım şeklinde boyandığı numunenin renk değişimi gözlem kabiniinde gözlenen pH'a bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen L* değerleri



Şekil 4.27. Emdirme yöntemine göre halokromik boyanın fotokromik boyayla ikili karışım şeklinde boyandığı numunenin renk değişimi gözlem kabiniinde gözlenen pH'a bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen a* ve b* değerleri



Şekil 4.28. Emdirme yöntemine göre halokromik boyanın fotokromik boyayla ikili karışım şeklinde boyandığı numunenin renk değişimi gözlem kabini içinde gözlenen pH'a bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen ΔE değerleri

Şekil 4.26-4.28 incelendiğinde, halokromik boya olarak fenol kırmızısı ve kırmızı renkli fotokromik boya içeren ikili karışımlar ile boyanan kumaşların rengi pH 6'da en açık (en büyük L^* değeri) çıkmıştır. pH 6 değerinden pH 14 değerine yani alkali ortama gidildikçe renk koyulaşmıştır. pH 6 değerinden pH 1 değerine yani asidik ortama gidildikçe de renk koyulaşmış, ama koyulaşma baz buharındaki renk değişimi kadar büyük olmamıştır.

Halokromik boyanın fotokromik boyayla ikili karışım şeklinde boyandığı numunelerde pH 6'da renk en sarı halini almıştır. pH değeri 6'dan 14'e veya 6'dan 1'e gittikçe b^* değeri azalmış (daha az sarı), a^* değeri ise artmıştır (daha kırmızı). Meydana gelen renk değişimi oldukça büyüktür.




Kırmızı halokromik ve kırmızı fotokromik boya içeren ikili karışım ile boyanan kumaşta pH 7 noktası referans alınarak hesaplanan toplam renk farklılığı değerleri incelendiğinde, pH 14'e veya pH 1'e giderken ΔE değerinin arttığı görülmektedir. Ayrıca bazik ortamdaki renk değişiminin asidik ortama göre daha fazla olduğu söylenebilir.

Özetle "Halokromik Kırmızı + Fotokromik Kırmızı" kumaşın renginin NH_4OH etkisinde sarıdan kahverengiye, HCl etkisinde ise sarıdan turuncuya dönüştüğü söylenebilir.

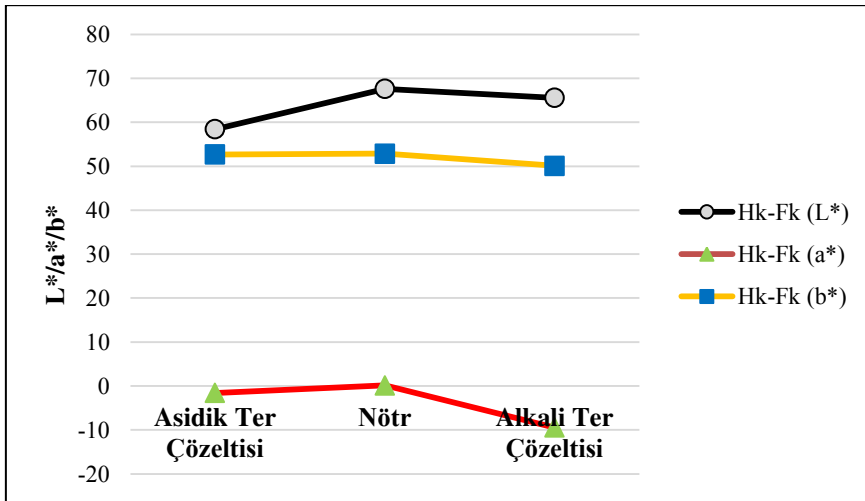
4.3.2. Bikromik kumaşın ter ile renk değiştirme özelliğinin incelenmesi

Proje kapsamında aynı zamanda kişilerin terleyip terlemediğini haber veren giysi üretilmesi de hedeflenmiştir. Çizelge 4.42’de halokromik boyanın fotokromik boyayla ikili karışım şeklinde boyandığı numunenin asidik ve bazik ter çözeltilerinde gösterdikleri renk değişimleri görölmektedir.

Çizelge 4.42. Emdirme yöntemine göre halokromik boyanın fotokromik boyayla ikili karışım şeklinde boyandığı numunenin terin etkisiyle renk değişimi

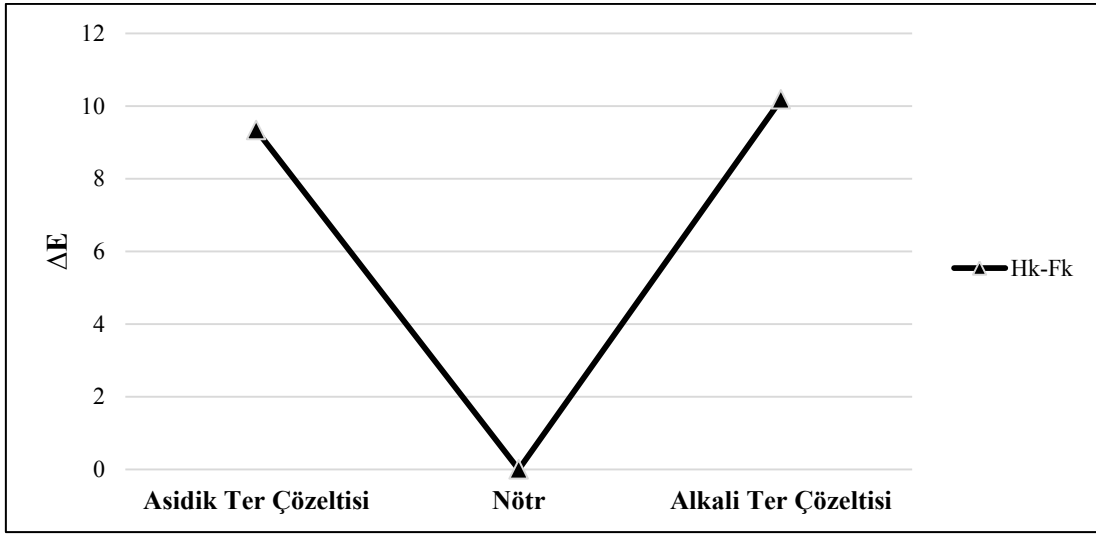
Kumaş	Asidik Ter Çözeltisi	Nötr	Bazik Ter Çözeltisi
Hk-Fk			

Çizelge 4.42 incelendiğinde “Halokromik Kırmızı + Fotokromik Kırmızı” içeren ikili boya karışımı boyanmış kumaşların asidik ter çözeltisinde rengin nüansı değişmeden sadece koyulaştığı ve renk değişiminin daha az belirgin olduğu, bazik ter çözeltisinde ise kumaş renginin tamamen değiştiği ve sarı-yeşil tonlardan kırmızı-kahverengi tonlara döndüğü anlaşılmaktadır. Kumaşın renk değişimi gözlemlendikten sonra, elde edilen görüntüler sayısallaştırılarak CIE L*a*b* değerleri elde edilmiştir. Sonuçlar Şekil 4.29’da verilmektedir.



Şekil 4.29. Emdirme yöntemine göre halokromik boyanın fotokromik boyayla ikili karışım şeklinde boyandığı numunenin asidik ve bazik ter çözeltilerindeki renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen L*, a* ve b* değerleri

Şekil 4.29 ve Şekil 4.30 incelendiğinde kumaşların başlangıç hâline göre hem asidik hem bazik ter çözeltisinde renginin koyulaştığı (L^* değerinin azaldığı) söylenebilir. Rengin nüansına gelince asidik ter çözeltisinde daha yeşil (daha küçük a^* değeri) ve daha az sarı (daha küçük b^* değeri), bazik ter çözeltisinde ise daha kırmızı (daha büyük a^* değeri) ve daha az sarı (daha küçük b^* değeri) hâle geldiği söylenebilir. Bu değerlerden yola çıkılarak nötr hâldeki renk referans alınıp ΔE değerleri hesaplandığında; asidik ve bazik ter çözeltileri için sırasıyla 9,3 ve 10,2 olduğu görülmektedir. Bu da kumaşların bazik ter ortamında daha belirgin renk değiştirdiğini ortaya koymaktadır.

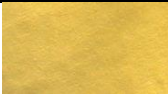
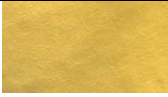
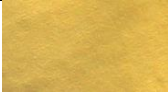




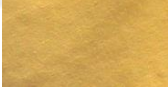

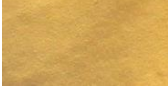





Şekil 4.30. Emdirme yöntemine göre halokromik boyanın fotokromik boyayla ikili karışım şeklinde boyandığı numunenin asidik ve bazik ter çözeltilerindeki renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen ΔE değeri

4.3.3. Bikromik kumaşların UV ışık ile renk değiştirme özelliğinin incelenmesi

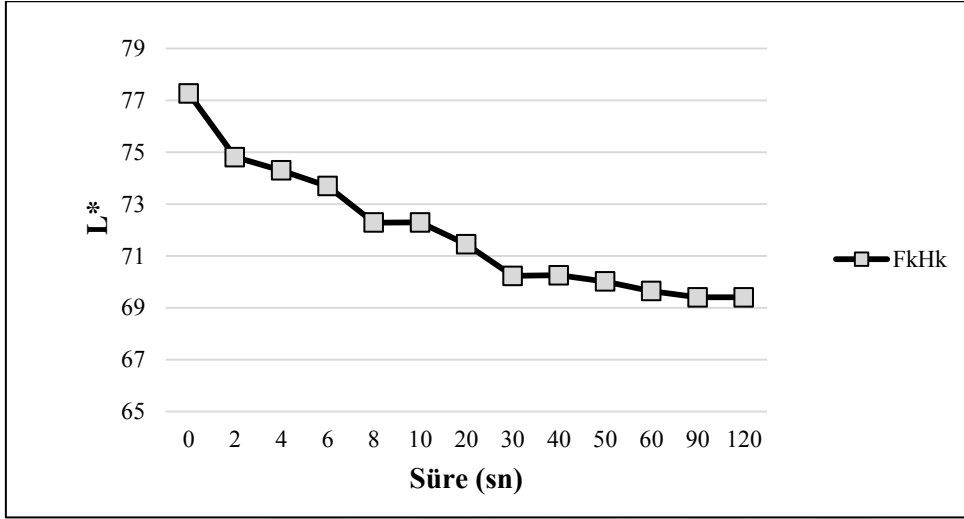
Fotokromik boyanın halokromik boyayla ikili karışım şeklinde boyandığı kumaş renk değiştirme gözlem kabini içerisine yerleştirildikten sonra UV ışık verilerek zamana bağlı renk değişimleri gözlenmiştir. Sonuçlar Çizelge 4.43'te verilmektedir.

Çizelge 4.43. Fotokromik boyanın halokromik boyayla ikili karışım şeklinde boyandığı kumaşın renk değişimi gözlem kabiniinde UV ışığın etkisiyle zamana bağlı renk değişimi

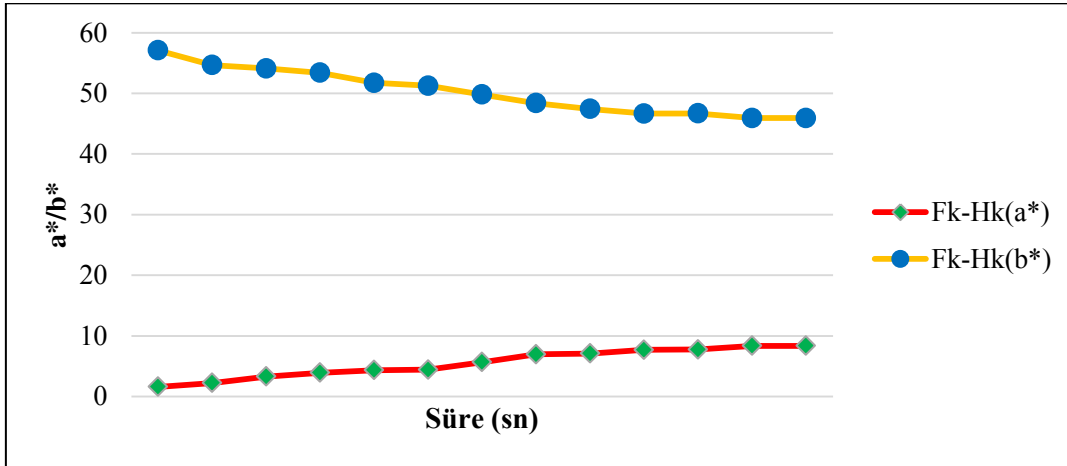
Süre	Fotokromik Kırmızı+ Halokromik Kırmızı
0	
2	
4	
6	
8	
10	
20	
30	
40	
50	
60	
90	
120	

Çizelge 4.43 incelendiğinde “Fotokromik Kırmızı + Halokromik Kırmızı ile boyanmış kumaşın başlangıçta halokromik boyanın sarı renginde iken UV ışık etkisiyle kırmızı fotokromik boyanın aktifleşmesiyle birlikte renginin turuncuya döndüğü görülmektedir.

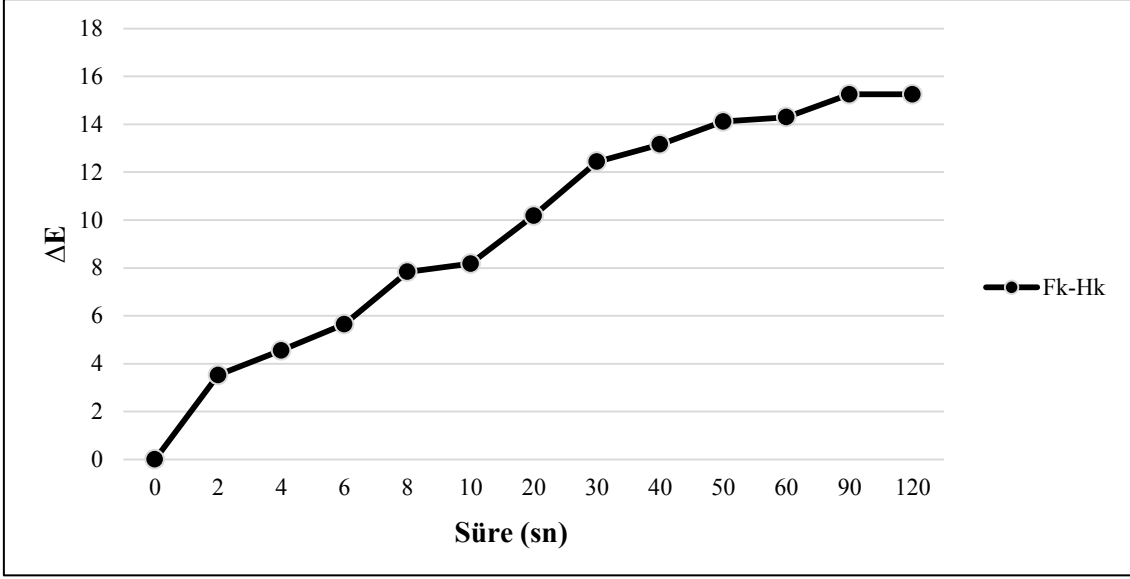
Fotokromik boyanın halokromik boyayla ikili karışım şeklinde boyandığı kumaşın renk değişimi renk değişimi gözlem kabiniinde gözlemlendikten sonra, elde edilen görüntüler sayısallaştırılarak CIE L*a*b* değerleri elde edilmiştir. Bu değerlerden yola çıkılarak başlangıçtaki renk referans alınıp ΔE değerleri de hesaplanmıştır. Sonuçlar Şekil 4.31-4.33'te verilmektedir.



Şekil 4.31. Fotokromik boyanın halokromik boyayla ikili karışım şeklinde boyandığı kumaşın renk değişimi gözlem kabiniinde gözlenen süreye bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen L* değerleri



Şekil 4.32. Fotokromik boyanın halokromik boyayla ikili karışım şeklinde boyandığı kumaşın renk değişimi gözlem kabiniinde gözlenen süreye bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen a* ve b* değerleri



Şekil 4.33. Fotokromik boyanın halokromik boyayla ikili karışım şeklinde boyandığı kumaşın renk değişimi gözlem kabinde gözlenen süreye bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen ΔE değerleri

Şekil 4.31-4.33 incelendiğinde kumaşların UV ışığın etkisiyle zamana bağlı olarak renk koyuluğunun arttığı (L^* değerinin azaldığı), kırmızılık değerinin arttığı (a^* değerinin arttığı), sarılık değerinin azaldığı (b^* değerinin azaldığı) anlaşılmaktadır. Toplam renk farklılığı değerleri incelendiğinde ΔE değerinin de süreye bağlı olarak arttığı, 90 saniyede dengeye geldiği görülmüştür.

5. GENEL SONUÇLAR

Halokromik ve fotokromik pamuklu kumaş eldesi için konvansiyonel çektirme ve emdirme yöntemlerinin kullanılabilirliğinin araştırıldığı bu tez projesinde bu boyaların 20 g/L binder içeren flotte ile emdirme sonrası kurutma ve kondenzasyon şeklinde yapılacak bir aplikasyonla pamuklu kumaşları düzgün ve iyi haslıklara sahip olacak şekilde boyadığı saptanmıştır. Halokromik boyalarla boyama yapılacağı zaman ise doğrudan veya pamuğa kationikleştirme işlemi uygulanıp ardından çektirme yöntemine göre de boyama yapmanın uygun olduğu tespit edilmiştir. Renk değişimi gözlem kabiniinde yapılan testler sonucunda halokromik kumaşın pH, asit-baz buharları ve ter ile; fotokromik kumaşın ise UV ışığı ile çok iyi renk değiştirme özelliği gösterdiği ve bu kabiliyetlerini 20 tekrara varan uzun döngüler sonrası bile korudukları saptanmıştır.

Üretilcek bikromik sensör giysilerde doğru renk değişimi tepkisi alabilmek için boyaların renk kuvvetlerinin göz önünde bulundurulmasının kritik öneme sahip olduğu görülmüştür. Bu nedenle, halokromik ve fotokromik boyaların ikili kombinasyonlarında boya konsantrasyonunun halokromik boya için 1 g/L, fotokromik boya için 75 g/L olduğu söylenebilir.

Yapılan çalışmalarda halokromik boyalarda boya miktarını artırarak daha koyu renklerin eldesinin mümkün olduğu, ancak bu sefer de yaş haslıkların bozulduğu görülmüştür. Fotokromik boyalarda ise boya miktarı yüksek tutulsa bile elde edilen renk kuvveti düşük olmaktadır. Bu noktada kromik boyaların çok çeşitli renk tonları ve/veya koyuluklarının isteneceği gündelik giysilerde değil de özel amaçlı akıllı giysilerde kullanılmasının daha doğru bir uygulama olacağı söylenebilir.

Tez projesi kapsamında bikromik kumaşların pH (asit ve baz buharları) ve/veya ışık etkisiyle renk değişiminin gözlemlenebileceği bir kabin tasarımı başarı ile gerçekleştirilmiştir. Burada kumaşların kamera ile renk değişimleri ortam pH'ına ve süreye bağlı olarak saptanabilmektedir.

Her iki boya grubu ile bikromik olarak boyanan kumaşın gerçek ortam simüle edilerek hazırlanan renk değişim testlerinde başarılı sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Üretilen bikromik kumaş hem pH hem ışık değişikliklerine karşı tepki verebilmekte olup, tepki verebilme kabiliyetini 20 döngü gibi uzun sürelerde bozulmadan koruyabilmektedir.

Bu tez kapsamında yapılan araştırmalar sonucunda;

- ortamda tehlikeli bir kimyasal olup olmadığını (asit-baz buharları) (**halokromik**) haber verme,
 - bir yandan UV ışınlarına karşı koruma sağlarken diğer yandan UV ışınları ile renk değiştirerek (**fotokromik**) görsel efekt yaratma,
- fonksiyonelliklerinden biri veya ikisini sağlayabilen akıllı pamuklu kumaşların üretilmesi için yöntem geliştirilmesi hedefine başarıyla ulaşıldığı söylenebilir.

Yapılan çalışmada standart koşullarda görüntülenen kumaşların renk değişimlerinin görüntü işleme ile başarılı bir şekilde sayısallaştırılabildiği görülmüştür. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda bu yöntem ile halokromik boyarmaddeler ile boyanan kumaşların kabin içersine belirli konsantrasyonlarda alkali veya asit buharı uygulayarak renk değişiminin incelenmesi üzerinde çalışılabilir. Böylece üretilecek sensör kumaşların ortam pH'mın kaç olduğuna dair bilgi vermesinin ötesinde doğrudan ortamdaki asit ya da alkali konsantrasyonu hakkında fikir vermesi mümkün olabilecektir. Bunun ötesinde farklı tür kromik boyaların kombine edilmesinin yanı sıra aynı sınıftaki (örneğin, halokromik) farklı boyaların kombine edilmesi üzerinde de çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

Abate, M.T., Seipel, S., Yu, J., Vikov, M., Vik, M., Ferri, A., Guan, J., Chen, G., Nierstrasz, V., (2020). Supercritical CO₂ dyeing of polyester fabric with photochromic dyes to fabricate UV sensing smart textiles. *Dyes and Pigments*, 183, 1-10.

Aldib, M., Christie, R. M. (2011). Textile applications of photochromic dyes. Part 4: application of commercial photochromic dyes as disperse dyes to polyester by exhaust dyeing. *Coloration Technology*, 127, 282-287.

Aldib, M., Christie, R. M. (2012). Textile applications of photochromic dyes. Part 5: application of commercial photochromic dyes to polyester fabric by a solventbased dyeing method. *Coloration Technology*, 129, 131-143.

Alır, S. (2018). *Elektro çekim yöntemi ile elde edilmiş fotokromik nanolifler* (Yüksek Lisans Tezi), Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Anonim (2010). Erişim adresi: <http://www.fraunhofer.de/en/press/research-news/2010/11/dressing-indicates-infections.html>

Anonim (2020a). Erişim adresi: http://en.wikipedia.org/wiki/Bromocresol_green

Anonim (2020b). Erişim adresi: <https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/sial/114510?lang=en®ion=TR>

Ayazi-Yazdi, S., Karimi, L., Mirjalili, M., Karimnejad, M. (2017). Fabrication of photochromic, hydrophobic, antibacterial and ultraviolet-blocking cotton fabric using silica nanoparticles functionalized with a photochromic dye. *The Journal of The Textile Institute*, 108(5), 856-863.

Bamfield, P. (2001). *Chromic phenomena. Technological applications of color chemistry* (2nd. ed.). Cambridge: RSC Publishing

Bao, B., Bai, S., Fan, J., Su, J., Wang, W., Yu, D. (2019). A novel and durable photochromic cotton-based fabric prepared via thiolene click chemistry. *Dyes and Pigments*, 171, 1-9.

Billah, S. M. R., Christie, R. M., Shamey, R. (2008a). Direct coloration of textiles with photochromic dyes. Part 1: Application of spiroindolinonaphthoxazines as disperse dyes to polyester, nylon and acrylic fabrics. *Coloration Technology*, 124, 223-228.

Billah, S. M. R., Christie, R. M., Morgan, K. M. (2008b). Direct coloration of textiles with photochromic dyes. Part 2: The effect of solvents on the colour change of photochromic textiles. *Coloration Technology*, 124, 229-233.

Billah, S. M. R., Christie, R. M., Shamey, R. (2012). Direct coloration of textiles with photochromic dyes. Part 3: dyeing of wool with photochromic acid dyes. *Coloration Technology*, 128(6), 488-492.

Bouas-Laurent, H., Dürr, H. (2001). Organic photochromism. *Pure Appl. Chem*, 73(4), 639-665.

Bozkurt, G. (2007). *Fotokromik bileşiklerin sentezi ve özelliklerinin incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi), Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

Byrne, C. (2000). "Technical textiles market – an overview" in *handbook of technical textiles* (2nd. ed.). England: The Textile Institute, WoodHead Publishing Limited.

Caldara, M., Colleoni, C., Guido, E., Re, V., Rosace, G., (2017), Optical monitoring of sweat pH by a textile fabric wearable sensor based on covalently bonded litmus-3-glycidoxypropyltrimethoxysilane coating. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 222, 231-220

Cheng, T., Lin, T., Fang, J., (2007). Photochromic wool fabrics from a hybrid silica coating. *Textile Research Journal*, 77(12), 923-928.

Coles, H., J, Lester., G. A., Owen, H. (2006). Fluorescent dye guest-host effects in advanced ferroelectric liquid crystals. *Liquid Crystals*, 14(4), 1039-1045.

Corns, S. N., Partington, S. M., Towns, A. D. (2009). Industrial organic photochromic dyes. *Coloration Technology*. 125(5), 249-261.

Çoşkun, E., Oğulata, R. T. (2008). Akıllı tekstiller ve genel özellikleri. *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 18(3), 101-109.

Delibaş, M. (2013). *Synthesis of photochromic coating materials* (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Demir, E., Gökçe, S., (2009). *Yıl İçi Projesi*, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Fan, F., Wu, Y., (2016). Photochromic properties of color-matching, double-shelled microcapsules covalently bonded onto cotton fabric and applications to outdoor clothing. *Journal of Applied Polymer Science*, 134(15), 1-13.

Fan, F., Zhang, W., Wang, C. (2015). Covalent bonding and photochromic properties of double-shell polyurethane-chitosan microcapsules crosslinked onto cotton fabric. *Cellulose*, 22, 1427-1438.

Ferrara, M. and Bengisu, M. (2014). *Materials that change color: smart materials, intelligent design*. (1st. ed.). Heidelberg: Springer Briefs in Applied Sciences and Technology.

Ferguson, J. L. (1984). *Encapsulated liquid crystal and method*. US Patent No: 4,435,047A.

Gezer, H. (2008). *Polimer Malzeme İle Portatif Mimari*. İstanbul: 4.Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi TMMOB yayını, İstanbul, Türkiye.

Ghosh, S., Hall, J., Joshi, V. (2018). Study of chameleon nylon and polyester fabrics using photochromic ink. *The Journal of The Textile Institute*, 109(6), 723-729.

Gray, G. W. (1990). *Thermotropic liquid crystals*. D. J. Ando ve M. G. Pellatt, (Eds.), *Fine chemicals for the electronics industry* (1st. ed.). Berlin: Springer-Verlag

He, Z., Bao, B., Fan, J., Wang, W., Yu, D. (2020a). Photochromic cotton fabric based on microcapsule technology with antifouling properties. *Colloids and Surfaces A*, 594(12), 46-61.

He, Z., Wang, W., Fan, J., Bao, B., Qin, X., Yu, D. (2020b). Photochromic microcapsules anchored on cotton fabric by layer-by-layer self-assembly method with erasable property. *Reactive and Functional Polymers*, 157(10), 47-62.

Hong, T., Choi, Y. K., Lim, T., Seo, K., Jeong, S. M., Ju, S. (2021). Elastic halochromic fiber as a reversible pH sensor. *Advanced Materials Technologies*, 6(3), 1-10.

Jalan, V., Butola, B. S., (2017). Influence of binder type on color characteristics of cotton fabric colored with a photochromic colorant. *Journal of Natural Fibers*, 15(2), 229-238.

Karabulut, K. (2013). *Akıllı tekstiller alanında kullanılmak üzere pamuklu kumaşların halokromik boyalarla boyanabilirliğinin geliştirilmesi* (TÜBİTAK 2209 Üniversite Öğrencileri Yurt İçi / Yurt Dışı Araştırma Projeleri Destekleme Programı), Namık Kemal Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ.

Kert, M., Gorjanc, M. (2017). The study of colour fastness of commercial microencapsulated photoresponsive dye applied on cotton, cotton/polyester and polyester fabric using a pad-dry-cure process. *Coloration Technology*, 133, 491-497.

Khatab, T. A., Rehan, M., Hamouda, T. (2018). Smart textile framework: Photochromic and fluorescent cellulosic fabric printed by strontium aluminate pigment. *Carbohydrate Polymers*, 195, 143-152.

Kumbasar, Akçakoca, E. P., Voncina, B., Çay, A., Elemen, S., Vivod, V. (2012). *Application of encapsulated photochromic dye for uv protective textile materials*. Egemeditex - International Congress on Healthcare and Medical Textiles, Izmir, Türkiye.

Kumbasar, Akçakoca, E. P., Çay, A., Morsümbül, S., Voncina B. (2016). Color build-up and UV-protection performance of encapsulated photochromic dye treated cotton fabrics. *AATCC Journal of Research*, 3, 1-7.

Lee, J., Kim, T., (2020). Synthesis of novel coumarin-based acid vapochromic fluorescence dye showing change of both color and fluorescence emission spectrum for application to sensitive, reusable, and washable textile sensors. *Textile Research Journal*, 91(5-6), 1-11.

Lee, J., Jun, H., Kubota, Y., Kim, T. (2021). Synthesis of red fluorescent dye with acid gas sensitive optical properties and fabrication of a washable and wearable textile sensor. *Textile Research Journal*, 0, 1-17. 16 Şubat 2021, <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0040517521994496>.

Little, A. F., Christie, R. M. (2010a). Textile applications of photochromic dyes. Part 1: establishment of a methodology for evaluation of photochromic textiles using traditional colour measurement instrumentation. *Coloration Technology*, 126(3), 157–163.

Little, A. F. ve Christie, R. M. (2010b). Textile applications of photochromic dyes. Part 2: factors affecting the photocoloration of textiles screen-printed with commercial photochromic dyes. *Coloration Technology*, 126, 164-170.

Little, A. F. ve Christie, R. M. (2011). Textile applications of photochromic dyes. Part 3: factors affecting the technical performance of textiles screen-printed with commercial photochromic dyes. *Coloration Technology*, 127, 275-281.

Mahlrig, B., Haufe, H., Bottcher, H. (2005). Functionalisation of textiles by inorganic sol-gel coatings. *Journal of Materials Chemistry Chemicals*, 15(41), 4385-4398.

Mao, H., Lin, L., Ma, Z., Wang, C., (2018). Dual-responsive cellulose fabric based on reversible acidichromic and photoisomeric polymeric dye containing pendant azobenzene. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 266, 195-203.

Mattila, H. (2006). *Intelligent textile and clothing* (1st. ed.). Cambridge: Woodhead Publishing.

McArdle, C. B. (1992). *Applied photochromic polymer systems* (1st. ed.). London: Blackie.

Meyer, T., Steyaert, I., Hemelsoet, K., Hoogenboom, R., Speybroeck, V. V., Clerck, K. (2016). Halochromic properties of sulfonphthaleine dyes in a textile environment: the influence of substituents. *Dyes and Pigments*, 124, 249-257.

Morsümbül, S. (2018). *UV koruyucu tekstil malzemelerinin geliştirilmesinde fotokromik boyaların kullanım olanakları* (Doktora Tezi), Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Orhan, E. (2007). *Organik fotokromik bileşiklerin sentezi ve fotokromik özelliklerinin incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi), Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.

Osti, E. (2008). Skin pH variations from the acute phase to re-epithelialization in burn patients treated with new materials (burnshield®, semipermeable adhesive film, dermasilk®, and hyalomatrix®) non-invasive preliminary experimental clinical trial. *The Annals of Fires and Burn Disaster*, 21(2), 73–77.

Özdemir, M. (2018). *Elektro çekim yöntemi ile fotokromik özellikli nanolifli tekstil yüzeylerinin üretimi ve karakterizasyonu* (Yüksek Lisans Tezi), Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.

Pakolpakçıl, A. (2013). *Akıllı tekstillerde kullanılmak üzere halokromik boya ile boyanmış poliamid 6,6 kumaşın yaş haslıklarının incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi), Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.

Park, Y. K., Byeong, M. O., Ra, A. J., Han, J. H., Lim, J. Y., Oh, H. J., Lim, S. J., Kim, J. H., Lee, W. S. (2020a). Fabrication of colorimetric textile sensor based on rhodamine dye for acidic gas detection, *Polymers*, 12(2), 1-12.

Park, Y. K., Oh, H. J., Bae, J. H., Lim, J. Y., Lee, H. D., Hong, S., Son, S. H., Kim, J. H., Lim, S. J., Lee, W., (2020b). Colorimetric textile sensor for the simultaneous detection of NH₃ and HCl gases. *Polymers*, 12(11), 1-14

Peila, R., Varesano, A., Vineis, C., Bobba, V., Bobba, J., Piriou, A., Barazzotto, M. (2020). Fabric dyeing with colorimetric pH-responsive colours. *Coloration technology*, 137, 123–133.

Peng, L., Guo, R., Jiang, S., Lan, J., He, Y., Huang, X. (2015). Ultrasound-aided dyeing of cotton fabric with spirooxazines and photochromic properties. *Fibers and Polymers*, 16(6), 1312-1318.

Prietto, L., Pinto, V. Z., El Halal, S. L. M., Morais, M. G., Costa, J. A. V., Lim, L. T., Diasa, A. R. G., Zavarezea, E. R. (2017). Ultrafine fibers of zein and anthocyanins as natural pH indicator. *Society of Chemical Industry*, 98(7), 2735-2741.

Promphed, N., Rattanawaleedirojn, P., Siralertmukul, K., Soatthiyanon, N., Potiyaraj, P., Thanawattano, C., Hinestroz, J. P., Rodthongkum, N., (2019), Non-invasive textile based colorimetric sensor for the simultaneous detection of sweat pH and lactate. *Talanta*, 192, 424-430.

Pubchem (2021a). *Fotokromik Kırmızı*. 12 Nisan 2021, Erişim adresi: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/2817364>.

Pubchem (2021b). *Fotokromik Mavi*. 12 Nisan 2021, Erişim adresi: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/3104873>

Rajapakse, D. (2019). An investigation of the activation of multi-colour changing photochromic textiles, *Tekstil ve Mühendis*, 26:114, 196-208.

Ramlow, H., Andrade, K. L., Immich, A. P. S. (2021). Smart textiles: an overview of recent progress on chromic textiles. *The Journal of The Textile Institute*, 112(19), 152-171

Ritter, A. (2007). *Smart materials in architecture, interior architecture and design* (1st. ed.). Basel: Birkhauser.

Schueren, L., Clerck, K. (2010). The use of pH-indicator dyes for pH-sensitive textile materials. *Textile Research Journal*, 80(7), 590–603.

Schueren, L. V., Clerck, K. (2012). Coloration and application of pH-sensitive dyes on textile materials. *Coloration Technology*, 128(2), 82–90.

Seipel, S., Yu, J., Vikova, M., Vik, M., Koldinska, M., Havelka, A. (2019). Color performance, durability and handle of inkjet-printed and UV-cured photochromic textiles for multi-colored applications. *Fibers and Polymers*, 20(7), 1424-1435.

Sharifabad, A. N., Bahrami, S. H. (2016). Halochromic chemosensor from poly(acrylonitrile)/phenolphthalein nanofibers as pH sensor. *IEEE Sensors Journal*, 16(4), 873-879.

Shen, X., Hu, Q., Ge, M., (2021). Fabrication and characterization of multi stimuli-responsive fibers via wet-spinning process, *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 250, 1-12.

Shuiping, L., Lianjiang, T., Weili, H., Xiaoqiang, L., Yanmo, C. (2010). Cellulose acetate nanofibers with photochromic property: fabrication and characterization. *Materials Letters*, 64(22), 2427– 2430.

Si, L., Zhang, Y., Yin, Y., Wang, C. (2021). Highly fatigue-resistant photochromism of wool surface printed with spiropyran/chitosan microcapsules. *Progress in Organic Coatings*, 151, 1-8.

Sigmaaldrich (2019a). *Bromkresol Moru*. 12 Nisan 2021, Erişim adresi: <https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/sigma/17490?lang=en®ion=TR>.

Sigmaaldrich (2019b). *Bromtimol Mavisi*. 12 Nisan 2021, [Erişim adresi: https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/sial/114413?lang=en®ion=TR](https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/sial/114413?lang=en®ion=TR).

Sigmaaldrich (2019c). *Fenol Kırmızısı*. 12 Nisan 2021, Erişim adresi: <https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/sial/p3532?lang=en®ion=TR>.

Son, Y., Park, Y., Park, S., Shin, C., Kim, S. (2007). Exhaustion studies of spiroxazine dye having reactive anchor on polyamide fibers and its photochromic properties. *Dyes and Pigments*, 73(1), 76-80.

Staneva, D., Betcheva, R. (2007). Synthesis and functional properties of new optical pH sensor based on Benzo[De]Anthracen-7-One immobilized on the viscose. *Dyes and Pigments*, 74(1), 148-153.

Staneva, D., Grabchev, I., Bosch, P. (2015). Fluorescent hydrogel–textile composite material synthesized by photopolymerization. *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*, 64(16), 838–847.

Steyaert, I., Vancoille, G., Richard, H., Clerk, K. (2015). Dye immobilization in halochromic nanofibers through blend electrospinning of a dye-containing copolymer and polyamide-6. *The Royal Society of Chemistry*, 6(14), 1-13.

Stojkoski, V., Kert, M., (2020). Design of pH responsive textile as a sensor material for acid rain, *Polymers*, 12(10), 1-11.

Sun, X. Z., White, C. B., Yu, Z. W., Zhu, L. M., (2015). Development of universal pH sensors based on textiles. *J Sol-Gel Sci Technol*, 74(3), 641–649.

Sun, M. Lv, J., Xu, H. Zhang, L. Zhong, Y. Chen, Z. Sui, X. Wang, B. Feng, X. Mao, Z. Smart cotton fabric screen-printed with viologen polymer:photochromic, thermochromic and ammonia sensing, *Cellulose* (2020) 27:2939–2952.

Tarakçıoğlu, I. (2002). *Türk ve Dünya Tekstili Tekstil İşveren Dergisi web sitesi*. 16 Ekim 2019, Erişim adresi: <http://www.tekstilisveren.org.tr/dergi/2002/aramlik/34.html>

Topbaş, Ö. (2020). *Kromik boyarmaddelerin kapsülasyonu ile ürün işaretlemede kullanımı üzerine alternatif yöntemler* (Doktora Tezi), Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Trovato, V., Rosace, G., Colleoni, C., Plutino, M. R. (2017), *Synthesis and characterization of halochromic hybrid sol-gel for the development of a pH sensor fabric*, 17th World Textile Conference Autex 2017, Corfu, Greece.

