



**AKILLI TEKSTİLLER ALANINDA KULLANILMAK
ÜZERE TERMOKROMİK VE MULTİKROMİK
PAMUKLU KUMAŞLAR ELDESİ**

UĞUR ERGÜNAY

**Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi
Danışman: Prof. Dr. Rıza ATAV
2022**

T.C.
TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**AKILLI TEKSTİLLER ALANINDA KULLANILMAK ÜZERE TERMOKROMİK VE
MULTİKROMİK PAMUKLU KUMAŞLAR ELDESİ**
UĞUR ERGÜNAY

ORCID: 0000-0002-2955-4686

TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Danışman: Prof. Dr. Rıza ATAV

TEMMUZ-2022
Her hakkı saklıdır.

ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ BEYANI

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak sunulan ve Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tez çalışması; TÜBİTAK tarafından 5190051 numaralı proje ile desteklenmiştir.

Uğur ERGÜNAY

22/06/2022



ÖZET

AKILLI TEKSTİLLER ALANINDA KULLANILMAK ÜZERE TERMOKROMİK VE MULTİKROMİK PAMUKLU KUMAŞLAR ELDESİ

Uğur ERGÜNAY

Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Rıza ATAV

Günümüzde katma değeri yüksek teknik, fonksiyonel ve akıllı tekstillerin önemi giderek artmaktadır. Akıllı tekstillerin bir sınıfı da kromik materyallerdir. Kromizm belirli etkenlerle (sıcaklık, çözücü, pH vb.) renkte oluşan tersinir değişikliktir. Bu tez projesi kapsamında öncelikle pamuklu kumaşların termokromik boyalarla konvansiyonel çektirme ve emdirme yöntemlerine 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. Termokromik boyalar için optimum aplikasyon yöntem ve koşulları saptandıktan sonra, termokromik boyaların halokromik ve/veya fotokromik boyalarla ikili ve üçlü kombinasyonları da gerçekleştirilmiştir. Termokromik, halokromik ve fotokromik boyaların üçlü kombinasyonu kullanılarak ortam ısısının çalışan kişi için rahatsız edici veya risk oluşturucu olup olmadığını haber veren (termokromik), iş ortamında tehlikeli bir kimyasal buharı olup olmadığını (asit-alkali buharları) haber veren (halokromik) ve bir yandan UV ışınlarına karşı koruma sağlarken diğer yandan UV ışınları ile renk değiştirerek (fotokromik) görsel efekt yaratan pamuklu akıllı multikromik sensör giysilerin üretilmesi için yöntem geliştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Termokromik, Multikromik, Akıllı Tekstil, Sensör, Pamuk

ABSTRACT

OBTAINING THERMOCHROMIC AND MULTICHROMIC COTTON FABRICS IN ORDER TO USE IN SMART TEXTILES FIELD

Uğur ERGÜNAY

Department of Textile Engineering

MSc. Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Rıza ATAV

Today, the importance of technical, functional and smart textiles with high added value is gradually increasing. One class of smart textiles is chromic materials. Chromism is a reversible change in color caused by certain factors (temperature, solvent, pH, etc.). In this thesis project, it is aimed to develop a process that will ensure the dyeability of cotton fabrics with thermochromic 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. After determining the optimum application methods and conditions for thermochromic dyes, their binary and triple combinations with halochromic and/or photochromic dyes were also performed. Using the triple combination of thermochromic, halochromic and photochromic dyes, it was achieved to develop a method for producing cotton smart sensor clothes that can provide one or both of the following functions; informing whether the ambient temperature is uncomfortable or risky for the worker (thermochromic), notifying if there is a dangerous chemical vapor (acid-base vapors) in the work 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: Thermochromic, Multichromic, Smart Textile, Sensor, Cotton

İÇİNDEKİLER

ÖZET

.....	iii
ABSTRACT	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÇİZELGE DİZİNİ	vii
ŞEKİL DİZİNİ	x
SİMGELER ve KISALTMALAR	xv
TEŞEKKÜR	xvi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	3
2.1. Termokromizm	3
2.1.1. Termokromik Bileşikler Kimyasal Yapısı.....	3
2.1.2. Leyko boya ları	5
2.1.3. Sıvı kristal boya ları.....	5
2.2. Termokromik Boyarmaddelerin Kullanım Alanları	7
2.2.1. Termokromik Boyarmaddelerin Tekstil Alanında Kullanımı ile İlgili Yapılan Önceki Çalışmalar	7
2.3. Multikromizm	12
2.3.1. Tekstilde Multikromizm ile İlgili Yapılan Önceki Çalışmalar.....	13
3. MATERYAL VE YÖNTEM	15
3.1. Materyal	15
3.2. Yöntem	15
3.2.1. Pamuk Liflerinin Katyonikleştirilmesi	16
3.2.2. Termokromik Boyalarla Boyama	16
3.2.2.1. Termokromik boya larla katyonikleştirme sonrası yün boyama prosesiyle çektirme yöntemine göre boyama	16
3.2.2.2. Termokromik boya larla katyonikleştirme sonrası pigment boyama prosesiyle çektirme yöntemine göre boyama	18
3.2.2.3 Termokromik boya larla emdirme yöntemine göre boyama	19
3.2.3. Multikromik Kumaş Üretimi	21
3.2.4. Renk Değişimi Gözlem Kabini.....	213
3.2.5. Yapılan Test ve Analizler	25

4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	27
4.1. Termokromik Boyalarla Boyamaya İlişkin Sonuçlar	27
4.1.1. Termokromik Boyalarla Katyonikleştirme Sonrası Yün Boyama Prosesiyle Çektirme Yöntemine Göre Boyamaya İlişkin Sonuçlar.....	27
4.1.2. Termokromik Boyalarla Katyonikleştirme Sonrası Pigment Boyama Prosesiyle Çektirme Yöntemine Göre Boyamaya İlişkin Sonuçlar.....	28
4.1.3. Termokromik Boyalarla Emdirme Yöntemine Göre Boyamaya İlişkin Sonuçlar	29
4.2.. Bikromik ve Multikromik Boyamaya İlişkin Sonuçlar	29
4.2.1. Bikromik ve Multikromik Kumaşların Ph İle Renk Değişirme Özelliğinin İncelenmesi	40
4.2.2. Multikromik Kumaşların Ter ile Renk Değişirme Özelliğinin İncelenmesi	46
4.2.3. Multikromik Kumaşların Sıcaklık ile Renk Değişirme Özelliğinin İncelenmesi..	46
4.2.4. Multikromik Kumaşların Uv Işık ile Renk Değişirme Özelliğinin İncelenmesi..	52
4.3 Numune Ölçekli Multikromik Kumaş Üretimine İlişkin Sonuçlar.....	59
4.3.1 İşletmede Boyanan Multikromik kumaşın pH ile renk değiştirme özelliğinin incelenmesi.....	61
4.3.2 İşletmede Boyanan Multikromik kumaşın sıcaklık ile renk değiştirme özelliğinin incelenmesi.....	65
4.3.3 İşletmede boyanan multikromik kumaşın UV ışık ile renk değiştirme özelliğinin incelenmesi.....	69
4.3.4 İşletmede Boyanan Multikromik kumaşın farklı etkiler ile renk değiştirme özelliğinin incelenmesi.....	73
4. GENEL SONUÇLAR.....	75
5. KAYNAKLAR	78
ÖZGEÇMİŞ	82

ÇİZELGE DİZİNİ

Çizelge 1.1. 2001-2022 yılları arasında tekstil alanında ve tekstil alanı dışında halokromik, termokromik ve fotokromik konularında yapılan çalışmalar	1
Çizelge 2.1. Sıvı kristal ve leyko boyaların avantaj ve dezavantajları	6
Çizelge 2.2. Pamuklu kumaşlar üzerinde termokromizm ile ilgili çalışmalar.....	12
Çizelge 3.1. Denemelerde kullanılan kumaşın özellikleri.....	15
Çizelge 3.2. Katyonikleştirme sonrası yün boyama prosesiyle termokromik boyalarla boyama denemelerinde kullanılan faktörler ve seviyeleri.....	17
Çizelge 3.3. Katyonikleştirme sonrası pigment boyama prosesiyle termokromik boyalarla boyama denemelerinde kullanılan faktörler ve seviyeleri.....	19
Çizelge 3.4. Emdirme yöntemine göre boyama denemelerinde kullanılan faktörler ve seviyeleri	20
Çizelge 4.1. Mavi renkli termokromik boya ile emdirme yöntemine göre boyanan numunelerin renk verimi (K/S) değerleri ve fotoğrafları.....	30
Çizelge 4.2. Kırmızı renkli termokromik boya ile emdirme yöntemine göre boyanan numunelerin renk verimi (K/S) değerleri ve fotoğrafları	31
Çizelge 4.3. Termokromik boyalarla emdirme yöntemine göre optimum koşullarda boyanan kumaşların yıkama ve sürtme haslığı sonuçları.....	32
Çizelge 4.4. Termokromik boyalarla emdirme yöntemine göre boyanan numunelerin ter ve ışık haslığı sonuçları	32
Çizelge 4.5. Emdirme yöntemine göre termokromik boyalarla boyanmış kumaşların renk değişimi gözlem kabiniinde sıcaklığa bağlı renk değişimi.....	34
Çizelge 4.6. Emdirme yöntemine göre termokromik mavi boya ile boyanmış kumaşın renk değişimi gözlem kabiniinde her bir sıcaklık döngüsü sonrası renk ölçüm değerleri.....	37
Çizelge 4.7. Emdirme yöntemine göre boyanan multikromik numunelerin renk verimi (K/S) değerleri ve fotoğrafları	39
Çizelge 4.8. Emdirme yöntemine göre boyanan multikromik numunelerin yıkama ve sürtme haslığı sonuçları.....	39
Çizelge 4.9. Emdirme yöntemine göre boyanan multikromik numunelerin ter ve ışık haslığı sonuçları	40
Çizelge 4.10. Emdirme yöntemine göre halokromik boyanın termokromik boyayla ikili veya termokromik ve fotokromik boyalarla üçlü karışımlar şeklinde boyandığı numunelerin farklı pH'a sahip çözeltilerde gösterdikleri renk değişimi	41

Çizelge 4.11. Emdirme yöntemine göre halokromik boyanın termokromik boyayla ikili veya termokromik ve fotokromik boyalarla üçlü karışımlar şeklinde boyandığı numunelerin renk değişimi gözlem kabiniinde pH'ın etkisiyle renk değişimi	42
Çizelge 4.12. Halokromik boyanın termokromik ve fotokromik boyalarla üçlü karışım şeklinde boyandığı numunenin renk değişimi gözlem kabiniinde her bir asit- alkali döngüsü sonrası renk ölçüm değerleri	45
Çizelge 4.13. Emdirme yöntemine göre halokromik boyanın termokromik boyayla ikili veya termokromik ve fotokromik boyalarla üçlü karışımlar şeklinde boyandığı numunelerin terin etkisiyle renk değişimi.....	46
Çizelge 4.14. Termokromik boyanın halokromik ve/veya fotokromik boyalarla ikili ve üçlü karışımlar şeklinde boyandığı kumaşların renk değişimi gözlem kabiniinde sıcaklığa bağlı renk değişimi	49
Çizelge 4.15. Termokromik boyanın halokromik ve fotokromik boyalarla üçlü karışım şeklinde boyandığı kumaşın renk değişimi gözlem kabiniinde her bir sıcaklık döngüsü sonrası renk ölçüm değerleri.....	51
Çizelge 4.16. Fotokromik boyanın termokromik boyayla ikili veya termokromik ve halokromik boyalarla üçlü karışımlar şeklinde boyandığı kumaşların renk değişimi gözlem kabiniinde UV ışığın etkisiyle zamana bağlı renk değişimi.....	53
Çizelge 4.17. Fotokromik boyanın halokromik ve termokromik boyalarla üçlü karışım şeklinde boyandığı kumaşın renk değişimi gözlem kabiniinde UV ışık döngüsü sonrası renk ölçüm değerleri.....	56
Çizelge 4.18: Multikromik kumaşların farklı etkilerdeki renk değişimi tablosu	57
Çizelge 4.19. Optimum koşullarda işletmede emdirme yöntemine göre boyanan multikromik kumaşların yıkama ve sürtme haslığı sonuçları.....	60
Çizelge 4.20. Optimum koşullarda işletmede emdirme yöntemine göre boyanan multikromik kumaşların ter ve ışık haslığı sonuçları	60
Çizelge 4.21. Halokromik, termokromik ve fotokromik boyaların üçlü karışımları ile işletmede boyanmış olan numunenin renk değişimi gözlem kabiniinde pH'ın etkisiyle renk değişimi ...	61
Çizelge 4.22. İşletme şartlarında halokromik boyanın termokromik ve fotokromik boyalarla üçlü karışım şeklinde boyandığı numunenin renk değişimi gözlem kabiniinde her bir asit- alkali döngüsü sonrası renk ölçüm değerleri	64
Çizelge 4.23. İşletme şartlarında emdirme yöntemine göre kromik boyalarla üçlü karışım şeklinde boyanan numunenin renk değişimi gözlem kabiniinde sıcaklığın etkisiyle renk değişimi	65

Çizelge 4.24. İşletme şartlarında emdirme yöntemine göre kromik boyalarla üçlü karışım şeklinde boyanan numunenin renk değişimi gözlem kabiniinde her bir sıcaklık döngüsü sonrası renk ölçüm değerleri.....	68
Çizelge 4.25. İşletme şartlarında emdirme yöntemine göre kromik boyalarla üçlü karışım şeklinde boyanan numunenin renk değişimi gözlem kabiniinde UV ışık etkisiyle renk değişimi	69
Çizelge 4.26. İşletme şartlarında emdirme yöntemine göre kromik boyalarla üçlü karışım şeklinde boyanan numunenin renk değişimi gözlem kabiniinde UV ışık döngüsü sonrası renk ölçüm değerleri.....	72
Çizelge 4.27. İşletme şartlarında optimum reçeteyle boyanan kumaşın farklı etkilerdeki renk değişim tablosu.....	73



ŞEKİL DİZİNİ

Şekil 1.1. 2001-2020 yılları arasında doğrudan tekstil alanına uygulanan (solda) ve tekstil alanı dışında çalışılan (sağda) uygulanan kromizmin türüne göre yayın sayıları	2
Şekil 2.1. İndigo (sağda) ve leyko indigonun (solda) kimyasal formülü	5
Şekil 2.2. Katı kristal fazı, sıvı kristal fazı ve izotropik sıvı fazı arasındaki geçişler	6
Şekil 2.3. Termokromik boyaların çeşitli kullanım alanları	7
Şekil 2.4.a) üç katmanlı kompozit lif üretimi, b) üretilen liflerin farklı sıcaklıktaki renk değişimleri	8
Şekil 2.5. a) Vucut ısısı ile renk değiştiren termokromik özellikteki deri b) soğuk bardağın termokromik özellikteki derinin üzerine koyulması ile oluşan renk değişimi	9
Şekil 2.6. Farklı sıcaklıklarda termokromik mürekkeplerin (üst sıra) ve termokromik liflerin (alt sıra) mikroskop görüntüleri	10
Şekil 2.7. Termokromik boya ile boyanmış ipliklerin tersinir renk değişimi	11
Şekil 2.8. Cebral ve Souto tarafından üretilen multikromik kumaşın farklı etkilere karşı tepkisi	13
Şekil 2.9. Üretilen multikromik özellikli kumaşın amonyak, ışık ve sıcaklık etkisiyle renk değişimi	14
Şekil: 3.1. Denemelerde kullanılan halokromik, termokromik ve fotokromik boyalar	15
Şekil 3.2. Denemelerde kullanılan katyonikleştirme maddesinin yapısı.....	16
Şekil 3.3. Denemelerde kullanılan Termal HT boyama cihazı.....	17
Şekil 3.4. Katyonikleştirme sonrası yün boyama prosesine göre boyama grafiği.....	18
Şekil 3.5. Katyonikleştirme sonrası pigment boyama prosesiyle boyama grafiği	19
Şekil 3.6. Denemelerde kullanılan fulard (solda) ve gergefli kurutucu (sağda).....	20
Şekil 3.7. Renk değişim kabini üç boyutlu teknik çizimi.....	24
Şekil 3.8. Çalışmada kullanılan spektrofotometre.....	25
Şekil 3.9. Denemelerde kullanılan UV/vis spektrofotometresi.....	26
Şekil 4.1. Mavi renkli termokromik boya ile çektirme yöntemine göre farklı koşullarda yapılan boyamaların sonuçları.....	27
Şekil 4.2. Kırmızı ve mavi renkli termokromik boyalar ile çektirme yöntemine göre yapılan boyamanın sonucu	28
Şekil 4.3. Mavi ve kırmızı renkli termokromik boyalar ile katyonikleştirme sonrası pigment boyama prosesiyle çektirme yöntemine göre yapılan boyamaların sonuçları.....	28
Şekil 4.4. Isı indeksi	29

Şekil 4.5. Termokromik boya çözeltilerinin sıcaklık ile renk değişimi.....	33
Şekil 4.6. Termokromik boyarmaddelerin farklı sıcaklıklardaki 0,5 g/L'lik çözeltilerinin absorpsiyon ölçümleri.....	33
Şekil 4.7. Emdirme yöntemine göre mavi renkli termokromik boya ile boyanmış pamuklu kumaşların renk değişimi gözlem kabini içinde gözlenen sıcaklığa bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen L* değerleri.....	35
Şekil 4.8. Emdirme yöntemine göre mavi renkli termokromik boya ile boyanmış pamuklu kumaşların renk değişimi gözlem kabini içinde gözlenen sıcaklığa bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen a* ve b* değerleri.....	35
Şekil 4.9. Emdirme yöntemine göre mavi renkli termokromik boya ile boyanmış pamuklu kumaşların renk değişimi gözlem kabini içinde gözlenen sıcaklığa bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen ΔE değerleri	35
Şekil 4.10. Mavi renkli termokromik boya ile boyanan kumaşın renk değişimi gözlem kabini içinde 35 °C ve 40 °C'ta aldığı renkler	36
Şekil 4.11. Emdirme yöntemine göre termokromik mavi boya ile boyanmış kumaşın renk değişimi gözlem kabini içinde her bir sıcaklık döngüsü sonrası başlangıç haline göre toplam renk farklılığı değerleri	37
Şekil 4.12. Emdirme yöntemine göre halokromik boyanın termokromik boyayla ikili veya termokromik ve fotokromik boyalarla üçlü karışımlar şeklinde boyandığı numunelerin renk değişimi gözlem kabini içinde gözlenen pH'a bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen L* değerleri.....	43
Şekil 4.13. Emdirme yöntemine göre halokromik boyanın termokromik boyayla ikili veya termokromik ve fotokromik boyalarla üçlü karışımlar şeklinde boyandığı numunelerin renk değişimi gözlem kabini içinde gözlenen pH'a bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen a* ve b* değerleri.....	43
Şekil 4.14. Emdirme yöntemine göre halokromik boyanın termokromik boyayla ikili veya termokromik ve fotokromik boyalarla üçlü karışımlar şeklinde boyandığı numunelerin renk değişimi gözlem kabini içinde gözlenen pH'a bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen ΔE değerleri	44
Şekil 4.15. Halokromik boyanın termokromik ve fotokromik boyalarla üçlü karışımlar şeklinde boyandığı numunenin her bir asit-alkali döngüsü sonrası başlangıç haline göre toplam renk farklılığı değerleri	45
Şekil 4.16. Emdirme yöntemine göre halokromik boyanın termokromik boyayla ikili (üstte) veya termokromik ve fotokromik boyalarla üçlü (altta) karışımlar şeklinde boyandığı	

numunelerin asidik ve alkali ter çözeltilerindeki renk değişiminin sayısallaştırılmasıyla elde edilen L^* , a^* ve b^* değerleri	47
Şekil 4.17. Emdirme yöntemine göre halokromik boyanın termokromik ve/veya fotokromik boyalarla ikili ve üçlü karışımlar şeklinde boyandığı numunelerin asidik ve alkali ter çözeltilerindeki renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen ΔE değeri.....	47
Şekil 4.18. Termokromik boyanın halokromik ve/veya fotokromik boyalarla ikili ve üçlü karışımlar şeklinde boyandığı kumaşların renk değişimi gözlem kabini içinde gözlenen sıcaklığa bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen L^* değerleri.....	50
Şekil 4.19. Termokromik boyanın halokromik ve/veya fotokromik boyalarla ikili ve üçlü karışımlar şeklinde boyandığı kumaşların renk değişimi gözlem kabini içinde gözlenen sıcaklığa bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen a^* ve b^* değerleri.....	50
Şekil 4.20. Termokromik boyanın halokromik ve/veya fotokromik boyalarla ikili ve üçlü karışımlar şeklinde boyandığı kumaşların renk değişimi gözlem kabini içinde gözlenen sıcaklığa bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen ΔE değerleri	50
Şekil 4.21. Termokromik boyanın halokromik ve fotokromik boyalarla üçlü karışım şeklinde boyandığı kumaşın renk değişimi gözlem kabini içinde her bir sıcaklık döngüsü sonrası başlangıç haline göre toplam renk farklılığı değerleri.....	52
Şekil 4.22. Fotokromik boyanın termokromik boyayla ikili veya termokromik ve halokromik boyalarla üçlü karışımlar şeklinde boyandığı kumaşların renk değişimi gözlem kabini içinde gözlenen süreye bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen L^* değerleri.....	54
Şekil 4.23. Fotokromik boyanın termokromik boyayla ikili veya termokromik ve halokromik boyalarla üçlü karışımlar şeklinde boyandığı kumaşların renk değişimi gözlem kabini içinde gözlenen süreye bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen a^* ve b^* değerleri	54
Şekil 4.24. Fotokromik boyanın termokromik boyayla ikili veya termokromik ve halokromik boyalarla üçlü karışımlar şeklinde boyandığı kumaşların renk değişimi gözlem kabini içinde gözlenen süreye bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen ΔE değerleri	55
Şekil 4.25. Fotokromik boyanın halokromik ve termokromik boyalarla üçlü karışım şeklinde boyandığı kumaşın renk değişimi gözlem kabini içinde her bir UV ışık döngüsü sonrası başlangıç haline göre toplam renk farklılığı değerleri.....	56
Şekil 4.26. Emdirme yöntemine göre halokromik, termokromik ve fotokromik boyalarla üçlü karışımlar şeklinde boyanan numunenin farklı etkilerde renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen L^* değerleri.....	58

Şekil 4.27. Emdirme yöntemine göre halokromik, termokromik ve fotokromik boya larla üçlü karışımlar şeklinde boyanan numunenin farklı etkilerde renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen a^* ve b^* değerleri.....	59
Şekil 4.28. Emdirme yöntemine göre halokromik, termokromik ve fotokromik boya larla üçlü karışımlar şeklinde boyanan numunenin farklı etkilerde renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen ΔE değerleri	59
Şekil 4.29. Emdirme yöntemine göre halokromik boyanın termokromik ve fotokromik boya larla üçlü karışımlar şeklinde boyandığı numunenin renk değişimi gözlem kabini nde gözlenen pH'a bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen L^* değerleri	62
Şekil 4.30. Emdirme yöntemine göre halokromik boyanın termokromik ve fotokromik boya larla üçlü karışımlar şeklinde boyandığı numunenin renk değişimi gözlem kabini nde gözlenen pH'a bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen a^* ve b^* değ erl	62
Şekil 4.31. Emdirme yöntemine göre halokromik boyanın termokromik ve fotokromik boya larla üçlü karışımlar şeklinde boyandığı numunenin renk değişimi gözlem kabini nde gözlenen pH'a bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen ΔE değ erleri.....	63
Şekil 4.32. İşletme şartlarında halokromik boyanın termokromik ve fotokromik boya larla üçlü karışımlar şeklinde boyandığı numunenin her bir asit-alkali döngüsü sonrası başlangıç haline göre toplam renk farklılığı değerleri.....	64
Şekil 4.33. İşletme şartlarında emdirme yöntemine göre halokromik boyanın termokromik ve fotokromik boya larla üçlü karışımlar şeklinde boyandığı numunenin renk değişimi gözlem kabini nde gözlenen sıcaklığa bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından el	66
Şekil 4.34. İşletme şartlarında emdirme yöntemine göre halokromik boyanın termokromik ve fotokromik boya larla üçlü karışımlar şeklinde boyandığı numunenin renk değişimi gözlem kabini nde gözlenen sıcaklığa bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından el	66
Şekil 4.35. İşletme şartlarında emdirme yöntemine göre halokromik boyanın termokromik ve fotokromik boya larla üçlü karışımlar şeklinde boyandığı numunenin renk değişimi gözlem kabini nde gözlenen sıcaklığa bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından el	67
Şekil 4.36. İşletme şartlarında emdirme yöntemine göre kromik boya larla üçlü karışım şeklinde boyanan numunenin her bir sıcaklık döngüsü sonrası başlangıç haline göre toplam renk farklılığı değerleri.....	68
Şekil 4.37. İşletme şartlarında emdirme yöntemine göre halokromik, termokromik ve fotokromik boya larla üçlü karışım şeklinde boyanan numunenin renk değişimi gözlem kabini nde gözlenen UV ışık süresine bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde elde e	70

Şekil 4.38. İşletme şartlarında emdirme yöntemine göre halokromik, termokromik ve fotokromik boyalarla üçlü karışım şeklinde boyanan numunenin renk değişimi gözlem kabininde gözlenen UV ışık süresine bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen a^* ve b^* değerleri	70
Şekil 4.39. İşletme şartlarında emdirme yöntemine göre halokromik, termokromik ve fotokromik boyalarla üçlü karışım şeklinde boyanan numunenin renk değişimi gözlem kabininde gözlenen UV ışık süresine bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen ΔE değerleri	71
Şekil 4.40. İşletme şartlarında emdirme yöntemine göre kromik boyalarla üçlü karışım şeklinde boyanan numunenin her bir ışık döngüsü sonrası başlangıç haline göre toplam renk farklılığı değerleri	72
Şekil 4.41. Emdirme yöntemine göre halokromik, termokromik ve fotokromik boyalarla üçlü karışımlar şeklinde boyanan numunenin farklı etkilerde renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen L^* değerleri.....	74
Şekil 4.42. Emdirme yöntemine göre halokromik, termokromik ve fotokromik boyalarla üçlü karışımlar şeklinde boyanan numunenin farklı etkilerde renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen a^* ve b^* değerleri.....	75
Şekil 4.43. Emdirme yöntemine göre halokromik, termokromik ve fotokromik boyalarla üçlü karışımlar şeklinde boyanan numunenin farklı etkilerde renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen ΔE değerleri	75

KISALTMALAR DİZİNİ


Hk	: Halokromik Kırmızı
Fk	: Fotokromik Kırmızı
Tm	: Termokromik mavi
HCl	: Hidroklorik Asit
NaOH	: Sodyum Hidroksit
NH ₄ OH	: Amonyum Hidroksit
UV	: Ultraviyole
RGB	: Red, Green, Blue (Kırmızı, Yeşil, Mavi)



TEŞEKKÜR

Bu çalışmada ve her zaman değerli rehberliği ile yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Rıza ATAV'a büyük teőekkürü borç bilirim. Yaptığımız bu projede birlikte çalışmaktan onur duyduğum çok değerli arkadaşım Eray AKKUŞ'a ve her zaman bana destek olan sevgili arkadaşım Brhan BUğDAYCI'ya teőekkürlerimi sunarım.

Üniversite-Sanayi iş birliği kapsamındaki 5190051 nolu TÜBİTAK 1505 projesi kapsamında verdiği destekten ötürü TÜBİTAK'a ve çalışma sırasında desteklerini esirgemeyen zen Mensucat Boya Terbiye İŐl. A.Ő. alışanlarına teőekkürlerimi sunarım.



Uğur ERGÜNAY
Tekstil Mühendisi
Temmuz 2022

1. GİRİŞ

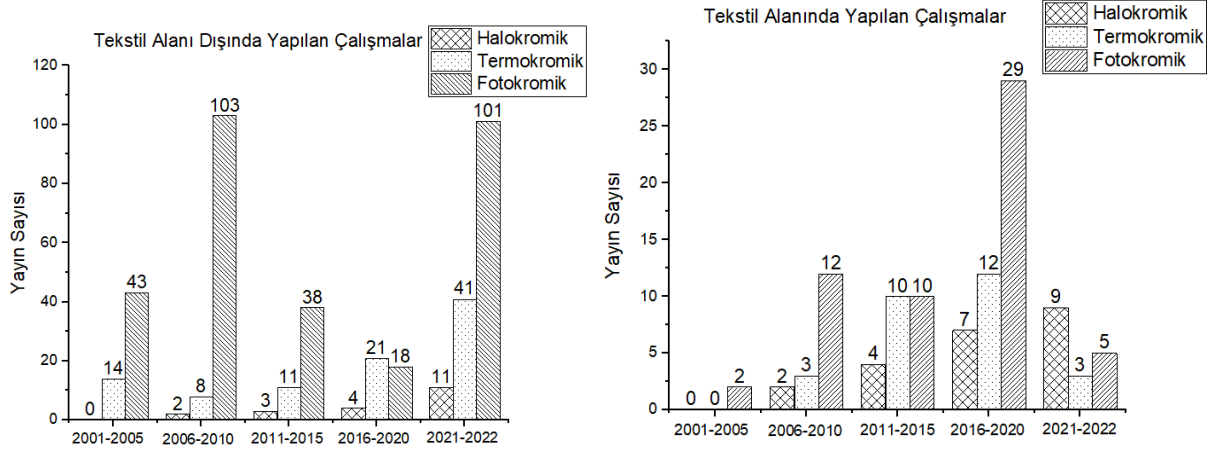
Akıllı tekstiller, normal tekstil ürünlerinin doğal atmosfer şartlarından koruma ve süsleme özelliklerine ilave olarak herhangi bir etkiyi (ışık, ısı, basınç, elektromanyetik dalgalar, ses ve ses ötesi dalgalar, hareket vs.) veya etki değişikliğini algılama ve buna bir tepki verme özelliğine sahip olan tekstil ürünleridir (Tarakçioğlu, 2002). Akıllı tekstillerin bir sınıfı da kromik materyallerden elde edilen tekstillerdir (Çoşkun ve Oğulata, 2008). Kromizm belirli etkenlerle (sıcaklık, çözücü, pH vb.) renkte oluşan tersinir değişikliktir. İnorganik ve organik bileşikler, iletken polimerler ve farklı mekanizmalardan kaynaklanan özellikler içeren birçok madde kromiktir (Bozkurt, 2007). Bu olay maddelerin elektron yoğunluklarındaki (özellikle π ve d elektron seviyelerindeki) veya molekül yapısındaki değişimlere dayanmaktadır (Demir ve Gökçe, 2009). Değişik faktörlerin etkisine bağlı olarak birçok kromizm mekanizması bulunmaktadır. Bunlar arasında, sıcaklık (termokromik), ışık (fotokromik), elektrik (elektrokromik), çözücülerin polaritesi (solvatokromizm), pH (halokromizm) vb. sayılabilir (Bamfield, 2001). Çizelge 1.1’de 2001-2022 yılları arasında halokromik, termokromik ve fotokromik konularında tekstil alanında ve tekstil dışı alanlarda yapılan çalışmaların yıllara göre dağılımı görülmektedir.

Çizelge 1.1. 2001-2022 yılları arasında tekstil alanında ve tekstil alanı dışında halokromik, termokromik ve fotokromik konularında yapılan çalışmalar (Kaynak: web of science, Anahtar kelimeler: halokromik, termokromik, fotokromik)

Yıl	2001-2005		2006-2010		2011-2015		2016-2020		2021-2022	
Anahtar Kelime	Alan dışı	Tekstil	Alan dışı	Tekstil	Alan dışı	Tekstil	Alan dışı	Tekstil	Alan dışı	Tekstil
Halokromik	0	0	2	2	3	4	4	7	11	9
Termokromik	8	0	11	3	21	10	41	12	14	3
Fotokromik	18	2	43	12	101	10	103	29	38	5
Toplam	26	2	56	17	125	24	148	48	63	17

Çizelge 1.1’de görüldüğü üzere, tekstil alanında ve tekstil dışı alanlarda kromizm ile ilgili yapılan çalışmalar son yıllarda giderek artış göstermiştir. Yapılan çalışma sayılarına bakıldığında en fazla çalışmanın fotokromik alanında sonra termokromik alanında olduğu, halokromik alanında yapılan çalışmaların ise sınırlı olduğu görülmektedir.

Şekil 1.1’de 2001-2022 yılları arasında doğrudan tekstil alanına uygulanan ve tekstil alanı dışında çalışılan kromizmin türüne göre yayın sayıları verilmektedir. Şekil 1.1 incelendiğinde kromik boyalar alanında yapılan çalışmalarda son yıllara doğru artış olduğu görülmektedir. Bu artış fonksiyonel/akıllı tekstillere olan ilginin arttığının bir ispattır.



Şekil 1.1. 2001-2022 yılları arasında doğrudan tekstil alanına uygulanan (solda) ve tekstil alanı dışında çalışılan (sağda) uygulanan kromizmin türüne göre yayın sayıları (Kaynak: web of science, Anahtar kelimeler: halokromik, termokromik, fotokromik)

Bu tez projesi kapsamında öncelikle pamuklu kumaşların termokromik boya ile 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. Termokromik boya için optimum aplikasyon yöntem ve koşulları saptandıktan sonra daha önce Akkuş (2021) tarafından yapılan yüksek lisans tezinde halokromik ve fotokromik boya için saptanmış bulunan optimum koşullar dikkate alınarak termokromik boya aplikasyonu sırasında bu boya türlerinin halokromik ve fotokromik boya ile ikili ve üçlü kombinasyonları da gerçekleştirilmiştir. Termokromik, halokromik ve fotokromik boya türlerinin üçlü kombinasyonu kullanılarak;

- ortam ısısının çalışan kişi için rahatsız edici veya risk oluşturucu olup olmadığını haber veren (**termokromik**)

- çalışma ortamında tehlikeli bir kimyasal buharı olup olmadığını (asit- alkali buharları) haber veren (**halokromik**) ve

-bir yandan UV ışınlarına karşı koruma sağlarken diğer yandan UV ışınları ile renk değiştirerek (**fotokromik**) görsel efekt yaratan

pamuklu akıllı multikromik sensör giysilerin üretilmesi için yöntem geliştirilmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1. Termokromizm

Bir bileşiğin sıcaklığın etkisiyle gösterdiği renk değişimine “termokromizm” denir (wikipedia, 2021a).

2.1.1. Termokromik Bileşikler Kimyasal Yapısı

Termokromik maddeler şu şekilde sınıflandırılmaktadır;

- a) İnorganik termokromik bileşikler
- b) Organik termokromik bileşikler
- c) Dolaylı tersinir termokromik sistemler (Yılmaz, 2007);

a) İnorganik termokromik bileşikler

İnorganik maddeler genellikle geçiş metallerini içerir. İnorganik bileşikler, kobalt, bakır ve kalay karışımları ile birlikte AgI , Ag_2Hg_4 , HgI , HgI_2 gibi bileşiklerdir. İnorganik termokromik maddeler boya ve mürekkep yapımında, polimer malzemeyi enjeksiyon ile kaplamada ve farklı bir uygulama olarak da döküm yapmada kullanılabilir. Aşağıda inorganik termokromik maddelere örnekler verilmektedir (Yılmaz, 2007).

- ZnO (çinko oksit) oda sıcaklığında beyaz renktedir. Yüksek sıcaklıklarda ise sarı renge dönüşür.
- Cu_2HgI_4 (bakır civa iyodür) $20\text{ }^\circ\text{C}$ 'ta kırmızı iken $70\text{ }^\circ\text{C}$ 'ta siyahtır.
- AgI (gümüş iyodür) katısının rengi $50\text{ }^\circ\text{C}$ 'ta sarıdan turuncuya dönüşür (Yılmaz, 2007).

Tersinir renk değişimleri çok yüksek sıcaklıklarda meydana geldiği ve genel olarak renk değişimi çözeltilerde olduğu için tekstil sektöründe inorganik termokromik sistemlerin kullanımı sınırlıdır (Yılmaz, 2007).

b) Organik termokromik bileşikler

Organik termokromik bileşiklerde sıcaklık tek başına kromofordaki renk değişimine neden olur. Isı kaynağı uzaklaştırıldığında renk, kararlı olan eski haline geri döner. Tersinir termokromizm gösteren sistemler aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir (Yılmaz, 2007).

- **Moleküler değişimler:** Moleküler düzenleme tautomerizm sonucu oluşabilmektedir. Tautomerizm, bir moleküler çift bağ ile bağlı oksijenin tersinir reaksiyonla hidroksil grubuna dönüşmesidir. Böylece çift bağ, tek bağa dönüşmektedir. Tautomerizm, moleküllerin elektron konjugasyonunda azalma veya artışa neden olmakta, böylece farklı kromofor gruplar oluşabilmektedir (Yılmaz, 2007).

- **Stereoizomerizm:** Stereoizomerizm ile termokromik özellik gösteren bileşikler en az bir etilen grubu, bir dizi aromatik halka ve azot veya oksijen gibi bir hetero-atom içerirler (Waseem, 2012). Termokromizm, stereoizomerdeki varyasyonlar ile ortaya çıkabilir, ancak etkisi genel olarak 150 °C'un üzerindeki sıcaklıklarda görülmektedir. Bundan dolayı stereoizomerizme bağlı termokromik sistemlerin tekstilde kullanımı çoğunlukla uygun değildir (Mather, 2001).

- **Makromoleküler sistemler:** Sıcaklığın etkisi altında makromoleküler sistemlerin rengi yavaşça değişir ve genelde bu değişim tersinirdir. Düşük sıcaklıkta polimerin yapısı düzlemseldir fakat yüksek sıcaklıklarda düzenli yapı azalır ve yapının düzlemselliği sona erer. Makromoleküler sistemler yüksek sıcaklıklarda meydana gelir (Yılmaz, 2007).

- **Supramoleküler sistemler:** Bazı malzemeler katı ve izotropik sıvı halleri arasındadır. Bu malzemeler hem sıvılar gibi akış yeteneğine sahiptir hem de kristalin benzeri molekül yerleşimine sahiptirler. Bu moleküller sıvı kristaller olarak adlandırılmaktadır (Yılmaz, 2007).

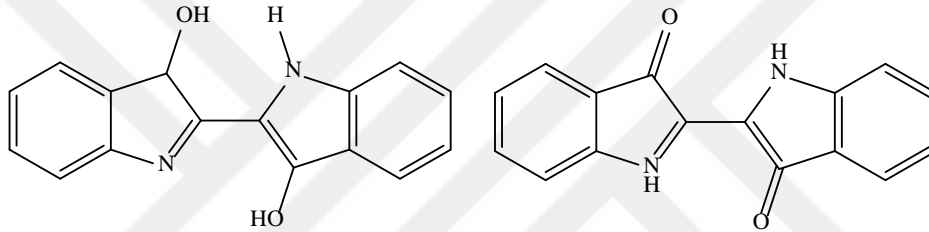
c) Dolaylı termokromik tersinir bileşikler

Bu sistemde renklendiriciler termokromik değildir, fakat sıcaklık değişimlerinde çevrede görülen farklılıklar nedeniyle kromik davranış sergilerler. Bu nedenle, bu sistem dolaylı termokromik tersinir bileşikler olarak adlandırılmıştır (Leclerc 1999). Bu sınıf, spiropiran ve spiroooksazin bileşiklerini içermektedir. Bu bileşikler daha çok fotokromik özellikleri ile ön plana çıkmış olsalar da termokromik özellikleri de söz konusudur ve bağ açılma-kapanma prensibine göre renk değişimi göstermektedirler. Fakat bu sistemin tekstilde kullanımı yaygınlık kazanmamıştır (Bamfield, 2001).

Termokromik boyalar leyko boyaları ve sıvı kristal boyaları olmak üzere iki grupta incelenebilir.

2.1.2. Leyko boyaları

En yaygın kullanılan endüstriyel termokromik sistem, leyko boya tipidir. Leyko terimi, biri renksiz olan iki formu bulunan boyayı tanımlar (Christie, 2013). Bir leyko boyası biri renksiz olan iki kimyasal form arasında geçiş yapabilen bir boyadır. Bu dönüşümler tipik olarak indirgeme veya oksidasyon (yükseltgenme) reaksiyonlarını içermektedir (wikipedia 2021b). Bu mikrokapsüllenmiş kompozit sistem, bir organik renk oluşturucu (leyko boya), bir proton donörü ve düşük erime noktalı, uçucu olmayan hidrofobik bir çözücü olmak üzere üç malzemenin etkileşiminden renk oluşumuna dayanır (Christie, 2013).



Şekil 2.1. İndigo (sağda) ve leyko indigonun (solda) kimyasal formülü (wikipedia 2021b)

Leyko boya bazlı termokromik mürekkepler, farklı sıcaklıklara maruz kaldıklarında renk değiştiren özel dinamik mürekkeplerdir. Yani aktivasyon sıcaklıklarının altında renklendirilirler ve aktivasyon sıcaklıklarının üzerinde şeffaf veya pastel renklidirler. Leyko boya bazlı termokromik mürekkepler, -15 °C ile 60 °C arasındaki sıcaklıklarda renk değiştirebilmektedir. Leyko boyalar kumaş üzerine binder ile aktarılır (Kooroshnia, 2013).

2.1.3. Sıvı kristal boyaları

Termokromik sıvı kristaller ilk olarak yaklaşık 50 yıl önce sıcaklık değişimlerini doğrudan insan cildine püskürterek algılamak için kullanılmıştır (Wang vd, 2017).

Tekstillere uygulanabilen ikinci tip termokromik sistem sıvı kristallere dayanmaktadır. Genellikle maddenin dördüncü hali olarak adlandırılan sıvı kristaller, sıvı benzeri davranış gösterirler, ancak moleküller rastgele yönelim olan normal (izotropik) sıvıların aksine düzenli bir şekilde dizilme eğilimi gösterirler. Bazı sıvı kristaller tarafından sağlanan termokromik etki,

leyko boya tiplerinden oldukça farklıdır. Gözlendiğinde bir dizi sıcaklıkta sürekli değişen renk spektrumu sağlarlar (Christie, 2013).

Sıvı kristallerin termokromik özelliği ışığın seçici yansıtılması ile sağlanmaktadır. Yansıtılan ışığın dalga boyu, sıvı kristalin kırılma indeksine ve moleküllerin helisel yerleşim mesafesine göre değişmektedir. Moleküller arasındaki mesafe sıcaklığa bağlı olarak değiştiğinden, sıcaklık değiştiğinde yansıtılan ışığın dalga boyu da değişmekte, dolayısıyla oluşan renk farklılık göstermektedir (Akkuş, 2016). Şekil 2.2’de gösterildiği gibi, katı kristal fazı, sıvı kristal fazı ve izotropik sıvı fazı arasında ayrı faz geçişleri vardır.



Şekil 2.2. Katı kristal fazı, sıvı kristal fazı ve izotropik sıvı fazı arasındaki geçişler (Abdulkadir, 2012)

Çizelge 2.1’de sıvı kristal ve leyko boyaların avantaj ve dezavantajları karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

Çizelge 2.1. Sıvı kristal ve leyko boyaların avantaj ve dezavantajları

Boya	Avantaj	Dezavantaj
Sıvı kristal boyalar	Yüksek sıcaklık hassasiyeti gösterirler (oda sıcaklığında renk değişimi mümkündür). Tersinir renk değişimi gözlenir.	Renk verimi açık ve pastel tonlardadır. Mikrokapsülasyon ile kumaşa applike edilebilir, konvansiyonel boyama uygulaması yoktur.
Leyko boyalar	Renk gamı geniştir. Sıvı kristallere göre daha ucuzdur.	Düşük sıcaklık hassasiyeti gösterirler. Sıcaklık artışıyla renk beyaza döner.

Ne termokromik sıvı kristaller ne de termokromik organik boya karışımları (leyko boyaları) renklendirmede doğrudan uygulanamaz. Her ikisi de mikrokapsülleme gerektirir. Mikrokapsülleme, küçük katı parçacıkların, sıvı damlacıkların veya gaz kabarcıklarının ince bir film veya kaplama veya kabuk malzemesiyle kaplanması olarak tanımlanır ve tipik parçacık boyutları 1 ila 1000 nm'dir (White ve LeBlanc, 1999).

Termokromik mikrokapsüllerin hem sentetik hem de doğal liflere uygulanmasında karşılaşılan temel problem, kapsüllenmiş termokromik sistemin su geçirmez ve çözünmez olması gerekliliğidir. Termokromik bileşimlerin renk kuvveti genellikle çok düşüktür, çünkü nihai sistemde sadece az miktarda renklendirici bulunur. Tipik bir formülasyon kütle olarak sadece %2 renklendirici içerir. Sonuç olarak, termokromik boya kullanımı pastel tonlarla sınırlıdır. Tekstil uygulamasıyla ilişkili bir başka sorun, birçok ticari formülasyonun zayıf haslık özellikleri göstermesidir.

2.2. Termokromik Boyarmaddelerin Kullanım Alanları

Rengi değişen baskılı alın şeridi termometresi, vücut sıcaklığındaki değişikliği gösterdiğinden ameliyatlar sırasında kullanılabilir. Organik termokromik pigmentler sütlerin, bira ve şarapların, alkolsüz içeceklerin tüketim sıcaklıklarının belirlenmesinde; kahve ve çay fincanlarının üzerlerinde kullanılabilir. Termokromik boyalar ayrıca, araba dekorasyonunda, ojelerde, bebek kaşıklarında, şemşiyelerde, kupa bardaklarda kullanılmaktadır (Yıldıran, 2015).



Şekil 2.3. Termokromik boyaların çeşitli kullanım alanları (Anonim, 2021a,b,c)

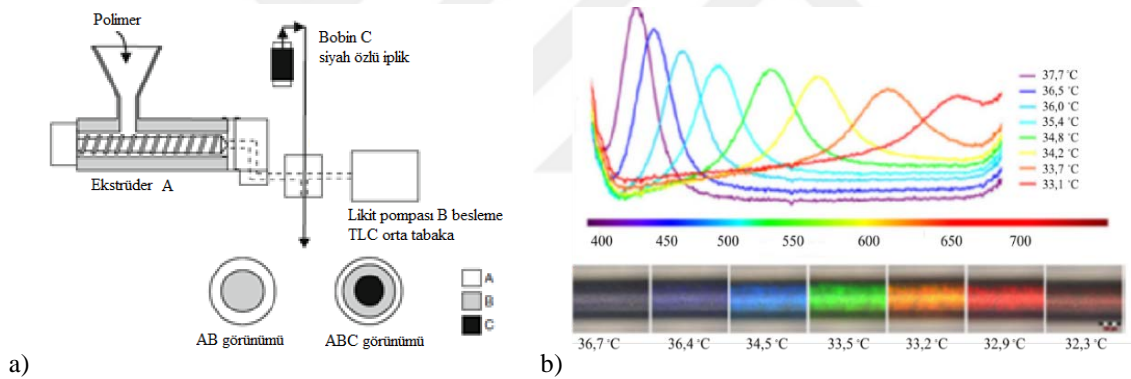
2.2.1. Termokromik Boyarmaddelerin Tekstil Alanında Kullanımı ile İlgili Yapılan Önceki Çalışmalar

Rubacha (2007) yapmış olduğu çalışmada termokromik özelliklere sahip selüloz liflerinin üretilmesi için bir proses sunmaktadır. Termokromik etki, belirli bir sıcaklığa

ulaştıktan sonra liflerin renginin tersinir bir değişimini içermektedir. Termokromik boyalara sahip liflerde sıcaklığına bağlı olarak renk değişimi gerçekleştiğinden, bunlar t-shirt üretiminde, spor kıyafetlerinde veya oyuncaklarda kullanılabilir.

Chowdhury vd. (2012) yapmış oldukları çalışmada atkıda nikrom (nikel krom karışımı)/pamuk özlü iplik, çözgüde %100 pamuk iplik kullanarak ürettikleri kumaşı termokromik boyalar ile sarı-kırmızı-mavi ve yeşil renge boyamışlardır. Numunelerin renginin, sıcaklıktaki artışla kademeli olarak değiştiği görülmüştür. Kumaşlara seri ve paralel olarak elektrik akımı bağlanmış ve arasındaki güç farklılıkları gözlenmiştir.

Werff vd. (2013) yapmış oldukları çalışmada modifiye edilmiş kaplama eriyik ko-ekstrüzyon işlemi ile üç katmanlı kompozit lif üretmişlerdir. Dış katmanda şeffaf bir polipropilen kılıf, orta katmanda bir TLC (termokromik likit kristal), çekirdekte ise siyah bir PEEK (polieter eter keton) yerleştirilmiştir. Sıcaklığa duyarlı lifler, tıp ve mühendislik alanları gibi çeşitli termal haritalama uygulamalarına uygulanabilir.

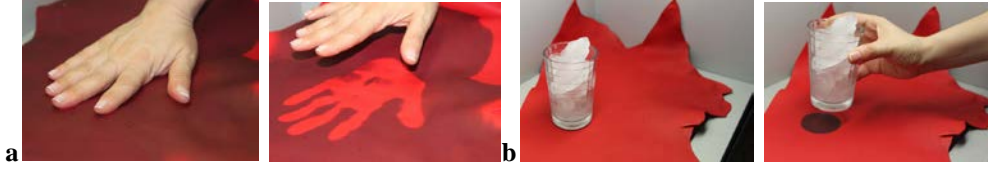


Şekil 2.4.a) üç katmanlı kompozit lif üretimi, b) üretilen liflerin farklı sıcaklıktaki renk değişimleri (Werff, 2013)

Kooroshnia (2013) çalışmasında renk değişiminin gerçekleştiği ısı duyarlılık özelliğine sahip, su bazlı ve geri kazanılabilir özellikte leyko boya bazlı termokromik boyarmadde ile 20 °C sıcaklığa sahip laboratuvar ortamında pamuklu kumaş üzerine serigrafî baskı tekniği uygulamıştır. Çalışmada tasarımcıların daha gelişmiş tekstil yüzey desenleri elde etmelerine yardımcı olmak amaçlanmıştır.

Şeren (2013) deri üzerinde yaptığı çalışmada termokromik pigment (mavi renk 15 °C, magenta 31 °C) boyaları kullanmıştır. Boyama sonrasında numunelere ışık ve sürtme haslığı testleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda derilere termokromik özellik kazandırılabilmiştir. Bu etki termokromik pigment artışına bağlı olarak daha belirgin hale gelmiştir. Ancak yaş sürtme

haslıklarının azaldığı görülmüştür ve termokromik pigment kullanımı deri mamulünde ışık haslıklarını düşürmüştür. Bu bulgular termokromik pigmentin deri sanayinde kullanılabilirliği ve katma değeri yüksek ürünlerin kazandırılması açısından oldukça önemlidir.



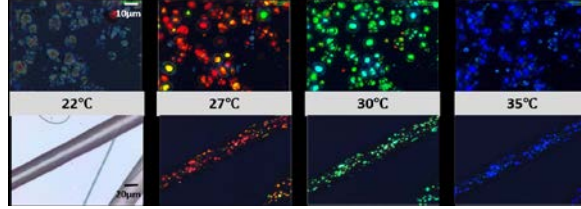
Şekil 2.5. a) Vucut ısısı ile renk değiştiren termokromik özellikteki deri b) soğuk bardağın termokromik özellikteki derinin üzerine koyulması ile oluşan renk değişimi (Şeren, 2013)

Chen ve Huang (2015) termokromik pigmentleri ve elektrik iletken iplikleri tekstil yapılarına entegre ederek renk ve desen değiştiren termokromik ev tekstili geliştirmeyi amaçlamışlardır. Paslanmaz çelik iletken iplikler, ısı üretiminin kumaş sıcaklığını artırmasını sağlamak için tekstil yüzeyleri üzerine dikilmiştir. Isı üretimi ve sıcaklık artışı, uygulanan voltaj ile izlenerek kontrol edilmiştir. Bu çalışmanın deneyleri, iletken ipliklerin elektrik direncini ve ısıtma özelliklerini analiz etmeye ve termokromik tekstillerin renk değiştirme süresini ve renk değiştirme etkilerini gözlemlemeye odaklanmıştır.

Karpagam vd. (2017) yaptıkları çalışmada, savunma uygulamaları için termokromik renklendiriciler kullanarak pamuklu kumaşlar üzerinde renk değiştirilebilir (bukalemun tipi) baskılar geliştirmişlerdir. Baskılı desenler, sıcak hava, fırın veya elektrik enerjisi kullanarak ısı uygulamasıyla çöl renk motifine dönüşen orman motifi tasarımı (klasik yeşil ve kahverengi kamuflaj) taklit edilmiştir. Renklerin CIE $L^*a^*b^*$ değerleri, ısıtma öncesi ve sonrası spektrofotometre kullanılarak ölçülmüştür. Baskılı kumaşların çekme mukavemeti, kopma uzaması, eğilme sertliği ve yırtılma mukavemeti gibi fiziksel özellikleri de baskıdan önce ve sonra test edilmiştir.

Ajep vd. (2017) insan vücudunun fiziksel yorulma belirtisinin, ısı ile gösterilmesi için turuncu renkli termokromik bazlı pigmenti, örme kumaşlara uygulamaya çalışmışlardır. Pamuk, yün ve poliester kumaşlardan yapılan numuneler serigrafi baskı tekniği kullanılarak kumaşlara applike edilmiştir. Termokromik kumaşların renginde 36-41 °C sıcaklık aralığında renk değişimi gözlenmiştir. Isı transferinin en yüksek yünlü ve pamuklu kumaşlarda olduğu görülmüştür. Yıkama haslıkları mükemmel ile çok iyi arasında çıkmıştır.

Wang vd. (2017) yapmış oldukları çalışmada, elektrospinnig ile sıvı kristal boyalar kullanarak termokromik yüzey eldesini amaçlamışlardır. Elektrospinnig çalışmasında öncelikle PVP/izopropanol çözeltisi hazırlanmıştır, içerisine (%12,5'lik) termokromik boya eklenmiş ve atışı yapılmıştır. Bu çalışma tekstillerin tıbbi sensörler olarak kullanılmasına ışık tutmaktadır.



Şekil 2.6. Farklı sıcaklıklarda termokromik mürekkeplerin (üst sıra) ve termokromik liflerin (alt sıra) mikroskop görüntüleri (Wang vd., 2017)

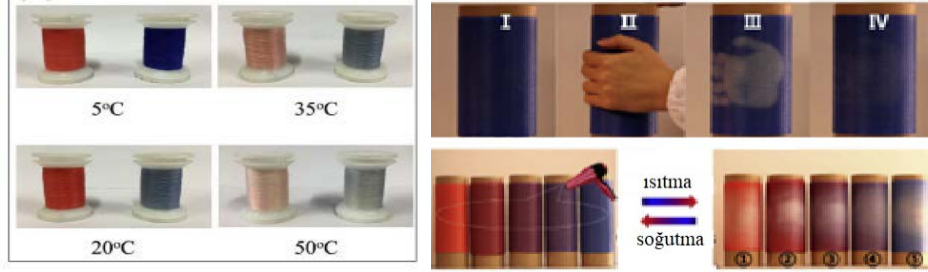
Tözüm vd. (2019) çalışmalarında, sıcaklık değişimi ile renk değiştirebilen leyko boya esaslı üç bileşenli termokromik sistemlerin mikrokapsülasyonunu ve tekstil materyallerine uygulanmasını amaçlamışlardır. Termokromik sistemlerin hazırlanmasında, renk oluşturucu olarak kristal viyoleto lakton boya, geliştirici olarak Bisfenol-A ve fenolftalein, çözücü olarak 1-tetradekanol kullanılmıştır. Çalışma kapsamında seçilen mikrokapsüllerin pamuklu örme ve yün dokuma kumaşlara emdirme ve çektirme yöntemi ile uygulanmasıyla termokromik özellikli kumaşlar elde edilmiştir.

Durdeviç vd. (2019) yaptıkları çalışmada, çeşitli tekstil malzemeleri üzerine basılan termokromik mürekkebin kullanım koşullarını taklit etmeyi amaçlamışlardır. Çalışmada farklı sıklıkta pamuk ve pamuk/poliester karışımı dokuma kumaş üzerine baskılar yapılmıştır. Termokromik boya olarak magenta leyko boyası (aktivasyon sıcaklığı 31 °C) kullanılmıştır. Araştırmanın sonuçları tekstil ambalajları için akıllı sıcaklık göstergelerinin geliştirilmesi için bir öneri sunmuştur.

Yang vd. (2019) çalışmalarında, çok katmanlı iletken termokromik iplik elde etmişlerdir. Çekirdekte CNT (karbon nano tüp) / pamuk kompozit ipliği iyi bir elektrik iletkenliği sağlarken, üstüne sarılmış olarak saf pamuk ipliği koruyucu bir rol oynamaktadır. Termokromik mürekkeplerle (35-45 °C'ta renk değiştiren) kaplandıktan sonra renk değiştirme etkisi incelenmiştir. Elektrik enerjisi ile termokromik özellik gösteren ipliğin, uygulanan farklı akımlar altında kayda değer ısıtma ve renk değiştirici özellikler gösterdiği görülmüştür.

Zhang vd. (2019) yaptıkları çalışmada eriyik yöntemi ile tersinir termokromik lif üretmişlerdir. İki farklı renk (kırmızı ve mavi) termokromik mikrokapsül pigment seçilmiştir.

Termokromik liflerin sıcaklık-renk tepkisi davranışları incelenmiştir. Son olarak, hazırlanan termokromik liflerin 5 ile 40 °C arasındaki 60 termal döngüde geri dönüşümlü kolorimetrik tepkileri değerlendirilmiştir.



Şekil 2.7. Termokromik boya ile boyanmış ipliklerin tersinir renk değişimi (Zang vd, 2019)

Vikova vd. (2020), çek ordusunda ormanlık ve çöl muharebe üniformalarında kullanılan renkleri araştırarak seçilen termokromik renklerin geliştirilmesine yönelik bir çalışma yapmışlardır. Baskılı renk deseni, termal koşullara (sıcak hava ve vücut sıcaklığı) dayalı yaprak tasarımını, çöl tasarımına dönüşmesini taklit edilmiştir altı termokromik mürekkep kullanılarak hazırlanmıştır. Sürtme haslığı verileri tatmin edicidir. Bununla birlikte termokromik boya yüksek konsantrasyonlarda, haslıklarda düşüşe neden olmuştur. Yıkama haslığının tatmin edici olduğu, ışık haslığının 1 ile 2 arasında olduğu görülmüştür.

Wang vd. (2021), bu çalışmada ipek liflerinin fiziksel ve konfor özelliklerini kullanmak amacıyla, termokromik ipek lifleri geliştirilmesi amaçlamıştır. Bu kapsamda liflere daldırma-kaplama (deep coating) metodu kullanılarak, su ve yağ bazlı termokromik boyalar aplat edilmiştir. Böylece ipek liflerinin işlevselleştirilmesi ve endüstriyel tekstil teknikleriyle işlenmesine olanak sağlanmış olmaktadır.

Kim vd. (2022), çalışmalarında termokromik boyalar ile yüksek hassasiyetli nanofiber sensörler (maske ve bileklik) geliştirmeyi amaçlamışlardır. Bunun için dikey pozisyonda elektrospining yönteminde poliakrilonitril (PAN)- dimetilformamid (DMF) çözeltisi hazırlanmış ve içerisine termokromik boya olarak da polioksimetilen melamini (C₃H₆N₆) ilave edilmiştir.

Çizelge 2.2 de pamuklu kumaşlar üzerinde termokromik çalışmalar özetlenmiştir.

Çalışma	Kullanılan boya	Renk değiştirme	Aplikasyon yöntemi
Chen ve Huang (2015)	Siyah leyko boya	Siyah-beyaz	Baskı
Karpagam vd. (2017)	Mavi ve turuncu termokromik boyalar	Yeşil-sarı	Baskı
Kooroshnia (2013)	Mavi termokromik boya	Mavi-beyaz	Baskı
Akkuş vd. (2016)	Kırmızı termokromik boya	Kırmızı-beyaz	Emdirme
Ajeeb vd. (2017)	Turuncu termokromik boya	-	Baskı
Durdeviç vd. (2019)	Termokromik (magenta) boya	-	Baskı

Çizelge 2.2. Pamuklu kumaşlar üzerinde termokromizm ile ilgili çalışmalar

Çizelge 2.2 incelendiğinde pamuklu kumaşlara termokromik boyaların konvansiyonel çektirme yöntemine göre aplikasyonuna ilişkin hiçbir çalışmanın bulunmadığı görülmektedir. Ayrıca katyonikleştirme sonrası parça boyamacıların kullandığı pigment boyama prosesine göre bir aplikasyon da mevcut değildir. Bu açıdan bakıldığında bu tez projesinin yenilikçi ve özgün olduğu söylenebilir. Emdirme yöntemine göre aplikasyonuna ilişkin ise sadece bir çalışmanın bulunduğu anlaşılmaktadır. Akkuş vd. (2016) pamuklu dokuma kumaşları ticari bir termokromik boya ile emdirme yöntemine göre boyamışlardır. Kumaş numuneleri ısıtılabilir bir aparata yerleştirilmiş ve 40 °C'a kadar ısıtılmıştır. Kumaşın ısıtma işlemi kameraya alınarak belirli periyotlarda video görüntüleri fotoğrafa dönüştürülmüştür. Elde edilen görüntüler görüntü analizi ile işlenerek sayısallaştırılmış ve gri tonlamaya dönüştürülmüştür. Bu çalışmada ise hem kullanılan boyalar farklıdır hem de termokromik boyaların yalnızca tek başlarına değil halo ve/veya foto kromik boyalarla birlikte kombine edilmeleri durumundaki renk değiştirme kabiliyetleri incelenmiştir. Bu açıdan da tezin yenilikçi ve özgün olduğu söylenebilir.

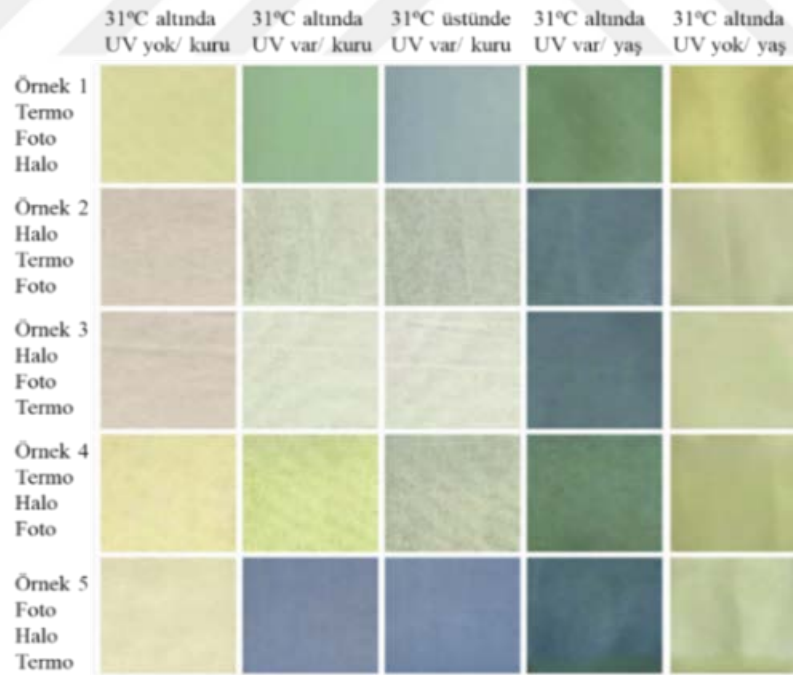
2.3. Multikromizm

Multikromizm iki veya daha fazla kromik özellik taşıyan kimyasalın veya boyanın bir yüzeye applike edilmesi işlemidir. Multikromizm ile ilgili yapılan literatür araştırmalarında tekstil aplikasyonuna yönelik çalışmaların oldukça sınırlı olduğu görülmüştür. Bu durum projenin özgünlük açısından önemini bir kez daha göstermektedir.

2.3.1. Tekstilde Multikromizm ile İlgili Yapılan Önceki Çalışmalar

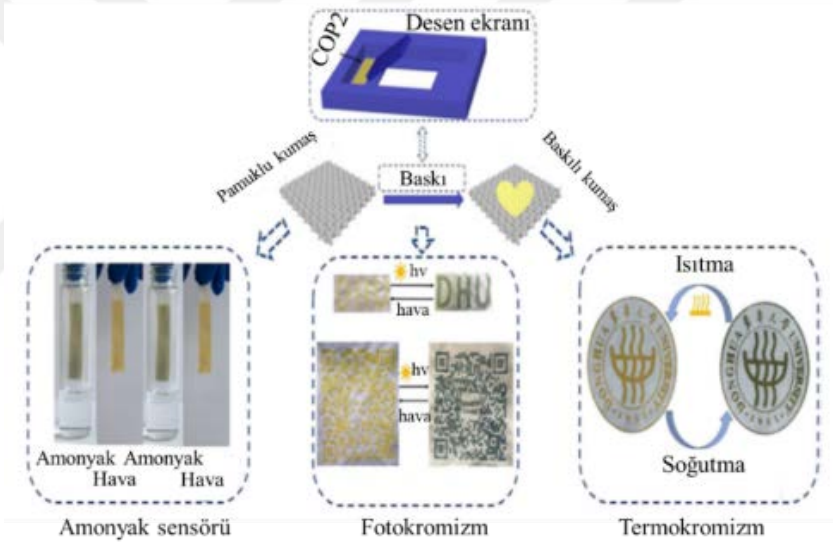
Glampedaki vd. (2012) çalışmalarında çok fonksiyonlu poliester kumaş üretmeyi amaçlamışlardır. Fonksiyonelleştirme işlemi, pH/sıcaklığa duyarlı polielektrolit mikrojellerin emdirilmesi ile aplikasyon sağlanmıştır. Fonksiyonelleştirmenin amacı, mikrojel ile kumaşa uyarıcı-duyarlılık kazandırarak poliesterin ıslanabilirliğini sağlamaktır. Mikrojeller, pH / ısıya duyarlı mikropartiküllerinden oluşturulmuştur.

Cebral ve Souto (2020) yaptıkları çalışmada termokromik (TK), fotokromik (FK) ve hidrokromik (HK) pigmentlerin kombine hâlde tekstil ürününe aplikasyonu üzerine çalışmışlardır. Çalışmalarında farklı türdeki kromik renklendiricilerin kombinasyonunu incelemeyi amaçlamışlardır. Çalışmada kromik boyarmaddeler kumaş üzerine baskı yöntemi ile applike edilmiştir. Kombinasyon olarak TK & FK; TK & HK; FK & HK ve TK, PK & HK kombinasyonları kumaş üzerine applike edilmiştir. Çalışmada farklı kromik özellikteki boyarmaddelerin birlikte kullanılabilmesi ortaya koyulmuştur. Kullanılan boyanın türünün, seçilen renklerin, uygulanan konsantrasyonların, uygulanan proseslerin ve uyaran parametrelerinin, renkleri ve renk değişim davranışını etkilediği saptanmıştır.



Şekil 2.8. Cebral ve Souto tarafından üretilen multikromik kumaşın farklı etkilere karşı tepkisi (Cebral ve Souto, 2020)

Sun vd. (2020) çalışmalarında, amonyak algılama özelliği ile fotokromik ve termokromik özelliklere sahip pamuklu kumaş üretimini amaçlamışlardır. Kumaş yüzeyinde kovalent organik bir viologen polimeri (COP2), serigrafi baskı yoluyla applike edilmiştir. COP2 kaplanmış kumaşın (CCF), Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi, X-ışını kırınımı ve taramalı elektron mikroskobu ile karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Kaplama işlemi ile kumaşa nefes alabilirliğinden, esnekliğinden ve rahatlığından ödün vermeden amonyak gazı, ultraviyole ışık ve ısıya hızlı tepki verme özelliği kazandırılmıştır. CCF' nin rengi, amonyak gazına maruz kaldığında anında sarıdan yeşile dönmüş ve uyarıcı ortamdan çıkarıldığında hızla sarıya geri dönmüştür. Tersine çevrilebilir renk değişim sürecinin UV ışığı (10 saniye süreyle maruz kalma) veya ısı (110 °C) ile indüklenebilir ve tersine çevrilebilir olduğu görülmüştür. Bu çalışmada üretilen kumaşın esnek sensör olarak kullanılmak üzere büyük bir potansiyele sahip olduğu belirtilmiştir.



Şekil 2.9. Üretilen multikromik özellikli kumaşın amonyak, ışık ve sıcaklık etkisiyle renk değişimi (Sun vd, 2020)

3. MATERYAL VE YÖNTEM

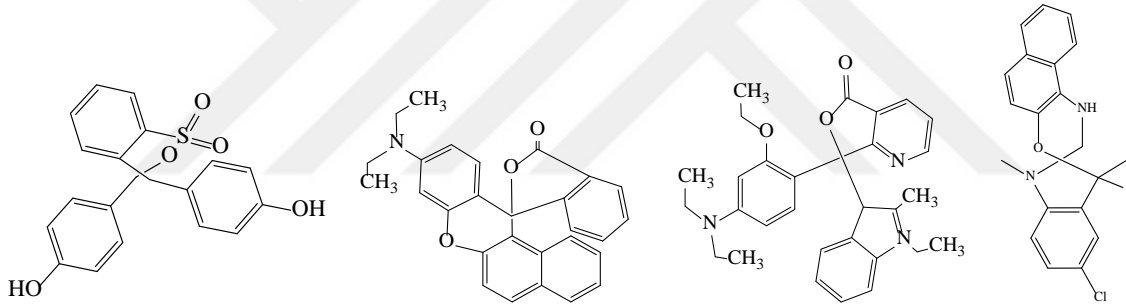
3.1. Materyal

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 (Ne)	Pus/Fine	Gramaj (g/m ²)	İlmeğin Sıra Sayısı/cm	İlmeğin Çubuk Sayısı/cm
Pamuk	Süprem	30/1	34/28	150	15,3	14,8

Denemelerde kullanılan pH (halokromik), ısı (termokromik) ve ışık (fotokromik) ile renk değiştiren boyarmaddelerin kimyasal yapıları Şekil 3.1 de verilmektedir.



Fenol kırmızısı (halokromik) Kırmızı termokromik boya Mavi termokromik boya Kırmızı fotokromik boya

Şekil: 3.1. Denemelerde kullanılan halokromik, termokromik ve fotokromik boyalar (sigmaaldrich, 2019; Pubchem, 2021a, 2021b, 2021c)

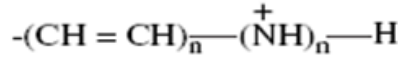
3.2. Yöntem

Boyarmaddelerin kumaş üzerine aplikasyonları çektirme ve emdirme yöntemlerine göre gerçekleştirilmiştir. Çektirme yöntemine göre yapılan boyamalarda pamuklu kumaşlara önce kationikleştirme işlemi uygulanmıştır.

Kationikleştirme işlemi, boyaların kumaşa afinitesini arttırmak yani kumaşın daha fazla boya almasını sağlamak için yapılmıştır.

3.2.1. Pamuk Liflerinin Katyonikleştirilmesi

Denemelerde katyonikleştirme maddesi olarak Albafix ECO (Hunstman) ticari isimli poliamin esaslı katyonik fiksator (Şekil 3.4) 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 lik 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 3.2. Denemelerde kullanılan katyonikleştirme maddesinin yapısı (Karabulut, 2013)

3.2.2. Termokromik Boyalarla Boyama

Termokromik 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. Termokromik boyalarla katyonikleştirme sonrası yün boyama prosesiyle çektirme yöntemine göre boyama

Bu gruptaki denemelerde, termokromik boyaların katyonikleştirilmiş pamuk elyafını boyayabilme imkânları incelenmiştir. Boyamalar katyonikleştirme işlemi görmüş ve işlemsiz kumaşlarla 1:10 flote oranında Şekil 3.3'te verilen Termal HT laboratuvar tipi boyama cihazında gerçekleştirilmiştir.

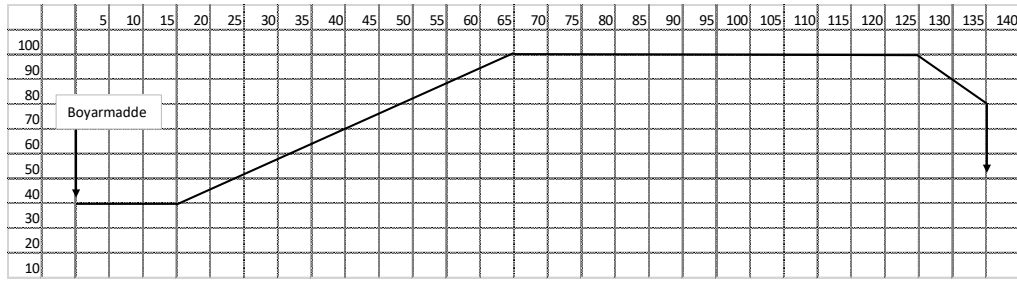
Şekil 3.3. Denemelerde kullanılan Termal HT boyama cihazı

Termokromik boya olarak Thermochromic Blue 31 S (DAEHYUN) ve Thermochromic Red 31 S (DAEHYUN) kullanılmıştır. Denemeler önce mavi renkli boya ile çeşitli konsantrasyon, süre ve sıcaklıklarda yapılmıştır. Sonuçlar düzensiz olduğu için kırmızı renkli boyada sadece kaynama sıcaklığındaki boyama denemesi yapılmıştır. Denemelerdeki faktörler ve seviyeleri Çizelge 3.2’de verilmektedir.

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

Katyonikleştirme	Boya (%)	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 3.4'te katyonikleştirme sonrası yün boyama prosesine göre boyama grafiği verilmektedir.

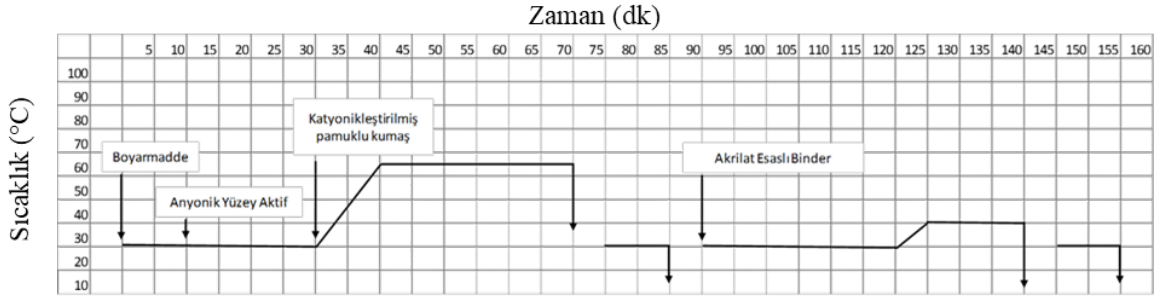


Şekil 3.4. Katyonikleştirme sonrası yün boyama prosesine göre boyama grafiği

Şekil 3.4'ten görülebileceği üzere boyama işlemlerine 40 °C'ta 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 düzensüz boyanmış olduğu için numunelere renk ölçümü ve haslık testleri yapılmamıştır.

3.2.2.2. Termokromik 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 termokromik boyalara adapte edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla pamuklu kumaş önce katyonikleştirilip ardından anyonik yüzey aktifler ile misel oluşturmuş termokromik boya ile muamele edilmiş ve sonra akrilik esaslı binderle (Arristan SAC 10 FF (CHT)) işleme tabi tutulmuştur (Şekil 3.5). 1:10 flote oranında Termal HT tipi boyama cihazında yapılmıştır. Boyama işlemleri Thermochromic Blue 31 S (DAEHYUN) ve Thermochromic Red 31 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.



Şekil 3.5. Katyonikleştirme sonrası pigment boyama prosesiyle boyama grafiği

Denemeler 2 farklı boya ile çeşitli boya konsantrasyonu, anyonik yüzeyaktif madde konsantrasyonu ve binder konsantrasyonlarında yapılmıştır. Denemelerdeki faktörler ve seviyeleri Çizelge 3.3'de verilmektedir.

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

Katyonikleştirme	Boya (%)	Anyonik Yüzeyaktif Madde (g/L)	Akrilat Esaslı Binde (%)
+	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.

3.2.2.3. Termokromik boyalarla emdirme yöntemine göre boyama

Çektirme yöntemine göre boyamaların yanı sıra fulardda (Prowhite) 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

düzensüzlük 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)) 150 °C'ta 5 dk. süreyle fikse edilmiştir.



Şekil 3.6. Denemelerde kullanılan fulard (solda) ve gergefli kurutucu (sağda)

Boyamalarda 25 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	-	-

Boyanmış numunelerin renk verimi değerleri spektrofotometre ile ölçülmüştür. Daha sonra seçilen numunelere yıkama, sürtme, ter (asidik ve alkali) ve ışık haslığı testleri de

yapılmıştır. Elde edilen haslık değerleri oldukça iyi olduğu için herhangi bir ard işlem yapılmamıştır.

Denemelerde kullanılan termokromik boyaların 0,5 g/L'lik çözeltileri hazırlanmış ve bunların oda sıcaklığındaki ve 38 °C'taki renkleri görsel olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca bu çözeltilerin oda sıcaklığında ve 40 °C'ta spektrofotometre ile 400-700 nm arasında absorbans değerleri ölçülerek absorbans grafikleri çıkartılmıştır.

Bu çalışmada termokromik boyaların hedef kullanım alanı çalışma ortamındaki sıcaklık insan sağlığını tehdit edecek hale geldiğinde haber veren akıllı giysiler olduğundan kumaşların bu özelliklerini test edebilmek için renk değişimi gözlem kabini tasarlanmıştır. Bu kabin içerisine kumaş yerleştirildikten sonra kabin ısıtılarak 35 °C ile 40 °C arasındaki renk değişimleri kamera ile gözlenmiştir. Daha sonra, elde edilen görüntüler sayısallaştırılarak CIE L*a*b* değerleri elde edilmiştir. Bu değerlerden yola çıkılarak 35 °C'taki renk referans alınıp ΔE değerleri de hesaplanmıştır.

Termokromik tekstillerde önemli olan bir konu da elde edilen renk değiştirme efektinin yorulma direncidir. Bu nedenle, renk değişim kabininde kumaş bir ısıtılıp bir soğutulmuş 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.

3.2.3. Multikromik Kumaş Üretimi

Çalışmanın bu bölümünde termokromik boyaların halokromik veya fotokromik boya ile ikili kombinasyonları ile termokromik, halokromik ve fotokromik boyaların üçlü kombinasyonları yapılarak bikromik ve multikromik özellikte kumaş geliştirilmesi üzerinde çalışılmıştır. Her üç kromik boya için de en uygun aplikasyon yöntemi emdirme olarak saptanmış olduğundan boyamalar emdirme yöntemine göre yapılmıştır. Akkuş (2021)'un yaptığı optimizasyonlar baz alınarak kombinasyonlarda rengi çok baskın olan halokromik boyaların rengini dengelemek için bu boyaların konsantrasyonu termokromik ve fotokromik boyalara kıyasla oldukça düşük tutulmuştur. Aksine rengi çok zayıf olan fotokromik boyaların ise konsantrasyonu diğerlerinden yüksek tutulmuştur. Bu nedenle, 1 g/L halokromik, 25 g/L termokromik ve 75 g/L fotokromik boya kullanılmıştır. Termokromik boya olarak mavi boya, halokromik boya olarak fenol kırmızısı ve fotokromik boya olarak kırmızı 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. Kromik boyalarla ikli ve üçlü kombinasyon şeklinde yapılan boyamaların yıkama, sürtme, ter ve ışık haslığı testleri gerçekleştirilmiştir.

“Halokromik Kırmızı + Termokromik Mavi” ve “Halokromik Kırmızı + Termokromik Mavi + Fotokromik Kırmızı” ile boyanmış 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. Ayrıca renk değişimi gözlem kabini içerisine kumaş yerleştirildikten sonra hidroklorik asit (Merck) ve amonyum hidroksit (Sigma Aldrich) buharı verilerek renk değişimleri kamera ile gözlenmiştir. Multikromik 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. Halokromik tekstillerde önemli olan bir konu da elde edilen renk değiştirme efektinin yorulma direncidir. Bu nedenle, renk değişim kabininde multikromik kumaşa bir asit buharı bir alkali 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 boyanın termokromik boyayla ikili veya termokromik ve fotokromik boyayla üçlü karışımlar şeklinde boyandığı numuneler asidik ve alkali 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.

“Termokromik Mavi + Halokromik Kırmızı”, “Termokromik Mavi + Fotokromik Kırmızı” ve “Termokromik Mavi + Halokromik Kırmızı + Fotokromik Kırmızı” ile boyanmış kumaşların sıcaklık ile renk değiştirme özelliğini incelemek için renk değişimi gözlem kabini içerisine kumaş yerleştirildikten sonra kabin ısıtılarak 35 °C ile 40 °C arasındaki renk değişimleri kamera ile gözlenmiştir. Daha sonra, elde edilen görüntüler sayısallaştırılarak CIE L*a*b* değerleri elde edilmiştir. Bu değerlerden yola çıkılarak 35 °C'taki renk referans alınıp ΔE değerleri de hesaplanmıştır. Termokromik tekstillerde önemli olan bir konu da elde edilen renk değiştirme efektinin yorulma direncidir. Bu nedenle, renk değişim kabininde multikromik

kumaş bir ısıtılıp bir soğutulularak 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.

“Fotokromik Kırmızı + Termokromik Mavi” ve “Fotokromik Kırmızı + Termokromik Mavi + Halokromik Kırmızı” ile boyanmış kumaşların UV ışık ile renk değiştirme özelliğini incelemek için renk değişimi gözlem kabini içerisine kumaş yerleştirildikten 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. Fotokromik tekstillerde önemli olan bir konu da elde edilen renk değiştirme efektinin yorulma direncidir. Bu nedenle, renk değişim kabininde multikromik 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.

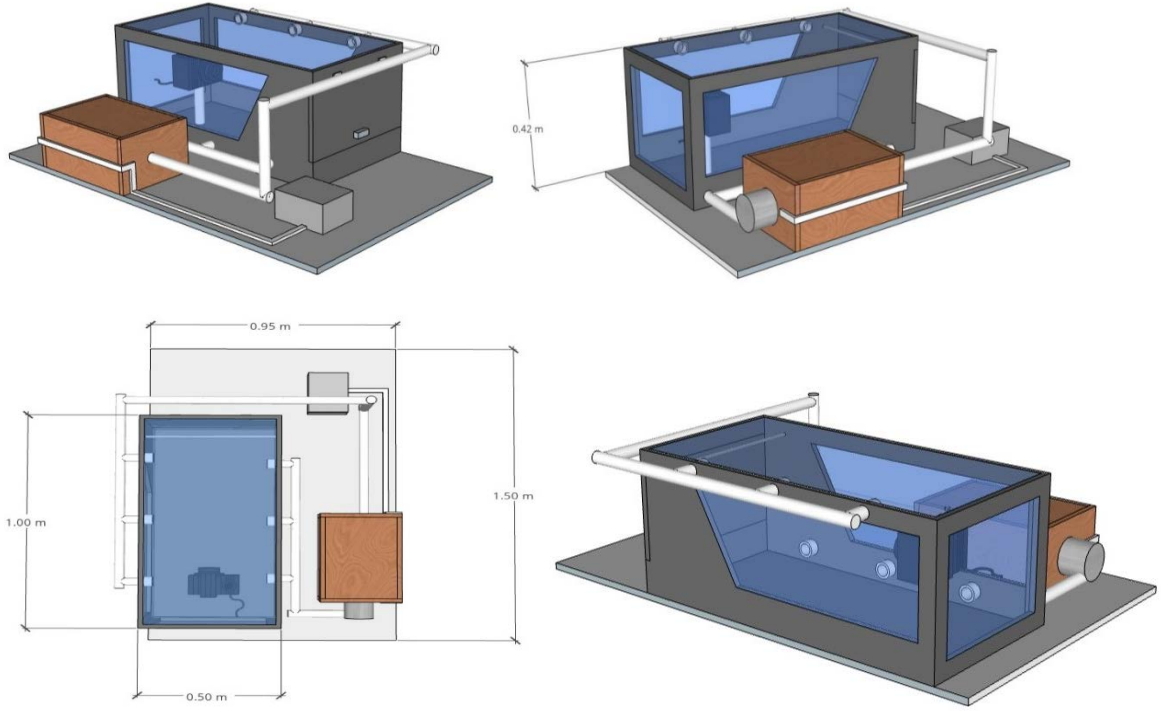
Yukarıda açıklanan laboratuvar ölçekli çalışmalar Özen Mensucat A.Ş.’de işletme koşullarında da numune ölçekli olarak denenmiştir.

3.2.4. Renk Değişim Gözlem Kabini

Bu çalışmada 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 Akkuş (2021) tarafından geliştirilmiş olan renk değişimi gözlem kabini kullanılmıştır.

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. 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 olup termokromik kumaşlar incelenebilmektedir. Aynı zamanda kimyasal odasına koyulacak alkali veya asitler ile halokromik boyaların renk değişimi

gözlenebilmektedir. Ek olarak dahili UV ışığı sayesinde fotokromik boyaların renk değişimi de saptanabilmektedir. Şekil 3.7’de renk değişim kabininin üç boyutlu teknik çizimi verilmektedir.



Şekil 3.7. Renk değişim kabini üç boyutlu teknik çizimi

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 olup 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. Deneyler 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 (Akkuş, 2021).

3.2.5. Yapılan Test ve Analizler

• **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 3.8) spektrofotometre (D 65/10°) kullanılarak %R (remisyon) değerleri ölçülmüş ve Kubelka/Munk formülüne göre K/S değerleri hesaplanmıştır;

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

R: Maksimum absorpsiyon dalga boyundaki reflektans değeri

K: Absorpsiyon katsayısı

S: Yayılma katsayısı

Spektral fotometre ile numunelerin ayrıca CIE L*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.

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

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



Şekil 3.8. Çalışmada kullanılan spektrofotometre

Renk değişimi gözlem kabiniinde görüntülenen kromik renk değişimi görüntülerinin sayısallaştırılması: Kumaşların fotoğraflanması için Şekil 3.8'de 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. Sıcaklığın etkisi ile gerçekleşen renk değişimlerinin saptanması için cihazın üstünde bulunan termometrede 0,5 °C lik sıcaklık artışı tespit edilmiş ve o anda çekilen videodan fotoğraflar kesilmiştir. 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 kabini içinde 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.

- **UV/vis spektrofotometre ile çözültide renk ölçümü:** Denemelerde kullanılan kromik boya çözültülerinin 220-700 nm'lik spektral bölgede UV 1800 (Shimadzu) spektrofotometre (Şekil 3.9) absorbans ölçümleri yapılmış ve dalga boyuna bağlı absorbans eğrileri çıkartılmıştır.



Şekil 3.9. Denemelerde kullanılan UV/vis spektrofotometresi

- **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 çözültisiyle işleme tabi tutulmuştur.

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

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

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

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Termokromik Boyalarla Boyamaya İlişkin Sonuçlar

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

Katyonikleştirme işlemi görmüş ve işlemsiz kumaşlarla Çizelge 3.2’de verilen deney planına göre mavi renkli termokromik boya kullanılarak farklı boya konsantrasyonu, farklı süre ve farklı sıcaklıklarda boyamalar yapılmıştır. Yapılan boyamalara ait kumaş numunelerinin fotoğrafları Şekil 4.1’de verilmektedir.



Şekil 4.1. Mavi renkli termokromik boya ile çektirme yöntemine göre farklı koşullarda yapılan boyamaların sonuçları

Şekil 4.1’de görülebileceği gibi gerek işlemsiz gerekse katyonikleştirme işlemi görmüş pamuklu kumaşların boyama koyuluğu, süresi veya sıcaklığı ne olursa olsun termokromik boya ile çektirme yöntemine göre düzgün ve verimli bir şekilde boyanması mümkün olmamıştır. Bu nedenle, kırmızı ve mavi renkli termokromik boya ile sadece kaynama sıcaklığında boyama yapılmış ve şekil 4.2’ de görülebileceği gibi bu numuneler de düzensüz boyanmıştır.



Şekil 4.2. Kırmızı ve mavi renkli termokromik boyalar ile çektirme yöntemine göre yapılan boyamanın sonucu

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

Katyonikleştirme işlemi görmüş ve işlemsiz kumaşlarla Çizelge 3.3’de verilen deney planına göre mavi ve kırmızı renkli termokromik boyalar ile farklı boya konsantrasyonu, anyonik yüzeyaktif madde konsantrasyonu ve binder konsantrasyonlarında yapılan boyamalara ait kumaş numunelerinin fotoğrafları Şekil 4.3’de verilmektedir.



Şekil 4.3. Mavi ve kırmızı renkli termokromik 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. Burada aslında ilk bölümde yapılan doğrudan boyamalardan farklı olarak kumaşlarda fotoğraflardan da görülebileceği üzere renk eldesi mümkün olmuştur. Ancak düzgün bir dağılım sağlanamamıştır. 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. İşlemsiz kumaşın düzgünsüz boyanmasındaki neden ise termokromik boyaların işlemsiz kumaşa afinitelerinin olmamasından kaynaklıdır. Boyamalar düzgünsüz olduğu için renk ölçümü ve haslık testleri yapılmamıştır.

4.1.3. Termokromik Boyalarla Emdirme Yöntemine Göre Boyamaya İlişkin Sonuçlar

Bilindiği gibi ısı ile renk değiştiren boyalar termokromik boya olarak adlandırılmaktadır. Bu projede hedeflenen, çalışma ortamı insan sağlığı için risk oluşturmaya başladığı anda renk değiştirerek haber veren bir akıllı giysi (veya bir giysiye monte edilecek küçük bir etiket veya bir bileklik vb) olduğundan öncelikle insan sağlığı için risk oluşturacak sıcaklık değeri araştırılmıştır. Şekil 4.4'te ortam sıcaklık ve nem değerine bağlı olarak insan sağlığı açısından ortamın risk oluşturup oluşturmadığı görülmektedir.

		sıcaklık (°C)															
		27	28	29	30	31	32	33	34	35	37	38	39	40	41	42	43
bağıl nem (%)	40	27	27	28	29	31	33	34	36	38	41	43	46	48	51	54	58
	45	27	28	29	31	32	34	36	38	40	43	46	48	51	54	58	
	50	27	28	29	31	33	35	37	39	42	45	48	51	55	58		
	55	27	29	30	32	34	36	38	41	44	47	51	54	58			
	60	28	29	31	33	35	38	41	43	47	51	54	58				
	65	28	29	32	34	37	39	42	46	49	53	58					
	70	28	30	32	35	38	41	44	48	52	57						
	75	29	31	33	36	39	43	47	51	56							
	80	29	32	34	38	41	45	49	54								
	85	29	32	36	39	43	47	52	57								
	90	30	33	37	41	45	50	55									
95	30	34	38	42	47	53											
100	31	35	39	44	49	56											

Dikkat
 Aşırı dikkat
 Tehlike
 Aşırı tehlike

Şekil 4.4. Isı indeksi (wikipedia, 2021c)

Şekil 4.4'te sıcaklık ve bağıl neme bağlı ısı indeksi verilmektedir. Bu indekse göre (%50 nem baz alınarak)


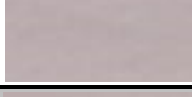
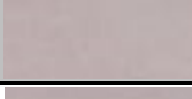
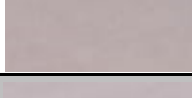
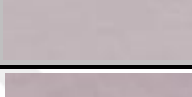
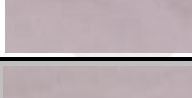


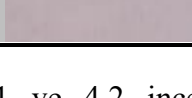
- 33-39 derece arası aşırı dikkat edilmesi gereken
- 40-51 derece arası tehlikeli sıcaklık aralığı
- 55-58 derece arası aşırı tehlikeli bölge

olarak ifade edilmektedir. İnsan sağlığı açısından genel olarak 38 °C'un üzeri tehlikeli olduğundan, sıcaklık bu değeri aştığında haber verecek bir termokromik boya seçilmiştir. İşlemsiz pamuklu kumaşlarla Çizelge 3.3'te verilen deney planına göre mavi ve kırmızı renkli termokromik boyalar ile farklı boya konsantrasyonu, binder ve çapraz bağlayıcı konsantrasyonlarında yapılan boyamalara ait kumaş numunelerinin renk verimi (K/S) değerleri ve fotoğrafları Çizelge 4.1 ve 4.2'de verilmektedir.

Çizelge 4.1. Mavi renkli termokromik boya ile emdirme yöntemine göre boyanan numunelerin renk verimi (K/S) değerleri ve fotoğrafları

Kumaş No	Kumaş rengi	Binder (g/L)	Çapraz Bağlayıcı (g/L)	K/S
1		10	5	0,33
2		20	5	0,37
3		40	5	0,36
4		10	10	0,27
5		20	10	0,27
6		40	10	0,29
7		-	5	0,31
8		20	-	0,37
9		-	-	0,29

Çizelge 4.2. Kırmızı renkli termokromik boya ile emdirme yöntemine göre boyanan numunelerin renk verimi (K/S) değerleri ve fotoğrafları

Kumaş No	Kumaş rengi	Binder (g/L)	Çapraz Bağlayıcı (g/L)	K/S
1		10	5	0,24
2		20	5	0,28
3		40	5	0,29
4		10	10	0,25
5		20	10	0,31
6		40	10	0,33
7		-	5	0,32
8		20	-	0,30
9		-	-	0,24

Çizelge 4.1 ve 4.2 incelendiğinde her iki renk termokromik boyayla yapılan boyamaların da oldukça düzgün bir şekilde boyandığı görülmektedir. Renk verimi açısından mavi renkte 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 söylenebilir. 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 4.3' ve 4.4'de verilmektedir.

Çizelge 4.3. Termokromik 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	4-5	4-5
	7	5	5	4-5	4-5	4-5	5	4	4
	8	5	5	4-5	4-5	4-5	5	4-5	4-5
	9	5	5	4-5	4-5	4-5	5	4	4
Kırmızı	2	5	5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
	7	5	5	4-5	3-4	4-5	4-5	4	3-4
	8	5	5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
	9	5	5	4-5	4-5	4-5	4-5	4	4

Çizelge 4.4. Termokromik 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	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	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	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	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	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	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	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	4-5	1

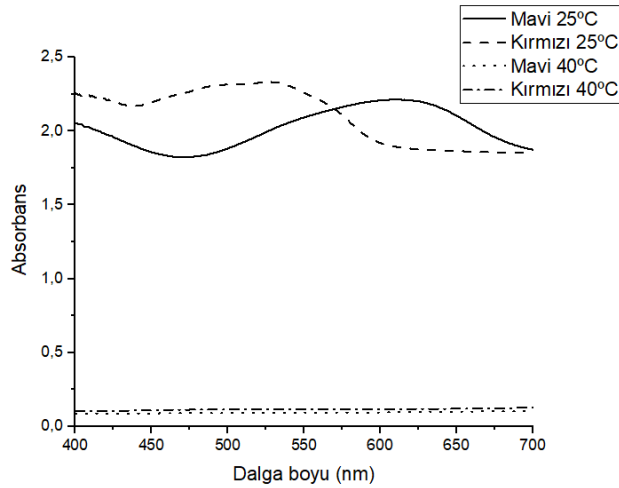
Çizelge 4.3-4.4 incelendiğinde yapılan boyamaların açık pastel renkler olması nedeniyle tüm numunelerin yıkama, sürtme ve ter haslıklarının çok iyi olduğu görülmektedir. Ancak ışık haslıkları çok düşüktür. Elde edilen haslık değerleri oldukça iyi olduğu için herhangi bir ard işlem yapılmamıştır. Burada 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.

Şekil 4.5'te denemelerde kullanılan termokromik boyaların 25 g/L'lik çözeltilerinin oda sıcaklığındaki ve 38 °C'taki renkleri görülmektedir.

Şekil 4.5. Termokromik boya çözeltilerinin sıcaklık ile renk değişimi (soldaki çözeltiler oda sıcaklığında, sağdaki çözeltiler 38 °C'ta)

Şekil 4.5 incelendiğinde projede kullanılan termokromik boyaların oda sıcaklığında renkli olduğu, 38 °C'ta ise renginin beyaza döndüğü görülmektedir. Bu da söz konusu boyaların kumaş üzerine applike edilmesi durumunda ortam sıcaklığı insan sağlığı için kritik olmaya başladığında giysinin renk değiştirerek haber vereceğini ortaya koymaktadır.

Termokromik boyarmaddelerin sıcaklık ile renk değişimi görsel olarak incelendikten sonra boya çözeltilerinin oda sıcaklığında ve 40 °C'ta spektrofotometre ile absorban ölçümleri yapılmıştır. Sonuçlar Şekil 4.6'da verilmektedir.








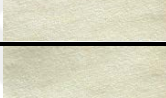






Şekil 4.6. Termokromik boyarmaddelerin farklı sıcaklıklardaki 0,5 g/L'lik çözeltilerinin absorban ölçümleri

Şekil 4.6 incelendiğinde termokromik boya çözeltilerinde, sıcaklığın artması durumunda boya çözeltilerinin absorban değerlerinin düştüğü görülmekte olup bu durum çözeltilerin renksizleşme yönüne kaydığını ortaya koymaktadır.

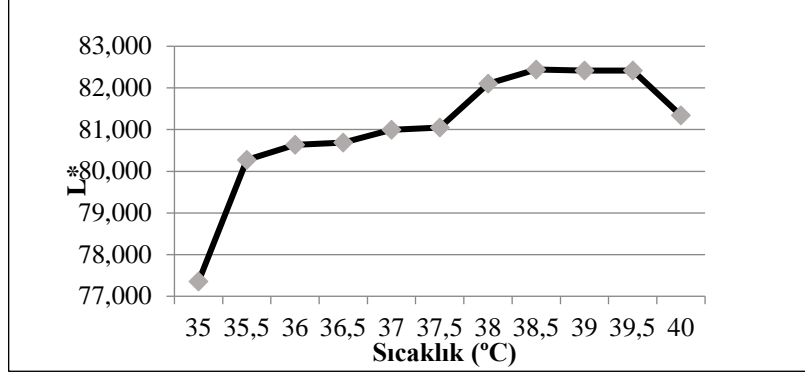
Bu çalışmada termokromik boyaların hedef kullanım alanı çalışma ortamındaki sıcaklık insan sağlığını tehdit edecek hale geldiğinde haber veren akıllı giysiler olduğundan kumaşların bu özelliklerini test edebilmek için renk değişimi gözlem kabini tasarlanmıştır. Bu kabin içerisine kumaş yerleştirildikten sonra kabin ısıtılarak renk değişimleri gözlenmiştir. Sonuçlar Çizelge 4.5’te verilmektedir.

Çizelge 4.5. Emdirme yöntemine göre termokromik boyalarla boyanmış kumaşların renk değişimi gözlem kabiniinde sıcaklığa bağlı renk değişimi

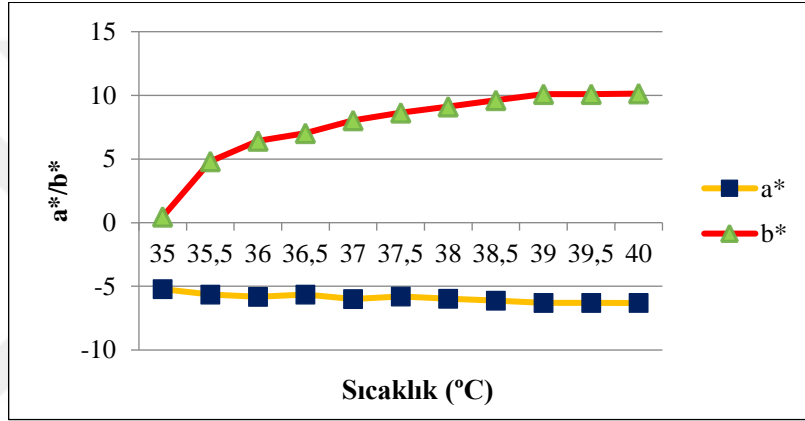
Sıcaklık	Termokromik Mavi	Termokromik Kırmızı
35,0		
36,0		
37,0		
38,0		
39,0		
40,0		

Mavi ve kırmızı renkli termokromik boyarmaddeler ile boyanan kumaşların bulunduğu renk değişim kabini ısıtılmaya başladığında renk değişimi 35 °C’ta başlamış ve 40 °C’ta sonlanmıştır. Gözlemler renk değişimi gözlem kabiniinde yapılmıştır. 35 °C’ta halen oda sıcaklığındaki orijinal renklerinde olan kırmızı ve mavi kumaşlar, sıcaklık arttıkça renklerini kaybetmişlerdir. 40 °C’a ulaşıldığında ise renk değişimi tamamen sonlanmıştır.

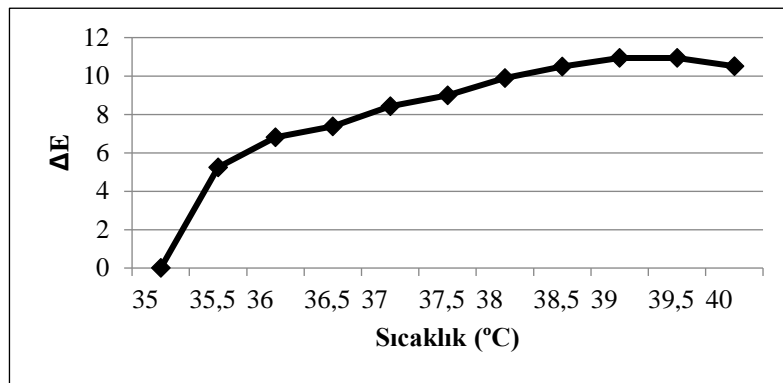
Termokromik boyalar ile boyanan kumaşların renk değişimleri renk değişimi gözlem kabiniinde gözlemlendikten sonra, mavi boya için elde edilen görüntüler sayısallaştırılarak CIE L*a*b* değerleri elde edilmiştir. Bu değerlerden yola çıkılarak 35 °C’taki renk referans alınıp ΔE değerleri de hesaplanmıştır. 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. Sonuçlar Şekil 4.7-4.9’da verilmektedir.



Şekil 4.7. Emdirme yöntemine göre mavi renkli termokromik boya ile boyanmış pamuklu kumaşların renk değişimi gözlem kabiniinde gözlenen sıcaklığa bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen L* değerleri



Şekil 4.8. Emdirme yöntemine göre mavi renkli termokromik boya ile boyanmış pamuklu kumaşların renk değişimi gözlem kabiniinde gözlenen sıcaklığa bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen a* ve b* değerleri

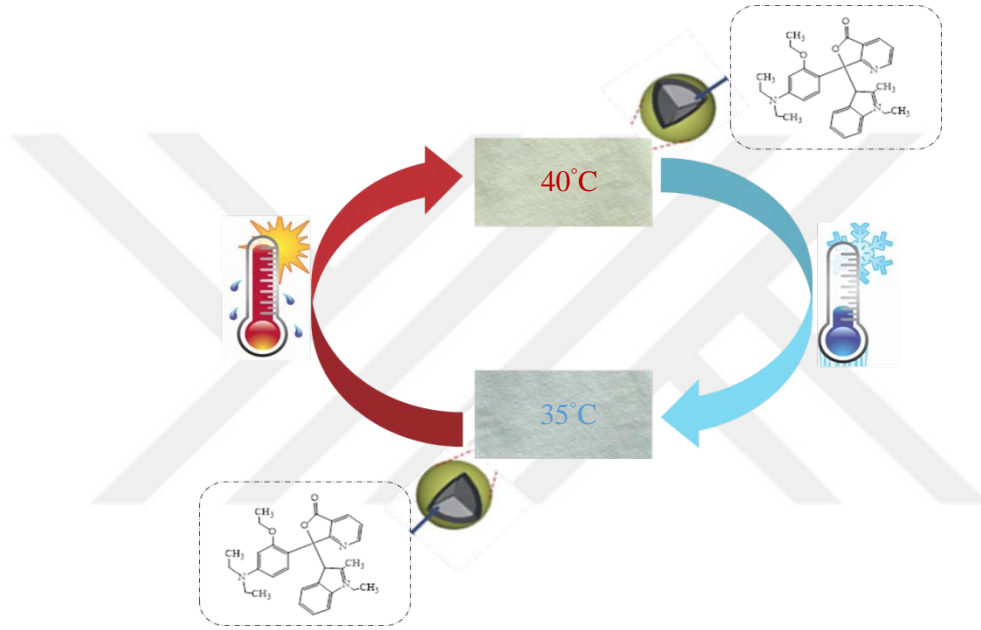


Şekil 4.9. Emdirme yöntemine göre mavi renkli termokromik boya ile boyanmış pamuklu kumaşların renk değişimi gözlem kabiniinde gözlenen sıcaklığa bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen ΔE değerleri

Şekil 4.7-4.9 incelendiğinde ortam sıcaklığı artıkça termokromik boya ile boyanmış kumaşın renginin açıldığı (artan L^* değeri) öte yandan sıcaklık arttıkça b^* değeri artmış yani kumaştaki mavilik azalmış (sarılık artmış), a^* değeri ise pek değişmemiştir.

Toplam renk farklılığı değerleri incelendiğinde, 35-39 °C arasında ΔE değerinin arttığı, 39 °C'tan sonra ise değişmediği görülmektedir.

Mavi renkli termokromik boya ile boyanan kumaşın, renk değişimi gözlem kabiniinde 35 °C ve 40 °C'ta gözlenen renk değişimi şekil 4.10'da verilmektedir.

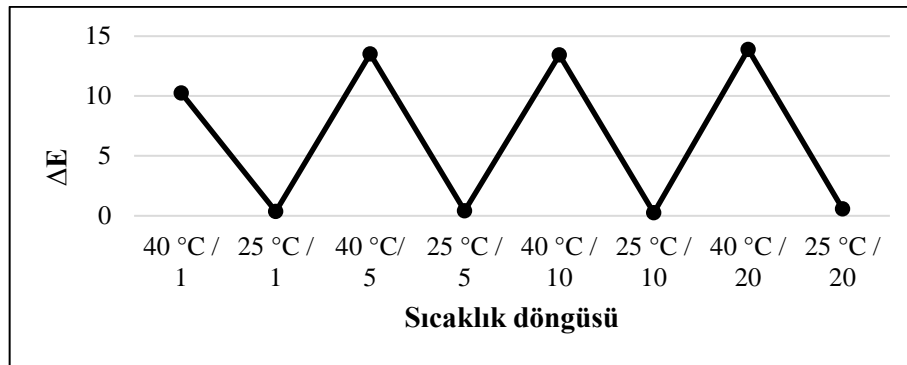


Şekil 4.10. Mavi renkli termokromik boya ile boyanan kumaşın renk değişimi gözlem kabiniinde 35 °C ve 40 °C'ta aldığı renkler

Termokromik tekstillerde önemli olan bir konu da elde edilen renk değiştirme efektinin yorulma direncidir. Ardışık kaç döngüye dayanabilecek olduğu ürünün kullanım ömrü açısından kritik öneme sahiptir. Bu nedenle, renk değişim kabiniinde kumaş bir ısıtılıp bir soğutulularak 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 4.6'da termokromik mavi boya ile boyanmış kumaşın her bir döngü sonrası CIE $L^*a^*b^*$ ve K/S değerleri verilmektedir. Şekil 4.11'de ise her bir ısıtma-soğutma döngüsü sonrası başlangıç haline göre toplam renk farklılığı değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 4.6. Emdirme yöntemine göre termokromik mavi boya ile boyanmış kumaşın renk değişimi gözlem kabininde her bir sıcaklık döngüsü sonrası renk ölçüm değerleri

Kumaş	Renk	L*	a*	b*	C*	h°	ΔE	%R	K/S
İşlemsiz		78,21	-1,6	-8,52	9,01	259,77	-	60,47	0,13
40 °C 1. döngü		84,9	-1,06	-0,76	2,01	202,17	10,26	60,69	0,13
25 °C 1. döngü		78,56	-1,47	-8,53	8,83	255,47	0,37	62,4	0,11
40 °C 5. döngü		86,75	-1,04	1,94	2,20	118,09	13,52	61,50	0,12
25 °C 5. döngü		77,82	-1,52	-8,66	8,79	260,05	0,42	63,09	0,11
40 °C 10. döngü		86,80	-0,97	1,79	2,03	118,60	13,43	62,23	0,11
25 °C 10. döngü		77,96	-1,59	-8,51	8,65	259,39	0,25	60,66	0,13
40 °C 20. döngü		87,0	-0,88	2,22	2,39	111,59	13,90	61,81	0,12
25 °C 20. döngü		78,41	-1,65	-9,05	9,20	259,69	0,57	62,04	0,12



Şekil 4.11. Emdirme yöntemine göre termokromik mavi boya ile boyanmış kumaşın renk değişimi gözlem kabininde her bir sıcaklık döngüsü sonrası başlangıç haline göre toplam renk farklılığı değerleri

Şekil 4.11 incelendiğinde mavi renge boyanmış kumaşın ısıtmaya maruz kalması sonrası ardışık olarak 20 kere yapılan testte hemen hemen aynı renk değişimi kabiliyetini

gösterdiği söylenebilir. Dolayısıyla bu boyaların termokromik bir tekstil ürünü üretiminde kullanılması durumunda renk değiştirme kabiliyetini yüksek döngü sayılarında koruyabileceği düşünülmektedir.


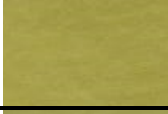
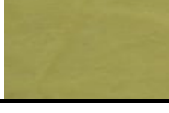
4.2 Bikromik ve Multikromik Boyamalara İlişkin Sonuçlar

Literatürde halokromik, termokromik ve fotokromik boyalarla boyamaya ilişkin çok sayıda çalışma bulunmakla birlikte bunların ikili veya üçlü karışımları ile ilgili çalışmalar oldukça sınırlıdır. Karışım boyamalarda aplikasyonlar emdirme yöntemine göre termokromik boyalar için bu tez projesinde, halokromik ve fotokromik boyalar için Akkuş (2021) tarafından gerçekleştirilen yüksek lisans tezinde belirlenmiş olan optimum koşullarda gerçekleştirilmiştir. Kombinasyonlarda rengi çok baskın olan halokromik boyaların rengini dengelemek için bu boyaların konsantrasyonu termokromik ve fotokromik boyalara kıyasla oldukça düşük tutulmuştur. Bu nedenle, 1 g/L halokromik, 25 g/L termokromik ve 75 g/L fotokromik boya kullanılmıştır.

Termokromik boyalarda sıcaklık artınca renk (kırmızı veya mavi) beyaza dönmektedir. Fotokromiklerde ise tam tersi ışık etkisiyle kumaş renksizden renkli hale (kırmızı veya mavi) dönmektedir. Eğer fotokromik-termokromik kombinasyonunda ikisi de aynı renkli boya seçilirse (örneğin, kırmızı) başlangıçta termokromik renkli iken fotokromik renksiz olacağından renk kırmızı görünecektir. Bu kumaş ısıtıldığında termokromik boya renksiz dönecek fotokromik boya da renksiz olduğundan kumaşta renk değişimi anlaşılabilir. Ancak başlangıçta termokromik boya nedeniyle kırmızı renkli görünen kumaş güneş ışığına maruz kaldığında fotokromik boya renksizden kırmızıya dönecek ama zaten kumaş kırmızı olduğundan renk değişimi anlaşılacaktır. Bu nedenle, kombinasyon boyamalarda kullanılacak fotokromik ve termokromik boyaların farklı renklerde olması gerekmektedir. Akkuş (2021) yapmış olduğu çalışmada, mavi ve kırmızı renkli iki fotokromik boyadan mavi olanın ışık ile renk değiştirmesi daha zayıf görüldüğünden kombinasyon çalışmalarında kırmızı renkli fotokromik boya ile çalışılmaya karar verilmiştir. Böylece kırmızı renkli fotokromik boya ile mavi renkli termokromik boya kombine edildiğinde başlangıçta sadece termokromik boyanın rengi olan mavi renk görülecekken ışık etkisi sonrası fotokromik boyanın kırmızı rengi aktifleşeceğinden kumaşın rengi mavi+kırmızı yani mor renge doğru kayacak ve dolayısı ile fotokromik etki kendini gösterebilecektir.

Akkuş (2021) 3 farklı halokromik boya ile hem boya çözeltisi hem de kumaş üstünde yapmış olduğu denemelerde, asit ve alkali ortamda renk değiştiren sadece fenol kırmızısı boyası olduğunu tespit etmiştir. Bu nedenle multikromik kumaş üretimi için fenol kırmızısı seçilmiştir. Fenol kırmızısı ile mavi renkli termokromik boya kombine edildiğinde elde edilen renk yeşilimsi bir ton olduğundan (çünkü fenol kırmızısı kumaş üzerinde nötral pH’larda sarımsı renk vermektedir) eğer pH değiştirilirse renk değişmekte, eğer sıcaklık artırılırsa termokromik boyanın mavi rengi kaybolacağından kumaş da halokromik boyanın rengi olan sarıya dönüşmektedir. Dolayısıyla ile fenol kırmızısı ile ister mavi ister kırmızı renkli termokromik boya kombine edilebilir. Ancak yukarıda açıklanan nedenlerle multikromik efekt eldesinde termokromik boya mavi, fotokromik boya kırmızı seçilmiştir. Bu nedenle, ikili ve üçlü kombinasyonlar Çizelge 4.7’de belirtilen şekilde yapılmıştır.

Çizelge 4.7. Emdirme yöntemine göre boyanan multikromik numunelerin renk verimi (K/S) değerleri ve fotoğrafları (F_k = Fotokromik kırmızı, T_m = Termokromik mavi, H_k= Halokromik kırmızı)

Kullanılan Boya	Kumaş rengi	K/S
T _m -F _k		0,37
T _m -H _k		3,96
T _m -F _k -H _k		2,78

Çizelge 4.7 incelendiğinde kromik boylarla ikili ve üçlü kombinasyon şeklinde emdirme yöntemine göre yapılan boyamaların oldukça düzgün olduğu görülmektedir. Boyanan kumaşların yıkama, sürtme, ter ve ışık haslığı sonuçları Çizelge 4.8 ve 4.9’da verilmektedir.

Çizelge 4.8. Emdirme yöntemine göre boyanan multikromik numunelerin yıkama ve sürtme haslığı sonuçları

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

Çizelge 4.9. Emdirme yöntemine göre boyanan multikromik numunelerin 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	
Tm-Fk	4	4-5	4-5	4	3-4	4-5	4	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	1
Tm-Hk	3	2	1	2	2	2	3	2-3	3	3-4	2-3	3	1
Tm-Fk-Hk	3	2	1	2	2	2	3	2-3	3	3-4	3	3	1

Çizelge 4.8 incelendiğinde tüm numunelerin yıkama ve sürtme haslıklarının çok iyi olduğu görülmektedir. Çizelge 4.9 incelendiğinde termokromik + fotokromik kombinasyonunun asidik ve alkali haslıklarının iyi olduğu diğer iki kombinasyonun ise asidik ter haslıklarının zayıf, alkali ter haslıklarının ise kabul edilebilir seviyede olduğu görülmektedir.

4.2.1 Bikromik ve Multikromik Kumaşların pH ile Renk Değiştirme Özelliğinin İncelenmesi

Çizelge 4.10'da halokromik boyanın termokromik boyayla ikili veya termokromik ve fotokromik boyalarla üçlü karışımlar şeklinde boyandığı numunelerin farklı pH'lardaki çözeltilerde gösterdikleri renk değişimleri görülmektedir.

Çizelge 4.10. Emdirme yöntemine göre halokromik boyanın termokromik boyayla ikili veya termokromik ve fotokromik boyalarla üçlü karışımlar şeklinde boyandığı numunelerin farklı pH'a sahip çözeltilerde gösterdikleri renk değişimi









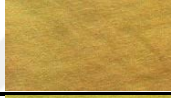
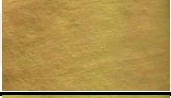











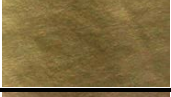

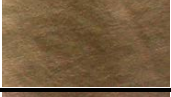


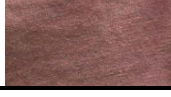

pH	Halokromik Kırmızı+	Halokromik Kırmızı+
	Termokromik Mavi	Termokromik Mavi+ Fotokromik Kırmızı
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		

Çizelge 4.10 incelendiğinde çözelti içerisine daldırılması durumunda kumaşın asidik ortamda pek renk değiştirmediği, ancak pH 10'dan sonra renginin mora döndüğü görölmektedir. Bu sonuçlar daha önce Akkuş (2021) tarafından fenol kırmızısı ile yapılan tekli boyamalarda bulunmuş olan sonuçlarla paralellik göstermektedir. Bu nedenle, fenol kırmızısının diğer kromik boyalarla kombine edilmesi durumunda renk değiştirme özelliğini koruduğu söylenebilir.

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 bu özellikleri renk değişimi gözlem kabininde test edilmiştir. Bu kabin içerisine

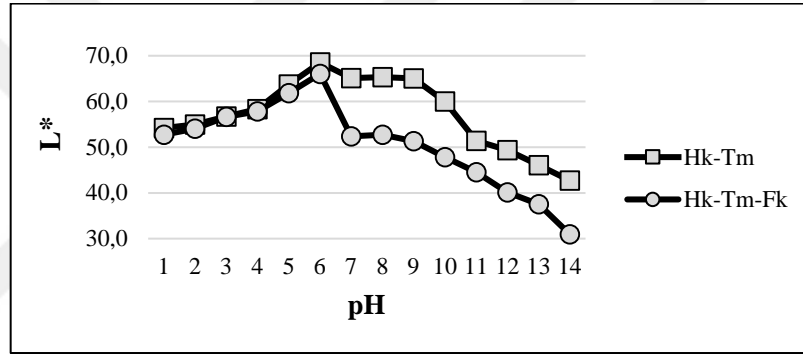
kumaş yerleştirildikten sonra hidroklorik asit veya amonyum hidroksit buharı verilerek renk değişimleri gözlenmiştir. Sonuçlar Çizelge 4.11’de verilmektedir.

Çizelge 4.11. Emdirme yöntemine göre halokromik boyanın termokromik boyayla ikili veya termokromik ve fotokromik boyalarla üçlü karışımlar şeklinde boyandığı numunelerin renk değişimi gözlem kabinde pH’ın etkisiyle renk değişimi

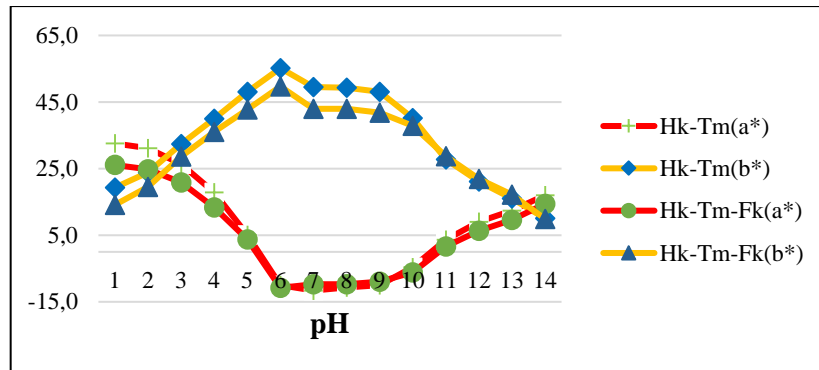
pH	Halokromik Kırmızı + Termokromik Mavi	Halokromik Kırmızı+ Termokromik Mavi+ Fotokromik Kırmızı
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		

Çizelge 4.11’de “Halokromik Kırmızı + Termokromik Mavi” ve “Halokromik Kırmızı + Termokromik Mavi + Fotokromik Kırmızı” içeren ikili ya da üçlü kromik boya karışımı 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 kahverengi hâle gelmiştir

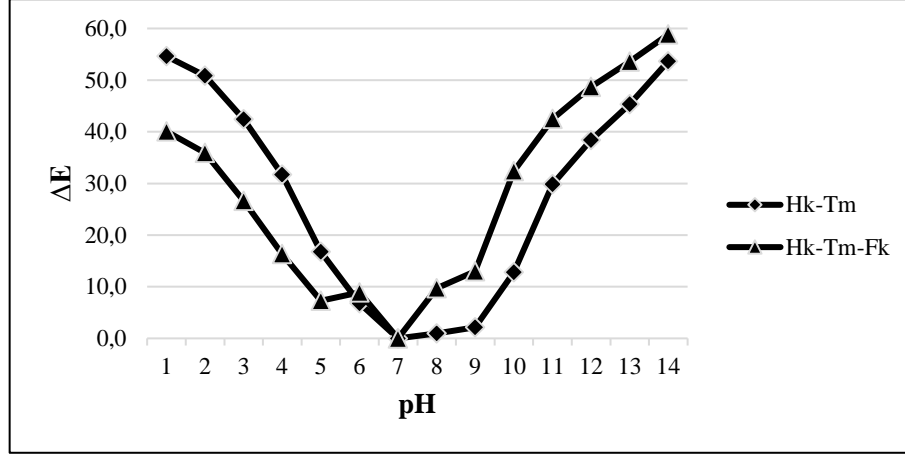
Halokromik boyanın termokromik boyayla ikili veya termokromik ve fotokromik boyalarla üçlü karışımlar şeklinde boyandığı termokromik ve/veya fotokromik boyalarla ikili ve üçlü karışımlar şeklinde boyandığı numunelerin renk değişimleri renk değişimi gözlem kabininde gözlemlendikten sonra, elde edilen 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 4.12-4.14’te verilmektedir.



Şekil 4.12. Emdirme yöntemine göre halokromik boyanın termokromik boyayla ikili veya termokromik ve fotokromik boyalarla üçlü karışımlar şeklinde boyandığı numunelerin renk değişimi gözlem kabininde gözlenen pH’a bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen L^* değerleri



Şekil 4.13. Emdirme yöntemine göre halokromik boyanın termokromik boyayla ikili veya termokromik ve fotokromik boyalarla üçlü karışımlar şeklinde boyandığı numunelerin renk değişimi gözlem kabininde gözlenen pH’a bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen a^* ve b^* değerleri



Şekil 4.14. Emdirme yöntemine göre halokromik boyanın termokromik boyayla ikili veya termokromik ve fotokromik boyalarla üçlü karışımlar şeklinde boyandığı numunelerin renk değişimi gözlem kabininde gözlenen pH'a bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen ΔE değerleri

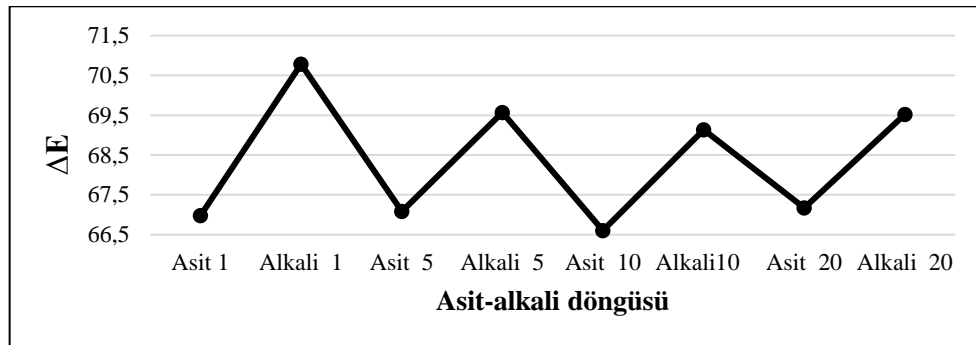
Şekil 4.12-4.14 incelendiğinde, halokromik boya olarak fenol kırmızısı içeren ikili ve üçlü karışımlar ile boyanan kumaşların rengi pH 6'da en açık (en büyük L^* değeri) çıkmıştır. pH 6 değerinden pH 14 değerine yani alkali ortama gidildikçe renk koyulaşmıştır. pH 6 değerinden pH 1 değerine yani asidik ortama gidildikçe de renk koyulaşmış, ama koyulaşma alkali buharındaki renk değişimi kadar büyük olmamıştır. Halokromik boyanın termokromik boyayla ikili veya termokromik ve fotokromik boyalarla üçlü karışımlar 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. Fenol kırmızısı içeren ikili ve üçlü karışımlar ile boyanan kumaşlarda pH 7 noktası referans alınarak hesaplanan toplam renk farklılığı değerleri incelendiğinde, pH 14'e veya pH 1'e giderken ΔE değerinin arttığı görülmektedir. Ayrıca alkali ortamdaki renk değişiminin asidik ortama göre daha fazla olduğu söylenebilir.

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 alkali 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 4.12'te halokromik boyanın termokromik ve fotokromik boyalarla üçlü karışım şeklinde boyandığı numunenin her bir

döngü sonrası CIE L*a*b* ve K/S değerleri verilmektedir. Şekil 4.16’da ise her bir asit- alkali döngüsü sonrası başlangıç haline göre toplam renk farklılığı değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 4.12. Halokromik boyanın termokromik ve fotokromik boya ile üçlü karışım şeklinde boyandığı numunenin renk değişimi gözlem kabini içinde her bir asit- alkali döngüsü sonrası renk ölçüm değerleri

Kumaş	Renk	L*	a*	b*	C*	h°	%R	ΔE	K/S
İşlemsiz		72,38	-0,23	42,23	42,23	90,31	13,72	67,0	3,58
Asit – 1. döngü		58,26	33,32	-1,40	33,35	357,60	6,40	70,8	7,78
Alkali – 1. döngü		50,0	33,94	-15,58	37,35	335,35	7,83	67,1	6,35
Asit – 5. döngü		60,63	32,92	-149	32,95	357,41	7,57	69,6	6,57
Alkali – 5. döngü		50,81	34,11	-13,30	36,62	338,70	8,44	66,6	5,88
Asit – 10. döngü		60,51	33,10	-2,24	33,18	356,13	7,56	69,1	6,58
Alkali – 10. döngü		50,69	33,05	-13,35	35,64	338,0,	8,66	67,2	5,73
Asit – 20. döngü		60,67	33,10	-159	33,14	357,26	7,51	69,5	6,62
Alkali – 20. döngü		50,52	34,61	-15,83	38,05	335,43	8,3	67,0	5,98





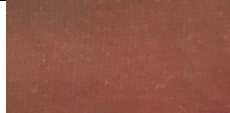


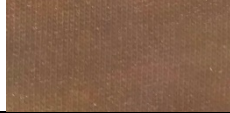
Şekil 4.15. Halokromik boyanın termokromik ve fotokromik boya ile üçlü karışımlar şeklinde boyandığı numunenin her bir asit-alkali döngüsü sonrası başlangıç haline göre toplam renk farklılığı değerleri

Çizelge 4.12 incelendiğinde multikromik 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 4.15’te de açıkça görülebilmektedir. Dolayısıyla fenol kırmızısının multikromik bir tekstil ürünü üretiminde kullanılması durumunda renk değiştirme kabiliyetini yüksek döngü sayılarında koruyabileceği düşünülmektedir. Bu sonuçlar fenol kırmızısının yorulma direncinin termokromik ve fotokromik boyalarla kombine edilmesi durumunda bozulmadığını ortaya koymaktadır.

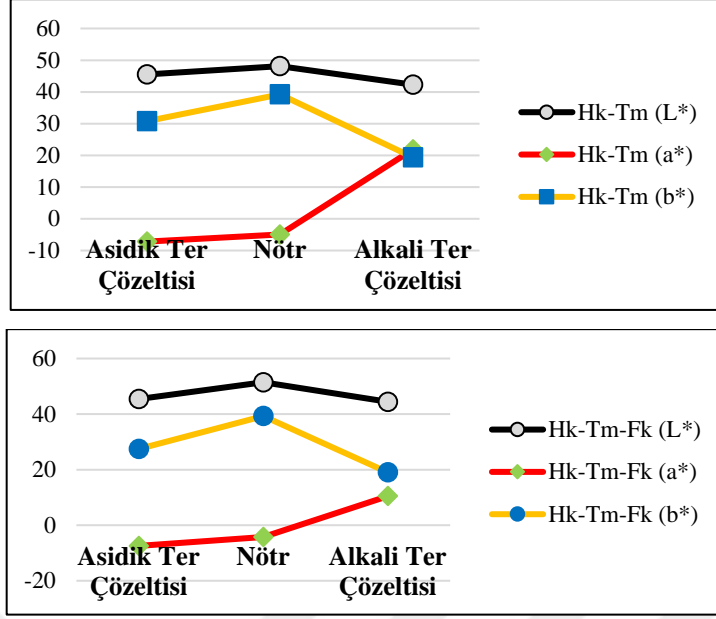
4.2.2. Multikromik Kumaşların Ter ile Renk Değişirme Özelliğinin İncelenmesi

Proje kapsamında aynı zamanda kişilerin terleyip terlemediğini haber veren giysi üretilmesi de hedeflenmiştir. Çizelge 4.13’te halokromik boyanın termokromik boyayla ikili veya termokromik ve fotokromik boyalarla üçlü karışımlar şeklinde boyandığı numunelerin asidik ve alkali ter çözeltilerinde gösterdikleri renk değişimleri görülmektedir.

Çizelge 4.13. Emdirme yöntemine göre halokromik boyanın termokromik boyayla ikili veya termokromik ve fotokromik boyalarla üçlü karışımlar şeklinde boyandığı numunelerin terin etkisiyle renk değişimi

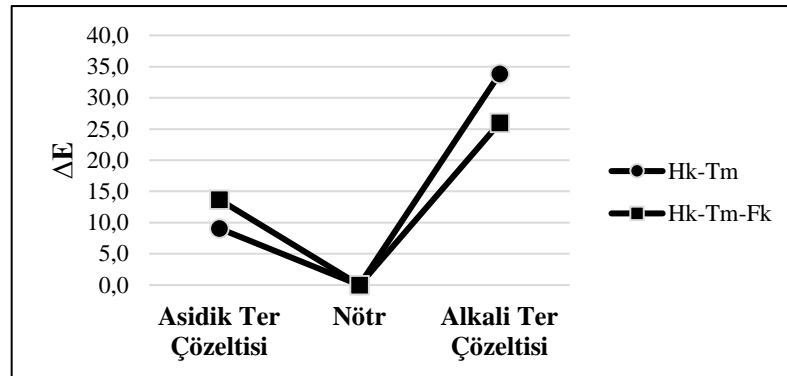
Kumaş	Asidik Ter Çözeltisi	Nötr	Alkali Ter Çözeltisi
Hk-Tm			
Hk-Tm-Fk			

Çizelge 4.13 incelendiğinde “Halokromik Kırmızı + Termokromik Mavi” veya “Halokromik Kırmızı + Termokromik Mavi + Fotokromik Kırmızı” içeren ikili ya da üçlü kromik boya karışımı boyanmış kumaşların asidik ter çözeltisinde rengin nüansı değişmeden sadece koyulaştığı ve renk değişiminin daha az belirgin olduğu, alkali ter çözeltisinde ise kumaş renginin tamamen değiştiği ve sarı-yeşil tonlardan kırmızı-kahverengi tonlara döndüğü anlaşılmaktadır. Kumaşların renk değişimleri gözlemlendikten sonra, elde edilen görüntüler sayısallaştırılarak CIE L*a*b* değerleri elde edilmiştir. Sonuçlar Şekil 4.16’da verilmektedir.



Şekil 4.16. Emdirme yöntemine göre halokromik boyanın termokromik boyayla ikili (üstte) veya termokromik ve fotokromik boya ile üçlü (altta) karışımlar şeklinde boyandığı numunelerin asidik ve alkali ter çözeltilerindeki renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen L*, a* ve b* değerleri

Şekil 4.16 incelendiğinde kumaşların başlangıç hâline göre hem asidik hem alkali ter çözeltilerinde renginin koyulaştığı (L* değerinin azaldığı) söylenebilir. Rengin nüansına gelince asidik ter çözeltilerinde daha yeşil (daha küçük a* değeri) ve daha az sarı (daha küçük b* değeri), alkali ter çözeltilerinde ise daha kırmızı (daha büyük a* değeri) ve daha az sarı (daha küçük b* değeri) hâle geldiği söylenebilir. Bu değerlerden yola çıkarak şekil 4.17’de toplam renk farkı (ΔE) hesaplanmıştır.



Şekil 4.17. Emdirme yöntemine göre halokromik boyanın termokromik ve/veya fotokromik boya ile ikili ve üçlü karışımlar şeklinde boyandığı numunelerin asidik ve alkali ter çözeltilerindeki renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen ΔE değeri

Bu değerlerden yola çıkılarak n6tr hâdeki renk referans alınıp ΔE değerleri hesaplandığında;

- Hk-Tm kumaşlarda asidik ve alkali ter 6zeltileri için sırasıyla 9,3 ve 33,8
- Hk-Tm-Fk kumaşlarda asidik ve alkali ter 6zeltileri için sırasıyla 13,7 ve 26,0

olduğu g6r6lmektedir Bu da kumaşların alkali ter ortamında daha belirgin renk değiştirdiğini ortaya koymaktadır.













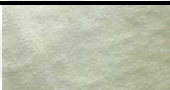






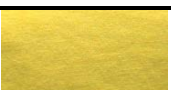













4.2.3. Multikromik Kumaşların Sıcaklık ile Renk Değiştirme 6zelliğinin İncelenmesi

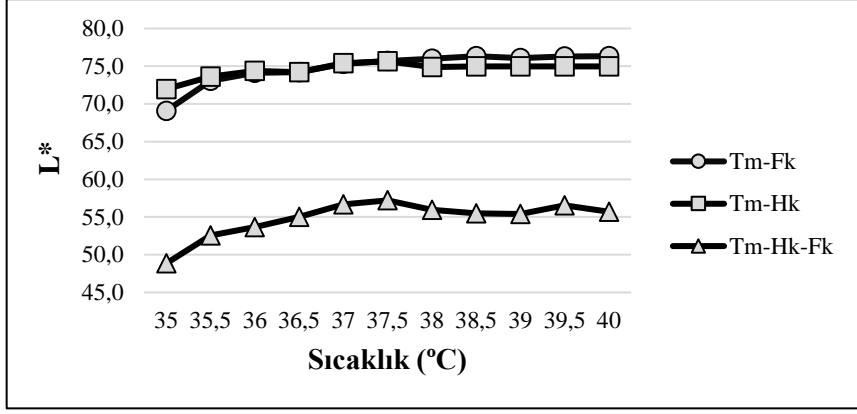
Termokromik boyanın halokromik ve/veya fotokromik boyalarla ikili ve 6l6 karışımlar şeklinde boyandığı kumaşlar renk değişimi g6zlem kabini içerisine yerleştirildikten sonra kabin ısıtılarak renk değişimleri g6zlenmiştir. Sonuçlar izelge 4.14’de verilmektedir.

Çizelge 4.14 incelendiğinde ‘Termokromik Mavi + Fotokromik Kırmızı’ kombinasyonuyla boyanmış kumaşta sıcaklık arttıça rengin açıldığı ve beyaza d6nd6ęu g6r6lmektedir. Zira termokromik boya 35 6C’ta mavi renkteyken ısıtılınca beyaza d6nmektedir. Fotokromik boya ise oda ışığında zaten renksiz olduğu için bunun renge bir etkisi olmamaktadır. ‘Halokromik Kırmızı + Termokromik Mavi’ kumaş başlangıçta halokromik boyanın sarı rengi ile termokromik boyanın mavi renginin bileşkesi olan yeşilimsi sarı tondadır. Isıtıldıça mavi renkli termokromik boya renksizleştiğinden kumaşın rengi sadece halokromik boyanın rengi olan sarıya d6nmektedir. ‘Termokromik Mavi + Halokromik Kırmızı + Fotokromik Kırmızı’ 6l6 kombinasyonunda da aynı şekilde sıcaklık y6kseldiçe termokromik boyanın mavi rengi kaybolduğundan kumaştaki yeşil n6ans azalmıştır.

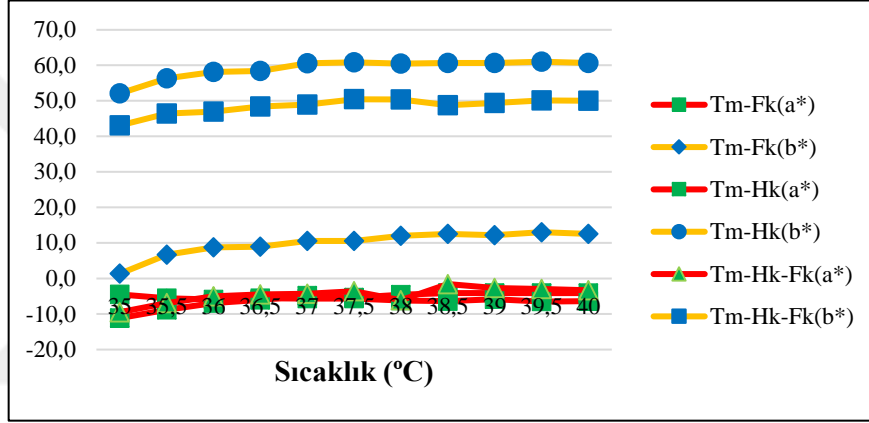
Termokromik boyanın halokromik ve/veya fotokromik boyalarla ikili ve 6l6 karışımlar şeklinde boyandığı kumaşların renk değişimleri renk değişimi g6zlem kabininde g6zlemlendikten sonra, elde edilen g6r6nt6ler sayısallaştırılarak CIE L*a*b* değerleri elde edilmiştir. Bu değerlerden yola çıkılarak 35 6C’taki renk referans alınıp ΔE değerleri de hesaplanmıştır. Sonuçlar şekil 4.18-4.20’de verilmektedir.

Çizelge 4.14. Termokromik boyanın halokromik ve/veya fotokromik boyalarla ikili ve üçlü karışımlar şeklinde boyandığı kumaşların renk değişimi gözlem kabiniinde sıcaklığa bağlı renk değişimi

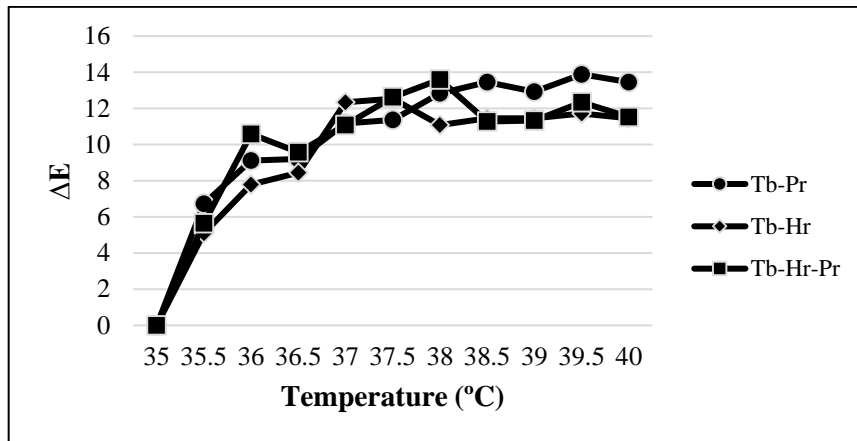
Sıcaklık	Termokromik Mavi + Fotokromik Kırmızısı	Termokromik Mavi + Halokromik Kırmızı	Termokromik Mavi + Halokromik Kırmızı + Fotokromik Kırmızı
35,0			
35,5			
36,0			
36,5			
37,0			
37,5			
38,0			
38,5			
39,0			
39,5			
40,0			



Şekil 4.18. Termokromik boyanın halokromik ve/veya fotokromik boyalarla ikili ve üçlü karışımlar şeklinde boyandığı kumaşların renk değişimi gözlem kabini içinde gözlenen sıcaklığa bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen L^* değerleri



Şekil 4.19. Termokromik boyanın halokromik ve/veya fotokromik boyalarla ikili ve üçlü karışımlar şeklinde boyandığı kumaşların renk değişimi gözlem kabini içinde gözlenen sıcaklığa bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen a^* ve b^* değerleri



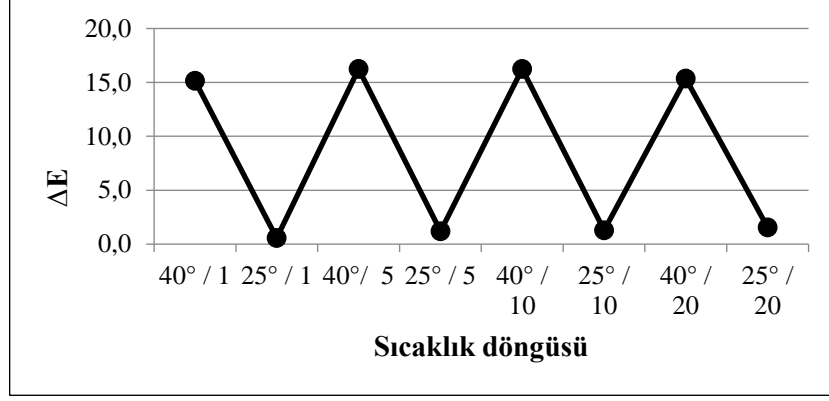
Şekil 4.20. Termokromik boyanın halokromik ve/veya fotokromik boyalarla ikili ve üçlü karışımlar şeklinde boyandığı kumaşların renk değişimi gözlem kabini içinde gözlenen sıcaklığa bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen ΔE değerleri

Şekil 4.18-4.20 incelendiğinde ortam sıcaklığı arttıkça termokromik boyanın halokromik ve/veya fotokromik boyalarla ikili ve üçlü karışımlar şeklinde boyandığı kumaşların renginin açıldığı (artan L* değeri) görülmektedir. Öte yandan sıcaklık arttıkça b* değeri artmış yani kumaştaki mavilik azalmış (sarılık artmış), a* değeri ise pek değişmemiştir. Toplam renk farklılığı değerleri incelendiğinde, 35-39 °C arasında ΔE değerinin arttığı, 39,5 °C'tan sonra ise değişmediği görülmektedir.

Termokromik tekstillerde önemli olan bir konu da elde edilen renk değiştirme efektinin yorulma direncidir. Ardışık kaç döngüye dayanabilecek olduğu ürünün kullanım ömrü açısından kritik öneme sahiptir. Bu nedenle, renk değişim kabininde multikromik kumaş bir ısıtılıp bir soğutulmuş olarak 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 4.15'te multikromik kumaşın her bir döngü sonrası CIE L*a*b* ve K/S değerleri verilmektedir. Şekil 4.21'de ise her bir ısıtma-soğutma döngüsü sonrası başlangıç haline göre toplam renk farklılığı değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 4.15. Termokromik boyanın halokromik ve fotokromik boyalarla üçlü karışım şeklinde boyandığı kumaşın renk değişimi gözlem kabininde her bir sıcaklık döngüsü sonrası renk ölçüm değerleri

Kumaş	Renk	L*	a*	b*	C*	h°	%R	ΔE	K/S
İşlemsiz		72,05	-0,65	41,53	41,53	90,90	13,88	15,1	3,53
40 °C 1. döngü		79,62	5,45	53,14	53,42	84,15	14,20	0,6	3,45
25 °C 1. döngü		72,57	-0,46	41,64	41,64	90,63	14,09	16,3	3,48
40 °C 5. döngü		80,08	5,50	54,25	54,53	84,21	14,01	1,2	3,50
25 °C 5. döngü		72,78	-0,18	42,33	42,33	90,24	13,93	16,2	3,52
40 °C 10. döngü		80,02	5,48	54,27	54,55	84,24	13,90	1,3	3,53
25 °C 10. döngü		72,88	-0,21	42,39	42,39	90,28	13,98	15,3	3,51
40 °C 20. döngü		78,92	5,13	53,98	54,23	84,57	13,95	1,6	3,51
25 °C 20. döngü		72,92	-0,04	42,67	42,678	90,06	13,80	15,1	3,55





























Şekil 4.21. Termokromik boyanın halokromik ve fotokromik boyalarla üçlü karışım şeklinde boyandığı kumaşın renk değişimi gözlem kabiniinde her bir sıcaklık döngüsü sonrası başlangıç haline göre toplam renk farklılığı değerleri

Şekil 4.21 incelendiğinde multikromik kumaşın ısıtmaya maruz kalması sonrası ardışık olarak 20 kere yapılan testte hemen hemen aynı renk değişimi kabiliyetini gösterdiği söylenebilir. Dolayısıyla bu boyaların multikromik bir tekstil ürünü üretiminde kullanılması durumunda renk değiştirme kabiliyetini yüksek döngü sayılarında koruyabileceği düşünülmektedir. Bu sonuçlar termokromik mavi boyanın yorulma direncinin halokromik ve fotokromik boyalarla kombine edilmesi durumunda bozulmadığını ortaya koymaktadır.

4.2.4. Multikromik Kumaşların UV Işık ile Renk Değiştirme Özelliğinin İncelenmesi

Fotokromik boyanın termokromik boyayla ikili veya termokromik ve halokromik boyalarla üçlü karışımlar şeklinde boyandığı kumaşlar renk değiştirme gözlem kabini içerisine yerleştirildikten sonra UV ışık verilerek zamana bağlı renk değişimleri gözlenmiştir. Sonuçlar Çizelge 4.16'da verilmektedir.

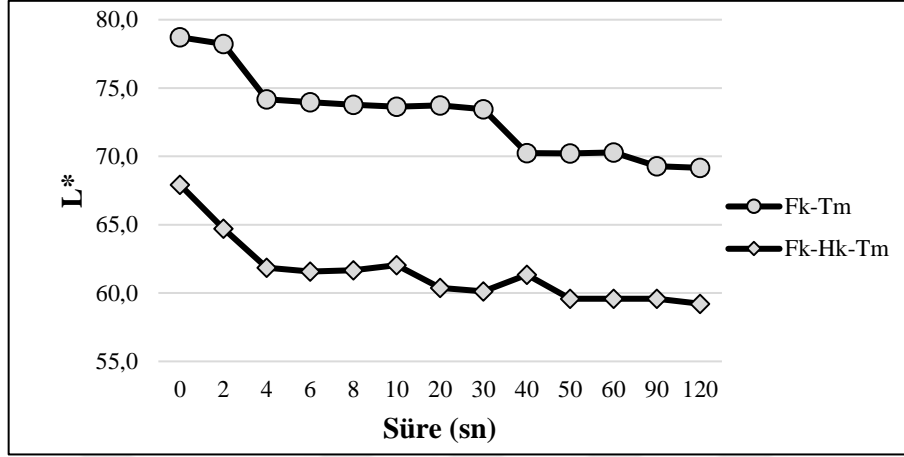
Çizelge 4.16. Fotokromik boyanın termokromik boyayla ikili veya termokromik ve halokromik boyalarla üçlü karışımlar şeklinde boyandığı kumaşların renk değişimi gözlem kabiniinde UV ışığın etkisiyle zamana bağlı renk değişimi

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

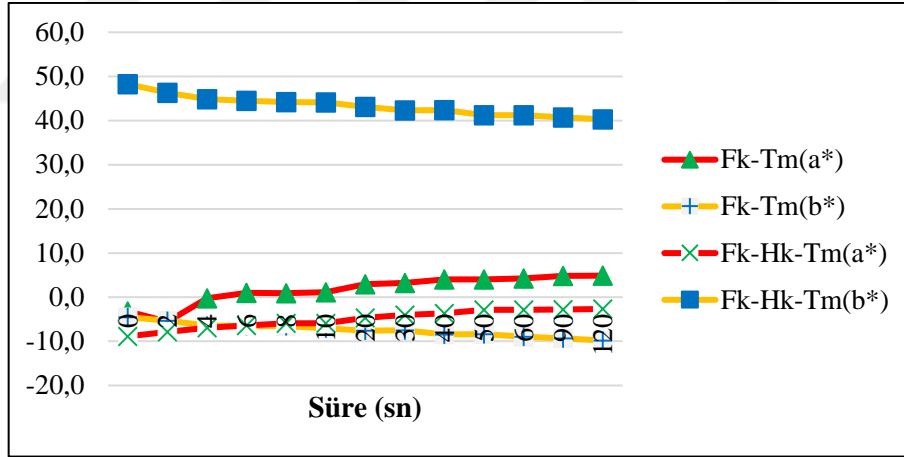
Çizelge 4.16 incelendiğinde “Termokromik Mavi + Fotokromik Kırmızı” kombinasyonu ile boyanmış kumaşta başlangıçta mavi olan rengin UV ışık etkisiyle kırmızı fotokromik boyanın aktifleşmesiyle birlikte renginin lilaya döndüğü görülmektedir. “Termokromik Mavi + Halokromik Kırmızı + Fotokromik Kırmızı” üçlü kombinasyonunda başlangıçta yeşil olan renk (halokromiğin sarı rengi ile termokromiğin mavi rengi nedeniyle) UV ışık etkisiyle kırmızı fotokromik boyanın aktifleşmesiyle birlikte renginin kırmızı nüanslı bir yeşile döndüğü saptanmıştır.

Fotokromik boyanın termokromik boyayla ikili veya termokromik ve halokromik boyalarla üçlü karışımlar şeklinde boyandığı kumaşların renk değişimleri renk değişimi gözlem

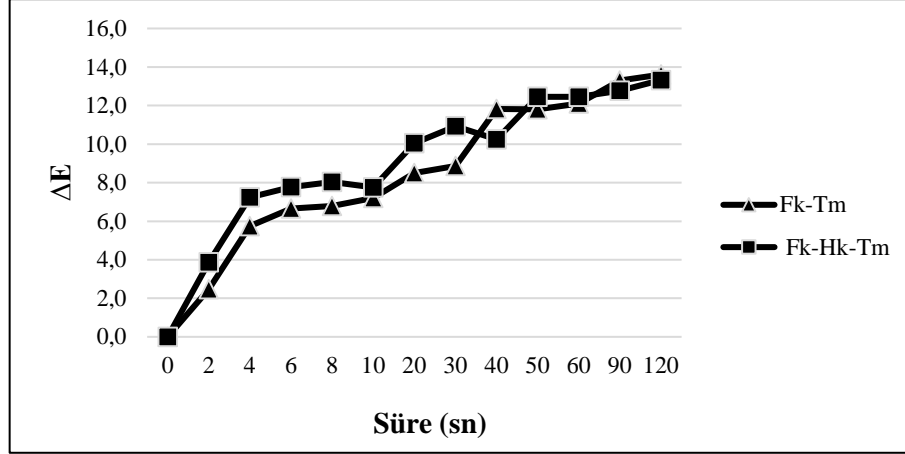
kabininde gözlemlendikten sonra, elde edilen görüntüler sayısallaştırılarak CIE L*a*b* değerleri elde edilmiştir. Bu değerlerden yola çıkılarak başlangıçtaki renk referans alınıp ΔE değerleri de hesaplanmıştır. Sonuçlar Şekil 4.22-4.24'de verilmektedir.



Şekil 4.22. Fotokromik boyanın termokromik boyayla ikili veya termokromik ve halokromik boyalarla üçlü karışımlar şeklinde boyandığı kumaşların renk değişimi gözlem kabininde gözlenen süreye bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen L* değerleri



Şekil 4.23. Fotokromik boyanın termokromik boyayla ikili veya termokromik ve halokromik boyalarla üçlü karışımlar şeklinde boyandığı kumaşların renk değişimi gözlem kabininde gözlenen süreye bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen a* ve b* değerleri



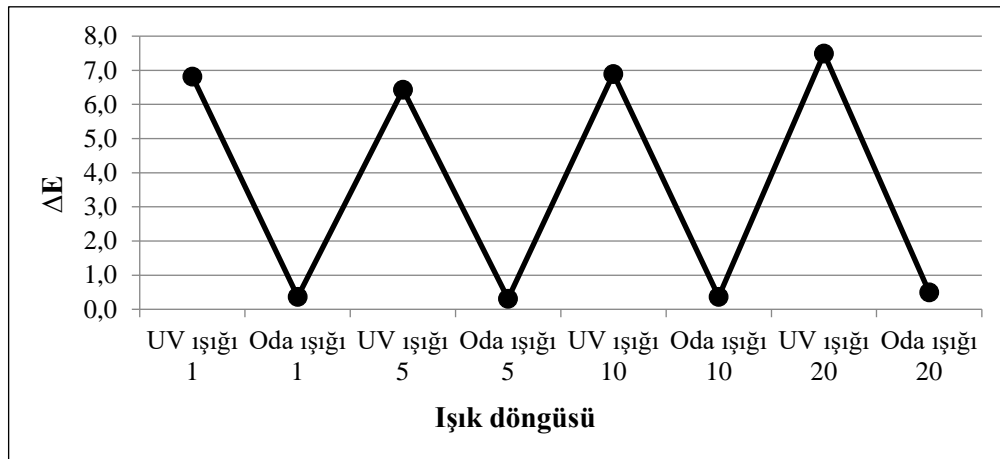
Şekil 4.24. Fotokromik boyanın termokromik boyayla ikili veya termokromik ve halokromik boyalarla üçlü karışımlar şeklinde boyandığı kumaşların renk değişimi gözlem kabiniinde gözlenen süreye bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen ΔE değerleri

Şekil 4.22-4.24 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.

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 kabiniinde multikromik 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 4.17’de multikromik 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 4.17. Fotokromik boyanın halokromik ve termokromik boya ile üçlü karışım şeklinde boyandığı kumaşın renk değişimi gözlem kabini içinde UV ışık döngüsü sonrası renk ölçüm değerleri

Kumaş	Renk	L*	a*	b*	C*	h°	%R	ΔE	K/S
İşlemsiz		72,30	-0,13	42,25	42,25	90,18	13,67	6,8	3,59
UV ışığı 1. döngü		69,22	4,20	37,97	38,20	83,68	13,40	0,4	3,66
Oda ışığı 1. döngü		72,59	-0,14	42,47	42,47	90,18	13,84	6,4	3,54
UV ışığı 5. döngü		69,24	3,98	38,36	38,57	84,08	13,36	0,3	3,68
Oda ışığı 5. döngü		72,49	-0,30	42,43	42,44	90,40	13,70	6,9	3,58
UV ışığı 10. döngü		69,10	4,16	37,90	38,13	83,74	13,55	0,4	3,62
Oda ışığı 10. döngü		72,39	-0,37	42,51	42,52	90,23	13,61	7,5	3,61
UV ışığı 20. döngü		68,72	4,22	37,31	37,54	83,55	13,52	0,5	3,63
Oda ışığı 20. döngü		72,73	0,001	42,47	42,47	89,99	13,89	6,8	3,53



Şekil 4.25. Fotokromik boyanın halokromik ve termokromik boya ile üçlü karışım şeklinde boyandığı kumaşın renk değişimi gözlem kabini içinde her bir UV ışık döngüsü sonrası başlangıç haline göre toplam renk farklılığı değerleri

Çizelge 4.17 incelendiğinde multikromik 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 bu boyaların multikromik bir tekstil ürünü üretiminde kullanılması durumunda renk değiştirme kabiliyetini yüksek döngü sayılarında koruyabileceği düşünülmektedir. Bu sonuçlar fotokromik kırmızı boyanın yorulma direncinin halokromik ve termokromik boyalarla kombine edilmesi durumunda bozulmadığını ortaya koymaktadır.

4.2.5 Bikromik ve multikromik kumaşların farklı etkiler ile renk değiştirme özelliğinin incelenmesi

Çizelge 4.18'de bikromik ve multikromik kumaşların farklı etkilerdeki renk değişimleri gösterilmektedir.

Çizelge 4.18: Multikromik kumaşların farklı etkilerdeki renk değişimi tablosu

No	İsim	Ham	pH (alkali)	pH (asit)	Sıcaklık	Işık	pH (alkali) / Sıcaklık	pH (asit) / Sıcaklık	pH (alkali) / Işık	pH (asit) / Işık	Sıcaklık / Işık	pH (alkali) / sıcaklık / Işık	pH (asit) / sıcaklık / Işık
1	Tm - Fk		*	*			*	*	*	*			*
2	Tm - Hk					*			*	*	*	*	*
3	Fk - Hk				*		*	*			*	*	*
4	Fk - Tm - Hk												

Çizelge 4.18 incelendiğinde, üçlü karışımlar ile boyanan kumaşın rengi başlangıçta yeşil iken

➤ *tek etki olan ortamda*

- alkali buharında koyu kırmızı,
- asit buharında kırmızı,
- sıcaklığa maruz kaldığında açık sarı ve
- UV ışık ortamında açık yeşile dönmüştür.

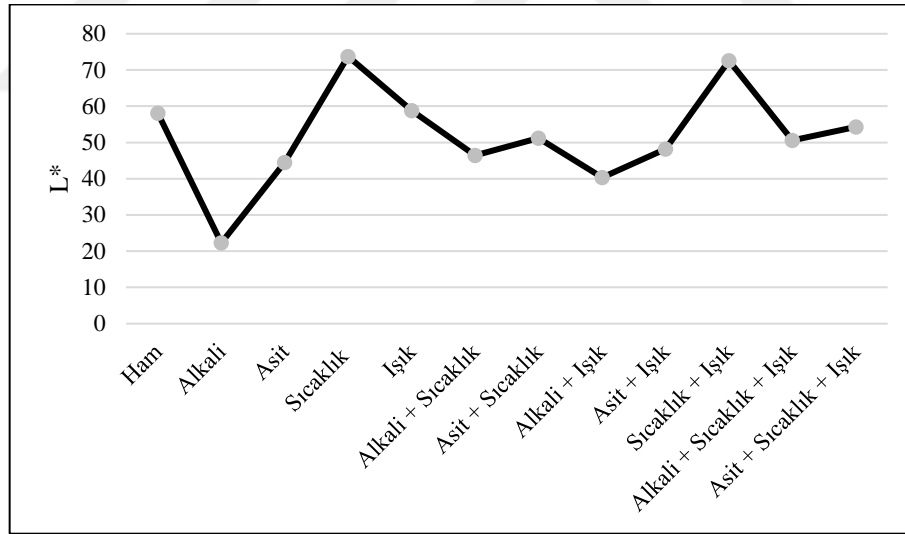
➤ **İki etki olan ortamda**

- Alkali + sıcaklığın bulunduğu ortamda kırmızı,
- Asit + sıcaklığın bulunduğu ortamda açık kırmızı,
- Alkali + UV ışık ortamında kırmızı (sadece alkali olan ortama göre renk daha açık),
- Asit + UV ışık ortamında turuncu (sadece asit olan ortama göre renk daha açık) ve
- Sıcaklık + ışık ortamında koyu sarı renge dönmüştür.

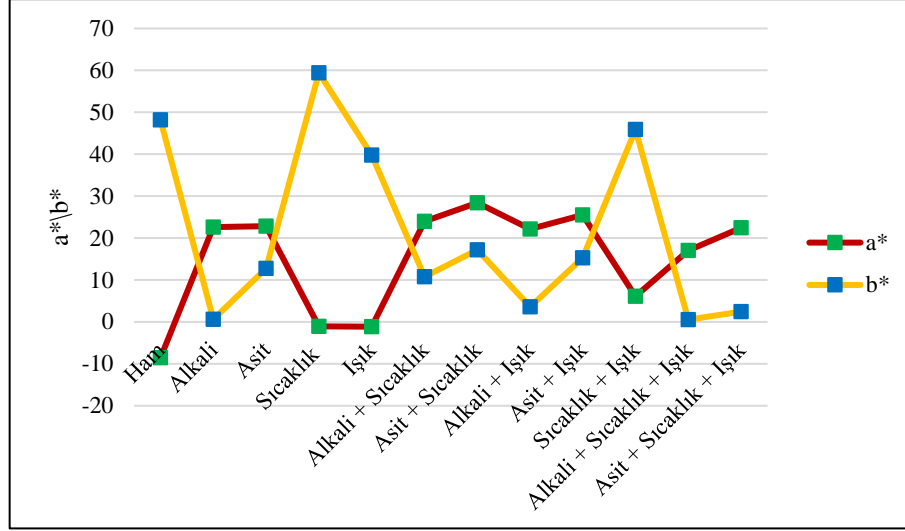
➤ **Üçlü etki olan ortamda**

- Alkali + sıcaklık + ışık ortamında mor ve
- Asit + sıcaklık + ışık ortamında pembe renge dönmüştür.

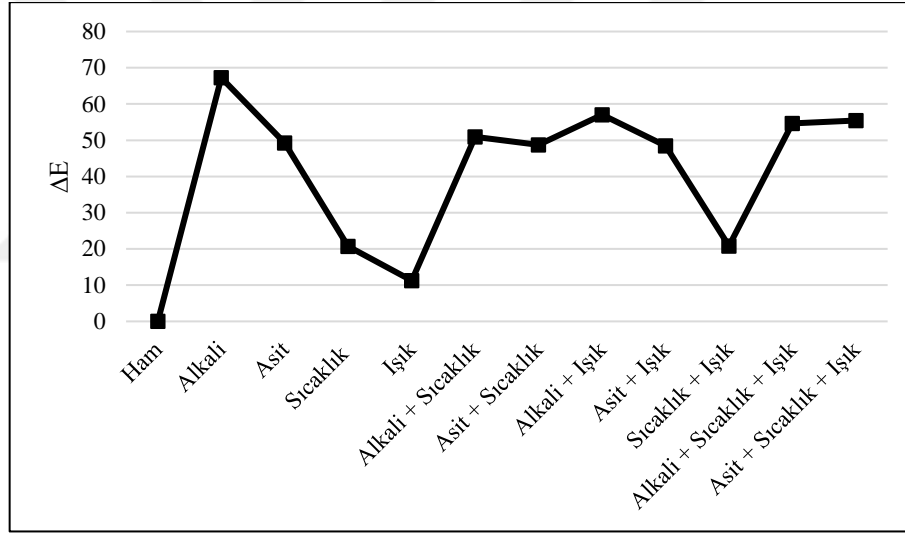
Emdirme yöntemine göre halokromik, termokromik ve fotokromik boyalarla üçlü karışımlar şeklinde boyanan numunenin farklı etkilerde renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen L^* , a^* , b^* ve ΔE değerleri Şekil 4.26, 4.27 ve 4.28’de verilmektedir.



Şekil 4.26. Emdirme yöntemine göre halokromik, termokromik ve fotokromik boyalarla üçlü karışımlar şeklinde boyanan numunenin farklı etkilerde renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen L^* değerleri



Şekil 4.27. Emdirme yöntemine göre halokromik, termokromik ve fotokromik boyalarla üçlü karışımlar şeklinde boyanan numunenin farklı etkilerde renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen a* ve b* değerleri



Şekil 4.28. Emdirme yöntemine göre halokromik, termokromik ve fotokromik boyalarla üçlü karışımlar şeklinde boyanan numunenin farklı etkilerde renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen ΔE değerleri

Şekil 4.26-4.28 incelendiğinde, üçlü karışımlar ile boyanan kumaşların rengi başlangıçta açık yeşil iken çeşitli etkilerle renk değişimi olduğu ve her etkinin kumaşta farklı renklere sebep olduğu hem ΔE değerlerinden hem de ölçülen L*, a*, b* değerlerinden anlaşılmaktadır.

Proje kapsamında optimum şartlarda halokromik, termokromik ve fotokromik boyalarla laboratuvar şartlarında boyanmış bikromik ve multikromik özelliklerdeki kumaşların renk değiştirme kabiliyetlerinin oldukça başarılı olduğu söylenebilir.

4.3 Numune Ölçekli Multikromik Kumaş Üretimine İlişkin Sonuçlar

Multikromik kumaş üretimine ilişkin laboratuvar ölçekli denemeler tamamlandıktan sonra Özen Mensucat A.Ş.'de pamuklu süprem kumaşlar halokromik, termokromik ve fotokromik boyalar kullanılarak optimum şartlarda fulardda işletme koşullarında emdirme yöntemine göre boyanmıştır.

İşletmede boyanan kumaşa yıkama, sürtme ışık ve ter haslığı testleri yapılmış olup sonuçlar Çizelge 4.19 ve 4.20'de verilmektedir.

Çizelge 4.19. Optimum koşullarda işletmede emdirme yöntemine göre boyanan multikromik kumaşların yıkama ve sürtme haslığı sonuçları

Yıkama Haslığı						Sürtme Haslığı	
WO	PAC	PES	PA	CO	CA	Kuru	Yaş
5	5	5	5	5	5	5	2-3

Çizelge 4.20. Optimum koşullarda işletmede emdirme yöntemine göre boyanan multikromik kumaşların ter ve ışık haslığı sonuçları

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







Çizelge 4.19-4.20 incelendiğinde yıkama ve kuru sürtme haslıklarının çok iyi olduğu, yaş sürtme asidik ve alkali ter haslıklarının ise kabul edilebilir seviyelerde olduğu görülmüştür. Işık haslığı sonucu ise yine düşük çıkmıştır. Ancak proje kapsamında üretilecek olan giysi veya bileklik kapalı ortamda bulunacağı için ışık haslığı kritik öneme sahip değildir.

İşletmede boyanan multikromik kumaşın pH, sıcaklık, ışık etkisiyle renk değişimleri renk değişimi gözlem kabininde gözlemlenmiştir. Ayrıca elde edilen görüntüler sayısallaştırılarak CIE L*a*b* değerleri elde edilmiştir. Bu değerlerden yola çıkılarak başlangıçtaki renk referans alınıp ΔE değerleri de hesaplanmıştır. Tüm elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir.

4.3.1 İşletmede Boyanan Multikromik kumaşın pH ile renk değiştirme özelliğinin incelenmesi

Renk değişimi gözlem kabini içerisine kumaş yerleştirildikten sonra hidroklorik asit veya amonyum hidroksit buharı verilerek renk değişimleri gözlenmiştir. Sonuçlar Çizelge 4.21’de verilmektedir.

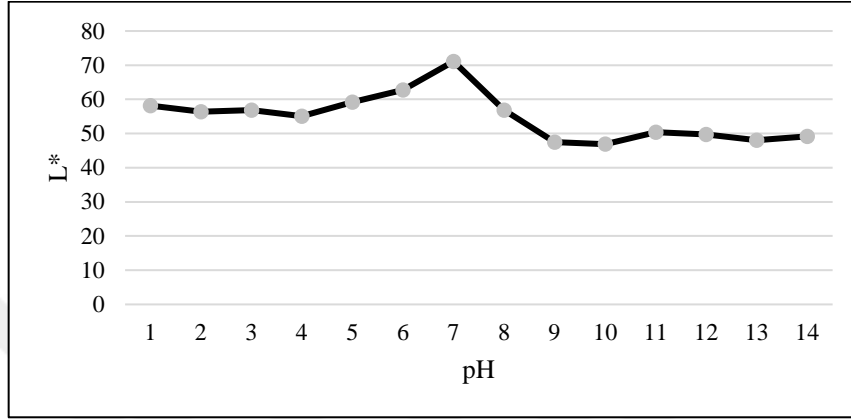
Çizelge 4.21. İşletme şartlarında emdirme yöntemine göre halokromik, termokromik ve fotokromik boyaların üçlü karışımları ile işletmede boyanmış olan numunenin renk değişimi gözlem kabininde pH’ın etkisiyle renk değişimi

pH	İşletme kumaşı	pH	İşletme kumaşı
1		8	
2		9	
3		10	
4		11	
5		12	
6		13	
7		14	

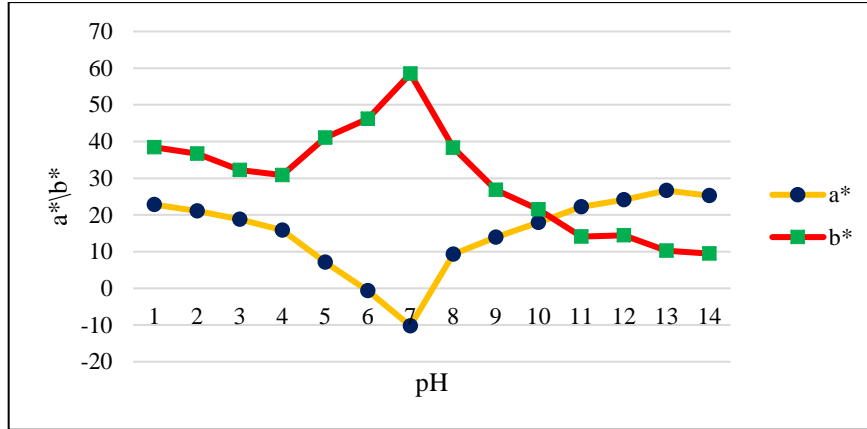
Çizelge 4.21’de “Halokromik Kırmızı + Termokromik Mavi + Fotokromik Kırmızı” içeren üçlü kromik boya karışımı ile boyanan kumaşa NH_4OH buharı uygulandığında pH 8 civarında büyük renk değişimi olmamakla beraber pH 10’a gelindiğinde renk belirgin olarak değişmeye başlamış ve pH değeri arttıkça renk koyulaşarak pH 13-14’te renk kırmızı hâle gelmiştir. Bu kumaşa HCl asit buharı uygulandığında ise renk pH 5-6’da pH 7’ye göre biraz daha kahverengi yöne kaymış, ancak pH 4 değerinin altında, pH 1’e doğru renk giderek turuncu-kahverengiye dönmüştür.

Bütün bu sonuçlardan anlaşılacağı gibi hem asidik hem alkali ortamda renk değiştirerek haber verecek akıllı bir giysi için fenol kırmızısının kullanımı işletme koşullarında da olumlu sonuç vermektedir.

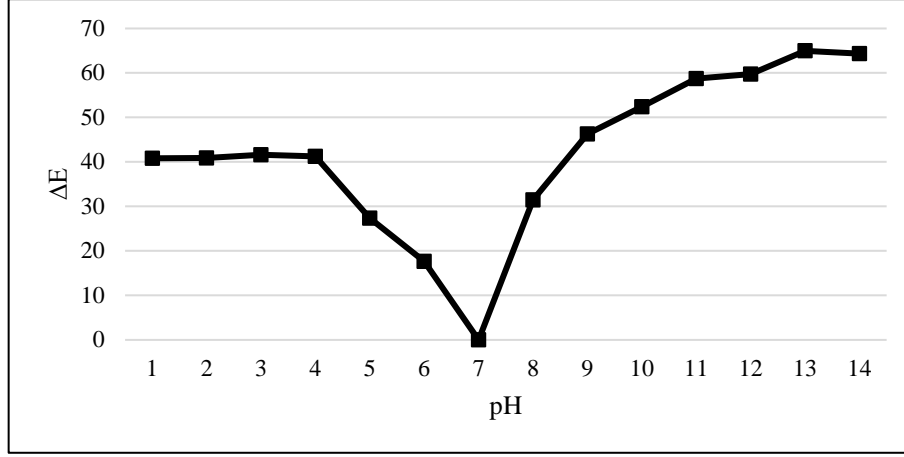
Söz konusu numunenin renk değişimleri, renk değişimi gözlem kabiniinde gözlemlendikten sonra, elde edilen görüntüler sayısallaştırılarak CIE L*a*b* değerleri elde edilmiştir. Bu değerlerden yola çıkılarak pH 7'deki renk referans alınıp ΔE değerleri de hesaplanmıştır. Sonuçlar Şekil 4.29-4.31'de verilmektedir.



Şekil 4.29. İşletme şartlarında emdirme yöntemine göre halokromik boyanın termokromik ve fotokromik boyalarla üçlü karışımlar şeklinde boyandığı numunenin renk değişimi gözlem kabiniinde gözlenen pH'a bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen L* değerleri.



Şekil 4.30. İşletme şartlarında emdirme yöntemine göre halokromik boyanın termokromik ve fotokromik boyalarla üçlü karışımlar şeklinde boyandığı numunenin renk değişimi gözlem kabiniinde gözlenen pH'a bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen a* ve b* değerleri



Şekil 4.31. İşletme şartlarında emdirme yöntemine göre halokromik boyanın termokromik ve fotokromik boyalarla üçlü karışımlar şeklinde boyandığı numunenin renk değişimi gözlem kabininde gözlenen pH'a bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen ΔE değerleri

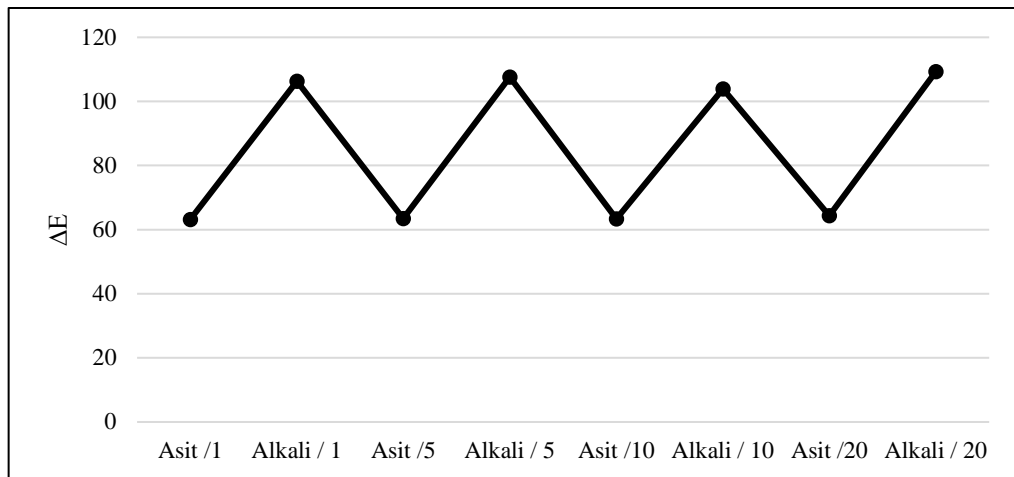
Şekil 4.29-4.31 incelendiğinde, halokromik boya olarak fenol kırmızısı içeren üçlü karışımlar ile boyanan kumaşların rengi pH 7'de en açık (en büyük L^* değeri) çıkmıştır. pH 7 değerinden pH 14 değerine yani alkali ortama gidildikçe renk koyulaşmıştır. pH 7 değerinden pH 1 değerine yani asidik ortama gidildikçe de renk koyulaşmış, ama koyulaşma alkali buharındaki renk değişimi kadar büyük olmamıştır. Rengin nüansına bakıldığında ise pH 7'de renk en sarı halini almıştır. pH değeri 7'den 14'e veya 7'den 1'e gittikçe b^* değeri azalmış (daha az sarı), a^* değeri ise artmıştır (daha kırmızı). Meydana gelen renk değişimi oldukça büyüktür.

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

Halokromik boyalı 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 alkali buharı olacak şekilde ardışık 20 döngü uygulanmış ve her döngüde kumaşın başlangıç hâline göre renk değiştirme kabiliyetinin bir ölçüsü olarak başlangıç rengi referans alınarak toplam renk farklılığı değerleri hesaplanmıştır. Çizelge 4.22'de halokromik boyanın termokromik ve fotokromik boyalarla üçlü karışım şeklinde boyandığı numunenin her bir döngü sonrası CIE $L^*a^*b^*$ ve K/S değerleri verilmektedir. Şekil 4.32'de ise her bir asit-alkali döngüsü sonrası başlangıç haline göre toplam renk farklılığı değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 4.22. İşletme şartlarında emdirme yöntemine göre halokromik boyanın termokromik ve fotokromik boyalarla üçlü karışım şeklinde boyandığı numunenin renk değişimi gözlem kabininde her bir asit-alkali döngüsü sonrası renk ölçüm değerleri

Kumaş	Renk	L*	a*	b*	C*	h°	ΔE	K/S
İşlemsiz		70,31	1,37	49,64	49,66	88,42	0,00	4,18
Asit – 1. döngü		55,49	38,61	1,64	38,78	5,39	63,22	11,34
Alkali – 1. döngü		44,35	40,34	-19,04	44,60	334,73	106,29	8,95
Asit – 5. döngü		56,51	39,28	1,05	39,29	358,47	63,45	10,87
Alkali – 5. döngü		44,60	39,14	-13,76	41,49	340,63	107,56	8,41
Asit – 10. döngü		57,10	40,65	1,96	40,70	2,76	63,36	9,82
Alkali – 10. döngü		45,84	36,13	-9,75	37,43	344,91	103,92	7,23
Asit – 20. döngü		57,38	39,90	1,97	40,01	4,26	64,40	9,17
Alkali – 20. döngü		45,91	36,64	-6,40	37,19	350,09	109,32	7,07














Şekil 4.32. İşletme şartlarında emdirme yöntemine göre boyanan halokromik boyanın termokromik ve fotokromik boyalarla üçlü karışımlar şeklinde boyandığı numunenin her bir asit-alkali döngüsü sonrası başlangıç haline göre toplam renk farklılığı değerleri

Çizelge 4.22 incelendiğinde multikromik 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 4.32’de de açıkça görülebilmektedir. Dolayısıyla fenol kırmızısının multikromik bir tekstil ürünü üretiminde kullanılması durumunda renk değiştirme kabiliyetini yüksek döngü sayılarında koruyabileceği düşünülmektedir. Bu sonuçlar fenol kırmızısının yorulma direncinin termokromik ve fotokromik boyalarla kombine edilmesi durumunda bozulmadığını ortaya koymaktadır.

4.3.2 İşletmede Boyanan Multikromik kumaşın sıcaklık ile renk değiştirme özelliğinin incelenmesi

Renk değişimi gözlem kabini içerisine kumaş yerleştirildikten sonra sıcaklık verilerek renk değişimleri gözlenmiştir. Sonuçlar Çizelge 4.23’te verilmektedir.

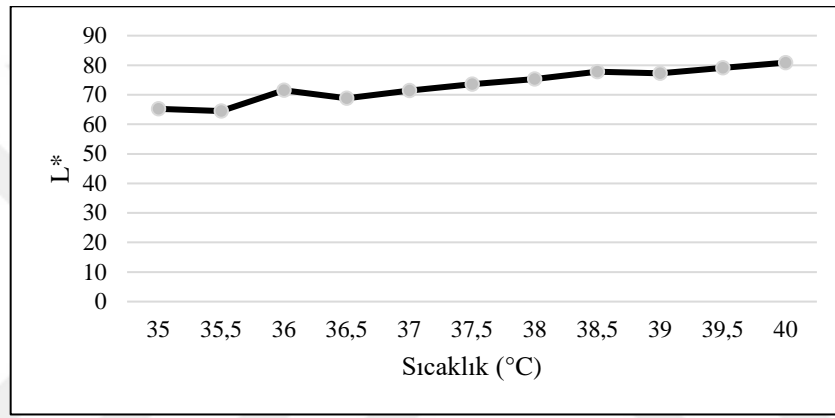
Çizelge 4.23. İşletme şartlarında emdirme yöntemine göre kromik boya ile üçlü karışım şeklinde boyanan numunenin renk değişimi gözlem kabini içinde sıcaklığın etkisiyle renk değişimi

Sıcaklık (°C)	İşletme kumaşı (multikromik)	Sıcaklık (°C)	İşletme kumaşı (multikromik)
35,0		38,0	
35,5		38,5	
36,0		39,0	
36,5		39,5	
37,0		40,0	
37,5			

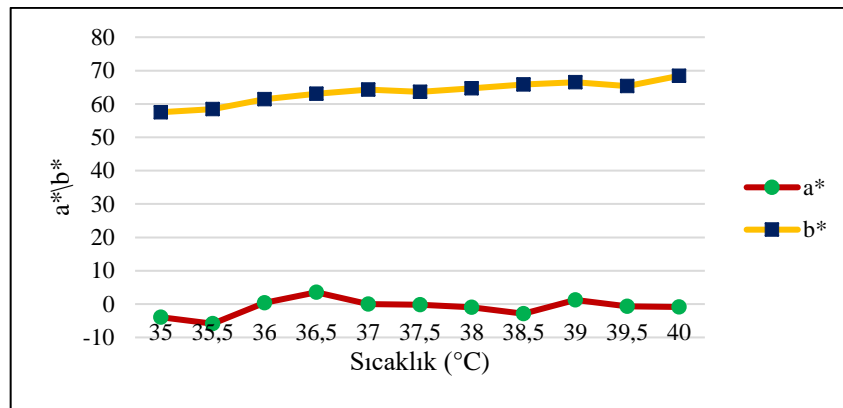
Çizelge 4.23'te "Halokromik Kırmızı + Termokromik Mavi + Fotokromik Kırmızı" içeren üçlü kromik boya karışımı ile boyanan kumaşta sıcaklık artışı ile rengin açıldığı ve sarıya döndüğü görülmektedir. Özellikle 35,5 °C'tan sonra bu renk değişimi belirgindir.

Bu sonuçlardan anlaşılabilceği üzere sıcaklık değişiminde renk değiştirerek haber verecek akıllı bir giysi için termokromik mavi boya kullanımı işletme koşullarında da olumlu sonuç vermektedir.

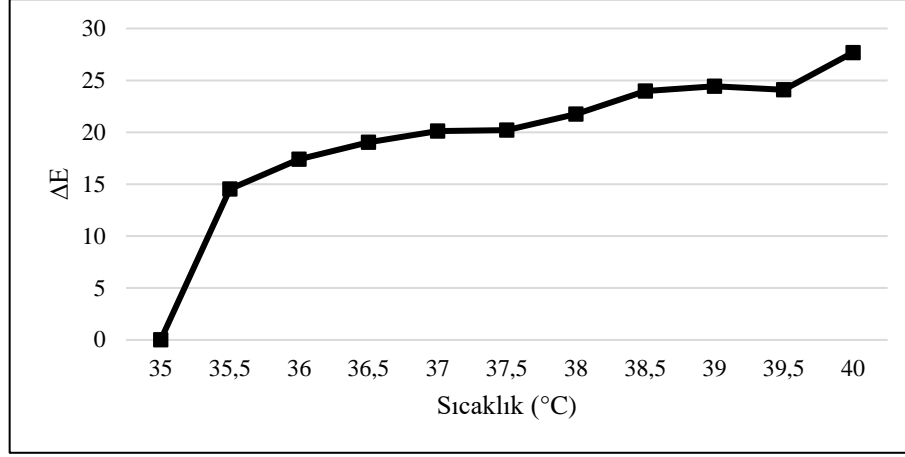
Söz konusu numunenin renk değişimleri, renk değişimi gözlem kabiniinde gözlemlendikten sonra, elde edilen görüntüler sayısallaştırılarak CIE L*a*b* değerleri elde edilmiştir. Bu değerlerden yola çıkılarak 35 °C'taki renk referans alınıp ΔE değerleri de hesaplanmıştır. Sonuçlar Şekil 4.33-4.35'te verilmektedir.



Şekil 4.33. İşletme şartlarında emdirme yöntemine göre halokromik boyanın termokromik ve fotokromik boya ile üçlü karışımlar şeklinde boyandığı numunenin renk değişimi gözlem kabiniinde gözlenen sıcaklığa bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen L* değerleri



Şekil 4.34. İşletme şartlarında emdirme yöntemine göre halokromik boyanın termokromik ve fotokromik boya ile üçlü karışımlar şeklinde boyandığı numunenin renk değişimi gözlem kabiniinde gözlenen sıcaklığa bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen a* ve b* değerleri



Şekil 4.35. İşletme şartlarında emdirme yöntemine göre halokromik boyanın termokromik ve fotokromik boyalarla üçlü karışımlar şeklinde boyandığı numunenin renk değişimi gözlem kabininde gözlenen sıcaklığa bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen ΔE değerleri

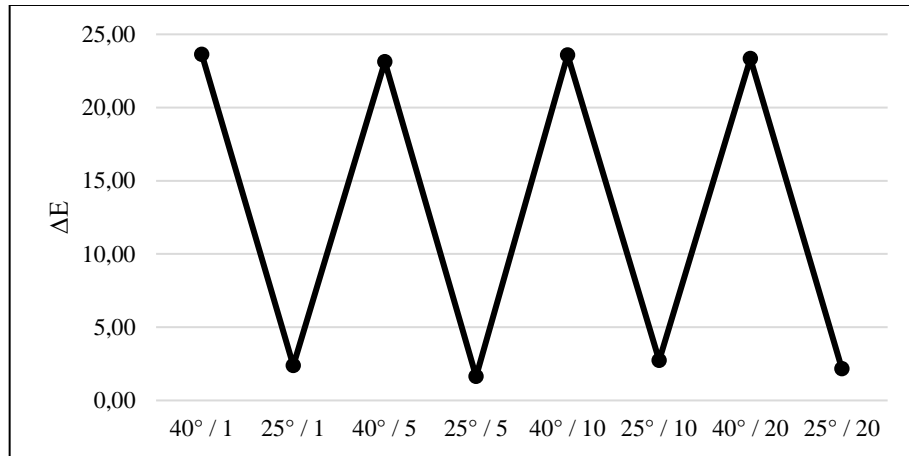
Şekil 4.33-4.35 incelendiğinde, 35 °C'ta termokromik mavi boya içeren üçlü karışımlar ile boyanan multikromik kumaşlarda halokromik boyanın renk şiddeti baskın olduğu için kumaşlarda halokromik boya rengi olan sarı renk öne çıkmakla birlikte termokromik boyanın rengi olan mavi boyanın nüansı da görülmekte, yani renk yeşilimsi sarı olmaktadır. Bu kumaşların rengi 35 °C'ta en koyu (en küçük L^* değeri) ölçülmüştür. Sıcaklık arttıkça renk koyuluğu azalmıştır (L^* değeri artmıştır). Ayrıca sıcaklığın artması durumunda b^* değerinin arttığı (daha sarı) ve a^* değerinin eksi değerden sıfıra yaklaştığı yani yeşillik değerinin azaldığı görülmektedir.

Termokromik mavi boya içeren üçlü karışımlar ile işletmede boyanan kumaşlarda 35 °C noktası referans alınarak hesaplanan toplam renk farklılığı değerleri incelendiğinde, 35 °C'tan 40 °C'a giderken ΔE değerinin arttığı görülmektedir.

Termokromik boyalı 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 alkali buharı olacak şekilde ardışık 20 döngü uygulanmış ve her döngüde kumaşın başlangıç hâline göre renk değiştirme kabiliyetinin bir ölçüsü olarak başlangıç rengi referans alınarak toplam renk farklılığı değerleri hesaplanmıştır. Çizelge 4.24'te halokromik, termokromik ve fotokromik boyaların üçlü karışım şeklinde boyandığı numunenin her bir döngü sonrası CIE $L^*a^*b^*$ ve K/S değerleri verilmektedir. Şekil 4.36'da ise her bir asit-alkali döngüsü sonrası başlangıç haline göre toplam renk farklılığı değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 4.24. İşletme şartlarında emdirme yöntemine göre kromik boya ile üçlü karışım şeklinde boyanan numunenin renk değişimi gözlem kabini içinde her bir sıcaklık döngüsü sonrası renk ölçüm değerleri

Kumaş	Renk	L*	a*	b*	C*	h°	ΔE	K/S
İşlemsiz		69,65	3,15	52,6	52,69	86,57	23,63	4,85
40 °C 1. döngü		80,15	11,29	69,81	70,72	80,82	2,37	4,74
25 °C 1. döngü		70,22	3,49	53,23	53,35	86,24	23,13	4,79
40 °C 5. döngü		80,18	11,03	69,64	70,5	81	1,63	4,71
25 °C 5. döngü		70,02	3,5	53,15	53,26	86,23	23,58	4,84
40 °C 10. döngü		80	11,25	70,33	71,22	80,91	2,74	5,02
25 °C 10. döngü		70,9	3,92	54,34	54,48	85,88	23,34	4,76
40 °C 20. döngü		79,9	10,95	69,82	70,67	81,08	2,16	4,95
25 °C 20. döngü		70,95	3,81	53,83	53,97	85,95	23,63	4,66
















Şekil 4.36. İşletme şartlarında emdirme yöntemine göre kromik boya ile üçlü karışım şeklinde boyanan numunenin her bir sıcaklık döngüsü sonrası başlangıç haline göre toplam renk farklılığı değerleri

Çizelge 4.24 incelendiğinde multikromik kumaşın sıcaklığa maruz kalması sonrası ardışık olarak 20 kere yapılan testte hemen hemen aynı renk değişimi kabiliyetini gösterdiği söylenebilir. Öte yandan oda sıcaklığında ise 10. döngüden itibaren yorulma meydana gelmekte, renk değiştirme kabiliyeti azalmaktadır. Ancak yine de halen çok büyük bir renk değişimi vardır. Bu sonuçlar Şekil 4.36’da da açıkça görülebilmektedir. Dolayısıyla termokromik mavi boyanın multikromik bir tekstil ürünü üretiminde kullanılması durumunda renk değiştirme kabiliyetini yüksek döngü sayılarında koruyabileceği düşünülmektedir. Bu sonuçlar termokromik mavi boyanın yorulma direncinin halokromik ve fotokromik boya ile kombine edilmesi durumunda bozulmadığını ortaya koymaktadır.

4.3.3 İşletmede boyanan multikromik kumaşın UV ışık ile renk değiştirme özelliğinin incelenmesi

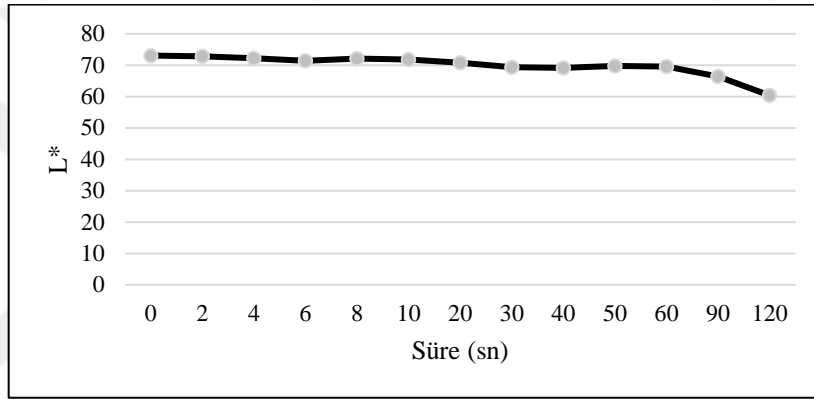
Renk değişimi gözlem kabini içerisine kumaş yerleştirildikten sonra UV ışık verilerek renk değişimleri gözlenmiştir. Sonuçlar Çizelge 4.25’te verilmektedir.

Çizelge 4.25. İşletme şartlarında emdirme yöntemine göre kromik boya ile üçlü karışım şeklinde boyanan numunenin renk değişimi gözlem kabini içinde UV ışık etkisiyle renk değişimi

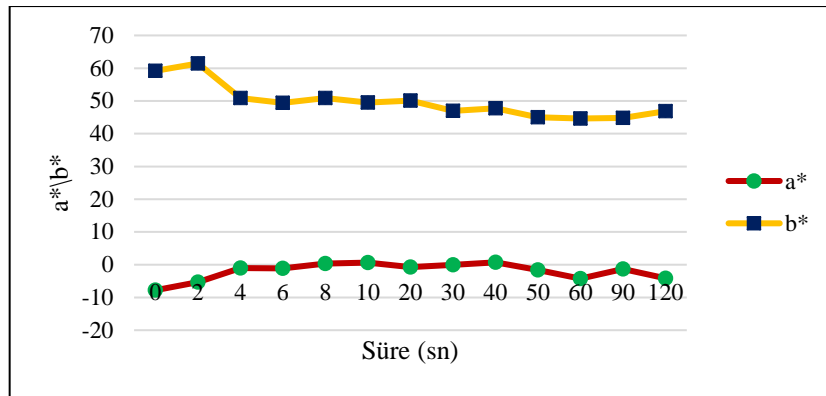
Süre	İşletme kumaşı (multikromik)	Süre	İşletme kumaşı (multikromik)
0		30	
2		40	
4		50	
6		60	
8		90	
10		120	
20			

Çizelge 4.25'te "Halokromik Kırmızı + Termokromik Mavi + Fotokromik Kırmızı" içeren üçlü kromik boya karışımı ile boyanan kumaşata UV ışığa maruz kalma süresi ile rengin koyulaştığı ve kırmızı nüans kazandığı, yani turuncuya döndüğü görülmektedir. Özellikle 60 saniyeden sonra bu renk değişimi belirgindir. Başlangıçta sarı olan kumaş 120 saniye sonunda kırmızı nüanslı bir sarı renge dönüşmüştür.

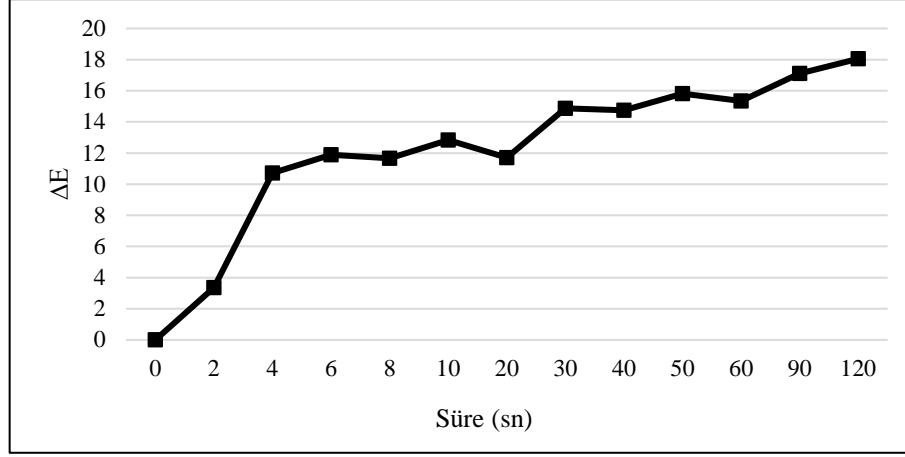
Bu sonuçlardan anlaşılacağı gibi, renk değişimine haber verecek akıllı bir giysi için fotokromik kırmızı boya kullanımı işletme koşullarında da olumlu sonuç vermektedir. Söz konusu numunenin renk değişimleri, renk değişimi gözlem kabininde gözlemlendikten sonra, elde edilen görüntüler sayısallaştırılarak CIE L*a*b* değerleri elde edilmiştir. Bu değerlerden yola çıkılarak başlangıçtaki renk referans alınıp ΔE değerleri de hesaplanmıştır. Sonuçlar Şekil 4.37-4.39'da verilmektedir.



Şekil 4.37. İşletme şartlarında emdirme yöntemine göre halokromik, termokromik ve fotokromik boya ile üçlü karışım şeklinde boyanan numunenin renk değişimi gözlem kabininde gözlenen UV ışık süresine bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen L* değerleri



Şekil 4.38. İşletme şartlarında emdirme yöntemine göre halokromik, termokromik ve fotokromik boya ile üçlü karışım şeklinde boyanan numunenin renk değişimi gözlem kabininde gözlenen UV ışık süresine bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen a* ve b* değerleri



Şekil 4.39. İşletme şartlarında emdirme yöntemine göre halokromik, termokromik ve fotokromik boyalarla üçlü karışım şeklinde boyanan numunenin renk değişimi gözlem kabininde gözlenen UV ışık süresine bağlı renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen ΔE değerleri

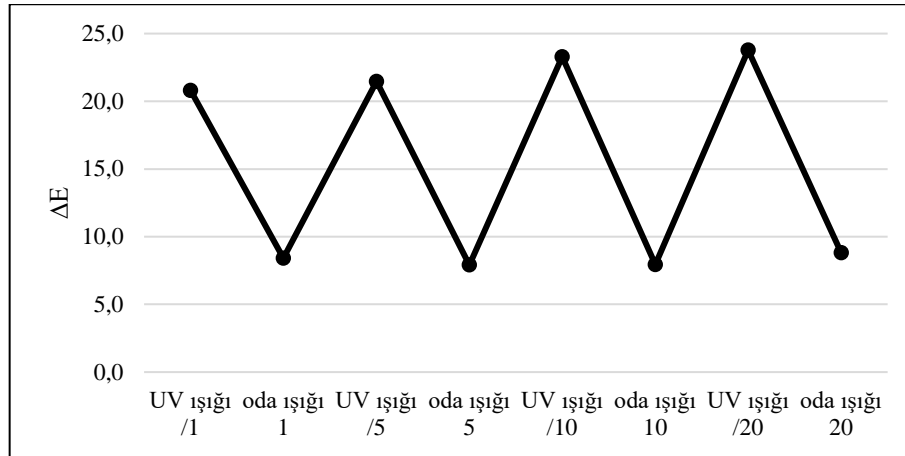
Şekil 4.37-4.39 incelendiğinde, fotokromik kırmızı boya içeren üçlü ile boyanan multikromik kumaşlarda halokromik boyanın renk şiddeti baskın olduğu için kumaşlarda halokromik boya rengi olan sarı renk öne çıkmakla birlikte fotokromik rengi olan kırmızı boya nüansı da görülmektedir. Bu kumaşların rengi başlangıçta en açık (en büyük L^* değeri) iken, UV ışığa maruz kalma süresi arttıkça renk koyuluğu artmıştır (L^* değeri azalmış). Ayrıca UV ışık etki süresinin artması durumunda a^* değerinin arttığı (daha kırmızı) ve b^* değerinin azaldığı (mavilik değerinin arttığı) görülmektedir.

Fotokromik kırmızı boya içeren üçlü karışımlar ile işletmede boyanan kumaşlarda 0. saniye noktası referans alınarak hesaplanan toplam renk farklılığı değerleri incelendiğinde, 0-120 saniye arasında ΔE değerinin arttığı görülmektedir.

Fotokromik boyalı 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 UV ışık verilip bir ışık kaldırılacak şekilde ardışık 20 döngü uygulanmış ve her döngüde kumaşın başlangıç hâline göre renk değiştirme kabiliyetinin bir ölçüsü olarak başlangıç rengi referans alınarak toplam renk farklılığı değerleri hesaplanmıştır. Çizelge 4.26'da halokromik, termokromik ve fotokromik boyalarla üçlü karışım şeklinde boyanan numunenin her bir döngü sonrası CIE $L^*a^*b^*$ ve K/S değerleri verilmektedir. Şekil 4.40'da ise her bir UV ışık döngüsü sonrası başlangıç haline göre toplam renk farklılığı değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 4.26. İşletme şartlarında emdirme yöntemine göre kromik boyalarla üçlü karışım şeklinde boyanan numunenin renk değişimi gözlem kabininde UV ışık döngüsü sonrası renk ölçüm değerleri

Kumaş	Renk	L*	a*	b*	C*	h°	%R	ΔE	K/S
İşlemsiz		70,29	1,06	49,19	49,20	88,77	9,90	0,00	4,10
UV ışığı 1. döngü		64,28	8,65	45,91	46,71	79,32	8,24	20,80	5,11
Oda ışığı 1. döngü		70,34	1,33	50,11	50,13	88,48	9,59	8,42	4,26
UV ışığı 5. döngü		64,03	8,92	44,80	45,68	78,73	8,44	21,46	4,97
Oda ışığı 5. döngü		69,33	3,13	50,86	50,95	86,62	9,05	7,91	4,57
UV ışığı 10. döngü		63,89	9,13	44,71	45,64	78,45	8,40	23,28	4,99
Oda ışığı 10. döngü		69,40	2,19	50,23	50,27	87,51	9,16	7,95	4,50
UV ışığı 20. döngü		64,10	8,48	45,66	46,44	79,48	8,15	23,78	5,18
Oda ışığı 20. döngü		69,0	3,42	50,26	50,37	86,25	8,44	8,8	4,97



Şekil 4.40. İşletme şartlarında emdirme yöntemine göre kromik boyalarla üçlü karışım şeklinde boyanan numunenin her bir ışık döngüsü sonrası başlangıç haline göre toplam renk farklılığı değerleri

Çizelge 4.26 incelendiğinde multikromik kumaşın UV ışığa maruz kalması sonrası ardışık olarak 20 kere yapılan testte hemen hemen aynı renk değişimi kabiliyetini gösterdiği söylenebilir. Bu sonuçlar Şekil 4.40'ta açıkça görülebilmektedir. Dolayısıyla fotokromik kırmızı boyanın multikromik bir tekstil ürünü üretiminde kullanılması durumunda renk değiştirme kabiliyetini yüksek döngü sayılarında koruyabileceği düşünülmektedir. Bu sonuçlar fotokromik kırmızı boyanın yorulma direncinin halokromik ve termokromik boyalarla kombine edilmesi durumunda bozulmadığını ortaya koymaktadır.

4.3.4 İşletmede Boyanan Multikromik kumaşın farklı etkiler ile renk değiştirme özelliğinin incelenmesi

Proje kapsamında son olarak işletme şartlarında boyanan multikromik kumaşın üçlü etki (pH, sıcaklık ve ışık) karşısındaki renk değişimleri, 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 Çizelge 4.27'de verilmektedir.

Çizelge 4.27. İşletme şartlarında optimum reçeteye boyanan kumaşın farklı etkilerdeki renk değişim tablosu

n o	İsim	Ham	pH (alkali)	pH (asit)	Sıcaklık	Işık	pH (alkali) / Sıcaklık	pH (asit) / Sıcaklık	pH (alkali) / Işık	pH (asit) / Işık	Sıcaklık / Işık	pH (alkali) /sıcaklık / ışık	pH (asit) /sıcaklık / ışık
1	Fk - T m - H k												

Çizelge 4.27 incelendiğinde, işletme şartlarında, üçlü karışımlar ile boyanan kumaşın rengi başlangıçta açık yeşil iken;

➤ tek etki olan ortamda

- alkali buharında renk koyu kırmızı,
- asit buharında ise koyu turuncu (kiremit rengi),
- sıcaklığa maruz kaldığında açık sarı ve
- UV ışık ortamında kırmızı nüanslı sarıya dönmüştür.

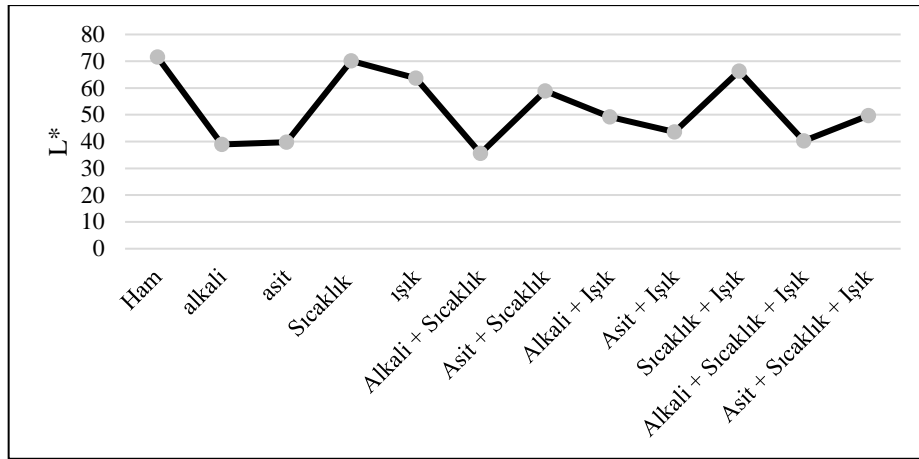
➤ *İki etki olan ortamda*

- Alkali + sıcaklığın bulunduğu ortamda kırmızı (sadece alkali olan ortama göre renk daha açık),
- Asit + sıcaklığın bulunduğu ortamda turuncu (sadece asit olan ortama göre renk daha açık),
- Alkali + UV ışık ortamında kırmızı (sadece alkali olan ortama göre renk daha açık),
- Asit + UV ışık ortamında turuncu (sadece asit olan ortama göre renk daha açık) ve
- Sıcaklık + ışık ortamında koyu sarı renge dönmüştür.

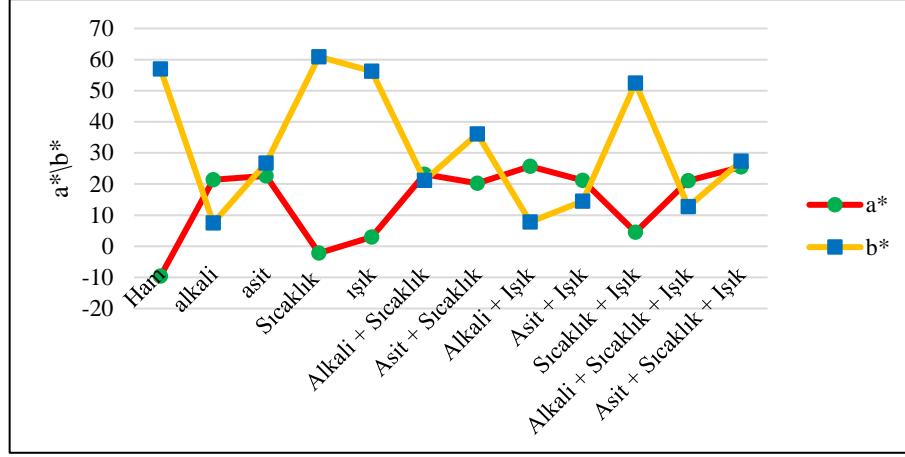
➤ *Üçlü etki olan ortamda*

- Alkali + sıcaklık + ışık ortamında kırmızı ve
- Asit + sıcaklık + ışık ortamında turuncu renk görülmüştür.

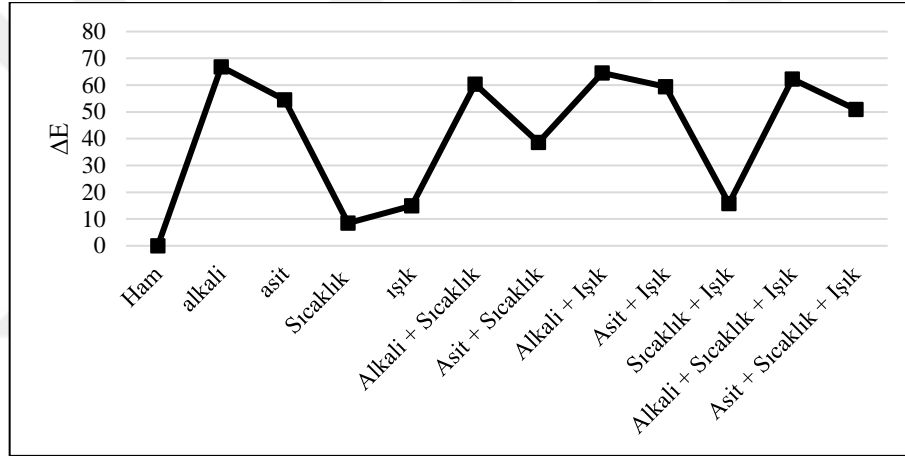
Söz konusu numunenin renk değişimleri, renk değişimi gözlem kabini içinde gözlemlendikten sonra, elde edilen görüntüler sayısallaştırılarak CIE L*a*b* değerleri elde edilmiştir. Bu değerlerden yola çıkılarak pH 7'deki renk referans alınıp ΔE değerleri de hesaplanmıştır. Sonuçlar Şekil 4.41-4.43'te verilmektedir.



Şekil 4.41. Emdirme yöntemine göre halokromik, termokromik ve fotokromik boyalarla üçlü karışımlar şeklinde boyanan numunenin farklı etkilerde renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen L* değerleri



Şekil 4.42. Emdirme yöntemine göre halokromik, termokromik ve fotokromik boylarla üçlü karışımlar şeklinde boyanan numunenin farklı etkilerde renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen a* ve b* değerleri



Şekil 4.43. Emdirme yöntemine göre halokromik, termokromik ve fotokromik boylarla üçlü karışımlar şeklinde boyanan numunenin farklı etkilerde renk değişiminin sayısallaştırılmasından elde edilen ΔE değerleri

Şekil 4.41-4.43 incelendiğinde, üçlü karışımlar ile boyanan kumaşların rengi başlangıçta açık yeşil iken çeşitli etkilerle renk değişimi olduğu ve her etkinin kumaşta farklı renklere sebep olduğu hem ΔE değerlerinden hem de ölçülen L*, a*, b* değerlerinden anlaşılmaktadır.

Proje kapsamında optimum şartlarda halokromik, termokromik ve fotokromik boylarla işletme şartlarında boyanmış multikromik özellikteki kumaşın renk değiştirme testlerinin başarılı olduğu söylenebilir.

4. GENEL SONUÇLAR

Termokromik pamuklu kumaş eldesi için konvansiyonel çektirme ve emdirme yöntemlerinin kullanılabilirliğinin araştırıldığı bu tez projesinde termokromik boyaların 20 g/L binder içeren flotte ile emdirme sonrası kurutma ve kondenzasyon şeklinde yapılacak bir aplikasyonla pamuklu kumaşları düzgün ve çok iyi haslıklara sahip olacak şekilde boyadığı saptanmıştır. Çektirme yönteminin ise boyaların düşük afinitesi nedeniyle kullanılmasının mümkün olmadığı ve boyama öncesi katyonikleştirme işlemi yapılmasının da sorunu çözmediği anlaşılmıştır. Renk değişimi gözlem kabinde yapılan testler sonucunda kumaşın sıcaklıkla çok iyi renk değiştirme özelliği gösterdiği ve bu kabiliyetini uzun döngüler sonrası bile koruduğu saptanmıştır. Yapılan çalışmalarda termokromik boyalarda konsantrasyon yüksek tutulsa bile elde edilen renk kuvvetinin düşük olduğu görülmüştür. Bu noktada bu tip 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. Zira bu durumda emdirme yöntemine göre boyamalarda tatmin edici sonuçlar alınamaması sakıncası ortadan kalkmaktadır. Çünkü bu akıllı giysilerde amaç renk değiştirerek haber verebilen giysi üretilmesidir. Rengin çok koyu olması bir gereklilik olmadığı gibi bir zorunluluk da değildir.

Bu tez projesinin bir diğer amacı olan termokromik, halokromik ve fotokromik boyalar kullanılarak multikromik sensör giysi üretimi konusunda doğru renk değişimi tepkisi alabilmek için boyaların renk kuvvetlerinin göz önünde bulundurulmasının kritik öneme sahip olduğu görülmüştür. Bu nedenle, ikili veya üçlü kombinasyonlarda boya konsantrasyonunun halokromik boya için 1 g/L, termokromik boya için 25 g/L ve fotokromik boya için 75 g/L olduğu söylenebilir. İdeal karışımın halokromik boya olarak fenol kırmızısı, termokromik boya olarak mavi renkli boya ve fotokromik boya olarak kırmızı renkli boya kullanılması durumunda elde edildiği tespit edilmiştir.

Multikromik olarak boyanan kumaşın gerçek ortam simüle edilerek hazırlanan renk değişim testlerinde başarılı sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Elde edilen başarılı sonuçlar işletmede numune ölçekli üretimde de test edilmiştir Üretilen multikromik kumaş hem pH hem sıcaklık hem ışık değişikliklerine karşı tepki verebilmekte olup tepki verebilme kabiliyetini 20 döngü gibi uzun sürelerde bozulmadan koruduğu saptanmıştır.

Bütün bu sonuçların ışığı altında;

- ortamda tehlikeli bir kimyasal buharı olup olmadığını (asit-alkali buharları) **(halokromik)**
- kişinin terleyip terlemediğini **(halokromik)**
- ortam ısısının kişi için rahatsız edici/riskli olup olmadığını **(termokromik)** haber veren ve
- aynı zamanda bir yandan UV ışınlarına karşı koruma sağlarken diğer yandan UV ışınları ile renk değiştirerek **(fotokromik)** görsel efekt yaratan

pamuklu multikromik akıllı giysilerin üretilmesi için yöntem geliştirilmesi hedefine başarıyla ulaşıldığı söylenebilir.



5. KAYNAKLAR

Abdulkadir, H. A. (2012). Dispers turuncu boya katkılı nematik sıvı kristallerin yolcu-hancı tipi sistemlerde uygulanabilirliğinin araştırılması, (*Yüksek Lisans Tezi*), Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara

Ajeeb, A. Younes, B.A. Khsara, A.K. (2017). Investigating the relationship between thermochromic pigment based knitted fabrics properties and human body temperature, *IOSR Journal of Polymer and Textile Engineering*, 4(3), 44-52

Akkuş, E. Biçen T. Şengün A. (2016). *Sıcaklığa bağlı olarak renk değiştiren termokromik kumaş tasarımı*, (Lisans Bitirme Çalışması) T.C. Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümü. İzmir.

Akkuş, E. (2021). *Giysi tabanlı akıllı sensörlerin üretimi için pamuklu kumaşların halokromik ve fotokromik boya ile boyanması*. (Yüksek lisans tezi) Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Tekirdağ.

Anonim (2021a) *Termokromik Malzemeler*. Erişim adresi:
<https://www.google.com.tr/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fsc01.alicdn.com%2Fkf%2FHTB1Q11gIFXXXXc1XVXXq6xXFXXXk%2F223375816%2FHTB1Q11gIFXXXc1XVXXq6xXFXXXk.jpg&imgrefurl=https%3A%2F%2Fturkish.alibaba.com%2Fproduct-detail%2Fthermochromic-pigments-heat-reactive-materials-for-inks-60295051144.html&tbnid=mUsYJeGYv-7eGM&vet=12ahUKEwiYmea3gcnwAhUF16QKHcCzDyIQMygCegUIARC2AQ..i&docid=eB106MP2ABjOGM&w=700&h=396&itg=1&q=termokromik%20malzemeler&ved=2ahUKEwiYmea3gcnwAhUF16QKHcCzDyIQMygCegUIARC2AQ>

Anonim (2021b) *Termokromik Bardak*. Erişim adresi:
<https://www.google.com.tr/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fae01.alicdn.com%2Fkf%2FHTB1ie5JRFXXXXcZXFXXq6xXFXXXq%2FI-k-sihirli-kupa-espresso-purronum-kedi-kahve-kupa-de-i-en-renkli-kupa-arkadan.jpg&imgrefurl=https%3A%2F%2Ftr.aliexpress.com%2Fitem%2F32815556600.html&tbnid=XH-b8Hq19n9KRM&vet=10CBMQxiAoAmoXChMIqPKUvYXJ8AIVAAAAAB0AAAA>

AEAI..i&docid=0W7jtGV6PU5r7M&w=900&h=900&itg=1&q=termochromic%20bar
dak&hl=tr&ved=0CBMQxiAoAmoXChMIqPKUvYXJ8AIVAAAAAB0AAAAAEAI

Anonim (2021c) *Termokromik Araba.* Erişim adresi:
https://www.google.com.tr/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fevdemimar.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2018%2F06%2Ftermokromikboyagorseli.jpg&imgrefurl=https%3A%2F%2Fevdemimar.com%2Frenk-degistiren-termokromik-boya-nedir-nerede-bulunur%2F&tbnid=Cnij_LU3J3o6yM&vet=12ahUKEwi73rTwh8nwAhWDLOWKHx9TB4EQMygBegQIARBA..i&docid=vK4LaK3nI4o4qM&w=800&h=400&q=termokromik%20araba&hl=tr&ved=2ahUKEwi73rTwh8nwAhWDLOWKHx9TB4EQMygBegQIARBA

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

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

Cebal, I., Souto, A.P. (2020). Dynamic colour in textiles: combination of thermo, photo and hydrochromic pigments, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 827 01205.

Chen, H.J., Huang, L.H. (2015). An investigation of the design potential of thermochromic home textiles used with electric heating techniques. *Mathematical Problems in Engineering*, 1-5.

Chowdhury, M.A., Butola, B.S., Mangala Joshi, M. (2012). Application of thermochromic colorants on textiles: temperature dependence of colorimetric properties, *Coloration Technology*, (129), 232–237,

Christie, R.M. (2013). Chromic materials for technical textile applications. *Advances in the Dyeing and Finishing of Technical Textiles*, 3–36.

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

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

- Durdević, S., Novaković, D., Adamović, S., Kašiković, N., Milić, N., Štrbac, B., Hadžistević, M. (2019), Colorimetric changes of thermochromic ink printed on smart textile materials exposed to different heat transfer methods, *Tekstil ve Konfeksiyon* 29(4), 2019.
- Glampedaki, P., Calvimontes, A., Dutschk, V., Warmoeskerken, M.M.C.G. (2012), Polyester textile functionalization through incorporation of pH/thermo-responsive microgels. Part II: polyester functionalization and characterization, *Journal of Materials Science* (47),2078-2087.
- Kim, D.H. , Bae, J., Lee, J . Ahn. J., Hwang. W.T., Ko. J., Kim. D., (2022), Porous Nanofiber Membrane: Rational Platform for Highly Sensitive Thermochromic Sensor, *Adv. Funct. Mater.*2022, 32, 2200463.
- 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.
- Karpagam, K.R., Saranya, K.S., Gopinathan, J., Bhattacharyya, A. (2017). Development of smart clothing for military applications using thermochromic colorants, *The Journal of The Textile Institute*, 108(7), 1122-1127.
- Kooroshnia, M. (2013). Leuco Dye-Based Thermochromic Inks: Recipes As A Guide For Designing Textile Surfaces. *13th Autex World Textile Conference May 22nd to 24th*, Dresden, Germany.
- Leclerc, M. (1999). Optical and Electrochemical Transducers Based on Functionalized Conjugated Polymers. *Advanced Materials*, 11(18), 1491-1498.
- Mather, R.R. (2001). Intelligent Textiles, *Review Of Progress in Coloration*, 31(1),39.
- Pubchem (2021a.) *Termokromik Kırmızı.* Erişim adresi: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/112170> .
- Pubchem (2021b). *Termokromik Mavi.* Erişim adresi: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/117321>.
- Pubchem (2021c). *Fotokromik Kırmızı.* Erişim adresi: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/2817364>

- Rubacha, M. (2007). Thermochromic cellulose fibers, *Polym. Adv. Technol.* 2007; 18: 323–328,
- Sigmaaldrich (2019). *Fenol Kırmızısı*. (erişim tarihi 12.04.2021), Erişim adresi: <https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/sial/p3532?lang=en®ion=TR>
- Sun, M. Lv, J., Xu, H., Zhang, L., Zhong, Y., Chen, Z., Sui, X., Wang, B., Feng, X., Mao, Z.(2020). Smart cotton fabric screen-printed with viologen polymer:photochromic, thermochromic and ammonia sensing, *Cellulose* 27:2939–2952.
- Şeren, A. (2013). Termokromik boyarmaddelerin deri üretiminde kullanım imkanlarının geliştirilmesi üzerine araştırmalar. (*Yüksek Lisans Tezi*) Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Deri Mühendisliği Anabilimdalı, Bornova İzmir.
- Tarakçıoğlu, I. (2002). Türk ve Dünya Tekstili. Tekstil İşveren Dergisi web sitesi, <http://www.tekstilisveren.org.tr/dergi/2002/aramlik/34.html> (erişim tarihi, 16.02.2016).
- Tözüm, M. S. (2019). Renk değiştiren boyarmaddelerin mikrokapsülasyonu ve tekstil materyallerine uygulanması, (*Doktora Tezi*). Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği.
- Vikova, M. Pechova, M. (2020). Study of adaptive thermochromc camouflage for combat uniform, *Textile Research Journal*, 90(17-18), 2070–2084
- Wang, J., Jákli, A., Guan, Y., Fu, J., West, J. (2017). Developing liquid-crystal functionalized fabrics for wearable sensors, *Official Publication of the Society for Information Display*, 33.
- Wang, Y., Ren, J., Ye, C., Pei, Y., & Ling, S. (2021). Thermochromic Silks for Temperature Management and Dynamic Textile Displays. *Nano-Micro Letters*, 13(1).
- Waseem, I. (2012). An investigation into textile applications of thermochromic pigments. (Doctor of Philosophy). Heriot-Watt University School of Textiles and Design. Edinburg.
- Werff, L.V.D., Kyrtzis, I.L., Robinson, C.R., Peeters, G., O’Shea, M., Nichols, L. (2013). Thermochromic composite fibres containing liquid crystals formed via melt extrusion, *J Mater Sci* (48),5005-5011,

White, M. A., & LeBlanc, M. (1999). Thermochromism in Commercial Products. *Journal of Chemical Education*, 76(9), 1201.

Wikipedia (2021a). *Termokromizm*. Erişim adresi: <https://en.wikipedia.org/wiki/Thermochromism>.

Wikipedia (2021b). *Leuco Boya*. Erişim adresi: https://en.wikipedia.org/wiki/Leuco_dye,

Wikipedia (2021c). *Isı İndeksi*. Erişim adresi: [https://tr.wikipedia.org/wiki/Is%C4%B1_indeksi#:~:text=Is%C4%B1%20indeksi%20\(I%C4%B0%2C%20%C4%B0ng%2C%20C2%B0C'i%20g%C3%B6sterebilir](https://tr.wikipedia.org/wiki/Is%C4%B1_indeksi#:~:text=Is%C4%B1%20indeksi%20(I%C4%B0%2C%20%C4%B0ng%2C%20C2%B0C'i%20g%C3%B6sterebilir)

Yang, M. Pan, J. Luo, L. Xu, A. Huang, J. Xia, Z. Cheng, D. Cai, G. and Wang, X. (2019). CNT/cotton composite yarn for electrothermochromic Textiles, *Smart Materials and Structures*, 28(8).

Yıldıran, M. (2015). Teknoloji etkisinde dönüşen tekstil materyallerinin tekstil ve moda tasarımındaki yeri: “ısıya duyarlı kumaşlar”, Akdeniz Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, *Moda ve Tekstil Tasarımı Bölümü. Conference: 2. Ulusal Sanat ve Tasarım Eğitimi Kongresi*, At 2. Ulusal Sanat ve Tasarım Eğitimi Kongresi, Ankara, Türkiye.

Yılmaz, B. (2007). *Termokromik özellik gösteren polivinil alkol bazlı jel ve filmlerin uv ve empedans spektroskopisi yöntemleriyle incelenmesi*, (Yüksek Lisans Tezi) Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Zhang, Y., Hu, Z., Xiang, H., Zhai, G., Zhu, M. (2019). Fabrication of visual textile temperature indicators based on reversible thermochromic fibers, *Dyes and Pigments*, (162), 705–711.

