



T.C.  
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**DOKTORA TEZİ**

**ÇEŞİTLİ SENTETİK KUMAŞLARIN ÜRETİMİNDE FARKLI ÇÖZÜCÜLERİN  
BOYAMA KOŞULLARINA ve HASLIK DEĞERLERİNE ETKİSİNİN  
İNCELENMESİ**

**Ahmet Burak KAVLAKOĞLU**

**DANIŞMAN**  
**Doç. Dr. Yavuz Selim AŞÇI**

**Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Temel İşlemler ve Termodinamik, Doktora Programı**

**Aralık, 2023**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Ahmet Burak KAVLAKOĞLU tarafından, Doç. Dr. Yavuz Selim AŞÇI danışmanlığında hazırlanan "ÇEŞİTLİ SENTETİK KUMAŞLARIN ÜRETİMİNDE FARKLI ÇÖZÜCÜLERİN BOYAMA KOŞULLARINA ve HASLIK DEĞERLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ " başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 15/12/2023 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak **Doktora Tezi** olarak kabul edilmiştir.

### Tez Jürisi

	İmza	Sonuç
<b>DANIŞMAN</b>	Doç. Dr. Yavuz Selim AŞÇI İstanbul Üniversitesi Kimya Anabilim Dalı	<input checked="" type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret
<b>ÜYE</b>	Prof. Dr. Mehmet BİLGİN İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı	<input checked="" type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret
<b>ÜYE</b>	Doç. Dr. Nil ACARALI Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı	<input checked="" type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret
<b>ÜYE</b>	Prof. Dr. Fatma Jale GÜLEN Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı	<input checked="" type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret
<b>ÜYE</b>	Doç. Dr. Mustafa BENER İstanbul Üniversitesi Kimya Anabilim Dalı	<input checked="" type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret

## BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve bilimsel etik kuralları içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını ve her türlü hukuki sorumluluğu aldığımı kabul ederim.

Ahmet Burak KAVLAKOĞLU



Eşim Gülsüm KAVLAKOĞLU'na ithaf ediyorum...

## **BÜTÇE DESTEKLERİ**

### **ÇEŞİTLİ SENTETİK KUMAŞLARIN ÜRETİMİNDE FARKLI ÇÖZÜCÜLERİN BOYAMA KOŞULLARINA ve HASLIK DEĞERLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Bu tez çalışması için herhangi bir kurumdan bütçe desteği alınmamıştır.

## TEŞEKKÜR

Doktora çalışmalarımın tüm aşamalarında bana her türlü desteği veren ve yol gösteren çok kıymetli hocam Doç. Dr. Yavuz Selim AŞÇI' ya sonsuz teşekkürlerimi borç bilirim.

Tez çalışmalarım esnasında, bana çalıştığım işletmenin her türlü imkanını sunan firma sahibi Sayın Koray GÜVENİR'e, boyahane işletme müdürü Kadir EFE'ye ve laboratuvar sorumluları Fatma ŞENER ile Songül AKGÜN'e verdikleri destekten dolayı çok teşekkür ederim. Bunun yanı sıra başta kimya bölümü araştırma görevlisi Yahya BAŞ olmak üzere, İstanbul Üniversitesi ve İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa kurumlarında destek olan tüm öğretim görevlilerine teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, hayatım boyunca yanımda olan, beni destekleyen değerli anneme, kardeşime, eşime ve çalışmalarım sürecinde yeterince ilgilenemediğim kıymetli kızıma sonsuz teşekkür ederim.

Aralık 2023

Ahmet Burak KAVLAKOĞLU

# İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ KABUL VE ONAYI.....	ii
BEYAN .....	iii
BÜTÇE DESTEKLERİ .....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ .....	xi
TABLO LİSTESİ.....	xv
KISALTMA LİSTESİ.....	xviii
ÖZET .....	xix
ABSTRACT .....	xx
1. GİRİŞ.....	1
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE .....	3
2.1. SUYUN ÖNEMİ ve TEKSTİLDEKİ YERİ.....	3
2.1.1. Tekstil Endüstrisinin Çevresel Etkileri.....	3
2.1.1.1. Tekstil Endüstrisi.....	3
2.1.1.2. Tekstil Endüstrisinin Yapısı.....	4
2.1.1.3. Kirlilik ve Tekstil Üretimi.....	5
2.1.1.4. Tekstil Üretiminde Sürdürülebilirlik.....	6
2.1.2. Sürdürülebilir Tekstiller İçin Gelişen Yeşil Teknolojiler ve Çevre Dostu Ürünler.....	10
2.1.2.1. Süperkritik Karbondioksit Boyama.....	11
2.1.2.2. Boyaların Elektrokimyasal İndirgenmesi.....	13
2.1.2.3. Mikrodalga Destekli Tekstil İşleme.....	14
2.1.2.4. Plazma Teknolojisi.....	15
2.1.2.5. Ultrason Renklendirme.....	16
2.2. TEKSTİL MALZEMELERİNİN YAPISI VE ÖZELLİKLERİ.....	17
2.2.1. Tekstil Liflerinin Sınıflandırılması ve Özellikleri.....	17
2.2.2. Tekstil Teknolojisi İle İlgili Elyaf Özellikleri.....	18

2.2.3. Temel Tekstil Ürünlerinin Sınıflandırılması ve Özellikleri.....	20
2.2.3.1. İplik Sınıflandırması ve Özellikleri.....	20
2.2.4. Selülozik Lifler.....	22
2.2.4.1. Pamuk Lifinin Özellikleri.....	22
2.2.5. Protein Lifler.....	23
2.2.5.1. Yün Lifinin Özellikleri.....	23
2.2.5.2. İpek Lifinin Özellikleri.....	24
2.2.6. Sentetik Lifler.....	25
2.2.6.1. Viskon Elyaf.....	25
2.2.6.2. Poliester Elyaf.....	26
2.2.6.3. Naylon Elyaf.....	27
2.2.6.4. Akrilik Elyaf.....	27
2.3. BOYALARIN SINIFLANDIRILMASI ve ÖZELLİKLERİ.....	28
2.3.1. Direkt Boyalar.....	28
2.3.1.1. Direkt Boyaların Kimyasal Yapısı.....	28
2.3.1.2. Direkt Boyaların Özellikleri.....	28
2.3.2. Küp Boyaları.....	31
2.3.2.1. Küp Boyaların Kimyasal Yapısı.....	31
2.3.2.2. Küp Boyalarının Özellikleri.....	32
2.3.3. Kükürt Boyaları.....	33
2.3.3.1. Kükürt Boyalarının Kimyasal Yapısı.....	33
2.3.3.2. Kükürt Boyalarının Özellikleri.....	34
2.3.4. Azoik Boyalar.....	34
2.3.4.1. Azoik Renklendiricilerin Kimyasal Yapısı.....	34
2.3.4.2. Azoik Renklendiricilerin Özellikleri.....	34
2.3.5. Reaktif Boyalar.....	35
2.3.5.1. Reaktif Boyaların Kimyasal Yapısı.....	35
2.3.5.2. Reaktif Boyaların Özellikleri.....	39
2.3.6. Asit Boyalar.....	40
2.3.6.1. Asit Boyaların Kimyasal Yapısı.....	40
2.3.6.2. Asit Boyaların Özellikleri.....	41

2.3.7. Dispers Boyalar.....	42
2.3.7.1. Dispers Boyaların Kimyasal Yapısı.....	42
2.3.7.2. Dispers Boyaların Özellikleri.....	43
2.3.8. Bazik Boyalar.....	43
2.3.8.1. Bazik Boyaların Kimyasal Yapısı.....	43
2.4. ASİDİK BOYALARIN DETAYLI İNCELENMESİ.....	44
2.4.1. Asidik Boyalara Genel Bakış.....	44
2.4.2. Asit Boyaların Sınıflandırılması.....	45
2.4.2.1. Afiniteye Göre Sınıflandırma.....	45
2.4.2.2. Boyama Özelliklerine Göre Sınıflandırma.....	45
2.4.2.3. Kimyasal Yapıya Göre Sınıflandırma.....	47
2.4.3. Sentetik Poliamidler İçin Asit Boyalar.....	47
2.5. TEKSTİL SEKTÖRÜNDE UYGULANAN BOYA HASLIĞI TESTLERİ.....	50
2.5.1. Boya Haslığı Testlerine Genel Bakış.....	50
2.5.2. Haslık Özelliklerinin Sınıflandırılması.....	52
2.5.3. Boya Haslığını Etkileyen Faktörler.....	53
2.5.3.1. Işık Haslığı.....	53
2.5.3.2. Yıkama Haslığı.....	54
2.5.3.3. Terleme Haslığı.....	55
2.5.3.4. Sürtme Haslığı.....	55
2.5.3.5. Klor Haslığı.....	56
2.5.3.6. Termal Kararlılık.....	57
<b>3. YÖNTEM.....</b>	<b>57</b>
3.1. MALZEMELER.....	57
3.1.1. Kumaş ve Boyar Madde Bilgisi.....	57
3.1.2. Boya Banyolarında Kullanılan Çözücüler.....	59
3.1.3. Yardımcı Kimyasallar.....	61
3.2. CİHAZLAR ve YÖNTEMLER.....	62
3.2.1. Boyama Cihazı ve Boya Prosesi.....	62
3.2.2. Test Cihazları ve Uygulanan Test Yöntemleri.....	63
3.2.2.1. Spektral Renk Analizi.....	63

3.2.2.2. Uygulanan Haslık Testleri.....	63
<b>4. BULGULAR .....</b>	<b>65</b>
4.1. ÇÖZÜCÜ SEÇİMİ DENEMELERİ.....	65
4.1.1. Tek Komponentli Çözücüler ile Gerçekleştirilen Denemeler.....	65
4.1.2. Çözücü Karışımları ile Gerçekleştirilen Denemeler.....	74
4.2. TEKRARLANABİLİRLİK DENEMELERİ.....	80
4.3. BOYA BANYOSU ÇIKIŞ ÇÖZELTİSİNİN TEKRAR KULLANIMI DENEMELERİ.....	82
4.3.1. Gliserin + Asetik Asit Tekrar Boyama Denemeleri.....	83
4.3.2. Glukozmonohidrat + Asetik Asit Tekrar Boyama Denemeleri.....	86
4.3.3. Gliserol + Asetik Asit Tekrar Boyama Denemeleri.....	89
4.4. GLİSERİN + ASETİK ASİT ÇÖZELTİSİ SEYRELTME DENEMELERİ.....	91
4.4.1. Gliserin + Asetik Asit %10-%20-%30 Su İlavesi Denemeleri.....	91
4.4.2. Seyreltilmiş Gliserin + Asetik Asit Çözeltisi ile Tekrar Boyama Denemeleri.....	94
4.5. SEYRELTİLMİŞ GLİSERİN + ASETİK ASİT ÇÖZELTİSİ ile YÜN KUMAŞ BOYAMA DENEMESİ.....	98
4.6. FARKLI SICAKLIKLARDA BOYAMA DENEMELERİ.....	99
4.7. %20 SEYRELTİLMİŞ GLİSERİN + ASETİK ASİT ÇÖZELTİ ile YAPILAN DENEMELERDE YARDIMCI KİMYASAL ETKİLERİNİN İNCELENMESİ.....	103
4.7.1. Hidrofil ve Egalizatörün Yardımcı Kimyasal Olarak Kullanıldığı Denemelerin Haslık ve Spektral Renk Analizi Sonuçları.....	103
4.7.2. Egalizatörün Kullanıldığı Denemelerin Haslık ve Spektral Renk Analizi Sonuçları.....	105
4.7.3. Hidrofil Aprenin Kullanıldığı Denemelerin Haslık ve Spektral Renk Analizi Sonuçları.....	107
4.7.4. Yardımcı Kimyasal Kullanılmayan Denemelerin Haslık ve Spektral Renk Analizi Sonuçları.....	109
<b>5. TARTIŞMA.....</b>	<b>111</b>
<b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>116</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>122</b>
<b>İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI .....</b>	<b>132</b>
<b>ETİK KURUL İZİN YAZISI .....</b>	<b>133</b>
<b>KURUM İZİN YAZILARI.....</b>	<b>134</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>135</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa No

Şekil 2.1: Tekstil tedarik zincirinin basitleştirilmiş akış diyagramı.....	5
Şekil 2.2: Tekstil ve giyim tedarik zincirinde yer alan işletmeler.....	6
Şekil 2.3: Tekstil boyama için scCO <sub>2</sub> deney düzeneği.....	12
Şekil 2.4: (a) küp (b) indigo (c) sülfür boya ların indirgenme yükseltgenme mekanizması.....	13
Şekil 2.5: Elektrokimyasal indigo indirgeme şemaları.....	14
Şekil 2.6: Tekstil elyaf türlerinin sınıflandırılması.....	19
Şekil 2.7: İplik sınıflandırılması.....	21
Şekil 2.8: Eğirme makinesi örneği.....	22
Şekil 2.9: Pamuk çekirdeği üzerindeki pamuk lifleri.....	23
Şekil 2.10: Yün lifinin uzunlamasına görünüşü.....	24
Şekil 2.11: İpek liflerinin (a) enine kesit ve (b) boyuna görünüşleri.....	25
Şekil 2.12: Direkt boya kimyasal yapı örneği.....	28
Şekil 2.13: Selüloz ve direkt boya arasındaki kimyasal bağ.....	29
Şekil 2.14: Boyama sıcaklığının direkt boya alımına etkisi.....	30
Şekil 2.15: İpek liflerinin (a) enine kesit ve (b) boyuna görünüşleri.....	31
Şekil 2.16: Küp boya larının kimyasal yapıları.....	32
Şekil 2.17: Kükürt boyasının boyama reaksiyonları.....	33
Şekil 2.18: Azoik bağlantı bileşeni kimyasal yapı örneği.....	34
Şekil 2.19: MCT boya kimyasal yapı örneği.....	36
Şekil 2.20: Bis(monokloro-s-triazin) boya kimyasal yapı örneği.....	36
Şekil 2.21: Diklorokinoksalin boya kimyasal yapı örneği.....	36
Şekil 2.22: 2,4-Difloro-5-kloro-pirimidin boya kimyasal yapı örneği.....	37

Şekil 2.23: 2,4,5-Trikloro-pirimidin boya kimyasal yapı örneği.....	37
Şekil 2.24: Beta-sülfatoetilsülfonun vinil sülfona eliminasyonu ve selüloz ile reaksiyon.....	38
Şekil 2.25: Vinil sülfon boya kimyasal yapı örneği.....	38
Şekil 2.26: Bifonksiyonel reaktif boya kimyasal yapı örneği.....	39
Şekil 2.27: Metalize olmayan asit boya kimyasal yapı örneği.....	40
Şekil 2.28: 1:1 metal kompleks asit boya kimyasal yapı örneği.....	41
Şekil 2.29: 1:2 metal kompleks asit boya kimyasal yapı örneği.....	41
Şekil 2.30: Dispers boya kimyasal yapı örneği.....	43
Şekil 2.31: Bazik boya kimyasal yapı örneği.....	44
Şekil 2.32: Grup A tipi sentetik poliamid için kullanılan asit boya kimyasal yapı örnekleri.....	49
Şekil 2.33: Grup B tipi sentetik poliamid için kullanılan asit boya kimyasal yapı örnekleri.....	50
Şekil 2.34: Lekelenmeyi ve renk değişimini değerlendirmek için SDC (Society of Dyers and Colourists) gri ölçekler.....	53
Şekil 3.1: a) Naylon 6 iplik görseli b) Jakarlı yuvarlak örgü makinesi c) Örülmüş ham tüp.....	58
Şekil 3.2: a) Parça boyama makinesi b) Boyalı tüp.....	58
Şekil 3.3: Ötektik karışım faz diagramı.....	59
Şekil 3.4: Kolin Klorür ve Üre ikilisi ile hazırlanan derin ötektik çözücünün oluşum mekanizması.....	60
Şekil 3.5: Laboratuvar numune boyama makinesi.....	63
Şekil 3.6: Laboratuvar spektral renk analiz cihazı.....	64
Şekil 3.7: Laboratuvar su ve ter haslığı test cihazı.....	64
Şekil 3.8: Laboratuvar kuru-yaş sürtme ölçüm cihazı.....	64
Şekil 4.1: Gliserin banyosunda gerçekleştirilen boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.....	66
Şekil 4.2: Fındık yağı banyosunda gerçekleştirilen boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.....	67
Şekil 4.3: Ceviz yağı banyosunda gerçekleştirilen boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.....	68

<b>Şekil 4.4:</b> Ayçiçek yağı banyosunda gerçekleştirilen boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.....	69
<b>Şekil 4.5:</b> MEG banyosunda gerçekleştirilen boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.....	70
<b>Şekil 4.6:</b> Aspir yağı banyosunda gerçekleştirilen boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.....	71
<b>Şekil 4.7:</b> Silikon yağı banyosunda gerçekleştirilen boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.....	72
<b>Şekil 4.8:</b> PG banyosunda gerçekleştirilen boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.....	73
<b>Şekil 4.9:</b> Perkloretillen banyosunda gerçekleştirilen boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.....	74
<b>Şekil 4.10:</b> Gliserin + Asetik Asit banyosunda gerçekleştirilen boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.....	75
<b>Şekil 4.11:</b> Glukozmonohidrat + Asetik Asit banyosunda gerçekleştirilen boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.....	76
<b>Şekil 4.12:</b> TCPP + Asetik Asit banyosunda gerçekleştirilen boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.....	77
<b>Şekil 4.13:</b> Trietilfosfat + Asetik Asit banyosunda gerçekleştirilen boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.....	78
<b>Şekil 4.14:</b> Gliserol + Asetik Asit banyosunda gerçekleştirilen boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.....	79
<b>Şekil 4.15:</b> Monoetilenglikol + Asetik Asit banyosunda gerçekleştirilen boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.....	80
<b>Şekil 4.16:</b> Gliserin + Asetik Asit banyosunda gerçekleştirilen boyamaların tekrarlanabilirlik renk uyum testi sonuçları.....	82
<b>Şekil 4.17:</b> Gliserin + Asetik Asit banyosunda gerçekleştirilen 3 tekrar boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.....	84
<b>Şekil 4.18:</b> Glukozmonohidrat + Asetik Asit banyosunda gerçekleştirilen 3 tekrar boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.....	87
<b>Şekil 4.19:</b> Gliserol + Asetik Asit banyosunda gerçekleştirilen 3 tekrar boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.....	90
<b>Şekil 4.20:</b> Gliserin + Asetik Asit banyosunda %10-%20-%30 su ilavesiyle seyreltme yapılarak gerçekleştirilen boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.....	93

<b>Şekil 4.21:</b> %20 seyreltilmiş Gliserin + Asetik Asit banyosunda gerçekleştirilen 5 tekrar boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.....	96
<b>Şekil 4.22:</b> %20 seyreltilmiş Gliserin + Asetik Asit banyosunda gerçekleştirilen yün kumaş boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.....	99
<b>Şekil 4.23:</b> %20 seyreltilmiş Gliserin + Asetik Asit banyosunda farklı sıcaklıklarda boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.....	102
<b>Şekil 4.24:</b> %20 seyreltilmiş Gliserin + Asetik Asit banyosunda yardımcı kimyasal kullanılarak yapılan boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.....	104
<b>Şekil 4.25:</b> %20 seyreltilmiş Gliserin + Asetik Asit banyosunda yardımcı kimyasal olarak egalizatör kullanılarak yapılan boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.....	106
<b>Şekil 4.26:</b> %20 seyreltilmiş Gliserin + Asetik Asit banyosunda yardımcı kimyasal olarak hidrofil apre kullanılarak yapılan boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları...	108
<b>Şekil 4.27:</b> %20 seyreltilmiş Gliserin + Asetik Asit banyosunda yardımcı kimyasal kullanılmadan yapılan boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.....	110
<b>Şekil 6.1.</b> Saf çözücü ve DES karışımları ile standart boyama koşullarında gerçekleştirilen boyamalarda haslık ortalaması ve spektral renk analizi verileri.....	117
<b>Şekil 6.2.</b> Boya çıkış banyosunun tekrar kullanımı denemesi haslık ortalaması ve spektral renk analizi verileri.....	118
<b>Şekil 6.3.</b> Seyreltme oranının haslık ortalaması ve spektral renk analiz üzerine etkisi verileri	118
<b>Şekil 6.4.</b> Boyama sıcaklığının haslık ortalaması ve spektral renk analizi üzerine etkisi verileri.....	120
<b>Şekil 6.5.</b> Farklı yardımcı kimyasal eklemeleri ile gerçekleştirilen boyamalarda haslık ortalaması ve spektral renk analizi verileri.....	120

## TABLO LİSTESİ

### Sayfa No

<b>Tablo 2.1:</b> Zehirli tekstil kimyasalları ve bunların uygulama alanlarının listesi.....	8
<b>Tablo 2.2:</b> Tekstil kimyasal proseslerinden kaynaklanan atık suyun özellikleri.....	11
<b>Tablo 2.3:</b> Pamuk, viskon ve poliesterin karşılaştırmalı performansı.....	20
<b>Tablo 2.4:</b> Asit boyaların özellikleri.....	42
<b>Tablo 3.1:</b> Kullanılan boya maddelerinin teknik özellikleri.....	58
<b>Tablo 3.2:</b> Derin ötektik çözücülerin oluşumunda kullanılan kimyasal gruplarının sınıflandırılması.....	61
<b>Tablo 3.3:</b> Boya banyoları için hazırlanan ötektik karışımlar.....	62
<b>Tablo 3.4:</b> Kullanılan yardımcı kimyasalların teknik özellikleri.....	62
<b>Tablo 4.1:</b> Gliserin banyosunda gerçekleştirilen boyama sonucunda elde edilen haslık testlerine ait sonuçlar.....	65
<b>Tablo 4.2:</b> Fındık yağı banyosunda gerçekleştirilen boyama sonucunda elde edilen haslık testlerine ait sonuçlar.....	66
<b>Tablo 4.3:</b> Ceviz yağı banyosunda gerçekleştirilen boyama sonucunda elde edilen haslık testlerine ait sonuçlar.....	67
<b>Tablo 4.4:</b> Ayçiçek yağı banyosunda gerçekleştirilen boyama sonucunda elde edilen haslık testlerine ait sonuçlar.....	68
<b>Tablo 4.5:</b> MEG banyosunda gerçekleştirilen boyama sonucunda elde edilen haslık testlerine ait sonuçlar.....	69
<b>Tablo 4.6:</b> Aspir yağı banyosunda gerçekleştirilen boyama sonucunda elde edilen haslık testlerine ait sonuçlar.....	70
<b>Tablo 4.7:</b> Silikon yağı banyosunda gerçekleştirilen boyama sonucunda elde edilen haslık testlerine ait sonuçlar.....	71
<b>Tablo 4.8:</b> PG banyosunda gerçekleştirilen boyama sonucunda elde edilen haslık testlerine ait sonuçlar.....	72

<b>Tablo 4.9:</b> Perkloretillen banyosunda gerçekleştirilen boyama sonucunda elde edilen haslık testlerine ait sonuçlar.....	73
<b>Tablo 4.10:</b> Gliserin + Asetik Asit banyosunda gerçekleştirilen boyama sonucunda elde edilen haslık testlerine ait sonuçlar.....	75
<b>Tablo 4.11:</b> Glukozmonohidrat + Asetik Asit banyosunda gerçekleştirilen boyama sonucunda elde edilen haslık testlerine ait sonuçlar.....	76
<b>Tablo 4.12:</b> TCPP + Asetik Asit banyosunda gerçekleştirilen boyama sonucunda elde edilen haslık testlerine ait sonuçlar.....	76
<b>Tablo 4.13:</b> Trietilfosfat + Asetik Asit banyosunda gerçekleştirilen boyama sonucunda elde edilen haslık testlerine ait sonuçlar.....	77
<b>Tablo 4.14:</b> Gliserol + Asetik Asit banyosunda gerçekleştirilen boyama sonucunda elde edilen haslık testlerine ait sonuçlar.....	78
<b>Tablo 4.15:</b> Monoetilenglikol + Asetik Asit banyosunda gerçekleştirilen boyama sonucunda elde edilen haslık testlerine ait sonuçlar.....	79
<b>Tablo 4.16:</b> Gliserin + Asetik Asit banyosunda gerçekleştirilen tekrarlanabilirlik boyama denemeleri sonucunda 3 grup için elde edilen haslık testlerine ait sonuçlar.....	81
<b>Tablo 4.17:</b> Gliserin + Asetik Asit banyosunda gerçekleştirilen 3 tekrar boyama sonucuna göre elde edilen haslık testlerine ait sonuçlar.....	83
<b>Tablo 4.18:</b> Glukozmonohidrat + Asetik Asit banyosunda gerçekleştirilen 3 tekrar boyama sonucuna göre elde edilen haslık testlerine ait sonuçlar.....	86
<b>Tablo 4.19:</b> Gliserol + Asetik Asit banyosunda gerçekleştirilen 3 tekrar boyama sonucuna göre elde edilen haslık testlerine ait sonuçlar.....	89
<b>Tablo 4.20:</b> Gliserin + Asetik Asit banyosuna %10-%20-%30 su ilavesiyle seyreltme yapılarak gerçekleştirilen boyama sonucuna göre elde edilen haslık testlerine ait sonuçlar.....	92
<b>Tablo 4.21:</b> %20 seyreltilmiş Gliserin + Asetik Asit banyosunda gerçekleştirilen 5 tekrar boyama sonucuna göre elde edilen haslık testlerine ait sonuçlar.....	95
<b>Tablo 4.22:</b> %20 seyreltilmiş Gliserin + Asetik Asit banyosunda yün kumaş boyama denemesi haslık değeri sonuçları.....	99
<b>Tablo 4.23:</b> %20 seyreltilmiş Gliserin + Asetik Asit banyosunda farklı sıcaklıklarda boyamalara göre haslık değeri sonuçları.....	100
<b>Tablo 4.24:</b> %20 seyreltilmiş Gliserin + Asetik Asit banyosunda yardımcı kimyasal kullanılarak yapılan boyamalara göre haslık değeri sonuçları.....	103
<b>Tablo 4.25:</b> %20 seyreltilmiş Gliserin + Asetik Asit banyosunda yardımcı kimyasal olarak egalizatör kullanılarak yapılan boyamalara göre haslık değeri sonuçları.....	105

<b>Tablo 4.26:</b> %20 seyreltilmiş Gliserin + Asetik Asit banyosunda yardımcı kimyasal olarak hidrofil apre kullanılarak yapılan boyamalara göre haslık değeri sonuçları.....	107
<b>Tablo 4.27:</b> %20 seyreltilmiş Gliserin + Asetik Asit banyosunda yardımcı kimyasal kullanılmadan yapılan boyamalara göre haslık değeri sonuçları.....	109
<b>Tablo 6.1.</b> Boyama yönteminin tekrarlanabilirliği verileri.....	117
<b>Tablo 6.2.</b> %20 seyreltme oranı ile hazırlanan gliserin + asetik asit çözücüsü ile gerçekleştirilen tekrar boyama haslık ortalaması ve spektral renk analizi verileri.....	119



## KISALTMA LİSTESİ

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>scCO<sub>2</sub></b>	: Süperkritik Karbondioksit
<b>BOİ</b>	: Biyolojik Oksijen İhtiyacı
<b>KOİ</b>	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
<b>TDS</b>	: Toplam Çözünmüş Katı Madde
<b>TSS</b>	: Toplam Askıda Katı Madde
<b>PP</b>	: Polipropilen
<b>PET</b>	: Polietilenteraftalat
<b>Tg</b>	: Camsı Geçiş Sıcaklığı
<b>PAN</b>	: Poliakrilonitril
<b>UV</b>	: Ultraviyole
<b>MCT</b>	: Monokloro-s-triazin
<b>SDC</b>	: Society of Dyers and Colourists
<b>MEG</b>	: Monoetilenglikol
<b>PG</b>	: Propilenglikol
<b>DES</b>	: Derin Ötektik Çözücü
<b>HBA</b>	: Hidrojen Bağı Alıcısı
<b>HBD</b>	: Hidrojen Bağı Vericisi
<b>TCPP</b>	: Trikloropropilfosfat
<b>PLA</b>	: Polilaktikasit
<b>D5</b>	: Dekametilsiklopentasiloksan
<b>PFPE</b>	: Perfloropolieter
<b>PMMA</b>	: Polimetilmetakrilat

## ÖZET

### [DOKTORA TEZİ]

#### [ÇEŞİTLİ SENTETİK KUMAŞLARIN ÜRETİMİNDE FARKLI ÇÖZÜCÜLERİN BOYAMA KOŞULLARINA ve HASLIK DEĞERLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ]

[Ahmet Burak KAVLAKOĞLU]

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Temel İşlemler ve Termodinamik, Doktora Programı

[Danışman : Doç. Dr. Yavuz Selim AŞÇI]

[Küresel ısınma ve iklim değışikliklerinin etkileri gün geçtikçe daha fazla günlük hayatımızı etkilemeye başlamıştır. Bu durumun en önemli sonuçlarından birisinin insanların ihtiyaç duyduğu nitelikte suya ulaşımında yaşanan sorunlar olduğu söylenebilir. Su, canlılığın devamı için pek çok noktada vazgeçilmezdir. Ancak mümkün olduğunca kullanımı azaltacak yeni yöntemler geliştirilerek ve var olan kaynakların korunmasını sağlayarak sorunun kontrol altında tutulması gereklidir. Tekstil sektörü yaş işleme proseslerinde kullanılan yoğun su tüketimi nedeniyle değışimin mecburi olduğu sektörlerin ilk sıralarında gelmektedir. Bu durum tekstil endüstrisini, su tüketimini ve buna bağlı atık tehlikelerini gözden geçirmeye, yeniden yapılandırmaya ve azaltmaya zorlamaktadır. Son yıllarda boyama aşamasında su tüketimini azaltacak veya susuz boyama yapabilecek yeni yöntemler üzerine çalışmalar sürdürölmektedir. Tez çalışmamızda suya alternatif saf çözücü veya çözücü karışımlarının kumaş boyama banyolarındaki performansı incelenmiştir. Tez kapsamında çözücü seçimi sonrasında sıcaklık, tekrar boyama, seyreltme oranı ve yardımcı kimyasal kullanımının etkilerini araştırmak üzere deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Yapılan boyama parametrelerindeki değışimlerin etkileri boyama haslık değeri ve spektral renk analizi değeri kullanılarak değerlendirilmiştir. Su kullanılmadan alternatif boya banyoları hazırlanabileceği yönünde önemli veriler elde edilmiştir. Özellikle kimyasal kullanımını azaltma, boya banyo çözeltilerini tekrar kullanabilme ve daha düşük sıcaklıklarda boyama yapabilme konusunda olumlu sonuçlar alınmıştır. Ayrıca mevcut altyapı kullanılarak boyama yapılabilmesi, suya alternatif çözücülerin tekstil sektöründe önümüzdeki dönemde yer bulacağı konusunda ümit vermektedir.]

Aralık 2023 , [155] sayfa.

**Anahtar kelimeler:** [Susuz Boyama, Ötektik Çözücü, Tekstil, Sürdürülebilirlik]

## ABSTRACT

[Ph.D. THESIS]

[INVESTIGATION of the EFFECTS of DIFFERENT SOLVENTS on DYEING  
CONDITIONS and FASTNESS VALUES in the PRODUCTION of VARIOUS  
SYNTHETIC FABRICS ]

[Ahmet Burak KAVLAKOĞLU]

İstanbul University-Cerrahpaşa

Institute of Graduate Studies

Department of Chemical Engineering

Unit Operation and Thermodynamics, PhD Program

[Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Yavuz Selim AŞCI ]

[The effects of global warming and climate changes are starting to affect our daily lives more and more day by day. It can be said that one of the most important consequences of this situation is the problems experienced in people's access to the quality water they need. Water is indispensable at many points for the continuation of life. However, it is necessary to keep the problem under control by developing new methods that will reduce usage as much as possible and ensuring the protection of existing resources. The textile sector is one of the sectors where change is mandatory due to the intense water consumption used in wet processing processes. This situation forces the textile industry to review, restructure and reduce water consumption and associated waste hazards. In recent years, studies have been carried out on new methods that will reduce water consumption during the dyeing phase or enable waterless dyeing. In our thesis study, the performance of pure solvents or solvent mixtures alternative to water in fabric dyeing baths was examined. Within the scope of the thesis, experimental studies were carried out to investigate the effects of temperature, repainting, dilution rate and auxiliary chemical use after solvent selection. The effects of changes in the dyeing parameters were evaluated using dyeing fastness values and spectral color analysis values. Important data has been obtained that alternative dye baths can be prepared without using water. Positive results have been obtained, especially in terms of reducing chemical use, reusing dye bath solutions and dyeing at lower temperatures. In addition, the ability to dye using the existing infrastructure gives hope that alternative solvents to water will find a place in the textile industry in the coming period. ]

December 2023, [155] pages.

**Keywords:** [Waterless Dyeing, Eutectic Solvent, Textile, Sustainability]

## 1. GİRİŞ

Tekstil tarihçesi insanoğlu kadar eskidir. İnsan, tarih öncesi çağlardan beri doğal boyaların kürkler ve kumaşlar için uygulanmasıyla karakterize edilen renklendirici maddelere ilgi duymuştur. Bu renk ve kumaş türleri çeşitlendikçe de tekstil ve moda sektörü de büyümüştür. Bu süreç içerisinde, temel esası renklendirici madde ve kimyasallar ile hazırlanan boya banyolarının oluşturduğu çok sayıda boyama yöntemi geliştirilmiştir.

Tekstil endüstrisi, ekolojik olarak dünyadaki en kirletici endüstrilerden biri olarak kabul edilmektedir. Tekstil ve hazır giyimin yaşam döngülerini sürdürülemez kılan hususları, zararlı kimyasalların kullanımı, yüksek su ve enerji tüketimi oluşturmaktadır. Hem boyama banyolarının çözeltilerinin suyla hazırlanması hem de içerisinde anorganik ve organik pek çok kimyasal barındıran atıkların oluşması nedeniyle özellikle su kaynaklarına verdiği zarar büyük bir sorun teşkil etmektedir. Önemli uluslararası kuruluş raporlarında tarımda sulama kaynaklı kullanımın ardından en çok su tüketen sektörün tekstil endüstrisi olduğu bildirilmiştir.

Su, yaşamın her yönünü birbirine bağlayan insan hayatı için en hayati unsurlardan birisidir. Ancak son yıllarda iklim değişikliği ve küresel ısınmanın hem sebep hem sonuçları arasında su krizi yer almaktadır. Aşırı hava olayları suyu daha kıt, daha öngörülemez, daha kirli hale getirmektedir. Su döngüsü boyunca meydana gelen bu etkiler sürdürülebilir kalkınmayı, biyolojik çeşitliliği ve insanların suya erişimini tehdit etmektedir. Sürdürülebilir su yönetimi, toplumların ve ekosistemlerin dayanıklılığını artırmanın ve karbon emisyonlarını azaltmanın merkezinde yer almaktadır.

Tüm bu nedenlerden dolayı, tekstil endüstrisinde su tüketiminin azaltılması dünyanın geleceği için büyük öneme sahip bir araştırma konusu oluşturmaktadır. Bu konuda yapılan ve yakın zamanda endüstriyellemeye başlayan en yaygın yöntem süperkritik karbondioksit (scCO<sub>2</sub>) kullanılarak gerçekleştirilen susuz boyama yöntemidir. Ancak yüksek basınç ve sıcaklık şartlarında çalışılmayı gerektiren bu yöntem, kullanılan cihazların maliyeti nedeniyle yüksek yatırım gerektirmektedir. Bu durum yöntemin yaygınlaşmasının önüne geçen başlıca sebeplerden birisidir.

Tez çalışmamız kapsamında tekstil ürünlerinin boyanmasında kullanılacak banyonun, suya alternatif farklı bir çözücü kullanılarak ve daha sürdürülebilir bir prosesle yürütülmesi için çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Yapılan denemeler dikişsiz giyim sektörüne hizmet veren entegre bir tesiste gerçekleştirilmiş olup, bu sektörde yoğun bir şekilde kullanılan sentetik naylon 6 (poliamid) ipliklerden üretilen kumaşlar üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Boyama işlemleri ve renk değerlerinin spektral okutmaları tesisin laboratuvarında bulunan boya makinesi ve renk okutma cihazında yapılmıştır. Denemeler kapsamında incelenen yıkama haslığı, su haslığı, asit-alkali ter haslığı ve kuru-yaş sürtme haslığı gibi değerler de yine aynı laboratuvarında kullanılan cihazlarda kontrol edilmiştir.

Tez kapsamında ilk etapta tek komponentli çözücü alternatifleri kullanılarak susuz boyama denemeleri yapılmıştır. Elde edilen değerler incelenerek bir sonraki aşamada yeni nesil çevre dostu ötektik karışımlar kullanılmış ve tek komponentle yapılan denemelere göre çok daha iyi spektral renk analiz değerleri elde edilmiştir.

Sonraki aşamada ötektik karışımlarla yapılan denemelerde en iyi sonucun elde edildiği gliserin ve asetik asit karışımı ile renklerin tekrarlanabilirliği incelenmiştir. Ardından denemeler sonrası elde edilen atık boya banyosunda, standart boyama sonrası elde edilen atık banyoya göre daha az miktarda boya kalıntısı olduğu gözlemlendiği için kalan boya banyosu ile tekrar boyama denemeleri yapılmış ve sonuçlar incelenmiştir.

Son olarak alternatif olarak kullanılacak çözeltilerin kullanım maliyetlerini düşürmek için, optimum değerde su ile çözücü seyreltmesi, farklı sıcaklıklarda boyama ve boyamada kullanılan yardımcı kimyasalların prosesten kaldırılmış haliyle denemeler yapılarak susuz boyamanın ticari kullanımını daha uygun hale getirebilecek çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca bu çalışmalarla beraber, en iyi değerlerin elde edildiği gliserin ve asetik asit çözeltisi kullanılarak, sentetik naylon 6 kumaşları gibi asidik ortamda boyanan ve doğal elyaf olan yün ile de susuz boyama yapılarak çözeltilerin farklı elyaf tiplerindeki tepkisi de gözlemlenmiştir.

## 2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Su, ticari olarak ucuz bir maliyet kalemi gibi görülse de aslında en değerli ve insan hayatı için en kritik sıvıdır. Bu önemine rağmen maalesef insanlık suyun yokluğunda yaşanacaklara dair gerekli duyarlılığa sahip değildir.

Kullanılan birçok eşyanın ve tükettiğimiz gıdaların üretimi için ciddi anlamda su tüketilmektedir. Ne yazık ki, küresel ısınma ve başka faktörler nedeniyle tüketilen bu su, tatlı su kaynağı olarak yerine konamamaktadır. Ayrıca dünya nüfusunun artması ve buna bağlı olarak üretim kalemlerindeki artış nedeniyle suya olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır.

Gidişatın bu şekilde devam etmesi durumunda gelecek dönemlerde geçmişte petrol için yaşandığı gibi dünyada su için savaşların çıkabileceği öngörülmektedir. Bu nedenle su kaynaklarının sürdürülebilirliği ile ilgili son zamanlarda ciddi çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar insanlığın devamı için çok kıymetlidir.

### 2.1. SUYUN ÖNEMİ VE TEKSTİLDEKİ YERİ

#### 2.1.1. Tekstil Endüstrisinin Çevresel Etkileri

Tekstil endüstrisi, ekolojik olarak dünyadaki en kirlenici endüstrilerden biri olarak kabul edilmektedir. Tekstil ve hazır giyimin yaşam döngülerini sürdürülemez kılan hususlar, zararlı kimyasalların kullanımı, yüksek su ve enerji tüketimi, büyük miktarlarda katı ve gaz atıkların oluşması, tekstil birimlerinin bulunduğu uzak yerlere ulaşım için büyük yakıt tüketimi ve biyolojik olarak parçalanamayan ambalaj malzemelerinin kullanımınıdır [1].

##### 2.1.1.1. *Tekstil Endüstrisi*

Sentetik ve doğal liflerin küresel arzı, 2000 yılında 52,6 milyon ton iken 2008 yılında 70,5 milyon tona yükselmiştir ve bu da yıllık ortalama %3,3'lük bir büyüme oranına karşılık gelmektedir [2]. Bu dönemde üretilen elyafların payı %59'dan %63'e çıkmıştır. Lenzing [3], 2011 yılında küresel elyaf kullanımının 51 milyon metrik tondan fazla sentetik elyaf ve yaklaşık 30 milyon metrik ton doğal elyaf olduğunu, bu rakamın 2010 elyaf kullanımına göre %1'lik bir artışı ve kişi başına yaklaşık 12 kg tüketimi temsil ettiğini bildirmektedir. Son 3-4 yılda, mamul elyaf kullanımı istikrarlı bir şekilde artarken, doğal elyaf kullanımı ya sabit kalmış ya da azalmaya başlamıştır.

Gelişmekte olan ekonomiler arasında Çin ve Hindistan'ın 2014 yılına kadar küresel ticaretin %45 ve %20'sini temsil etmesi beklenmektedir. Yeni tüketim pazarlarının büyümesi, modern perakende ticaretinin küresel genişlemesi, hava ve deniz taşımacılığındaki patlamalar, Doğu Avrupa'da tekstil ve ilgili üretimin büyümesi, eski Rusya bloğu, Türkiye, Orta Doğu, Güneydoğu Asya, Hindistan, Çin ve Bangladeş, Vietnam, Hindistan, Kamboçya ve Pakistan'ın kilit roller oynamasıyla Güney Amerika'nın uzun vadede küresel tekstil endüstrisindeki büyümeyi yönlendirmesi beklenmektedir [4].

Tekstil ve konfeksiyon sektörlerini bir araya getiren Çin, 2010 Dünya Ticaret Örgütü ticaret istatistiklerine göre, 1995 yılından bu yana dünyanın önde gelen tekstil ve hazır giyim ihracatçısıdır. AB, Amerika Birleşik Devletleri, Hindistan, Türkiye, Pakistan, Endonezya, Tayland ve Vietnam ilk 15 tekstil ve giyim ihracatçısı arasında yer almaktadır [5].

#### **2.1.1.2. Tekstil Endüstrisinin Yapısı**

Tekstil üretiminde kimyasal kullanımının büyük bir kısmı 'ıslak işleme' sırasında, yani boyama, yıkama, baskı ve kumaş terbiyesinde gerçekleşir. Tekstil boyama ve terbiye fabrikaları üretilen her metrik ton tekstil için 200 ton kadar su kullanmaktadır.

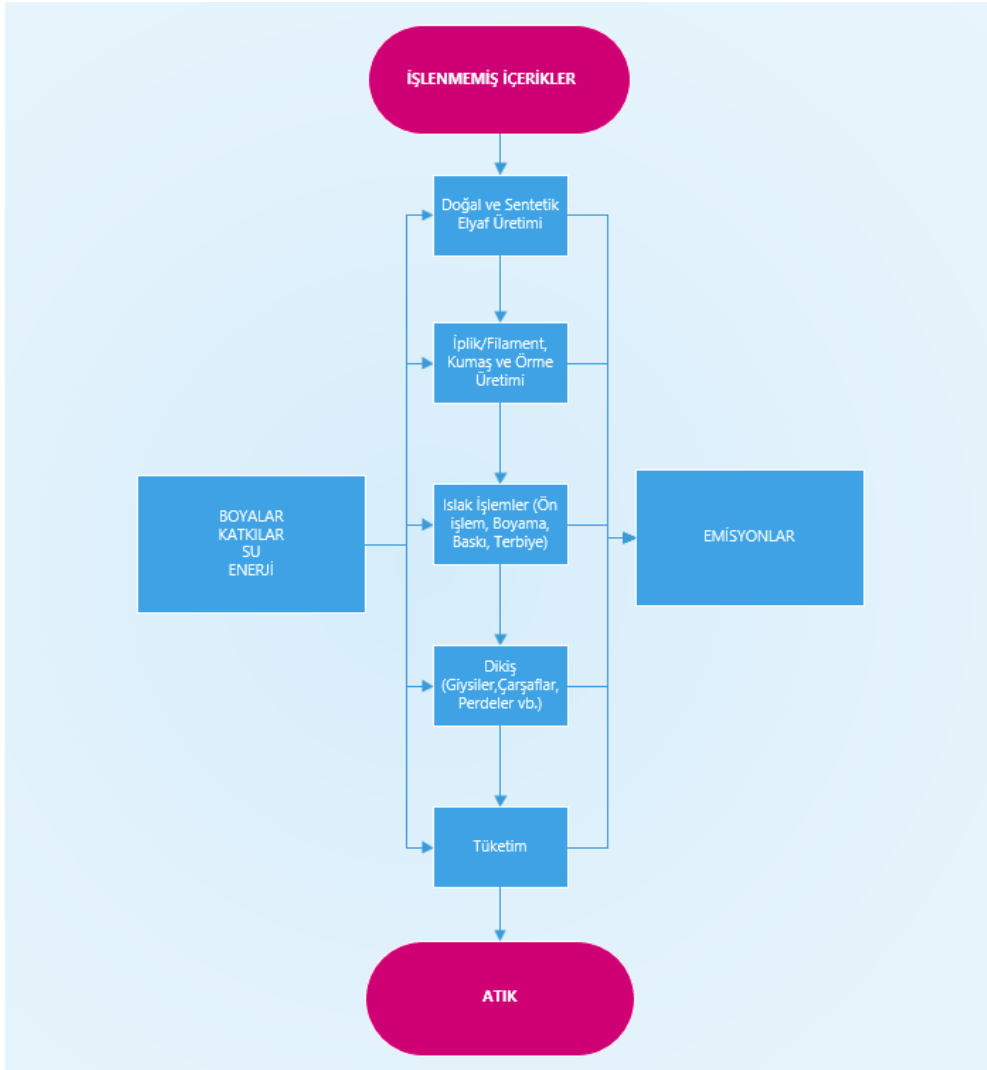
Kullanılan çok sayıda kimyasal nedeniyle tekstil üretiminde oldukça fazla sayıda tehlikeli kimyasal kullanılmaktadır [6].

Örneğin, İsveç Kimya Ajansı, yalnızca boyama ve baskı işlemlerinde kullanılacak 10.000'den fazla madde olduğunu tahmin etmektedir ve bunların yaklaşık 3.000'i yaygın olarak kullanılmaktadır. Endüstri tarafından kullanılmak üzere bu kadar çok sayıda kimyasalın mevcudiyeti, bunlar hakkındaki bilgilerin paylaşılması ve sürdürülmesinin yanı sıra kullanımlarına yönelik düzenlemelerin hazırlanması ve uygulanması söz konusu olduğunda bariz zorluklar ortaya çıkarmaktadır [7].

Basitleştirilmiş bir tekstil ürün zinciri Şekil 2.1'de gösterilmiştir [8]. Tekstil ve hazır giyim tedarik zincirindeki başlıca katılımcılar, çok uluslu marka sahipleri, hammadde tedarikçileri, tekstil ve hazır giyim üreticileri, finansörler, perakendeciler ve müşterilerdir.

Şekil 2.2, marka sahipleri hariç, tekstil ve hazır giyim tedarik zincirinde yer alan ana kuruluşları göstermektedir. Şirketler bazen tedarik zincirindeki birden fazla halkadan sorumludur; örneğin marka sahibi ve perakendeci aynı şirket olabilir veya marka sahibi kendi bünyesinde üretim zincirine sahip olabilir. Tedarik zincirinin karmaşıklığı, kaçınılmaz olarak,

ürünlerin üretiminde yer alan çeşitli adımlar ve bunların potansiyel çevresel etkileri hakkında şeffaflık eksikliğine yol açmaktadır [9].

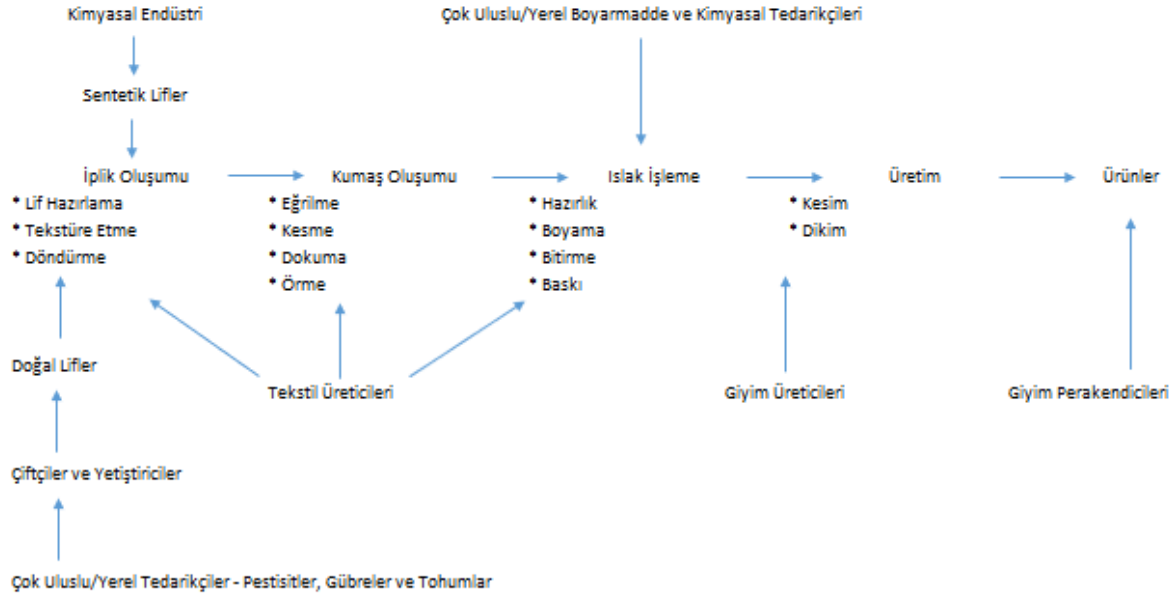


Şekil 2.1: Tekstil tedarik zincirinin basitleştirilmiş akış diyagramı.

### 2.1.1.3. Kirlilik ve Tekstil Üretimi

Hem kuzey hem de güney yarımkürede 15 ülkede 15.000 kişiyle yakın zamanda yapılan bir araştırma [10], su kıtlığı ve su kirliliğinin dünya nüfusunun en önemli iki çevresel sorunu olduğunu ortaya koymuştur. Çin, nehirlerinin, göllerinin ve rezervuarlarının %70 kadarının etkilendiği ve ülkedeki 50.000'den fazla tekstil fabrikasıyla Çin ekonomisinin önemli bir sektörü olan tekstil endüstrisi ile dünyanın en kötü su kirliliğine sahip ülkelerinden biri olarak bu kirliliğe katkıda bulunmaktadır. Greenpeace International tarafından yapılan araştırmalara dayanan 'Kirli Çamaşırlar' raporu, Çin'deki tekstil endüstrisi tarafından tehlikeli kimyasalların salınmasından kaynaklanan zehirli su kirliliği sorununun profilini çıkarmaktadır. Bu raporun temelini oluşturan incelemeler, Çin'deki iki tesisten kaynaklanan atık su deşarjlarına

odaklanmaktadır. Örneklerde önemli ölçüde hormon bozucu özelliklere sahip tehlikeli ve kalıcı kimyasallar bulunmuştur.



**Şekil 2.2:** Tekstil ve giyim tedarik zincirinde yer alan işletmeler.

Greenpeace International tarafından yaptırılan yeni bir araştırma [11], tekstil üretiminde kullanılan tehlikeli kimyasallar olan NP etoksilatların kalıntılarının, büyük uluslararası giyim markaları tarafından satılan birçok giysi ürününde kaldığını göstermektedir ve yıkandığında, bu giysilerdeki kimyasalların önemli bir yüzdesi açığa çıkmaktadır ve daha sonra nehirlere, göllere ve denizlere boşaltılmakta ve burada daha da toksik ve hormon bozucu kimyasal NP'ye dönüşmektedir.

Birleşmiş Milletler Çevre Programı, tüm endüstrilere atıfta bulunarak şunları belirtmiştir: Dünya çapında, endüstrinin her yıl 300-500 milyon ton ağır metal, solvent, zehirli çamur ve diğer atıkları sulara boşaltmaktan sorumlu olduğu tahmin edilmektedir [12]. Hem üretilen hacim hem de atık su bileşimi dikkate alındığında, tekstil atık sularının tüm endüstriyel sektörler arasında en kirli olduğu kabul edilir [13].

#### **2.1.1.4. Tekstil Üretiminde Sürdürülebilirlik**

Tekstil endüstrisi, dünyadaki ekolojik olarak en zararlı endüstri olarak gösterilmektedir [14]. Bazı durumlarda, atık sular (büyük ölçüde arıtılmamış) aşırı pH değerleri ve sıcaklıkların yanı sıra yüksek kimyasal yüklemeye ile yeraltı sularına deşarj edilir.

Aşağıdaki alanlar, tekstil ve giyimin yaşam döngülerini sürdürülemez hale getirme potansiyeline sahiptir [15]:

1. Zehirli kimyasalların kullanımı
2. Su tüketimi
3. Enerji tüketimi
4. Atık üretimi
5. Hava emisyonları
6. Nakliye
7. Ambalaj malzemeleri

Küresel kimyasal üretiminin yaklaşık %25'i dünya çapında tekstil endüstrisinde kullanılmaktadır [10]. Tekstil işlemede, özellikle tekstilin yaş işlenmesinde 2000 kadar farklı kimyasal kullanılmaktadır ve bunların birçoğunun insan ve hayvan sağlığına zararlı olduğu bilinmektedir. Bu kimyasalların bir kısmı buharlaşmakta, bir kısmı ortama verilen arıtma suyunda çözünmekte, bir kısmı da kumaşta tutulmaktadır.

Çevreye salındıklarında özellikle endişe yaratan kimyasallar, aşağıdaki özelliklerden bir veya birkaçını göstermektedir:

- Kalıcılık (çevrede kolaylıkla parçalanmazlar)
- Biyobirikim (organizmalarda birikebilirler ve hatta bir besin zincirinde yukarı çıktıkça konsantrasyonları artabilir)
- Toksikite

Tekstil endüstrisinde kullanılan tüm kimyasalların çevre dostu olma açısından kabul edilebilirliğini belirlemek zordur. Bazı kimyasallar kanserojendir veya daha doğumdan önce çocuklara zarar verebilirken, diğerleri bazı kişilerde alerjik reaksiyonları tetikleyebilmektedir. 1985 ve 1995 yılları arasında Kuzey Karolina'da yapılan çeşitli toksisite azaltma değerlendirmeleri, birçoğu ıslak işleme ile ilgili olan toksik maddeler [16] olarak tanımlanan bileşiklerin tekrarını bulmuştur. Bu tür toksik bileşiklerin kapsamlı olmayan kısa bir listesi Tablo 2.1'de verilmiştir.

Bazı spesifik toksik bileşikleri ortadan kaldırdıktan sonra bile, ıslak işleme yardımcıları olarak adlandırılan büyük bir tekstil kimyasalları grubu kalır. Bu ürünler, yüzey aktif maddeler, yumuşatıcı maddeler, çözücüler, şelatlayıcı maddeler ve su bazlı polimerlerin karmaşık

karışımlarından oluşur. Bu ürünlerin çoğu, tekstillerin hazırlanmasında, boyanmasında veya terbiyesinde belirli bir görevi yerine getirmek için tasarlanmış karışımlardır [1].

**Tablo 2.1:** Zehirli tekstil kimyasalları ve bunların uygulama alanlarının listesi.

Zehirli kimyasalın adı	Kullanım alanları
Tri-bütül kalay oksit	Çorap ve kumaşlarda biyosit
İyonik olmayan yüzey aktif maddeler	Tekstil hazırlama ve boyamada deterjanlar
Katyonik yüzey aktif maddeler	Tekstil boyama ve terbiye
Sodyum klorit	Pamuklu tekstillerin boyanması
Sodyum sülfat	Pamuklu tekstillerin boyanması
Bakır	Pamuk ve poliamidin boyanması; elementaldir, kompleks olmayan formdadır, toksiktir
Siyanür	Tuzda topaklanma önleyici madde

Temiz su hem gezegenin ekosistemleri için gerekli hem de insanların esenliği için esastır. Temel bir insan hakkıdır. Nehirler ve göller gibi su yolları, topluluklara içme suyu, mahsul sulama suyu ve balık ve kabuklu deniz ürünleri gibi yiyecekler dahil olmak üzere hayati kaynaklar sağlamaktadır. Bu su yolları aynı zamanda birçok imalat ve soğutma işlemi için su sağlayan endüstriyel faaliyetler için bir destek sistemi görevi görmektedir. Ancak, bu tür endüstriyel faaliyetler su kalitesini etkileyebilmekte ve böylece nehirlerin ve göllerin sağladığı diğer kaynakları tehlikeye atabilmektedir. Küresel olarak, su kaynakları insan faaliyetlerinin artan baskısı ile bozulmaktadır. Ekonomik ve nüfus artışı, yaban hayatı, ekosistem işlevi ve insan tüketimi için mevcut olan suyun miktarını ve kalitesini azaltarak, su kaynaklarına her zamankinden daha fazla talep oluşturmaktadır. Temiz su, kıtlaşan sınırlı bir kaynaktır ve ıslak işleme dizisinin her adımında hem kimyasalları malzemeye taşımak hem de bir sonraki adım başlamadan önce onları yıkamak için kullanılmaktadır. Su, kimyasal katkılarla yüklendikten sonra atık su olarak dışarı atılmaktadır; bu, arıtılmadığı takdirde atık suyun yüksek sıcaklığı, aşırı pH ve/veya boyalar, boya seyrelticiler, yardımcı maddeler, ağartıcılar, deterjanlar, optik parlaticılar ve tekstil işleme sırasında kullanılan diğer birçok kimyasal ile kontaminasyon nedeniyle çevreyi termal olarak kirletebilmektedir [14].

Uygun olmayan veya eksik atık su arıtımı olduğunda veya kirli suyun arıtılmadan doğrudan deşarjı olduğunda sorunlar daha da kötüleşmektedir, bu da kirli yüzey sularına ve kirli akiferlere, yani su içeren toprak veya kaya katmanlarına yol açmaktadır [17, 18]. Sonuç olarak, atık sulardaki herhangi bir ağır metal bileşeni, hem su kütlesi ortamı üzerinde olumsuz ekolojik etkiler hem de insan sağlığının bozulması ile kirliliğe yol açmaktadır.

Tekstil ve ilgili endüstriler, tarımdan sonra ikinci en yüksek temiz su tüketicisi ve kirleticisi olarak kabul edilmektedir [14]. Tekstil boyama işlemi sırasında çeşitli aşamalarda hem bu aşamada kullanılan kimyasalları taşımak hem de bir sonraki adıma geçmeden önce yıkamak için su kullanılmaktadır. Örneğin, geleneksel bir boyama ve terbiye işleminde, 1 ton kumaş, 200 tona kadar suyun bir dizi zararlı kimyasal tarafından kirlenmesine neden olabilmektedir ve bu süreçte buhar ve sıcak su için büyük miktarlarda enerji tüketilmektedir [19]. Yaygın olarak gözlemlenen bazı su israf yolları [14] şunlardır:

- Yıkamada aşırı su kullanımı
- Kırık veya eksik vanalar gibi yetersiz temizlik önlemleri
- Borular ve hortumlardan gözetimsiz sızıntılar
- Makine kapatıldıktan sonra bile soğutma sularının çalışır durumda bırakıldığı durumlar
- Verimsiz yıkama ekipmanı kullanımı
- Aşırı uzun yıkama döngüleri
- Tüm su kullanım noktalarında tatlı su kullanımı

Atık suyun yeniden kullanılması, su, enerji ve kimyasal tüketiminin azaltılması gibi çok önemli tasarruflar sağlayabilmektedir. Atık suyun geri dönüşümü, kalan kimyasalların ve oluşan diğer atıkların giderilmesi için tatlı su alınmadan önce proses banyolarında ve durulama sularında gerçekleştirilmektedir. Buhar yoğuşması ve soğutma suyu, temiz olduklarından kolayca geri kazanılabilmekte ve termal enerjilerinin geri kazanılması, yatırımı çok hızlı bir şekilde geri ödeyebilmektedir.

Gelecekte, su giderek daha az bulunan ve dolayısıyla son derece değerli bir kaynak haline gelecektir. Suya olan talep, dünya nüfusunun artış hızının iki katından daha fazla artmaktadır. Son 100 yılda, dünya nüfusu üç kat artarken, su tüketimi yedi kat artmıştır. Sonuç olarak 1970 yılından bu yana kişi başına düşen mevcut su miktarı %40 oranında azaltılmıştır [1].

Tek bir pamuklu gömlek üretmek için yaklaşık 2.500–3.000 L su gerekmektedir. Bu suyun büyük bir kısmı pamuğu büyütmek için gereklidir, ardından ikinci sırada ıslak terbiye işlemi gelir. Su kıtlığının ve atık su sorunlarının ilk sonuçları tekstil terbiye endüstrisinde hissedilmeye başlanmıştır. Örneğin, Çin ve Hindistan'daki yeni şirketlere, yaklaşımlarının su tüketimi ve atık su sorunlarını çözmeye yardımcı olacağına dair yetkililere ikna edici bir durum sunamadıkları takdirde, faaliyete geçmeleri için onay verilmemiştir. Avrupa'da şirketler aynı

nedenle kapanma tehlikesiyle karşı karşıyadır. Asya'daki tekstil merkezleri, hızla azalan yeraltı suyu rezervlerini ve aşırı derecede tuzlu yeraltı sularını bildirmektedir. Sonuç olarak, birçok şirket varlıklarını tehdit eden zorluklarla karşı karşıyadır [20].

Bazı atık sular, biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ve/veya atık suyun ağır metal içeriği dikkate alınmaksızın, hala çevre dostu olmayan bir şekilde, varsa kanalizasyon şebekelerine veya fosseptiklere atılmaktadır. Tekstil üretimi ve işlenmesinden kaynaklanan arıtılmamış atık su, ilgili kimyasallara ve arıtma süreçlerine bağlı olarak büyük ölçüde değişebilmektedir ve yüksek BOİ ve KOİ'li malzemeleri, yüksek toplam askıda katı madde, yağ ve gres, sülfidler, sülfatlar, fosfatlar, krom, bakır ve/veya diğer ağır metallerin tuzlarını içerebilmektedir. Bunlardan en önemlileri KOİ, BOİ, pH, yağlar, yağ, nitrojen, fosfor, sülfatlar ve askıda katı maddeler olarak kabul edilmektedir [21, 22]. Ham tekstil boyama atık sularında toplam askıda katı madde seviyeleri, diğer birçok endüstriden gelen atık su ile karşılaştırıldığında düşüktür. Öte yandan, boyutlandırma işlemlerinden ve ıslak işlemeden kaynaklanan atıklarda BOİ ve KOİ nispeten yüksektir [23]. Sülfatlar ve fosfatlar çok yüksek konsantrasyonlarda toksiktir. Sülfatların neden olduğu problemler çoğunlukla pH'ı değiştiren güçlü asitler oluşturma yetenekleriyle ilgilidir, oysa yüzey sularında fosfatlar ötrofikasyona neden olmaktadır.

### **2.1.2. Sürdürülebilir Tekstiller İçin Gelişen Yeşil Teknolojiler ve Çevre Dostu Ürünler**

Haşılama, yıkama, ağartma, merserize etme, boyama, baskı ve terbiye gibi tekstil üretim süreçleri, büyük miktarda su, enerji ve kimyasal tüketimi ile karakterize edilmektedir. Bu işlemlerde üretilen zehirli atık deşarjı, esas olarak yan ürünler, artık boyalar, tuzlar, asitler ve alkaliler, yardımcı kimyasallar ve diğer çözücüler içermektedir. Bu atıkların temiz su kaynaklarına deşarjları, flora ve fauna için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Bununla birlikte, şu anda tekstil ve giyim endüstrisindeki gelişme, sürdürülebilir tekstil ve giyim üretimini ve tüketimini teşvik etmek için geleneksel ıslak işlemlere alternatif olarak bazı yeşil teknolojilerin kullanımına odaklanmıştır. Son yıllarda, sağlık ve çevre ile ilgili konulardan ödün vermeden, çeşitli uygulamalar için daha temiz, uygun maliyetli ve katma değerli tekstil ürünleri geliştirmeye önem verilmektedir. Bu bölümde, tekstil elyaflarının renklendirilmesi ve terbiyesindeki son gelişmelerin bir özeti sunulmakta ve tekstil ve giyim sektöründe atık oluşumunu azaltmak için geliştirilen çevre dostu stratejilerden bahsedilmektedir [1].

Tekstil ve giyim endüstrisi, çok çeşitli ürünlerin üretiminde birçok türde kimyasal varlığı ve fizikokimyasal süreçlerin kullanılmasını içeren, dünyanın en büyük sektörüdür [24].

Tekstil üretimindeki farklı işleme aşamaları arasında haşılama, ağartma [25], merserizasyon [26], boyama [27], baskı ve terbiye [28-31] vb. yer alır. Bu işlemlerde üretilen tekstil atık suları oldukça renklidir, apre maddeleri, yüzey aktif maddeler, inhibitör bileşikler, aktif maddeler, klor bileşikleri, tuzlar, boyama maddeleri, toplam fosfat, çözülmüş katılar, askıda katı maddeler ve toplam katılar gibi önemli konsantrasyonlarda organik ve inorganik kimyasallar içermektedir [32, 33]. Tekstil kimyasal işlemlerinden kaynaklanan atık suyun özellikleri Tablo 2.2'de gösterilmektedir [34]. Tablodaki TDS suyun içerisindeki toplam çözülmüş katı madde miktarını, TSS ise toplam askıda katı madde miktarını vermektedir.

**Tablo 2.2:** Tekstil kimyasal proseslerinden kaynaklanan atık suyun özellikleri.

Özellikler	Ovma	Ağartma	Merserizasyon	Boyama	Kompozit	İç Sulara Deşarj Limit (Hint Standartları Bürosu)
Ph	10-12	8,5-11	8-10	9-11	8-10	5,6-9,0
TDS (mg/L)	12,000-30,000	2,500-11,000	2,000-2,600	1,500-4,000	5,000-10,000	2,100
TSS (mg/L)	1,000-2,000	200-400	100-400	50-350	100-700	100
BOİ (mg/L)	2,500-3,500	100-500	50-120	100-400	50-550	30
KOİ (mg/L)	10,000-20,000	1,200-1,600	250-400	400-1,400	250-8,000	250
Klorürler (mg/L)	-	-	350-700	-	100-500	1,000
Sülfatlar (mg/L)	-	-	100-350	-	50-300	1,000
Renk	-	-	Çok renkli	Güçlü renkli	Güçlü renkli	Renksiz

### 2.1.2.1. Süperkritik Karbondioksit Boyama

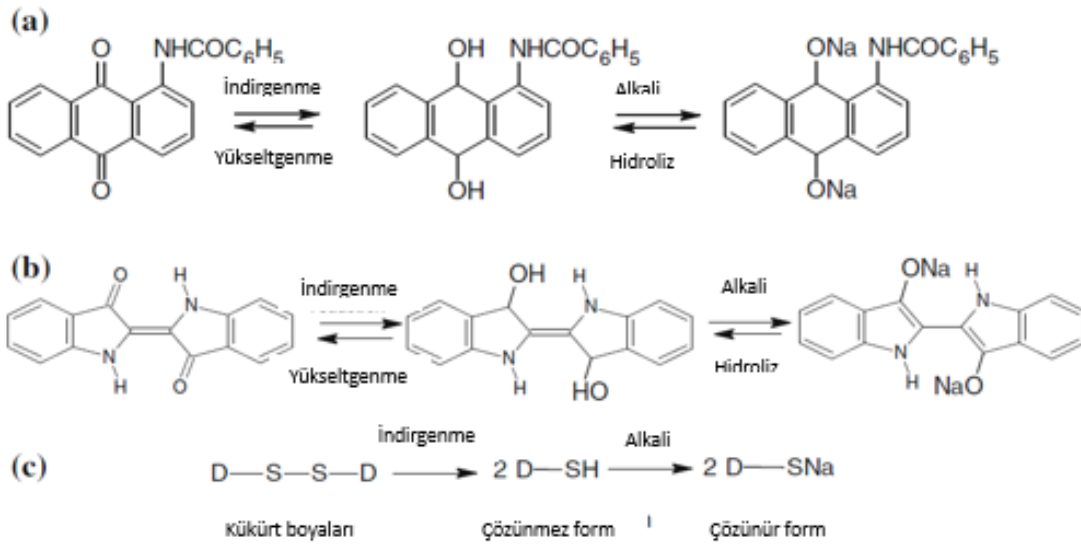
scCO<sub>2</sub> boyama susuz bir işlemdir ve bu nedenle tekstil endüstrisindeki geleneksel ıslak yöntemlere karşı devrim niteliğinde ve yeşil çekici bir alternatiftir [35, 36]. scCO<sub>2</sub>, poliester, naylon, pamuk, yün, ipek ve diğer kumaşların iplik hazırlanmasında, renklendirilmesinde ve finisajında sulu atıklar oluşturmadan bir ortam olarak kullanılabilir; bu yeni yöntemin atık su olmaması, yardımcı madde olmaması, yüksek boyama oranı ve iyi tesviye sonuçları gibi birçok avantajı vardır [37, 38]. Güzel ve Akgerman [39] şelatlayıcı ligand özelliklerine sahip üç mordan boya, 2-nitrozo-1-naftol (C.I. Mordant Brown), 5-(4-aminofenilazo) salisilik asit (C.I. Mordant Yellow 12), ve 1,2-dihidroksiantrakinon (C.I. Mordant Red 11, Alizarin olarak da bilinir) kullanarak çalışma yapmışlardır. Bu şelatlayıcı sentetik boyalar scCO<sub>2</sub> içinde çözülmüş ve daha sonra Cr(III), Al(III), Fe(II), Cu(II) ve Sn(II) gibi beş farklı mordanlayıcı metal iyonunun varlığında yün üzerindeki boyama özellikleri açısından incelenmiştir. Bu boyalarla boyanmış yünlü kumaş, mükemmel yıkama haslığı özellikleri göstermiştir. Poliester, naylon, ipek ve yün gibi çeşitli sentetik ve doğal elyaf bazlı tekstil substratları, Kraan ve diğ. [40] tarafından scCO<sub>2</sub>'de dispers reaktif boyalarla boyanmıştır. Deney düzeneği Şekil 2.3'te



sirkülasyonunun statik boyamaya oranı, levent üzerindeki farklı kumaş katmanları ve boyarmadde türleri gibi çeşitli koşullar altında egalizasyon özelliklerini incelemiştir. Sonuçları, poliester kumaş numunelerinin tesviye özelliklerinin, geleneksel olana kıyasla yeni kiriş üzerinde iyileştirildiğini göstermiştir. Daha yakın zamanlarda, Hori ve Kongdee [47], poliester ile kompozitini oluşturarak ve ardından  $scCO_2$  varlığında üç dispers boya ile boyama yaparak polipropilenin (PP) boyanabilirliğini geliştirmişlerdir.

### 2.1.2.2. Boyaların Elektrokimyasal İndirgenmesi

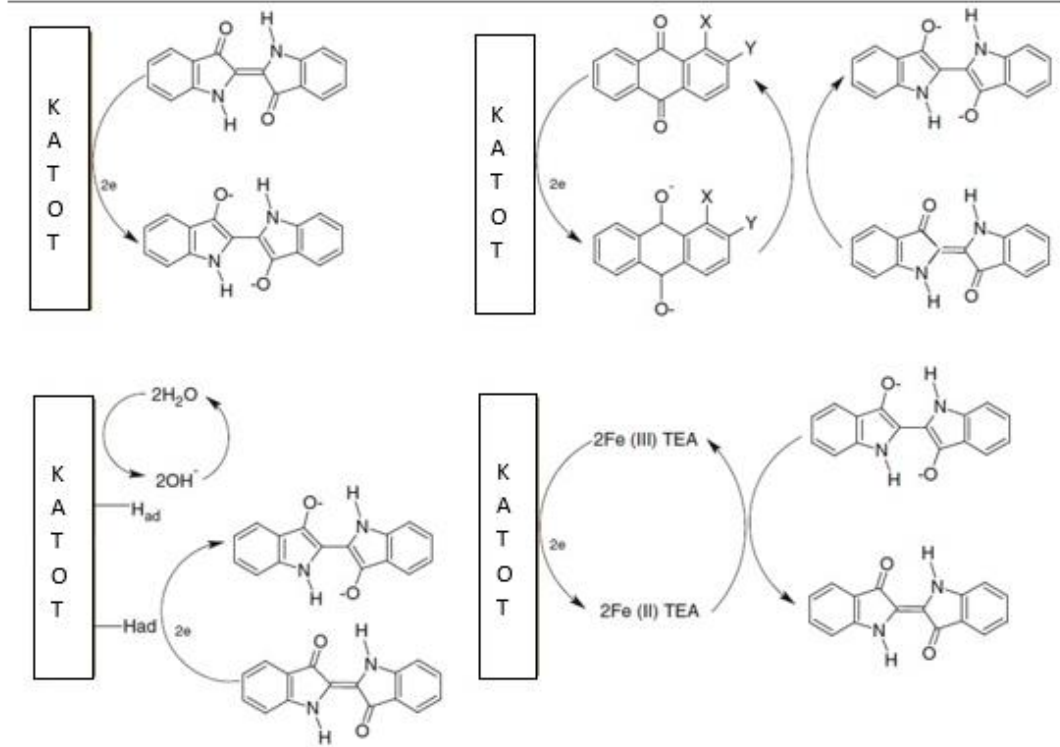
Şu anda, küp ve kükürt boyaları için boyama işleminde, bu boyaların tekstil yüzeyine adsorpsiyon ve difüzyonu için çözünür löko-formda kalmasını sağlamak için sodyum sülfid, sodyum hidrosülfid (sodyum ditiyonit), hidroksiaseton veya glukoz gibi bir dizi indirgeyici ajan gereklidir [48-50]. Küp, indigo ve kükürt boyalarının indirgeme mekanizması Şekil 2.4'te gösterilmiştir [51].



Şekil 2.4: (a) küp (b) indigo (c) sülfür boyaların indirgenme yükseltgenme mekanizması.

Bununla birlikte, sülfid, sülfat, tiosülfat ve toksik kükürtün yenilenemeyen doğası ve oluşumu nedeniyle, bunların kullanımını olumsuz sağlık ve çevre sorunlarına neden olmaktadır [52]. Bu nedenle, küp boyaları için alternatif indirgeme yöntemlerine olan talep son yıllarda belirgin bir şekilde artmıştır [53]. Küp, indigo ve kükürt boyalarının doğrudan ve dolaylı elektrokimyasal indirgenmesi, yenilenemeyen indirgeyici ajanların katodik elektron transferi ile yeniden etkinleştirilen çözünmüş bir redoks çifti ile değiştirildiği yeni çevre dostu teknoloji olarak incelenmiştir [48, 54-59]. Doğrudan elektrokimyasal indirgeme, elektrokatalitik hidrojenasyon, dolaylı elektrokimyasal indirgeme (antrakinonoid aracı) ve dolaylı

elektrokimyasal indirgeme (demir kompleksi aracı, trietanolamin) kullanılarak indigo indirgenmesinin şematik görünümü Şekil 2.5'te gösterilmektedir [60]. Küp ve kükürt boyaları için elektrokimyasal indirgemenin kullanımı, kimyasal indirgeyici maddelerde elde edilenlere benzer sonuçlar vermektedir ve tekstil endüstrisinde çevre kirliliğini azaltmaya yardımcı olabilecek alternatif bir yöntem olarak yaygınlaştırılması gereken çok umut verici bir kavramdır.



Şekil 2.5: Elektrokimyasal indigo indirgeme şemaları.

### 2.1.2.3. Mikrodalga Destekli Tekstil İşleme

Mikrodalga teknolojisi, birbirine göre dik yönlerde salınan elektrik ve manyetik alanlarla ilişkili elektromanyetik radyasyonu içermektedir. Mikrodalgaların haşıl sökme, yıkama ve ağartma işlemleri, boyama ve kurutma işlemleri için bir ısıtma kaynağı olarak kullanımı literatürde iyi bir şekilde belgelenmiştir. Suda çözünür kitosan ile birlikte glioksal, glutaraldehit ve 1,2,3,4-bütantetrakarbonsilik asit gibi nonformaldehit apre maddeleri ile işlenmiş pamuklu kumaşların kürlenmesi için mikrodalga teknolojisinin uygulanması, mukavemet özelliklerinde yüksek kayıplar olmaksızın antibakteriyel özelliklerde olan pamuklu kumaşların üretimi ile sonuçlanmıştır [61]. Son zamanlarda Hashem ve diğ. [62] haşıl sökülmüş, temizlenmiş ve ağartılmış pamuklu kumaşın fizikokimyasal ve performans özellikleri üzerindeki mikrodalgaların etkisini incelemiştir ve sonuçlarını geleneksel termal

ısıtma kullanılarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Pamuklu kumaş hazırlığının, 2,5-3 saat süren gelenekselden sadece 5 dakika daha uzun sürdüğünü bulmuşlardır. Bhat ve Kale [63] mikrodalga radyasyonunun kısmen yönlendirilmiş poliester ipliklerle etkileşimini incelemişler ve mikrodalgaların poliester filamentlerin çekme mukavemeti, büzülme ve boya alımı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu sonucuna varmışlardır. Hakeim ve diğ. [64] farklı fiksasyon modları kullanarak kına boyası ile yünlü kumaşların baskısını gerçekleştirmiştir. Mikrodalga destekli fiksasyon kullanarak iyi renk mukavemeti ve haslık özelliklerine sahip yün için koyu turuncu tonlar elde etmişlerdir. Al-Mousavi ve diğ. [65], arilazotienobenzokromen parçasına dayalı dispers boyaların sentezini bildirmişler ve mikrodalga ısıtma kullanılarak poliester kumaşlara uygulandıktan sonra boyama özelliklerini incelemişlerdir. Aynı şekilde, Al-Etaibi ve diğ. [66] mikrodalga ışması kullanan poliester kumaşlar üzerine uygulama için pirazolopirimidin monoazo dispers boyaları sentezlemişlerdir. Boyalı kumaşlar tatmin edici haslık özellikleri göstermiştir. Al-Etaibi ve diğ. [67] ayrıca bir enerji kaynağı olarak mikrodalga ışınımı kullanarak p-hidroksifenilhidrazon, hidrazin hidrat ve asetilaseton veya enaminonların tek pota reaksiyonları yoluyla bir dizi 4 hidroksifenilazopirazolopirimidin dispers boya hazırlamışlardır. Bu boylarla boyama sonrası üretilen renk tonlarının kabul edilebilir haslık özelliklerine sahip olduğu görülmüştür. Yazarlar, su ve kimyasallardan tasarruf etmek ve poliester elyafların boyanması sırasında boşaltılan atık miktarlarını azaltmak için aynı boya banyosunu tekrar boyamalar için yeniden yapılandırmışlardır. Al-Mousavi ve diğ. [68], tienobenzokrom dispers boylarla boyanmış poliester kumaşların, geleneksel ve mikrodalga ısıtma koşulları altında nispeten mükemmel yıkama ve ter haslığı sergilediğini fark etmişlerdir.

#### **2.1.2.4. Plazma Teknolojisi**

Plazma modifikasyonları, düşük enerji, kimyasal gerektirmemesi ve diğer geleneksel ıslak işleme tekniklerine göre yeşil bir yaklaşım gibi sayısız avantajlarından dolayı tekstil endüstrisinde dikkate değer uygulamalar için yeni bir yaklaşım yaratmıştır [69]. Plazma işleminde, polimer/elyaf yüzeyleri uyarılmış ve enerjik plazma türleri (iyonlar, radikaller, elektronlar ve metastabiller) ile işlenmektedir [70]. Plazma yapıya yeni hidrofilik gruplar katar ve yapışma veya yansıtma, ıslanabilirlik, su iticilik, boyanabilirlik, alev geciktirme ve etkili antimikrobiyal özellikler elde etmek için kullanılmıştır [71-74]. Son zamanlarda, Koh ve Hong [75] safra fıstığı özü ile boyanmış yüne daha iyi fonksiyonel özellikler kazandırmak için bir plazma püskürtme tekniği kullanmışlardır. Yaman ve diğ. [76], anyonik ve katyonik boya maddeleri kullanarak, plazma işlem parametrelerinin PP'nin yüzey morfolojisi, fiziksel-kimyasal ve boyama özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Aktifleştirilmiş PP üzerine

6-aminoheksanoik asit, akrilik asit, etilendiamin, akril amid ve heksametildisiloksan gibi farklı bileşikler aşılamışlar ve argon işleminin boyaların boyama özelliklerini geliştirdiğini bulmuşlardır. Hegemann ve diğ. [77], nano yapıları plazma kaplamaların kullanımıyla çok işlevli tekstillerin geliştirildiğini bildirmiştir. Tseng ve diğ. [78], kitosan oligomer ve biyopolimerin daha önce açık hava plazması ile aktive edilmiş naylon tekstiller üzerine aşılandığını bildirmiştir. Kitosan polimeri ile aşılanmış naylonun, kitosan oligomeri ile aşılanmış naylondan daha iyi antimikrobiyal özelliklere sahip olduğu bulunmuştur.

#### **2.1.2.5. Ultrason Renklendirme**

Ultrason gücünün uygulanması, tekstil endüstrisinde ortaya çıkan en önemli alandır ve tekstil işleme için temiz teknoloji konseptinde önemli bir role sahiptir. Ultrason teknolojisi, dağılma, gaz giderme, difüzyon ve sıvının yoğun çalkalanması gibi diğer mekanik etkilere ek olarak, esas olarak sıvı ortamda kavitasyon oluşturarak geleneksel kimyasal işlemlere göre çok sayıda avantaj sunmaktadır [51]. Kavitasyon, ultrasonik olarak indüklenen alternatif sıkıştırma ve seyrekleşme dalgalarının neden olduğu küçük gaz kabarcıklarının oluşumu, büyümesi ve içe doğru çökmesidir. Kavitasyon kabarcıkları salınmakta ve patlamakta, böylece boya banyosundaki moleküler hareketi ve karıştırma etkilerini arttırmaktadır [79]. Bir katı/sıvı arayüzünde (örneğin, bir fiber/boya banyosu arayüzü) kavitasyon meydana geldiğinde, ortaya çıkan asimetrik iç patlama, difüzyon ara katmanını büyük ölçüde bozan ve bu yönde kütle taşınmasını destekleyen katı yüzeye doğru mikro akış üretmektedir [80]. Tekstil işleme adımlarındaki yüksek kütle transferi oranı, geleneksel yöntemlere bir alternatif olarak incelenmiştir [81, 82]. Yachmenev ve diğ. [83], selülozik tekstiller üzerinde kombine bir enzim/sonikasyon işleminin pahalı enzimlerin daha az tüketilmesi, daha kısa işlem süresi, daha az lif hasarı ve daha iyi işlem homojenliği gibi önemli avantajlar sunduğunu bildirmiştir. Perelstein ve diğ. [84], pamuğu MgO ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparçacıkları ile kaplamak için bir ultrason tekniği kullanarak antibakteriyel pamuğu başarıyla üretmiştir. Sıvı tabakalardaki tekstillerin sürekli yıkanması için bir ultrasonik sistemin kullanımı Gallego-Juarez ve diğ. [85] tarafından denenmiştir. Gotoh ve Harayama [86] son zamanlarda, model kirletici olarak karbon siyahı veya oleik asitle kirlenmiş poliester kumaşın ultrason varlığında kumaşa çok az mekanik hasara neden olduğunu göstermiştir. Ultrasonik enerji, haşıl sökme verimliliğini artırmak için pamuğun enzimatik haşıl sökme işleminde kullanılmıştır. Wang ve diğ. [87] araştırma deneylerinde, pamuğun haşıl sökme işleminde ultrason destekli sistemlerin kullanılmasının, geleneksel haşıl sökmeye kıyasla işlem süresinin yarısı kadar tasarruf sağlayabileceği ve haşıl sökme verimliliğini yaklaşık %5 artırabileceği sonucuna varmıştır. Benzer şekilde, güçlü

ultrasonun (26 kHz, 180 W) keten kumaşın ağartılmasını iyileştirmek için etkili bir teknik olarak kullanımı Abou-Okeil ve diğ. [88] tarafından rapor edilmiştir. Ultrasonun lakkaz-hidrojen peroksit ile ağartılmış çamaşırların beyazlığını iyileştirdiğini ve geleneksel bir ağartma işlemine benzer sonuçlar verdiğini bulmuşlardır. Khanjani ve diğ. [89], ZnO nanoparçacıklarının ultrason ışınması altında ipek kumaşlar üzerinde yerinde oluşumunu ve kaplanmasını araştırmışlardır. Magnezyum hidroksit nanoyapılarının ve küre benzeri trimangan tetraoksit ( $Mn_3O_4$ ) nanoparçacıklarının ipek ipliği üzerinde büyümesi, Khanjani ve Morsali [90, 91] tarafından, ultrason ışınlanması altında değişen magnezyum nitrat ve potasyum hidroksit banyolarında sıralı daldırma adımları kullanılarak elde edilmiştir. Son raporlar, ultrason teknolojisinin doğal boyama işlemleri için kolay ve verimli bir yol sağladığını göstermiştir ve bu nedenle, birçok araştırma grubu tarafından deneysel düzeyde, doğal ve sentetik elyafların ultrason destekli doğal boyama ve bitim işlemlerine ilişkin belirli sayıda çalışma yapılmıştır [79, 92].

## 2.2. TEKSTİL MALZEMELERİNİN YAPISI VE ÖZELLİKLERİ

Tekstiller, giyim, ev, tıbbi ve teknik uygulamalarda yaygın olarak kullanılan geniş ve çeşitli bir malzeme grubunu oluşturmaktadır. Tekstilde özellikle modada renk uygulaması, nihai ürünün tasarımında estetik, sosyal, psikolojik, yaratıcı, bilimsel, teknik ve ekonomik yönlerin bir araya geldiği çok boyutlu bir faaliyet alanıdır.

Tekstiller, mukavemet, esneklik, elastikiyet, yumuşaklık, dayanıklılık, ısı yalıtımı, düşük ağırlık, su emicilik/iticilik, boyanabilirlik ve kimyasallara direnç gibi özelliklerin benzersiz bir kombinasyonu ile karakterize edilen özel malzeme türleridir [93].

### 2.2.1. Tekstil Liflerinin Sınıflandırılması ve Özellikleri

Geldikleri fiziksel ve yapısal biçimlerin ve yapıldıkları maddelerin kimyasal bileşimlerinin çeşitliliğine rağmen, tüm tekstil malzemelerinin üretim teknolojisi aynı başlangıç noktasından, yani liflerden başlamaktadır. Tekstil malzemelerinin üretiminde kullanılan işlemler aşağıdaki gibi dört ana gruba ayrılabilir [93]:

1. Doğal veya suni olabilen liflerin üretimi.
2. Pamuk, yün, sentetik lifler ve lif karışımlarının eğirilmesinde belirli teknik farklılıkların olduğu iplik üretimi.

3. Dokuma, örme ve dokunmamış kumaşlar, halılar, ağlar ve diğer çarşaf malzemelerinin imalatı.
4. Ağartma, boyama, baskı ve nihai ürüne su iticilik, antibakteriyel ve alev geciktirici özellikler gibi spesifik özellikler kazandırmayı amaçlayan özel işlemleri içeren kumaş terbiyesi.

Geleneksel olarak lifler kökenlerine göre sınıflandırılır. Bu nedenle lifler (i) doğal (bitkisel, hayvansal ve mineral) ve (ii) doğal veya sentetik polimerlerden ve karbon, seramik ve metal lifler gibi diğerlerinden üretilen sentetik olabilir. Liflerin ayrıntılı bir sınıflandırması Şekil 2.6'da sunulmaktadır [94]. Bu sınıflandırma, esas olarak suni ve sentetik liflerin üretimindeki gelişmeler nedeniyle sürekli olarak güncellenmektedir.

Dokuma ve örme kumaşlar, kumaş yapısı boyunca düz bir renk elde etmek için boyanabilmekte veya kumaş yüzeyine çeşitli desenler basılabilmektedir. İpliklerin ve kumaşların elyaf bileşimi, yukarıda gevşek elyaf kütlelerinin boyanması ile ilgili olarak bahsedildiği gibi, boyama proses yöntemlerini etkilemektedir.

Elyaf, ticari olarak uygun son kullanım ürünlerinde çeşitli performans özelliklerinin elde edilebilmesi için onları eğirme, boyama ve daha sonra kumaşa dönüştürme için uygun kılın özelliklerin bir birleşimine sahip olmalıdır.

### **2.2.2. Tekstil Teknolojisi ile İlgili Elyaf Özellikleri**

Tekstil endüstrisinde kullanılan tüm elyafların, doğal veya suni olsun, tüm özelliklerinin değişkenliği ile karakterize edildiği gerçeğini hesaba katmak gerekmektedir. Bu, son kullanım ürünlerinin kalitelerinde önemli bir değişikliğe neden olabilir. Bu nedenle, endüstriyel uygulamada sürekli teste konu olan lif özelliklerinin yalnızca ortalama özelliklerinden bahsetmek mantıklıdır. Elyaf testi, ara ve nihai ürünlerin testi ile kalite kontrol işlemlerinin önemli bir parçasıdır [93].

Pratik açıdan, eğirme için önemli olan elyaf özelliklerini nihai ürünün performans özelliklerini etkileyenlerden ayırmak zordur. Örneğin, Tablo 2.3 pamuk, viskon ve poliesterin özelliklerini karşılaştırmaktadır. Bu tablonun analizi, bu üç lifin özelliklerinde tamamlayıcı olduğunu göstermektedir. Bu, pamuk/poliester karışımlarının tekstil endüstrisinde neden sıklıkla kullanıldığını açıklar.



**Tablo 2.3:** Pamuk, viskon ve poliesterin karşılaştırmalı performansı.

Özellikler	Karşılaştırmalı Değerlendirme		
	Pamuk	Viskon	Polyester
<b>Konfor</b>			
Nem geri kazanımı	İyi	Çok iyi	Zayıf
Termal koruma	İyi	Çok iyi	Zayıf
Hava geçirgenliği	Çok iyi	İyi	Zayıf
Yumuşaklık	İyi	Çok iyi	Zayıf
Pürüzsüzlük	Zayıf	İyi	Çok iyi
Statik elektriğin dağılması	İyi	Çok iyi	Zayıf
<b>Estetik</b>			
Örtü	İyi	Çok iyi	Zayıf
Parlaklık	Zayıf	Çok iyi	Çok iyi
Kırışik giderme	Zayıf	Zayıf	Çok iyi
Tekdüzelik	Zayıf	Çok iyi	İyi
<b>Aşınma performansı</b>			
Boncuklanma direnci	İyi	Çok iyi	Zayıf
Yıka ve giy	İyi	Zayıf	Çok iyi

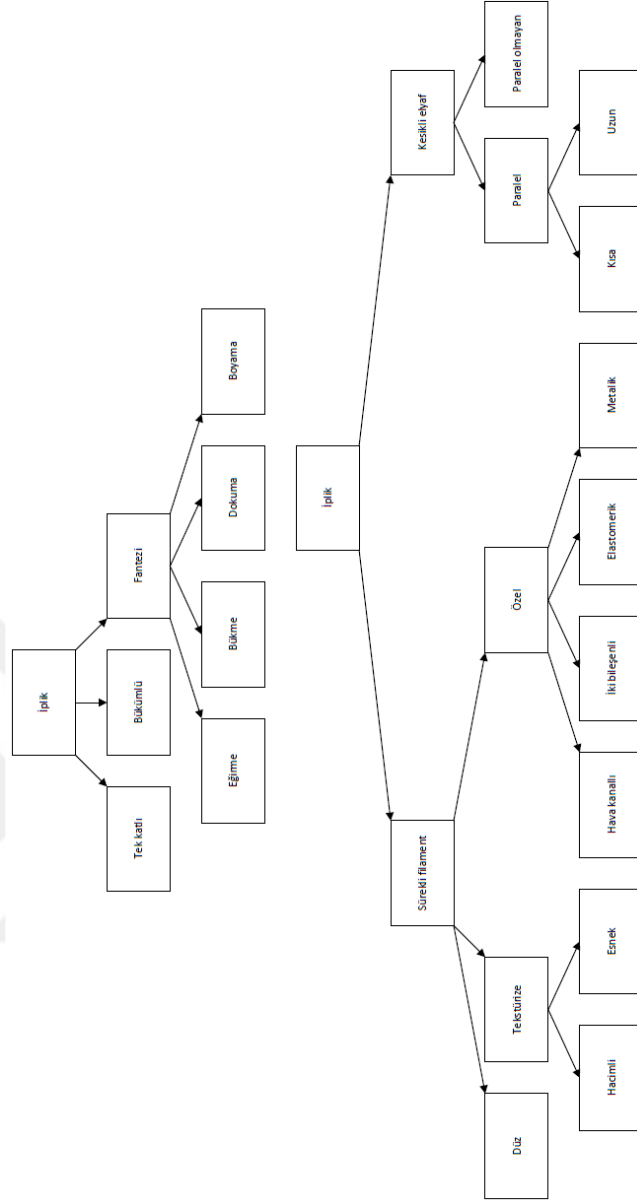
### 2.2.3. Temel Tekstil Ürünlerinin Sınıflandırılması ve Özellikleri

Tek tek liflerin ipliğe birleştirilmesi ve ardından ipliğin dokuma ve örme kumaşa dönüştürülmesi, boyama için önemli olan bu ürünlerin yapısal özellikleri ile ilgili ek faktörleri beraberinde getirmektedir.

#### 2.2.3.1. İplik Sınıflandırması ve Özellikleri

Bir iplik, dokuma, örme veya dikiş gibi işlemlerde geçmeli olarak kullanılabilen, bükümlü veya bükümsüz liflerden ve/veya filamanlardan yapılmış, oldukça uzun ve nispeten küçük bir enine kesite sahip bir ürün olarak tanımlanabilmektedir.

İplikler, eğrildikleri liflerin özelliklerine ve bitmiş iplikteki her bir demetin düzenine göre şekil 2.7'deki gibi sınıflandırılmaktadır.



**Şekil 2.7:** İplik sınıflandırılması.

Sürekli filament iplikler, lif oluşturan bir maddeden çözelti (viskon, akrilik) veya erimiş polimer (poliester, poliamid) halinde bükülmektedir. Polimer, küçük çaplı filamanlarda katılaştığı bir düzenin deliklerinden şekil 2.8'deki gibi ekstrüde edilir.

Kesik elyaf iplikler, bükülerek birbirine bağlanan kısa elyaflardan yapılmaktadır. Bu lifler doğal (pamuk, yün, jüt, keten, ipek) veya suni (viskon, naylon, poliester, akrilik) olabilmektedir [93].



Şekil 2.8: Eğirme makinesi örneği.

#### 2.2.4. Selülozik Lifler

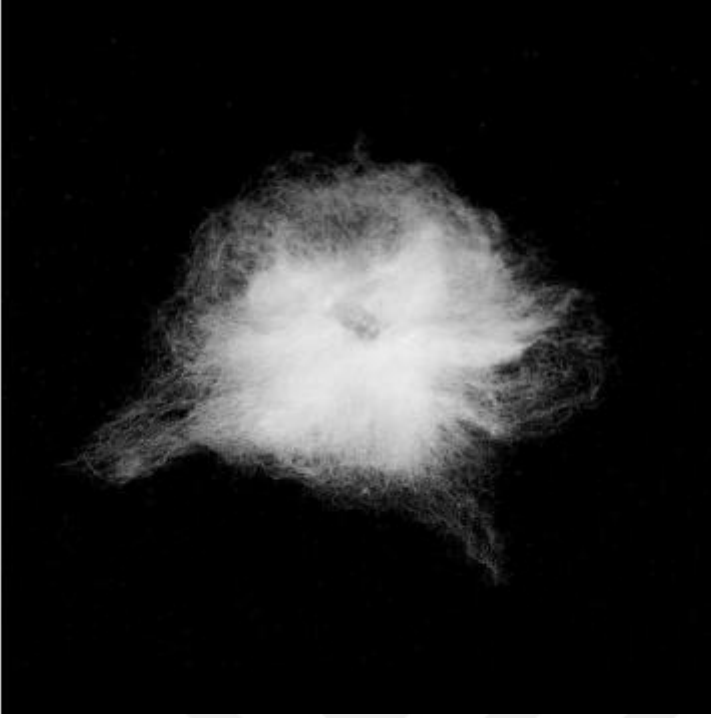
Keten, kenevir, jüt ve rami gibi bitkilerin tohum (pamuk), yaprak (manila, sisal), hindistancevizi kabuğu (hindistan cevizi) ve sapları gibi farklı kısımlarından elde edilebilen birçok doğal selülozik lif vardır. Bu bölümde pamuk lifinin özellikleri üzerinde durulacaktır.

##### 2.2.4.1. Pamuk Lifinin Özellikleri

Pamuk lifi, bitki kökenli en önemli doğal tekstil liflerinden biridir ve dünyadaki toplam tekstil lifi üretiminin yaklaşık üçte birini oluşturmaktadır. Pamuk lifleri, pamuk bitkisinin tohumunun yüzeyinde şekil 2.9'daki gibi büyür. Pamuk lifi, genel formülü  $(C_6H_{10}O_5)_n$  ve organik bir bileşik olan %90-95 oranında selüloz içermektedir. Pamuk lifleri ayrıca lif yandığında kül oluşturan mumlar, pektinler, organik asitler ve inorganik maddeler içermektedir.

Pamuk lifi, alkalilere ve ağartıcı maddelere karşı dirençlidir ancak hidroklorik ve sülfürik asitler gibi güçlü konsantre asitler ve potasyum permanganat ve sodyum hipoklorit gibi güçlü oksitleyiciler tarafından kolayca zarar görebilmektedir.

Pamuk, direkt boyalar, diazot boyalar, oksidasyon boyları, küp boyları ve reaktif boylarla boyanabilmektedir.



**Şekil 2.9:** Pamuk çekirdeği üzerindeki pamuk lifleri.

### **2.2.5. Protein Lifler**

Bu bölümde, hayvansal kökenli iki doğal lifin, yani yün ve ipek liflerinin yapısı ve özellikleri ele alınmaktadır.

#### **2.2.5.1. Yün Lifinin Özellikleri**

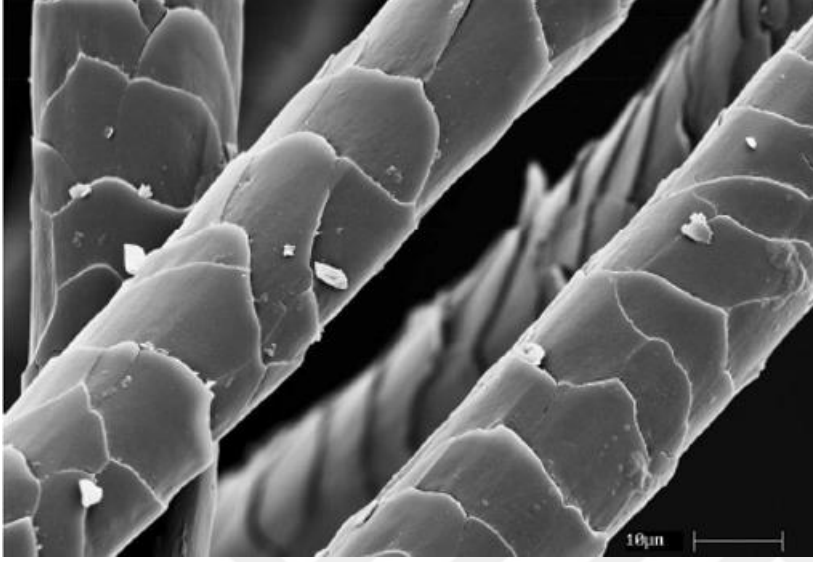
Yün, koyunların vücudunda yetişen doğal protein bazlı kesikli elyafıdır. Yünün kimyasal bileşimi ve iç yapısı oldukça karmaşıktır. Elyaf malzemesinin ana oranı, sistin, lizin, arginin, glutamin ve diğerleri gibi amino asitlerden oluşan polipeptit zincirlerinden oluşan biyolojik bir polimer olan a-keratindir [95]. Polipeptit zincirindeki moleküller, bir molekülün karboksil grubu COOH ile diğer molekülün amin grubu NH<sub>2</sub> arasında oluşan ve peptit bağı olarak adlandırılan fonksiyonel bir grup CONH ile sonuçlanan bir kovalent bağ ile birleştirilmektedir.

Yapısal olarak yün lifi, kütikül adı verilen dış katmandan, korteks adı verilen ana gövdeden ve bazı liflerde medulla adı verilen merkezi boşluktan oluşmaktadır. Kütikül, şekil 2.10'daki gibi hafifçe üst üste binen düz pullardan oluşan bir tabakadır [96].

Yün lifi nemi iyi emer ve kuru ağırlığının %30'una kadar su tutabilir; bu özellik yünün boyanmasını kolaylaştırır.

Alkali işlemler yün yapısını bozarak daha az dayanıklı hale getirmekte ve sarılığa neden olmaktadır. Aynı zamanda yün, seyreltik asitlere karşı dayanıklıdır. Konsantre sülfürik ve nitrik

asitler ise yün yapısını parçalayabilir. Yün direkt boyalar, reaktif boyalar, asit boyalar ve metal kompleks boyalarla boyanabilmektedir.

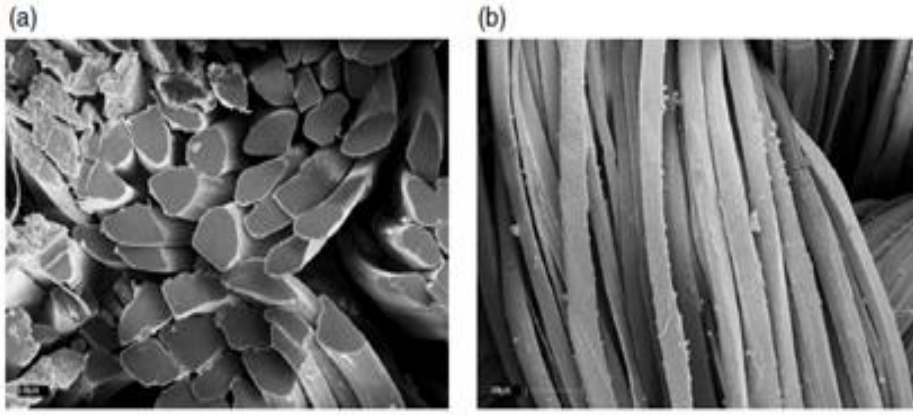


Şekil 2.10: Yün lifinin uzunlamasına görünüşü.

#### 2.2.5.2. İpek Lifinin Özellikleri

İpek, çeşitli böceklerden ve örümceklerden larvalar tarafından sürekli bir filament olarak üretilen protein bazlı bir elyafıdır. En yaygın kullanılan ve yararlı ipekler, tırtıl dut yapraklarıyla beslendiğinden yaygın olarak dut ipekböceği olarak adlandırılan evcil güve *Bombyx mori*'nin larvaları tarafından üretilmektedir. İpekböceği, fibroinden oluşan ve protein zamlı serisin tarafından birbirine yapıştırılmış şekil 2.11'deki gibi iki lif şeklinde ipek üretmektedir. Kimyasal olarak fibroin, lif eksenine paralel uzanan oldukça kristalli ve düzgün şekilde yönlendirilmiş zincirlere birbirine bağlanmış birçok amino asitten oluşmaktadır. İpek fibroin, birlikte toplam kalıntıların %85'ini oluşturan yüksek glisin, alanin, serin ve tirozin içeriği ile karakterize edilmektedir [97, 98].

Yüne benzer şekilde ipek de asit boyalar, metal kompleks boyalar, reaktif boyalar ve direkt boyalarla boyanabilmektedir.



Şekil 2.11: İpek liflerinin (a) enine kesit ve (b) boyuna görünüşleri.

### 2.2.6. Sentetik Lifler

Sentetik lifler, modern zamanlarda tekstil üretiminde yaygın olarak kullanılan büyük ve önemli bir lif sınıfını oluşturmaktadır. Yapay lifler, doğal olarak oluşabilen (selüloz gibi) veya olmayabilen (poliamid gibi) polimerlerden oluşur.

Sentetik elyafların kimyasal bileşimi ve özelliklerindeki büyük farklılıklara rağmen, bunların üretimi aşağıdaki gibi üç genel aşamayı takip etmektedir [99]:

1. Katı polimerden veya doğrudan monomerlerden eğirme sıvısının hazırlanması.
2. Eğirme sıvısının bir düzede birkaç küçük delikten ekstrüzyonu (Şekil 2.8) yoluyla lif eğirme, ardından ortaya çıkan jetlerin sürekli filamentler halinde katılaşması.
3. Liflerin özelliklerini iyileştirmek için mekanik, termal ve kimyasal son işlemler.

Bu bölümde, viskon, poliester, naylon ve akrilik gibi tipik sentetik elyafların yapısı, özellikleri ve üretim süreçleri hakkında bazı temel bilgiler anlatılacaktır.

#### 2.2.6.1. Viskon Elyaf

Viskon elyafı, odun hamurundan elde edilen doğal selüloz moleküllerinin yeniden düzenlenmesi ile üretilen elyaf olan rejenere elyafa bir örnektir.

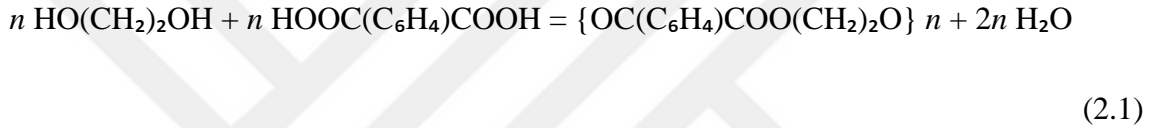
Viskon elyaf filamanlarının yapısı yüzeyde ve çekirdekte farklıdır, yani yüzeye yakın yapı birçok küçük kristalli bölgeden oluşurken, çekirdekte bunlar daha az fakat daha büyüktür.

Viskon lifleri, kimyasal bileşim açısından pamuğa benzemelerine rağmen, ıslak koşullarda farklı davranmaktadır, yani normal viskon lifleri ıslak koşullarda %50'den fazla esneyebilmekte ancak kuru koşullara kıyasla güçlerinin yalnızca yarısını göstermektedir.

Viskon elyaflardan üretilen kumaşlar genellikle yumuşak, sıcak ve nemli ortamlarda rahat, dökümlü, yüksek emici ve kolay boyanabilen kumaşlardır. Öte yandan, viskon kumaşlar tekrarlı yıkamalarda düşük boyut stabilitesine sahiptir, kırılmaya eğilimlidir ve esneme eğilimindedir [93].

### 2.2.6.2. Poliester Elyaf

Poliester elyaf, doğada bulunmayan sentezlenmiş polimerlerden üretildiğinden, geniş "gerçek" insan yapımı elyaf grubundan bir örnektir. Pek çok farklı poliester türü vardır, ancak hepsi yoğuşma reaksiyonu ile üretilmekte ve hepsi ester fonksiyonel grubu COO içermektedir. En önemli poliester türü, genellikle basitçe poliester olarak adlandırılan polietilenteraftalatır (PET). Bu, aşağıdaki gibi etilen diglikol ve tereftalik asit arasındaki yoğunlaşma reaksiyonunun ürünüdür:



Bu reaksiyon 290 °C'ye ulaşan sıcaklıkta ve 400 kPa basınçta gerçekleştirilmektedir.

Poliester, yeniden eritilebilen ve yeniden kalıba dökülebilen termoplastik bir polimerdir. Bu özellik poliester elyafların üretiminde ve geri dönüşümünde kullanılmaktadır. Tipik olarak poliester elyaflar, granüle bir polimerden (parti işlemi) veya sürekli bir polimerizasyonla sürekli filamentler olarak üretilmektedir. Kesikli proseste, nem içeriğini azaltmak ve böylece polimerin özelliklerinin bozulmasına yol açan hidrolizini önlemek için granüller önce yaklaşık 170 °C'lik bir sıcaklıkta kurutulmaktadır. Granüller daha sonra eritilmekte ve 265 ile 290 °C arasındaki bir sıcaklıkta bir düze içinden ekstrüde edilmektedir. Bu işleme genellikle meltspinning denir; üretim hızı 4000 m/dak kadar yüksek olabilmektedir. Ortaya çıkan polimer jetleri, soğuk hava akışıyla hemen katılaşmaktadır. Daha sonra, polimer zincirlerinin oryantasyonunu iyileştirmek ve mukavemeti arttırmak için camsı geçiş sıcaklığının (T<sub>g</sub>) (69 °C) üzerindeki bir sıcaklıkta çekilmektedirler [93].

Poliester lifler, düşük nem Emilimi, yüzeyde elektrostatik yükler biriktirme yeteneği ve kumaş yüzeyinde birbirine dolanmış lif demetleri oluşturma eğilimi (tüylenme etkisi) ile karakterize edilmektedir.

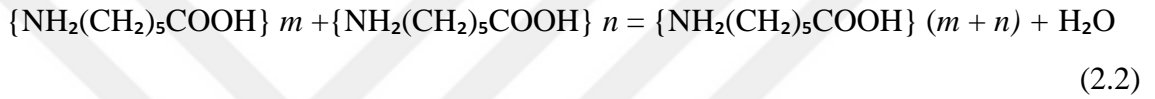
Yüksek kristalli ve yoğun yapısı ve amorf bölgelere rijitlik sağlayan benzen halkalarının varlığı nedeniyle poliester elyaflar 140°C'ye varan yüksek sıcaklıklarda ve yüksek basınçlarda

boyanmalıdır. Genellikle poliester elyaflar dispers boyalarla boyanmakta; düşük molekül ağırlıklı bazı küp boyaları ve azo boyaları da kullanılabilir [93].

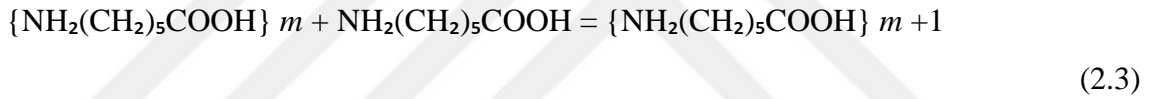
### 2.2.6.3. Naylon Elyaf

Naylon, yapısal birimleri amid fonksiyonel grubu NHCO ile bağlanan doğrusal polimerler olan poliamid polimerlerin genel adıdır. Temel birimlerin kimyasal bileşimine bağlı olarak, naylon lifler, Naylon X veya Naylon Y, Z olarak belirtilmektedir; burada X, amino asitteki karbon atomlarının sayısıdır ve Y ve Z, sırasıyla diamin ve dikarboksil asitlerdeki karbon atomlarının sayısıdır. Ticari olarak en önemli türleri Naylon 6 ve Naylon 6.6'dır.

Naylon 6, aminokaproik asitten aşağıdaki polikondenzasyon reaksiyonlarından biri ile sentezlenir:

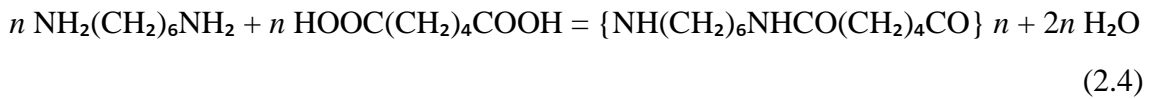


Veya çoklu ekleme ile:



Reaksiyon genellikle yaklaşık 260°C'lik yüksek bir sıcaklıkta inert bir nitrojen atmosferinde gerçekleşir. Nihai polimer, aynı yönde yönlendirilmiş amid gruplarından oluşur.

Naylon 6.6, yoğunlaşma reaksiyonuyla aşağıdaki gibi sentezlenir:



Naylon 6, molekül zincirlerinde bulunan hidrofilik gruplar nedeniyle asidik, dispers, krom ve küp boyaları ile kolayca boyanabilmektedir. Naylon 6,6 dispersiyon ile boyanabileceği gibi asit boyalarla da boyanabilir.

### 2.2.6.4. Akrilik Elyaf

Akrilik elyaflar, lineer polimer poliakrilonitril (PAN) bazlı sentetik elyaflardır; bu polimerin yapı taşı, CH<sub>2</sub>CHCN formülüne sahip bir monomerdur. Geleneksel olarak %85'ten fazla akrilonitril ile yapılan liflere akrilik lifler denirken, akrilonitril içeriği %35 ila %85 arasındaysa bu tür liflere modakrilik denmektedir. Akrilik elyaf üretiminin birkaç endüstriyel yöntemi vardır; birçok firma, oldukça uçucu bir sıvı olan ve 600°C'ye ulaşan yüksek sıcaklıklarda hidrojen siyanür, HCN kullanmaktadır. Propilen CH<sub>3</sub>CHCH<sub>2</sub>'nin amonyak NH<sub>3</sub>

veya nitrojen monoksit NO ile reaksiyonuna dayanan başka yöntemler de vardır. Ancak bunlar aynı zamanda bu yöntemlerin yüksek enerji tüketimine katkıda bulunan yüksek sıcaklıklar gerektirmektedir [93].

PAN lifleri, dimetilasetamid ve dimetil sülfoksit gibi organik çözücülerdeki PAN çözeltilerinden veya konsantre metalik tuz çözeltilerinden ıslak eğirme yöntemiyle bükülebilmektedir. Düzeden gelen filamentlerin katılaşması, bir eğirme banyosunda su, alkoller veya tuz çözeltileri içinde gerçekleşmektedir. Kuru eğirme yönteminde, filamentler sıcak havada katılaşdırılmaktadır [100]. Filamentler daha sonra solventleri uzaklaştırmak için yıkanmakta ve yönlendirilmiş moleküler zincirlere ve iyileştirilmiş mekanik özelliklere sahip lifler elde etmek için çekilmektedir.

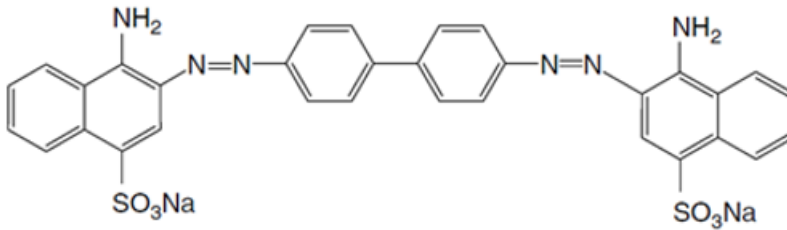
Akrilik elyaflar katyonik boyalar, anyonik boyalar veya dispers boyalar ile boyanabilmektedir.

## 2.3. BOYALARIN SINIFLANDIRILMASI ve ÖZELLİKLERİ

### 2.3.1. Direkt Boyalar

#### 2.3.1.1. Direkt Boyaların Kimyasal Yapısı

Bu boyalar, uygulama kolaylığı, geniş renk gamı ve nispeten düşük maliyetleri nedeniyle hala pamuk boyamada yaygın olarak kullanılmaktadır. Direkt boyalar kromofor, haslık özellikleri veya uygulama özellikleri gibi birçok parametreye göre sınıflandırılmaktadır. Bu boyaların uygulanması kolay ve geniş bir renk gamına sahip olmalarına rağmen, yıkamaya karşı dayanıklılık performansları orta düzeydedir. Direkt boyaların kimyasal yapısına bir örnek şekil 2.12’de verilmiştir [101].

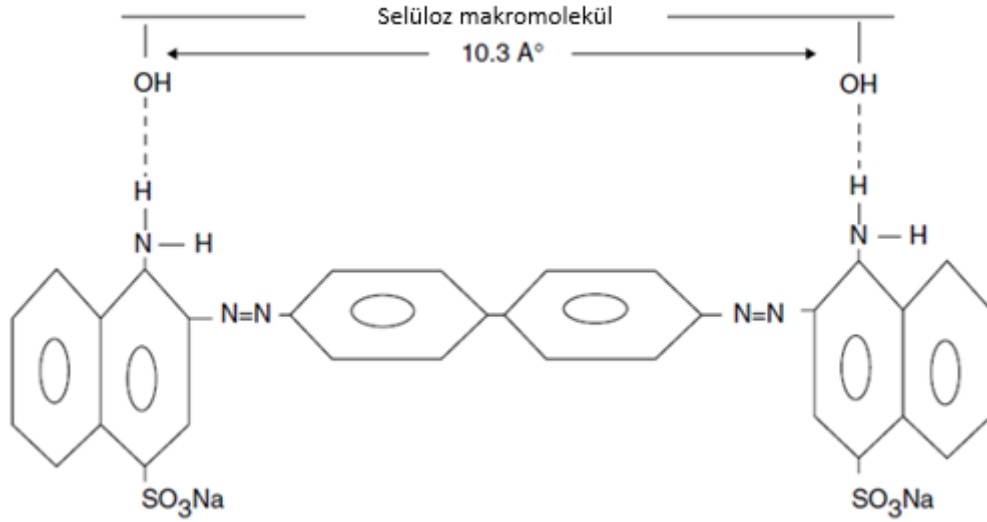


Şekil 2.12: Direkt boya kimyasal yapı örneği.

#### 2.3.1.2. Direkt Boyaların Özellikleri

Renk indeksi sistemindeki direkt boyalar, boyalara çözünürlük kazandıran bir veya daha fazla sülfonik asit sodyum tuzu içeren çeşitli düzlemsel, yüksek oranda konjuge, moleküler

yapıları ifade etmektedir. Düzlemsel yapıları ve uzunlukları, selüloz liflerinin yanında uzanmalarına ve van der Waals, dipol ve hidrojen bağlarını en üst düzeye çıkarmalarına olanak tanımaktadır. Selüloz ile direkt boyalar arasında oluşan kimyasal bağ şekil 2.13'teki gibidir. Selülozun hidroksi grupları ile boya molekülünün bir bütün olarak delokalize pi elektron sistemi arasındaki etkileşimler, boyaların elyafa karşı kalıcılığına büyük katkı sağlamaktadır.



**Şekil 2.13:** Selüloz ve direkt boya arasındaki kimyasal bağ.

Çözünürlük, boyaların moleküler ağırlığının artmasıyla azalmaktadır.

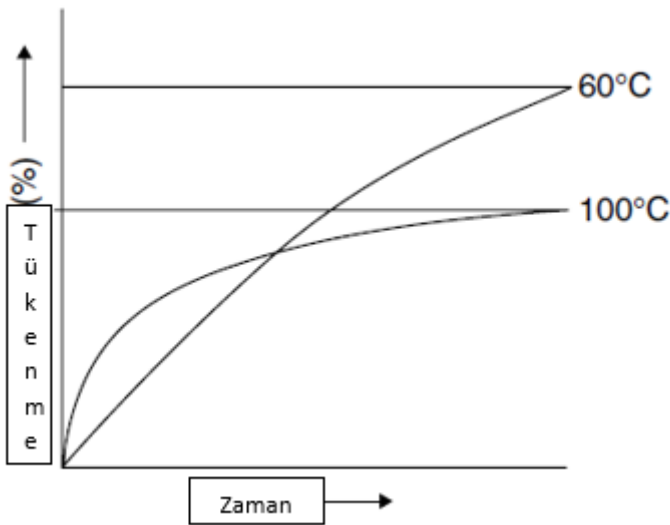
Uzun süreli depolama veya atmosferdeki asidik dumanlara maruz kalma, sodyum sülfonat ( $\text{SO}_3\text{Na}$ ) grubunu  $\text{SO}_3\text{H}$  grubuna dönüştürmekte ve bu da boyaların çözünürlüğünün kaybolmasına neden olmaktadır. Bu nedenle boyanın çözünmesi sırasında sülfonik asit grubunun sodyum tuzunu elde etmek için sodyum karbonat ilavesi gerekmektedir.

Selülozik lifler, sulu bir boya banyosuyla temas ettiğinde negatif bir yüzey yükü (zeta potansiyeli) geliştirmektedir [102]. Doğası gereği anyonik olan direkt boyalar, boya banyosunda boya ile lif arasında bir itme kuvveti yaşamakta ve bu, boyanın tükenmesini azaltmaktadır. Bir elektrolitin eklenmesi, bu negatif zeta potansiyelinin nötralize edilmesine yardımcı olmakta ve dolayısıyla doğrudan boyaların elyafa yaklaşmasını kolaylaştırmaktadır.

Direkt boyaların yıkama haslığı özellikleri genellikle zayıf ile orta arasındayken, ışık haslığı genellikle zayıf ile çok iyi arasında bulunmaktadır. Bununla birlikte, günümüzde mükemmel yıkama ve ışık haslığına sahip çevre dostu direkt boyalar piyasada mevcuttur. Azo direkt boyalardan bazıları yüksek sıcaklıkta kararlıdır ve poliester/pamuk karışım malzemelerin boyanmasında dispers boyalarla birlikte kullanılabilir. Pamuğun mono-

ve bis-reaktif 2,3 epoksipropil türevleri gibi katyonik ajanlarla ön işleminin doğrudan boya alımını büyük ölçüde arttırdığı bulunmuştur [103].

Doğrudan boyaların selülozik lifler tarafından absorpsiyonunu etkileyen başlıca faktörler, kullanılan boyaların boyama süresinin uzunluğu, boyama sıcaklığı, likör oranı, elektrolit konsantrasyonu, çözünürlük ve agregasyon özelliklerini içermektedir. Diğer faktörler sabit kaldığında, sıcaklıktaki bir artış denge tükenmesinde şekil 2.14'te gösterildiği gibi bir azalmaya ancak boya absorpsiyon hızında bir artışa neden olmaktadır. Boyama başlangıcında çözelti halindeki boyaların serbest enerjisi lif fazındaki boyalardan daha fazladır. Serbest enerjideki fark, denge durumuna ulaşılan kadar boya moleküllerini life transfer etmek için itici güçtür. Dengeye ulaşılması, sistemin toplam serbest enerjisinde bir azalmayı içermektedir. İşlem sırasında ısı açığa çıkmakta ve bu da boyama işlemini doğası gereği ekzotermik yapmaktadır. Bu nedenle, sıcaklıktaki bir artış, denge boya alımını azaltmaktadır. Bu olgu, sıcaklıktaki artışla birlikte boyaların afinitesindeki kayıpla da açıklanabilmektedir. Sabit bir boyama süresi için, maksimum boya tükenmesinin gerçekleştiği optimum bir sıcaklık vardır.



**Şekil 2.14:** Boyama sıcaklığının direkt boya alımına etkisi.

Boya banyosunun tükenmesi flote oranındaki bir artıştan ters yönde etkilenmektedir; bu nedenle renk derinliği, değişen banyo oranlarıyla çeşitli boyama yöntemleri arasında büyük ölçüde değişmektedir. Tekrarlanabilir sonuçlara sahip olmak için sonraki partilerdeki banyo oranı korunmalıdır. Daha önce tartışıldığı gibi, boya banyosuna bir elektrolitin eklenmesi, doğrudan boyalar gibi anyonik boyaların tükenmesini artırma eğilimindedir. Bununla birlikte, etki, farklı boyarmaddeler ile önemli ölçüde değişmektedir.

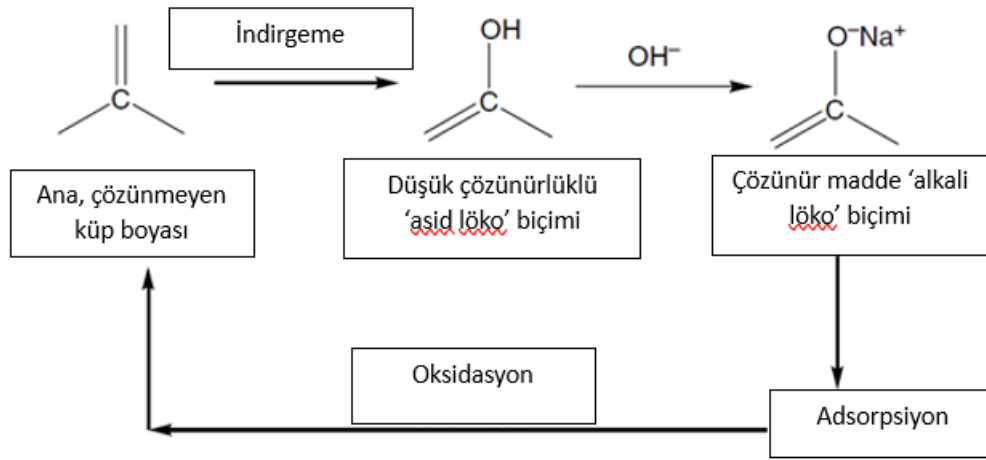
Elektrolitlerin tükenmeyi arttırmadaki etkinliği, boya moleküllerinde bulunan sülfonik asit gruplarının sayısına göre değişmektedir. Bir boyadaki sülfonik asit gruplarının sayısı ne kadar fazlaysa, itme faktörü o kadar yüksek olmakta ve sonuç olarak elektrolit konsantrasyonuna bağımlılık o kadar fazla olmaktadır.

## 2.3.2. Küp Boyaları

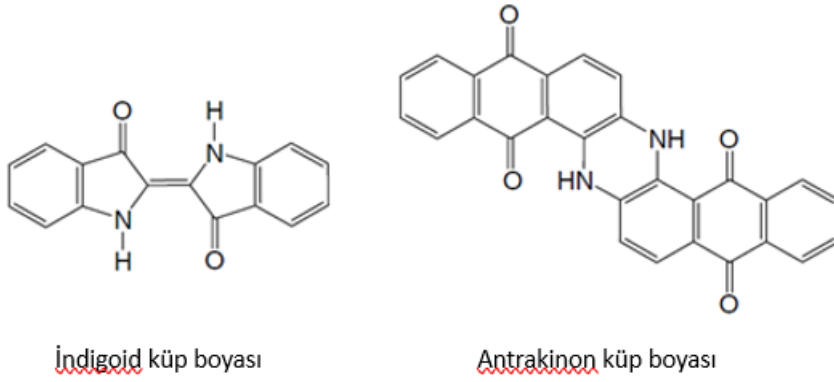
### 2.3.2.1. Küp Boyaların Kimyasal Yapısı

Bu boyalar esas olarak suda çözünmemekte ve boyaların alkaline koşullar altında indirgeme yoluyla karşılık gelen suda çözünür bir "löko bileşiğine" dönüştürülmesini sağlayan en az iki karbonil grubu (C=O) içermektedir. Boyanın selüloz tarafından emilmesi bu formdadır; müteakip oksidasyonun ardından löko bileşiği, lif içinde çözünmez küp boyası olan ana formu yeniden üretilmektedir. Bu, basitçe şekil 2.15'te temsil edilmektedir [93].

Çok yüksek ışık ve ıslaklık haslıği özelliklerinin gerekli olduğu durumlarda küp boyaları kullanılmaktadır. Küp boyalarının tipik kimyasal yapıları Şekil 2.16'da verilmiştir [93].



Şekil 2.15: Küp boyalarının reaksiyonları.



Şekil 2.16: Kúp boyalarının kimyasal yapıları.

### 2.3.2.2. Kúp Boyalarının Özellikleri

Kúp boyalar, yalnızca kostik soda çözeltisi varlığında sodyum hidrosülfid (indirgeyici ajan) ile muamele sonucu elde edilen çözünür löko bileşiklerine dönüştürüldüklerinde elyafa karşı substantiftir. Löko bileşikleri genellikle renksizdir veya oksidasyon ürününden oldukça farklı bir renge sahiptir. Löko bileşikleri genellikle boya sıvısında monomoleküler bir formda veya birkaç boya molekülünün kümeleri olarak bulunmaktadır. Valko [104], löko kúp boyalarının topaklanma davranışını difüzyon çalışmalarından incelemiş ve bunların iki ila dört molekülük bir agrega halinde kaldıkları sonucuna varmıştır. Bir boyanın elyaf için kalıcılığı, bileşimi tarafından belirlenir ve topaklaşma derecesinden etkilenmez. Ancak agregasyon, boyaların difüzyon ve migrasyon özelliklerini etkileyebilmektedir. Bu nedenle, boyaların agregasyonu nedeniyle rengin düzleştirilmesi olumsuz etkilenmektedir. Tender olarak adlandırılan bazı löko boyalar, boyama işlemi sırasında sık sık oksidasyon ve redüksiyon değişiklikleri olursa elyafa zarar verebilmektedir. Pirokatekol veya tanenin eklenmesiyle sorun çözülebilmektedir [105].

Boyama tamamlandıktan sonra, boyalar orijinal çözünmeyen forma geri oksitlenmektedir. Büyük kúp boya molekülü, boyutu ve suda çözünmezliği nedeniyle elyafın polimer sistemi içinde tutulmakta ve elyaf polimer sistemi içinde van der Waals kuvvetleri tarafından emilmektedir. Kúp boyalarının mükemmel yıkama haslığı, suda çözünmezliğe ve moleküllerinin büyük boyutuna bağlanmaktadır. Kúp boyalarının yıkama haslığı derecesi yaklaşık dört ila beştir. Kúp boyalarının ışık haslığı derecesi yaklaşık yedidir. Kúp boyalarıyla renklendirilen tekstillerin maksimum ışık haslığı derecesi, kúp boya moleküllerinin kromoforlarındaki kararlı elektron düzenlemesine bağlanmaktadır. Bu nedenle, NH grubu içinde çok çekirdekli bir halka sistemine sahip olan boyalar ışığa karşı özellikle hızlıdır. Bununla birlikte, katalitik solma nedeniyle bazı kombinasyon tonlarında, bileşenlerden biri

ışığa maruz kaldığında hızla solmaktadır. Küpte boyanmış selülozik malzemeler, boyanmamış olanlara kıyasla ışıktta daha kolay bozunmaktadır. Malzemede bulunan küp boyasının indirgenmesi ve ardından bunun atmosferik oksijenle oksidasyonu, elyafı oksitleyen belirli peroksitler üretmektedir. Bu, özellikle kısa dalga boylarındaki ışığı absorbe edebilen boyalarda bulunmaktadır.

Yıkama ve ışık haslığına sahip olmanın yanı sıra, küpte boyanmış malzemeler merserizasyona, soda ile ovalamaya, klorit ve hipoklorit ağartmaya karşı mükemmel haslığa sahiptir. Tüm bu ön terbiye işlemlerine karşı mükemmel haslıkları nedeniyle, küp boyaları, gömlek, mendil, havlu, bazı sarı bordürler vb. renkli dokuma ürünlerin imalatında kullanılacak iplikleri boyamak için ideal boyalar olarak kabul edilmektedir.

Flavanthrone, pyranthrone ve vilanthrone gibi bazı boyalar yüksek sıcaklıkta alkali yıkamaya karşı hassastır. Moleküler boyuttaki bir artış ve indirgenebilir keto gruplarının sayısı sorunu çözebilmektedir. Yıkama banyosuna sodyum meta nitrobenzen sülfonat gibi hafif oksitleyici bir maddenin eklenmesi kusuru en aza indirebilmektedir.

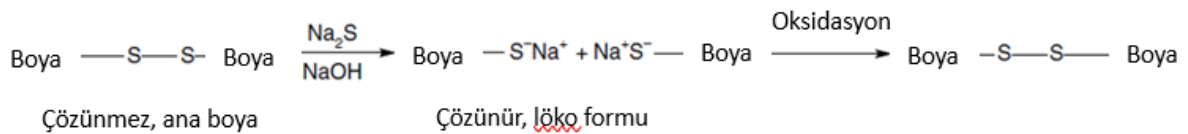
Küp boyalar diğer boya sınıflarına göre her zaman çok pahalı olmuştur ve sadece yüksek kaliteli ürünlerde kullanılmaktadır.

### 2.3.3. Kükürt Boyaları

#### 2.3.3.1. Kükürt Boyalarının Kimyasal Yapısı

Sülfür boyaları, derin mat renkleri boyamak için kullanılmaktadır ve iyi ıslaklık haslığı ve orta ila iyi ışık haslığı sunmaktadır. Bu boyalar yapı olarak çok karmaşıktır ve ana kısmı bilinmemektedir; çoğunluğu çeşitli aromatik ara maddelerin tıyonasyonu ile hazırlanmaktadır.

Renk indeksine göre kükürt boyaları dört gruba ayrılabilir: Kükürt boyaları (suda çözünmez), Loko Sülfür boyaları (suda çözünür), Çözünmüş Kükürt boyaları (suda yüksek oranda çözünür) ve Yoğun Kükürt boyaları (artık kullanılmamaktadır). Şekil 2.17, Kükürt boyalarının boyama reaksiyonlarını göstermektedir [106].



Şekil 2.17: Kükürt boyasının boyama reaksiyonları.

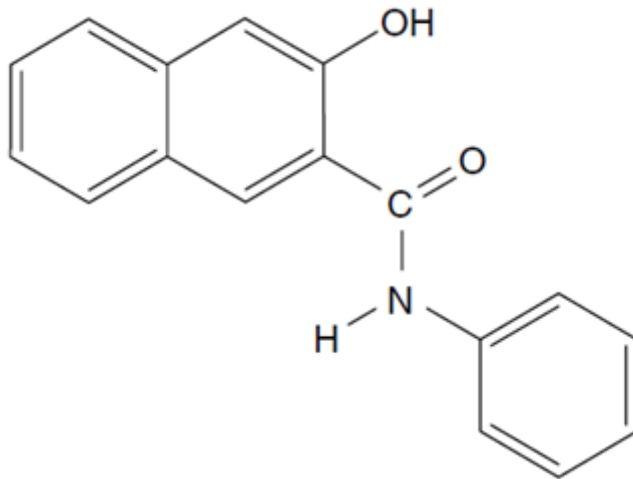
### 2.3.3.2. Kükürt Boyalarının Özellikleri

Kükürt boyaları için renk aralığı esas olarak siyah, kahverengi, mavi ve zeytin ile sınırlıdır. Sülfürle boyanmış malzemeler donuk görünmektedir, orta ila iyi derecede yıkama haslığı ve orta derecede ışık haslığı sergilemektedirler. Boyalı malzemenin ultraviyole (UV) ışığına maruz kalması kromoforik kısmın bozulmasına neden olmaktadır. Bu boyalar genellikle alkali terlere karşı iyi ile mükemmel arası haslık sergilerken, asidik tere karşı orta ile iyi arası haslığa sahiptirler. Boyalar ağır metaller ve emilebilir organik halojenürler içermediğinden, kükürt boyalarının kendileri nispeten düşük zararlı çevresel etkiye sahiptir. Kükürt boyalarının çoğu sodyum sülfid ile indirgenmektedir. Sülfidlerin boşaltılmasına yalnızca çok küçük miktarlarda izin verilmektedir (genellikle yasal izin 2 ppm'dir) [93].

### 2.3.4. Azoik Boyalar

#### 2.3.4.1. Azoik Renklendiricilerin Kimyasal Yapısı

Azoik renklendiriciler, bir diazonyum bileşiğinin bir bağlama bileşeni ile etkileşimi ile tekstil elyafında yerinde üretilen suda çözünmeyen azo bileşikleridir. Azoik renklendiriciler, özellikle turuncu-kızıl-kırmızı bölgesindeki parlak renkler için, bazı lacivert ve siyah tonları ile kullanılmaktadır. Bu renklendiricilerle üretilen gerçek renk tonu, kullanılan diazo ve birleştirme bileşenlerinin özel kombinasyonu ile belirlenmektedir. Azoik boya kimyasal yapı örneği şekil 2.18'de verilmiştir [93].



Şekil 2.18: Azoik bağlantı bileşeni kimyasal yapı örneği.

#### 2.3.4.2. Azoik Renklerin Özellikleri

Azoik boyalı selülozik malzemelerin yıkamaya karşı haslık özellikleri mükemmeldir. Tüm azoik kombinasyonlar kaynama anında sabunlaşmaya karşı dayanıklıdır. Koyu renkler, mükemmel ışık haslığı sergilemektedir. Bununla birlikte, orta ve soluk tonlarda ışık haslığı iyi

ile orta arasındadır. Diğer birçok boya gibi, azoik boyalı zemin kumaşının veya ipliğin ışık haslığı da ortam neminden etkilenmektedir. Kükürt boyalarının aksine, azoik pigmentin çoğu klor ağartmasına karşı dayanıklıdır. Örneğin Hindistan'da azoik boyalı renkli iplikler, başta sariler olmak üzere daha ucuz kaliteli malzemelerin dokuması sırasında bordür olarak kullanılmaktadır. Bu dokuma kumaşlar, herhangi bir renk atma tehlikesi olmaksızın klor içeren ağartıcı maddelerle ağartılabilmektedir. Azoik kombinasyonların çoğu aynı zamanda mükemmel ter haslığına sahiptir. Hidrojen peroksit haslığı yeterli değildir. Birçok organik solvent, azoik boyalı tonların çoğunu etkilemektedir. Sürtünme haslığı sorunları azoik renklere çok yaygındır; uygun boyama teknolojisi benimsenerek bu sorunun üstesinden gelinebilmektedir.

Azoik renklerin deşarj edilebilirliği iyidir; bu nedenle beyaz veya renkli aşındırma baskılara yönelik boyalı zemin tonları için uygundur. Azoik renklerin kullanımını, reaktif boyaların ortaya çıkmasından ve bu boya sınıfının müteakip gelişmelerinden bu yana azalmıştır. Naftol boyamada kullanılan bileşenlerin çoğu bilinen veya kanserojen olduğundan şüphelenilen maddeler olduğundan kullanılmamaktadır [93].

### **2.3.5. Reaktif Boyalar**

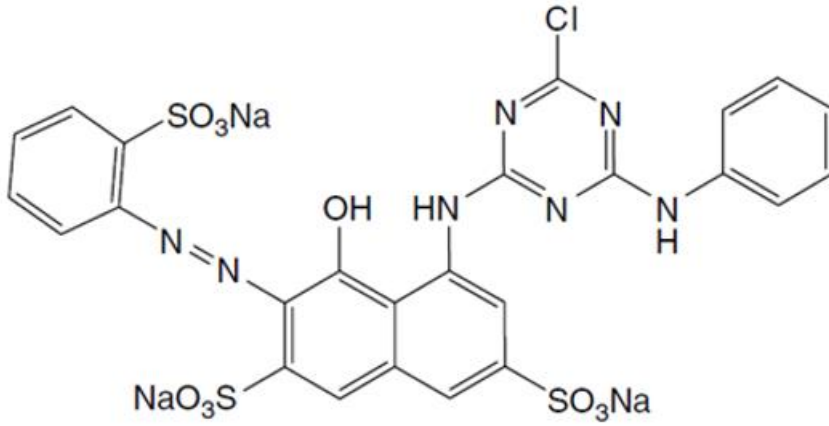
#### **2.3.5.1. Reaktif Boyaların Kimyasal Yapısı**

Monokloro-s-triazin boyaları

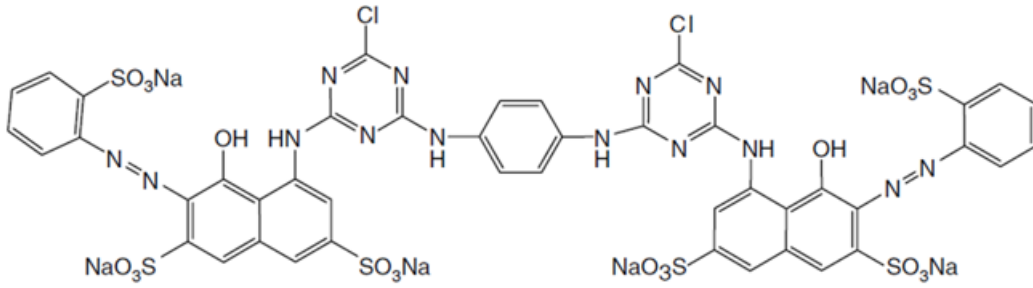
Bu boyalar, bir dikloro-s-triazin boyasının 25–40 °C civarındaki sıcaklıklarda bir aminle reaksiyonuyla üretilmektedir, bu da klor atomlarından birinin yer değiştirilmesiyle sonuçlanarak daha az reaktif bir monokloro-s-triazin (MCT) boyası üretmektedir. MCT boya kimyasal yapı örneği şekil 2.19'da verilmiştir.

Bis(monokloro-s-triazin) boyaları

Bu tip boyalar, iki kromojene ve iki MCT reaktif grubuna sahiptir, bu nedenle, basit MCT tipi boyalara kıyasla elyaf için çok daha yüksek sübstiktiviteye sahiptir. Bu artırılmış kalıcılık, tercih edilen 80 °C boyama sıcaklığında elyaf üzerinde mükemmel bir çekme elde edilmesini sağlamakta ve bu da %70-80'lik fiksasyon değerlerine yol açmaktadır. Kimyasal yapıları şekil 2.20'de verilmiştir.



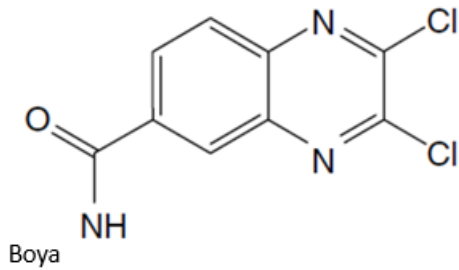
Şekil 2.19: MCT boya kimyasal yapı örneği.



Şekil 2.20: Bis(monokloro-s-triazin) boya kimyasal yapı örneği.

#### Diklorokinoksalin boyaları

Dikloro-s-triazin boyalarla karşılaştırıldığında biraz daha az reaktifler ve 50 °C'de uygulanmaktadırlar, ancak asidik koşullar altında hidrolize duyarlıdırlar [107]. Şekil 2.21'de kimyasal yapıları verilmiştir.

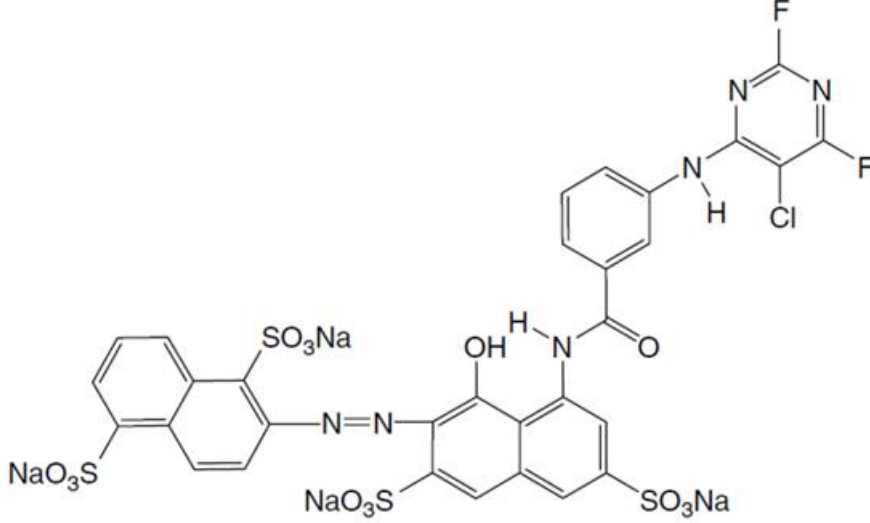


Şekil 2.21: Diklorokinoksalin boya kimyasal yapı örneği.

#### 2,4-Difloro-5-kloro-pirimidin boyaları

Flor atomunun klor atomuna kıyasla daha büyük elektronegatifliği, kloro bileşiklerinininkinden daha yüksek bir reaktivite seviyesi ile sonuçlanmaktadır. Bu boyaların

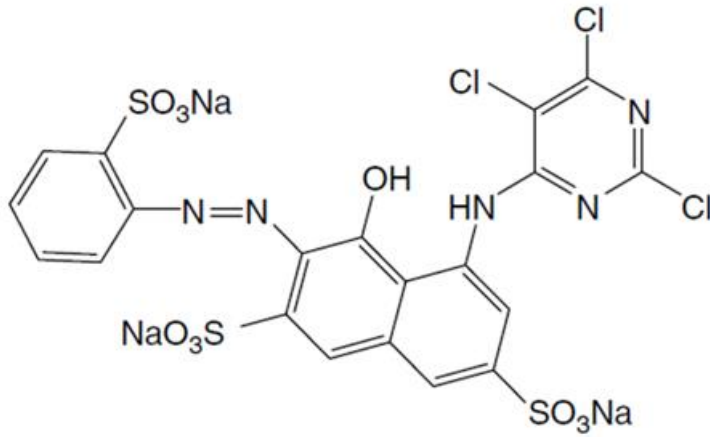
uygulama için boyama sıcaklığı 40–50 °C aralığındadır ve 'soğuk boyama' boyaları olarak sınıflandırılmaktadır. Şekil 2.22’de kimyasal yapıları verilmiştir.



Şekil 2.22: 2,4-Difloro-5-kloro-pirimidin boya kimyasal yapı örneği.

#### 2,4,5-Trikloro-pirimidin boyaları

Bu boyalar düşük reaktiviteye sahiptir ve uygulama için 80 °C'lik bir boyama sıcaklığı gerektirmektedirler. Bu tip boyanın tipik bir yapısı, Şekil 2.23'te gösterilmektedir.

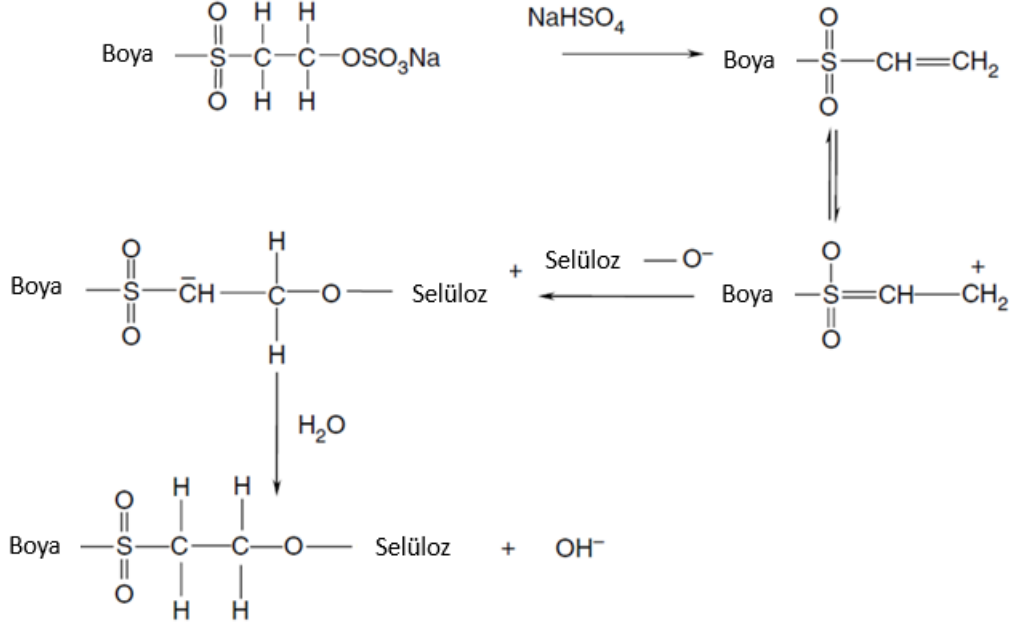


Şekil 2.23: 2,4,5-Trikloro-pirimidin boya kimyasal yapı örneği.

#### Vinil sülfon boyaları.

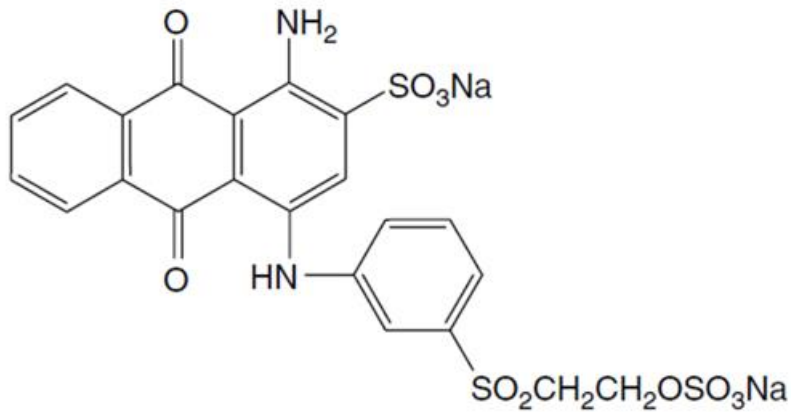
Ana reaktif boya grubu, vinil sülfon reaktif sistemine dayanmaktadır [108]. Bu boya grubu, tartışılan önceki boya sınıfları tarafından kullanılan nükleofilik ikame mekanizması

yerine bir nükleofilik ekleme mekanizması aracılığıyla işlev görmeleri bakımından halojenheterosiklik reaktif boyalardan farklıdır. Şekil 2.24, bu boyaların boya-lif bağı oluşturma mekanizmasını göstermektedir.



Şekil 2.24: Beta-sülfatoetilsülfonun vinil sülfona eliminasyonu ve selüloz ile reaksiyon.

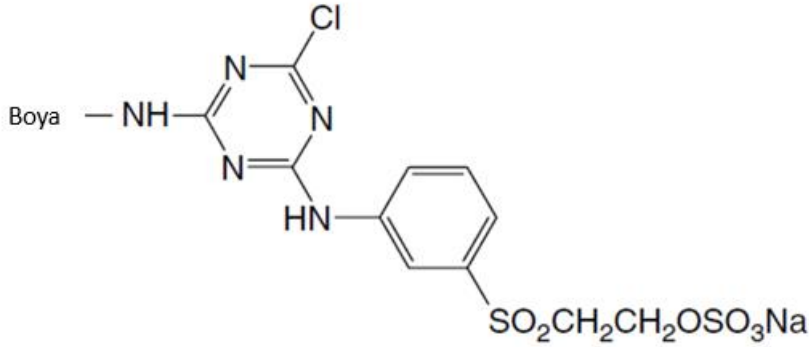
Bu boyaların reaktivite seviyesi mono- ve dikloro-s-triazin boyalarınınkindi arasındadır ve 60 °C'lik bir boyama sıcaklığı gerektirmektedir. Tipik bir vinil sülfon boya yapısı, şekil 2.25'te gösterilmektedir.



Şekil 2.25: Vinil sülfon boya kimyasal yapı örneği.

## Bifonksiyonel reaktif boyalar

Bifonksiyonel reaktif boyalar, iki reaktif grup içeren boyalardır, böylece elyaf ile reaksiyon olasılıklarını arttırmaktadırlar, daha fazla fiksasyona ve daha az hidrolize boyaya yol açmaktadır. Genel yapıları şekil 2.26'da gösterilmektedir.



Şekil 2.26: Bifonksiyonel reaktif boya kimyasal yapı örneği.

### 2.3.5.2. Reaktif Boyaların Özellikleri

Genel olarak, reaktif boyalarla renklendirilen tekstil malzemeleri çok iyi ışık haslığına sahiptir, ışık haslığı derecesi yaklaşık altıdır. Bu boyaların çok kararlı elektronik düzenlemesi, güneş ışığının bozucu etkisine karşı iyi bir direnç sağlamaktadır. Bununla birlikte, sadece orta derecede ışık haslığına sahip bazı reaktif boyalar bulunmaktadır. Azo kromoforlu reaktif boyalar daha düşük ışık haslığı göstermektedir. Metal kompleks tipi azo reaktif boyalar daha yüksek ışık haslığına sahiptir. Reaktif boyalarla renklendirilen tekstil malzemeleri iyi bir yıkama haslığına sahiptir; yıkamaya karşı dayanıklılık dereceleri yaklaşık dört ile beş arasındadır. Bu, boya molekülü ile selülozik elyaf arasında var olan çok kararlı kovalent bağa atfedilmektedir. Asidik yapıda olan terleme ve atmosferik kirlilik, reaktif boyalarla boyanmış veya baskı yapılmış tekstil malzemelerini etkileyerek bir miktar solmaya neden olabilmektedir. Hekzaklorofen içeren bakterisidal monoklorotriazin reaktif boyalarla boyanmış tekstillerin geniş bir bakterisidal etki spektrumuna sahip olduğu bulunmuştur [109]. Bu etkinin, fenol OH gruplarına dayanan boya işlevselliğine bağlı olduğu rapor edilmektedir. Tek işlevli boyalarda etki, iki ikameli heksaklorofen kalıntısı içeren boyalarda gözlenenden üç ila sekiz kat daha fazladır.

### 2.3.6. Asit Boyalar

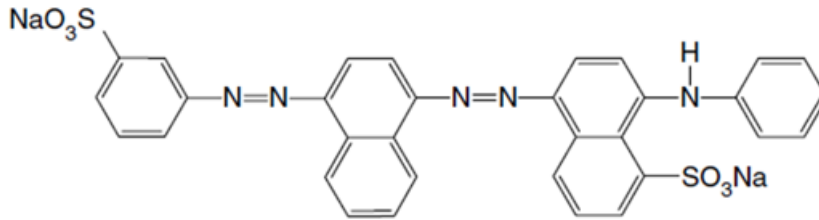
#### 2.3.6.1. Asit Boyaların Kimyasal Yapısı

Metalize olmayan boyalar

Bu boyalar, pH 3.0–7.0 aralığında naylon, yün veya ipeğe uygulanabilmektedir. Bu boyaların ıslak haslıkları orta ile iyi arasında değişmektedir [110].

Bu küçük bağıl moleküler kütle boyaları, düşük pH değerlerinde uygulanmaktadır, böylece örneğin asidik koşullar altında protonlanan amino uç grubu ile anyonik boya arasında çalışan naylonda, boya-lif kalıcılığı iyon-iyon elektrostatik kuvvetlerinden kaynaklanmaktadır. Bu koşullar altında boyalar çok iyi migrasyon ve tesviye özellikleri sergilemekte, ancak düşük ıslak haslık göstermektedirler. Daha büyük moleküler kütleyle sahip boyalar, elyaf için daha yüksek kalıcılık sergilemekte, ancak bu boyalarla daha yüksek bir ıslaklık elde edilmesine rağmen migrasyon özellikleri daha düşük olmaktadır [93].

Bu boyaların suda çözünürlüğü, bir veya daha fazla sülfonat grubunun ( $-\text{SO}_3\text{Na}$ ) varlığından kaynaklanmaktadır. Bu boyalar, son derece geniş bir renk gamı sağlayan en büyük boya sınıfını temsil eden azo kimyasal sınıfına aittir. Bu boyaların kimyasal yapı örneği şekil 2.27'de gösterilmiştir.



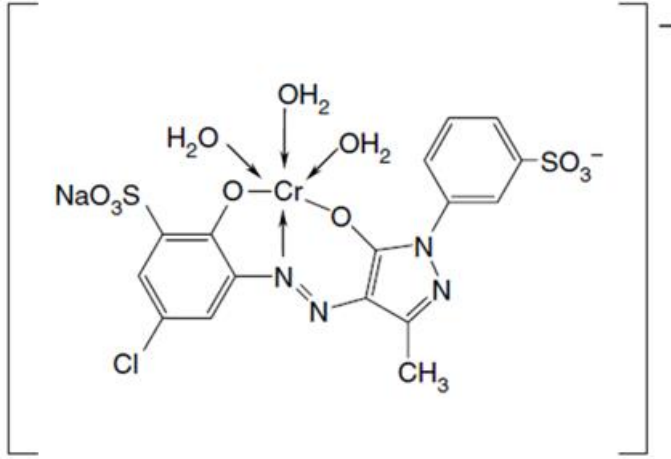
Şekil 2.27: Metalize olmayan asit boya kimyasal yapı örneği.

Bazı substratlar için metalize olmayan boyalarla ilgili, naylon üzerinde, düşük renk verimi ve düşük ıslaklık haslığı özellikleri gibi çeşitli dezavantajlar vardır. Ayrıca, naylon 6'nın kristalliği naylon 6,6'ya kıyasla daha düşük olduğu için, boyalar belirli bir pH aralığında naylon 6'da daha yüksek bir alım oranı göstermektedir.

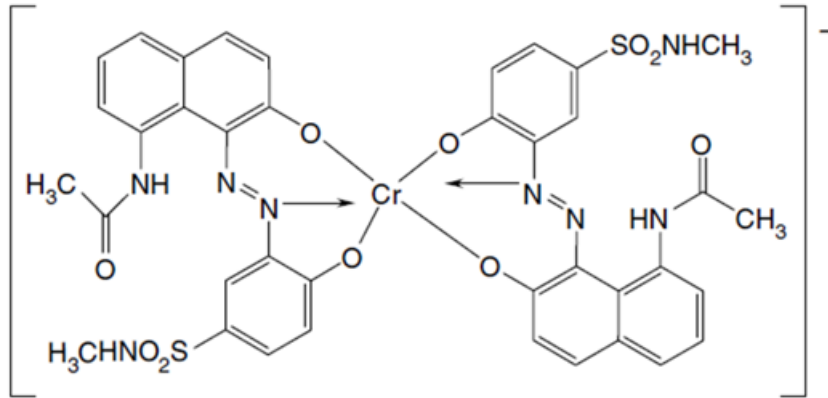
Metal kompleks boyalar

Bu boyalar mordan boyalara dayanmaktadır; farkları, metal kompleks boyaların, boya molekülünün içine dahil edilmiş mordan metaline sahip olmasıdır, dolayısıyla ayrı bir mordanlama aşaması gerektirmezler. Metal kompleks boyaların iki sınıfı vardır – 1:1 metal kompleks boyalar ve 1:2 metal kompleks boyalar. İsimlerinden de anlaşılacağı gibi, metal

kompleksi boyası, bir boya ligandının bir veya iki molekülü ile koordineli bir metal atomu (genellikle krom) içermektedir. Her bir metal-kompleks yapısının bir örneği, şekil 2.28 ve 2.29'da gösterilmektedir.



Şekil 2.28: 1:1 metal kompleks asit boya kimyasal yapı örneği.



Şekil 2.29: 1:2 metal kompleks asit boya kimyasal yapı örneği.

### 2.3.6.2. Asit Boyaların Özellikleri

Asit moleküllerinin kromoforlarındaki elektron düzenlemesi, güneşin UV radyasyonunun bozucu etkilerine karşı koyabilecek şekildedir. Asit boyaların ışık haslığı derecesi yaklaşık dört ila beş arasındadır. Azo boyalar, özellikle sarı, turuncu, kırmızı, kahverengi ve siyah tonlarında, genellikle orta ila iyi ışık haslığı özellikleri göstermektedir. Azo menekşeler, maviler ve yeşiller genellikle iyi ışık haslığına sahiptir ancak trifenilmetan boyalarla karşılaştırıldığında daha mat bir ton üretmektedirler. Hızlı, öğütme ve süper öğütme boyalarının yıkama haslığı ve diğer özellikleri Tablo 2.4'te karşılaştırılmıştır. Dong ve diğ. [111], sodyum klorür veya sodyum sülfat varlığında farklı hava koşullarında  $Fe^{3+}$ -oksalat kompleksleri/hidrojen peroksit sisteminin fotokataliziyle C.I.Acid Black 234'ün sudaki renk

giderme davranışını incelemiştir. İnorganik tuzun varlığının foto-renk gidermeyi geciktirdiğini bulmuşlardır. Sodyum klorürün fotokatalitik renk giderme üzerinde çok daha güçlü bir indirgeme etkisi gösterdiği bulunmuştur.

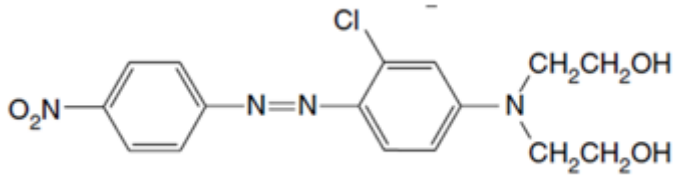
**Tablo 2.4:** Asit boyaların özellikleri.

Özellik	Hızlı	Öğütme	Süper Öğütme
Moleküler boyut	Çok küçük	Nispeten daha büyük	En büyük
Yakınlık	Az	Yüksek	Çok yüksek
Geçiş özelliği	Harika	Zayıf	Çok zayıf
Tesviye	Harika	Orta	Zayıf
Yıkama haslığı	Zayıf	İyi	Çok iyi
Boya banyosu pH	2-4	4-6	6-7
gerekli pH ayarlama maddesi	Sülfürik/formik asit	Asetik asit	Asit serbest bırakan tuzlar
Su çözünürlüğü	Yüksek	Düşük	Düşük
Işık hızı	Çok iyi	İyi	İyi
Çözümdeki davranış	Moleküler olarak bölünmüş	Agrega	Agrega

### 2.3.7. Dispers Boyalar

#### 2.3.7.1. Dispers Boyaların Kimyasal Yapısı

Bu boyalar çoğunlukla suda çözünmemekte veya kısıtlı bir şekilde çözünmektedirler, iyonik değillerdir ve sulu bir dispersiyondan hidrofobik liflere uygulanmaktadır [112]. Ağırlıklı olarak poliester üzerinde kullanılmaktadırlar, ancak naylon, selüloz asetat ve akrilik liflere uygulama bulmuşlardır, ancak bu alt tabakalar üzerindeki boyaların bazı ıslaklık haslığı özellikleri zayıftır. Boyalı alt tabakaya, işlenmediği takdirde lekelenmeye neden olacak boyanın alt tabaka yüzeyini temizlemek için, boyamadan sonra genellikle bir redüksiyon verilmektedir. Bu boyalar geleneksel olarak, boyanın alt tabakaya difüzyonunu kolaylaştırmak için boya banyosuna bir taşıyıcının dahil edilmesiyle kaynama noktasında poliestere uygulanmıştır. Taşıyıcılar, kumaşlarda taşıyıcının artık kokusu ve artık taşıyıcı nedeniyle boyanmış kumaşların ışık haslığının azalması dahil olmak üzere boya firmaları için birçok soruna neden olmaktadır. Basınçlı boyama makinelerinin ortaya çıkmasından bu yana, bu boyalar artık taşıyıcısız poliestere 130 °C civarında sıcaklıklarda uygulanmaktadır; indirgeme temizleme boyamadan sonra da devam etmektedir. Tipik bir dispers boya yapısı, şekil 2.30'da gösterilmektedir.



Şekil 2.30: Dispers boya kimyasal yapı örneği.

### 2.3.7.2. Dispers Boyaların Özellikleri

Sentetik malzemeler üzerindeki dispers boyalar, orta ile iyi arasında bir yıkama haslığına sahiptir. Daha iyi yıkama haslığı, boyaların çözünmezliğine ve sentetik liflerin hidrofobik doğasına bağlanabilmektedir. Yıkama haslığı derecelendirmeleri üç ile beş arasında değiştirmektedir.

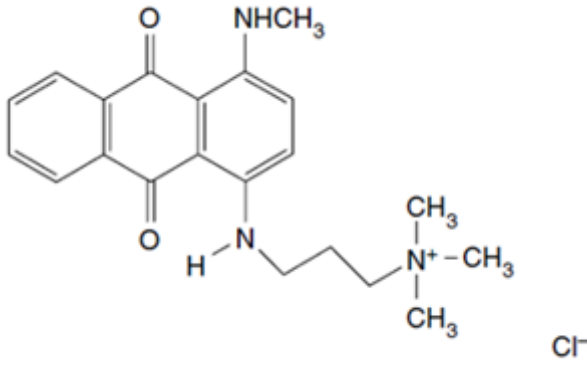
Işık haslığı derecesinin dört ile beş arasında olduğu bulunmuştur. Ortadan iyiye ışık haslığı derecesi, kısmen boya moleküllerinin, ışığın solmasını hızlandırıcı bir etkiye sahip olabilecek suyu veya diğer polar molekülleri kolayca çekmeyecek iyonik olmayan doğasına atfedilebilmektedir. Güneş ışığının UV bileşeni, boyalı malzemelerin güneş ışığına uzun süre maruz kalması nedeniyle bir miktar renk solmasına neden olabilmektedir.

Antrakinin yapıları bazı dispers boyalar, özellikle mavi ve mor boyalar, kirli havadaki nitroz oksit varlığında solmaktadır. Azot oksit solması, boyalı malzemeye azoik tiyofen-benzen kompleksi bazlı bir kimyasal uygulanarak en aza indirilebilmektedir [113]. Gaz solmasına karşı geliştirilmiş direnç, nitroz oksidin dispers boya moleküllerine tercih edilerek bu kompleks ile reaksiyona girmesi nedeniyle oluşmaktadır.

### 2.3.8. Bazık Boyalar

#### 2.3.8.1. Bazık Boyaların Kimyasal Yapısı

Bu boyalar genellikle akrilik, kağıt ve naylon alt tabakalara uygulanmaktadır, ancak bazı modifiye edilmiş poliester alt tabakalarda da kullanım alanı bulabilmektedirler [114]. Bazık boyalar suda çözünmekte ve solüsyonda renkli katyonlar üretmektedir; bu katyonlar negatif yüklü substratlara elektrostatik olarak çekilmektedir. Bazık veya katyonik boyalar, bir amonyum grubu üzerinde lokalize edilmiş pozitif yüke sahip olabilmektedir (bu boyalar, yüksek renklendirme kuvveti ile karakterize edilmektedir) veya birçok triarilmetan, ksanten ve akrinin boyasında bulunan boya katyonu üzerinde delokalize bir yük olarak dağıtılabilmektedir. Lokalize ve delokalize bir şarj boyasının örneği şekil 2.31’de verilmiştir.



Şekil 2.31: Bazik boya kimyasal yapı örneği.

## 2.4. ASİDİK BOYALARIN DETAYLI İNCELENMESİ

### 2.4.1. Asidik Boyalara Genel Bakış

'Asit boya' adı, asidik (pH 2.0-6.0) sulu çözeltide gerçekleştirilen boyama işleminden kaynaklanmaktadır. Asit boyalar veya anyonik boyalar, yapı bakımından karakteristik farklılıklar sergileyen, ancak ortak bir özellik olarak suda çözünür iyonik ikame edicilere sahip olan, çok çeşitli kromoforik sistemlerden birçok bileşik içermektedir [93].

Hemen hemen her zaman üretilen ve kullanılan ürünler, sülfonik asitlerin suda çözünür sodyum tuzlarıdır, bunun ana nedeni, bunların kolayca dahil edilmesi ve güçlü elektrolitler olarak, boyama işleminde kullanılan asitlik aralığında tamamen ayrışmasıdır. Son zamanlarda karboksilik asitlerin sodyum tuzları, mürekkep püskürtmeli baskı boyaları için önemli hale gelmiştir. Bu boyalar bu nedenle çözelti içinde anyoniktir. premetalize ve mordan boyaların çoğu aynı zamanda asit boyalardır.

Anyonik boyalar ilke olarak doğrudan boyaları içermektedir, ancak karakteristik yapıları nedeniyle bunlar selüloz içeren malzemeleri boyamak için kullanılmaktadır ve elyafa nötr bir boya banyosundan uygulanmaktadır. Anyonik boya grubu ayrıca, olağan yapısal özelliklere ek olarak boyama işlemi sırasında elyafın fonksiyonel gruplarıyla reaksiyona girebilen grupları da içeren büyük oranda reaktif boyalar içermektedir.

Asit boyalar yün, ipek ve naylon gibi katyonik bölgelerle lifleri boyamaktadır. Protein lifleri, izoelektrik aralığında (pH 5,0) çoğunlukla  $\text{NH}_3^+$  ve  $\text{COO}^-$ 'ye iyonize olan amino ve karboksil grupları içermektedir. Asit boya banyosunda, karboksilat iyonları, eşdeğer miktarda asit anyonları almak üzere pozitif yüklü lif  $\text{H}_3\text{N}^+ - \text{F}-\text{COOH}$  vererek asidin eklenmesi sayesinde ayrışmamış karboksil gruplarına dönüştürülmektedir. Boyama, elyaftaki amonyum

iyonu ile ilişkili anyonun bir boya anyonuyla değiştirilmesini içermektedir. Boya anyonları, substrat için çok daha küçük asit anyonlarından daha büyük bir afinite sergilemektedir. Böylece boya yüne sadece elektrostatik çekimle (tuz oluşumu) değil, aynı zamanda elyafa olan afinitesi ile de bağlanmaktadır. Bu nedenle boyama, yalnızca basit iyonik etkileşimin bir sonucu değildir.

## **2.4.2. Asit Boyaların Sınıflandırılması**

### **2.4.2.1. Afiniteye Göre Sınıflandırma**

Boyaların poliamid elyaflar tarafından emilmesi, elektrostatik çekimle birlikte boyanın elyaftaki hidrofobik gruplarla iyonik etkileşimini içermektedir. Bu nedenle, afiniteadaki farklılıkları, öncelikle moleküler boyutun bir fonksiyonudur. Afiniteye bağlı olarak üç farklı sınıf bulunmaktadır [93]:

1. Tesviye boyları, protein lifi ile tuz benzeri bir bağ oluşturmaktadır ve nispeten küçük moleküllerdir.
2. Elyaf tuz oluşumunun ve boya moleküllerinin hidrofobik bölgeleri ile protein lifininkiler arasındaki adsorpsiyon kuvvetlerinin baskın olduğu öğütme boyları. Büyük hacimli moleküllerdir.
3. Yün lifi ile sadece tuz benzeri bir bağ oluşturmakla kalmayan, aynı zamanda liflere moleküller arası kuvvetlerle bağlanan boylar. Orta molekül boyutuna sahip tesviye ve öğütme boylarıninkiler arasında bir ara pozisyonda yer alan özelliklere sahiptirler.

### **2.4.2.2. Boyama Özelliklerine Göre Sınıflandırma**

Asit boylar boyama özelliklerine göre aşağıdaki dört türe ayrılmaktadır [93]:

1. Seviye boyama veya eşitleme boyları
2. Hızlı asit boyları
3. Öğütme asit boyları
4. Süper öğütme asit boyları.

Boya molekülünün moleküler ağırlığı ve sülfonasyon derecesi, boyama pH'ı, boyamaya migrasyon yeteneği ve yıkama haslıkları gibi boyama davranışını belirlemektedir.

Asit boyların seviyelenmesi veya eşitlenmesi

Bu boylar, iyi bir tükenme elde etmek için Glauber tuzuyla birlikte önemli miktarlarda güçlü asitler gerektirmektedir. Yüksek asit konsantrasyonu altında, yünde yüksek konsantrasyonda katyonik amonyum grupları oluşmaktadır ve boylar yün için hızlı etki

göstermektedir. Bununla birlikte, boya molekülleri bölgelere güçlü bir şekilde bağlı değildir. Başlangıçtaki renk eşitsizliği, kaynama sırasındaki iyi migrasyonları ile dengelenmektedir.

Yer değiştirme kolaylığının bir sonucu olarak, bu boyalar zayıf ile orta derecede yıkama haslığına sahiptir. Bununla birlikte, ışık haslığı orta ile iyi arasında değişmektedir. Dolayısıyla bu boya grubu, yünlü kumaşlar ve iplik üzerinde sadece yüksek düzeyde düzlüğün kritik olduğu ve yıkama haslığının iyi olmadığı soluk ile orta derinlikler için kullanılmaktadır. Mordan veya metal kompleks boyalara göre daha parlaktırlar. Nispeten küçük moleküler boyutlara ve bu nedenle suda iyi çözünürlüğe sahiptirler. Sıkı dokunmuş kumaşların ve yüksek bükümlü ipliklerin tek tek liflerine iyi nüfuz etmektedirler. Boya molekülleri çözelti içinde kümelenmekte ve daha yüksek sıcaklıklarda, iyi penetrasyon için yeterli bireysel molekül bulunmaktadır.

#### Hızlı asit boyaları

Tipik tesviye boyaları ile karşılaştırıldığında, hızlı asit boyaları biraz daha yüksek moleküler ağırlığa sahiptir ve genellikle monosülfonatlı boyalardır. Boyama yöntemi de benzerdir. Kaynama sırasında makul bir migrasyona sahiptirler ve bazen bir tesviye maddesi tavsiye edilmektedir. Hızlı asit boyalar, iyi yıkama ve ter haslığı ile seviye boyamanın gerekli olduğu durumlarda kullanılmaktadır.

#### Öğütme asit boyaları

Öğütme, yünlü bir malzemenin, keçeleşmeyi teşvik etmek için önemli ölçüde mekanik etki ile, zayıf alkali çözelti içinde işlendiği süreçtir. Öğütme sırasında rengin akmasını önlemek için öğütmeye karşı iyi haslığa sahip boyalar gerekmektedir.

Öğütme boyaları, tesviye veya hızlı asit boyalara göre yün için daha yüksek moleküler ağırlıklara ve daha yüksek kalıcılığa sahiptir. Boya molekülü başına daha az sülfonat grubuna sahiptirler ve bu nedenle suda çözünürlükleri daha düşüktür. Koloidal çözeltiler veren kaynar suda bile güçlü bir şekilde toplanma eğilimi göstermektedirler. Öğütücü boyalarla boyama genellikle sodyum asetat veya amonyum sülfat varlığında başlamaktadır ve 5,0 ile 7,0 pH aralığında gerçekleştirilmektedir. Tükenme, asetik asit ilavesiyle arttırılmaktadır. Yün içinde düşük difüzyon oranlarına ve dolayısıyla zayıf tesviye yeteneklerine sahiptirler. İyonik bağ dışında, boya ve elyaf arasında moleküller arası kuvvetler vardır. Öğütücü asit boyaları, orta ile iyi yıkama haslığı sağlamaktadırlar ve beklendiği gibi, tesviye asit boyalarından daha iyidirler. Spesifik olarak, alkali öğütmeye karşı hızlıdırlar ve oldukça iyi ışık haslığına sahiptirler.

Zayıf migrasyon özelliklerine sahip olduklarından, seviye boyama başlangıçta boya banyosu sıcaklığının kademeli olarak arttırılmasına ve ardından az miktarda asetik asit eklenerek boya banyosunun pH'ının düşürülmesine bağlıdır. Bu boyalar pamuğu lekeleme eğilimindedirler.

Süper ögütme asit boyaları

Bunlar ögütme boyalarına benzer, ancak çok daha hidrofobiktirler. Hidrofobiklik, molekülde uzun zincirli alkil gruplarının varlığı nedeniyle kendini göstermektedir. İyi yıkama haslığına ve iyi ila çok iyi ışık haslığına sahiptirler. Nihai kumaşın ovalama ve frezeleme gerekliliği olduğunda iplik boyama için kullanılmaktadırlar.

Ögütme ve süper ögütme boyaları, düz olmayan boyamayla sonuçlanan çok hızlı soğurma davranışına sahiptirler ve kolayca göç etmezler. Boyanın absorpsiyon hızının, boya banyosunda kademeli bir artış ve ardından boya banyosunun pH'ında kademeli bir azalma ile kontrol edilmesi gerekmektedir. İlk darbeyi azaltmak ve soluk tonları boyamak için boya banyosunun başlangıç pH'ı 7,0'den bile yüksek olmalıdır. Gevşek elyafın boyanması durumunda ve düzlüğün daha az kritik olduğu üst kısımlarda pH daha düşük olabilir, çünkü elyaf eğirme sırasında birbirine karışacaktır. Çözeltideki boya kümeleri artan sıcaklıkla parçalanmaya başladığında, 70 °C'nin üzerinde bu boylarla boyama hızı ciddi bir şekilde artmaktadır. Bu kritik aşamada sıcaklığın dikkatli bir şekilde kontrol edilmesi eşit boyama sağlamaktadır.

#### **2.4.2.3. Kimyasal Yapıya Göre Sınıflandırma**

Asit boyalar birçok farklı kromoforik sistemden çekilmektedirler. Bunlar aşağıdaki gibidir [93]:

1. Sülfonatlı azo boyalar
2. Antrakinon boyaları
3. Nitrodifenilamin boyaları
4. Trifenilmetan ve ksanten boyaları.

Sülfonlanmış bakır ftalosiyanın boyaları parlak turkuaz tonları sağlamaktadır.

#### **2.4.3. Sentetik Poliamidler İçin Asit Boyalar**

Sentetik kökenli poliamid malzemeler, dispers boyalarla ve metal-kompleks boyalar dahil olmak üzere seçilmiş asit boyalarla boyanabilmektedir. Sentetik poliamidler daha düşük

asit bağlama gücüne sahiptir. Bu nedenle molekülde iki veya daha fazla sülfonik asit grubuna sahip boyalar, tek sülfonik asit grubuna sahip boyalara göre elyafa çok daha yavaş ve çok daha düşük bir doyma değerinde nüfuz etmektedir.

Sentetik poliamidler için asit boyalar iki sınıfa ayrılmaktadır [93]:

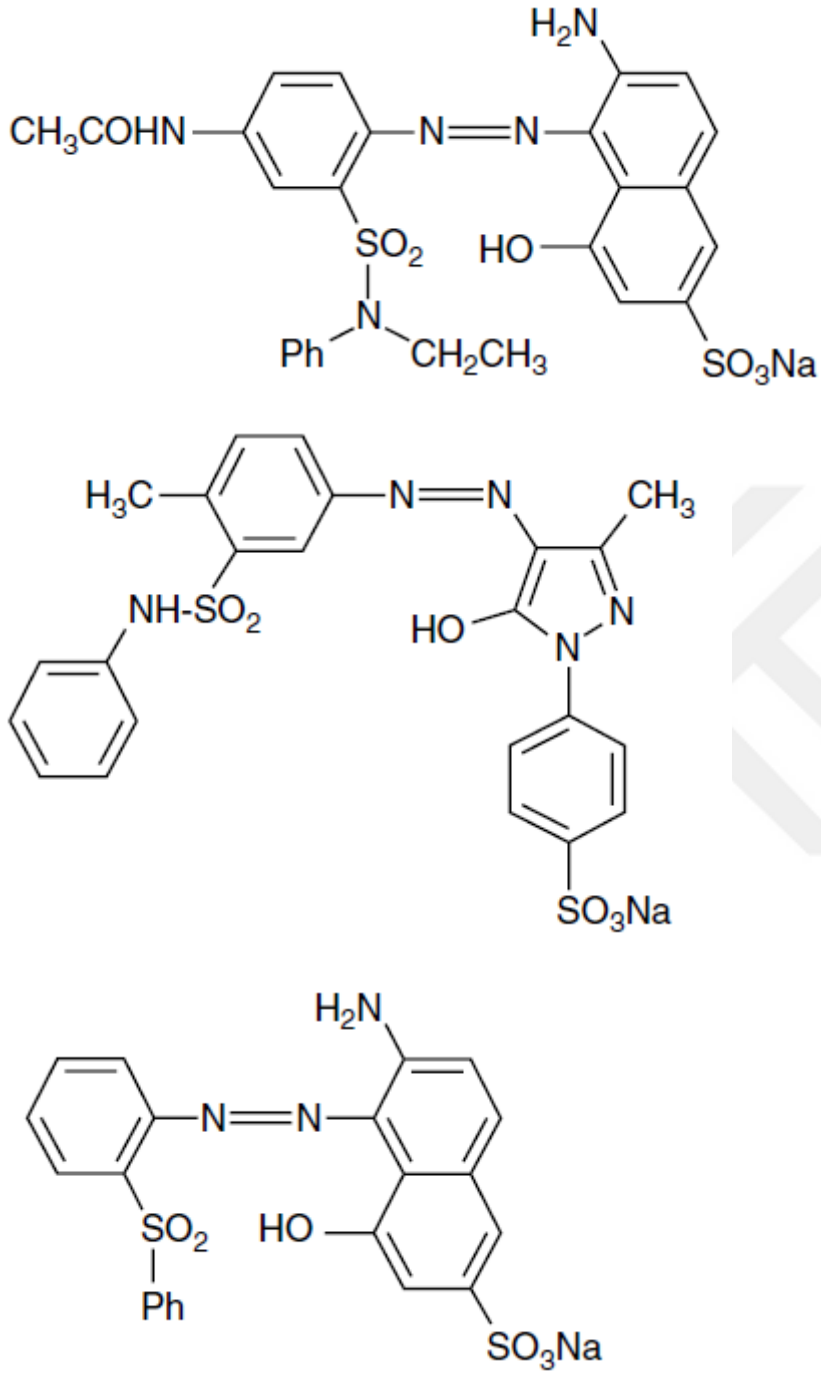
1. Grup A, poliamid için iyi tesviye gücüne ve düşük kalıcılığa sahip asit boyalardan oluşur; oldukça iyi ıslak haslık verirler.
2. Grup B, poliamid üzerinde daha düşük tesviye gücü, daha yüksek kalıcılık ve yüksek yaş haslığı olan asit boyalardan oluşur.

Düşük tesviye gücüne sahip bu asit boyaların çoğu, elyaf yapısında açık farklılıklar ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle genellikle tesviye ve geciktirici maddelerin eklenmesi gerekir.

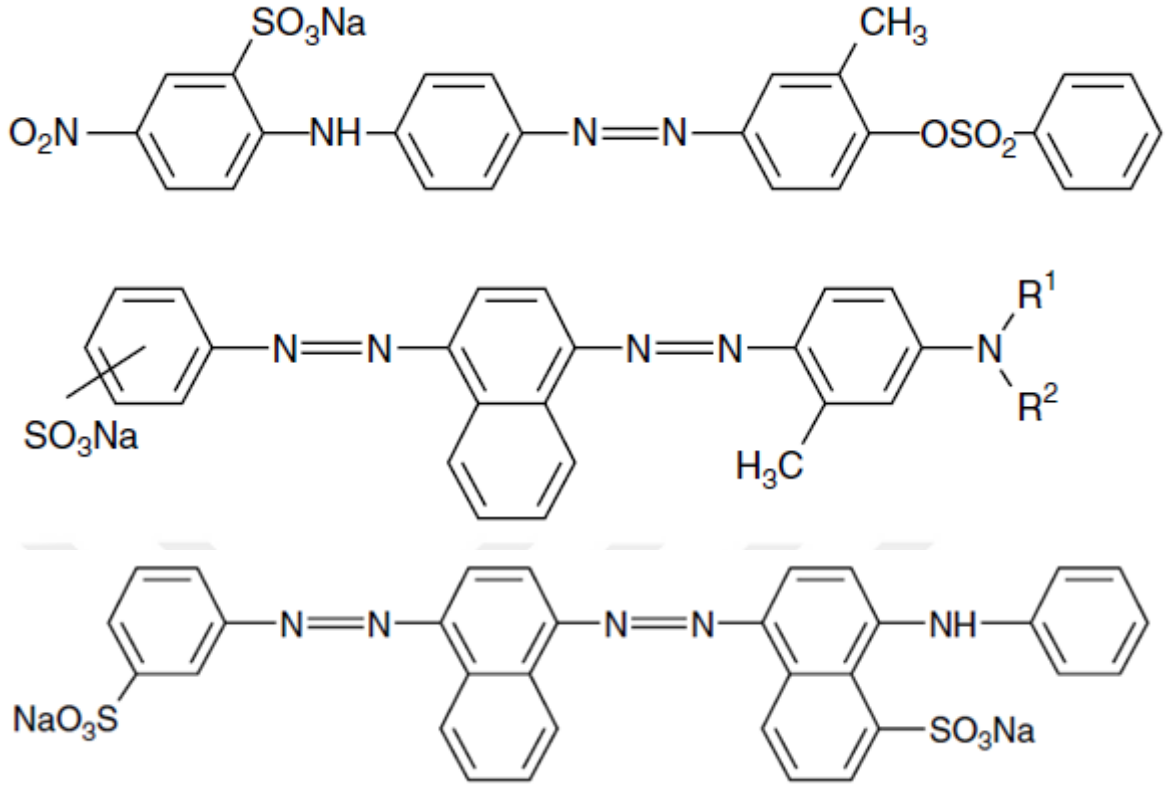
Grup A'nın birkaç temsili yapısı şekil 2.32'de gösterilmektedir. A grubu boyaların ana uygulama alanı halı boyamadır.

B Grubu boyalardan bazıları şekil 2.33'te gösterilmiştir. Bunlar, özellikle ıslak haslık konusunda katı gerekliliklerin getirildiği giyim tekstillerinde kullanılır.

Kemometrik yaklaşım, yün ve sentetik poliamidler için bir dizi asit boyada yapı optimizasyonunda kullanılmıştır [115-117].



Şekil 2.32: Grup A tipi sentetik poliamid için kullanılan asit boya kimyasal yapı örnekleri.



Şekil 2.33: Grup B tipi sentetik poliamid için kullanılan asit boya kimyasal yapı örnekleri.

## 2.5. TEKSTİL SEKTÖRÜNDE UYGULANAN BOYA HASLIĞI TESTLERİ

Tekstillerde kullanılan çeşitli renklendiriciler, düzenli kullanımları sırasında karşılaştıkları tüm etkileyici faktörlere karşı dayanıklı değildir. Işığa, ısıya, yoğun sürtünmeye veya yıkama için deterjanlara maruz kalma, seçici durumlarda bitişik giysilerin lekelenmesinin yanı sıra rengin giderek solmasına neden olmaktadır. Bu, görünüm ve estetik değerdeki değişiklik nedeniyle bir giysiyi kullanılmaz hale getirebilmektedir. Belirli bir boyamanın bu etkilere ne ölçüde dayanabileceği, pazarlamanın ön koşulu olarak söz konusu giysi veya kumaş üzerinde haslık testleri yapılarak belirlenebilmektedir. Renk haslığını etkileyen faktörlerin çoğunun, boyanın elyafa bağlanma modu da dahil olmak üzere, boya kimyası ile ilgili olduğunu belirtmekte fayda vardır ve bu bilgi bir kez bilindiğinde, boyamaların haslık standardını tahmin etmek mümkün hale gelebilmektedir [93].

### 2.5.1. Boya Haslığı Testlerine Genel Bakış

Bazı durumlarda, renkli kumaşların uzun süre gün ışığına maruz kalması, ışığın boya yapısı üzerindeki etkisinden dolayı rengin giderek solmasına neden olabilmektedir. Tekstil terbiyesinde, esas olarak fonksiyonel apreler, boyama sonrası aşamada yüksek sıcaklıkta

uygulanmaktadır. Renkli giysiler ayrıca evde ütölemeye dayanıklı olmalıdır. Boyanın bitirme veya preslemeden başarılı bir şekilde geçmesi için yeterli termal kararlılığa sahip olması gerekmektedir, aksi takdirde her işlemde boyanın bir kısmının süblimleşmesi nedeniyle solma meydana gelmekte ve renk giderek daha açık hale gelmektedir. Bir çamaşır makinesinde bitişik giysilerin lekelenmesini önlemek için boyalı tekstillerin üstün yıkama performansına ihtiyaç vardır. Renkli yüzme kıyafetleri, enfeksiyon tehdidini kontrol altına almak için sıklıkla yüzme havuzlarına enjekte edilen klorun etkisine maruz kalmaktadır. Kostümlerin renklendirilmesinde kullanılan boyanın buna dayanıklı olması gerekmektedir. Terlemenin fizyolojik işlevi, özellikle yüksek sıcaklıklarda ve kas egzersizleri sırasında deriden buharlaşmaya bağlı olarak ısı kaybını artırarak vücut sıcaklığının düzenlenmesine yardımcı olmaktadır [118]. Ancak bu terleme, giysinin kullanımı sırasında boyanın bir kısmının çözünmesi yoluyla seçilen bölgelerdeki boyaların solmasına neden olmaktadır. Renkli kumaşlara sürtündüğünde, yüzeysel boyaların varlığından dolayı beyaz giysiler lekelenmektedir. Kısacası, renkli tekstiller, kullanımları sırasında tatmin edici bir şekilde geçmek zorunda oldukları çeşitli olumsuz durumlarla karşılaşma eğilimindedir.

Çeşitli boyalar, farklı kimyasal ve fiziksel özelliklere sahiptir ve her birinin kendi sınırlamaları vardır. Boya firmaları, çeşitli boyaların sınırlamaları hakkında bilgi sahibi olmasına rağmen, maliyet nedeniyle belirli bir rengi uygulamak zorunda kalabilmekte veya belirli bir tekstil üzerinde başka bir boya sınıfı ile belirli bir renk tonu üretilmeyebilmektedir. Örneğin, parlak kırmızı, turuncu ve sarı renkler en iyi şekilde, düşük sürtünme haslığına sahip olmasına rağmen, en ucuz maliyetle çözünmeyen azoik renklere sahip pamukta üretilmektedir. Pamuk üzerindeki turkuaz mavisi tonları, reaktif boyalarla üretilmektedir ancak yıkama haslıkları zayıftır. Küp boyalar, her yönüyle üstün haslık özelliklerine sahiptir, ancak yüksek maliyetleri, maliyete duyarlı birçok uygulama için ticari olarak uygun olmadıkları anlamına gelmektedir. Direkt boyalar daha ucuzdur, ancak kumaş alkali bir deterjanla yıkanacaksa boyanın yıkanarak çıkma riski nedeniyle yalnızca yıkanamayan daha ucuz ürünlere uygulanabilmektedir. Bazı boyalar da ucuzdur ve naylon, yün, ipek vb. kumaşlara uygulanabilmektedir. Ancak ışık haslıkları zayıf olduğundan çoğu uygulamada tercih edilmezler. Poliester sadece dispers boyalarla boyanmaktadır; yüksek sıcaklıkta kürlenme, termo fiksasyon vb. sırasında boyanın süblimleşmesini önlemek için boyanın yüksek moleküler ağırlığa sahip olması gerekmektedir. Birkaç dispers boyanın gaz solmasına karşı duyarlılığı, yani gaz solması, ozonun veya nitrojen oksitlerin (NO ve NO<sub>2</sub>) veya sülfürün etkisinden kaynaklanmaktadır ve bu duyarlılığın böyle bir atmosferde değerlendirilmesi gerekmektedir.

[119, 120]. Yüksek nemde, özellikle dayanıklı pres cilaların varlığında gazın solması daha hızlıdır.

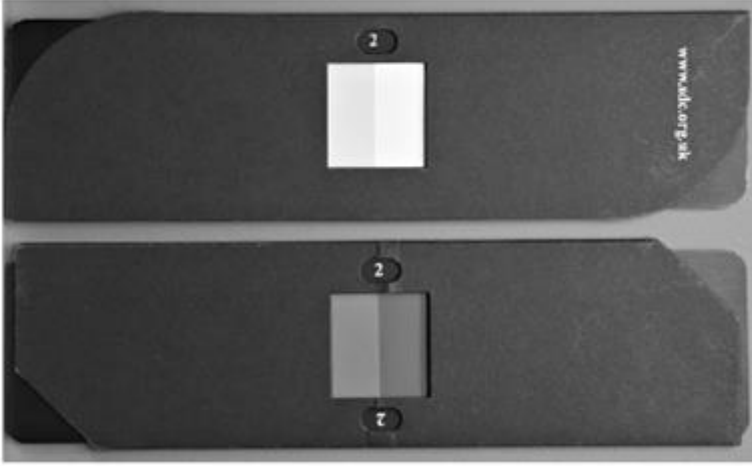
Renkli bir kumaşın yıkama haslığının bilinmediği durumlarda genellikle kuru temizleme en uygun temizleme yöntemidir. Bununla birlikte kuru temizleme, rengin solvent içindeki çözünürlüğü ve herhangi bir yıkama işlemiyle fiziksel olarak uzaklaştırılması nedeniyle solmaya veya renk değişikliğine de neden olabilmektedir [121].

Boyaların çeşitli haslık özelliklerinin ışığa, yıkamaya, terlemeye vb. tepkileri açısından değerlendirilmesi, kullanımda boyalı tekstilin beklenen performansını belirlemek için esastır [122]. Çeşitli boya üreticileri tarafından sağlanan teknik bilgiler, ayrı ayrı boyalar için haslık testi raporlarını içermektedir, ancak bu, belirli bir boya-lif kombinasyonu için ve diğer boyalarla karışım halindeyken boyanın elde edilen haslığını değerlendirmede başarısız olmaktadır; sonuç olarak boyahaneler, boyanan ürünlerin haslıklarını sıklıkla değerlendirmektedir.

### **2.5.2. Haslık Özelliklerinin Sınıflandırılması**

Işık haslığı 1 ile 8 arasında derecelendirilmektedir; Sırasıyla 1 zayıf, 8 ise olağanüstü performans anlamına gelmektedir [123]. Haslığı değerlendirilecek olan numune ile karşılaştırmak için 1 ile 8 arasında bilinen ışık haslığına sahip sekiz mavi yün boyalı kontrol kumaşı kullanılmaktadır.

Diğer haslık özellikleri, test edilen renkli numunenin eşzamanlı solmasının yanı sıra bitişik beyaz numunenin lekelenme seviyesi değerlendirilerek test edilmektedir. Renk (solma) ve lekelenmedeki değişimin derecesi, dokuz farklı solma veya lekelenme derecesinde 1'den 5'e kadar derecelendirilen iki farklı gri skala ile değerlendirilmektedir, yani 5, 4/5, 4, 3/4, 3, 2/3, 2, 1/2 ve 1, burada örneğin 1 sırasıyla zayıf ve 5 mükemmel renk haslığı anlamına gelmektedir. Bir yıkama haslığı testi sırasında boyanmış bir numunenin renginde herhangi bir değişiklik görünmüyorsa, o zaman beyaz bir numunenin lekelenmesi olmayacaktır. Bu durumda yıkama haslığı 'renk değişikliği "5" ve lekelenme derecesi "5" olarak derecelendirilecektir. 2. dereceye sahip renk değişiminin yanı sıra boyama için gri ölçeklerin görünümü ve kontrastı şekil 2.34'te gösterilmektedir. Aynı metodoloji, ışık haslığı değerlendirmesi dışındaki diğer tüm haslık değerlendirmeleri için geçerlidir. Ancak sonucun kesinliği değerlendiricinin doğruluğuna ve uzmanlığına bağlıdır ve karşılaştırmalar gri renkli ölçeklerle yapıldığından izleyicinin görüş standardından da etkilenmektedir [124].



**Şekil 2.34:** Lekelenmeyi ve renk değişimini değerlendirmek için SDC (Society of Dyers and Colourists) gri ölçekler.

### 2.5.3. Boya Haslığını Etkileyen Faktörler

#### 2.5.3.1. Işık Haslığı

Tekstil boyalarının ışıkla solması, kumaşlarda renk haslığı ile ilgili en karmaşık olgudur ve gerçekleri ortaya koymak için kapsamlı araştırmalar gerekmektedir. Boyalı tekstillerin çok önemli bir özelliğı olan ışık haslığı, (i) gelen radyasyonun dalga boyu, (ii) boya ve elyaf yapılarının kompaktlığı, (iii) boya-elyaf sistemi, (iv) boya agregasyon derecesi ve boya partikül boyutu, (v) etkili nem (elyaf yüzeyindeki nem içeriğini yöneten hava, yüzey sıcaklığı ve bağıl nem kombinasyonu), (vi) boya kaynaklı katalitik etki, (vii) sıcaklık, (viii) oksijen mevcudiyeti (foto-oksidasyon) veya UV ışığı (foto-indirgeme), (ix) elyaf üzerindeki renklendirici miktarı, yani derin veya açık renkler, (x) safsızlıkların varlığı, yani taşıyıcılar, dağıtıcı maddeler, boya sabitleyici maddeler, metaller ve çeşitli seyrelticiler, (xi) maruz kalma süresi, (xii) ışık altında maruz kalan yüzey alanı, (xiii) boyaların ve liflerin foto iletkenliği, (xiv) boya yapısında bulunan süstitüent ve (xv) aromatik bileşiğın stabilitesi tarafından yönetilmektedir. Gelen dalga boyu ne kadar kısa olursa, renkli kumaş yüzeyindeki enerji salınımı ve solma oranı o kadar yüksek olmaktadır. Antrakinoid yapılar (küp boyalar), diğeri boya sınıflarında mümkün olmayan boya yapısının kompaktlığından dolayı pamuk üzerinde mükemmel bir ışık haslığı göstermektedir. Daha kompakt bir elyaf, gözenekleri tıkamakta ve kumaşın içine oksijen veya nem geçişine izin vermeyerek solmayı engellemektedir. Bazik boyanın akrilik üzerinde ışığa dayanıklı tonlar üretmesi, ancak yün, ipek vb. üzerinde aynısını sağlayamaması, boya-elyaf bağlanmasına bir örnektir [125, 126]. Daha büyük boyutlu boyaların solmayı başlatması genellikle daha fazla zaman almaktadır: solma, fotokimyasal katman etkisinden dolayı boya parçacığının yarıçapı ile ters orantılıdır [127]. Etkili nem, oksijenin çıkan boya yapısına

difüzyonunu kolaylaştırmakta veya yüksek dielektrik reaksiyon ortamı görevi görmektedir. Boyanın neden olduğu ışıkla solmada, küp sarısı, karışım içindeyken mavinin solmasını desteklemekte; ikincisi, tek başına maruz kaldığında sabit kalmaktadır. Sıcaklık ne kadar yüksek olursa, solma oranı o kadar hızlı olmaktadır; görünür ışığa uzun süre maruz kalma, oksijenin mevcudiyetine bağlı olarak foto-oksidasyona neden olmaktadır. Kısa sürede solma derecesi, derin bir renkte görsel olarak kolayca değerlendirilememektedir, ancak açık bir renkte bunu yapmak daha kolay olmaktadır, çünkü açık bir renkte toplama karşılaştırıldığında boyanın daha yüksek bir yüzdesi yok olmaktadır [127, 128]. Taşıyıcı, dispersiyon maddesi vb. gibi bazıları boyama işlemi için gerekli olan safsızlıkların veya elyaf veya boya yapısındaki metallerin varlığı solmayı teşvik etmektedir. O-fenilfenol gibi taşıyıcıların disperse boyalı poliesterin ışık haslığını azalttığı bilinmektedir. Toplam maruz kalma süresi de hayati bir parametredir; kısa süreli maruz kalma, boyalı tekstillere, çıkış durumundan temel durumuna geri dönmek için enerjiyi serbest bırakması için yeterli zaman verir. Daha kaba bir elyaf, daha düşük yüzey alanı/hacim oranından dolayı yavaş yavaş solar, bu da yüzeyde daha az boya olacağı anlamına gelmektedir; düz filament ve mikro elyaflar için solma oranı açıkça daha yüksek olmaktadır. Boyalar, liflere bağlıyken p -tipi ve n -tipi yarı iletkenlik göstermektedir ve bunların tepkime süresi kısa olmalıdır; daha yüksek ışık haslığı, foto iletkenlik için daha yüksek aktivasyon enerjisini tercih etmektedir [129]. İyileştirilmiş ışık haslığı için, boyanın minimum sayıda çift bağ veya reaktif süstitüent içeren kararlı bir aromatik yapıya sahip olması gerekmektedir [130]. Elektron veren süstitüentler, örneğin -OH, -NH<sub>2</sub>, vb., elektron kabul eden gruplar, örneğin Cl ve Br, solmayı geciktirmektedir [131].

### **2.5.3.2. Yıkama Haslığı**

Boyalı tekstillerin yıkama performansı, boya kimyası, boyanın boyutu ve çözünürlüğü, boya-elyaf bağlantısının doğası, boya-çözücü etkileşimi, boyanın elyaf yapısı üzerindeki konumu ve yıkamada kullanılan deterjan formülasyonu gibi çok sayıda faktöre bağlıdır.

Reaktif boyalar, su-boya etkileşimi nedeniyle boya banyosunda suda çözünmekte ve hidrolize edilebilmektedir. Monoklorotriazin ve vinil sülfon boyları tek işlevlidir; elyafa kovalent bağlar yoluyla bağlanmaktadır, ancak aynı zamanda boya banyosundaki su ile yarışan bir hidroliz reaksiyonuna da girmektedirler. Boyamadan sonra iyice yıkama, hidrolize boyları tamamen uzaklaştırarak mükemmel yıkama haslığı sunmaktadır. Bu boyların baskıda çokça tercih edilmesinin nedeni budur. Bunun tersine, diklorotriazin reaktif boylar kısmen hidrolize boylar oluşturmakta ve bu nedenle zayıf yıkama haslığı göstermektedirler. Direkt boylar suda çözünür ve boyamalar sonradan işlem görmedikçe asla yıkanmaz; son işlem

sırasında boya molekülü, pamuk üzerinde yerinde kalması için harici kimyasallarla reaksiyona girerek büyütülmektedir. Yukarıdaki iki durumda, özellikle derin renkler için, kabul edilebilir haslık performansı sağlamak için gevşek bir şekilde yapışmış herhangi bir yüzeysel boya iyice yıkanmalıdır.

Yüksek sıcaklık ve yüksek basınçta boyamada poliesterin yapısının açılması, boyanın elyafın iç kısmına geçişini sağlayacak yeterlilikte olmalıdır. Boyama makinaları, bir kazan vasıtasıyla sağlanan buharın enjekte edilmesiyle bağlantı borularından ısıtılmaktadır. Tipik bir kış mevsiminde besleme borusundaki sızıntılar veya yoğunlaşma, etkin buhar basıncında düşüşe neden olabilmektedir. Bu,  $130\pm 2$  °C'nin çok altında lif yapısının yetersiz açılmasına yol açmaktadır. Bu durum boyanın çoğunun konumunu yalnızca yüzeyle sınırlamakta ve yıkama sırasında düşük yıkama haslığı ile sonuçlanmaktadır.

Boyanın nihai yapısı, lif içinde yerinde tutulabilecek kadar büyük olmalıdır. Bu, boyanın toplanmasına izin verilerek elde edilebilmektedir. Boyalar çözünmezse ve daha küçük yapılara sahipse, agregasyonun derecesi yıkama performansını belirleyecektir. Antrakinoid küp boyaları ile agregatların daha iyi oluşumu, yalnızca çok iyi yıkama haslığı gösteren nispeten daha küçük kükürt boya agregalarına kıyasla mükemmel yıkama haslığı vaat etmektedir. İlginç bir şekilde, her iki durumda da lif pamuktur ve bağlanma şekli fiziksel kuvvetler aracılığıyla [93].

#### **2.5.3.3. Terleme Haslığı**

İnsan teri, eser elementler, amonyak, üre, amino asit, glukoz ve klorürlerden oluşan bir emülsiyondur ve ana bileşen, yaklaşık 6,14-6,57 pH'lı laktik asittir [118]. Seçici noktalarda rengin solmasına neden olan, metal ve ısının sinerjik birleşik etkisi veya boya üzerindeki emülsiyon olabilmektedir.

#### **2.5.3.4. Sürtme Haslığı**

İki farklı renkli kumaşın veya biri renkli diğeri beyaz kumaşın birbirine sürtülmesi, birinden diğere renk geçişine neden olabilmektedir. Sorun, esas olarak, boyama sonunda yetersiz yıkama, tekstil-hava arayüzünde az sayıda renkli molekülün oluşması nedeniyle yüzeysel boyaların varlığı ve boyaların suda çözünürlüğü veya yüzey tabakasında zayıf boyaelyaf bağlantısından kaynaklanmaktadır. Yaş sürtme haslığı, kuru sürtme ile karşılaştırıldığında daha düşük sonuç verme eğilimindedir; bu, boyanın bir kısmının çözünmesi ve renkli kumaşın yüzeyine migrasyonu nedeniyle olabilmektedir [93].

#### **2.5.3.5. Klor Haslığı**

Yüzme kıyafetlerini boyamak veya baskı için kullanılan renk, enfeksiyon tehdidini kontrol etmek için yüzme havuzlarına sıklıkla enjekte edilen klorun etkisine dayanıklı olmalıdır. Kükürt boyalarının çoğu ve birkaç reaktif boya, klor tarafından parçalanarak renk bozulmasına neden olmakta ve bu boyalara ürün boyamada bir kısıtlama getirmektedir.

#### **2.5.3.6. Termal Kararlılık**

Bir boyanın süblimleşme sıcaklığı, migrasyon davranışını incelemek için kütleme, bitirme, evde presleme veya test etme sırasında geçeceği sıcaklıktan daha yüksek olmalıdır; aksi halde boyanın bir kısmı süblimleşerek rengi daha açık hale getirmektedir. Bir boyanın yüksek sıcaklığa dayanma kabiliyeti, molekül ağırlığı ve moleküller arası bağlanma kuvveti ile doğru orantılıdır. Örneğin, poliesterin süblimasyon transfer baskısı için, seçilen dispers boyaların ideal süblimasyon sıcaklığı 180–210 °C aralığında ve buna karşılık gelen moleküler ağırlık 240–340 g/mol olmalıdır. Süblimleşme haslığı (i) maruz kalma sıcaklığı, (ii) maruz kalma süresi, (iii) renk derinliği, (iv) elyafın kimyasal yapısı ve (v) boyanın kimyasal yapısı gibi birçok faktöre bağlıdır [131].

### 3. YÖNTEM

Tez çalışması kapsamında yapılan tüm çalışmalar dikişsiz giyim sektörüne üretim yapan bir tesiste ve o tesiste kullanılan hammadde ve cihazlar kullanılarak yapılmıştır. Denemelerde kullanılan ana malzeme poliamid olup, poliamid ve elastan karışımı kumaş parçaları üzerinde suya alternatif çözücülerle boyama yapılmış ve elde edilen boyalı kumaş parçalarına standart uygulanan haslık testleri yapılarak sonuçlar sulu çözeltide yapılan boyama ile elde edilen değerlerle kıyaslanmıştır. Ayrıca elde edilen renkler spektral renk analizi cihazında analiz edilerek denemesi yapılan alternatif çözeltilerin renk elde etme performansları incelenmiştir.

#### 3.1. MALZEMELER

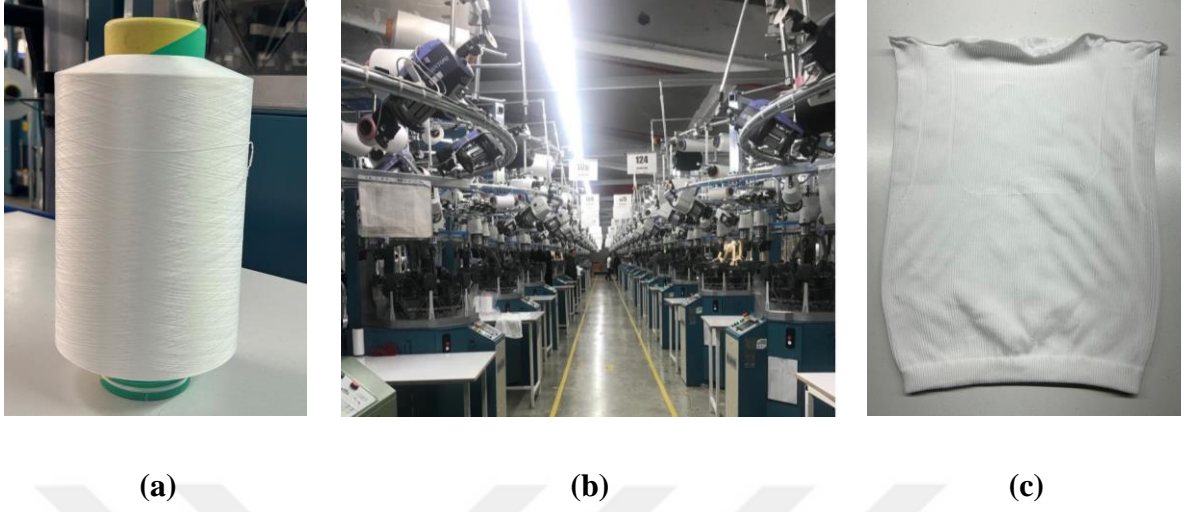
##### 3.1.1. Kumaş ve Boyar Madde Bilgisi

Dikişsiz giyim sektörünün tekstil sektörü içerisindeki oranı ve önemi her geçen gün artmaktadır. Bu sektörün ürün gamı içerisinde ağırlıklı olarak aktif spor giyim, korse ve iç çamaşırı ürünleri yer almaktadır.

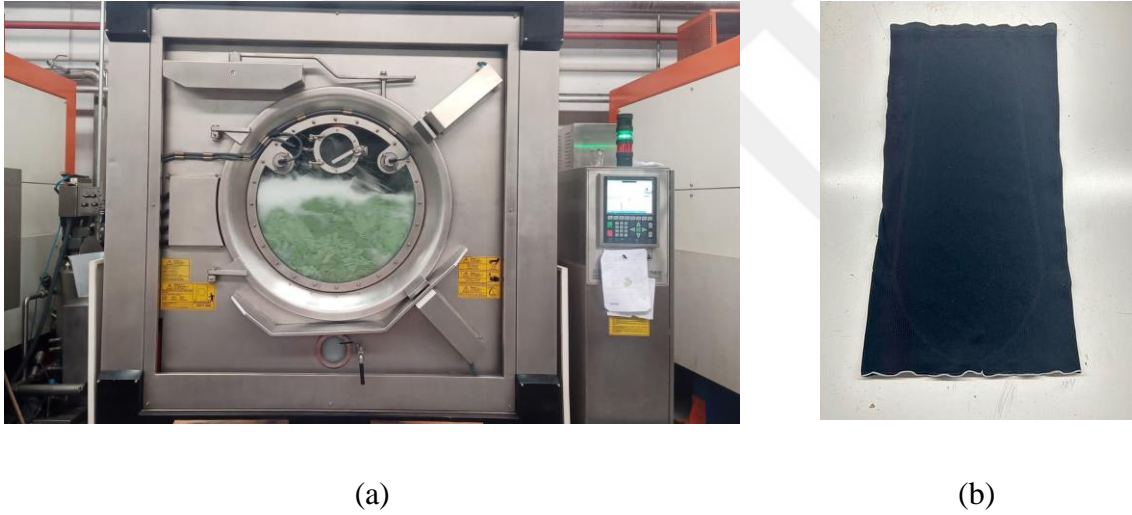
Dikişsiz ürünlerin elde edilmesinde ilk aşama olan iplikten ham tüp eldesi, çeşitli ipliklerin birlikte kullanıldığı jakarlı yuvarlak örgü makinelerinde örme işleminin yapılması ile gerçekleştirilir. Tez kapsamında boyama için kullanılan kumaş parçalarında poliamid ve elastan ipliklerden elde edilen tüplerin parçaları kullanılmıştır. Kullanılan elastan poliüretan içeriklidir. Poliüretan iplikler boya prosesi esnasında herhangi bir boya ile bağ ve etkileşim yapmamaktadır. Şekil 3.1’de iplikten ham tüp formuna geçişin görseli paylaşılmıştır.

Elde edilen örülmüş ham tüpler son ürüne getirilmeden önce, renklendirilmek üzere boyama makinelerinde farklı boya prosesleri kullanılarak boyanmaktadır. Şekil 3.2’de endüstriyel ölçekli bir parça boyama makinesi ve boyama sonrası elde edilen boyalı tüp görseli yer almaktadır.

Tez denemeleri kapsamında asidik boyar madde sınıfında üç ayrı tür boyanın karışımlarından elde edilen boya banyosu kullanılmıştır. Bu boyar maddeler, Dystar firmasından “*Isolan Red SRL*” ve “*Telon Red MGWN*” boya ile CHT firmasından “*Bemacit Blue F2G*” boya boyalarıdır. Kullanılan boyar maddelerin teknik özellikleri tablo 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1: a) Naylon 6 iplik görseli b) Jakarlı yuvarlak örgü makinesi c) Örülmüş ham tüp.



Şekil 3.2: a) Parça boyama makinesi b) Boyalı tüp.

Tablo 3.1: Kullanılan boyar maddelerin teknik özellikleri.

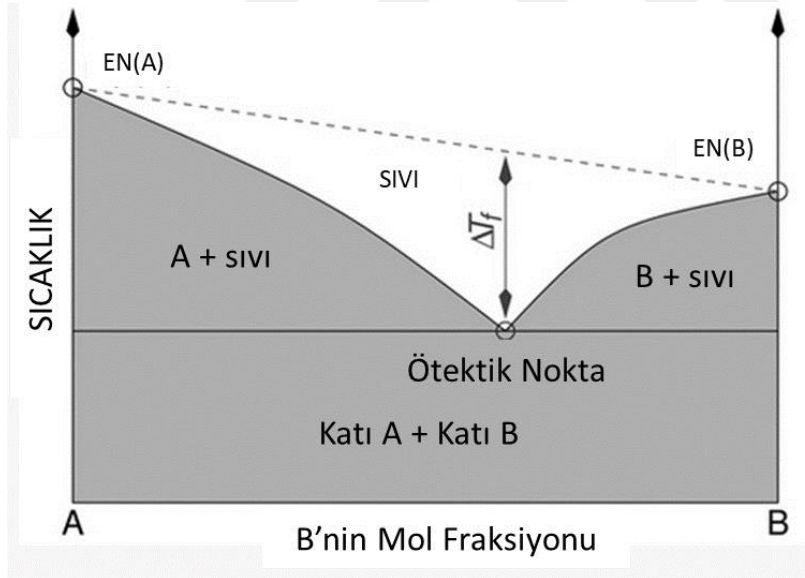
	Bemacit Blue F-2G	Isolan Red S-RL	Telon Red M-GWL
Yıkama Hashğı	5	5	5
Su Hashğı	4/5	4/5	5
Asit Ter Hashğı	bilgi verilmemiştir	4/5	5
Alkali Ter Hashğı	3/4	4/5	4/5
90 °C'de çözünürlük	70 g/L	80 g/L	80 g/L
90-25 °C'de çözünme kararlılığı	30 g/L	80 g/L	30 g/L
Renk Tonu	mavi yeşile çalan	kırmızı çok sarıya çalan	kırmızı sarıya çalan

### 3.1.2. Boya Banyolarında Kullanılan Çözücüler

Suya alternatif olarak kullanılan boya banyoları için öncelikle saf çözücüler ile denemeler gerçekleştirilmiştir. Bu denemelerde saf çözücü olarak gliserin, fındık yağı, ceviz yağı, ayçiçek yağı, monoetilenglikol (MEG), aspir yağı, silikon yağı, propilenglikol (PG) ve perkloretilen kullanılmıştır.

Saf çözücüler ile yapılan denemelerin ardından çözücü karışımları kullanılarak hazırlanan alternatif boya banyoları ile denemeler gerçekleştirilmiştir. Bu denemelerde ötektik karışımlar kullanılmıştır. Son yıllarda etkinlikleri artan ve farklı alanlarda kullanılan bu çözücüler, karışımları oluşturan komponentlerin erime noktalarındaki değişimin miktarına göre ötektik veya derin ötektik çözücüler olarak sınıflandırılmaktadır.

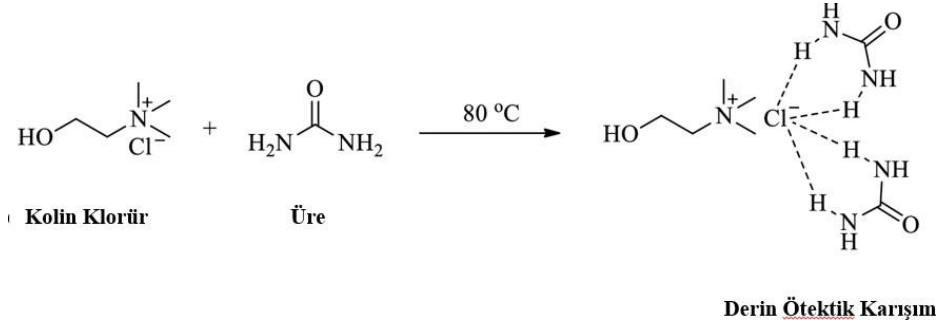
Ötektik sistem veya ötektik karışım, bileşenlerin erime noktasından daha düşük olan homojen bir karışımdır. Bileşenlerin tüm karışım oranları üzerinden mümkün olan en düşük erime noktasına ötektik sıcaklık denir. Faz diyagramında ötektik sıcaklık ötektik nokta olarak görülür. Şekil 3.3'te ötektik karışımlara ait örnek bir faz diagramı sunulmuştur.



Şekil 3.3: Ötektik karışım faz diagramı.

2000'li yılların başında, literatüre Prof. A.P. Abbott grubu tarafından yeni bir çözücü kazandırılmıştır. Yaptıkları ilk çalışmada kolin klorür ve üre karışımından oluşan isim vermedikleri yeni bir sıvı elde etmişlerdir. Bu ikili karışım ile oluşan çözücünün oluşum mekanizması şekil 3.4'te verilmiştir. İkili ötektik karakterli bir karışımdan aşırı bir erime noktası düşüşü gözlemleri üzerine bu alanda çalışmalarını yoğunlaştırmışlardır. "Derin ötektik

çözücü" (DES) terimi daha sonra, iki veya daha fazla bileşenden oluşan ve belirli bir sıcaklıkta karıştırıldığında, bunlara kıyasla daha düşük donma noktasına sahip yeni bir homojen sıvı faz meydana getiren ötektik karışımları tanımlamak için türetilmiştir [132].



**Şekil 3.4:** Kolin Klorür ve Üre ikilisi ile hazırlanan derin ötektik çözücünün oluşum mekanizması.

Bu yeni nesil çözücü türü üzerine son 10 yılda çok sayıda bilimsel araştırma yürütülmüştür. DES'lerin çözücü olarak kullanımı üzerine yoğun çalışılmasının nedeni geleneksel çözücülere ve yeni nesil alternatif çözücülere göre üstün özelliklere sahip olmalarından kaynaklanmaktadır. Özellikle polaritelerinin yüksek olmalarından kaynaklı çözünmesi zor organik veya inorganik pek çok maddeyi çözme kabiliyetleri bulunmaktadır. Hatta selüloz gibi biyopolimerik yapıların bile uygun DES'ler içerisinde çözeltileri hazırlanabilmektedir [133]. Bunun yanı sıra çözücü seçiminde önemli parametreler olan buhar basıncı, yoğunluk, viskozite, kimyasal aktivite, parlama sıcaklığı ve stabilite gibi pek çok özelliklerinin uygun olması endüstriyel uygulamalara da kısa zamanda kullanılacağı konusunda ümit vermektedir.

Yapılan deneysel çalışmalardan sonra farklı uygulamalarda geleneksel kullanılan kimyasal yapılara alternatif olacak çok sayıda yeni ötektik karışımlar elde edilmiştir. Farklı yapıdaki bileşenlerin uygun mol oranlarında karıştırılarak hazırlanmaktadır. Derin ötektik çözücülerin hazırlanmasında kullanılan komponentlerin sınıflandırılmasıyla 5 farklı DES tipinden söz edilmektedir. Tablo 3.1'de DES'lerin kabul gören genel bir sınıflaması sunulmuştur [134].

**Tablo 3.2:** Derin ötektik çözücülerin oluşumunda kullanılan kimyasal gruplarının sınıflandırılması [134].

DES Tipi	Bileşik Kombinasyonları
I	Kuaterner Amonyum Tuzu + Metal Klorür
II	Kuaterner Amonyum Tuzu + Metal Klorür Hidrat
III	Kuaterner Amonyum Tuzu + Hidrojen Bağlı Donörü
IV	Metal Klorür Hidrat + Hidrojen Bağlı Donörü
V	İyonik olmayan Hidrofobik Karışımlar

Ancak bu sınırlar içerisinde gruplanan DES'ler zamanla hidrojen köprüleri kurma kabiliyetleri ile tanımlanmaya başlanmıştır. Yeni nesil bu çözücülerin bir hidrojen bağı alıcısı (HBA) veya bir hidrojen bağı vericisi (HBD) olarak işlev gören iki veya daha fazla bileşenin karıştırılmasıyla kolayca sentezlenebileceği görülmüştür. Elde edilen ötektik karışım, hidrojen bağının oluşumunun bir sonucu olarak başlangıç bileşenlerinden çok daha düşük bir erime noktasına sahiptir [135]. Karboksilik asitler, alkoller, şekerler veya amino asitler gibi çeşitli HBD çiftleri ve kuaterner amonyum tuzları veya fosforyum tuzları gibi HBD çiftleri mümkündür ve bu varyasyon çözücü özellikleri üzerinde esnek kontrol sağlar.

Tez denemelerinde kullanılan ötektik karışımlar sabit sıcaklıktaki bir su banyosu kullanılarak 80 °C'de homojen şeffaf bir sıvı görünümü alana kadar karıştırılmıştır. İşlem sonunda 24 saat oda sıcaklığında bir desikatör içerisinde bekletilerek stabilitesi kontrol edilmiştir. Tablo 3.3'te boyama işlemlerinde kullanılan ötektik karışımlar sunulmuştur.

### 3.1.3. Yardımcı Kimyasallar

Boyama prosesinde yardımcı kimyasal olarak egalizatör ve hidrofil apre kullanılmaktadır. Egalizatörün prodesteki katkısı boyanın kumaş üzerinde düzgün dağılmasını sağlamaktır. Hidrofil apre ise boyar maddenin kumaş içerisinde bulunan elyafa bağlanmasını kolaylaştırmaktadır. Denemelerde egalizatör olarak Huntsman firmasının “Univadine MC” kimyasalı, hidrofil apre olarak da Busan firmasının “Hydrofiber SRT” kimyasalı kullanılmıştır. Kullanılan yardımcı kimyasalların teknik özellikleri tablo 3.4'te verilmiştir.

**Tablo 3.3:** Boya banyoları için hazırlanan ötektik karışımlar.

	1. Komponent	2. Komponent	3. Komponent	Mol Oranı
1	Kolinklorür	Üre		1:2
2	Kolinklorür	Gliserin		1:1
3	Kolinklorür	Üre	Gliserin	1:1:1
4	Gliserin	Asetik Asit		1:1
5	Glukozmonohidrat	Asetik Asit		1:2
6	Trikloropropilfosfat (TCPP)	Asetik Asit		1:3
7	Trietilfosfat	Asetik Asit		1:3
8	Gliserol	Asetik Asit		1:2
9	Monoetilengikol	Asetik Asit		1:2

**Tablo 3.4:** Kullanılan yardımcı kimyasalların teknik özellikleri.

	Hydrofiber SRT	Univadine MC
<b>Kimyasal Yapısı</b>	Yağ asidi etoksile ve ester karışımları	Anyonik sürfaktanların ve yağlı amin etoksilatların kombinasyonu
<b>İyonik Karakter</b>	Nonyonik	Anyonik/Nanyonik
<b>Fiziksel Form</b>	Bej-Sarımtırak Kıvamlı Jelimsi	Temiz, açık sarı, düşük viskoziteli sıvı
<b>Uygulama pH Değeri</b>	4.00-5.00	6.00-8.00
<b>Depolama Stabilitesi</b>	Standart koşullar altında 6 ay	20 °C'de 1 yıl

## 3.2. CİHAZLAR ve YÖNTEMLER

### 3.2.1. Boyama Cihazı ve Boya Prosesi

Laboratuvarda her bir deneme dikişsiz giyim için hazırlanan örme kumaşlardan 5 gr tartılarak yapılmıştır. Boya banyoları 1/10 flotte oranında 50 mL olarak hazırlanmıştır. Boyar maddeler alternatif olarak kullanılan çözücülerde çözülerek ilave kimyasallarla beraber çözücüyle 50 mL'ye tamamlanmış ve kumaşla birlikte şekil 3.5'te görseli verilen numune

boyama makinesinde standart boyama prosesinde boyanmıştır. Çözücü seçiminde denemeler 98 °C’de 60 dakika prosesle yardımcı kimyasallar eklenmiş halde yapılmıştır. Daha sonra en iyi sonuçların çıktığı çözücü ile, yardımcı kimyasalların tek tek ve hiç eklenmeden denendiği ve farklı sıcaklıkların kullanıldığı denemeler yapılmıştır.



Şekil 3.5: Laboratuvar numune boyama makinesi.

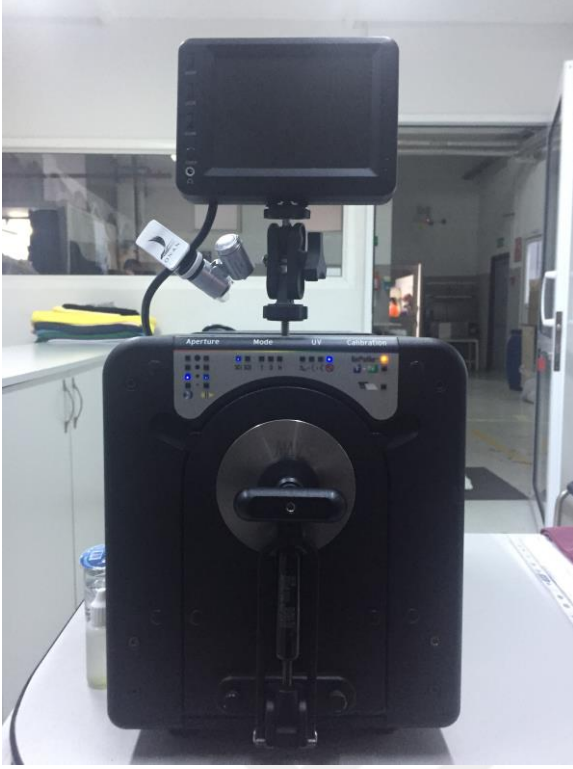
### 3.2.2. Test Cihazları ve Uygulanan Test Yöntemleri

#### 3.2.2.1. Spektral Renk Analizi

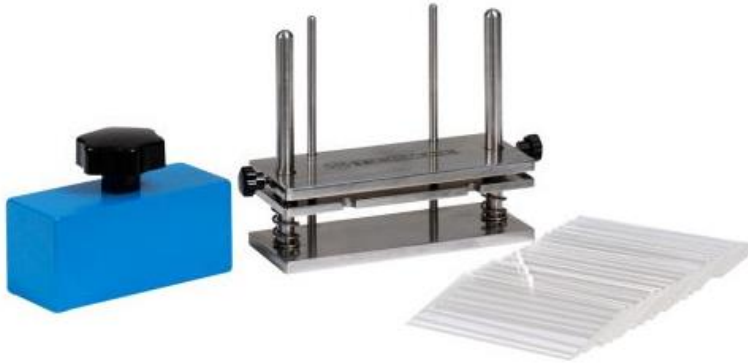
Boyama sonucu elde edilen kumaşların renk sapmaları, şekil 3.6’da görseli verilen spektral renk analiz cihazında, standart boyamaya göre yapılan çalışmalar referans olarak okutularak tespit edilmiştir. Sonuçlar değerlendirilirken, tekstil sektöründe genel olarak kabul görmüş olan “1” değeri sınır olarak kabul edilmiştir.

#### 3.2.2.2. Uygulanan Haslık Testleri

Boya sonrası elde edilen her bir kumaş parçasının, yıkama haslığı, su haslığı, asit-alkali ter haslığı ve kuru-yaş sürtme haslığı değerlerine bakılmıştır. Yıkama haslığı ISO 105 C06 A2S, su haslığı ISO 105 E01, asit-alkali ter haslığı ISO 105 E04, kuru-yaş sürtme haslığı ise ISO 105X12 standartlarında ölçülmüş ve değerlendirilmiştir. Tekstil sektöründe genel olarak kabul edilen haslık değeri sonucu minimum 3/4 değeridir. Yıkama testleri daha önce görseli şekil 3.5’te verilen numune boyama makinesinde, su ve ter haslığı denemeleri ise şekil 3.7’de verilmiş olan test cihazları ile yapılmıştır. Kuru-yaş sürtme haslıkları ise şekil 3.8’de görseli verilen cihazla ölçülmüştür.



Şekil 3.6: Laboratuvar spektral renk analiz cihazı.



Şekil 3.7: Laboratuvar su ve ter haslığı test cihazı.



Şekil 3.8: Laboratuvar kuru-yaş sürtme ölçüm cihazı.

## 4. BULGULAR

Tez çalışması kapsamında poliamid yapıları sentetik kumaşların su kullanılmadan boyanmasına alternatif bir banyo çözeltisi geliştirmeye yönelik deneysel çalışmalar yürütülmüştür. Öncelikle su ile yapılan standart ticari işlem (pH, yardımcı tekstil kimyasal ilavesi, sıcaklık ve boya konsantrasyonu vb.) farklı çözücü alternatifleri kullanılarak uygulanmıştır. Sonuçlar üzerinden seçilen çözücü belirlenerek prosese ait diğer parametreler alternatif çözücü kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

### 4.1. ÇÖZÜCÜ SEÇİMİ DENEMELERİ

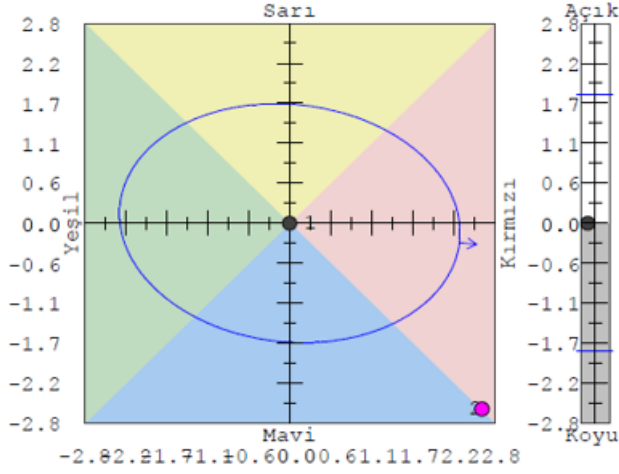
#### 4.1.1. Tek Komponentli Çözücüler ile Gerçekleştirilen Denemeler

Bu deney setinde ilk olarak kullanılabilecek alternatifler içinden standart prosesten daha iyi veya yakın sonuçlar alabileceğimiz bir çözücü elde etmek hedefi ile çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Çözücü seçimi için yapılan denemeler sonucunda elde edilen farklı haslık değerleri Tablo 4.1-4.9, aynı deney setlerine ait renk uyumu için gerçekleştirilen spektral renk analizlerinin sonuçları Şekil 4.1-4.9'da sunulmuştur.

**Tablo 4.1:** Gliserin banyosunda gerçekleştirilen boyama sonucunda elde edilen haslık testlerine ait sonuçlar.

	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	4/5	4	4	4/5	4/5	4/5
Su Haslığı	4/5	4	4	4	4/5	4
Asit Ter Haslığı	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4
Alkali Ter Haslığı	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4
Kuru Sürtme	4/5		Yaş Sürtme		4/5	

dCIELab: D65-10



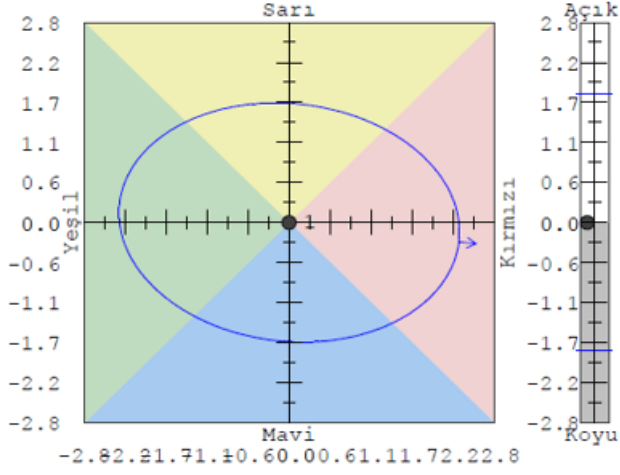
<u>Numune Adı</u>	<u>DEcmc</u>	<u>P/F DEcmc</u>
Gliserin	3,13	<b>Başarısız</b>
F02-10 CWF)	3,23	
A -10	3,02	

Şekil 4.1: Gliserin banyosunda gerçekleştirilen boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.

Tablo 4.2: Fındık yağı banyosunda gerçekleştirilen boyama sonucunda elde edilen haslık testlerine ait sonuçlar.

	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Su Haslığı	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Asit Ter Haslığı	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Alkali Ter Haslığı	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Kuru Sürtme	4/5		Yaş Sürtme		4/5	

dCIELab: D65-10



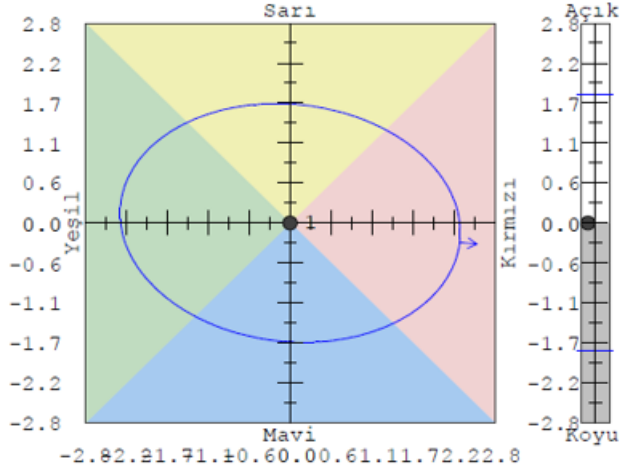
<u>Numune Adı</u>	<u>DEcmc</u>	<u>P/F DEcmc</u>
Fındık Yağı	32,66	<b>Başarısız</b>
F02-10 CWF)	30,34	
A -10	30,86	

Şekil 4.2: Fındık yağı banyosunda gerçekleştirilen boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.

Tablo 4.3: Ceviz yağı banyosunda gerçekleştirilen boyama sonucunda elde edilen haslık testlerine ait sonuçlar.

	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Su Haslığı	4/5	4/5	4	4/5	4/5	4/5
Asit Ter Haslığı	4/5	4/5	4	4/5	4/5	4/5
Alkali Ter Haslığı	4/5	4/5	4	4/5	4/5	4/5
Kuru Sürtme	4/5		Yaş Sürtme		4/5	

dCIELab: D65-10



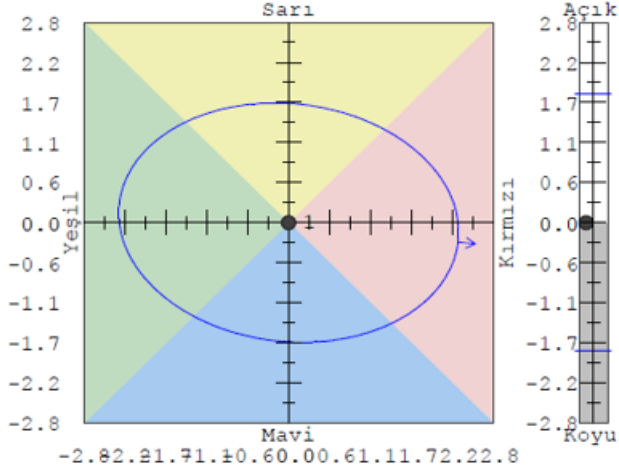
<u>Numune Adı</u>	<u>DEcmc</u>	<u>P/F DEcmc</u>
Ceviz Yağı	24,74	<b>Başarısız</b>
F02-10 CWF)	23,14	
A -10	22,03	

**Şekil 4.3:** Ceviz yağı banyosunda gerçekleştirilen boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.

**Tablo 4.4:** Ayçiçek yağı banyosunda gerçekleştirilen boyama sonucunda elde edilen haslık testlerine ait sonuçlar.

	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Su Haslığı	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Asit Ter Haslığı	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Alkali Ter Haslığı	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Kuru Sürtme	4/5		Yağ Sürtme		4/5	

dCIELab: D65-10



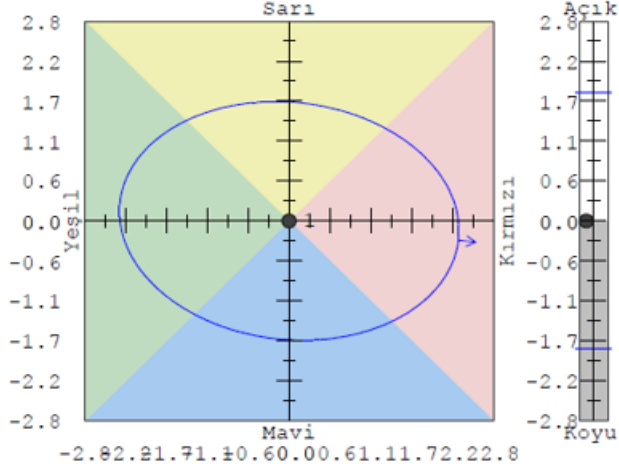
<b>Numune Adı</b>	<b>DEcmc</b>	<b>P/F DEcmc</b>
Ayçiçek Yağı	32,02	<b>Başarısız</b>
F02-10 CWF)	29,89	
A -10	27,93	

**Şekil 4.4:** Ayçiçek yağı banyosunda gerçekleştirilen boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.

**Tablo 4.5:** MEG banyosunda gerçekleştirilen boyama sonucunda elde edilen haslık testlerine ait sonuçlar.

	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Su Haslığı	4/5	4/5	4	4/5	4/5	4/5
Asit Ter Haslığı	4/5	4	4	4/5	4/5	4/5
Alkali Ter Haslığı	4	4	3/4	4	4	4
Kuru Sürtme	4/5		Yaş Sürtme		4/5	

dCIELab: D65-10



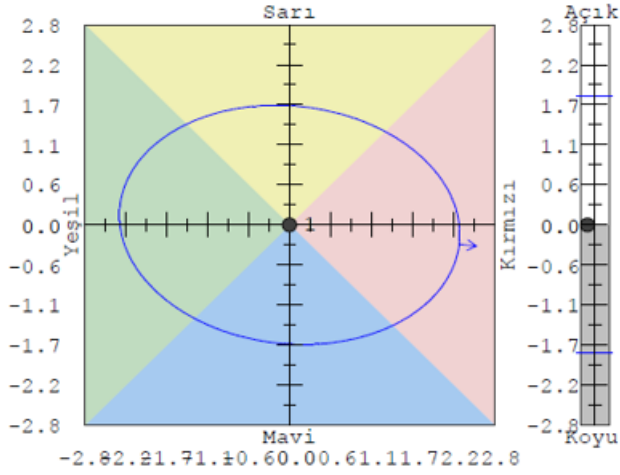
<u>Numune Adı</u>	<u>DEcmc</u>	<u>P/F DEcmc</u>
MEG	7,00	<b>Başarısız</b>
F02-10 CWF)	6,81	
A -10	7,31	

Şekil 4.5: MEG banyosunda gerçekleştirilen boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.

Tablo 4.6: Aspir yağı banyosunda gerçekleştirilen boyama sonucunda elde edilen haslık testlerine ait sonuçlar.

	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Su Haslığı	4/5	4/5	4	4/5	4/5	4/5
Asit Ter Haslığı	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Alkali Ter Haslığı	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Kuru Sürtme	4/5		Yaş Sürtme		4/5	

dCIELab: D65-10



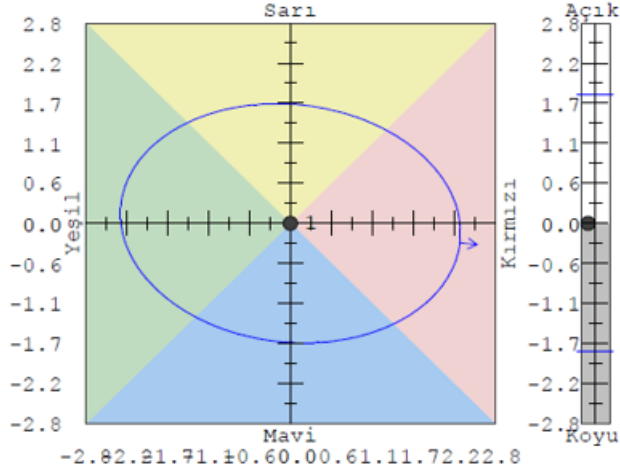
<b>Numune Adı</b>	<b>DEcmc</b>	<b>P/F DEcmc</b>
Aspir Yağı	27,79	<b>Başarısız</b>
F02-10 CWF)	26,04	
A -10	24,58	

Şekil 4.6: Aspir yağı banyosunda gerçekleştirilen boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.

Tablo 4.7: Silikon yağı banyosunda gerçekleştirilen boyama sonucunda elde edilen haslık testlerine ait sonuçlar.

	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	4/5	4	4/5	4/5	4/5	4/5
Su Haslığı	3	2/3	2	4/5	4/5	3/4
Asit Ter Haslığı	4/5	4	1/2	4/5	4/5	4/5
Alkali Ter Haslığı	4	3/4	1	3/4	3/4	2
Kuru Sürtme	3/4		Yaş Sürtme		1	

dCIELab: D65-10



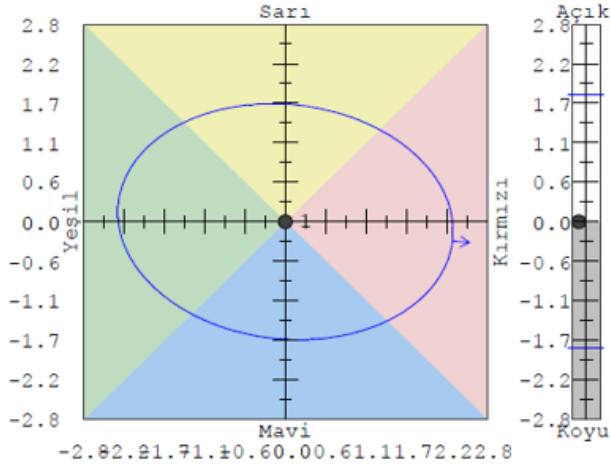
<b>Numune Adı</b>	<b>DEcmc</b>	<b>P/F DEcmc</b>
Silikon Yağı	13,33	<b>Başarısız</b>
F02-10 CWF)	12,48	
A -10	12,11	

Şekil 4.7: Silikon yağı banyosunda gerçekleştirilen boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.

Tablo 4.8: PG banyosunda gerçekleştirilen boyama sonucunda elde edilen haslık testlerine ait sonuçlar.

	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Su Haslığı	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Asit Ter Haslığı	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Alkali Ter Haslığı	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Kuru Sürtme	4/5		Yaş Sürtme		4/5	

dCIELab: D65-10



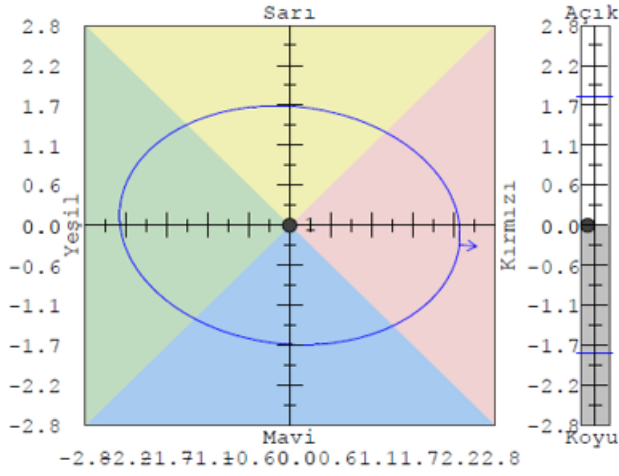
<u>Numune Adı</u>	<u>DEcmc</u>	<u>P/F DEcmc</u>
PG	12,90	<b>Başarısız</b>
F02-10 CWF)	12,34	
A-10	11,34	

Şekil 4.8: PG banyosunda gerçekleştirilen boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.

Tablo 4.9: Perkloretilen banyosunda gerçekleştirilen boyama sonucunda elde edilen haslık testlerine ait sonuçlar.

	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	5	5	5	5	5	5
Su Haslığı	4/5	4/5	3/4	4/5	5	4/5
Asit Ter Haslığı	4/5	4/5	4/5	4/5	5	4/5
Alkali Ter Haslığı	5	3/4	4	3/4	4	4
Kuru Sürtme	4/5		Yaş Sürtme		4	

dCIELab: D65-10



<b>Numune Adı</b>	<b>DEcmc</b>	<b>P/F DEcmc</b>
Perkloretilen	8,38	<b>Başarısız</b>
F02-10 CWF)	8,12	
A -10	8,35	

**Şekil 4.9:** Perkloretilen banyosunda gerçekleştirilen boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.

#### 4.1.2. Çözücü Karışımları ile Gerçekleştirilen Denemeler

Saf çözücü denemelerinden sonra çözücü karışımlarının boya banyosu olarak kullanıldığı denemeler gerçekleştirilmiştir. Bu denemelerde son yıllarda çevre dostu tüm uygulamalar için kullanılan yeni nesil çözücü ötektik karışımlar kullanılmıştır.

İlk grup çözücü karışımlarının denemelerinde üç farklı derin ötektik çözücü karışımı ile çalışma yapılmıştır. Birinci çözücü olarak kolin klorür ve üre, ikinci çözücü olarak kolin klorür ve gliserin, üçüncü çözücü olarak da kolin klorür, üre ve gliserin içeren çözeltiler hazırlanmıştır.

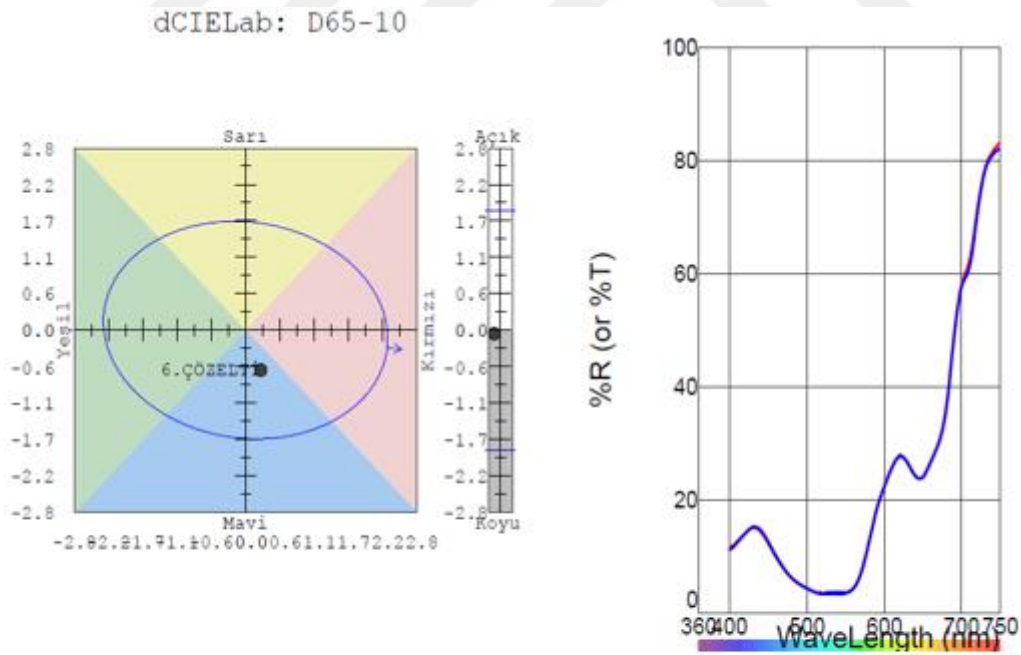
Sulu çözelti ile çalışılan boya banyosunda pH bu boya grupları için 4-4,5 olarak hedeflenmekte ve 1,5 gr/lt asit donör boya banyosuna ilave edilerek prosese girilmektedir. Çalışmada kullanılan derin ötektik çözücülerin kullanıldığı çalışmalarda 1,5 gr/lt asit donör ile girilen boya banyolarında pH 6,5 seviyelerine kadar indirilebilmiştir ve boyama sonrası banyonun çıkış pH'ı 8,5 seviyelerinde gerçekleşmiştir. Kolin klorür ve üre karışımı ile derin ötektik çözücüyle yapılan ikinci bir çalışmada, ilave olarak 15 gr/lt asetik asit eklenerek giriş pH'ı 4,6'ya ayarlanan boyama denemesinde çıkış pH'ı 4,5 olması gerekirken, 6,7 olarak ölçülmüştür. Denemeler sonucunda boya çekiminin bir miktar daha arttığı, fakat standart sulu

çözelti ile yapılan boyama sonucu elde edilen boya çekim miktarından uzakta kaldığı gözlemlenmiştir.

Çıkış banyosunda istenen pH değerinin elde edilememesi ve boyama işleminin gerçekleştirilememesi nedeniyle bu denemelerin haslık ve spektral renk analizi değerlerine bakılamamıştır. Bu nedenle bundan sonraki alternatif çözücü karışımı denemelerinde komponentlerden birisi asetik asit olarak seçilmiş ve boyama prosesine uygun pH değerlerinde çalışmaların gerçekleşmesi sağlanmıştır.

**Tablo 4.10:** Gliserin + Asetik Asit banyosunda gerçekleştirilen boyama sonucunda elde edilen haslık testlerine ait sonuçlar.

	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	5	5	5	5	5	5
Su Haslığı	5	5	5	5	5	5
Asit Ter Haslığı	5	5	5	5	5	5
Alkali Ter Haslığı	5	5	5	5	5	5
Kuru Sürtme	5		Yaş Sürtme		5	

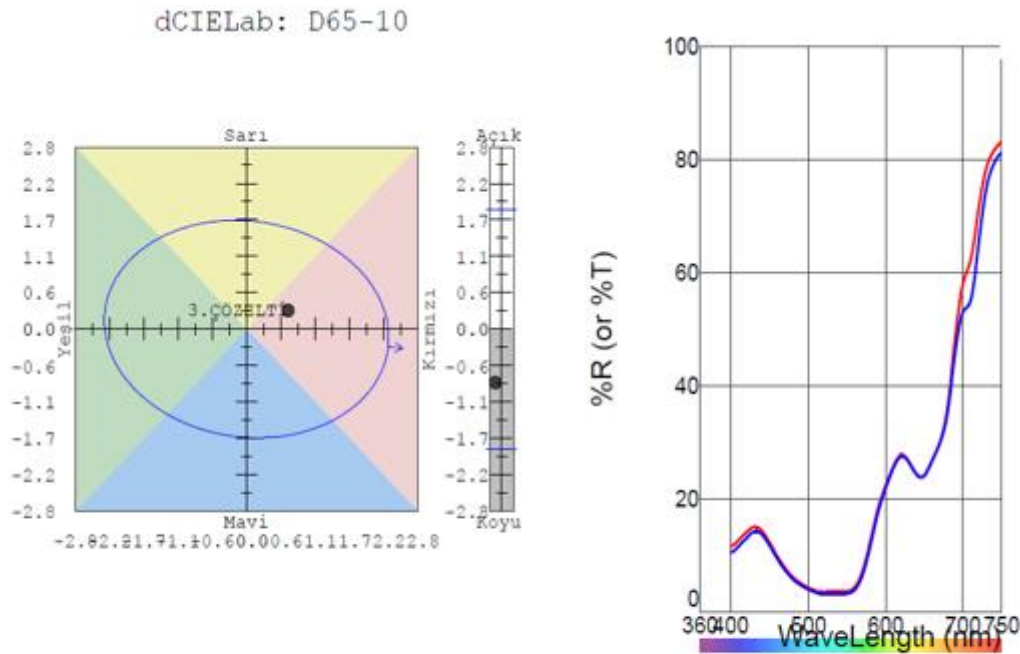


<b>Numune Adı</b>	<b>DEcmc</b>	<b>P/F DEcmc</b>
Gliserin + Asetik Asit F02-10 CWF)	0,37	<b>Geçer</b>
A-10	0,47	
	0,39	

**Şekil 4.10:** Gliserin + Asetik Asit banyosunda gerçekleştirilen boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.

**Tablo 4.11:** Glukozmonohidrat + Asetik Asit banyosunda gerçekleştirilen boyama sonucunda elde edilen haslık testlerine ait sonuçlar.

	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	5	5	5	5	5	5
Su Haslığı	5	5	5	5	5	5
Asit Ter Haslığı	5	5	5	5	5	5
Alkali Ter Haslığı	5	5	5	5	5	5
Kuru Sürtme	5		Yaş Sürtme		5	

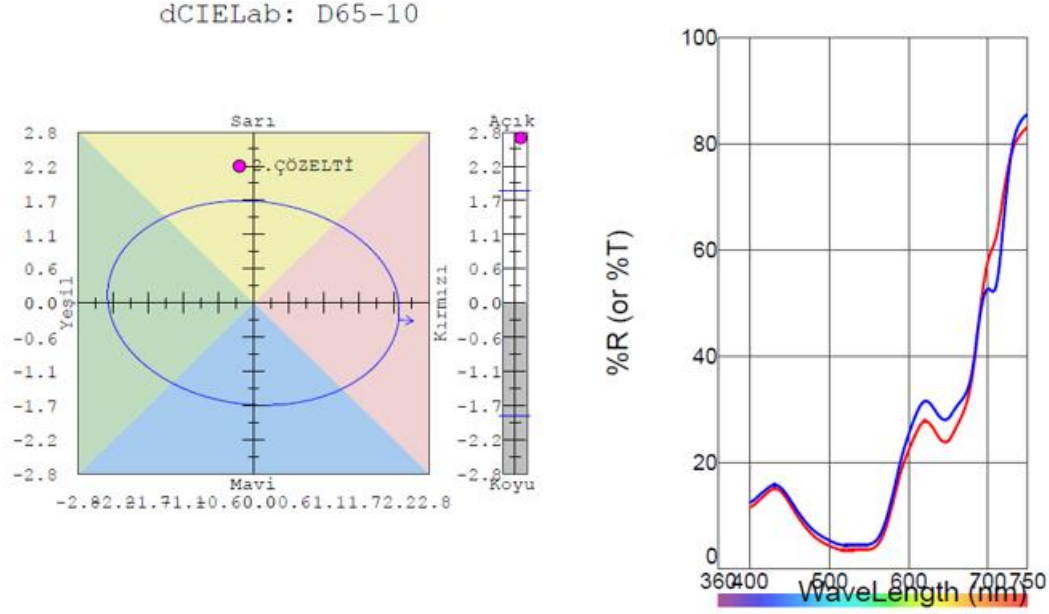


<b>Numune Adı</b>	<b>DEcmc</b>	<b>P/F DEcmc</b>
Glikozmonohidrat + Asetik Asit	0,75	<b>Geçer</b>
F02-10 CWF)	0,82	
A-10	0,67	

**Şekil 4.11:** Glukozmonohidrat + Asetik Asit banyosunda gerçekleştirilen boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.

**Tablo 4.12:** TCPP + Asetik Asit banyosunda gerçekleştirilen boyama sonucunda elde edilen haslık testlerine ait sonuçlar.

	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	5	5	5	5	5	5
Su Haslığı	4/5	4	3	4	4/5	3/4
Asit Ter Haslığı	5	4/5	3/4	4/5	4/5	3/4
Alkali Ter Haslığı	4/5	3/4	3/4	4	4	3/4
Kuru Sürtme	4		Yaş Sürtme		4/5	

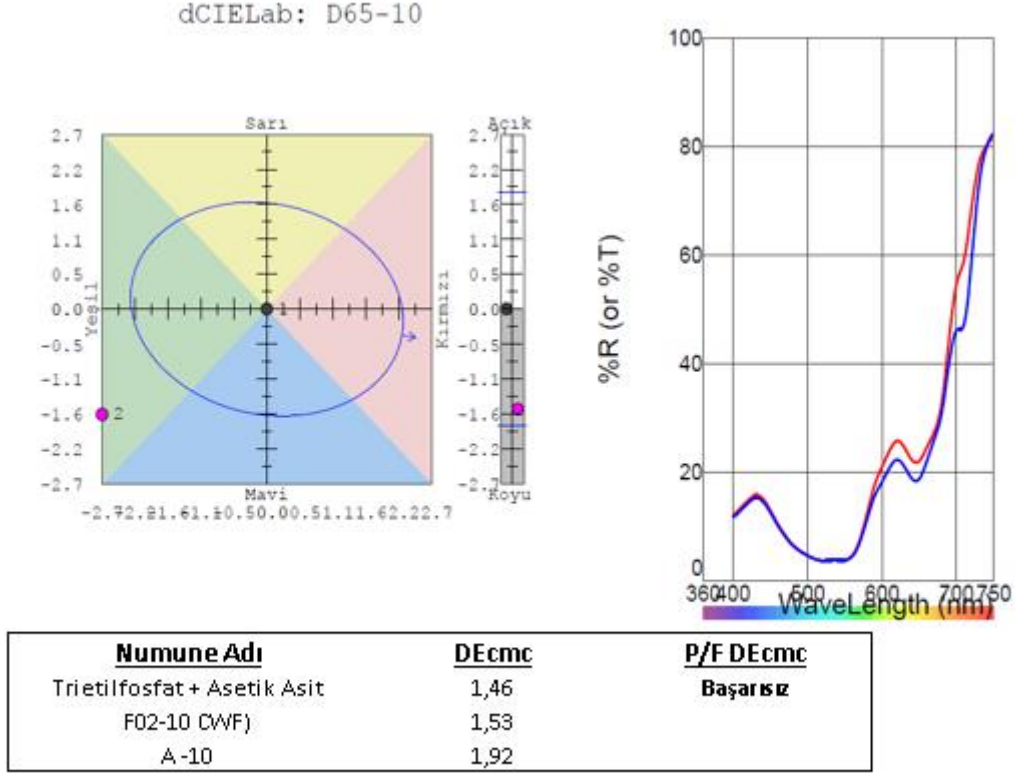


<u>Numune Adı</u>	<u>DEcmc</u>	<u>P/F DEcmc</u>
TCPP + Asetik Asit	1,99	<b>Başarısız</b>
F02-10 CWF)	2,20	
A -10	2,07	

**Şekil 4.12:** TCPP + Asetik Asit banyosunda gerçekleştirilen boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.

**Tablo 4.13:** Trietilfosfat + Asetik Asit banyosunda gerçekleştirilen boyama sonucunda elde edilen haslık testlerine ait sonuçlar.

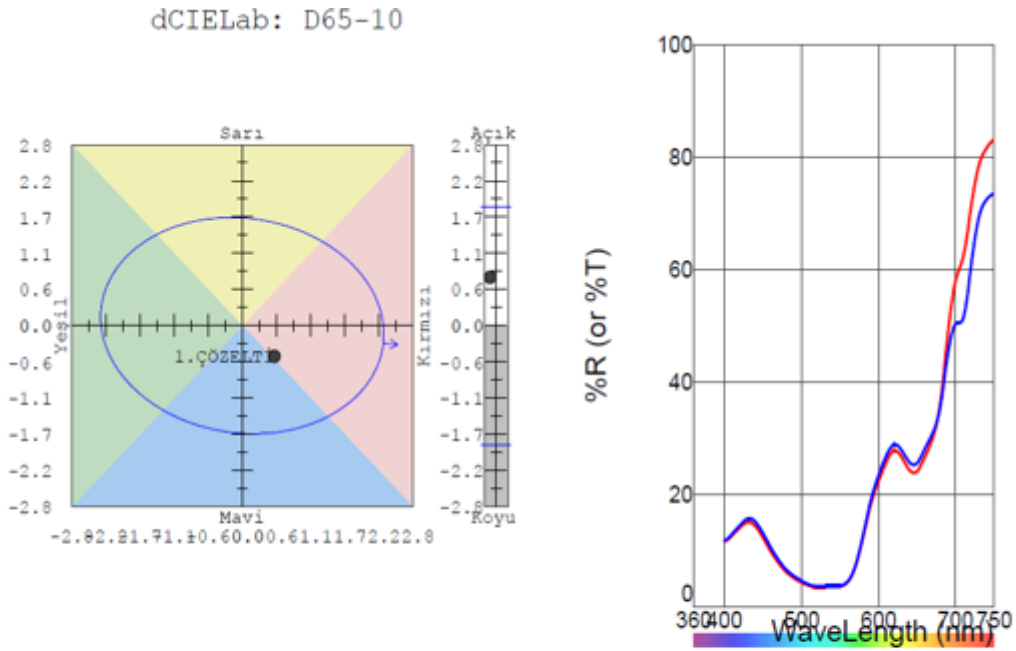
	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	5	5	5	5	5	5
Su Haslığı	4/5	4/5	4/5	5	5	4/5
Asit Ter Haslığı	5	5	4/5	5	5	5
Alkali Ter Haslığı	5	4/5	4/5	4/5	5	4/5
Kuru Sürtme	5		Yaş Sürtme		5	



**Şekil 4.13:** Trietilfosfat + Asetik Asit banyosunda gerçekleştirilen boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.

**Tablo 4.14:** Gliserol + Asetik Asit banyosunda gerçekleştirilen boyama sonucunda elde edilen haslık testlerine ait sonuçlar.

	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	5	5	5	5	5	5
Su Haslığı	5	4/5	4/5	5	5	4/5
Asit Ter Haslığı	5	4/5	4	4/5	4/5	4
Alkali Ter Haslığı	5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Kuru Sürtme	4/5		Yaş Sürtme		4/5	

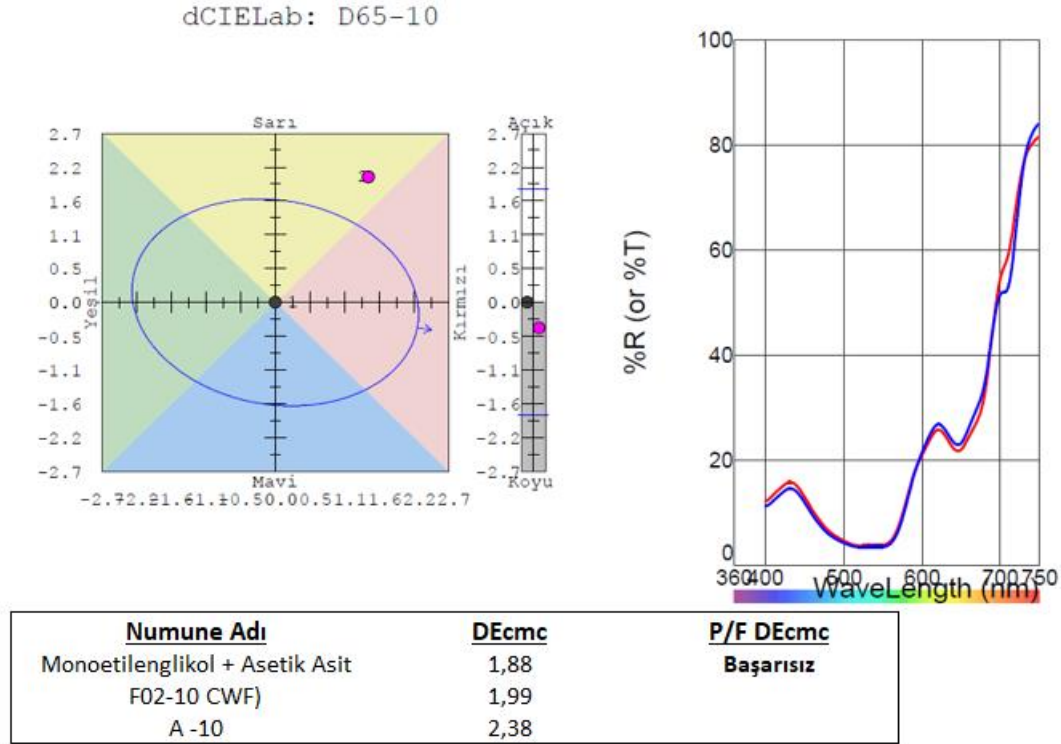


<u>Numune Adı</u>	<u>DEcmc</u>	<u>P/F DEcmc</u>
Gliserol + Asetik Asit	0,57	<b>Geçer</b>
F02-10 CWF)	0,58	
A -10	0,55	

**Şekil 4.14:** Gliserol + Asetik Asit banyosunda gerçekleştirilen boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.

**Tablo 4.15:** Monoetilenglikol + Asetik Asit banyosunda gerçekleştirilen boyama sonucunda elde edilen haslık testlerine ait sonuçlar.

	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	4/5	4/5	4/5	4/5	5	5
Su Haslığı	4/5	4	4	4/5	4/5	4/5
Asit Ter Haslığı	4/5	4	4	4/5	4/5	4/5
Alkali Ter Haslığı	4	3/4	3/4	4	4/5	4/5
Kuru Sürtme	4/5		Yaş Sürtme		4/5	



**Şekil 4.15:** Monoetilenglikol + Asetik Asit banyosunda gerçekleştirilen boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.

## 4.2. TEKRARLANABİLİRLİK DENEMELERİ

Çözücü seçimi denemelerinde en iyi sonuçların gliserin + asetik asit karışımında elde edilmesi sonrasında boyama prosesinin iyileştirilmesi için gerçekleştirilen çalışmalar bu çözücü kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen sonucun tutarlılığını araştırmak üzere öncelikle yapılan boyama denemeleri standart işlem kullanılarak 3 kez tekrarlanmıştır. 1. denemeden elde edilen kumaş referans olarak spektral renk analiz cihazında okutularak 2. ve 3. denemelerin sonuçları karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre çözücü olarak seçilen gliserin + asetik asit karışımının haslık ve spektral renk analizi değerleri açısından tekrarlanabilirliğinin iyi olduğu sonucuna varılmıştır.

**Tablo 4.16:** Gliserin + Asetik Asit banyosunda gerçekleştirilen tekrarlanabilirlik boyama denemeleri sonucunda 3 grup için elde edilen haslık testlerine ait sonuçlar.

1. Grup 1. Boyama

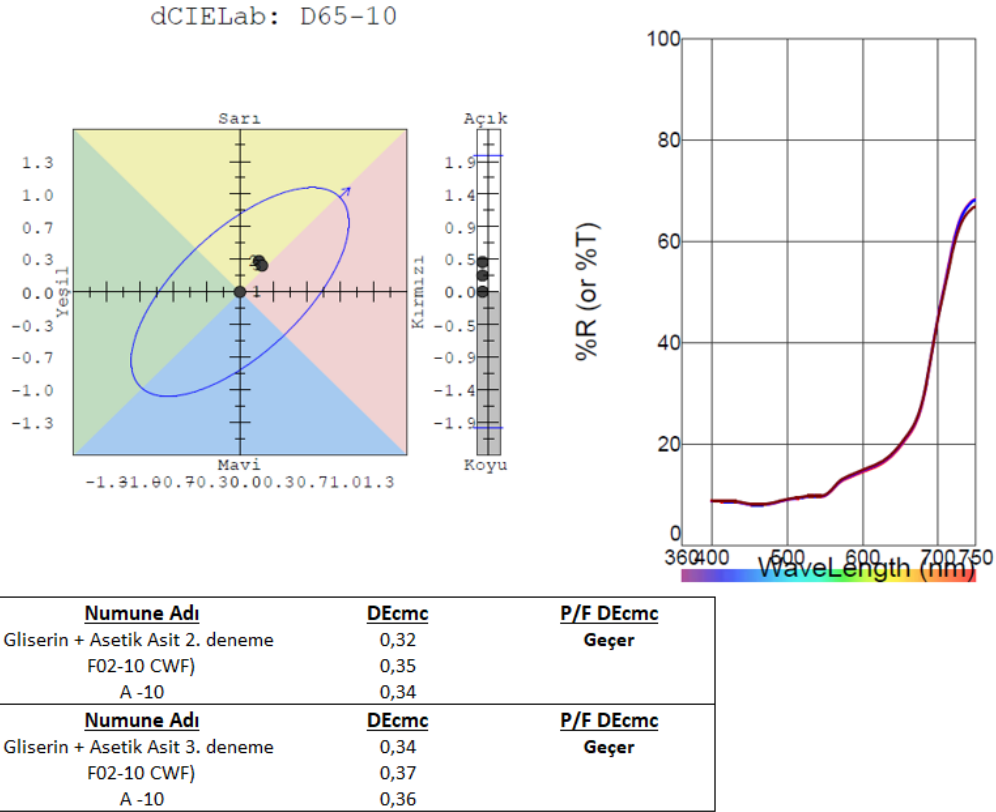
	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	5	5	5	5	5	5
Su haslığı	5	5	5	5	5	5
Asit Ter haslığı	5	5	5	5	5	5
Alkali Ter Halığı	5	5	5	5	5	5
Kuru Sürtme	5		Yaş Sürtme		5	

2. Grup 1. Boyama

	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	5	5	5	5	5	5
Su haslığı	5	5	5	5	5	5
Asit Ter haslığı	5	5	5	5	5	5
Alkali Ter Halığı	5	5	5	5	5	5
Kuru Sürtme	5		Yaş Sürtme		5	

3. Grup 1. Boyama

	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	5	5	5	5	5	5
Su haslığı	5	5	5	5	5	5
Asit Ter haslığı	5	5	5	5	5	5
Alkali Ter Halığı	5	5	5	5	5	5
Kuru Sürtme	5		Yaş Sürtme		5	



**Şekil 4.16:** Gliserin + Asetik Asit banyosunda gerçekleştirilen boyamaların tekrarlanabilirlik renk uyum testi sonuçları.

### 4.3. BOYA BANYOSU ÇIKIŞ ÇÖZELTİSİNİN TEKRAR KULLANIMI DENEMELERİ

Çözücü karışımları ile yapılan denemeler sonucu elde edilen çıkış banyoları sonucunda en iyi sonuçlar gliserin + asetik asit, glukozmonohidrat + asetik asit ve gliserol + asetik asit çözeltilerinde elde edilmiştir. Genel olarak bu çözeltilerle yapılan boyamalarda standart boyama bitiminde arıtmaya gönderilen çıkış banyolarına göre daha az miktarda boya kalıntısı olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç kapsamında çözücü karışımları ile yapılan denemelerden elde edilen çıkış banyolarının tekrar kullanımı sonucu elde edilen haslık ve spektral renk analizi değerler tablo ve şekillerde verilmiştir.

### 4.3.1. Gliserin + Asetik Asit Tekrar Boyama Denemeleri

**Tablo 4.17:** Gliserin + Asetik Asit banyosunda gerçekleştirilen 3 tekrar boyama sonucuna göre elde edilen haslık testlerine ait sonuçlar.

#### 1. Boyama

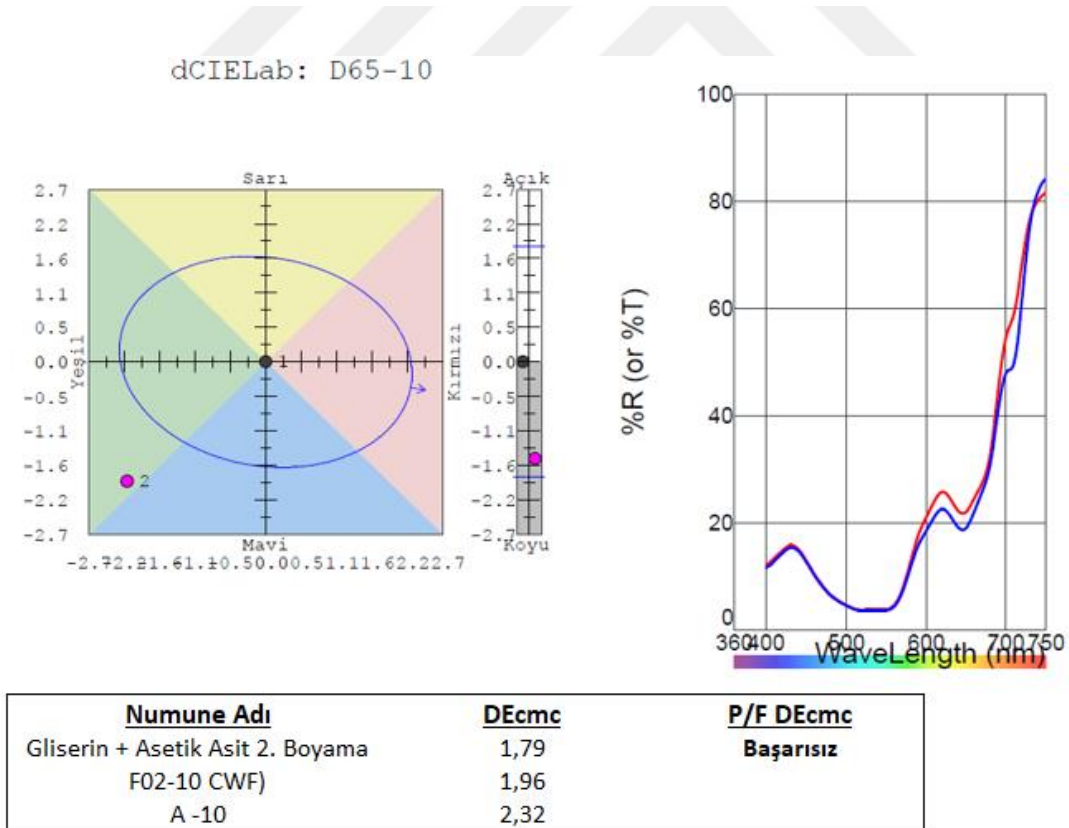
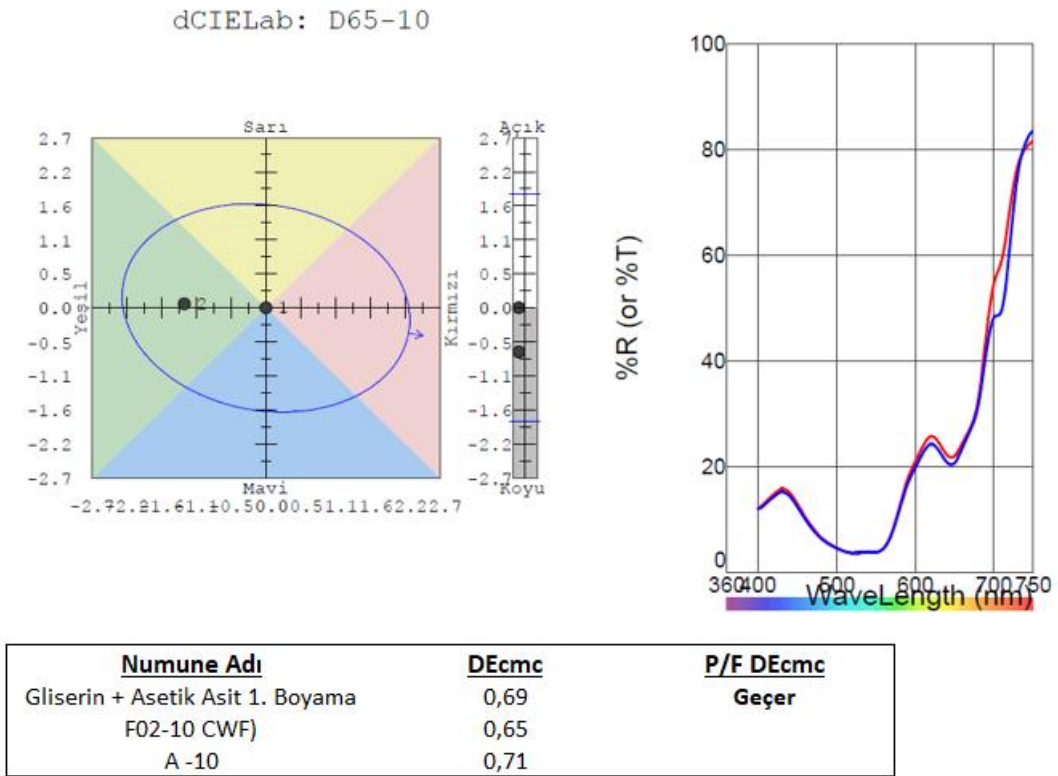
	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	5	5	5	5	5	5
Su Haslığı	5	5	4/5	5	5	5
Asit Ter Haslığı	5	4/5	4/5	4/5	5	5
Alkali Ter Haslığı	5	5	5	5	5	5
Kuru Sürtme	4/5		Yaş Sürtme		4/5	

#### 2. Boyama

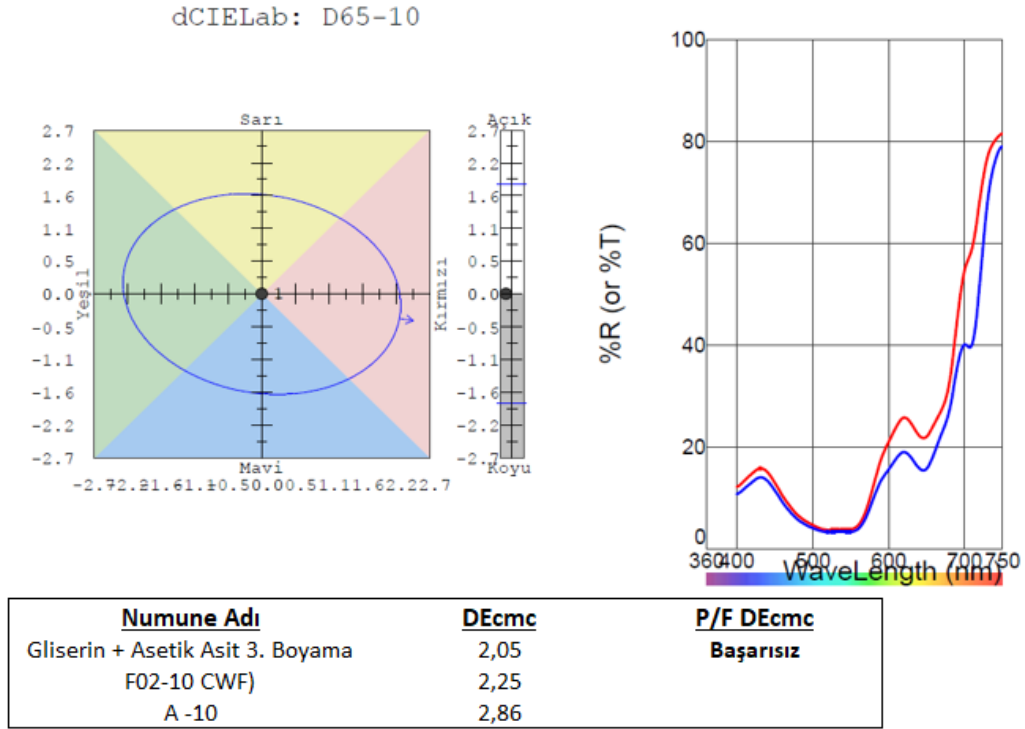
	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	5	5	5	5	5	5
Su Haslığı	5	5	5	5	5	5
Asit Ter Haslığı	5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Alkali Ter Haslığı	5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Kuru Sürtme	4/5		Yaş Sürtme		4/5	

#### 3. Boyama

	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	5	5	5	5	5	5
Su Haslığı	4/5	4/5	4/5	4/5	5	4
Asit Ter Haslığı	5	4/5	4/5	4/5	5	4/5
Alkali Ter Haslığı	5	4/5	4/5	4/5	5	4/5
Kuru Sürtme	4/5		Yaş Sürtme		4/5	



Şekil 4.17: Gliserin + Asetik Asit banyosunda gerçekleştirilen 3 tekrar boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.



**Şekil 4.17 (devam):** Gliserin + Asetik Asit banyosunda gerçekleştirilen 3 tekrar boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.

### 4.3.2. Glukozmonohidrat + Asetik Asit Tekrar Boyama Denemeleri

**Tablo 4.18:** Glukozmonohidrat + Asetik Asit banyosunda gerçekleştirilen 3 tekrar boyama sonucuna göre elde edilen haslık testlerine ait sonuçlar.

#### 1. Boyama

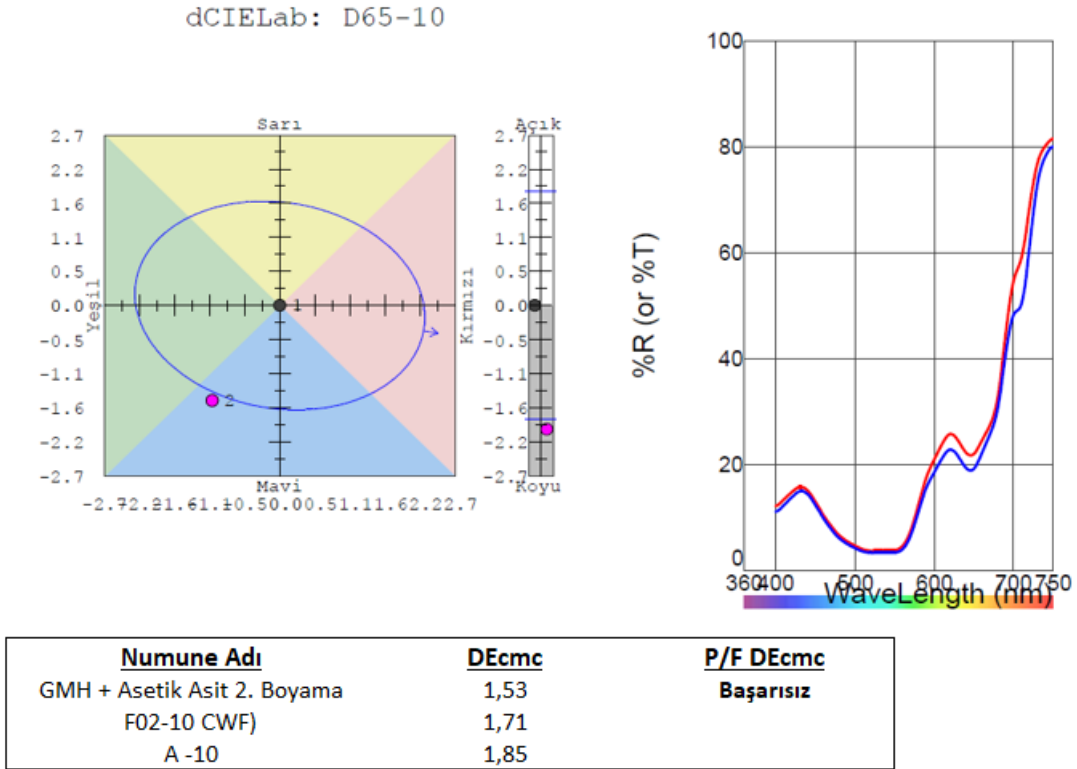
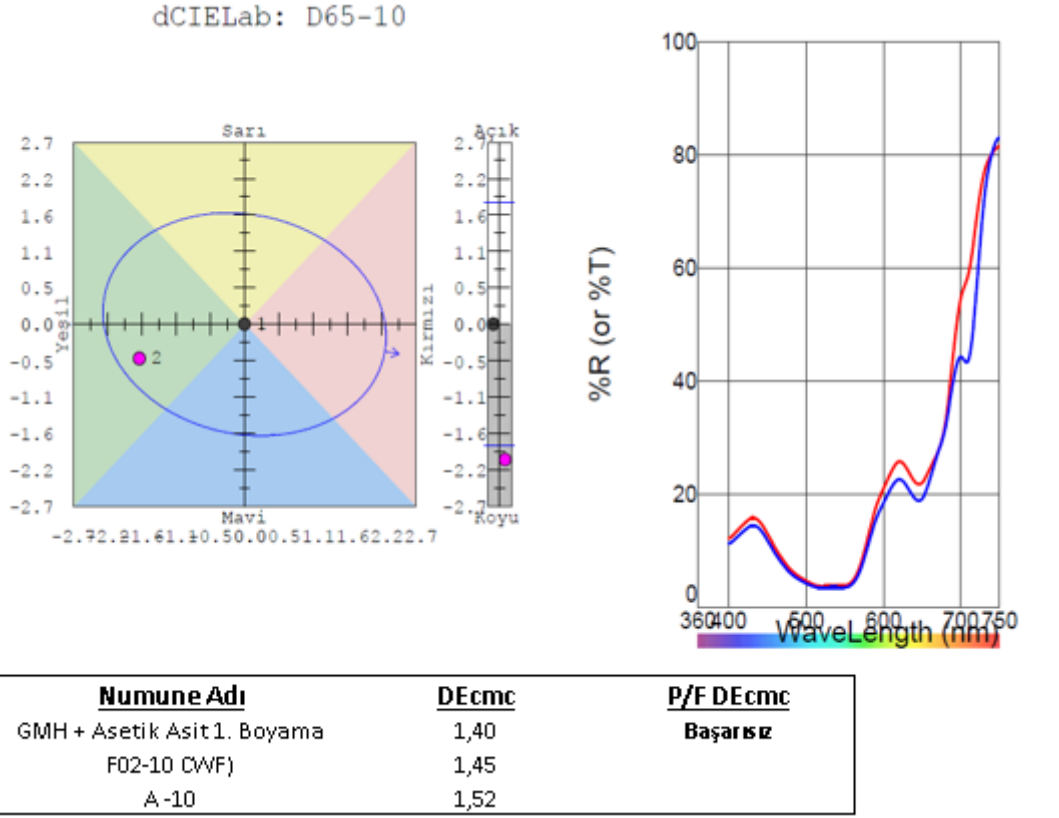
	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	5	5	5	5	5	5
Su Haslığı	5	4/5	4/5	5	5	5
Asit Ter Haslığı	5	4/5	4/5	5	5	5
Alkali Ter Haslığı	4/5	4	4	4/5	5	5
Kuru Sürtme	4/5		Yaş Sürtme		4/5	

#### 2. Boyama

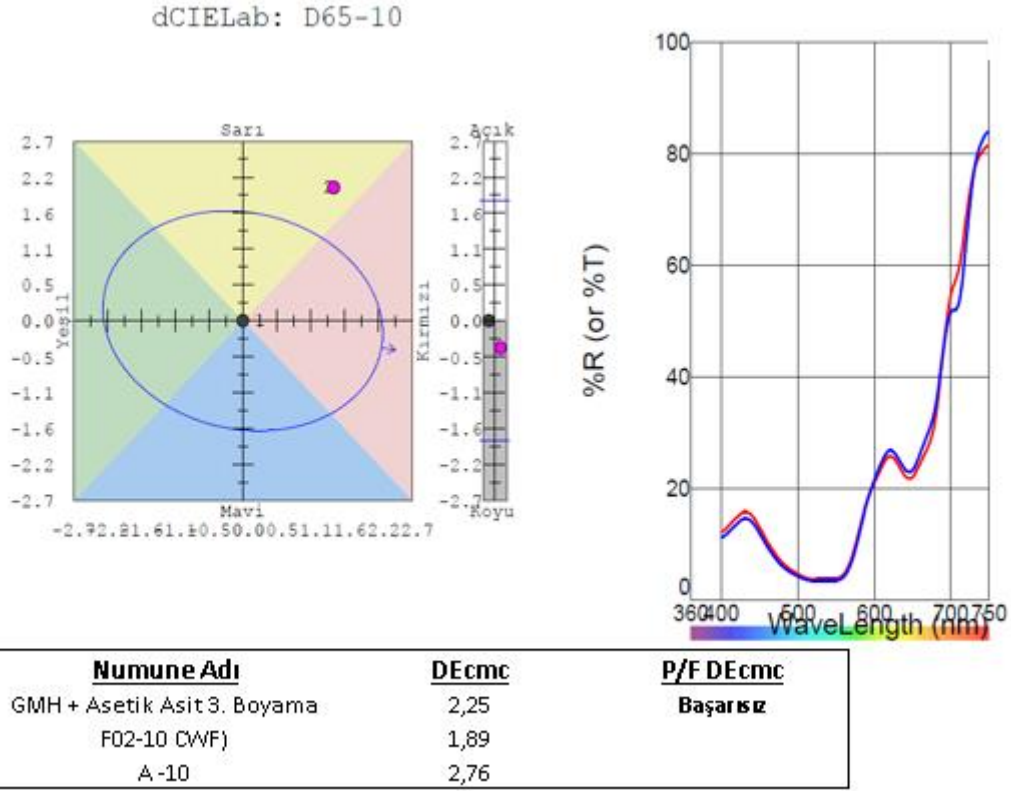
	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	5	5	5	5	5	5
Su Haslığı	5	4/5	4	4/5	5	4/5
Asit Ter Haslığı	5	4/5	4	4/5	5	4/5
Alkali Ter Haslığı	5	4/5	4	4/5	5	4/5
Kuru Sürtme	4/5		Yaş Sürtme		4/5	

#### 3. Boyama

	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	5	5	5	5	5	5
Su Haslığı	4/5	4	3/4	4/5	5	4
Asit Ter Haslığı	4/5	4/5	5	4/5	5	4/5
Alkali Ter Haslığı	4/5	4/5	4/5	4/5	5	4/5
Kuru Sürtme	4/5		Yaş Sürtme		4/5	



**Şekil 4.18:** Glukozmonohidrat + Asetik Asit banyosunda gerçekleştirilen 3 tekrar boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.



**Şekil 4.18 (devam):** Glukozmonohidrat + Asetik Asit banyosunda gerçekleştirilen 3 tekrar boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.

### 4.3.3. Gliserol + Asetik Asit Tekrar Boyama Denemeleri

**Tablo 4.19:** Gliserol + Asetik Asit banyosunda gerçekleştirilen 3 tekrar boyama sonucuna göre elde edilen haslık testlerine ait sonuçlar.

#### 1. Boyama

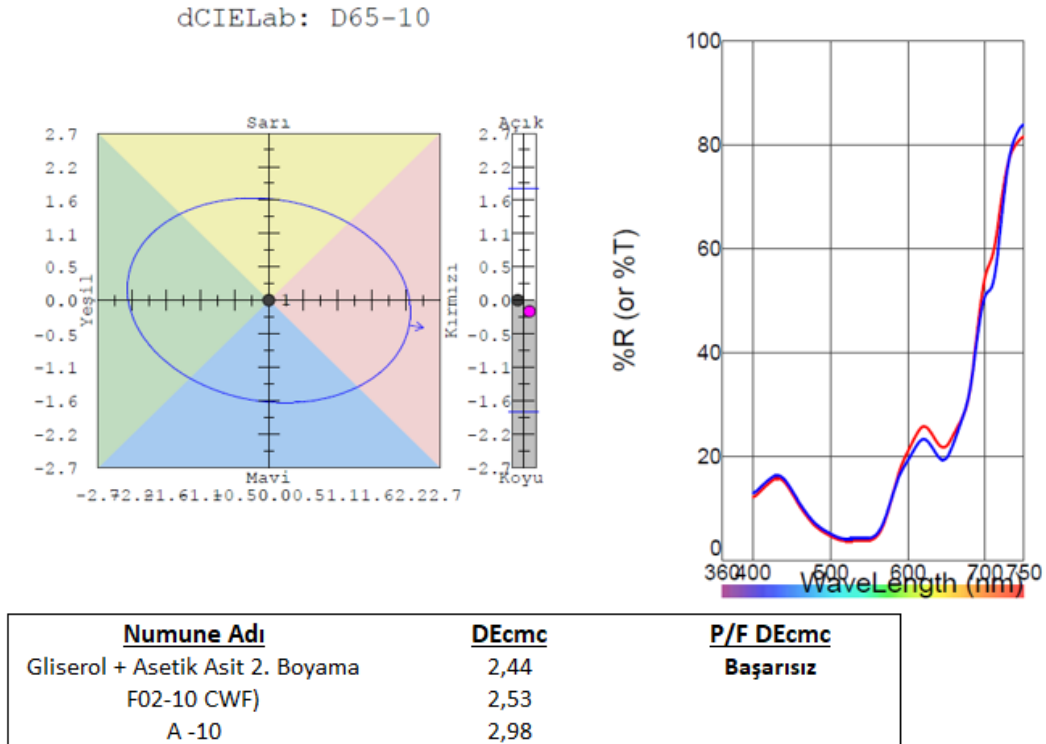
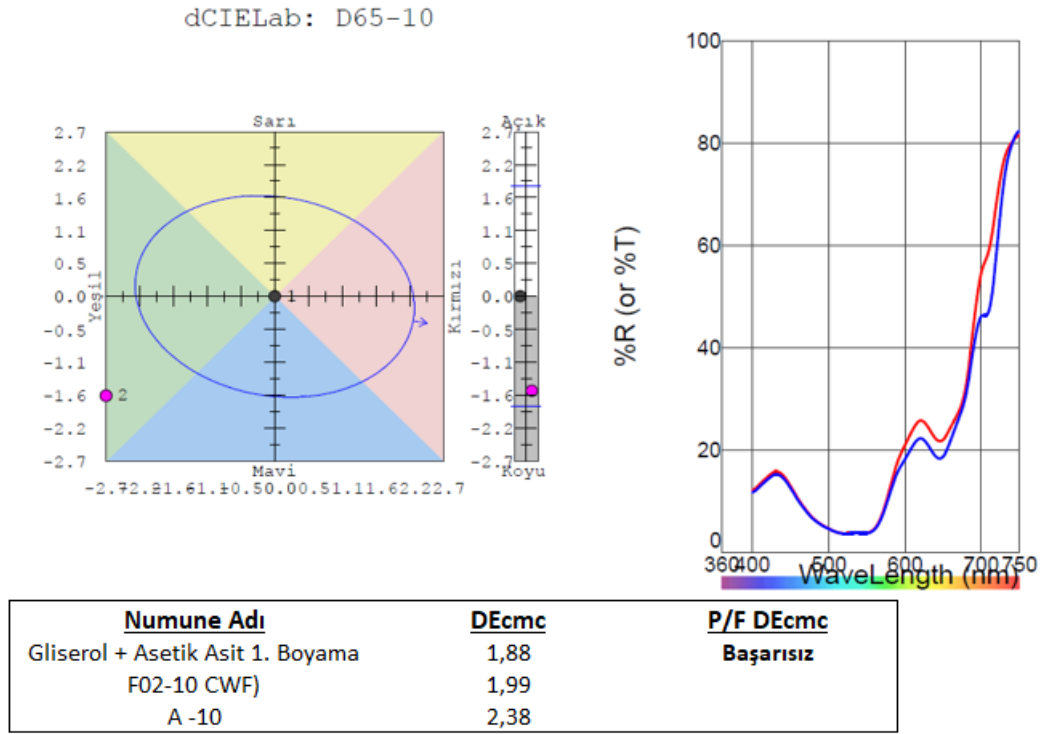
	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	5	5	5	5	5	5
Su Haslığı	5	5	5	5	5	5
Asit Ter Haslığı	5	5	4/5	5	5	4/5
Alkali Ter Haslığı	5	5	5	5	5	5
Kuru Sürtme	4/5		Yaş Sürtme		4/5	

#### 2. Boyama

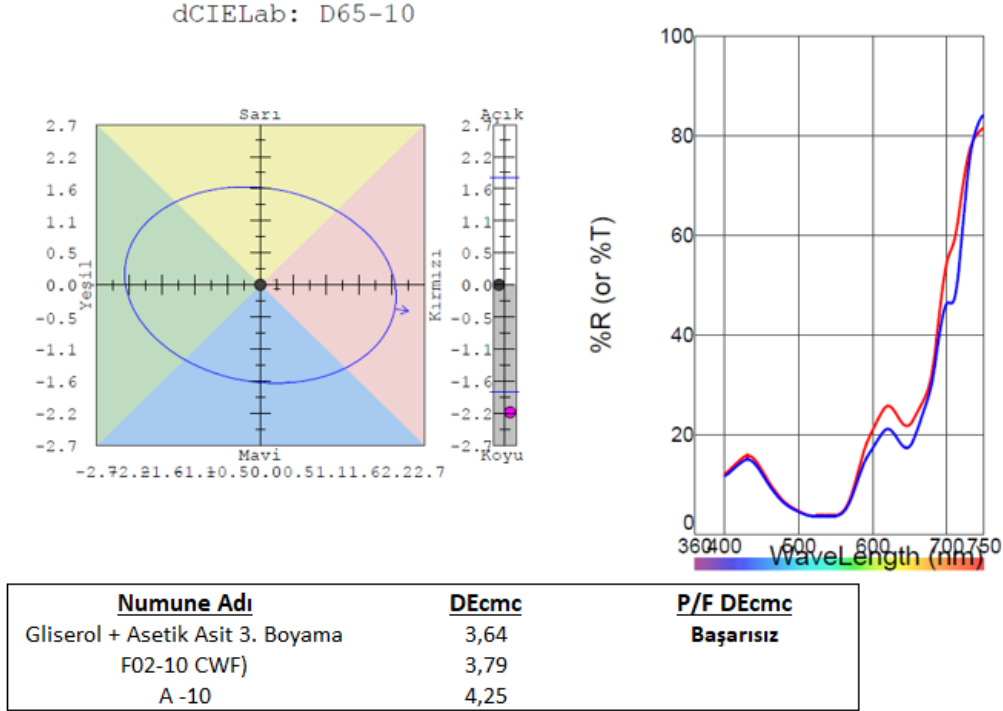
	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	5	5	5	5	5	5
Su Haslığı	5	5	5	5	5	5
Asit Ter Haslığı	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Alkali Ter Haslığı	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Kuru Sürtme	4/5		Yaş Sürtme		4/5	

#### 3. Boyama

	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	5	5	5	5	5	5
Su Haslığı	4/5	4/5	4/5	4/5	5	4
Asit Ter Haslığı	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Alkali Ter Haslığı	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Kuru Sürtme	4/5		Yaş Sürtme		4/5	



**Şekil 4.19:** Gliserol + Asetik Asit banyosunda gerçekleştirilen 3 tekrar boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.



**Şekil 4.19 (devam):** Gliserol + Asetik Asit banyosunda gerçekleştirilen 3 tekrar boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.

#### 4.4. GLİSERİN + ASETİK ASİT ÇÖZELTİSİ SEYRELTME DENEMELERİ

Bu bölümde, daha önceki denemelerde en iyi sonuçların elde edildiği gliserin + asetik asit çözeltisine belli oranlarda su ilave edilerek seyreltme yapılmış ve boyama sonuçlarına göre elde edilen haslık ve spektral renk analizi değerleri analiz edilerek ideal seyreltme oranı üzerinde çalışma yapılmıştır. Seyreltme ile çözelti maliyetinin minimize edilmesi ve bu sayede sanayide ticari olarak suya alternatif olarak kullanılabilen bir çözücü oluşturulması amaçlanmıştır.

##### 4.4.1. Gliserin + Asetik Asit %10-%20-%30 Su İlavesi Denemeleri

Gliserin + asetik asit çözeltisine %10-%20-%30 oranlarında su ilave edilerek seyreltme yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılarak optimum seyreltme değeri elde edilmiştir.

**Tablo 4.20:** Gliserin + Asetik Asit banyosuna %10-%20-%30 su ilavesiyle seyreltme yapılarak gerçekleştirilen boyama sonucuna göre elde edilen haslık testlerine ait sonuçlar.

%10 su ilavesi

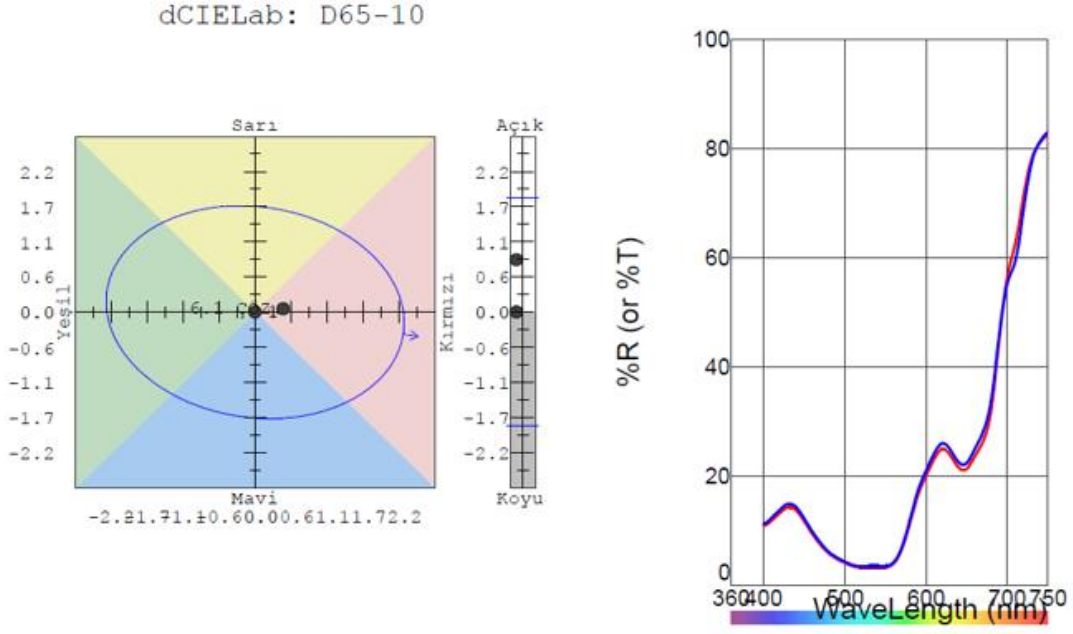
	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	5	4/5	5	5	5	5
Su Haslığı	5	4/5	4/5	5	5	5
Asit Ter Haslığı	5	4/5	4/5	5	5	4/5
Alkali Ter Haslığı	4/5	4/5	4/5	4/5	5	4/5
Kuru Sürtme	5		Yaş Sürtme		5	

%20 su ilavesi

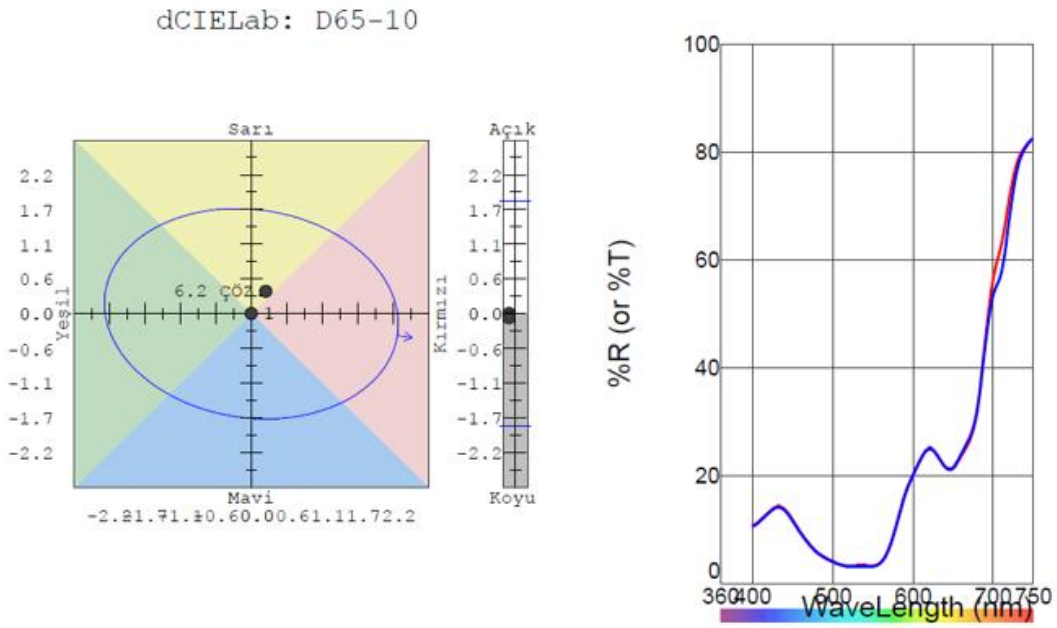
	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	5	5	4/5	5	5	5
Su Haslığı	5	5	4/5	5	5	5
Asit Ter Haslığı	5	5	4/5	5	5	5
Alkali Ter Haslığı	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	5
Kuru Sürtme	5		Yaş Sürtme		5	

%30 su ilavesi

	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	5	5	5	5	5	5
Su Haslığı	5	5	5	5	5	5
Asit Ter Haslığı	5	4/5	4/5	5	5	5
Alkali Ter Haslığı	4/5	4	4	4/5	4/5	4/5
Kuru Sürtme	5		Yaş Sürtme		5	

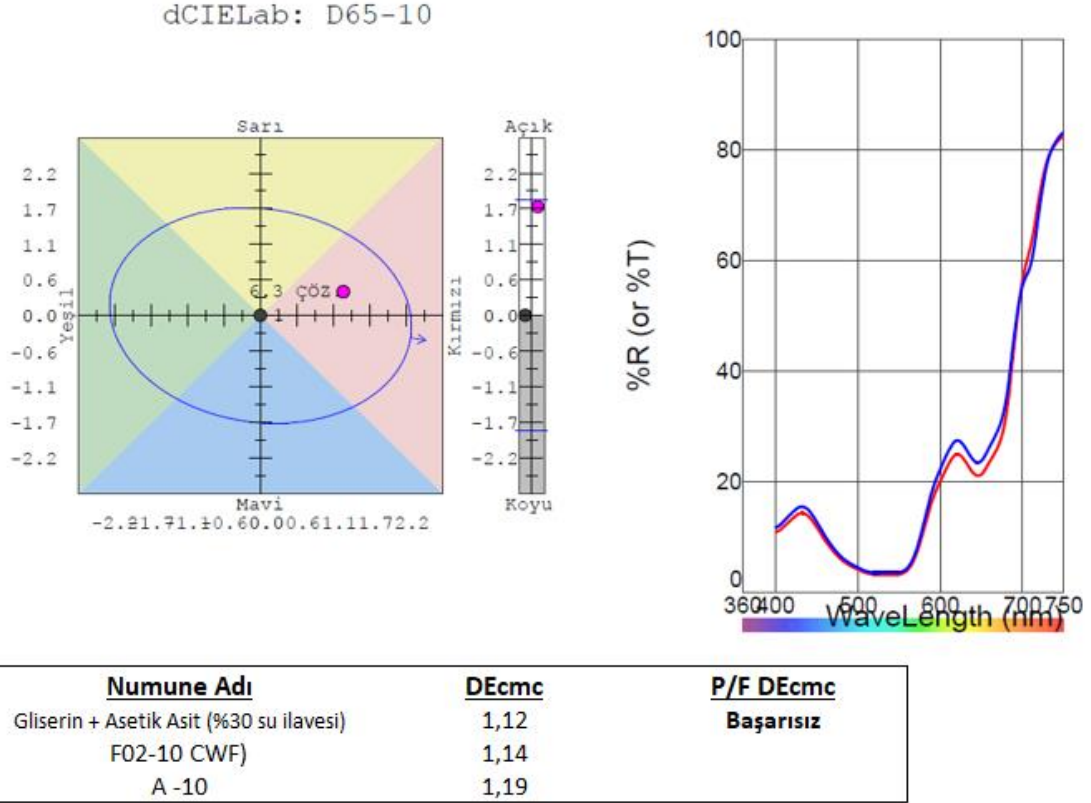


<b>Numune Adı</b>	<b>DEcmc</b>	<b>P/F DEcmc</b>
Gliserin + Asetik Asit (%10 su ilavesi)	0,50	<b>Geçer</b>
F02-10 CWF)	0,50	
A -10	0,50	



<b>Numune Adı</b>	<b>DEcmc</b>	<b>P/F DEcmc</b>
Gliserin + Asetik Asit (%20 su ilavesi)	0,25	<b>Geçer</b>
F02-10 CWF)	0,28	
A -10	0,32	

**Şekil 4.20:** Gliserin + Asetik Asit banyosunda %10-%20-%30 su ilavesiyle seyreltme yapılarak gerçekleştirilen boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.



**Şekil 4.20 (devam):** Gliserin + Asetik Asit banyosunda %10-%20-%30 su ilavesiyle seyreltme yapılarak gerçekleştirilen boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.

#### 4.4.2. Seyreltilmiş Gliserin + Asetik Asit Çözeltilisi ile Tekrar Boyama Denemeleri

Bölüm 4.4.1'de yapılan denemelerde optimum seyreltme oranı olarak %20 su ile seyreltme tespit edilmiştir. Bu bölümde %20 su ile seyreltilmiş gliserin + asetik asit çözeltisinin ilk boyamasından kalan boya banyosunun tekrar boyamada kullanımının analizi için aynı banyo ile 5 tekrar boyama yapılarak çıkan haslık ve spektral renk değerleri analiz edilmiştir.

**Tablo 4.21:** %20 seyreltilmiş Gliserin + Asetik Asit banyosunda gerçekleştirilen 5 tekrar boyama sonucuna göre elde edilen haslık testlerine ait sonuçlar.

1. Boyama

	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	5	5	5	5	5	5
Su Haslığı	5	5	5	5	5	5
Asit Ter Haslığı	5	5	5	5	5	5
Alkali Ter Haslığı	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Kuru Sürtme	5		Yaş Sürtme		5	

2. Boyama

	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	5	5	5	5	5	5
Su Haslığı	5	4/5	4/5	5	5	4/5
Asit Ter Haslığı	5	4/5	4/5	5	5	4/5
Alkali Ter Haslığı	4	4	4	4	4	4
Kuru Sürtme	5		Yaş Sürtme		5	

3. Boyama

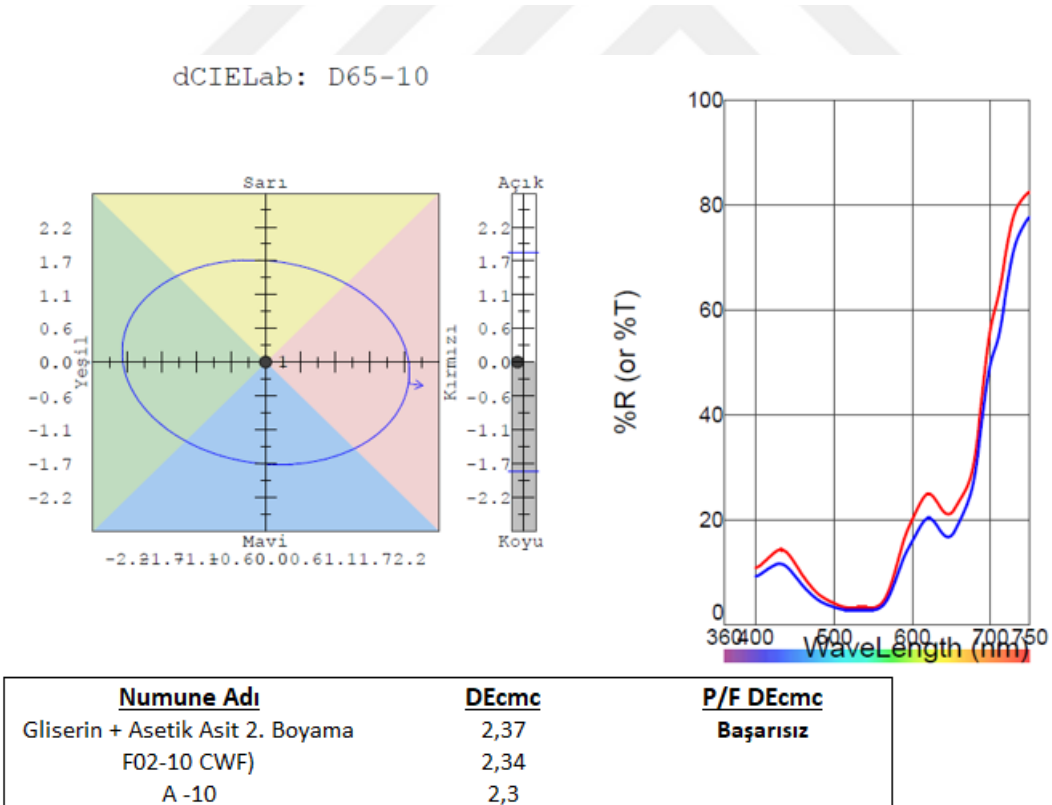
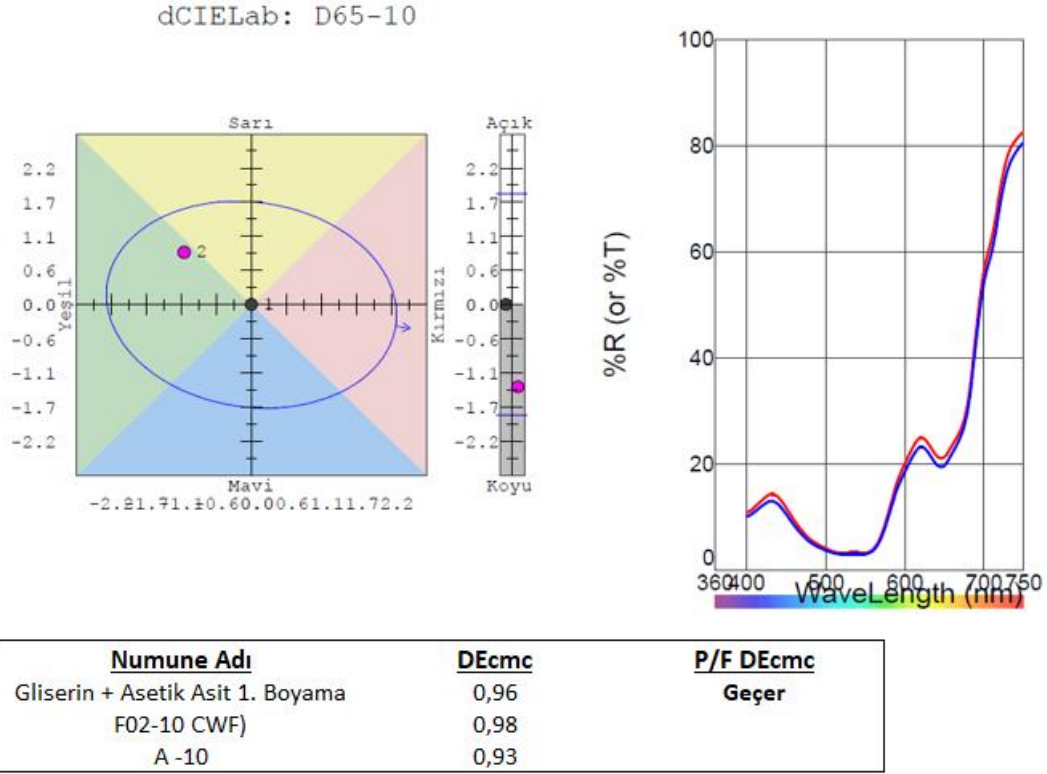
	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	5	4	4/5	5	5	5
Su Haslığı	4/5	4/5	4	5	5	4/5
Asit Ter Haslığı	4	4	3/4	4/5	4/5	4/5
Alkali Ter Haslığı	4/5	4	3/4	3	3	3
Kuru Sürtme	5		Yaş Sürtme		5	

4. Boyama

	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	5	4/5	5	5	5	5
Su Haslığı	5	5	5	5	5	5
Asit Ter Haslığı	5	4/5	4	4/5	4/5	4/5
Alkali Ter Haslığı	4	3/4	3	3/4	3/4	3/4
Kuru Sürtme	5		Yaş Sürtme		4/5	

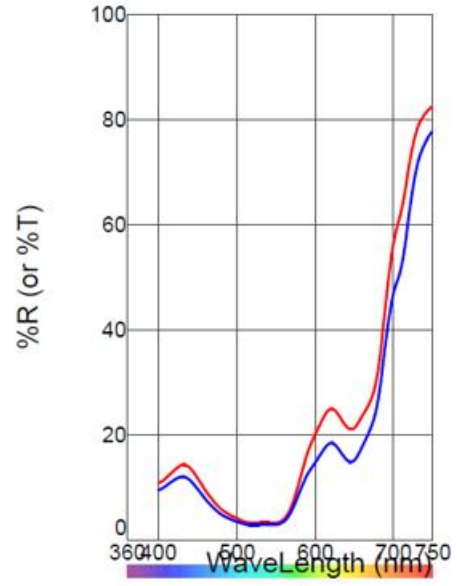
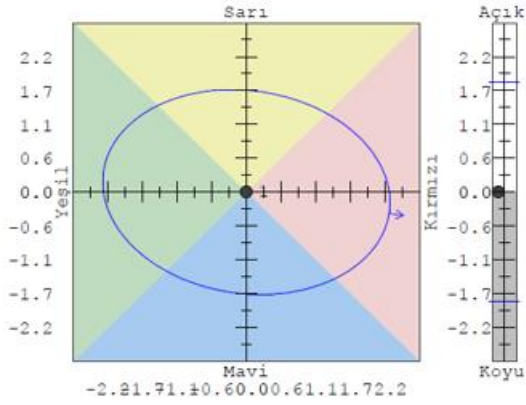
5. Boyama

	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	5	5	5	5	5	5
Su Haslığı	5	5	5	5	5	5
Asit Ter Haslığı	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Alkali Ter Haslığı	3/4	3/4	3/4	4	4	4
Kuru Sürtme	5		Yaş Sürtme		5	



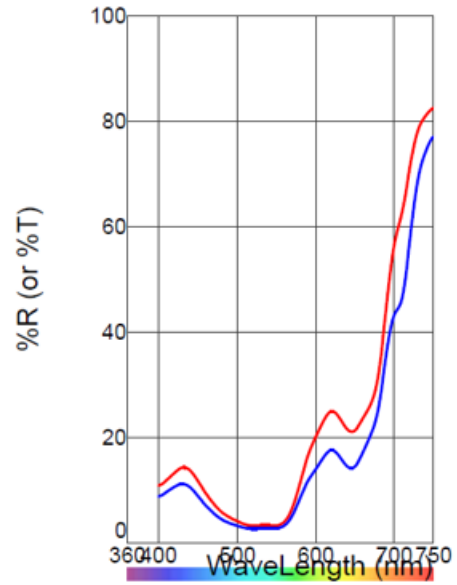
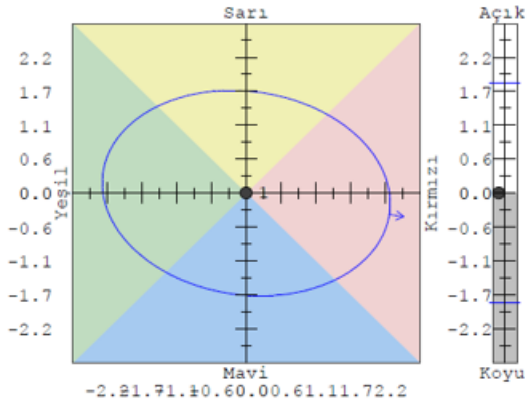
Şekil 4.21: %20 seyreltilmiş Gliserin + Asetik Asit banyosunda gerçekleştirilen 5 tekrar boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.

dCIELab: D65-10



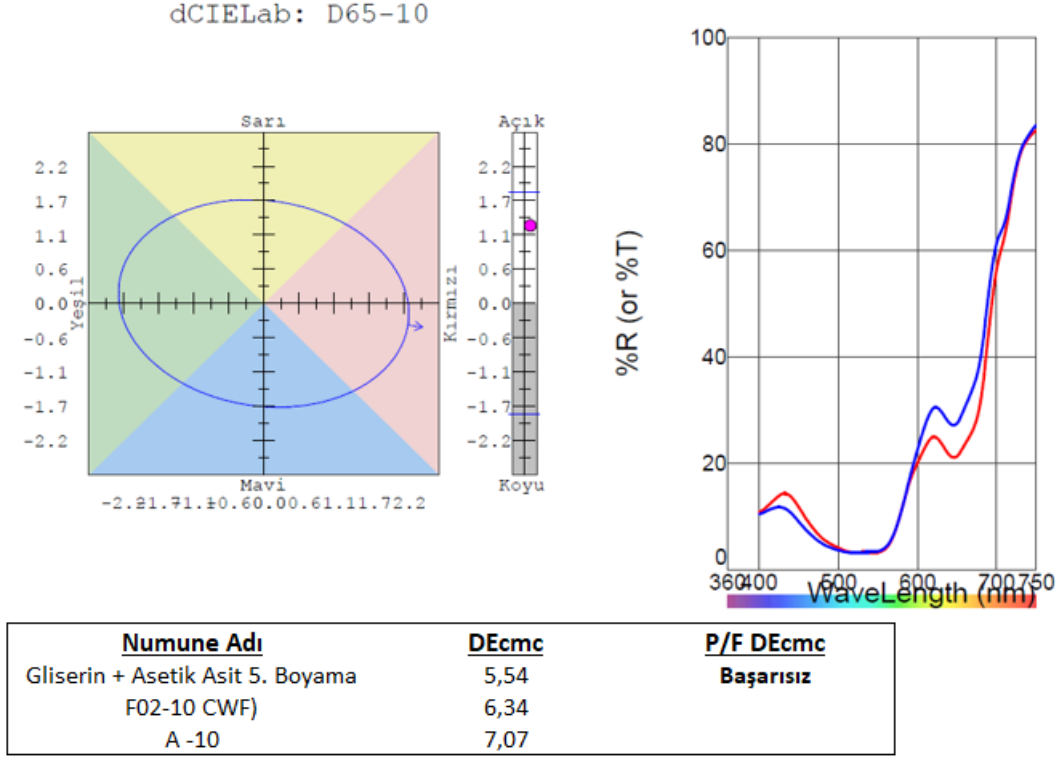
<u>Numune Adı</u>	<u>DEcmc</u>	<u>P/F DEcmc</u>
Gliserin + Asetik Asit 3. Boyama	3,26	<b>Başarısız</b>
F02-10 CWF)	3,24	
A -10	3,65	

dCIELab: D65-10



<u>Numune Adı</u>	<u>DEcmc</u>	<u>P/F DEcmc</u>
Gliserin + Asetik Asit 4. Boyama	4,70	<b>Başarısız</b>
F02-10 CWF)	4,63	
A -10	4,91	

**Şekil 4.21 (devam):** %20 seyreltilmiş Gliserin + Asetik Asit banyosunda gerçekleştirilen 5 tekrar boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.



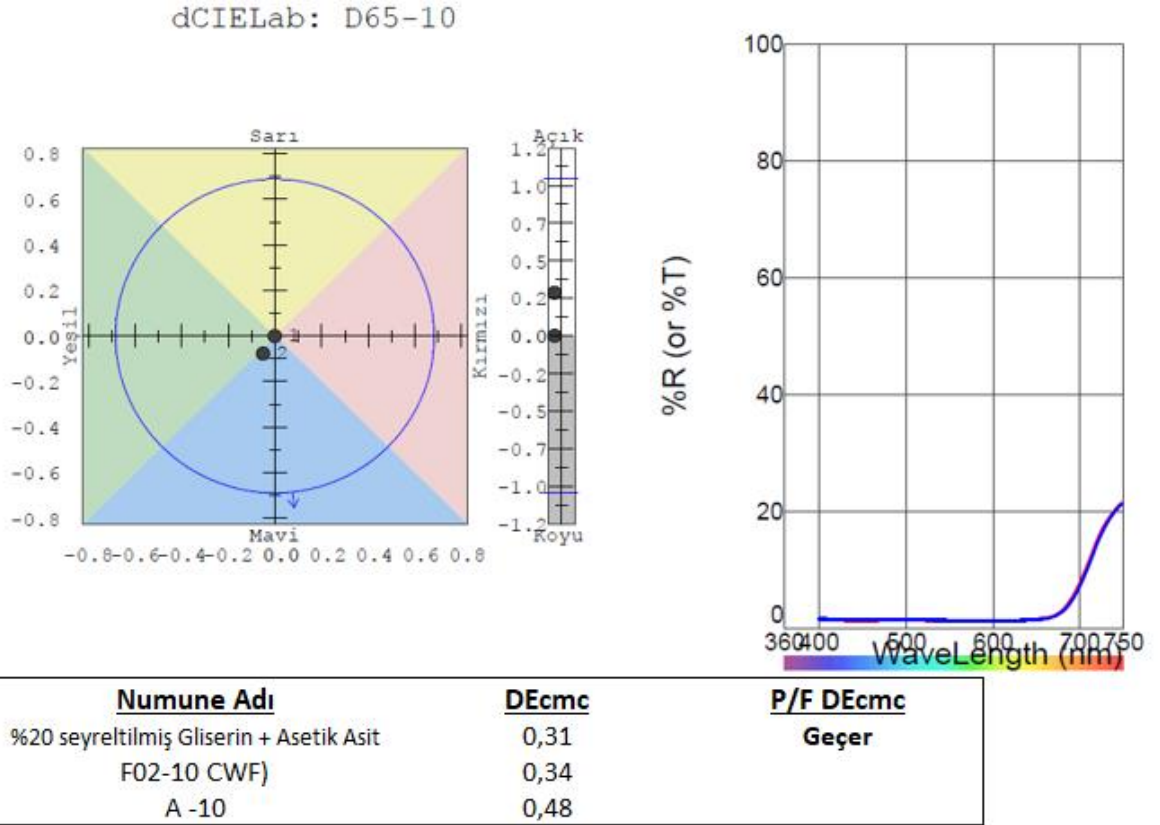
**Şekil 4.21 (devam):** %20 seyreltilmiş Gliserin + Asetik Asit banyosunda gerçekleştirilen 5 tekrar boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.

#### 4.5. %20 SEYRELTİLMİŞ GLİSERİN + ASETİK ASİT ÇÖZELTİSİ ile YÜN KUMAŞ BOYAMA DENEMESİ

Bu bölüme kadarki tüm denemelerde naylon 6 kumaşlar üzerinde boyama çalışmaları yapılmıştır. Bu bölümde yine asidik boyalarla boyanan yün kumaş üzerinde deneme yapılmış ve çözeltinin farklı bir elyaf türü üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen değerlere göre sentetik bir elyaf üzerinde başarılı sonuç veren seyreltilmiş gliserin + asetik asit çözeltisinin yine aynı asidik ortamda boyanan, hayvansal elyaf olan yün üzerinde de başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür. Haslık testlerinde, yıkama haslığı değerlerinde yün kumaşı için, alkali ter haslığında genel olarak piyasa koşullarına göre ticari olarak onay verilebilir değerler elde edilmiştir. Renk uyumu konusunda da spektral renk analizi değerlerine göre standart sulu boyama ile oldukça uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.

**Tablo 4.22:** %20 seyreltilmiş Gliserin + Asetik Asit banyosunda yün kumaş boyama denemesi haslık değeri sonuçları.

	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	5	4	3/4	4	5	4
Su Haslığı	5	5	4	5	5	4
Asit Ter Haslığı	5	5	4	5	5	4/5
Alkali Ter Haslığı	3/4	3/4	3	3/4	3/4	3
Kuru Sürtme	5		Yaş Sürtme		5	



**Şekil 4.22:** %20 seyreltilmiş Gliserin + Asetik Asit banyosunda gerçekleştirilen yün kumaş boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.

#### 4.6. FARKLI SICAKLIKLARDA BOYAMA DENEMELERİ

Bu bölümde %20 seyreltilmiş gliserin + asetik asit çözeltisi ile 98 °C standart boyama değerleri baz alınarak sırasıyla 95-90-85-80-75-70-65 °C sıcaklıklarda boyama denemeleri yapılarak haslık ve spektral renk analizi değerleri incelenmiştir. Denemelerin amacı daha düşük sıcaklıklarda çözeltinin performansının incelenerek enerji tasarrufu sağlanıp sağlanmadığının

test edilmesidir. Deneme sonuçlarına göre boyama sıcaklığı düştükçe standart boyamaya göre haslık değerlerinin kötüleştiği ve renk uyumundan git gide uzaklaşıldığı tespit edilmiştir.

**Tablo 4.23:** %20 seyreltilmiş Gliserin + Asetik Asit banyosunda farklı sıcaklıklarda boyamalara göre haslık değeri sonuçları.

98 °C Boyama

	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	5	5	5	4/5	5	5
Su haslığı	4/5	5	5	4/5	5	5
Asit Ter haslığı	4/5	4/5	4/5	4/5	5	4/5
Alkali Ter Halığı	4/5	5	4/5	4/5	4/5	4/5
Kuru Sürtme	4/5		Yaş Sürtme		4/5	

95 °C Boyama

	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Su haslığı	4/5	4/5	4	4/5	4/5	4/5
Asit Ter haslığı	4/5	4/5	4	4/5	4/5	4/5
Alkali Ter Halığı	4/5	4/5	4	4/5	4/5	4/5
Kuru Sürtme	4/5		Yaş Sürtme		4/5	

90 °C Boyama

	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Su haslığı	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Asit Ter haslığı	4/5	4/5	4	4	4/5	4/5
Alkali Ter Halığı	4/5	4	4	4/5	4/5	4/5
Kuru Sürtme	4/5		Yaş Sürtme		4/5	

85 °C Boyama

	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Su haslığı	4/5	4	4	4	4	4/5
Asit Ter haslığı	4/5	4	4/5	4	4/5	4/5
Alkali Ter Halığı	4/5	4/5	3/4	4/5	4/5	4/5
Kuru Sürtme	4/5		Yaş Sürtme		4/5	

**Tablo 4.23 (devam):** %20 seyreltilmiş Gliserin + Asetik Asit banyosunda farklı sıcaklıklarda boyamalara göre haslık değeri sonuçları.

## 80 °C Boyama

	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	4	4	4/5	4/5	4/5	4/5
Su haslığı	4/5	4	4/5	4	4	4/5
Asit Ter haslığı	4/5	4	4	4/5	4/5	4/5
Alkali Ter Halığı	4/5	4	4/5	4/5	4/5	4
Kuru Sürtme	4/5		Yaş Sürtme		4/5	

## 75 °C Boyama

	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	4	4	4	4/5	4/5	4
Su haslığı	4/5	4	4	4	4/5	4
Asit Ter haslığı	4	4	4/5	4/5	4	4/5
Alkali Ter Halığı	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Kuru Sürtme	4/5		Yaş Sürtme		4/5	

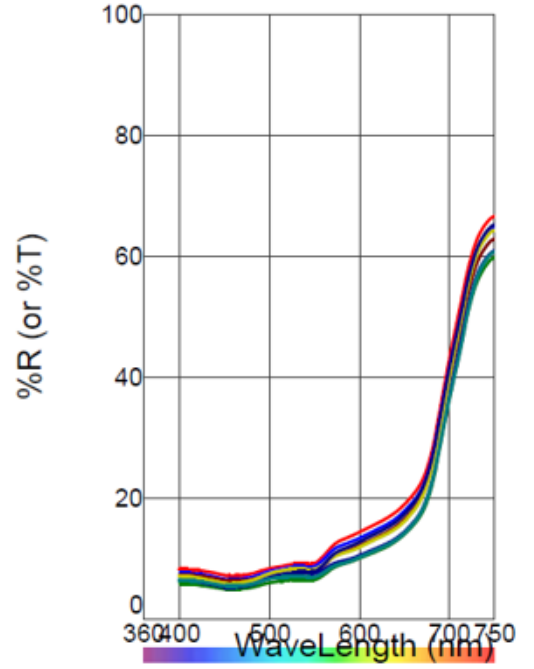
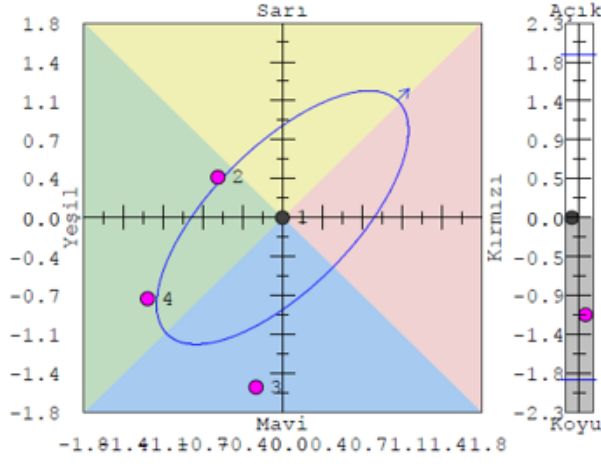
## 70 °C Boyama

	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	4	4	4/5	4/5	4	4
Su haslığı	4/5	4	4	4	4/5	4/5
Asit Ter haslığı	4	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Alkali Ter Halığı	4	4/5	3/4	4/5	4	4
Kuru Sürtme	4/5		Yaş Sürtme		4/5	

## 65 °C Boyama

	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Su haslığı	4	4	4	4	4	4/5
Asit Ter haslığı	4/5	4	3/4	4/5	4	4/5
Alkali Ter Halığı	4/5	4/5	3/4	4/5	4/5	4/5
Kuru Sürtme	4/5		Yaş Sürtme		4/5	

dCIELab: D65-10



<b>Numune Adı</b>	<b>DEcmc</b>	<b>P/F DEcmc</b>
95 °C Boyama Denemesi	1,22	<b>Başarısız</b>
F02-10 CWF)	1,13	
A -10	0,94	
90 °C Boyama Denemesi	2,28	<b>Başarısız</b>
F02-10 CWF)	2,43	
A -10	2,25	
85 °C Boyama Denemesi	3,37	<b>Başarısız</b>
F02-10 CWF)	3,43	
A -10	3,31	
80 °C Boyama Denemesi	4,16	<b>Başarısız</b>
F02-10 CWF)	3,86	
A -10	3,42	
75 °C Boyama Denemesi	3,61	<b>Başarısız</b>
F02-10 CWF)	3,22	
A -10	2,53	
70 °C Boyama Denemesi	3,73	<b>Başarısız</b>
F02-10 CWF)	3,74	
A -10	3,36	
65 °C Boyama Denemesi	3,40	<b>Başarısız</b>
F02-10 CWF)	3,55	
A -10	3,47	

**Şekil 4.23:** %20 seyreltilmiş Gliserin + Asetik Asit banyosunda farklı sıcaklıklarda boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.

#### 4.7. %20 SEYRELTİLMİŞ GLİSERİN + ASETİK ASİT ÇÖZELTİSİ ile YAPILAN DENEMELERDE YARDIMCI KİMYASAL ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Tekstil sektöründe kullanılan yardımcı kimyasallar, en son çıkış banyosunda ve boyanmış ürün üzerindeki kalıntıları nedeniyle doğaya ciddi anlamda zarar vermektedir. Bu nedenle kullandığımız suya alternatif %20 seyreltilmiş gliserin + asetik asit çözeltisi ile önce yardımcı kimyasalların kullanıldığı, daha sonra sadece egalizatörün ve sadece hidrofil aprenin yardımcı kimyasal olarak etkisinin incelendiği, son olarak da hiçbir yardımcı kimyasalın kullanılmadığı denemeler yapılmıştır. Denemelerin sonucunda yardımcı kimyasalların boya prosesine bir katkısının olmadığı, aksine negatif etki yaptığı görülmüştür.

##### 4.7.1. Hidrofil ve Egalizatörün Yardımcı Kimyasal Olarak Kullanıldığı Denemelerin Haslık ve Spektral Renk Analizi Sonuçları

**Tablo 4.24:** %20 seyreltilmiş Gliserin + Asetik Asit banyosunda yardımcı kimyasal kullanılarak yapılan boyamalara göre haslık değeri sonuçları.

###### 1. Boyama

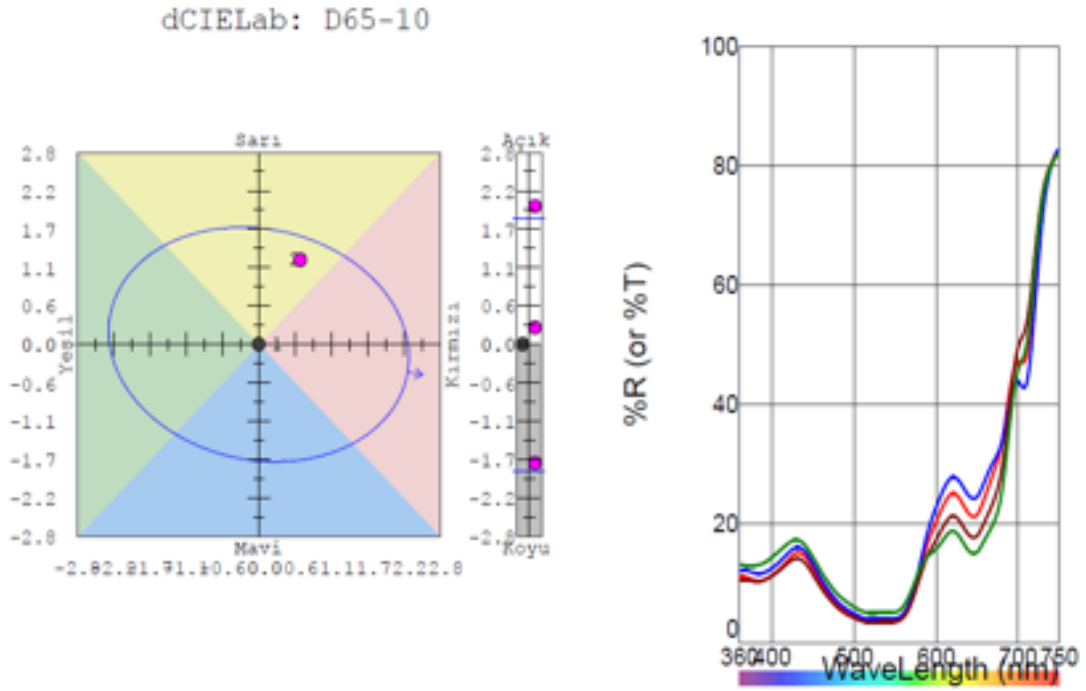
	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	5	4/5	5	5	5	5
Su Haslığı	5	4/5	4/5	4/5	5	5
Asit Ter Haslığı	5	4/5	5	4/5	4/5	5
Alkali Ter Haslığı	5	4/5	5	4/5	4/5	5
Kuru Sürtme	4/5		Yaş Sürtme		4	

###### 2. Boyama

	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	4/5	4/5	5	4/5	5	5
Su Haslığı	4/5	4/5	4/5	4/5	5	5
Asit Ter Haslığı	4/5	4	4/5	4/5	5	5
Alkali Ter Haslığı	4/5	3/4	4	4	4/5	4/5
Kuru Sürtme	4/5		Yaş Sürtme		3/4	

###### 3. Boyama

	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	5	4/5	4	5	5	4/5
Su Haslığı	5	4	4	4/5	4/5	4/5
Asit Ter Haslığı	5	4	4	4	4	4
Alkali Ter Haslığı	5	3/4	4	4	4	4
Kuru Sürtme	4/5		Yaş Sürtme		4/5	



<u>Nümunne Adı</u>	<u>DEcmc</u>	<u>P/F DEcmc</u>
Hidrofil ve Egalizatörlü 1. Boyama F02-10 C'WF) A -10	1,36 1,48 1,52	<b>Başarısız</b>
<u>Nümunne Adı</u>	<u>DEcmc</u>	<u>P/F DEcmc</u>
Hidrofil ve Egalizatörlü 2. Boyama F02-10 C'WF) A -10	1,89 1,84 2,17	<b>Başarısız</b>
<u>Nümunne Adı</u>	<u>DEcmc</u>	<u>P/F DEcmc</u>
Hidrofil ve Egalizatörlü 3. Boyama F02-10 C'WF) A -10	5,82 5,88 7,60	<b>Başarısız</b>

Şekil 4.24: %20 seyreltilmiş Gliserin + Asetik Asit banyosunda yardımcı kimyasal kullanılarak yapılan boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.

#### 4.7.2. Egalizatörün Kullanıldığı Denemelerin Haslık ve Spektral Renk Analizi Sonuçları

**Tablo 4.25:** %20 seyreltilmiş Gliserin + Asetik Asit banyosunda yardımcı kimyasal olarak egalizatör kullanılarak yapılan boyamalara göre haslık değeri sonuçları.

##### 1. Boyama

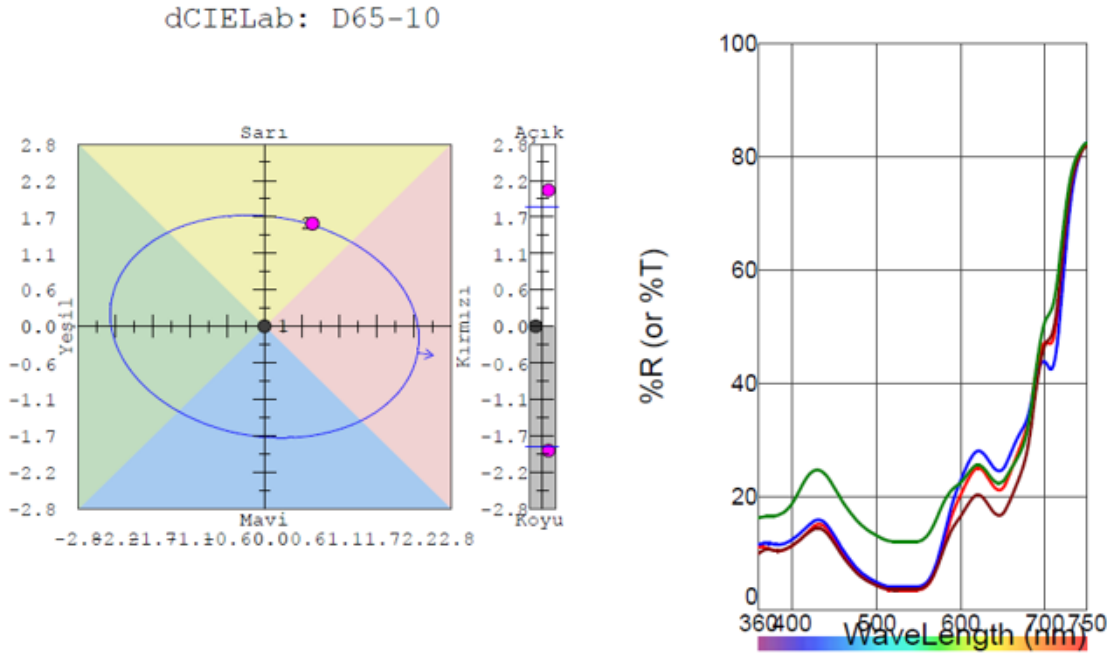
	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	5	5	5	5	5	5
Su Haslığı	5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Asit Ter Haslığı	5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Alkali Ter Haslığı	5	4	4	4	4/5	4
Kuru Sürtme	4/5		Yaş Sürtme		4	

##### 2. Boyama

	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	5	4/5	5	5	5	5
Su Haslığı	4/5	4	4	4	4/5	4
Asit Ter Haslığı	5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Alkali Ter Haslığı	4/5	4	4	4	4/5	4
Kuru Sürtme	4/5		Yaş Sürtme		3/4	

##### 3. Boyama

	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	5	5	5	5	5	5
Su Haslığı	5	5	5	5	5	5
Asit Ter Haslığı	5	5	4/5	4/5	5	5
Alkali Ter Haslığı	5	3/4	3/4	3/4	4	4/5
Kuru Sürtme	4/5		Yaş Sürtme		4/5	



<b>Numune Adı</b>	<b>DEcmc</b>	<b>P/F DEcmc</b>
Egalizatörlü 1. Boyama F02-10 CWF) A -10	1,52 1,66 1,75	<b>Başarısız</b>
<b>Numune Adı</b>	<b>DEcmc</b>	<b>P/F DEcmc</b>
Egalizatörlü 2. Boyama F02-10 CWF) A -10	2,64 2,66 3,25	<b>Başarısız</b>
<b>Numune Adı</b>	<b>DEcmc</b>	<b>P/F DEcmc</b>
Egalizatörlü 3. Boyama F02-10 CWF) A -10	10,43 9,61 10,36	<b>Başarısız</b>

**Şekil 4.25:** %20 seyreltilmiş Gliserin + Asetik Asit banyosunda yardımcı kimyasal olarak egalizatör kullanılarak yapılan boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.

### 4.7.3. Hidrofil Aprenin Kullanıldığı Denemelerin Haslık ve Spektral Renk Analizi Sonuçları

**Tablo 4.26:** %20 seyreltilmiş Gliserin + Asetik Asit banyosunda yardımcı kimyasal olarak hidrofil apre kullanılarak yapılan boyamalara göre haslık değeri sonuçları.

#### 1. Boyama

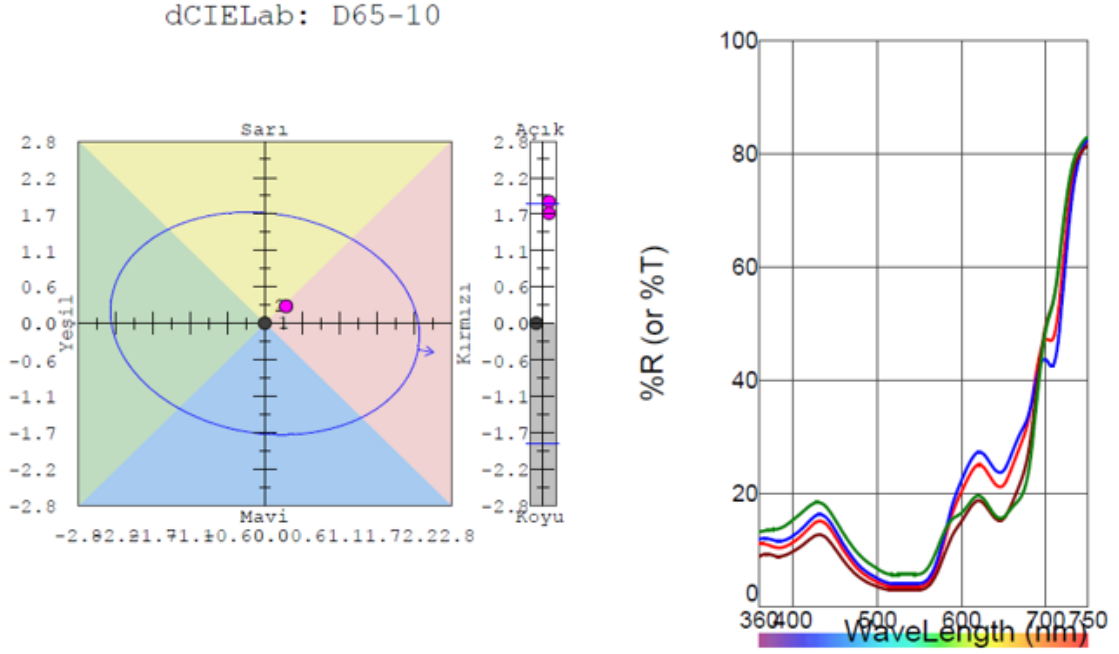
	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	5	5	5	5	5	5
Su Haslığı	5	5	5	5	5	5
Asit Ter Haslığı	5	5	5	5	5	5
Alkali Ter Haslığı	5	4/5	4	4/5	4/5	4
Kuru Sürtme	4/5		Yaş Sürtme		3/4	

#### 2. Boyama

	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	5	4/5	5	5	5	5
Su Haslığı	5	5	5	5	5	5
Asit Ter Haslığı	5	5	5	5	5	5
Alkali Ter Haslığı	5	5	5	5	5	5
Kuru Sürtme	4/5		Yaş Sürtme		3/4	

#### 3. Boyama

	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	5	5	4/5	5	5	4/5
Su Haslığı	5	5	5	5	5	4/5
Asit Ter Haslığı	5	4/5	4	4/5	5	4/5
Alkali Ter Haslığı	5	4/5	4	4/5	4/5	4/5
Kuru Sürtme	4/5		Yaş Sürtme		4	



<b>Numune Adı</b>	<b>DEcmc</b>	<b>P/F DEcmc</b>
Hidrofil Apreli 1. Boyama F02-10 CWF)	1,14	<b>Başarısız</b>
A -10	1,09	
<b>Numune Adı</b>	<b>DEcmc</b>	<b>P/F DEcmc</b>
Hidrofil Apreli 2. Boyama F02-10 CWF)	3,07	<b>Başarısız</b>
A -10	3,42	
<b>Numune Adı</b>	<b>DEcmc</b>	<b>P/F DEcmc</b>
Hidrofil Apreli 3. Boyama F02-10 CWF)	6,20	<b>Başarısız</b>
A -10	8,00	

**Şekil 4.26:** %20 seyreltilmiş Gliserin + Asetik Asit banyosunda yardımcı kimyasal olarak hidrofil apre kullanılarak yapılan boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.

#### 4.7.4. Yardımcı Kimyasal Kullanılmayan Denemelerin Haslık ve Spektral Renk Analizi Sonuçları

**Tablo 4.27:** %20 seyreltilmiş Gliserin + Asetik Asit banyosunda yardımcı kimyasal kullanılmadan yapılan boyamalara göre haslık değeri sonuçları.

##### 1. Boyama

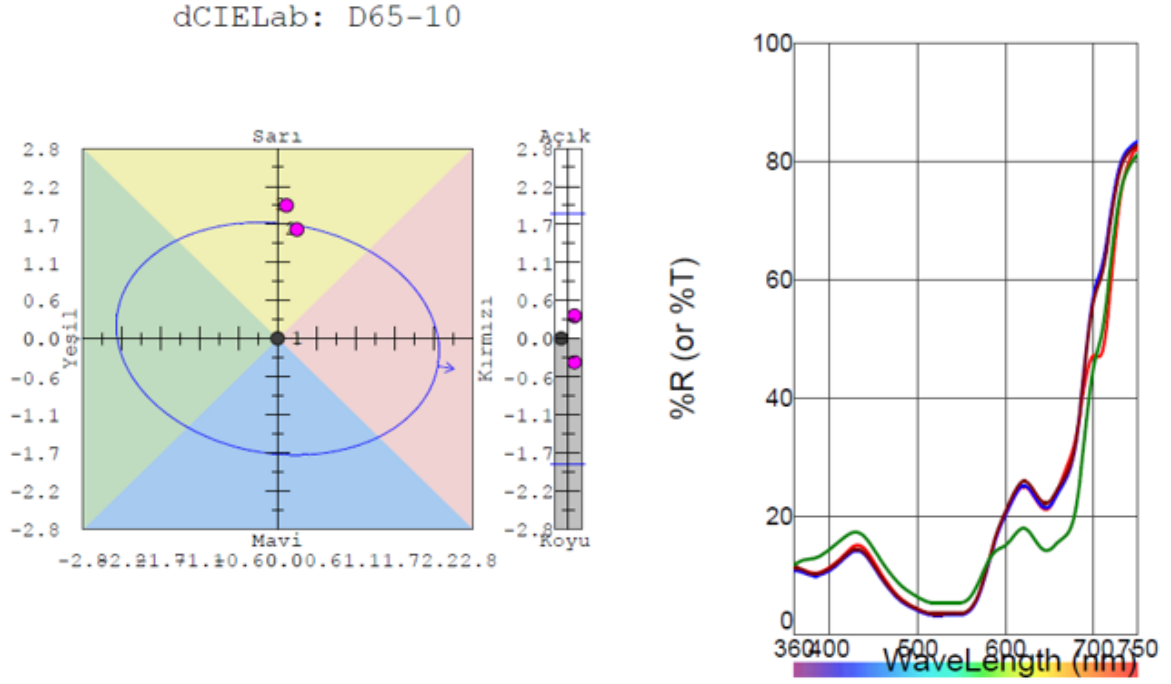
	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	5	5	5	5	5	5
Su Haslığı	5	5	5	5	5	5
Asit Ter Haslığı	5	5	5	5	5	5
Alkali Ter Haslığı	5	5	5	5	5	4/5
Kuru Sürtme	5		Yaş Sürtme		4/5	

##### 2. Boyama

	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	5	4/5	5	5	5	4/5
Su Haslığı	5	4/5	5	5	5	4/5
Asit Ter Haslığı	5	4/5	5	5	5	4/5
Alkali Ter Haslığı	5	4/5	5	5	5	4/5
Kuru Sürtme	5		Yaş Sürtme		4	

##### 3. Boyama

	Asetat	Pamuk	Nylon 6/6	Poliester	Akrilik	Yün
Yıkama Haslığı	5	4/5	5	5	5	5
Su Haslığı	5	4/5	5	5	5	4/5
Asit Ter Haslığı	5	4/5	5	5	5	4/5
Alkali Ter Haslığı	5	4/5	5	5	5	4/5
Kuru Sürtme	4/5		Yaş Sürtme		4/5	



<b>Numune Adı</b>	<b>DEcmc</b>	<b>P/F DEcmc</b>
kimyasalsız deneme 1. boyama F02-10 CWF) A -10	0,93 0,96 0,98	<b>Geçer</b>
kimyasalsız deneme 2. boyama F02-10 CWF) A -10	1,17 1,41 1,50	<b>Başarısız</b>
kimyasalsız deneme 3. boyama F02-10 CWF) A -10	5,72 5,66 7,78	<b>Başarısız</b>

**Şekil 4.27:** %20 seyreltilmiş Gliserin + Asetik Asit banyosunda yardımcı kimyasal kullanılmadan yapılan boyama ile elde edilen renk uyum testi sonuçları.

## 5. TARTIŞMA

Tekstil endüstrisinde kullanılan boyar madde türüne göre çeşitli boyama yöntemleri uygulanmaktadır. Bu boyama yöntemlerinin ortak yönü, neredeyse tamamının boyaların sulu çözeltileri hazırlanarak gerçekleştirilmesidir. Suyun önemi ve artan değeri nedeniyle son yıllarda susuz boyama yöntemleri üzerine giderek yoğunlaşan araştırmalar sürdürülmektedir. Bu kapsamda az sayıda da olsa ticari uygulamalarda kullanılan yöntemler uygulanmaya başlanmıştır. Tez çalışmamız kapsamında tekstil sektöründe su kullanımını azaltmayı hedefleyen alternatif çözücü arayışı üzerine denemeler gerçekleştirilmiştir. Literatür incelendiğinde, uygulama örneklerine tekstil sektöründe başlanan süperkritik şartlarda gerçekleştirilen susuz boyama dışında kısıtlı sayıda çalışma bulunmaktadır.

Kongliang Xie ve diğ. [136], tarafından misel boyamanın geleneksel boyama işlemine çevre dostu bir alternatif olduğu bildirilmiştir. Boya misel solüsyonu kullanılarak reaktif boyama 1:5 flotte oranında gerçekleştirilmiştir. Boyama sırasında %60 su tasarrufu, %50 buhar tasarrufu, %60 elektrolit tasarrufu bildirilmiştir.

Suxin Xu ve diğ. [138], her çözücünün hem boya alımını hem de fizikokimyasal özelliklerini göz önünde bulundurarak 110 organik çözücüden susuz boyama ortamı için sıvı parafini seçmiştir. PET kumaş, sıvı parafin ortamı kullanılarak boyanmıştır. Likit parafin boyama sonuçları bu parametrelerden etkilenmediği için herhangi bir yardımcı madde kullanmamışlar ve boya banyosunun pH'ını ayarlamamışlardır. 130 °C boyama sıcaklığı kullanılmıştır [137]. PET kumaşın sıvı parafin ortamında başarılı bir şekilde boyanması, sulu olarak boyanmış ürünlerin karşılaştırılabilir haslık özellikleriyle de rapor edilmiştir.

Polilaktik asidin (PLA) polimerizasyonu ve tek adımda eşzamanlı renklendirme, su ve enerji yoğun olan geleneksel PLA boyamaya çevre dostu bir alternatiftir. Bu sayede polimerleşme esnasında standart tekstil boyama yöntemlerinden farklı şekilde su kullanmaksızın renklendirme mümkün olmaktadır [139].

1971 yılında Gebert [140], boya banyo çözücüsü olarak perkloretilenin etkinliğini incelemiştir. Çalışmada tekstil materyali olarak poliester kumaşlar kullanılmıştır. Kullanılan üç dispers boyanın tümü için, sulu ortamdan veya perkloretilen ortamından boyanmış poliester

üzerindeki renk tonlarında gözle görülür bir değişiklik olmadığı gözlemlenmiştir. Perkloretilen kullanılarak benzer şekilde poliesterin boyandığı bir çalışma Shah ve Jain [141] tarafından gerçekleştirilmiştir. Kullanılan alternatif boya banyosu sonucunda; kısa boyama süreleri, yardımcı maddelerden tasarruf, uygun işletme maliyetleri ve daha yüksek üretkenlik elde edilebileceği bildirilmiştir.

Dekametilsiklopentasiloksanın (D5) boya banyosu çözücüsü olarak kullanıldığı çalışmada Saleem ve diğ. [142] naylon kumaş boyama üzerine alternatif bir yöntem geliştirmeye çalışmıştır. Sulu boyama ile karşılaştırıldığında, boyama ortamı olarak D5 kullanılarak azo ve antrakinon boyalarda renk kuvveti değerlerinin yüzde 30 ve yüzde 43 artış sağlandığı bildirilmiştir.

Son dönem kimya araştırmaları arasında en umut vaat eden çevre dostu çözücülerden birisi DES olarak adlandırılan ve komponentler arası fiziksel etkileşimler sonucu oluşan karışımlardır.

Bu yeni nesil çözücüler susuz boyama yöntemleri geliştirme konusunda da önemli araştırma alanlarından birisi haline gelmektedir. Son dönem literatürde yapılan çalışmaların sayısı gün geçtikçe artmakla birlikte halen incelenmesi gereken bir alan olduğu söylenebilir. Bu alanda yapılan ilk çalışmalardan birinde; Pawar ve diğ. [143] 100% poliester dokuma kumaşların boyanması için üre ve kolin klorür ikili ötektik çözücü karışımı kullanmıştır. DES ile boyanmış poliester kumaşların yıkama ve ışık haslığı değerlerinin kabul edilebilir düzeyde ve süblimasyon haslığı değerlerinin geleneksel olarak boyanmış poliesterden daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.

Pawar ve diğ. [144] yaptığı çalışmada, poliester boyamada su tüketimini azaltmak için kolin klorür, üre ve gliserin kullanılarak çevre dostu gliserin bazlı DES hazırlanmıştır. Konvansiyonel boyalı poliester ile karşılaştırıldığında, genel boyama performansının, poliesterin gerilme mukavemetini etkilemeden daha iyi olduğu, çözücü ile boyanmış poliesterin termal stabilitesinin sulu boyalı poliestere kıyasla iyileştiği bulunmuştur. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, poliester boyama ortamı olarak DES'in yeşil bir yaklaşım olabileceğini düşündürmektedir.

Polimerik nanoliflerinin alternatif çözücüler kullanılarak susuz boyanması fikri 2021 yılında Hussain ve diğ. [145] tarafından önerilmiştir. Bunun için su içermeyen bir boyama ortamı geliştirmek amacıyla nanoliflerinin boyanmasında suya alternatif olarak iki farklı DES

tanıtılmıştır. Sonuçlar, ultrasonik boyama yönteminin geleneksel boyamaya kıyasla elektrik enerjisinde %58 ve termal enerjide %25 tasarruf sağlayabildiğini göstermiştir.

Jiang ve diğ. [146] yaptığı çalışmada, yünlü kumaşların boyanması için susuz ortam olarak doğal ve asidik DES kullanan, susuz, geri dönüştürülebilir yeni bir boyama prosesi kurulmuştur. Asidik DES'te boyanmış yün numunelerinin, geleneksel sulu yöntem kullanılarak boyanmış olanlarla karşılaştırıldığında daha yüksek renk kuvvetine, benzer renk haslığına sahip olduğu ve kabul edilebilir mekanik davranış gösterdiği bildirilmiştir.

scCO<sub>2</sub> ile boyama, belirli sıcaklık ve basınçta geri dönüştürülmüş karbondioksit kullanılarak yapılan, tamamen susuz bir boyama işlemidir.

Süperkritik sıvı, bir maddenin hem sıcaklığı hem de basıncı kritik noktadan (bir maddenin sıvı ve gaz fazlarının ayırt edilmesinin imkânsız hale geldiği nokta) daha yüksek olduğu fazını ifade eder. Bir maddenin bu fazı birçok avantaja sahiptir ve boyama işleminde suyun yerini alabilir. Kritik sıcaklık ve basınca ulaşmak diğer maddelere göre daha kolay olduğundan normalde kullanılan süperkritik sıvı karbondioksittir. Ayrıca karbondioksit yanıcı değildir, bu nedenle endüstriyel kullanıma uygundur [94].

Cid ve diğ. [147] pamuğun scCO<sub>2</sub> ile boyanabilirliğini arttırmak üzerine çalışmışlardır. Çalışmada ön işlem ve yardımcı çözücüler olarak farklı çözücülerle deneyler yapılmıştır.

Cardozo-Filho ve diğ. [148] PET elyafının scCO<sub>2</sub> içinde dispers boyalarla boyanması üzerine çalışmışlardır. Boya için çözücü olarak scCO<sub>2</sub> kullanımının, PET elyaflarının Dispers Orange 30 boyası ile boyanması için hızlı ve güvenilir bir alternatif işlem olduğu ortaya konulmuştur. Halihazırda elde edilen yıkama haslığı sonuçları scCO<sub>2</sub> kullanımını desteklemektedir.

Saus ve diğ. [38] PET ve diğer sentetik malzemelerin scCO<sub>2</sub> ile boyanması, boya alımını ve düzgünlüğünü etkileyen faktörler üzerinde çalışma yapmışlardır. Çalışma sonucu çıkan verilere göre endüstriyel ekstraksiyon teknolojisinden elde edilen deneyimler, bu konudaki ticari boyama tesislerinin gerçekleştirilmesini artıracaktır.

Gebert ve diğ. [149] doğal elyafların scCO<sub>2</sub>'te dispers boyalarla boyanması üzerinde çalışma yapmışlardır. Sonuçlar, özel bir ön işlemden sonra scCO<sub>2</sub> içinde dispers boyalarla yün veya pamuğun boyanmasının mümkün olduğunu göstermektedir.

Liu ve diğ. [150] scCO<sub>2</sub>'te rami elyafının benzillenmiş modifikasyonu ve boyanması üzerine çalışmışlardır. Benzillenmiş rami elyafı, scCO<sub>2</sub> içinde bir dispers boya ile boyanmış ve daha yüksek renk kuvveti değerleri ile daha iyi bir boya etkinliği elde edilmiştir.

Liu ve diğ. [151] ayrıca, rami elyafının Dispers Red 74 boyalarla scCO<sub>2</sub>'te boyanmaları üzerine çalışmışlardır. Bu çalışma sonucunda da elde edilen verilerde renk verimleri ve suyla yıkama haslıkları mükemmeldir.

Cid ve diğ. [152] floro triazin reaktif boyalar kullanarak pamuk elyafının scCO<sub>2</sub>'te boyanması üzerinde çalışmışlardır. Elde ettikleri sonuca göre, su tüketimi ve atık su üretimi yoktur ve tekstili kurutmak için enerji gerekli değildir. Boya ve yardımcı çözücü, işlemin sonunda CO<sub>2</sub>'ten kolayca ayrılabilir ve CO<sub>2</sub> yeniden kullanılabilir.

Özcan ve diğ. [153] modifiye edilmiş pamuk elyafının scCO<sub>2</sub>'te boyanması üzerine çalışmışlardır. Çalışma sonucunda modifiye pamuğun benzoil klorür ile boyanması iki dispers boya ile de başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

Bach ve diğ. [154], PET liflerinin scCO<sub>2</sub>'te azo dispers boyalarla boyanması üzerine çalışmışlardır. Sonuç olarak scCO<sub>2</sub> ve suda gerçekleştirilen boyamalarda, boyanın PET lifleri tarafından alınması hemen hemen aynı değerlerde bulunmuştur.

Jun ve diğ. [155] scCO<sub>2</sub>'te yünlü kumaşların perfloropolieter (PFPE) ters miselleri ile boyanması üzerinde çalışmışlardır. Konvansiyonel asit boya, bu sistemden yapılan boyamalarda yardımcı madde ilavesi olmadan kısa sürede yün lifleri üzerine etkili bir şekilde adsorbe edilebilmiştir.

Cid [156], pamuk elyafının scCO<sub>2</sub>'te boyanması üzerine çalışmalar yapmıştır. Kinetik veriler, scCO<sub>2</sub>'in boyanın reaktivitesi üzerindeki olumlu etkisini göstermiştir ve pamukla reaksiyona girmeye daha uygun yeni boya yapılarının tasarlanmasını kolaylaştırmıştır.

Schmidt ve diğ. [157] doğal elyafların scCO<sub>2</sub>'te reaktif dispers boyalarla boyanması üzerine çalışmışlardır. Bir poliester/pamuk elyafı karışımı da tek adımlı bir işlemde boyanmıştır.

Ngo ve diğ. [36] polimerlere scCO<sub>2</sub>'te farklı azo boyalarının emdirilmesi üzerinde çalışmışlardır. Çalışmada karbondioksit basınçlarının ve spesifik moleküller arası etkileşimlerin difüzyon hızı (veya difüzivite) ve boya çözünenlerinin sıvı faz ile polimetilmetakrilat (PMMA) arasında bölünmesi üzerindeki etkileri bildirilmiştir.

Sonuç olarak literatürde var olan çalışmalar değerlendirildiğinde, tekstil boya banyolarında su dışında alternatif çözümler kullanılması iki temel grup altında toplanabileceği görülmektedir. Bunlardan birisi, suya alternatif bir çözümler kullanılarak klasik metoda benzer uygulamalar, diğeri ise özel sistemlerde, süperkritik şartlarda CO<sub>2</sub> ortamında gerçekleştirilen boyama uygulamalarıdır. Yapılan farklı çözümler seçimleri ile boyama gerçekleştirilen çalışmalarda istenen standartlarda ürün elde edilememesi, kimyasal maliyeti açısından ekonomik olmayışları ve/veya büyük ölçekli sistemlerde uygulanamaması gibi bazı nedenlerden dolayı endüstriyel süreçler sağlanamamıştır. Süperkritik şartlarda scCO<sub>2</sub> boyama yöntemi ise günümüzde önemli bir kullanım alanı kazanmaya ve temel uygulama alanı olan poliestere kumaşların boyanması konusunda bazı dünya markalarının üretim hatlarında yer almaya başlamıştır. Ancak bu yöntemde yüksek maliyetli cihazlar kullanılması nedeniyle yaygınlaşmamıştır. scCO<sub>2</sub> kullanarak boyama yapılacak bir tesisin yatırım maliyeti nedeniyle, tekstil sektöründe yer alan firmaların küçük bir oranında bu sistem kullanılabilmektedir.

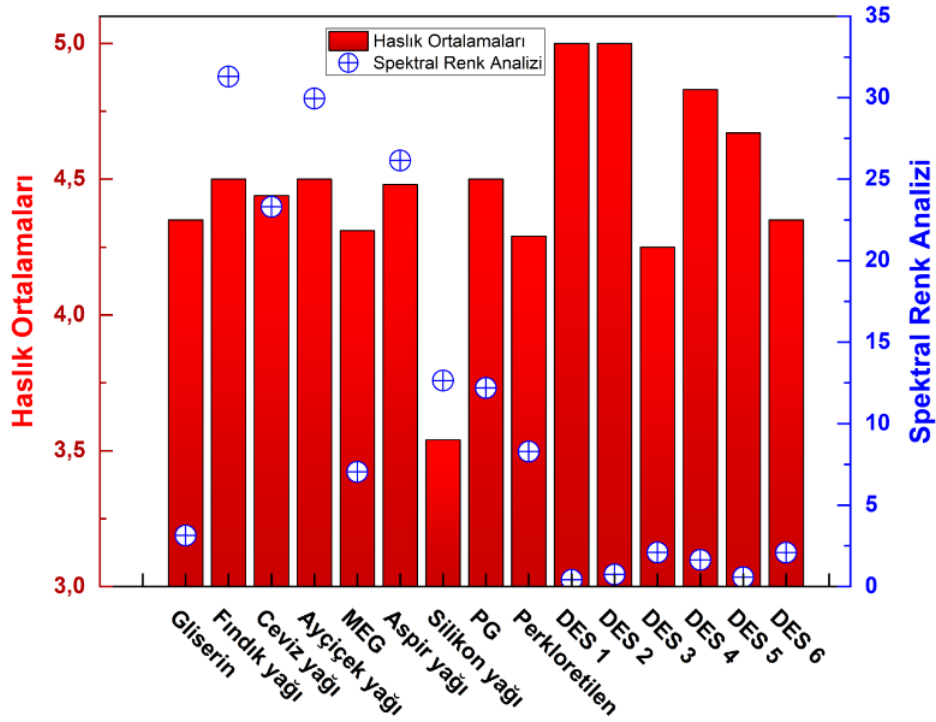
Su konusunda yaşanacak sıkıntılar ve tekstil sektörünün sürdürülebilir olmasının önemi konusunda yaptığımız vurgulamalar, bu alanda çözümün ne kadar önemli olduğunu belirtmiştir. Bununla birlikte günümüzde bu alanda yapılan çalışmaların halen yetersiz olduğu ve sektör genelinde uygulayabileceği bir yöntemin geliştirilmesinin ne kadar önemli olduğu görülmektedir.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmalarda öncelikli olarak standart sulu boyamaya alternatif tek komponentli ve karışım çözeltiler denenmiştir. Daha sonra elde edilen verilere göre en iyi değerlerin elde edildiği, gliserin + asetik asit çözeltisi ile tekrarlanabilirlik denemeleri yapılmıştır. Ardından ilk denemelerde elde edilen sonuçlarda en iyi değerleri sağlayan gliserin, glukozmonohidrat ve gliserol ile asetik asit karıştırılarak hazırlanan çözeltilerle elde edilen boya çıkış banyoları ile tekrar boyama denemeleri yapılmıştır. Son olarak gliserin + asetik asit çözeltisi ile seyreltme, farklı sıcaklık ve kimyasalsız boyama denemeleri yapılarak çalışmalar sonlandırılmıştır.

Tez kapsamında yapılan deneysel çalışmaların ilk aşamasında kullanılacak banyo çözeltisinin suya alternatif olabilecek çözücüsünün seçimi için deneysel çalışmalar yürütülmüştür. Yapılan denemeler saf çözücüler ve karışımlar olmak üzere iki ana grup altında toplanmıştır. Elde edilen sonuçların bir arada değerlendirilmesi için tüm çözücüler ile yapılan boyamalara ait haslık değerlerinin ortalamaları alınmış ve spektral renk analiz değerleri ile birlikte şekil 6.1’de sunulmuştur. Şekilde, DES 1, gliserin + asetik asit karışımını; DES 2, glukozmonohidrat + asetik asit karışımını; DES 3, TCPP + asetik asit karışımını; DES 4 trietilfosfat + asetik asit karışımını; DES 5, gliserol + asetik asit karışımını; DES 6, monoetilenglikol + asetik asit karışımını temsil etmektedir.

Grafikte sunulan veriler incelendiğinde saf çözücü alternatiflerine kıyasla ötektik karışımların daha yüksek haslık değerleri sağladığı bununla birlikte özellikle spektral renk analiz uyumlarının belirgin şekilde iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Ayrıca en iyi sonucu sağlayan gliserin + asetik asit karışımı ile yapılan boyamanın tekrarlanabilirliğinin görülmesi amacıyla hazırlanan çözelti ile yapılan işlem üç kez gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara ait haslık ortalamaları ve spektral renk analizleri tablo 6.1’de sunulmuştur. Sonuçlar boyama işleminin seçilen gliserin + asetik asit karışımı ile ticari kabul sınırları içerisinde boyanabileceğini göstermiştir.



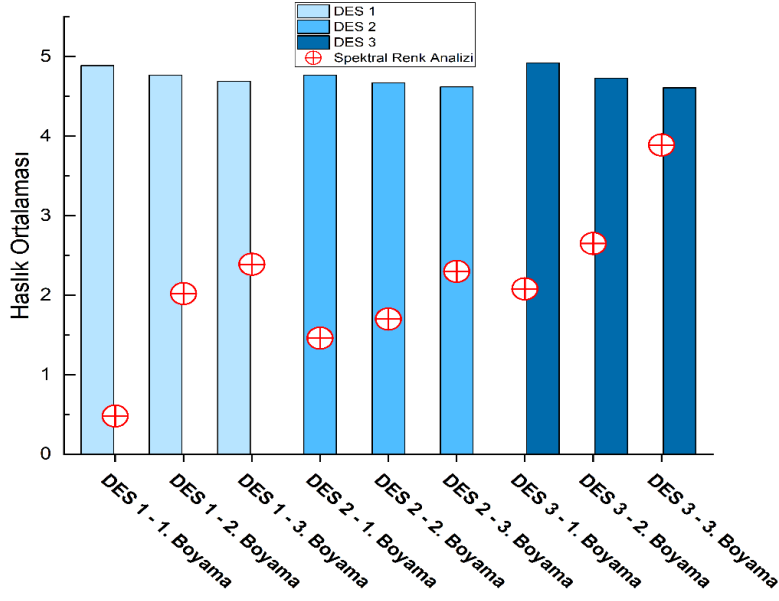
**Şekil 6.1.** Saf çözücü ve DES karışımları ile standart boyama koşullarında gerçekleştirilen boyamalarda haslık ortalaması ve spektral renk analizi verileri.

**Tablo 6.1.** Boyama yönteminin tekrarlanabilirliği verileri.

Tekrar Sayısı	Haslık Ortalamaları	Spektral Renk Analizleri
1	5	Referans
2	5	0.34
3	5	0.36

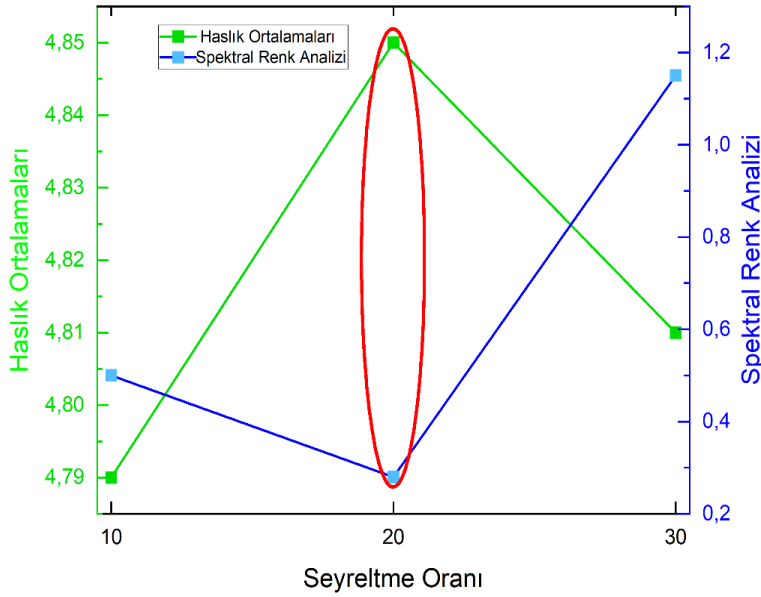
Yapılan çözücü seçimi ve tekrarlanabilirlik çalışmalarında banyo çıkış çözeltilerinin standart boyamaya göre daha az atık boyar madde içerdiği görsel olarak tespit edilmiştir. Bu nedenle en iyi sonuç veren gliserin, glukozmonohidrat ve gliserol ile asetik asit kullanılarak hazırlanan ötektik karışımlarla boya çıkış banyosunun tekrar kullanılabilmesi üzerine çalışmalar yürütülmüştür. Bu denemelere ait elde edilen haslık ortalamaları ve spektral renk analiz sonuçları grafiksel olarak şekil 6.2’de sunulmuştur. Şekilde, DES 1, gliserin + asetik asit karışımını; DES 2, glukozmonohidrat + asetik asit karışımını; DES 3, gliserol + asetik asit karışımını temsil etmektedir.

Yapılan denemelerin sonucunda en iyi değerlerin gliserin + asetik asit karışımı ile elde edildiği görülmüştür. Bu nedenle tez çalışması kapsamında yapılan boyama banyosunun iyileştirilmesine yönelik diğer çalışmalar bu karışım kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 6.2.** Boya çıkış banyosunun tekrar kullanımı denemesi haslık ortalaması ve spektral renk analizi verileri.

Gliserin + asetik asit ile yapılacak boyamalarda çözeltinin fizikokimyasal özelliklerinin iyileştirilebilmesi amacıyla seyreltilmesi durumunda boyama sonuçlarının değişimi incelenmiştir. Bu kapsamda farklı oranlarda su ilave edilerek yapılan boyamalara ait haslık ortalamaları ve spektral renk analizi sonuçları grafiksel olarak şekil 6.3'te sunulmuştur.



**Şekil 6.3.** Seyreltme oranının haslık ortalaması ve spektral renk analiz üzerine etkisi verileri.

Karışımın %20 oranında seyreltilmesi sonucunda hem haslık ortalamaları hem de spektral renk analizlerinde belirgin iyileşme olduğu görülmüş bu oran sonrasında ise seyreltmenin bozucu etki yaptığı tespit edilmiştir.

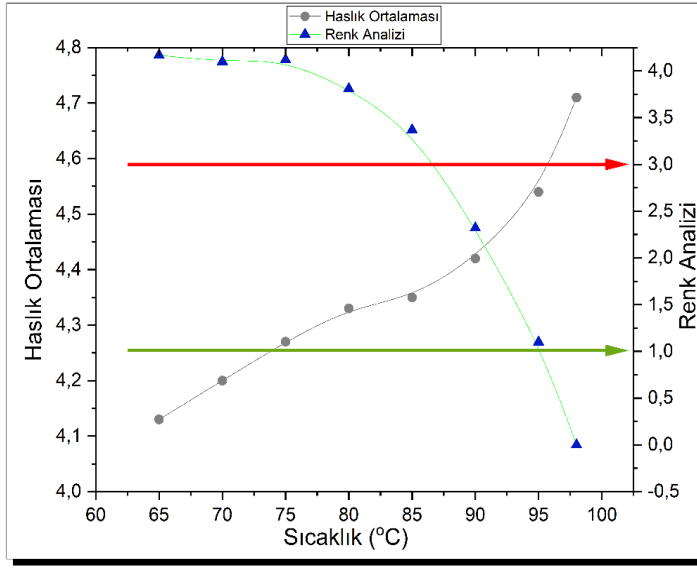
Seyreltme sonrası elde edilen yeni çözücü karışımı (%20 seyreltilmiş gliserin + asetik asit) ile boya banyosunun tekrar kullanılması üzerine sınırların belirlenmesi amacıyla çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda boyama sonrası çıkış banyosu beş kez kullanılarak yapılan boyama sonuçlarına ait haslık ortalamaları ve spektral renk analizlerine ait veriler tablo 6.2’de sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde boya çıkış banyosunun beş kez kullanıldığında spektral renk analizlerinin kabul sınırlarının üstüne çıktığı görülmüştür.

**Tablo 6.2.** %20 seyreltme oranı ile hazırlanan gliserin + asetik asit çözücüsü ile gerçekleştirilen tekrar boyama haslık ortalaması ve spektral renk analizi verileri.

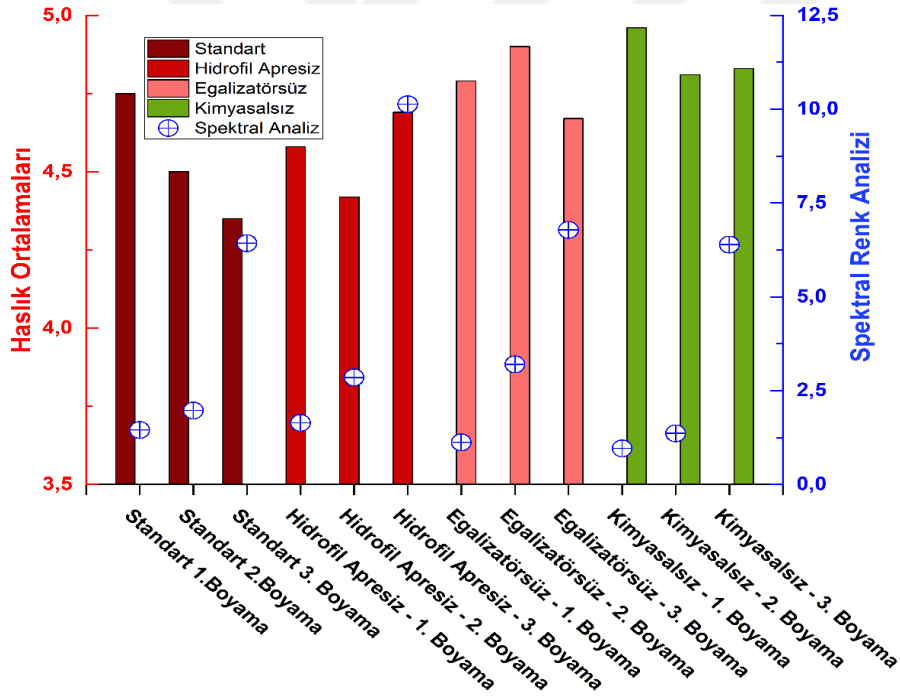
Tekrar Sayısı	Haslık Ortalamaları	Spektral Renk Analizleri
	4.83	Referans
1	4.88	0.96
2	4.65	2.34
3	4.31	3.38
4	4.5	4.75
5	4.6	6,32

Proses şartlarının içerisinde maliyeti en fazla etkileyen boyama sıcaklığının düşürülmesi üzerine çalışmalar yürütülmüştür. Bu bağlamda çıkarılan maksimum sıcaklık değerleri 65 °C ile standart boyama sıcaklığı olan 98 °C aralığında boyamalar gerçekleştirilmiştir. Elde edilen haslık ortalamaları ve spektral renk analizi değerleri grafiksel olarak şekil 6.4’te sunulmuştur.

Tez çalışması kapsamında son olarak tekstil boyama endüstrisinde hem maliyeti etkileyen hem de olumsuz çevresel etkileri olan yardımcı kimyasalların kullanımını optimize etmek amacıyla denemeler gerçekleştirilmiştir. Standart boyama esnasında kullanılan yardımcı kimyasalların kademeli olarak çıkarıldığı boya banyoları ile gerçekleştirilen boyama sonucunda elde edilen haslık ortalamaları ve spektral renk analizlerine ait veriler grafiksel olarak şekil 6.5’te sunulmuştur. Şekilde, standart boyama, hidrofil ve egalizatör yardımcı kimyasallarının ikisinin de prosese eklendiği; hidrofil aprensiz boyama, sadece egalizatörün yardımcı kimyasal olarak kullanıldığı; egalizatörsüz boyama, sadece hidrofil aprenin yardımcı kimyasal olarak kullanıldığı; kimyasalsız boyama ise, egalizatör ve hidrofil aprenin prosese eklenmeyerek, hiçbir yardımcı kimyasal maddenin kullanılmadığı boyamaları temsil etmektedir.



Şekil 6.4. Boyama sıcaklığının haslık ortalaması ve spektral renk analizi üzerine etkisi verileri.



Şekil 6.5. Farklı yardımcı kimyasal eklemeleri ile gerçekleştirilen boyamalarda haslık ortalaması ve spektral renk analizi verileri.

Yardımcı kimyasal kullanılmaksızın gerçekleştirilen boyama denemeleri incelendiğinde olumlu sonuçlar elde ettiğimiz görülmektedir. Boyama işlemlerinin yardımcı kimyasal kullanılmadan gerçekleştirilebilmesi özellikle çevresel etkilerin azaltılmasının yanı sıra maliyet açısından da önemli bir gelişme sağlayacağı düşünülmektedir.

Tez çalışmamız kapsamında yapılan denemelerin sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde, su yerine alternatif çözücüler üzerinde daha fazla akademik çalışmanın yapılmasının gerektiği görülmektedir. Bu aşamada elde edilen pozitif sonuçlar, su yerine alternatif bir çözücü kullanılmasının ve aynı zamanda, özellikle tekrar kullanılabilen boya banyo çözeltileri ile ekonomik olarak kabul edilebilir çözeltilerin elde edilebilmesinin mümkün olduğunu göstermektedir. Son yıllarda her geçen gün su ihtiyacındaki artış ve bu kadar kıymetli bir kaynağın azaldığı düşünüldüğünde, yakın zamanda suyun birçok kimyasaldan daha pahalı hale gelebileceği öngörülebilmektedir. Sonuç olarak bu alanda gerçekleştirilen çalışmaların, gün geçtikçe daha uygulanabilir ve önemli olacağı düşünülmektedir.



## KAYNAKLAR

- [1]. Choudhury, A.K.R., 2014, Environmental and Social Aspects of Textiles and Clothing Supply Chain, Roadmap to Sustainable Textiles and Clothing, In: Muthu, S.S., Chapter 1, Springer, Singapur, ISBN 978-981-287-109-1
- [2]. Oerlikon, 2010, The fiber year 2009/10: a world survey on Textile and Nonwovens Industry. Available at <http://www.oerlikontextile.com/>
- [3]. Lenzing, A.G., 2012, The fiber year 2012 world survey on textiles & nonwovens, Lenzing, Austria, Available at <http://www.lenzing.com>
- [4]. Government of Karnataka, 2012, Commerce & Industries Department and Director of Handlooms and Textiles, Government of Karnataka (India) Global Investors Meet—2012 Karnataka Textile Sector Profile. Available at <http://www.advantagekarnataka.com/>. Accessed 7.10.12
- [5]. Biselli, M., 2013, China's role in the global textile industry. Student research projects, No. 039. China Europe International Business School, Shanghai, China. Available at <http://www.ceibs.edu/bmt/>. Accessed 6.6.2013
- [6]. IARC, 1990, Chromium and chromium compounds. In: International Agency for Research on Cancer (IARC) monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans, vol 49 (ISBN 9283212495)
- [7]. Swedish Chemical Agency, 1997, Chemical in textiles. Solna, Swedish Chemical Agency, p 19. Available at [http://www.kemi.se/upload/Trycksaker/Pdf/Rapporter/Report\\_5\\_97\\_Chemicals\\_in\\_textiles.pdf](http://www.kemi.se/upload/Trycksaker/Pdf/Rapporter/Report_5_97_Chemicals_in_textiles.pdf)
- [8]. Roy Choudhury, A.K., 2013, Green chemistry and the textile industry. Text Prog 45(1):3–143. doi:10.1080/00405167.2013.807601
- [9]. Ecocert, 2012, (certification body for sustainable development), France. Available at <http://www.ecocert.com/>. Accessed 25.11.12
- [10]. Greenpeace International, 2011, Available at <http://www.greenpeace.org/international/en/publications/reports/Dirty-Laundry/>. Published on 13.7.2011
- [11]. Greenpeace International, 2012, Dirty laundry: reloaded. Published on 20.3.12. Available at <http://www.greenpeace.org/international/en/System-templates/Searchresults/?all=Dirty%20laundry>
- [12]. Nieminen-Kalliala, E., 2003, Environmental indicators of textile products for ISO (Type III) environmental product declaration. AUTEX Res J 3(4):206–218
- [13]. UNIDO, 2003, The United Nations world water development report: water for people, water for life. Available at [http://portal.unesco.org/en/ev.phpURL\\_ID=10064&URL\\_DO=DO\\_TOPIC&URL\\_SECTION=201.htm](http://portal.unesco.org/en/ev.phpURL_ID=10064&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.htm)

- [14]. Oecotextiles, 2012, Textile industry poses environmental hazards. Available at [http://www.oecotextiles.com/PDF/textile\\_industry\\_hazards.pdf](http://www.oecotextiles.com/PDF/textile_industry_hazards.pdf), accessed. Accessed 1.12.12
- [15]. Sherburne, A., 2009, Sustainability through the supply chain. In: Blackburn RS (ed) Sustainable textiles: life cycle and environmental impact. Woodhead, Cambridge, p 3
- [16]. Patsalides, L., 2010, The case of nonionic surfactants in Europe and America: to ban or not to ban. Available at <http://www.brighthub.com/> updated. Accessed 3.5.10
- [17]. Seametrics, 2013, Your online guide to water pollution. Available at <http://www.seametrics.com/water-pollution-guide>. Accessed 26.6.2013
- [18]. Landage, S.M., 2009, Removal of heavy metals from textile effluent *Colourage* 56:51–56
- [19]. Moore, S.B., Wentz M., 2009, Systems change for sustainability in textiles. In: Blackburn RS (ed) Sustainable textiles: life cycle and environmental impact. Woodhead, Cambridge, p 214
- [20]. Textile World, 2008, Water and energy-saving solutions. TW special report. March/April 2008. [http://www.textileworld.com/Issues/2008/March-April/Dyeing Printing and Finishing/Water-And\\_Energy-Saving\\_Solutions](http://www.textileworld.com/Issues/2008/March-April/Dyeing_Printing_and_Finishing/Water-And_Energy-Saving_Solutions)
- [21]. Tufekci, N., San, H.A., Aydın, S., Ucar, S., Barlas, H., 1998, Turkish J Fisheries Aquatic Sci 7:795
- [22]. Tufekci, N., Sivri, N., Toroz, I., 2007, Pollutants of textile industry wastewater. Turk J Fisheries Aquatic Sci 7:97
- [23]. Visvanathan, C., Kumar, S., Han, S., 2000, Cleaner production in textile sector: Asian scenario at national workshop on “sustainable industrial development through cleaner production”, Colombo, Sri Lanka, 12–13 Nov 2000
- [24]. Moore, S.B., Ausley, LW, 2004, Systems thinking and green chemistry in the textile industry: concepts, technologies and benefits. *J Clean Prod* 12:585–601
- [25]. Farooq, A., Ali, S., Abbas, N., Fatima, G.A., Ashraf M.A., 2013, Comparative performance evaluation of conventional bleaching and enzymatic bleaching with glucose oxidase on knitted cotton fabric. *J Clean Prod* 42:167–171
- [26]. Hasanbeigi, A., Price, L., 2012, A review of energy use and energy efficiency technologies for the textile industry. *Renew Sust Energ Rev* 16:3648–3665
- [27]. Punrattanasin, N., Nakpathom, M., Somboon, B., Narumol, N., Rungruangkitkrai, N., Mongkholrattanasit, R., 2013, Silk fabric dyeing with natural dye from mangrove bark (*Rhizophora apiculata* Blume) extract. *Ind Crops Prod* 49:122–129
- [28]. Cay, A., Tarakçioğlu, I., Hepbasli, A., 2009, Assessment of finishing processes by exhaustion principle for textile fabrics: an exergetic approach. *Appl Therm Eng* 29:2554–2561
- [29]. El-Molla, M.M., Schneider, R., 2006, Development of ecofriendly binders for pigment printing of all types of textile fabrics. *Dyes Pigm* 71:130–137
- [30]. Koziński, M., Sasiadek, E., Kołodziejczyk, M., Komasa, J., Adamus, A., Maniukiewicz, W., Pawlaczyk, A., Szykowska, M., Rogowski, J., Rybicki, E., 2013, Facile and durable antimicrobial finishing of cotton textiles using a silver salt and UV light. *Carbohydr Polym* 91:115–127

- [31]. Teli, M.D., Rohera, P., Sheikh, J., Singhal, R., 2009, Application of germinated maize starch in textile printing. *Carbohydr Polym* 75:599–603
- [32]. Eren, H.A., Anis, P., Davulcu, A., 2009, Enzymatic one-bath desizing—bleaching—dyeing process for cotton fabrics. *Text Res J* 79:1091–1098
- [33]. Ozturk, E., Yetis, U., Dilek, F.B., Demirer, G.N., 2009, A chemical substitution study for a wet processing textile mill in Turkey. *J Clean Prod* 17:239–247
- [34]. Khandegar, V., Saroha, A.K., 2013, Electrocoagulation for the treatment of textile industry effluent—a review. *J Environ Manage* 128:949–963
- [35]. Long, J-J., Cui, C-L., Wang, L., Xu, H-M., Yu, Z-J., Bi, X-P., 2013, Effect of treatment pressure on wool fiber in supercritical carbon dioxide fluid. *J Clean Prod* 43:52–58
- [36]. Ngo, T.T., Liotta, C.L., Eckert, C.A., Kazarian, S.G., 2003, Supercritical fluid impregnation of different azo-dyes into polymer: In situ UV/Vis spectroscopic study. *Journal of Supercritical Fluids*, 27(2), 215-221. doi:10.1016/S0896-8446(02)00239-5
- [37]. Beltrame, P.L., Castelli, A., Selli, E., Mossa, A., Testa, G., Bonfatti, A.M., Seves, A., 1998, Dyeing of cotton in supercritical carbon dioxide. *Dyes Pigm* 39:335–340
- [38]. Saus, W., Knittel, D., Schollmeyer, E., 1993, Dyeing of Textiles in Supercritical Carbon Dioxide. *Textile Research Journal*, 63(3), 135-142. doi:10.1177/004051759306300302
- [39]. Guzel, B., Akgerman, A., 2000, Mordant dyeing of wool by supercritical processing. *J Supercrit Fluids* 18:247–252
- [40]. van der Kraan, M., Fernandez Cid, M.V., Woerlee, G.F., Veugelers, W.J.T., Witkamp, G.J., 2007, Dyeing of natural and synthetic textiles in supercritical carbon dioxide with disperse reactive dyes. *J Supercrit Fluids* 40:470–476
- [41]. Gao, D., Cui, H-S., Huang, T-T., Yang, D-F., Lin, J-X., 2014, Synthesis of reactive disperse dyes containing halogenated acetamide group for dyeing cotton fabric in supercritical carbon dioxide. *J Supercrit Fluids* 86:108–114
- [42]. Cid, F., van Spronsen, J., van der Kraan, M., Veugelers, W.J.T., Woerlee, G.F., Witkamp, G.J., 2007, A significant approach to dye cotton in supercritical carbon dioxide with fluorotriazine reactive dyes. *J Supercrit Fluids* 40:477–484
- [43]. Xiao-Tu, L., Zheng-Hua, Z., Kong-Chang, C., 1989, The kinetics of the hydrolysis and alcoholysis of some model monofluorotriazinyl reactive dyes. *Dyes Pigm* 11:123–136
- [44]. Özcan, A.S., Clifford, A.A., Bartle, K.D., Lewis, D.M., 1998, Dyeing of cotton fibres with disperse dyes in supercritical carbon dioxide. *Dyes Pigm* 36:103–110
- [45]. Sawada, K., Ueda, M., 2004, Evaluation of the dyeing mechanism of an acid dye on protein fibers in supercritical CO<sub>2</sub>. *Dyes Pigm* 63:77–81
- [46]. Long, J-J., Ma, Y-Q., Zhao, J-P., 2011, Investigations on the level dyeing of fabrics in supercritical carbon dioxide. *J Supercrit Fluids* 57:80–86
- [47]. Hori, T., Kongdee, A., 2014, Dyeing of PET/co-PP composite fibers using supercritical carbon dioxide. *Dyes Pigm* 105:163–166

- [48]. Bechtold, T., Burtscher, E., Gmeiner, D., Bobleter, O., 1991, The redox-catalysed reduction of dispersed organic compounds: investigations on the electrochemical reduction of insoluble organic compounds in aqueous systems. *J Electroanal Chem Interfac Electrochem* 306:169–183
- [49]. Bechtold, T., Turcanu, A., 2009, Electrochemical reduction in vat dyeing: greener chemistry replaces traditional processes. *J Clean Prod* 17:1669–1679
- [50]. Roessler, A., Crettenand, D., 2004, Direct electrochemical reduction of vat dyes in a fixed bed of graphite granules. *Dyes Pigm* 63:29–37
- [51]. Ahmed, N.S., El-Shishtawy, R.M., 2010, The use of new technologies in coloration of textile fibers. *J Mater Sci* 45:1143–1153
- [52]. Božić, M., Kokol, V., 2008, Ecological alternatives to the reduction and oxidation processes in dyeing with vat and sulphur dyes. *Dyes Pigm* 76:299–309
- [53]. Meksi, N., Ben Ticha, M., Kechida, M., Mhenni, M.F, 2012, Using of ecofriendly ahydroxycarbonyls as reducing agents to replace sodium dithionite in indigo dyeing processes. *J Clean Prod* 24:149–158
- [54]. Bechtold, T., Turcana, A., 2006, Iron-complexes of bis(2-hydroxyethyl)-amino-compounds as mediators for the indirect reduction of dispersed vat dyes—cyclic voltammetry and spectroelectrochemical experiments. *J Electroanal Chem* 591:118–126
- [55]. Bechtold, T., Burtscher, E., Amann, A., Bobleter, O., 1993, Alkali-stable iron complexes as mediators for the electrochemical reduction of dispersed organic dyestuffs. *J Chem Soc, Faraday Trans* 89:2451–2456
- [56]. Bechtold, T., Fitz-Binder, C., Turcanu, A., 2010, Electrochemical characteristics and dyeing properties of selected 9,10-anthraquinones as mediators for the indirect cathodic reduction of dyes. *Dyes Pigm* 87:194–203
- [57]. Chavan, R.B., Chakraborty, J.N., 2001, Dyeing of cotton with indigo using iron(II) salt complexes. *Color Technol* 117:88–94
- [58]. Kulandainathan, M.A., Muthukumaran, A., Patil, K., Chavan, R.B., 2007, Potentiostatic studies on indirect electrochemical reduction of vat dyes. *Dyes Pigm* 73:47–54
- [59]. Roessler, A., Jin, X., 2003, State of the art technologies and new electrochemical methods for the reduction of vat dyes. *Dyes Pigm* 59:223–235
- [60]. Blackburn, R.S., Bechtold, T., John, P., 2009, The development of indigo reduction methods and pre-reduced indigo products. *Color Technol* 125:193–207
- [61]. Fouda, M.M.G., El Shafei, A., Sharaf, S., Hebeish, A., 2009, Microwave curing for producing cotton fabrics with easy care and antibacterial properties. *Carbohydr Polym* 77:651–655
- [62]. Hashem, M., Taleb, M.A., El-Shall, F.N., Haggag, K., 2014, New prospects in pretreatment of cotton fabrics using microwave heating. *Carbohydr Polym* 103:385–391
- [63]. Bhat, N.V., Kale, M.J., 2012, Interaction of microwave radiation with polyester yarn to enhance its textile properties. *Fibers Polym* 13:936–942

- [64]. Hakeim, O., Nassar, S., Haggag, K., 2003, Greener printing of natural colour using microwave fixation. *Indian J Fibre Text Res* 28:216–220
- [65]. Al-Mousawi, S.M., El-Asasery, M.A., Mahmoud, H.M., 2012, A facile synthesis of arylazonicotinates for dyeing polyester fabrics under microwave irradiation and their biological activity profiles. *Molecules* 17:11495–11506
- [66]. Al-Etaibi, A.M., El-Asasery, M.A., Ibrahim, M.R., Al-Awadi, N.A., 2012, A facile synthesis of new monoazo disperse dyes derived from 4-hydroxyphenylazopyrazole-5-amines: evaluation of microwave assisted dyeing behavior. *Molecules* 17:13891–13909
- [67]. Al-Etaibi, A.M., El-Asasery, M.A., Mahmoud, H.M., Al-Awadi, N.A., 2012, One-pot synthesis of disperse dyes under microwave irradiation: dyebath reuse in dyeing of polyester fabrics. *Molecules* 17:4266–4280
- [68]. Al-Mousawi, S.M., El-Asasery, M.A., Elnagdi, M.H., 2013, Microwave assisted dyeing of polyester fabrics with disperse dyes. *Molecules* 18:11033–11043
- [69]. Carneiro, N., Souto, A.P., Silva, E., Marimba, A., Tena, B., Ferreira, H., Magalhães, V., 2001, Dyeability of corona-treated fabrics. *Color Technol* 117:298–302
- [70]. Morent, R., De Geyter, N., Verschuren, J., De Clerck, K., Kiekens, P., Leys, C., 2008, Non-thermal plasma treatment of textiles. *Prog Org Coat* 202:3427–3449
- [71]. Hegemann, D., 2006, Plasma polymerization and its applications in textiles. *Indian J Fib Text Res* 31:99
- [72]. Tsafack, M.J., Levalois-Grützmacher, J., 2006, Flame retardancy of cotton textiles by plasmainduced graft-polymerization (PIGP). *Prog Org Coat* 201:2599–2610
- [73]. Tsafack, M.J., Levalois-Grützmacher, J., 2007, Towards multifunctional surfaces using the plasma-induced graft-polymerization (PIGP) process: flame and waterproof cotton textiles. *Prog Org Coat* 201:5789–5795
- [74]. Yuranova, T., Rincon, A.G., Bozzi, A., Parra, S., Pulgarin, C., Albers, P., Kiwi, J., 2003, Antibacterial textiles prepared by RF-plasma and vacuum-UV mediated deposition of silver. *J Photochem Photobiol* 161:27–34
- [75]. Koh, E., Hong, K.H., 2014, Gallnut extract-treated wool and cotton for developing green functional textiles. *Dyes Pigm* 103:222–227
- [76]. Yaman, N., Özdoğan, E., Seventekin, N., Ayhan, H., 2009, Plasma treatment of polypropylene fabric for improved dyeability with soluble textile dyestuff. *Appl Surf Sci* 255:6764–6770
- [77]. Hegemann, D., Hossain, M.M., Balazs, D.J., 2007, Nanostructured plasma coatings to obtain multifunctional textile surfaces. *Prog Org Coat* 58:237–240
- [78]. Tseng, H.J., Hsu, S., Wu, M.W., Hsueh, T.H., Tu, P.C., 2009, Nylon textiles grafted with chitosan by open air plasma and their antimicrobial effect. *Fibers Polym* 10:53–59
- [79]. Shahid, M., Shahid ul, I., Mohammad, F., 2013, Recent advancements in natural dye applications: a review. *J Clean Prod* 53:310–331
- [80]. Vankar, P.S., Shanker, R., Dixit, S., Mahanta, D., Tiwari, S., 2008, Sonicator dyeing of natural polymers with *Symplocos spicata* by metal chelation. *Fiber Polym* 9:121–127

- [81]. Hebeish, A., Sharaf, S., El-Hady, M.M.A., 2011, Ultrasound aided KMnO<sub>4</sub>-acid systems for bleaching linen fabric. *Carbohydr Polym* 83:1370–1376
- [82]. Yachmenev, V.G., Blanchard, E.J., Lambert, A.H., 2004, Use of ultrasonic energy for intensification of the bio-preparation of greige cotton. *Ultrasonics* 42:87–91
- [83]. Yachmenev, V.G., Bertoniere, N.R., Blanchard, E.J., 2002, Intensification of the bio processing of cotton textiles by combined enzyme/ultrasound treatment. *J Chem Tech Biotech* 77:559–567
- [84]. Perelshtein, I., Applerot, G., Perkash, N., Grinblat, J., Hulla, E., Wehrsuetz-Sigl, E., Hasmann, A., Guebitz, G., Gedanken, A., 2010, Ultrasound radiation as a “throwing stones” technique for the production of antibacterial nanocomposite textiles. *ACS Appl Mater Interfaces* 2:1999–2004
- [85]. Gallego-Juarez, J.A., Riera, E., Acosta, V., Rodríguez, G., Blanco, A., 2010, Ultrasonic system for continuous washing of textiles in liquid layers. *Ultrason Sonochem* 17:234–238
- [86]. Gotoh, K., Harayama, K., 2013, Application of ultrasound to textiles washing in aqueous solutions. *Ultrason Sonochem* 20:747–753
- [87]. Wang, W-M., Yu, B., Zhong, C-J., 2012, Use of ultrasonic energy in the enzymatic desizing of cotton fabric. *J Clean Prod* 33:179–182
- [88]. Abou-Okeil, A., El-Shafie, A., El Zawahry, M.M., 2010, Ecofriendly laccase–hydrogen peroxide/ultrasound-assisted bleaching of linen fabrics and its influence on dyeing efficiency. *Ultrason Sonochem* 17:383–390
- [89]. Khanjani, S., Morsali, A., Joo, S.W., 2013, In situ formation deposited ZnO nanoparticles on silk fabrics under ultrasound irradiation. *Ultrason Sonochem* 20:734–739
- [90]. Khanjani, S., Morsali, A., 2013, Ultrasound-promoted coating of silk yarn with different morphology of magnesium hydroxide nanostructures. *Ultrason Sonochem* 20:729–733
- [91]. Khanjani, S., Morsali, A., 2013, Ultrasound-assisted coating of silk yarn with sphere-like Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles. *Ultrason Sonochem* 20:413–417
- [92]. Mansour, H.F., Heffernan, S., 2011, Environmental aspects on dyeing silk fabric with *Sticta coronata* lichen using ultrasonic energy and mild mordants. *Clean Technol Environ Policy* 13:207–213
- [93]. Clark, M., 2011, Volume 1: Principles, processes and types of dyes, *Handbook of textile and industrial dyeing*, In: Clark, M., Chapter 1, Woodhead Publishing Ltd., Cornwall, Birleşik Krallık, ISBN 978-1-84569-695-5
- [94]. Kavlakoglu, A.B., Baş, Y., Kavlakoglu, G., Aşçı, Y.S., 2023, *Tekstil Sektöründe Su Tüketimi ve Geliştirilen Susuz Boyama Yöntemleri*, Romaya Multidisipliner Akademik Yaklaşım Araştırmaları, 3(1): 50-62 ISSN: 2791-9099
- [95]. Lewis, D.M., 1992, *Wool Dyeing*, Society of Dyers and Colourists, Bradford.
- [96]. Makinson, K.R., 1979, *Shrinkproofing of Wool*, Marcel Dekker, New York.
- [97]. Lucas, F., 1966, Cystine content of silk fibroin (*Bombyx mori*), *Nature*, 210, 952–953.

- [98]. Zhan, H., Schade, W., Ziegler, K., 1967, Fractionation of the chymotryptic precipitate of *Bombyx mori* silk fibroin, *Biochemical Journal* , 104 (3), 1019–1025.
- [99]. Mark, H.F., Atlas, S.M. and Cernia, E., 1967, *Man-Made Fibres: Science and Technology* , Vol. 1, Interscience, New York.
- [100]. Mark, H.F., Atlas, S.M. and Cernia, E., 1968, *Man-Made Fibres: Science and Technology* , Vol. 3, Interscience, New York.
- [101]. Burkinshaw, S.M, 1991, Application of dyes, in *The Chemistry and Application of Dyes* , Waring D R and Hallas G (Eds.), Plenum Press, New York, 278.
- [102]. Chattopadhyay, D.P., 2001, Cationization of cotton for low-salt or salt-free dyeing, *Indian Journal of Fibre and Textile Research* , 26 , 108–115.
- [103]. Sharif, S., Ahmad, S. and Siddiqui, W.A., 2008, 'Effects of Cationic fixing agents on the direct dyeing properties of cotton fabrics', *Coloration technology*, 124, 180–185.
- [104]. Valko, E.I., 1941, Particle size in the vat dyeing of cellulose, *Journal of the American Chemical Society* , 63 (5) 1433–1437.
- [105]. Shore, J., 1995, *Cellulosics Dyeing* , Society of Dyers and Colourists, Bradford, UK.
- [106]. Senior, C., 1995, in *Cellulosics Dyeing* , Shore J (Ed.), Society of Dyers and Colourists, Bradford, UK.
- [107]. Stead, C.V., 1992, in *Colorants and Auxiliaries* , Shore J (Ed.), Vol. 1, Society of Dyers and Colourists, Bradford, UK.
- [108]. Waring, D.R., 1991, in *The Chemistry and Application of Dyes* , Waring D R and Hallas G (Eds.), Plenum Press, New York.
- [109]. Kalontarov, I.Y. and Kalandarov B.D., 1993, Bactericidal reactive dyes: Use in bactericidal polymeric fabrics, *International Journal of Polymeric Materials* , 19 (3–4), 209–214.
- [110]. Ginns, P. and Silkstone, K., 1979, in *The Dyeing of Synthetic-Polymer and Acetate Fibres* , Nunn D M (Ed.), Dyers & Co. Pub. Trust, Bradford, UK.
- [111]. Dong, Y., He, L., Wang, Q., Yang, M., Qi, R. and Li, K., 2008, Effect of inorganic salts on fabric oxalate-induced decomposition of CI Acid Black 234 under different weather conditions, *Coloration Technology*, 124, 19–26.
- [112]. Mock, G., 2004, in *Synthetic Fibre Dyeing*, Hawkyard C (Ed.), Society of Dyers and Colourists, Bradford, UK.
- [113]. Gohl, E.P.G. and Vilensky, L.D., *Textile Science*, Pearson Education, Australia, 1987.
- [114]. Broadbent, A.D., 2001, in *Basic Principles of Textile Coloration* , Society of Dyers and Colourists, Bradford, UK.
- [115]. Carpignano, R, Avarino, P.S. and Barni, E., 1985, Quantitative structure–property relationships study of azo dyes using partial least squares analysis in latent variables (PLS), *Dyes and Pigments* , 6 , 189–212.
- [116]. De Giorgi, M.R. and Carpignano, R., 1996, Design of dyes of high technical properties for silk by a chemometric approach, *Dyes and Pigments* , 30 , 79–88.

- [117]. De Giorgi, M.R., Carpignano, R. and Crisponi, G., 1997, Structure optimization in a series of acid dyes for wool and nylon, *Dyes and Pigments* , 34 , 1–12.
- [118]. McSwiney, B.A., 1934, The composition of human perspiration, *Proceedings of the Royal Society of Medicine* , London, March 16, 839–848.
- [119]. Beloin, N.J., 1973, Fading of dyed fabrics exposed to air pollutants, *Textile Chemist and Colorist* , 5 (7), 128–133.
- [120]. SDC, 1982, Colour fastness to nitrogen oxides, *Journal of the Society of Dyers and Colourists* , 98 (7/8), 253–256.
- [121]. Johnson, A.E., 1974, Testing for colourfastness to drycleaning, *Textile Chemist and Colorist* , 6 (12), 275–278.
- [122]. Smith, P.J., 1994, Colour fastness testing methods and equipment, *Review of Progress in Coloration and Related Topics* , 24 , 31–40.
- [123]. Pugh, S.L. and Guthrie, J.T., 2001, The development of light fastness testing and light fastness standards, *Review of Progress in Coloration and Related Topics* , 31 , 42–56.
- [124]. Jaeckel, S.M., 1980, Variability of grey-scale assessment and its contribution to the variability of a test method, *Journal of the Society of Dyers and Colourists* , 96 (10), 540–544.
- [125]. Allen, N.S., 1987, Photofading mechanisms of dyes in solution and polymer media, *Review of Progress in Coloration and Related Topics* , 17 , 61–71.
- [126]. Bentley, P., McKellar, J.F. and Phillips, G.O., 1974, Photochemistry of dyes, fibres and dye/fibre systems, *Review of Progress in Coloration and Related Topics* , 5 , 33–48.
- [127]. Giles, C.H., Walsh, D.J. and Sinclair, R.S., 1977, Relation between light fastness of colorants and their particle size, *Journal of the Society of Dyers and Colourists* , 93 , September, 348–352.
- [128]. Stevens, C.B., 1979, Colour Fastness, *The Dyeing of Synthetic Polymer and Acetate Fibres* , Nunn D M (Ed.), Bradford, UK, Dyers Company Publications Trust, 53–75.
- [129]. Horton, F.J., Patterson, D. and Rizzo, F.J., 1976, Photoconductivity and fading-I: The dyes used in the ISO light fastness test, *Journal of the Society of Dyers and Colourists* , 92 (7), 269–272.
- [130]. Shakra, S. and Ali, N.F., 1995, Vat and vat/disperse anthraquinone dyes. Part I: Light and sublimation fastness, *American Dyestuff Reporter* , 84 (4), 25–30, 47.
- [131]. Shakra, S., Ali, N.F., 1992, Effect of chemical structure on colour/lightfastness/sublimation for some disperse anthraquinone dyes, *American Dyestuff Reporter*, 81 (4), 28–30.
- [132]. Abbott, A.P., Capper, G., Davies, D.L., Rasheed, R.K., Tambyrajah, V., 2003, Novel solvent properties of choline chloride/urea mixtures. *Chemical communications*, (1), 70-71.
- [133]. Chen, Y.L., Zhang, X., You, T.T., Xu, F., 2019. Deep eutectic solvents (DESs) for cellulose dissolution: A mini-review. *Cellulose*, 26(1), 205-213.
- [134]. Hansen, B.B., Spittle, S., Chen, B., Poe, D., Zhang, Y., Klein, J.M., Sangoro, J. R., 2020, Deep eutectic solvents: A review of fundamentals and applications. *Chemical reviews*, 121(3), 1232-1285.

- [135]. C. Florindo, L.C., Branco, I.M., Marrucho, 2019, Quest for Green-Solvent Design: From Hydrophilic to Hydrophobic (Deep) Eutectic Solvents, *ChemSusChem*, 12 1549–1559.
- [136]. Xie, K., Cheng, F., Zhao, W., Xu, L., 2011, Micelle dyeing with low liquor ratio for reactive dyes using dialkyl maleic acid ester surfactants. *Journal of Cleaner Production*, 19(4), 332-336. doi:10.1016/j.jclepro.2010.10.006
- [137]. Xu, S., Chen, J., Wang, B., Yang, Y., 2016, An environmentally responsible polyester dyeing technology using liquid paraffin. *Journal of Cleaner Production*, 112, 987-994. doi:10.1016/j.jclepro.2015.08.114
- [138]. Xu, S., Chen, J., Wang, B., Yang, Y., 2015, Sustainable and hydrolysis-free dyeing process for polylactic acid using nonaqueous medium. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 3(6), 1039-1046. doi:10.1021/sc500767w
- [139]. Hussain, T., Tausif, M., Ashraf, M., 2015, A review of progress in the dyeing of eco-friendly aliphatic polyester-based polylactic acid fabrics. *Journal of Cleaner Production*, 108(6), 476-483. doi:10.1016/j.jclepro.2015.05.126
- [140]. Gebert, K., 1971, The Dyeing of Polyester Textile Fabric in Perchloroethylene by the Exhaust Process. *Coloration Technology*, 87(12), 509-513.
- [141]. Shah, C.D., Jain, D. K., 1985, Solvent (Perchloroethylene) Dyeing of Disperse Dyes on Polyester. *Textile Research Journal*, 55(1), 23-27.
- [142]. Saleem, M.A., Pei, L., Saleem, M. F., Shahid, S. & Wang, J., 2020, Sustainable dyeing of nylon with disperse dyes in Decamethylcyclopentasiloxane waterless dyeing system. *Journal of Cleaner Production*, 276. doi:10.1016/j.jclepro.2020.123258
- [143]. Pawar, S.S., Adivarekar, R., 2021, A novel approach for dyeing of polyester using non-aqueous deep eutectic solvent as a dyeing medium. *Pigment and Resin Technology*, 50(1), 1-9. doi:10.1108/PRT-09-2019-0085
- [144]. Pawar, S.S., Maiti, S., Biranje, S., Kulkarni, K., Adivarekar, R.v., 2019, A novel green approach for dyeing polyester using glycerine based eutectic solvent as a dyeing medium. *Heliyon*, 5(5). doi:10.1016/j.heliyon.2019.e01606
- [145]. Hussain, N., Hussain, S., Mehdi, M., Khatri, M., Ullah, S., Khatri, Z., Kim, I.S., 2021, Introducing deep eutectic solvents as a water-free dyeing medium for poly (1,4-cyclohexane dimethylene isosorbide terephthalate) pict nanofibers. *Polymers*, 13(16). doi:10.3390/polym13162594
- [146]. Jiang, Z., Cui, Y., Zheng, G., Wei, Y., Wang, Q., Zhou, M., Yu, Y., 2022, An innovative, low-cost and environment-friendly approach by using a deep eutectic solvent as the water substitute to minimize waste in the textile industry and for better clothing performance. *Green Chemistry*, 24(15), 5904-5917. doi:10.1039/d2gc01292h
- [147]. Fernandez, Cid, M.v., Gerstner, K.N., van Spronsen, J., van der Kraan, M., Veugelers, W.J.T., Woerlee, G.F., Witkamp, G.J., 2007, Novel Process to Enhance the Dyeability of Cotton in Supercritical Carbon Dioxide. *Textile Research Journal*, 77(1), 38-46. doi:10.1177/0040517507076328

- [148]. Cardozo-Filho, L., Mazzer, H.R., Santos, J.C., Andreus, J., Feihmann, A.C., Beninca, C., Zanoelo, E.F., 2014, Dyeing of polyethylene terephthalate fibers with a disperse dye in supercritical carbon dioxide. *Textile Research Journal*, 84(12), 1279-1287. doi:10.1177/0040517513515317
- [149]. Gebert, B., Saus, W., Knittel, D., Buschmann, H., Schollmeyer, E., 1994, Dyeing Natural Fibers with Disperse Dyes in Supercritical Carbon Dioxide. *Textile Research Journal*, 64(7), 371-374. doi:10.1177/004051759406400701
- [150]. Liu, Z.T., Sun, Z., Liu, Z. W., Lu, J., Xiong, H., 2008, Benzylated modification and dyeing of ramie fiber in supercritical carbon dioxide. *Journal of Applied Polymer Science*, 107(3), 1872-1878. doi:10.1002/app.27220
- [151]. Liu, Z.T., Zhang, L., Liu, Z., Gao, Z., Dong, W., Xiong, H., Tang, S., 2006, Supercritical CO<sub>2</sub> dyeing of ramie fiber with disperse dye. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 45(26), 8932-8938. doi:10.1021/ie061093h
- [152]. Fernandez Cid, M.v., van Spronsen, J., van der Kraan, M., Veugelers, W.J.T., Woerlee, G.F., Witkamp, G.J., 2005, Excellent dye fixation on cotton dyed in supercritical carbondioxide using fluorotriazine reactive dyes. *Green Chemistry*, 7(8), 609-616. doi:10.1039/b503801d
- [153]. Özcan, A.S., Clifford, A.A., Bartle, K.D., Broadbent, P.J., 1998, Dyeing of modified cotton fibres with disperse dyes from supercritical carbon dioxide. *Journal of the Society of Dyers and Colorists*, 114(5-6), 196-173.
- [154]. Bach, E., Cleve, E., Schüttken, J., Schollmeyer, E., Rucker, J.W., 2001, Correlation of solubility data of azo disperse dyes with the dye uptake of poly(ethylene terephthalate) fibres in supercritical carbon dioxide. *Coloration Technology*, 117(1), 13-18.
- [155]. Jun, J.H., Sawada, K., Ueda, M., 2004, Application of perfluoropolyether reverse micelles in supercritical CO<sub>2</sub> to dyeing process. *Dyes and Pigments*, 61(1), 17-22. doi:10.1016/j.dyepig.2003.08.003
- [156]. Fernandez Cid, M.V., 2005, Cotton Dyeing in Supercritical Carbon Dioxide. Yayınlanmış doktora tezi, Universidad de Santiago de Compostela, İspanya.
- [157]. Schmidt, A., Bach, E., Schollmeyer, E., 2003, The dyeing of natural fibres with reactive disperse dyes in supercritical carbon dioxide. *Dyes and Pigments*, 56(1), 27-35.

İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI



## ETİK KURUL İZİN YAZISI

**Uyarı:** Canlı denekler üzerinde yapılan tüm araştırmalar için Etik Kurul Belgesi alınması zorunludur.

- Etik Kurul izni gerekmektedir.
- Etik Kurul izni gerekmemektedir.

Ahmet Burak KAVLAKOĞLU



## KURUM İZİNİ YAZILARI

**Uyarı:** Canlı ve cansız deneklerle yapılan tüm çalışmalar için kurum izin belgelerinin eklenmesi zorunludur. Gizlilik ve mahremiyet içeren durumlarda kurum adı kapatılmalıdır.

- Kurum izni gerekmektedir.
- Kurum izni gerekmemektedir.

Ahmet Burak KAVLAKOĞLU



