



T.C.
Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü

**FARKLI KALİTELERDEKİ POLİESTER
KUMAŞLARIN SUSUZ BOYANMASI**

Büşra ÇİFTÇİ

Yüksek Lisans Tezi



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI KALİTELERDEKİ POLİESTER KUMAŞLARIN SUSUZ
BOYANMASI**

Büşra ÇİFTÇİ
0000-0002-6753-4715

Doç. Dr. Semiha EREN
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2023

TEZ ONAYI

Büşra ÇİFTÇİ tarafından hazırlanan “Farklı kaliteleredeki poliestere kumaşların susuz boyanması” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman :Doç. Dr. Semiha EREN

Başkan : Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN
0000-0003-3908-5139
Bursa Uludağ Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi,
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Üye : Doç. Dr. Meral AKKOYUN
0000-0002-8113-5534
Bursa Teknik Üniversitesi
Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,
Polimer Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Üye : Doç. Dr. Semiha EREN
0000-0002-2326-686X
Bursa Uludağ Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi,
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım
Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN
Enstitü Müdürü
24/02/2023

B.U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

16/01/2023

İmza

Büşra ÇİFTÇİ

TEZ YAYINLANMA FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezin/raporun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kâğıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma izni Bursa Uludağ Üniversitesi'ne aittir. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet hakları ile tezin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları tarafımıza ait olacaktır. Tezde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullandığını ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederiz.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**” kapsamında, yönerge tarafından belirtilen kısıtlamalar olmadığı takdirde tezin YÖK Ulusal Tez Merkezi / B.U.Ü. Kütüphanesi Açık Erişim Sistemi ve üye olunan diğer veri tabanlarının (Proquest veri tabanı gibi) erişimine açılması uygundur.

Doç. Dr. Semiha EREN
16.01.2023

Büşra ÇİFTÇİ
16.01.2023

İmza

Bu bölüme kişinin kendi el yazısı ile okudum
anladım yazmalı ve imzalanmalıdır.

İmza

Bu bölüme kişinin kendi el yazısı ile okudum
anladım yazmalı ve imzalanmalıdır.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FARKLI KALİTELERDEKİ POLİESTER KUMAŞLARIN SUSUZ BOYANMASI

Büşra ÇİFTÇİ

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Semiha EREN

Tekstil endüstrisi, büyük miktarlarda enerji, su ve tehlikeli kimyasallar kullandığı için küresel kaynaklar üzerinde ağır bir yük oluşturmaktadır. Bu durum tekstillerin sürdürülebilirliği ile ilgili sorunları gündeme getirmiştir. Son yıllarda, süperkritik karbondioksit (scCO₂) teknolojisi tekstil terbiye işlemlerini sürdürülebilir kılmak için etkili bir araç olarak ortaya çıkmıştır. Poliesterin süperkritik karbondioksit ortamında boyanmasına ilişkin yapılan çalışmalar literatürde mevcutken kumaş yapısı ve gramajıyla ilgili çeşitlilik görülmemektedir. Bu tez çalışmasında farklı kumaş konstrüksiyonları ve gramajlardaki poliester kumaşlar scCO₂ ortamında boyanmış, elde edilen sonuçlar konvansiyonel yöntem ile boyanmış kumaşlar ile kıyaslanmıştır. Hem konstrüksiyonuna ve hem de gramaja göre scCO₂ ortamda boyamada sıcaklık ve basınç değerlerinin değiştiği, susuz ortamda boyamaların yapılan fiziksel testler açısından da başarılı olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: tekstil, süperkritik karbondioksit teknolojisi, susuz boyama
2022, ix +63 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

WATERLESS DYEING OF POLYESTER FABRICS WITH DIFFERENT QUALITIES

Büşra ÇİFTÇİ

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Textile Engineering

Supervisor: Associate Prof. Dr. Semiha EREN

The textile industry uses large amounts of energy, water and hazardous chemicals therefore places a heavy burden on global resources. This problems have brought up the related to the sustainability of textiles. In recent years, supercritical carbon dioxide (scCO₂) technology has used as an effective method to make textile finishing processes sustainable. There are many studies on polyester fabric dyeing in a supercritical carbon dioxide environment in the literature, however, fabrics construction and weights that were used in studies, are not very different. In this thesis, polyester fabrics with different fabric constructions and weights were dyed in scCO₂ medium, and the results were compared with fabrics dyed with the conventional method. It has been concluded that the temperature and pressure values change in scCO₂ medium according to both the construction and the weight, and the dyeings in the scCO₂ (waterless) medium are also successful in terms of the physical tests.

Key words: textile, supercritical carbon dioxide technology, waterless dyeing
2022, ix +63 pages.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın ilk gününden son gününe kadar yanımda olup değerli bilgileri ile yolumu aydınlatan, hem akademik hem de deneysel çalışmalarında destek ve emeklerini esirgemeyen, öğrencisi olduğum için her zaman şükran duyacağım sevgili tez danışmanım Doç. Dr. Semiha EREN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek Lisans eğitimim boyunca değerli zamanımı ayırarak pek kıymetli bilgi ve akademik birikimleriyle çalışmalarına sağladığı katkılardan dolayı çok değerli hocam Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN'e teşekkürlerimi borç bilirim.

Yüksek Lisans eğitimimin ilk gününden itibaren gerek teorik gerekse uygulamalı laboratuvar çalışmalarında her ihtiyacım olduğunda yanımda olan, bu yolda beni her zaman yüreklendiren ve manevi anlamda da desteklerini esirgemeyen sevgili hocam Dr. İdil YİĞİT'e şükranlarımı sunarım.

Eğitim hayatımın en kıymetli ve bir o kadar da zorlu gerçekleşen bu sürecini olabildiğince kolaylaştıran, her türlü desteğini ve yol arkadaşlığını hep kalbimde hissettiren pek değerli eşim Burak ÇİFTÇİ'ye bana inandığı ve ilham olduğu için ve canım kızım Elif Nisa ÇİFTÇİ'ye iyi ki hayatımda olduğu için sonsuz şükran duyuyorum.

Tüm eğitim hayatımı gerçekleştirmemi ve bu günlere gelmemi sağlayan, ellerinden gelenin fazlasıyla yanımda olup beni destekleyen ve yüreklendiren aileme, annem Turna Küçükboylu ve babam Bekir Küçükboylu'ya en içten sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunuyorum.

Bu tez çalışmasına 5190078 numaralı 1505 projesi olarak desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Büşra ÇİFTÇİ

16/01/2023

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGE ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vi
1.GİRİŞ.....	1
2.KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	2
2.1.Poliester Lifi ve Özellikleri.....	2
2.2.Poliesterin Boyanması.....	5
2.2.1.Dispers boyarmaddelerin genel özellikleri.....	8
2.2.2.Redüktif yıkama.....	9
2.3.Süperkritik Akışkan Ortamı.....	10
2.3.1.Tekstil boyamada süperkritik karbondioksit ortamın avantajları.....	12
2.3.2.Süperkritik karbondioksit akışkan ortamında boyama.....	12
2.3.3.Son yıllarda süperkritik karbondioksit ortamında yapılan poliester boyamalar.....	14
3.MATERYAL VE YÖNTEM.....	16
3.1.Materyal.....	16
3.1.1.Kumaş.....	16
3.1.2.Boyarmadde ve yardımcı kimyasallar.....	16
3.1.3.Kullanılan cihazlar.....	18
3.2.Yöntem.....	23
3.2.1.Poliester kumaşlara yapılan işlemler.....	23
4.BULGULAR VE TARTIŞMA.....	31
4.1.CIELab Renk Ölçümü Sonuçları.....	31
4.2.Yıkama Haslığı Sonuçları.....	41
4.3.Işık Haslığı Sonuçları.....	43
4.4.Sürtmeye Karşı Renk Haslığı Sonuçları.....	44
4.5.KOİ Testi Sonuçları.....	45
4.6.Kopma Mukavemeti Testi Sonuçları.....	46
4.7.Hidrofilite Testi Sonuçları.....	47
4.8.Eğilme Rijitliği Ölçümü Sonuçları.....	48
4.9.Oligomer Tayini Sonuçları.....	49
4.10.SEM Ölçümü Sonuçları.....	51
5.SONUÇ.....	58
KAYNAKLAR.....	60
ÖZGEÇMİŞ.....	63

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
°C	Santigrad derece
ΔE	Renk farkı
μm	Mikrometre
%	Yüzde
atm	Atmosfer basıncı
cm^3	Santimetreküp
cN	Santinewton
mg.cm	Genel eğilme rijitliği
dk	Dakika
dtex	Desiteks
E	Elastisite modülü
g	Gram
kg	Kilogram
K/S	Renk kuvveti
kN	Kilonewton
L	Litre
m^2	Metrekare
mg	Miligram
mg/l	Miligram/litre
ml/l	Mililitre/litre
N	Newton
rh	Bağıl nem
sn	Saniye

Kısaltmalar	Açıklama
CO ₂	Karbondioksit
CIELab	Uluslararası aydınlatma komisyonu
H	Hidrojen
HT	Yüksek sıcaklıkta boyama yöntemi
H ₂ O	Su
KOİ	Kimyasal oksijen ihtiyacı
kon.	Konvansiyonel
N ₂ O	Azot protoksit
NH ₃	Amonyak
P _c	Kritik basınç noktası
PET	Polietilen tereftalat, poliester
pH	Hidrojen gücü
scCO ₂	Süperkritik karbondioksit
SCF	Süperkritik akışkan
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
T _c	Kritik sıcaklık
T _g	Camlaşma geçiş sıcaklığı

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1.	975-2017 yılları arasındaki poliester elyaf üretimi (Jaffe ve ark. 2020) 2
Şekil 2.2.	Polietilen tereftalat sentezi (Bechtold ve Pham 2019)..... 3
Şekil 2.3.	Polimerik liflerin süperkritik karbondioksit ortamında boyanmasının genel adımları (Abate ve ark. 2019)..... 14
Şekil 3.1.	Ece deterjan ve sodyum perborat tetrahidrat..... 17
Şekil 3.2.	Yüksek basınca dayanıklı boyama tüpü, bilyeler, mesh ve Rapid Xiamen Model H-12 yağ banyosu..... 19
Şekil 3.3.	Elektronik teraziler sırasıyla; RADWAG AS 220 R2, KERN PCD.... 19
Şekil 3.4.	Tüplerin soğutulması için kullanılan derin dondurucu 19
Şekil 3.5.	KOİ ölçümlerinin yapıldığı termoreaktör..... 20
Şekil 3.6.	KOİ sonuçlarının değerlendirildiği Spectroquant Pharo 300 M cihazı 20
Şekil 3.7.	Yıkamaların yapıldığı cihaz..... 21
Şekil 3.8.	Işık haslığı testlerinin yapıldığı cihaz..... 21
Şekil 3.9.	Sürtme haslığının yapıldığı James Heal marka Crockmeter 21
Şekil 3.10.	Eğilme rijitliğinin ölçüldüğü cihaz 22
Şekil 3.11.	Kopma mukavemeti ölçüm cihazı SHIMADZU Model AG-X Plus 22
Şekil 3.12.	Renk ve renk farklılığının ölçüldüğü cihaz Konica Minolta Spectrophotometer CM-3600D 22
Şekil 3.13.	Tüplerin hazırlanıp yağ banyosuna yerleştirilmesi..... 28
Şekil 4.1.	Farklı kaliteleredeki poliester kumaşların tek renk boyanmış görselleri (% 0,5)..... 33
Şekil 4.2.	Farklı sıcaklık ve basınç değerlerinde boyanan döşemelik kumaşlar. 37
Şekil 4.3.	Farklı sıcaklık ve basınç değerlerinde boyanan şönil kumaşlar..... 38
Şekil 4.4.	Farklı sıcaklık ve basınç değerlerinde boyanan saten kumaşlar 39
Şekil 4.5.	Farklı sıcaklık ve basınç değerlerinde boyanan tül kumaşlar..... 40
Şekil 4.6.	Farklı sıcaklık ve basınç değerlerinde boyanan tafta kumaşlar 41
Şekil 4.7.	Ham şönil kumaşa ait SEM görüntüleri. A) 200 µm boyutunda görüntü B) 20 µm boyutunda görüntü 51
Şekil 4.8.	Konvansiyonel boyanmış şönil kumaşa ait SEM görüntüleri. A) 200 µm boyutunda görüntü B) 20 µm boyutunda görüntü..... 51
Şekil 4.9.	280 Bar 120 °C’de susuz boyanmış şönil kumaşa ait SEM görüntüleri. A) 200 µm görüntü B) 20 µm görüntü..... 52
Şekil 4.10.	Ham tül kumaşa ait SEM görüntüleri. A) 200 µm boyutunda görüntü B) 20 µm boyutunda görüntü..... 52
Şekil 4.11.	Konvansiyonel boyanmış tül kumaşa ait SEM görüntüleri. A) 200 µm boyutunda görüntü B) 20 µm boyutunda görüntü 53
Şekil 4.12.	240 Bar 130 °C’de susuz boyanmış tül kumaşa ait SEM görüntüleri. A) 200 µm boyutunda görüntü B) 20 µm boyutunda görüntü 53
Şekil 4.13.	Ham döşemelik kumaşa ait SEM görüntüleri. A) 200 µm boyutunda görüntü B) 20 µm boyutunda görüntü 54
Şekil 4.14.	Konvansiyonel boyanmış döşemelik kumaşa ait SEM görüntüleri. A) 200 µm boyutunda görüntü B) 20 µm boyutunda görüntü..... 54
Şekil 4.15.	250 Bar 130 °C’de susuz boyanmış tül kumaşa ait SEM görüntüleri. A) 200 µm boyutunda görüntü B) 20 µm boyutunda görüntü 54

Şekil 4.16.	Ham tafta kumaşa ait SEM görüntüleri. A) 200 µm boyutunda görüntü B) 20 µm boyutunda görüntü.....	55
Şekil 4.17.	Konvansiyonel boyanmış tafta kumaşa ait SEM görüntüleri. A) 200 µm boyutunda görüntü B) 20 µm boyutunda görüntü	55
Şekil 4.18.	280 Bar 130 °C’de susuz boyanmış tafta kumaşa ait SEM görüntüleri. A) 200 µm boyutunda görüntü B) 20 µm boyutunda görüntü	56
Şekil 4.19.	Ham saten kumaşa ait SEM görüntüleri. A) 200 µm boyutunda görüntü B) 20 µm boyutunda görüntü	56
Şekil 4.20.	Konvansiyonel boyanmış saten kumaşa ait SEM görüntüleri. A) 200 µm boyutunda görüntü B) 20 µm boyutunda görüntü.....	56
Şekil 4.21.	250 Bar 100 °C’de susuz boyanmış saten kumaşa ait SEM görüntüleri A) 200 µm görüntü B) 20 µm görüntü.....	57

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. PET lifinin bazı özellikleri (Koh, 2011)	4
Çizelge 2.2. Dispers boyarmaddelerin sınıflandırılması (Shang 2013'den değiştirilerek alınmıştır).....	9
Çizelge 2.3 Bazı akışkan bileşiklerin kritik noktaları (H. Eren ve ark. 2020'den değiştirilerek alınmıştır).....	11
Çizelge 2.4. 2010-2021 yılları arasında süperkritik karbondioksit ortamında çalışılan poliester kumaş gramaj ve yapıları.....	15
Çizelge 3.1. Tez çalışmasında kullanılan kumaşlar ve özellikleri	16
Çizelge 3.2. Boyama işlemlerinde kullanılan boyarmadde ve yardımcı kimyasallar.....	17
Çizelge 3.3. Tez çalışmalarında kullanılan cihazlar ve modelleri.....	18
Çizelge 3.4. Boyama reçeteleri.....	23
Çizelge 3.4. Boyama reçeteleri (devam).....	24
Çizelge 3.4. Boyama reçeteleri (devam).....	25
Çizelge 3.4. Boyama reçeteleri (devam).....	26
Çizelge 3.4. Boyama reçeteleri (devam).....	27
Çizelge 3.5. Poliester kumaşların susuz boyama işlemlerinde uygulanan basınç ve sıcaklık parametre değerler.....	27
Çizelge 4.1. scCO ₂ 'te tek renk boyama işlemi yapılmış numunelerin renk ölçümü sonuçları (250 Bar, 120 °C, 90 dk).....	31
Çizelge 4.2. scCO ₂ 'te tek renk boyama işlemi yapılmış numunelerin 90 dk ve 60 dk boyama sürelerinden sonra renk ölçümü sonuçları (250 Bar, 120 °C, 90 dk).....	32
Çizelge 4.3. Farklı sıcaklık ve basınç değerlerinde reçeteli boyanan numunelerin ΔE sonuçları.....	34
Çizelge 4.4. Farklı basınç ve sıcaklık değerlerinde reçeteli boyanan numunelerin K/S değerleri.....	35
Çizelge 4.5. Farklı sıcaklık ve basınç değerlerinde boyanan kumaşların yıkama haslığı test sonuçları.....	42
Çizelge 4.5. Farklı sıcaklık ve basınç değerlerinde boyanan kumaşların yıkama haslığı test sonuçları (devam).....	43
Çizelge 4.6. Farklı sıcaklık ve basınç değerlerinde boyanan kumaşların ışık haslığı test sonuçları.....	43
Çizelge 4.6. Farklı sıcaklık ve basınç değerlerinde boyanan kumaşların ışık haslığı test sonuçları (devam).....	44
Çizelge 4.7. Farklı sıcaklık ve basınç değerlerinde boyanan kumaşların sürtme haslığı test sonuçları.....	44
Çizelge 4.7. Farklı sıcaklık ve basınç değerlerinde boyanan kumaşların sürtme haslığı test sonuçları (devam).....	45
Çizelge 4.8. Konvansiyonel olarak boyanan kumaşların KOİ testi sonuçları..	46
Çizelge 4.9. Farklı sıcaklık ve basınç değerlerinde boyanan kumaşların kopma mukavemeti test sonuçları.....	47
Çizelge 4.10. Farklı sıcaklık ve basınç değerlerinde boyanan kumaşların hidrofilitite testi sonuçları.....	48

Çizelge 4.11. Farklı sıcaklık ve basınç değerlerinde boyanan kumaşların eğilme rijitliği test sonuçları.....	48
Çizelge 4.11. Farklı sıcaklık ve basınç değerlerinde boyanan kumaşların eğilme rijitliği test sonuçları (devam).....	49
Çizelge 4.12. Farklı sıcaklık ve basınç değerlerinde boyanan kumaşların oligomer tayini sonuçları.....	50

1. GİRİŞ

Gün geçtikçe suyun artan öneminin dünya üzerindeki etkisi daha belirgin bir hal almaya başlamıştır. Yaşamın devam edebilmesi için vazgeçilemez ve ancak sınırlı olan su kaynaklarını son derece dikkatli kullanmak gerekmektedir. Tekstil liflerinin geleneksel boyanması genellikle su bazlı ortamlarda gerçekleşmektedir. Ve bu işlemlerin sonucunda kaçınılmaz olarak aşırı miktarda su kullanımını ve çeşitli kimyasal katkı maddelerinin deşarjı nedeniyle su kirliliğini içeren çevresel sorunlar ortaya çıkmaktadır. Örneğin sadece 1 kg tekstil numunesinin terbiye işlemleri için yaklaşık 100-150 litre temiz su kullanılmaktadır. Ve terbiye işlemlerinin önemli bir parçası olan renklendirme adımı, tekstil ve moda endüstrisinin olmazsa olmazıdır. Bu bağlamda çok miktarda su tüketimi gerektiren tekstil sektöründe son yıllarda özellikle boyama ve tüm terbiye prosesleri için susuz işlemler ön plana çıkmıştır.

Süperkritik karbondioksit (scCO₂) teknolojisi bizi dünyaya daha fazla zarar vermeden geleceğe taşıyacak önemli bir gelişmedir. Hem su içermeyen bir yöntem olması hem de boyama işlemlerinde yardımcı kimyasal kullanımına ihtiyaç duyulmaması sebebiyle son derece ekolojik bir yöntemdir. Kullanılan karbondioksit gazının ve boyarmaddelerin tekrar kullanılabilir olması yönüyle de sürdürülebilir bir teknoloji olarak konvansiyonel boyama işlemlerinden daha ilgi çekici bulunmaktadır.

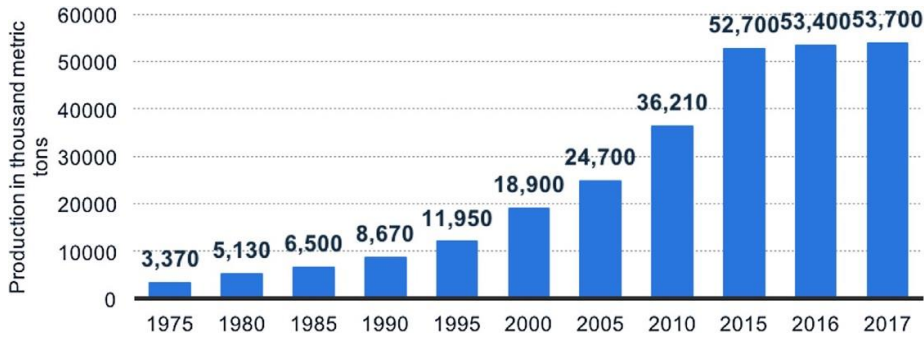
Poliesterin süperkritik karbondioksit ortamında boyanmasına ilişkin son yıllarda yapılan çalışmalar literatürde mevcutken kumaş yapısı ve gramajıyla ilgili çeşitlilik görülmemektedir. Bu tezde özellikle farklı kumaş yapıları ve gramajlardaki poliester kumaşların hem konvansiyonel hem de scCO₂ ortamında susuz boyanması ve sonuçların belirli testlerle karşılaştırılmasına yer verilmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Poliester Lifi ve Özellikleri

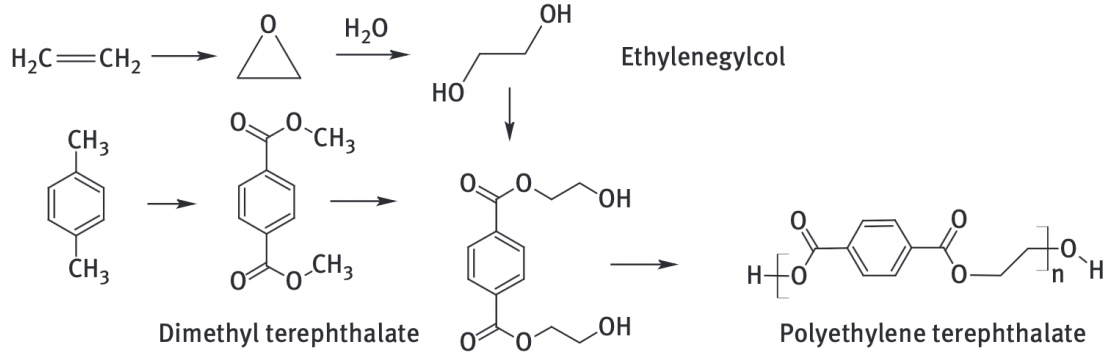
İlk ticari elyaf olan poliester, 1941'de İngiltere'de Calico Printers Birliği'nde çalışan Dickson ve Whinfield tarafından geliştirilmiştir. Etilen glikol (1,2-etandiol) ve tereftalik asidin (1,4-benzendikarboksilik asit) yoğunlaştırılmasıyla üretilmiştir. Bu ürünün üretim hakları ICI ve DuPont tarafından satın alındı, ancak İkinci Dünya Savaşı nedeniyle elyaflar 1948'e kadar pazarlanamadı. ICI ürününün adı Terylene ve DuPont ürününün adı Dacron'dur. Bu tip poliester ve çeşitli varyantları artık bir dizi üretici tarafından üretilmektedir (Broadbent, 2001). Etilen glikol ve tereftalik asitten elde edilen poliester polietilen tereftalat (PET) denir. Başka bir deyişle polietilen tereftalat termoplastik poliester ailesinin ana üyesi, bilim camiasında en çok tanınan, yaygın ticari ve endüstriyel uygulamalara sahip olan poliester lifidir (Barber, 2017). Poliesterler, petrolde bulunan kimyasal kaynaklardan polikondenzasyon reaksiyonu ile elde edilen ve zincir boyunca ester fonksiyonlarının (-COO-) varlığı ile karakterize edilen polimerlerdir (Thomas ve Visakh, 2011).

Poliester elyaf, özellikle PET, dünya çapında üretilen en büyük hacimli sentetik elyaftır. 2016 yılında üretilen toplam hacim, doğal veya sentetik diğer tüm liflerden çok daha yüksek bir büyüme oranıyla 50 milyon tonu aşmıştır (Şekil 2.1). Düşük maliyet, uygun işlenebilirlik şartları, pamuk ve diğer doğal liflerle karıştırılma kolaylığı, geri dönüştürülebilirlik ve özelleştirilebilir performansı, PET elyafın baskın başarısının nedenlerindedir (Jaffe, Easts ve Feng, 2020).



Şekil 2.1. 1975-2017 yılları arasındaki poliester elyaf üretimi (Jaffe ve ark. 2020)

Poliester lifleri diğer endüstriyel liflere kıyasla yüksek mukavemete ve E modülüne sahiptirler. Ayrıca düşük hidrofilitte ve minimum çekme özelliği göstermektedirler (Thomas ve Visakh, 2011). PET sentezi temel olarak Şekil 2.2’de gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Polietilen tereftalat sentezi (Bechtold ve Pham 2019)

PET yüksek erime sıcaklığı ($270^{\circ}C$) ve yarı kristalin polimer yapısının bir sonucu olarak iyi mekanik performans ile yüksek mukavemete sahiptir. Polar olmayan karakteri sebebiyle poliester liflerinin nem alımı $\%0,4$ su ($20^{\circ}C$, $\%65$ rh) gibi nispeten düşüktür (Thomas ve Visakh, 2011). Poliester lifler hidrofobiktir, bu nedenle sadece çok az miktarda su emerler ve ıslandıklarında çekme özelliklerinde önemli bir değişiklik olmaz. Poliester malzemeler çok düşük su emme özelliğinden dolayı çabuk kururlar. Çekme özellikleri sıcaklığa göre değişir; $180^{\circ}C$ 'de lif, oda sıcaklığında sahip olduğu mukavemetin yaklaşık yarısını korur ve esnekliği artar. Orta mukavemetli iplikler, kaynar suda yaklaşık $\%6$, aynı sıcaklıkta sıcak havada ise yalnızca $\%3$ oranında çekerler; benzer farklılıklar daha yüksek sıcaklıklarda da gözlemlenir. Bununla birlikte poliester lifler yüksek sıcaklıkta bozulduğunda kalıcı deformasyona uğramış olurlar. Poliester lifi 600 saat güneş ışığına maruz kalabilir ve elyaf mukavemeti hala orijinal mukavemetinin $\%60-70$ 'i civarında korunur (Koh, 2011). Poliesterin diğer lif özellikleri Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. PET lifinin bazı özellikleri (Koh, 2011)

	Yoğunluk (g/cm ³)	Mukavemet (cN/dtex)	Kopma Dayanımı (daN/mm ²)	Uzama (%)	Termal Bozulma (°C)
PET	1.36-1.41	3-9.5	35-130	8-55	283-306

Oksitleyici ve indirgeyici maddelere karşı dirençleri mükemmeldir ve sonuç olarak sodyum klorit, sodyum hipoklorit veya hidrojen peroksit kullanan ağartma işlemleri uygulanabilir. Konsantre formik asit, asetik ve oksalik asitlerle 80°C'de 72 saat işlemden sonra sırasıyla %15, %6 ve %8'lik güç kayıpları oluşur ancak mineral asitlerin seyreltik çözeltilerine 100°C'de bile dirençlidir (Koh, 2011).

Işığa karşı dayanımları oldukça iyidir. Ancak ultraviyole ışık karşısında zarar görebilirler. Uzun süreli ışığa maruz kaldıklarında dayanımları düşse de diğer liflerle kıyaslandığında başlangıç dayanımları yüksek olduğu için özellikle perde ve güneşlik yapımında kullanımı yaygındır (Karahana ve Mangut, 2011).

Poliester lifler, 100°C'ye kadar sıcaklıklarda seyreltik alkalilerle muamele edilebilir ve merserizasyonda kullanılan güçlü alkali koşullara dayanabilir. Bununla birlikte, kostik çözeltileri aslında polimere saldırır ve hidrolize eder, ancak kaynama noktasına kadar olan sıcaklıklarda bu tür saldırı lifin yüzeyi ile sınırlıdır; bu özel nitelik ipek benzeri poliester üretimlerinde kullanılmıştır. Poliester polimerler tipik ester reaksiyonlarını gösterirler ve seyreltik alkali veya asit varlığında veya tek başına su ile hidrolize edilebilirler. Banyo pH'ı 7'ye yakın tutulduğu sürece, 130°C'de bir ila iki saat boyunca boyanmış elyafta ciddi bir değişiklik olması beklenmez. Bununla birlikte, pH'ı 4'ün altında olan bir asidik banyoda veya bir alkalın banyosunda, daha hızlı saldırı meydana gelecektir. pH 8'in üzerinde, yüksek sıcaklıktaki boya banyoları, işlem uzun sürerse poliester liflerinin ciddi şekilde bozulmasına neden olabilmektedir (Koh, 2011).

2.2. Poliesterin Boyanması

Poliesterin boyama prosesinden önce mamüllere bazı ön hazırlık işlemleri gerekir:

- Antistatik işlemler, yağ ve kirlerin uygun yıkama prosedürleri ile temizlenmesi,
- Dokuma kumaşlarda uygulanan haşılın sökülmesi,
- İç gerilim altındaki iplik ve kumaşlarda daha sonraki yıkama prosedürleri sırasında, düşük boyutsal stabilitenin bir sonucu olarak, kontrolsüz gevşeme meydana gelebilir bu sebeple ısı işlem uygulanması gerekir.

Bu nedenle, boyama öncesi ön terbiye aşamaları, haşıl sökme, yıkama ve termal stabiliteyi içerir (Bechtold ve Pham, 2019).

Dispers boyaların poliesterde difüzyonu, serbest hacim teorisi ile tanımlanır. Bu teoriye göre, dispers boyalar lif yüzeyinde adsorbe edilir ve yeterli termal enerji sağlandığında tekstil malzemesindeki polimer zincirlerinin segmental hareketinden kaynaklanan geçici geçişler yoluyla lifin içine yayılır. Sağlanan sürekli termal enerji ile elyaf ve boya banyosundaki boyarmadde dağılımı dengeye ulaştıktan sonra sistem sıcaklığı düşürüldüğünde, polimer zincirlerinin titreşimi ve kayması zayıflar ve son olarak elyaftaki boyalar elyafın içinde bloke olur (Shang, 2013).

Basitleştirilmiş haliyle boyama işlemi aşağıdaki adımları takip eder:

- Dispers boya ilavesi
- Dispers boyanın mobilizasyonu (çözünme ve süblimasyon)
- Elyaf yüzeyinde sorpsiyon
- Elyaf matrisine difüzyon
- Boyanmış malzemenin indirgen (redüktif) yıkanması (Bechtold ve Pham, 2019).

Çoğu tekstil boyama prosesi boyarmaddenin sulu çözeltiden elyaf yüzeyine transferini içeren adsorpsiyon adı verilen süreçten oluşur. Sonrasında boya yavaş yavaş elyaf içerisine yayılabilir. Bu durum lifin iç yapısına bağlı olarak alt gözenekler veya lifin polimer molekülleri arasında meydana gelir. Boyarmaddenin life adsorpsiyon ve penetrasyonunun genel sürecine absorpsiyon denir. Absorpsiyon geri dönüşümlü bir

süreçtir. Bu nedenle boya, desorpsiyon adı verilen bir işlem olan yıkama sırasında boyalı malzemeden sulu ortama geri dönebilir. Doğrudan absorpsiyonun yanı sıra, bir elyafın renklendirilmesi, elyafın içinde bir boyanın çökmesini veya elyaf ile kimyasal reaksiyonunu da içerebilir. Bu ikinci tür işlem yıkamaya karşı daha iyi haslık sağlamaktadır çünkü bunlar esasen geri döndürülemez işlemlerdir (Broadbent, 2001).

Dispers boyama prosesini etkileyen başlıca faktörler sıcaklık, zaman, pH ve yardımcı maddelerdir. Poliester, diğer sentetik lifler gibi oldukça kristalli ve fazlaca hidrofobiktir (Shang, 2013). Dispers boyama için, polimerin camlaşma geçiş sıcaklığının (Tg) aşılması gerekmektedir. PET'in camlaşma geçiş sıcaklığı 70 °C'ye yakındır. Bu sıcaklık lifteki moleküler yapının düzenine bağlıdır. İzotropik amorf PET, 68 °C'de camlaşma geçişi sergilerken, yüksek oranda kristalin lifler 100 °C'ye kadar camlaşma geçişi sergilemektedir (Bechtold ve Pham, 2019; Shang, 2013).

PET'in bağıl nem oranı sadece %0,4'tür ve bu nedenle hidrofobik bir malzemedir. Camlaşma geçiş sıcaklığının üzerinde bile su penetrasyonu minimumdur. Bu nedenle PET, iyonik boyaların sulu çözeltilerinden etkilenmez. Ayrıca PET polimerinde yüklü fonksiyonel grupların olmaması ve önemli sayıda hidroksil veya amino gruplarının bulunmamasından dolayı, boyanması dispers boyalar ile gerçekleştirilir. Dispers boyalar sadece çok sınırlı miktarda suda çözünürlüğe sahiptir. 100 °C'de boyaların poliestere difüzyon hızı çok düşüktür ve boyama yavaştır. Bunun nedeni, polimerin amorf bölgelerindeki polimer zincirlerinin, boya moleküllerinin yayılabileceği kadar büyüklükte boşluklar oluşturmak için hala yeterli hareketliliğe sahip olmamasıdır. Ancak boyama sıcaklığının 100 °C'den 130 °C'ye çıkarılması boyama hızı üzerinde çok olumlu bir etkiye sahiptir. PET' in basınç altında boyanması (HT boyama) yaygın bir uygulama haline gelmiştir. Yine de bu koşullar altında bile, kullanılan boyalar, liflere kabul edilebilir bir difüzyon hızı sağlamak için diğer boya türlerine kıyasla her zaman küçük moleküler boyutta olmak zorundadırlar. Bunun yanı sıra poliester liflerinin şişirilip boyarmaddenin life erişebilirliğini artırmak için carrier adı verilen ajanlar da kullanılmaktadır (Broadbent, 2001). Ancak günümüzde carrier kullanımını çevre dostu ve ekolojik bir uygulama olmaması gibi nedenlerle azalmaktadır (Toprak ve Anış, 2017).

Boya banyosunun pH'ı genellikle ya asetik asit tek başına ya da diğer asitlerle kombinasyon halinde kullanılarak 4.5-5.5 arasında ayarlanır. Asidik koşullar, yüksek sıcaklıkta alkaliye duyarlı kimyasal gruplara sahip bazı dispers boyaların indirgenmesini ve hidrolizini en aza indirebilir (Shang, 2013).

Emdirme Yöntemine göre Boyama

Poliester için sürekli (kesiksiz/kontinü) boyama genellikle Thermosol (thermofix) boyama makinesinde gerçekleştirilir, bu makine 1949'da Du Pont tarafından icat edilmiştir. Önce dispers boyaların kumaşa emdirilmesini, kumaşın silindirler arasından geçirilerek sıkılmasını ve ardından belirli bir sıcaklıkta (yaklaşık 190-205 °C) kuru ısıtma (termofiksaj) ile boyaların life sabitlenmesini içerir. Bu yüksek sıcaklıkta, lifin moleküler zincirleri açılır ve disperse olan boyalar buharlaşarak polimerin içine difüze olur. Ortam sıcaklığı düşürüldükten sonra boyalar lif içinde kalır ve bu da yüksek haslıklı boyama sonuçları verir. Bu işlem, saf poliester boyama için nadiren tercih edilir, ancak poliester/selüloz dokuma karışımlarının boyanmasında sıklıkla kullanılır (Shang, 2013).

Çektirme Yöntemine Göre Boyama

Çektirme yöntemiyle yapılan boyamalarda (HT boyama ve carrier boyama), dispersiyon boyarmaddeleri suda çok az da olsa (yaklaşık 10 mg/l) bir çözünürlüğe sahip olduklarından çözülmüş durumda bulunan boyarmadde molekülleri H- köprüsü ve dispersiyon çekim kuvvetleriyle liflerin yüzeyinde adsorbe olmaktadır. Yüzeyde adsorbe olmuş boyarmadde moleküllerinin uygun koşullarda liflerin içerisine difüzyonu sağlandığında da boya banyosundaki boyarmadde agregatları yeniden az miktarda boyarmadde moleküllerini parçalamaktadır. Böyle sürüp giden adsorpsiyon, difüzyon, dengenin yeniden oluşması sonucunda, dispersiyon boyarmaddelerinin çok kısıtlı olan çözünürlüklerine rağmen, boyarmaddenin liflere difüzyonu suda çözülmüş olarak bulunan boyarmadde molekülleri üzerinden meydana gelmektedir (Sunguray, 2010).

Görüldüğü gibi poliesterin dispers boyalarla kaynama noktasında boyanması, boyaların elyafa difüzyon hızının düşük olması nedeniyle yavaştır. Difüzyon için aktivasyon

enerjisi oldukça yüksektir ve boyama sıcaklığının 100 °C'den 130 °C'ye yükseltilmesi boya difüzyon hızını önemli ölçüde artırır. Taşıyıcı olmadan basınç altında gerçekleştirilen bu yüksek sıcaklıkta boyama yöntemi hem daha hızlıdır hem de boyaların gelişmiş migrasyon özelliklerinden dolayı homojen bir boyama sağlar. (Broadbent, 2001).

2.2.1. Dispers boyarmaddelerin genel özellikleri

Boyalar, belirli yüzeylere yapışabilen renklendirme yeteneğine sahip maddelerdir. Dünya çapında üretilen 700.000 ton/yılın üzerinde sentetik boya ile tekstil endüstrisinde önemli bir gereksinim oluşturmaktadırlar. Tekstil boyaları, kullanım ömrü boyunca ışığa, tere ve yıkama koşullarına maruz kaldığında uygun haslık özelliklerini göstermek ve sürdürmek için güçlü afiniteye sahip olmalı, solması zor ve uygun maliyetli olmalıdır (Amenaghawon, Anyalewechi, Kusuma ve Mahfud, 2020).

1920'lerin başında ikincil selüloz asetat liflerinin boyanması için dispers boyaların geliştirilmesi büyük bir teknolojik atılım olmuştur. Günümüzde en önemli kullanım alanları sentetik elyaf grubu olan poliesterlerin renklendirilmesidir (Broadbent, 2001).

Yaygın olarak kullanılan dispers boyalar, azo dispers boyaları, benzotiazoleazo dispers boyaları, antrakinon dispers boyaları ve mordan dispers boyaları içerir. Bu boyalardan en fazla kullanıma sahip olanı, dünya boya üretiminin yaklaşık %70'ini oluşturan azo boyalardır (Amenaghawon ve diğerleri, 2020).

Dispers boyalar liflere fiksasyon özellikleri açısından bakıldığında boya partikül boyutlarına, homojenliğine ve dispersiyon ajanının doğasına bağlı olarak değişen, suda çok az çözünen bileşiklerdir. Yüksek sıcaklıktaki su, bir dispersiyon ajanının mevcudiyetinde az miktarda boyayı monomoleküler formda çözmektedir. Hidrofobik lifler daha sonra boyayı çözüldükten emerler. Bu boyalar, nispeten düşük moleküler ağırlığa sahip iyonik olmayan mono-azo veya antrakinon türevi organik bileşiklerdir (Broadbent, 2001).

Dispers boyarmaddeler genellikle polar grup sayısı ve boya molekülünün moleküler ağırlığı ile yakından ilişkili olan boyama hızları ve süblimasyon haslıklarına göre sınıflandırılırlar. Çizelge 2.2’de bazı boyarmaddelerin sınıflandırılma özellikleri verilmiştir. Düşük enerjili dispers boyalar olarak sınıflandırılan düşük moleküler ağırlıklı dispers boyalar, boyama sürecinde daha homojen dağılım ve daha hızlı boyama sunarken nihai ürünleri için zayıf süblimasyon haslığı verir. Molekül ağırlığı daha yüksek olan, zayıf migrasyon ve düşük boyama hızı sergileyen ancak süblimleşme haslığı iyi olan boyalar ise yüksek enerjili dispers boyaları oluşturmaktadır. Çektirme yöntemine göre boyamada düşük enerjili boyalar daha uygunken, termosol yöntemi ile boyamada yüksek enerjili boyalar tercih edilir (Shang, 2013).

Çizelge 2.2. Dispers boyarmaddelerin sınıflandırılması (Shang 2013’den değiştirilerek alınmıştır)

Özellik	Düşük enerjili	Orta enerjili	Yüksek enerjili
Moleküler ağırlık	Düşük	Orta	Yüksek
Polarite	Düşük	Orta	Yüksek
Boyama oranı	Yüksek	Orta	Düşük
Süblimasyon haslığı	Düşük	Orta	Yüksek
Örnek Boyarmadde (C.I. disperse)	Yellow 54, Red 60, Blue 56.	Yellow 211, Red 73, Blue 183:1.	Orange 30, Red 167, Blue 79.

2.2.2. Redüktif yıkama

Boyanmış ürünlerin iyi derecede haslıklara sahip olmasını sağlamak için kapsamlı temizlik gereklidir. Liflere sabitlenmemiş boyarmaddeler redüktif yıkama işlemi ile uzaklaştırılır. İşlem sırasında indirgen yıkama maddeleri kullanılmaktadır. İndirgen yıkama maddelerine ise hidrosülfid, tiyüredioksit, hidroksiaseton, sodyumbisülfid, tiyoglikolik asit gibi örnekler verilebilmektedir. Hidrosülfid, redüktif yıkama işleminde en yaygın kullanılan kimyasaldır (Balcı, 2011).

İndirgen yıkama konvansiyonel olarak alkali ortamda gerçekleştirilmektedir. Bu yıkama esnasında, yüksek su tüketimi ve atık suya yüksek kükürt atığı bırakma gibi çevresel

sorunlar bulunmaktadır. İndirgen yıkama ile elyafa yüzeysel olarak tutunmuş boyarmadde molekülleri daha küçük, suda çözünebilir, renksiz parçalara ayrılmaktadırlar (Balcı, 2011).

Pratikte, 80 °C'de 15 dakika boyunca indirgeme temizliği, ardından genel soğuk durulama genellikle yeterlidir. Nötralizasyon işlemi için de son durulama banyosunda 1-2 ml/l asetik asit (%60) kullanılır (Shang, 2013).

2.3. Süperkritik Akışkan Ortamı

Tekstil endüstrisi, büyük miktarlarda enerji, su ve tehlikeli kimyasallar kullandığı için küresel kaynaklar üzerinde ağır bir yük oluşturmaktadır. Bu durum, çevre üzerindeki ağır baskı nedeniyle tekstillerin sürdürülebilirliği ile ilgili sorunları gündeme getirmiştir. Bu nedenle tekstil terbiye işlemlerinin sürdürülebilirliğini sağlamak için alternatif yaklaşımlar gerekli hale gelmiştir. Son yıllarda etkili olan çevre dostu yeşil kimya tekstil terbiyesini sürdürülebilir kılmak için etkili bir araç olarak ortaya çıkmıştır (Gulzar, Farooq, Kiran, Ahmad ve Hameed, 2019)

Bir "süperkritik akışkan" (SCF), kritik sıcaklığı (Tc) ve kritik basıncının (Pc) aynı anda kritik değerlerinin üzerinde olan bir madde olarak tanımlanır. Kritik nokta, maddenin dengede bir buhar ve sıvı olarak bulunabileceği sistemdeki en yüksek sıcaklık ve basıncı temsil eder (Abate, Ferri, Guan, Chen ve Nierstrasz, 2019; Abou Elmaaty ve Abd El-Aziz, 2018; H. Eren, Yiğit, S. Eren ve Avinç, 2020; Odabaşoğlu, Avinç ve Yavaş, 2013).

Bu sistemlerde kritik nokta değerleri aşıldığında sıvı süperkritik bir sıvıya dönüşür ve içerisinde düşük ila orta polariteye sahip organik moleküller çözünür. Bazı akışkanların kritik noktaları Çizelge 2.3'de verilmiştir. Süperkritik akışkan ne gaz ne de sıvıdır, ancak her iki özelliğe de sahiptir. Bir süperkritik akışkanın yoğunluğu, gaz halinin yoğunluğundan yaklaşık 200-400 kat daha büyüktür, bunun yanı sıra sıvı halin yoğunluğu ile hemen hemen aynıdır. Ayrıca difüzyon, viskozite, yüzey gerilimi ve diğer fiziksel özellikleri nedeniyle çok çekici ekstraksiyon özellikleri sunar. Süperkritik akışkanların sıvılara göre difüzyon gücü yüksek ve viskoziteleri düşüktür bu kombinasyon ile müthiş bir kütle transferi özelliği gösterirler. Süper kritik bir akışkanın yüzey gerilimi esasen

mevcut değildir bu da malzemelerin içine daha iyi bir penetrasyona sebep olmaktadır. (H. Eren ve diğerleri 2020).

Süperkritik karbondioksitin kullanım alanlarına örnek olarak kimyasal ekstraksiyon ve saflaştırma, polimerizasyon ve inorganik katalitik prosesleri içeren sentetik kimyasal reaksiyonlar, enzim içeren biyokimyasal reaksiyonlar, parçacık boyutu mühendisliği, tekstil terbiye ve ileri malzeme üretimi verilebilir (H. Eren ve diğerleri 2020).

Süperkritik akışkanların organik moleküller üzerindeki benzersiz özellikleri ve çözme gücü, farklı alanlarda kullanımlarını teşvik etmiştir. Doğal ürünlerin ekstraksiyonu, tütün ve şerbetçiotu ekstraksiyonu ve kahve çekirdeklerinden kafein ekstraksiyonu gibi işlemlerde süper kritik akışkanlar kullanılmıştır. Deri endüstrisinde, kromo tabaklama, yağ giderme, boyama, kireç giderme, lif ayırma, yağlama ve terbiye işlemleri gibi işlemler scCO₂'ten yararlanılmaktadır. Süperkritik akışkanların diğer rapor edilen uygulamaları, kromatografik işlemler, toprak işleme, katalizörlerin hazırlanması ve nano ölçekli üretimdir (Amenaghawon ve diğerleri, 2020).

Çizelge 2.3. Bazı akışkan bileşiklerin kritik noktaları (H. Eren ve ark. 2020'den değiştirilerek alınmıştır)

Bileşik	Kaynama noktası (°C) (1 atm)	Sıcaklık (°C)	Basınç (atm)	Yoğunluk (g/cm³)
CO₂	-78.5	31.3	72.9	0.448
NH₃	-33.4	132.3	11.3	0.24
H₂O	100	374.4	226.8	0.334
N₂O	-88.5	36.5	71.1	0.457
Ethanol	78.4	243.4	63	0.276
Ethane	-88	32.4	48.3	0.203
n-Propane	-44.5	96.8	42	0.220
Trichlorofluoromethane	23.7	196.6	41.7	0.554
Chlorotrifluoromethane	-81.4	28.8	39.0	0.58
Diethylether	34.6	193.6	36.3	0.267

2.3.1 Tekstil boyamada süperkritik karbondioksit ortamın kullanım avantajları

Karbondioksit, çevre dostu ve kullanım açısından güvenli olduğu için özellikle tekstil endüstrisinde tercih edilen akışkandır. Süperkritik karbondioksit düşük viskozite, düşük yüzey gerilimi ve yüksek difüzyon gibi arzu edilen nitelikleri ve kullanımından kaynaklanan çeşitli avantajlarla sentetik liflerin boyanması için yaygın olarak tanınan ve kullanılan bir boyama ortamıdır. Bu benzersiz özellikler boyaların tekstillere nüfuz etmesini kolaylaştırır ve böylece gereken boyama süresini azaltır (Amenaghawon ve diğerleri, 2020).

Birçok madde süperkritik durumda kullanılabilmesine rağmen karbondioksit en çok kullanılandır. Süperkritik karbon dioksit, yanıcı ve patlayıcı olmaması, toksik olmaması, çevre dostu, atık giderme problemi olmayan, geri kazanılabilir, ucuz, kimyasal olarak inert ve zararsız olması, kritik sıcaklık ve kritik basınç değerlerinin diğer akışkanlara göre düşük ($T_c = 31.1 \text{ }^\circ\text{C}$, $P_c = 73.7 \text{ bar}$) ve çalışılmasının kısmen daha kolay olması sebebiyle tekstil uygulamaları için en iyi tercihtir. Ayrıca karbondioksit, fotosentez olayında besin üretmek için bitkiler tarafından kullanıldığından aynı zamanda biyobozunurdur (Banchemo, 2013; Çelebi, 2007; Odabaşoğlu ve diğerleri, 2013).

Atık minimizasyonu açısından da dikkat çekici olan bu uygulamanın sonunda kullanılan CO₂'in en az %90'ı geri kazanılabilir ve geri dönüştürülebilir. Bu durum aynı zamanda üretim maliyetini düşürür ve üretilen malzemede istenmeyen solvent kalıntıları oluşumunu önler (Abate ve diğerleri, 2019).

2.3.2. Süperkritik karbondioksit akışkan ortamında boyama

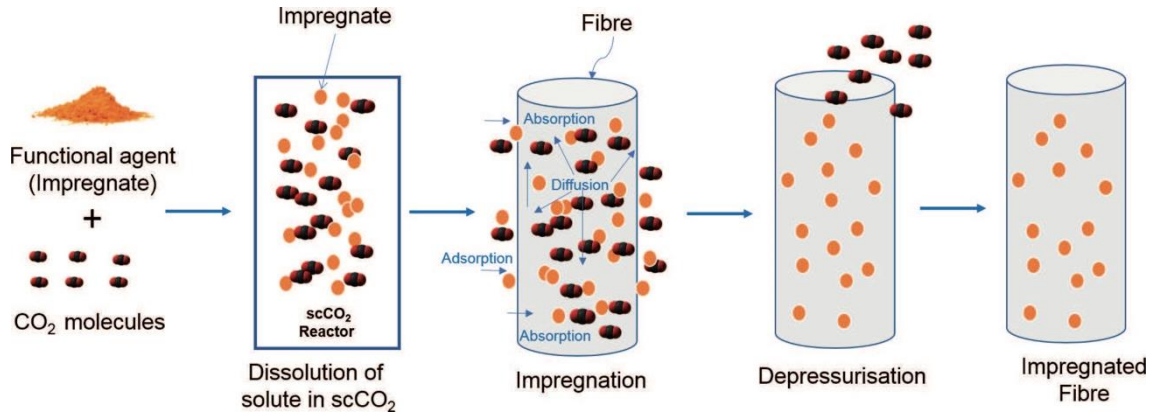
Geleneksel sulu boyama proseslerinin düşük difüzyon hızları, yüksek sıcaklıklar, sınırlı penetrasyon derinliği, çok uzun boyama süreleri, sağlığa zararlı çözücü maddelerin kullanımı, yüksek enerji ve su tüketimi ve işlemler sırasında kullanılan diğer kimyasal katkı maddeleri gibi birçok dezavantajı vardır. Bu sorunları çözmek için çeşitli teknikler geliştirilmiş ve süperkritik karbondioksitin tekstil liflerini boyamada kullanılan geleneksel organik çözücülere karşı ilgi çekici bir alternatif olduğu gösterilmiştir (Abate ve diğerleri, 2019).

Süperkritik karbondioksitin dispers boyalara karşı çözme gücü ve ayrıca hidrofobik polimerlere yönelik şişirme ve plastikleştirme etkisi, bu akışkanı poliester ve diğer sentetik tekstillerin renklendirilmesi için uygun hale getirir. Bu kritik üstü durum, kapalı bir sistemde mevcut sıvı ve gaz halindeki durum sınırlarının artık ayırt edilemediği kritik değerlere ulaştığında ortaya çıkar. Bu noktada, basınçtaki müteakip artış, sistemin dielektrik sabitinde çok önemli bir artışla sonuçlanacak ve böylece normal basınç ve sıcaklık koşullarında hiç gerçekleşmeyecek olan bir sisteme çözme yetenekleri kazandıracaktır (Amenaghawon ve diğerleri, 2020). Boyama işleminin sonunda, basıncın düşürülmesiyle karbondioksitin kolayca uzaklaştırılması ve fazla boyanın geri kazanılması önemli bir avantajdır. Ayrıca sistemde kullanılan karbondioksit gazı da benzer şekilde geri kazanılıp tekrar kullanılabilir. Boyanmış ürünün kalitesi ise hem renk verimleri hem de haslık özellikleri açısından geleneksel sulu işlemlerde elde edilen numunelerle karşılaştırılabilir sonuçlar verir (Banchemo, 2013).

Süperkritik karbondioksit, dispers boyarmaddelerin önemli miktarını çözebilir ve boyama, kuru çözücü ortamında gerçekleştirilir. Süperkritik ortamda kuru boyama, asidik ve bazik kimyasal madde kullanmaksızın tamamlanmış olur. Bu nedenle süperkritik karbondioksit ortamında boyama yöntemi, temel olarak su kullanmayan bir prosedir ve atık su problemi bu sistemle tamamen önlenir (Devrent, Özcan ve Durur, 2006).

scCO₂ ortamında boya alımı, geleneksel su bazlı boyamaya benzer şekilde ilerler; boyarmaddenin süperkritik karbondioksitte çözünmesi ve sonra lif transfer olması, lif tarafından absorbe edilen boyarmaddenin ise liflere difüzyonunun gerçekleşmesiyle boya alımı tamamlanmış olur (Devrent ve diğerleri, 2006; Odabaşoğlu ve diğerleri, 2013).

Başka bir deyişle, tekstil materyalinin scCO₂ akışkan ortamında boyanması şu şekilde açıklanabilir (Şekil 2.3). Polimerler, çözülmüş boyarmaddeler içeren scCO₂ banyosuna eklendiğinde, küçük CO₂ molekülleri amorf bölgelerin boşluklarına nüfuz eder ve malzemeyi şişirerek ilave hacimler oluşturur. Bu şekilde malzemenin plastikleşmesine neden olur. Daha sonra çözülmüş boyarmaddeler lif yüzeyine taşınır ve ardından şişmiş polimer matrisine nüfuz eder ve difüze olur. Son olarak, basıncın düşürülmesinin ardından CO₂ molekülleri büzüşen polimer tarafından uzaklaştırılır ve emdirilmiş boyarmadde molekülleri polimer matrislerinin içinde tutulmuş olur.



Şekil 2.3. Polimerik liflerin süperkritik karbondioksit ortamında boyanmasının genel adımları (Abate ve ark. 2019)

Su tüketilmemesi ve kirlilik oluşturacak çevresel atık olmaması gibi tartışılmaz avantajların yanı sıra, scCO₂ ortamında çalışılmasının daha basit boya formülasyonları (yardımcı kimyasal maddeler olmadan) kullanımı, daha kısa boyama süreleri, kurutma adımının ortadan kaldırılması vb. gibi birçok başka avantajı vardır. Bu işlem ekonomik açıdan da avantajlıdır. Süperkritik bir boyama makinesinin satın alma maliyeti konvansiyonel olandan daha yüksek olmasına rağmen, işletme maliyeti daha düşüktür ve bu da süperkritik işlem için toplam maliyetin %50 daha düşük olmasına neden olur. Süperkritik karbondioksit ortamda boyamanın asıl zorluğu, doğal tekstillerin renklendirilmesiyle bağlantılıdır. Bir yandan hidrofobik tekstillerin boyanmasında pek çok avantaja sahip olan scCO₂'in düşük polaritesi, diğer yandan polar hidrofilik liflerin boyanmasına açık bir engeldir. Mevcut durum bu teknolojinin tekstil endüstrisi tarafından hala ticari olarak yaygın bir şekilde benimsenmemiş olmasını açıklamaktadır (Banchero, 2013; Odabaşoğlu ve diğerleri, 2013).

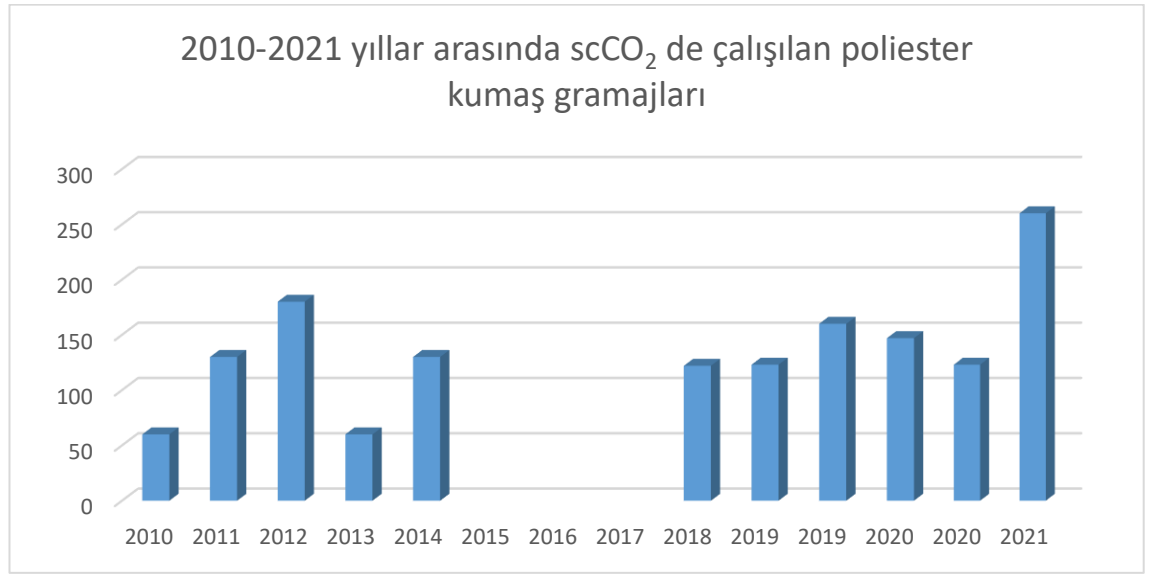
2.3.3. Son yıllarda süperkritik karbondioksit ortamında yapılan poliester boyamalar

Literatüre baktığımızda süperkritik karbondioksit ortamında yapılan poliester boyamalarına ilişkin yayınlarda çoğunlukla iplik, filament veya benzer gramajda düz dokuma kumaşlar kullanıldığını görüyoruz. Bununla birlikte yine literatürdeki yayınlarda çoğunlukla tek renk boyamalar yapılırken nadiren boyarmadde karışımları kullanıldığı görülmektedir. Oysa çeşitli tonlar üretmek için boya karışımlarının kullanılması, endüstriyel düzeyde süperkritik karbondioksit boyama için çok önemlidir.

İlk olarak 2013 yılında Huang ve arkadaşları Disperse Orange 30, Disperse Red 167 ve Disperse Blue 79'un trikromatik kombinasyonunu araştırmışlardır (Banchero, 2020; Huang, Dai, Dong, Wang, ve Jia, 2013).

Bu tezde ise farklı gramaj aralıklarında ve farklı dokuma yapılarında kumaşlar ile karışım boyamalar yapılarak literatüre önemli bir katkı sağlanmıştır.

Çizelge 2.4. 2010-2021 yılları arasında süperkritik karbondioksit ortamında çalışılan poliester kumaş gramaj ve yapıları



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Kumaş

Bu tez çalışmasında yapılan hem konvansiyonel hem de süperkritik karbondioksit ortamındaki boyama işlemlerinde kullanılan boyamaya hazır beş farklı konstrüksiyona sahip %100 poliester kumaşlar Berteks Tekstil San. ve Tic. A.Ş.'den alınmıştır. Kumaşlara ait bilgiler Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Tez çalışmasında kullanılan kumaşlar ve özellikleri

Kumaş Adı	İçerik		Numara (Denye)	Örgü Tipi	Gramaj (g/m ²)
TAFTA	Atkı	%100	150	Bezayağı	107
	Çözü	Poliester	75		
TÜL	Atkı-Çözü	%100 Poliester	75	Bezayağı	57
DÖŞEMELİK	Atkı-Çözü	%100 Poliester	2220	Bezayağı	333
ŞÖNİL	Atkı 1-2	%100	1500	Double Face	330
	Çözü	Poliester	70		
SATEN	Atkı	%100 Poliester	86	Saten	205
	Çözü	%100 Poliester	341		

3.1.2. Boyarmadde ve kimyasallar

Konvansiyonel ve süperkritik karbondioksit ortamında yapılan boyamalar için aynı boyarmaddeler kullanılmıştır. Konvansiyonel boyamalar için kullanılan yardımcı kimyasallar ve ard yıkama maddeleri listelenmiştir (Çizelge 3.2).

Süperkritik karbondioksit ortamında yapılan boyamalarda tüplerin içerisinde boyarmadde dışında herhangi başka bir madde kullanılmamıştır. Ancak boyama sonrasında kumaşlar, yüzeyde biriken life fikse olmamış artık boyarmaddelerin kumaş üzerinden uzaklaştırılması için 1:20 oranında saf asetonda birkaç dakika karıştırılmıştır. Yapılan

işlemler daha detaylı olarak Yöntem kısmında anlatılacaktır. Her iki boyama metodunda kullanılan boyarmadde ve yardımcı kimyasallar Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Boyama işlemlerinde kullanılan boyarmadde ve yardımcı kimyasallar

Ticari İsim	Kimyasal özellik
LEVANOL HDL	Dispergator ve egalizator
RUCOWET MSK	Islatici
CETAFLAM DB 9	Güç tutuşurluk malzemesi
SEGACAR D LIQ	Carrier
GENRED OX	Redüktif yıkama maddesi
TORASTAT PR	Antistatik yumuşatma ajanı
RUCO-STAT AST	Antistatik apre maddesi
EXAPON CN	Tampon asit
HİDROSÜLFİT	Yıkama yardımcı maddesi
KOSTİK	Yıkama yardımcı maddesi
ASETON	Yıkama yardımcı maddesi
Dianix Yellow Brown S-2R	Boyarmadde
Dianix Rubine S-2G %150	Boyarmadde
Dianix Blue S-2G	Boyarmadde

Yıkama haslığı testi için yapılan yıkamalarda kullanılan ECE deterjan ve sodyum perborat tetrahidrat Şekil 3.1’de verilmiştir.

Ayrıca yüzey oligomeri tayini testi için de saf 1,4 Dioksan çözeltisi kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Ece deterjan ve sodyum perborat tetrahidrat

3.1.3. Kullanılan cihazlar

Bu tezde yapılan çalışmalarda kullanılan tüm cihazlar ve cihaz modelleri Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Tez çalışmalarında kullanılan cihazlar ve modelleri

Adı	Modeli
Boyama tüpleri	DyeCoo
Yağ banyosu	Rapid Xiamen Model H-12
Derin dondurucu	SD 200 A++ Sandık tipi
Elektronik terazi (boyarmadde)	RADWAG AS 220 R2 d=0,1mg
Elektronik terazi (kumaş)	RADWAG PS 600/C/2 d=0,001g
Elektronik terazi (tüp)	KERN PCD d=0,1g
Termoreaktör	WTW CR 2200
KOİ ölçüm cihazı	Spectroquant Pharo 300 M
Yıkama haslığı cihazı	Test Marka
Işık haslığı cihazı	Q-SUN Xenon Test Chamber
Sürtme haslığı cihazı	James HEAL Crockmeter
Eğilme rijitliği ölçüm cihazı	Bursa Uludağ Üniversitesi
Kopma mukavemeti ölçüm cihazı	SHIMADZU Model AG-X Plus
Renk ve renk farklılığı ölçümü	Konica Minolta Spectrophotometer CM-3600D

Hem konvansiyonel hem de susuz boyamalar boyamalar aynı cihazda gerçekleştirilmiştir. Her iki boyama yöntemiyle de yapılan denemelerinin gerçekleştirildiği yağ banyosu ve yüksek basınca dayanıklı tüpler Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Yüksek basınca dayanıklı boyama tüpü, bilyeler, mesh ve Rapid Xiamen Model H-12 yağ banyosu

Kumaş, boyarmadde ve tüp tartımı için kullanılan tartılar Şekil 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.3. Elektronik teraziler sırasıyla; RADWAG AS 220 R2, KERN PCD



Şekil 3.4. Tüplerin soğutulması için kullanılan SD 200 A++ Sandık tipi derin dondurucu



Şekil 3.5. KOİ ölçümlerinin yapıldığı WTW CR 2200 termoreaktör



Şekil 3.6. KOİ sonuçlarının değerlendirildiği Spectroquant Pharo 300 M cihazı

KOİ testleri için 14555 nolu (500-10000 mg/l) KOİ kiti kullanılarak işlem yapılmıştır.



Şekil 3.7. Yıkamaların yapıldığı Test Marka cihaz



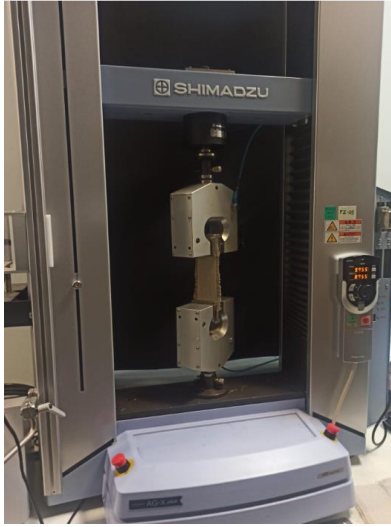
Şekil 3.8. Işık haslığı testlerinin yapıldığı Q-SUN Xenon Test Chamber cihazı



Şekil 3.9. Sürtme haslığının yapıldığı James Heal marka Crockmeter



Şekil 3.10. Eğilme rijitliğinin ölçüldüğü Bursa Uludağ Üniversitesi cihazı



Şekil 3.11. Kopma mukavemeti ölçüm cihazı SHIMADZU Model AG-X Plus



Şekil 3.12. Renk ve renk farklılığının ölçüldüğü cihaz Konica Minolta Spectrophotometer CM-3600D

3.2. Yöntem

3.2.1. Poliester kumaşlara yapılan işlemler

Tüm kumaşlar konvansiyonel ve susuz boyamalar için boyanmaya hazır olarak temin edilip aynı boyutlarda (boyama tüpünün hacmine göre) kesilip hazırlanmıştır. Poliester kumaşlar için boyama yöntemine göre kullanılan boyarmadde ve kimyasal reçeteleri Çizelge 3.4’de verilmiştir.

Reçete boyamalarına geçmeden önce tüm numune kumaşlara boyama reçetelerinde belirlenen boyarmaddelerle hem konvansiyonel hem de susuz ortamda %0,5’lik tek renk boyamalar yapılmıştır.

Susuz boyama işlemleri literatürdeki çalışmalar referans alınarak basınç ve sıcaklık 250 Bar ve 120°C de yapılmıştır (Abou Elmaaty ve Abd El-Aziz, 2018; Banchemo, 2013; Abate, Ferri, Guan, Chen, Ferreira ve Nierstraszc, 2019).

Susuz boyama numuneleri için konvansiyonel numuneler standart alınarak renk karşılaştırma işlemleri yapılmıştır.

Çizelge 3.4. Boyama reçeteleri

Kumaş Adı	Renk Kodu	Boyama Yöntemi	Yardımcı Kimyasallar	Boyarmaddeler	Ard Yıkama Kimyasalları
TAFTA	R8	Kon.	Exapon CN, Levanol HDL, Segacar D LIQ, Rucowet MSK	Dianix Yellow Brown S-2R, Dianix Rubin S- 2G, Dianix Blue S-2G	Sıvı kostik, Hidrosülfit, Exapon CN, Ruco-stat AST
		scCO ₂		Dianix Yellow Brown S-2R, Dianix Rubin S- 2G, Dianix Blue S-2G	Aseton

Çizelge 3.4. Boyama reçeteleri (DEVAM)

TAFTA	B9	Kon.	Exapon CN, Levanol HDL, Segacar D LIQ, Rucowet MSK	Dianix Yellow Brown S- 2R, Dianix Rubin S- 2G, Dianix Blue S-2G	Sıvı kostik, Hidrosülfit, Exapon CN, Ruco-stat AST
		scCO ₂		Dianix Yellow Brown S- 2R, Dianix Rubin S- 2G, Dianix Blue S-2G	Aseton
TÜL	R8	Kon.	Exapon CN, Levanol HDL, Segacar D LIQ, Rucowet MSK	Dianix Yellow Brown S- 2R, Dianix Rubin S- 2G, Dianix Blue S-2G	Sıvı kostik, Hidrosülfit, Exapon CN, Ruco-stat AST
		scCO ₂		Dianix Yellow Brown S- 2R, Dianix Rubin S- 2G, Dianix Blue S-2G	Aseton
	B9	Kon.	Exapon CN, Levanol HDL, Segacar D LIQ, Rucowet MSK	Dianix Yellow Brown S- 2R, Dianix Rubin S- 2G, Dianix Blue S-2G	Sıvı kostik, Hidrosülfit, Exapon CN, Ruco-stat AST
		scCO ₂		Dianix Yellow Brown S- 2R, Dianix Rubin S- 2G, Dianix Blue S-2G	Aseton

Çizelge 3.4. Boyama reçeteleri (DEVAM)

DÖŞEMELİK	D1	Kon.	Exapon CN, Levanol HDL, Segacar D LIQ	Dianix Yellow Brown S- 2R, Dianix Rubin S- 2G, Dianix Blue S-2G	Genred OX, Exapon CN
		scCO ₂		Dianix Yellow Brown S- 2R, Dianix Rubin S- 2G, Dianix Blue S-2G	Aseton
	D2	Kon.	Exapon CN, Levanol HDL, Segacar D LIQ	Dianix Yellow Brown S- 2R, Dianix Rubin S- 2G, Dianix Blue S-2G	Sıvı kostik, Hidrosülfit, Exapon CN
		scCO ₂		Dianix Yellow Brown S- 2R, Dianix Rubin S- 2G, Dianix Blue S-2G	Aseton
	D3	Kon.	Exapon CN, Levanol HDL, Sera Foam M- EO	Dianix Yellow Brown S- 2R, Dianix Rubin S- 2G, Dianix Blue S-2G	Genred OX
		scCO ₂		Dianix Yellow Brown S- 2R, Dianix Rubin S- 2G, Dianix Blue S-2G	Aseton

Çizelge 3.4. Boyama reçeteleri (DEVAM)

ŞÖNİL	Ş1	Kon.	Exapon CN, Levanol HDL, Cetaflam DB 9, Segacar D LIQ	Dianix Yellow Brown S- 2R, Dianix Rubin S-2G, Dianix Blue S-2G	Sıvı kostik, Hidrosülfit, Exapon CN
		scCO ₂		Dianix Yellow Brown S- 2R, Dianix Rubin S-2G, Dianix Blue S-2G	Aseton
	Ş2	Kon.	Exapon CN, Levanol HDL, Cetaflam DB 9, Segacar D LIQ	Dianix Yellow Brown S- 2R, Dianix Rubin S-2G, Dianix Blue S-2G	Genred OX
		scCO ₂		Dianix Yellow Brown S- 2R, Dianix Rubin S-2G, Dianix Blue S-2G	Aseton
SATEN	S1	Kon.	Exapon CN, Levanol HDL, Segacar D LIQ, Rucowet MSK	Dianix Yellow Brown S- 2R, Dianix Rubin S-2G, Dianix Blue S-2G	Exapon CN, Torastat PR
		scCO ₂		Dianix Yellow Brown S- 2R, Dianix Rubin S-2G, Dianix Blue S-2G	Aseton

Çizelge 3.4. Boyama reçeteleri (DEVAM)

SATEN	S2	Kon.	Exapon CN, Levanol HDL, Segacar D LIQ, Rucowet MSK	Dianix Yellow Brown S- 2R, Dianix Rubin S-2G, Dianix Blue S-2G	Exapon CN, Torastat PR
		scCO ₂		Dianix Yellow Brown S- 2R, Dianix Rubin S-2G, Dianix Blue S-2G	Aseton
	S3	Kon.	Exapon CN, Levanol HDL, Segacar D LIQ, Rucowet MSK	Dianix Yellow Brown S- 2R, Dianix Rubin S-2G, Dianix Blue S-2G	Sıvı kostik, Hidrosülfit, Exapon CN, Torastat PR
		scCO ₂		Dianix Yellow Brown S- 2R, Dianix Rubin S-2G, Dianix Blue S-2G	Aseton

Poliester kumaşların konvansiyonel boyamaları yukarıda verilen reçetelere uygun olarak 130 °C ‘de 90 dakika olarak yapılmıştır. Susuz boyamalar ise Çizelge 3.5’deki basınç ve sıcaklık şartlarına göre yine 90 dakika olarak yapılmıştır.

Çizelge 3.5. Poliester kumaşların susuz boyama işlemlerinde uygulanan basınç ve sıcaklık parametre değerleri

	Basınç (Bar)									
	210		240			250			280	
Sıcaklık (°C)	120	130	100	120	130	110	120	130	120	130

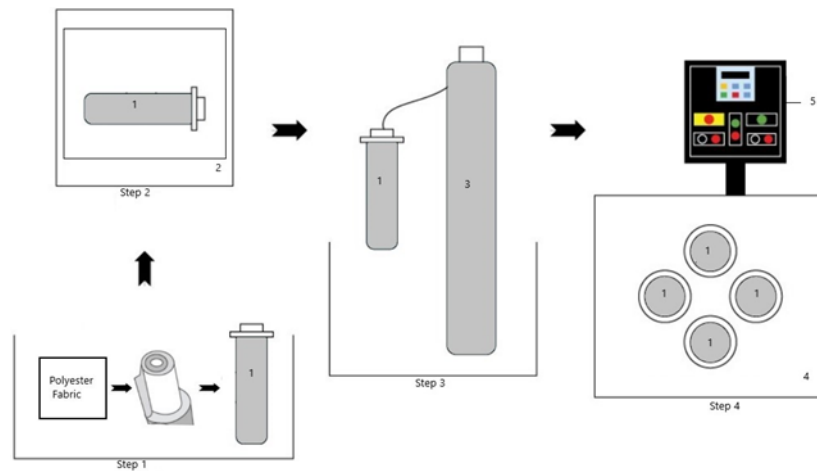
Susuz boyama işleminde CO₂ yoğunluğu nist.gov.tr üzerinden sıcaklık ve basınç değerleri girilerek sistemden alınmaktadır (NIST Chemistry WebBook, 2021). 300 Bar basınca kadar dayanıklı tüplerin hacimleri 290 ml.'dir.

Tüplere:

- Kumaş (maksimum 15 g)
- Kumaşın sarıldığı mesh ya da mini levent
- Boyarmadde
- Bilye konularak tüpler CO₂ dolumu için dondurucuya atılmaktadır (ortalama 15 dakika).
- Dondurucudan çıkan tüpler önce tartılarak not edilir ardından gerekli miktarda CO₂ * tüplere doldurulur. Son durumdaki toplam hacim tekrar not edilir.

*CO₂ miktarı = tüpte kalan boş hacim X CO₂ yoğunluğu.

Boyama sırasında tüplere boyarmaddeden başka herhangi bir madde konulmamaktadır. Gerekli miktarda CO₂ doldurulmuş tüpler 120°C'de 90 dakika yağ banyosunda döndürülerek boyanmaktadır. Boyama tamamlandıktan sonra üzerindeki yağlar yıkanarak temizlenir ve tüpler kurulandıktan sonra tartılır. Böylece gaz kaçağı olup olmadığı kontrol edilir. Daha sonra tüplerden çıkarılan kumaşlar asetonda temizlenip oda sıcaklığında 1-2 dakika içinde kurumaktadır.



Şekil 3.13. Tüplerin hazırlanıp yağ banyosuna yerleştirilmesi

Renk ölçümleri

Boyama işlemleri bittikten sonra aynı reçetelerle boyanan her iki yönleme ait numunelere renk farkı ölçümü yapılmaktadır. Konica Minolta CM3600D model spektrofotometrede yapılan ölçümlerde standart olarak konvansiyonel numuneler standart alınmıştır. Ölçümlerde D65/10° gözlem açısı altında ölçüm yapılmıştır.

Yıkama haslığı

Yıkama haslığı TS EN ISO 105-C06 standardına göre yapılmıştır. Yıkanan kumaşlar oda sıcaklığında kurutulduktan sonra Gri Skala ile değerlendirilmiştir.

Işık haslığı

Işık haslığı TS 1008 EN ISO 105-B02 standardına göre 125 saat süreyle Q-SUN Xenon Test Chamber cihazında yapılmıştır.

Sürtmeye karşı renk haslığı (kuru ve yaş)

Numunelere sürtme haslığı testleri TS EN ISO 105-X12 standardına göre James HEAL Crockmeter cihazında yapılmıştır. Sonuçlar Gri Skala ile değerlendirilmiştir.

KOİ (kimyasal oksijen ihtiyacı) testi

Burada her kumaş numunesi için konvansiyonel boyama ve ard yıkama işlemlerinin suları alınarak Standard Methods 5220 D standardına göre KOİ değeri ölçümü yapılmıştır. Ölçümler WTW CR 2200 termoreaktörde yapılmıştır. Sonuçlar Spectroquant Pharo 300 M'de değerlendirilmiştir. 14555 nolu (500-10000 mg/l) KOİ kiti kullanılarak işlem yapılmıştır.

Susuz boyamalarda herhangi bir atık oluşmamaktadır dolayısıyla çevresel atık yükü yoktur.

Kopma mukavemeti testi

Numunelere SHIMADZU Model AG-X Plus cihazında TS EN ISO 2062 standardına göre 2 N ön gerilme ile 100 kN kuvvet ile mukavemet testleri yapılmıştır.

Hidrofilite testi

TS EN 14697 test standardına göre hidrofilite testleri yapılmıştır.

Eğilme rijitliği ölçümü

TS 1409 test standardına göre ölçümler yapılmıştır.

Oligomer tayini

Oligomer tayini için Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN'in literatürde yer alan 2009 yılında yayınlanmış makalesi referans olarak alınmıştır (Eren H. ve Anış, 2009). Oligomer tayini her kumaş tipinden bir konvansiyonel ve bir susuz boyanmış numunelere yapılmıştır.

SEM (taramalı elektron mikroskobu) analizi

Çalışmada yüzey karakterizasyon işlemleri için ham, konvansiyonel ve scCO₂ ortamında boyanmış ve renk farkı değerleri en iyi çıkan numunelere Bursa Uludağ Üniversitesi Eğitim Fakültesi Fizik Bölümü'n de ZEISS EVO 40 (Almanya) cihazında in house metoda göre SEM analizi yapılmıştır. Numuneler 200 µm ve 20 µm oranında büyütülerek yapılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. CIELab Renk Ölçümü Sonuçları

Çalışmada farklı süre, sıcaklık ve basınç değerlerinde optimizasyonlar yapıldığı için farklı renk ölçüm sonuçları çizelgeler halinde verilmiştir.

1. Literatüre uyumlu olarak yapılan scCO₂ ortamdaki boyama işlemine göre sonuçlar Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. scCO₂’te tek renk boyama işlemi yapılmış numunelerin renk ölçümü sonuçları (250 Bar, 120 °C, 90 dk)

Kumaş Adı	Renk	ΔE Değeri	K/S Değeri	
			Konvansiyonel	scCO ₂
Döşemelik	D. Blue	12.614	103.30	42.72
	D. Rubin	0.752	141.55	132.95
	D. Y.Brown	2.208	83.02	72.42
Şönil	D. Blue	0.595	149.34	156.21
	D. Rubin	4.950	148.36	230.42
	D. Y.Brown	7.972	99.32	151.35
Saten	D. Blue	1.172	62.86	57.79
	D. Rubin	2.243	72.28	74.66
	D. Y.Brown	2,128	46.20	53.63
Tül	D. Blue	7.764	101.52	58.02
	D. Rubin	6.201	85.18	80.20
	D. Y.Brown	13.725	67.67	59.24
Tafta	D. Blue	9.828	110.41	53.79
	D. Rubin	5.674	113.85	105.61
	D. Y.Brown	12.638	86.41	69.31

Çizelge 4.1’de renk farkı (ΔE) ve K/S değerleri incelendiğinde, döşemelik D. Rubin, Şönil D. Blue ve Saten D. Blue’da konvansiyonel işlemler ile renk değerlerinin çok yakın olduğu görülmüştür.

Bunun yanı sıra Çizelge 4.1’de görüldüğü gibi K/S değerlerine göre Şönilde D. Blue, D. Rubin, D.Y. Brown; Saten de ise Rubin ve D. Y. Brown renklerinin hepsinde susuz ortamda ile yapılan boyamalarda daha koyu renk elde edilmiştir.

2. 90 dk boyama işleminden elde edilen sonuçlar süre kısaltılarak 60 dk boyamalar ile kıyaslanmıştır. Sonuçlar Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. scCO₂’te tek renk boyama işlemi yapılmış numunelerin 90 dk ve 60 dk boyama sürelerinden sonra renk ölçümü sonuçları (250 Bar, 120 °C, 90 dk)

		90dk	K/S DEĞERİ		60dk	K/S DEĞERİ	
		ΔE	Kon.	scCO ₂	ΔE	Kon.	scCO ₂
Döşemelik	Blue	12.614	103.30	42.72	3,474	103,3	79,56
	Rubin	0.752	141.55	132.95	4,705	141,55	101,17
	Y.Brown	2.045	83.02	72.42	2,208	83,02	70,76
Şönil	Blue	0.595	149.34	156.21	5,466	149.34	103.85
	Rubin	4.950	148.36	230.42	5,86	148,36	236,44
	Y.Brown	7.972	99.32	151.35	3,781	99,32	124,59
Saten	Blue	1.172	62.86	57.79	3,276	62,86	49,22
	Rubin	2.243	72.28	74.66	2,21	72,28	80,39
	Y.Brown	2,128	46.20	53.63	1,639	46,2	51,57
Tül	Blue	7.764	101.52	58.02	4,172	101.52	79,46
	Rubin	6.201	85.18	80.20	6,822	85,18	98,41
	Y.Brown	13.725	67.67	59.24	7,955	67,67	47,8
Tafta	Blue	9.828	110.41	53.79	2,411	110,41	95,02
	Rubin	5.674	113.85	105.61	8,5	113.85	120,01
	Y.Brown	12.638	86.41	69.31	2,474	86,41	73,83

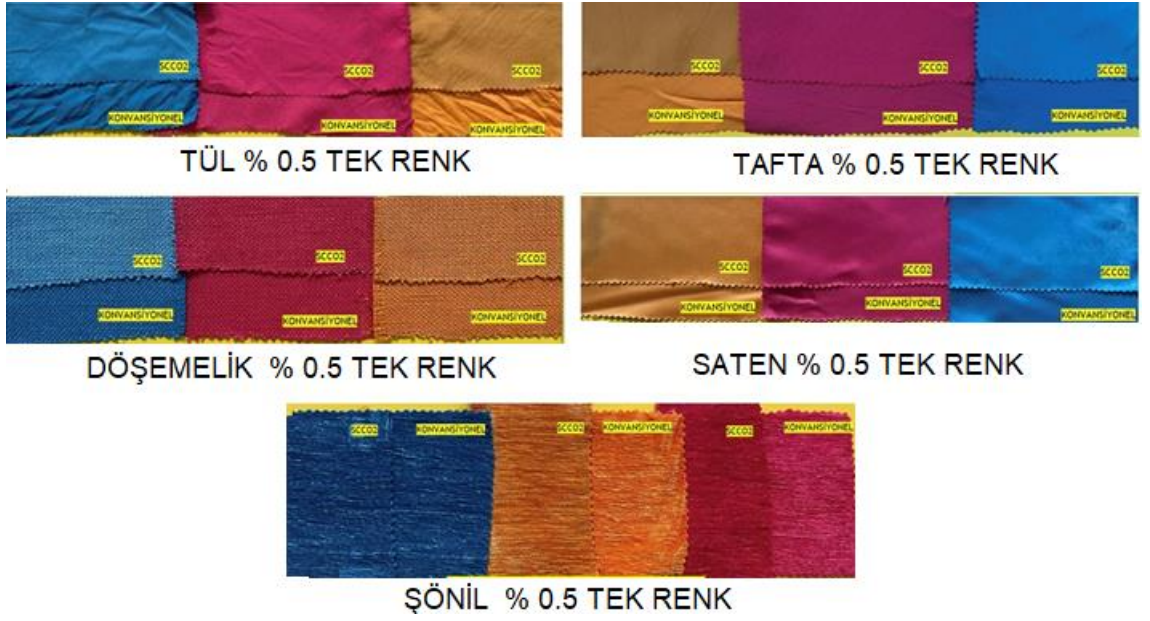
Çizelge 4.2 incelendiğinde 90 dk yapılan döşemelik Dianix Blue S 2G kumaşlarda DE 12.614 çıkarken, 60 dk da yapılan boyamada ΔE 3.474’e düşmüştür.

90 dk’da saten Dianix Yellow Brown S-2R boyamasının ΔE’si 2.243 iken, 60 dk’da 1.639’dur. Aynı şekilde tafta Dianix Blue S 2G 90 dk boyanan kumaşların ΔE’si 9.828 iken 60 dk’da 2.411’e düşmüştür. Tafta Yellow B. İse 90 dk ΔE’si 12.638 iken 60 dk ΔE 2.474’e inmiştir.

Sonuçlardan görüldüğü gibi bazı kumaş kalitelerinde Blue ve Yellow Brown’da boyama süresinin ΔE değerleri üzerinde etkili olduğu görülmüştür.

Süre 90 dk’dan 60 dk’ya düştüğünde rengin konvansiyonel boyama işleminden elde edilene daha yakın olduğu görülmektedir.

Kumaşların tek renk boyalı görselleri Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Farklı kalitelere sahip poliester kumaşların tek renk boyanmış görselleri (% 0,5)

3. Farklı basınç ve sıcaklık değerlerinde optimizasyonu yapılan reçeteli boyanmış numunelerin renk farkı sonuçları Çizelge 4.3’de K/S değerleri ise Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Farklı sıcaklık ve basınç değerlerinde reçeteli boyanan numunelerin ΔE sonuçları

Kumaş Adı	Reçete Kodu	ΔE DEĞERLERİ									
		280 Bar 130°C	280 Bar 120°C	250 Bar 130°C	250 Bar 120°C	250 Bar 100°C	240 Bar 130°C	240 Bar 120°C	240 Bar 110°C	210 Bar 130°C	210 Bar 120°C
DÖŞEMELİK	D1	5,259	10,193	1,067	5,155	0,766	1,222	1,756	11,128	2,779	2,082
	D2	4,45	2,95	2,56	4,3	2,926	4,333	5,67	1,724	4,606	11,874
	D3	2,565	4,245	2,229	3,428	8,006	3,419	6,229	5,727	3,678	4,56
ŞÖNİL	Ş1	2,138	5,478	0,862	1,243	5,976	3,168	4,94	3,914	4,534	7,799
	Ş2	3,085	0,878	3,444	2,418	7,415	5,008	2,158	2,523	6,173	3,592
SATEN	S1	2,583	3,275	3,466	7,505	2,713	1,516	3,924	5,315	3,654	3,164
	S2	3,187	3,675	3,286	2,637	1,765	2,918	3,09	3,279	4,006	4,982
	S3	3,773	3,186	4,563	5,4	5,223	6,979	5,473	3,394	9,585	20,079
TÜL	R8	3,869	2,956	0,831	2,648	6,499	0,557	1,282	2,303	0,876	1,123
	B9	2,596	4,058	3,587	4,318	5,335	5,283	6,598	5,418	5,05	2,292
TAFTA	R8	2,497	6,62	3,153	2,369	3,712	5,37	5,188	3,136	10,898	5,644
	B9	2,718	4,249	1,887	1,516	8	4,248	9,586	10,403	9,137	6,664

Çizelge 4.4. Farklı basınç ve sıcaklık değerlerinde reçeteli boyanan numunelerin K/S değerleri

Kumaş Adı	Reçete Kodu	K/S DEĞERİ										
		Kon.	280 Bar 130°	280 Bar 120°	250 Bar 130°	250 Bar 120°	250 Bar 100°	240 Bar 130°	240 Bar 120°	240 Bar 110°	210 Bar 130°	210 Bar 120°
DÖŞEMELİ K	D1	125,61	115,18	98,62	125,97	110,76	128,27	120,49	114,73	100,93	120,49	143,38
	D2	167,25	127,09	159,79	170,66	131,4	150,15	182,82	155,60	157,55	223,18	136,19
	D3	44,60	40,85	37,69	52,10	47,2	42,63	47,34	37,24	50,16	54,24	52,3
ŞÖNİL	Ş1	267,03	255,44	220,7	255,44	289,87	236,06	251,3	194,5	264,68	248,38	174,04
	Ş2	21,64	24,29	21,02	24,29	23,97	18,91	22,43	18,97	22,88	29,09	20,73
SATEN	S1	7,81	8,98	8,9	9,17	11,26	8,8	8,32	7,54	8,23	7,39	5,9
	S2	10,35	12,02	12,44	11,84	10,17	9,51	11,22	10,43	10,69	9,59	9,23
	S3	108,78	100,67	110,26	94,68	154,59	91,26	84,12	85,76	108,21	72,52	42,81
TÜL	R8	198,38	209,25	212,18	200,54	238,89	181,96	189,59	213,28	189,04	206,69	194,54
	B9	144,57	150,02	136,07	142,40	173,34	131,7	135,62	139,16	141,3	156,82	138,27
TAFTA	R8	277,69	253,72	214,20	239,21	249,05	228,13	222,66	244,23	240,82	181,02	205
	B9	217,84	190,15	165,40	188,78	193,15	130,32	188,78	116,35	124,53	125,30	155,82

Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4 incelendiğinde literatürde ve DyeCoo firmasının da önerdiği gibi 250 Bar 120 °C de tüm kumaşların başarıyla boyandığı görülmüştür.

Saten, Tül ve Tafta gibi ince ve orta gramaja sahip olan kumaşların yine literatürde ve DyeCoo firmasının önerdiği üzere hem 250 Bar 120 °C ve 250 Bar 130 °C de boyandığı hatta 120 °C’de daha koyu boyandığı görülmektedir.

Şönül ve Döşemelik gibi daha kalın gramajdaki kumaşlarda 210 Bar’da 120 °C ve 130 °C’lerde başarılı ve hatta daha koyu boyandığını görülmektedir.

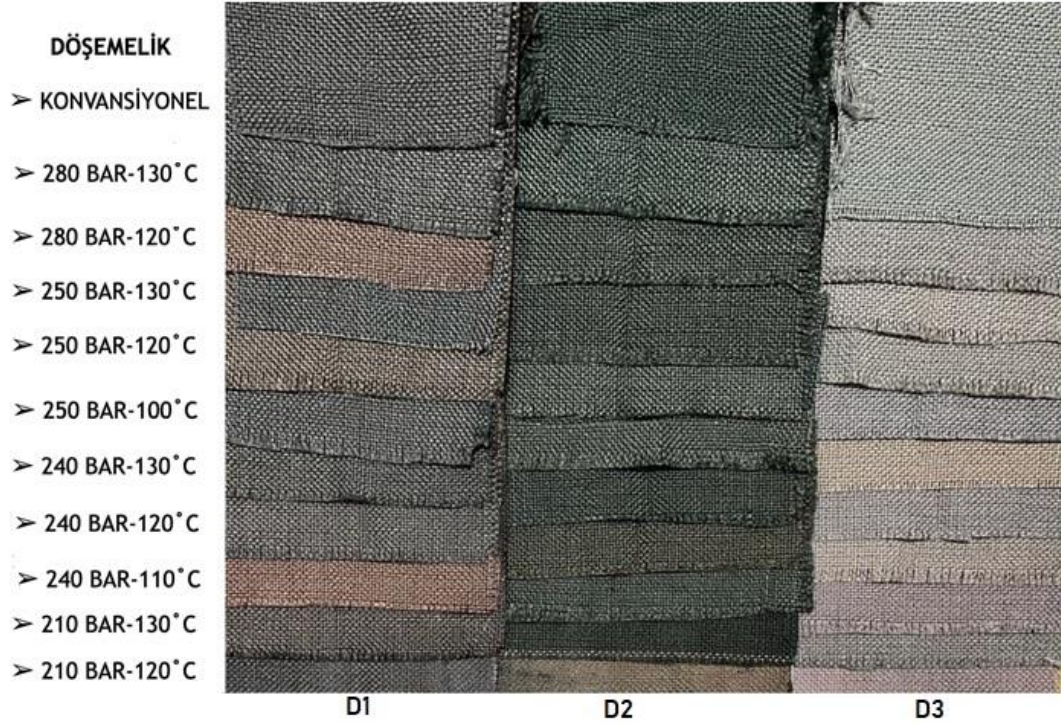
Döşemelik kumaşlarda D1 reçetesinde ΔE değeri 250 Bar 100 °C de ($\Delta E = 0.766$) ve 250 Bar 130 °C ‘de ($\Delta E = 1.067$) konvansiyonele en yakın değer elde edilmiştir. Bunun yanı sıra D1 reçetesinde 210 Bar 120 °C de daha koyu (Konvansiyonel K/S 125,61 iken susuz boyalı numune K/S 143,38) renk elde edilmiştir.

Döşemelik kumaşlarda D2 reçetesinde ΔE değeri 240 Bar 110 °C de konvansiyonele en yakın değer elde edilmiştir ($\Delta E = 1.724$) Bunun yanı sıra D2 reçetesinde 210 Bar 130 °C de daha koyu (Konvansiyonel K/S 167,25 iken K/S 223,18) renk elde edilmiştir.

Döşemelik kumaşlarda D3 reçetesinde ΔE değeri 250 Bar 130 °C de konvansiyonele en yakın değer elde edilmiştir ($\Delta E = 2.229$). Bunun yanı sıra D3 reçetesinde 210 Bar 130 °C de daha koyu (konvansiyonel K/S 44,60 iken K/S 54,24) renk elde edilmiştir.

Renk ölçüm sonuçlarına göre;

- Döşemelik kumaşlarda hiç su kullanılmadan konvansiyonel boyama ile aynı ve hatta bir miktar daha koyu boyamalar başarıyla elde edilmiştir. Ayrıca döşemelik kumaşlarda susuz boyama yöntemlerinde literatürde standart değer olan 250 Bar 120 °C dışında da farklı basınç ve sıcaklık değerlerinde boyamanın başarılı olduğu sonucuna varılmıştır (Yiğit, Eren S., Özcan, Avinç ve Eren H., 2021). Döşemelik kumaşlara ait boyanmış numunelerin fotoğrafları Şekil 4.2’de verilmiştir.

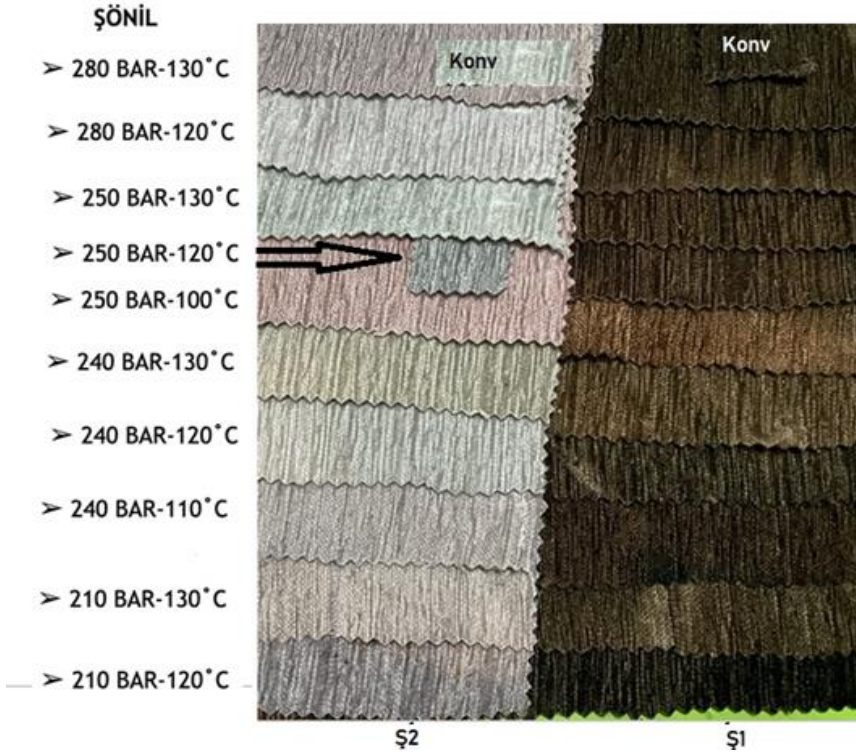


Şekil 4.2. Farklı sıcaklık ve basınç değerlerinde boyanan döşemelik kumaşlar

- Şönül kumaşlarda hiç su kullanılmadan yapılan susuz boyamalarla konvansiyonel boyama ile aynı sonuçlar başarıyla elde edilmiştir. Aynı zamanda şönül kumaşlarda diğer basınç ve sıcaklık parametrelerinin bazılarında daha koyu boyamalar görülmüş olup en koyu susuz boyama; 210 Bar 130 °C de elde edilmiştir ($\Delta E=6,173$). Bu sonuç bize susuz boyama prosesinde boyarmadde tasarrufu sağlayabileceğimiz gibi, daha düşük basınçta daha koyu boyama yapılabilmesi ile CO₂ miktarından da tasarruf sağlayabileceğimizi göstermektedir*. Şönül kumaşlara ait boyanmış numune fotoğrafları Şekil 4.3’de verilmiştir.

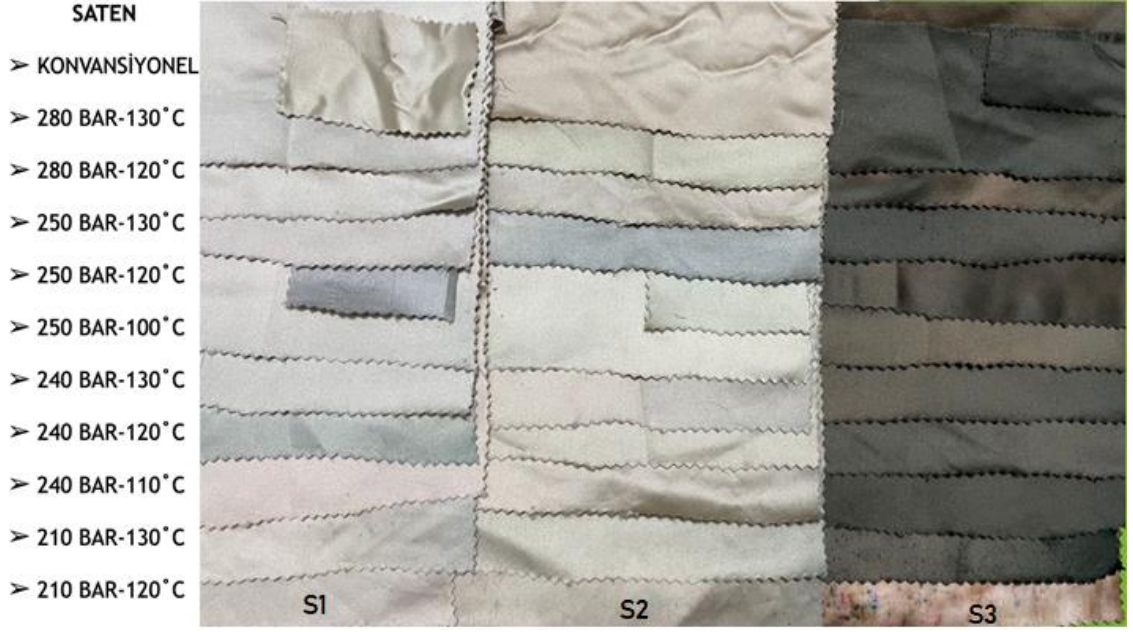
* 280 Bar 120 °C de kullanılan CO₂ miktarı =133.461 g

* 210 Bar 130 °C de kullanılan CO₂ miktarı =94.341g



Şekil 4.3. Farklı sıcaklık ve basınç değerlerinde boyanan şönül kumaşlar

- Saten kumaşlarda S1 reçetesinde ΔE değeri 240 Bar 130 °C de ($\Delta E=1,516$) konvansiyonele en yakın değer elde edilmiştir. Bunun yanı sıra S1 reçetesinde 250 Bar 120 °C de daha koyu (konvansiyonel numunede K/S değeri 7,81 iken susuz boyalı numunede K/S değeri 11,26'dır) renk elde edilmiştir.
- Saten kumaşlarda S2 reçetesinde ΔE değeri 250 Bar 100 °C de konvansiyonele en yakın değer elde edilmiştir ($\Delta E=1,765$) Bunun yanı sıra S1 reçetesinde 280 Bar 120 °C de daha koyu (konvansiyonel numunede K/S değeri 10,35 iken susuz boyalı numunede K/S değeri 12,44'tür) renk elde edilmiştir.
- Saten kumaşlarda S3 reçetesinde ΔE değeri 280 Bar 120 °C de konvansiyonele en yakın değer elde edilmiş ($\Delta E=3,186$) gibi görünse de S3 reçetesinde 250 Bar 120 °C de ($\Delta E=5.4$) daha koyu boyama elde edilmiştir. Saten kumaşlara ait boyanmış numune fotoğrafları Şekil 4.4'de verilmiştir.



Şekil 4.4. Farklı sıcaklık ve basınç değerlerinde boyanan saten kumaşlar

- Tül kumaşların gramajları (57 g/m^2) literatürdeki çalışmalarda kullanılan kumaşlara benzerlik göstermektedir. Bu nedenle elde edilen sonuçlarda literatürdekine uygun olarak 250 Bar 120 °C de başarılıdır ve daha koyu boyanmıştır.
- Süperkritik karbondioksit ortamda boyanan numunelerde ise klasik boyamaya göre K/S değerlerinin daha yüksek olduğu yani daha koyu boyandığı görülmüştür (S. Eren, Özcan, Yiğit ve H. Eren, 2019; Bird ve Boston, 1975). Tül kumaşlara ait boyanmış numune fotoğrafları Şekil 4.5’de verilmiştir.



Şekil 4.5. Farklı sıcaklık ve basınç değerlerinde boyanan tül kumaşlar

- Tafta kumaşlarda R8 reçetesinde ΔE değeri 250 Bar 120 °C de ($\Delta E=2.369$) konvansiyonele en yakın değerler elde edilmiştir.
- Tafta kumaşlarda B9 reçetesinde ΔE değeri 250 Bar 120 °C de ($\Delta E=1.516$) ve 250 Bar 130 °C’de ($\Delta E=1.887$) konvansiyonele en yakın değer elde edilmiştir. Tafta kumaşlara ait boyanmış numune fotoğrafları Şekil 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4.6. Farklı sıcaklık ve basınç değerlerinde boyanan tafta kumaşlar

Renk ölçümü dışındaki diğer testler tek renk boyanmış numunelere uygulanmamış olup yalnızca reçeteli boyanmış numunelere uygulanmıştır. İlgili bölümlerde detaylı bilgiler mevcuttur.

4.2. Yıkama Haslığı Sonuçları

Renk ölçümü sonuçları konvansiyonel numuneye en yakın çıkan susuz boyama numuneleri belirlendikten sonra testler yalnızca bu numunelere uygulanmıştır. Numunelerin yıkama haslığı test sonuçları Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Sonuçlara bakıldığında susuz boyama numunelerinin yıkama haslık değerlerinin konvansiyonel boyanmış numunelerle benzer sonuçlar verdiği hatta Çizelge 4.3’deki renklendirilmiş numuneler için yıkama haslıklarının geliştiği görülmüştür.

Çizelge 4.5. Farklı sıcaklık ve basınç değerlerinde boyanan kumaşların yıkama haslığı test sonuçları

Kumaş Adı	Boyama Şartı	YIKAMA HASLIĞI					
		Asetat	Pamuk	Nylon	Pet	Akrilik	Yün
Tül-B9	Konvansiyonel	5	5	4/5	5	5	5
Tül-B9	280 Bar - 130°C	5	5	4/5	5	5	5
Tül-R8	Konvansiyonel	5	5	3/4	5	5	5
Tül-R8	240 Bar - 130°C	5	5	5	5	5	5
Tül-R8	250 Bar - 130°C	5	5	4/5	5	5	5
Tül-R8	240 Bar - 120°C	5	5	5	5	5	5
Tafta-B9	Konvansiyonel	5	5	4/5	5	5	5
Tafta-B9	250 Bar - 130°C	5	5	4/5	5	5	5
Tafta-R8	Konvansiyonel	5	4/5	3/4	5	5	5
Tafta-R8	280 Bar - 130°C	5	5	4/5	5	5	5
Döşemelik D1	Konvansiyonel	5	5	4	5	5	5
Döşemelik D1	250 Bar - 130°C	5	5	4	4/5	5	5
Döşemelik D1	250 Bar - 100°C	5	5	4/5	5	5	5
Döşemelik D2	Konvansiyonel	5	5	4/5	4/5	5	5
Döşemelik D2	250 Bar - 100°C	5	5	4/5	5	5	5
Döşemelik D2	240 Bar - 110°C	5	5	4	4	5	4/5
Döşemelik D3	Konvansiyonel	5	5	4/5	5	5	5
Döşemelik D3	280 Bar - 130°C	5	5	5	5	5	5
Döşemelik D3	250 Bar - 130°C	5	5	5	5	5	5
Şönil Ş1	Konvansiyonel	4/5	5	4	5	5	5
Şönil Ş1	250 Bar - 130°C	5	5	4/5	5	5	5
Şönil Ş2	Konvansiyonel	5	5	5	5	5	5
Şönil Ş2	280 Bar - 120°C	5	5	5	5	5	5
Şönil Ş2	240 Bar - 120°C	5	5	5	5	5	5

Çizelge 4.5. Farklı sıcaklık ve basınç değerlerinde boyanan kumaşların yıkama haslığı test sonuçları (DEVAM)

Saten S1	Konvansiyonel	5	5	5	5	5	5
Saten S1	240 Bar - 130°C	5	5	5	5	5	5
Saten S2	Konvansiyonel	5	5	5	5	5	5
Saten S2	250 Bar - 100°C	5	5	5	5	5	5
Saten S3	Konvansiyonel	5	5	5	5	5	5
Saten S3	280 Bar - 120°C	5	5	5	5	5	5

4.3. Işık Haslığı Sonuçları

Işık haslığı TS 1008 EN ISO 105-B02 standardına göre 72 saat süreyle Q-SUN Xenon Test Chamber cihazında yapılmıştır. Test sonuçları Çizelge 4.6'da verilmiştir. Numunelere 125 saat süreyle Q-SUN Xenon Test Chamber cihazında ışık haslığı testi yapılmıştır. Çizelge 4.6 incelendiğinde konvansiyonel numuneler ile scCO₂'te üretim yapılmış numunelerin ışık haslık değerlerinin benzer olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.6. Farklı sıcaklık ve basınç değerlerinde boyanan kumaşların ışık haslığı test sonuçları

Kumaş Adı	Boyama Şartı	Işık Haslığı
Tül B9	Konvansiyonel	3
Tül B9	280 Bar - 130°C	3/4
Tül-R8	Konvansiyonel	4
Tül-R8	240 Bar - 130°C	3/4
Tül-R8	250 Bar - 130°C	3/4
Tül-R8	240 Bar - 120°C	3/4
Tafta-B9	Konvansiyonel	3/4
Tafta-B9	250 Bar - 130°C	3/4
Tafta-R8	Konvansiyonel	4/5
Tafta-R8	280 Bar - 130°C	4
Döşemelik D1	Konvansiyonel	5
Döşemelik D1	250 Bar - 130°C	3/4
Döşemelik D1	250 Bar - 100°C	3/4
Döşemelik D2	Konvansiyonel	5
Döşemelik D2	250 Bar - 100°C	4
Döşemelik D2	240 Bar - 110°C	5
Döşemelik D3	Konvansiyonel	6
Döşemelik D3	280 Bar - 130°C	5/6
Döşemelik D3	250 Bar - 130°C	6

Çizelge 4.6. Farklı sıcaklık ve basınç değerlerinde boyanan kumaşların ışık haslığı test sonuçları (DEVAM)

Şönil Ş1	Konvansiyonel	6
Şönil Ş1	250 Bar - 130°C	4
Şönil Ş2	Konvansiyonel	6/7
Şönil Ş2	280 Bar - 120°C	4/5
Şönil Ş2	240 Bar - 120°C	6/7
Saten S1	Konvansiyonel	6
Saten S1	240 Bar - 130°C	6
Saten S2	Konvansiyonel	5
Saten S2	250 Bar - 100°C	6
Saten S3	Konvansiyonel	4
Saten S3	280 Bar - 130°C	4

4.4. Sürtmeye Karşı Renk Haslığı Sonuçları (Kuru ve Yaş)

Numunelere yapılan sürtmeye haslığı test sonuçları Çizelge 4.7’de verilmiştir. Çizelge 4.7 incelendiğinde konvansiyonel numuneler ile scCO₂’te üretim yapılmış numunelerin hem kuru hem yaş sürtmeye haslık değerlerinin benzer olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.7. Farklı sıcaklık ve basınç değerlerinde boyanan kumaşların sürtmeye haslığı test sonuçları

Kumaş Adı	Boyama Şartı	Sürtmeye Haslığı	
		Yaş	Kuru
Tül B9	Konvansiyonel	5	4/5
Tül B9	280 Bar - 130°C	5	5
Tül-R8	Konvansiyonel	4/5	4
Tül-R8	240 Bar - 130°C	4/5	5
Tül-R8	250 Bar - 130°C	4/5	5
Tül-R8	240 Bar - 120°C	4/5	5
Tafta-B9	Konvansiyonel	5	5
Tafta-B9	250 Bar - 130°C	5	5
Tafta-R8	Konvansiyonel	4/5	4/5
Tafta-R8	280 Bar - 130°C	4	5
Döşemelik D1	Konvansiyonel	5	5
Döşemelik D1	250 Bar - 130°C	5	5
Döşemelik D1	250 Bar - 100°C	5	5

Çizelge 4.7. Farklı sıcaklık ve basınç değerlerinde boyanan kumaşların sürtme haslığı test sonuçları (DEVAM)

Döşemelik D2	Konvansiyonel	4/5	4/5
Döşemelik D2	250 Bar - 100°C	4/5	4/5
Döşemelik D2	240 Bar - 110°C	5	5
Döşemelik D3	Konvansiyonel	5	5
Döşemelik D3	280 Bar - 130°C	5	5
Döşemelik D3	250 Bar - 130°C	5	5
Şönil Ş1	Konvansiyonel	4/5	4/5
Şönil Ş1	250 Bar - 130°C	4	3/4
Şönil Ş2	Konvansiyonel	5	5
Şönil Ş2	280 Bar - 120°C	5	5
Şönil Ş2	240 Bar - 120°C	5	5
Saten S1	Konvansiyonel	4	5
Saten S1	240 Bar - 130°C	5	5
Saten S2	Konvansiyonel	5	5
Saten S2	250 Bar - 100°C	5	4/5
Saten S3	Konvansiyonel	5	4/5
Saten S3	280 Bar - 130°C	4/5	5

4.5. KOİ Testi Sonuçları

Burada her kumaş numunesi için konvansiyonel boyama ve ard yıkama işlemlerinin suları alınarak KOİ değerleri verilmiştir.

Ölçümler WTW CR 2200 termo reaktörde yapılmıştır. Sonuçlar Spectroquant Pharo 300 M'de değerlendirilmiştir. 14555 nolu (500-10000 mg/l) KOİ kiti kullanılarak işlem yapılmıştır.

Aynı tip boyarmaddenin farklı kumaşlardaki KOİ etkisi de incelenen parametreler içindedir. Her kumaş numunesi için konvansiyonel boyama ve ard yıkama işlemlerinin suları alınarak elde edilen KOİ değerleri Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Konvansiyonel olarak boyanan kumaşların KOİ testi sonuçları

Kumaş Adı	Reçete Kodu	İşlem	KOİ (mg/l)
Tafta	R8	Boyama	5080
Tafta	R8	Ard Yıkamalar	1142
Tül	R8	Boyama	1476
Tül	R8	Ard Yıkamalar	1174
Döşemelik	D1	Boyama	3620
Döşemelik	D1	Ard Yıkamalar	1892
Şönil	Ş1	Boyama	3204
Şönil	Ş1	Ard Yıkamalar	1782
Saten	S3	Boyama	3080
Saten	S3	Ard Yıkamalar	1911

Çizelge 4.8 incelendiğinde beklendiği gibi konvansiyonel işlemlerde yüksek oranda kimyasal oksijen ihtiyacı vardır. Kumaş tiplerinin değişmesi numunelerin KOİ değerlerinde değişikliğe sebep olmamıştır.

Susuz boyamalarda herhangi bir atık oluşmamaktadır dolayısıyla çevresel atık yükü yoktur.

4.6. Kopma Mukavemeti Testi Sonuçları

SHIMADZU Model AG-X Plus cihazında 2 N ön gerilme ile 100 kN kuvvet ile mukavemet testleri yapılmıştır.

Numunelere uygulanan kopma mukavemeti testi sonuçları Çizelge 4.9’da verilmiştir. Konvansiyonel boyamada da susuz boyamada da tafta, tül ve döşemelik kumaşların mukavemet değerlerinde anlamlı bir düşüş olmadığı görülmüştür.

Çizelge 4.9. Farklı sıcaklık ve basınç değerlerinde boyanan kumaşların kopma mukavemeti test sonuçları

Kumaş Adı	Boyama Şartı		MAX KUVVET (N)			İşlemsiz göre %Kayıp	
			scCO ₂	Kon.	İşlemsiz	scCO ₂	Kon.
Tül-B9	130°C	280 Bar	372,554	481,04	549,46	-32,2	-12,4
Tül-R8	130°C	240 Bar	411,01	576,01	549,46	-25,2	4,8
Tül-R8	130°C	250 Bar	368,469	576,01	549,46	-32,9	4,8
Tül-R8	120°C	240 Bar	383,192	576,01	549,46	-30,2	4,8
Tafta-B9	130°C	250 Bar	575,892	1002,09	1038,41	-44,5	-3,4
Tafta-R8	130°C	280 Bar	603,532	1203,9	1038,41	-41,8	15,9
Döşemelik-D1	130°C	250 Bar	1458,03	1596,9	1915,89	-23,8	-16,6
Döşemelik-D1	100°C	250 Bar	1664,95	1596,9	1915,89	-13,0	-16,6
Döşemelik-D2	100°C	250 Bar	1687,69	1414,79	1915,89	-11,9	-26,1
Döşemelik-D2	110°C	240 Bar	1071,49	1414,79	1915,89	-44,0	-26,1
Döşemelik-D3	130°C	280 Bar	1491,02	1576,59	1915,89	-22,1	-17,7
Döşemelik-D3	130°C	250 Bar	1621,78	1576,59	1915,89	-15,3	-17,7
Şönil-Ş1	130°C	250 Bar	952,768	673,52	1458,18	-34,6	-53,8
Şönil-Ş2	120°C	280 Bar	1190,01	884,019	1458,18	-18,3	-39,3
Şönil-Ş2	120°C	240 Bar	1200,8	884,019	1458,18	-17,6	-39,3
Saten-S1	130°C	240 Bar	1219,72	1557,28	1318,02	-7,4	18,1
Saten-S2	100°C	250 Bar	1289,74	1499,31	1318,02	-2,1	13,7
Saten-S3	130°C	280 Bar	1633,63	1356,01	1318,02	23,9	2,8

Çizelge 4.9 incelendiğinde numunelerin mukavemet değerleri görülmektedir. Bazı kumaşlarda bir miktar mukavemet düşüşü görülse de Berteks Tekstil San. ve Tic. A.Ş.'ne ait kumaşların mukavemet değerlerinin uygun olduğu 350 N ve üzeri değerlerin sorun teşkil etmediği bildirilmiştir.

4.7. Hidrofilite Testi Sonuçları

TS EN 14697 test standardına göre hidrofilite testleri yapılmıştır. Konvansiyonel işlemlerde yapılan ard yıkamalar nedeniyle kumaşların hidrofiliteyi susuz boyama ile boyananlara göre daha yüksektir.

Test sonuçları Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Farklı sıcaklık ve basınç değerlerinde boyanan kumaşların hidrofilitite testi sonuçları

Kumaş Adı	Boyama Şartı		Hidrofilitite (sn)		
			scCO ₂	Konvansiyonel	İşlemsiz
Tül-B9	130°C	280 Bar	60	20	2
Tül-R8	130°C	240 Bar	270	28	2
Tül-R8	130°C	250 Bar	22	28	2
Tül-R8	120°C	240 Bar	283	28	2
Tafta-B9	130°C	250 Bar	109	25	17
Tafta-R8	130°C	280 Bar	195	11	17
Döşemelik-D1	130°C	250 Bar	3	1	43
Döşemelik-D1	100°C	250 Bar	3	1	43
Döşemelik-D2	100°C	250 Bar	2	2	43
Döşemelik-D2	110°C	240 Bar	10	2	43
Döşemelik-D3	130°C	280 Bar	28	1	43
Döşemelik-D3	130°C	250 Bar	7	1	43
Şönil-Ş1	130°C	250 Bar	3	1	2
Şönil-Ş2	120°C	280 Bar	90	2	2
Şönil-Ş2	120°C	240 Bar	53	2	2
Saten-S1	130°C	240 Bar	170	1	2
Saten-S2	100°C	250 Bar	99	3	2
Saten-S3	130°C	280 Bar	7	2	2

4.8. Eğilme Rijitliği Ölçümü Sonuçları

Eğilme Rijitliği ölçümlerine ait test sonuçları Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Farklı sıcaklık ve basınç değerlerinde boyanan kumaşların eğilme rijitliği test sonuçları

Kumaş Adı	Boyama Şartı		Eğilme Rijitliği (mg.cm)		
			scCO ₂	Konvansiyonel	İşlemsiz
Tül-B9	130°C	280 Bar	2,1	1,75	1,95
Tül-R8	130°C	240 Bar	1,45	1,25	1,95
Tül-R8	130°C	250 Bar	1,75	1,25	1,95
Tül-R8	120°C	240 Bar	1,25	1,25	1,95

Çizelge 4.11. Farklı sıcaklık ve basınç değerlerinde boyanan kumaşların eğilme rijitliği test sonuçları (DEVAM)

Tafta-B9	130°C	250 Bar	2,1	2,8	4,2
Tafta-R8	130°C	280 Bar	1,8	2,2	4,2
Döşemelik-D1	120°C	250 Bar	2,85	1,65	4,25
Döşemelik-D1	130°C	250 Bar	2,45	1,65	4,25
Döşemelik-D1	100°C	250 Bar	2,55	1,65	4,25
Döşemelik-D2	120°C	250 Bar	3,15	1,35	4,25
Döşemelik-D2	100°C	250 Bar	2,35	1,35	4,25
Döşemelik-D2	110°C	240 Bar	2,25	1,35	4,25
Döşemelik-D3	120°C	250 Bar	3,1	2,1	4,25
Döşemelik-D3	130°C	280 Bar	2,2	2,1	4,25
Döşemelik-D3	130°C	250 Bar	2,5	2,1	4,25
Şönil-Ş1	120°C	250 Bar	1,75	2	2,475
Şönil-Ş1	130°C	250 Bar	2,175	2	2,475
Şönil-Ş2	120°C	250 Bar	1,925	2	2,475
Şönil-Ş2	120°C	280 Bar	1,9	2	2,475
Şönil-Ş2	120°C	240 Bar	1,8	2	2,475
Saten-S1	130°C	240 Bar	2,025	1,675	2,2
Saten-S2	100°C	250 Bar	1,9	1,95	2,2
Saten-S3	130°C	280 Bar	2,025	1,975	2,2

Çizelge 4.11 incelendiğinde konvansiyonel numuneler ile susuz boyaması yapılmış numunelerin eğilme rijitliği değerlerinin benzer olduğu görülmüştür.

4.9. Oligomer Tayini Sonuçları

Oligomer tayini için Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN'in literatürde yer alan 2009 yılında yayımlanmış makalesi referans olarak alınmıştır (Eren H. ve Anış, 2009). Oligomer tayini her kumaş tipinden bir konvansiyonel ve bir susuz boyanmış numunelere yapılmıştır.

Çizelge 4.12. Farklı sıcaklık ve basınç değerlerinde boyanan kumaşların oligomer tayini sonuçları

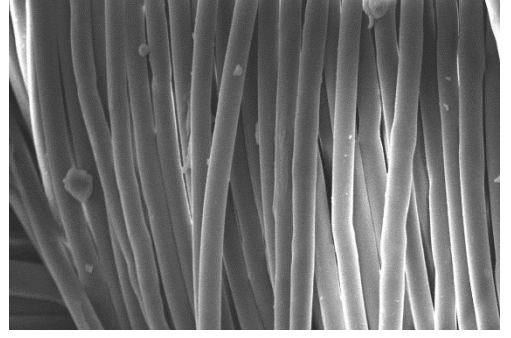
KUMAŞ ADI	OLİGOMER TAYİNİ (%)	
Döşemelik	Konvansiyonel	1,252
	250 BAR-100°C	1,235
Şönil	Konvansiyonel	1,064
	280 BAR-120°C	0,609
Saten	Konvansiyonel	1,898
	250 BAR-100°C	0,943
Tül	Konvansiyonel	1,122
	240 BAR-130°C	0,337
Tafta	Konvansiyonel	1,354
	280 BAR-130°C	0,903

Çizelge 4.12 incelendiğinde konvansiyonel boyamaların oligomer değerlerinin susuz boyamada elde edilen numunelere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu sonuç susuz boyamanın sadece su ve enerji tasarruf bakımından değil aynı zamanda poliester kumaşlarda oligomer oluşumu gibi bir önemli sorunu da azalttığı yönünde başarı sağladığını göstermektedir.

4.10. SEM Ölçümü Sonuçları

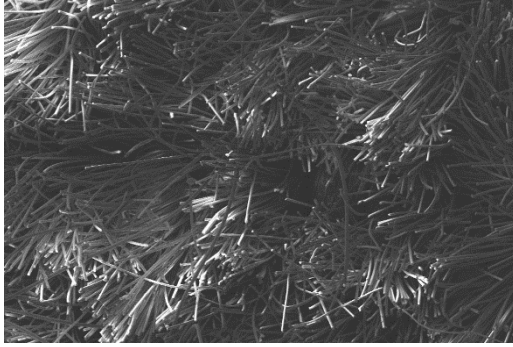


A

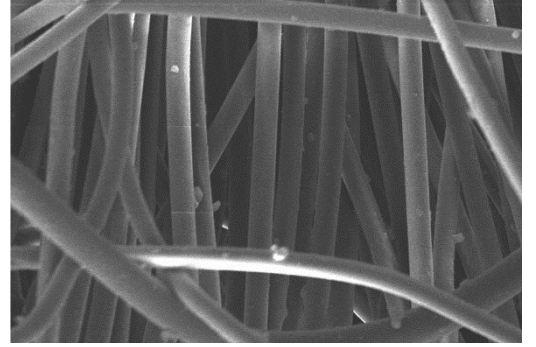


B

Şekil 4.7. Ham şönil kumaşa ait SEM görüntüleri. **A)** 200 µm boyutunda görüntü **B)** 20 µm boyutunda görüntü



A



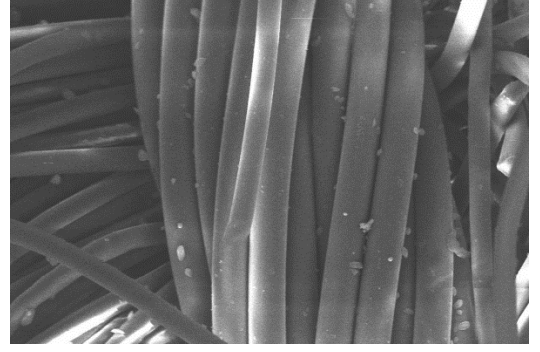
B

Şekil 4.8. Konvansiyonel boyanmış şönil kumaşa ait SEM görüntüleri. **A)** 200 µm boyutunda görüntü **B)** 20 µm boyutunda görüntü

Ham şönil kumaşlara göre konvansiyonel işlem uygulanmış kumaşlar incelendiğinde; konvansiyonel işlem sonrası liflerin karıştığı görülmüştür.



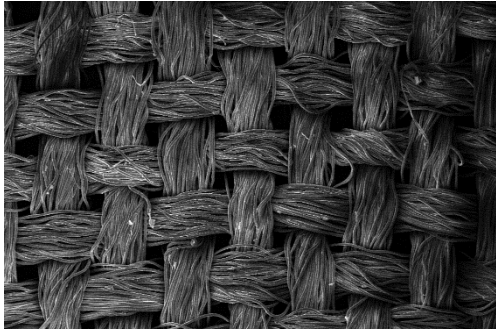
A



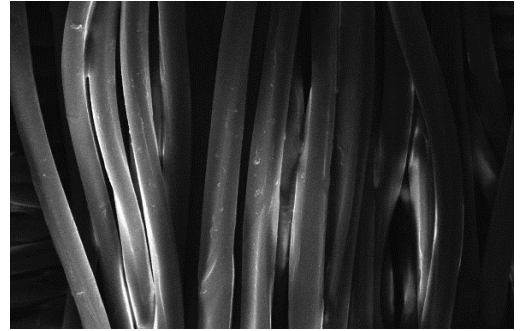
B

Şekil 4.9. 280 Bar 120 °C’de susuz boyanmış şönil kumaşa ait SEM görüntüleri. **A)** 200 μm görüntü **B)** 20 μm görüntü

Süperkritik ortamda boyanan kumaşların SEM görüntülerinin, konvansiyonel işlem ile boyanmış numune görüntülerine benzer görüntüler verdiği görülmüştür. Yüzeide boyarmadde olarak yorumlanabilecek partiküller olduğu görülmüştür.

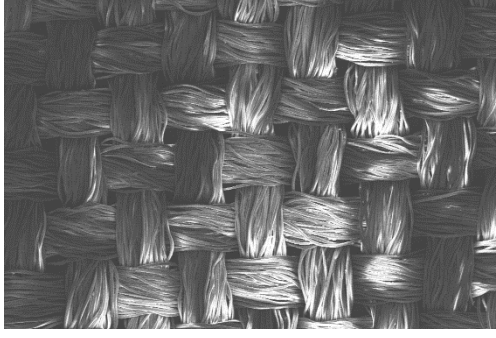


A

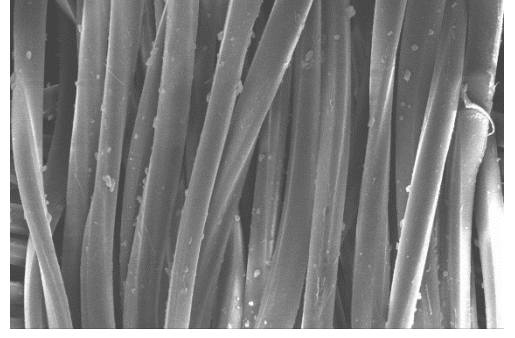


B

Şekil 4.10. Ham tül kumaşa ait SEM görüntüleri. **A)** 200 μm boyutunda görüntü **B)** 20 μm boyutunda görüntü



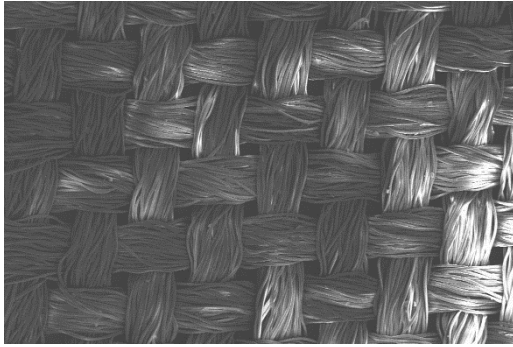
A



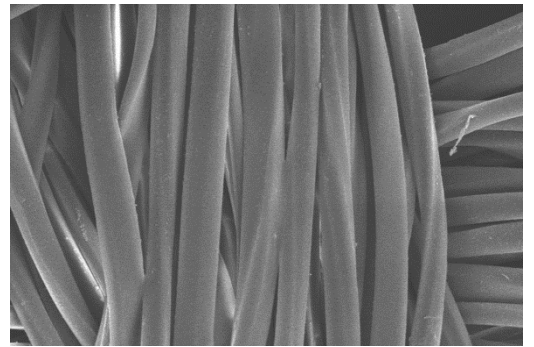
B

Şekil 4.11. Konvansiyonel boyanmış tül kumaşa ait SEM görüntüleri. **A)** 200 μm boyutunda görüntü **B)** 20 μm boyutunda görüntü

Boyama işlemi sonrasında yüzeyde kalan boyarmadde partikülleri şeklinde yorumlanabilecek partiküller olduğu görülmektedir.



A



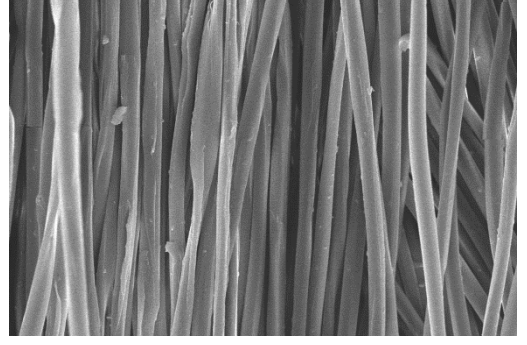
B

Şekil 4.12. 240 Bar 130 °C’de susuz boyanmış tül kumaşa ait SEM görüntüleri. **A)** 200 μm boyutunda görüntü **B)** 20 μm boyutunda görüntü

Süperkritik ortamda susuz boyama işlemi sonrası yüzeyin konvansiyonel işleme göre daha iyi olduğu görülmüştür.

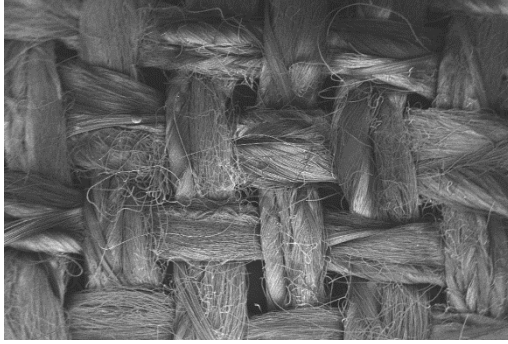


A

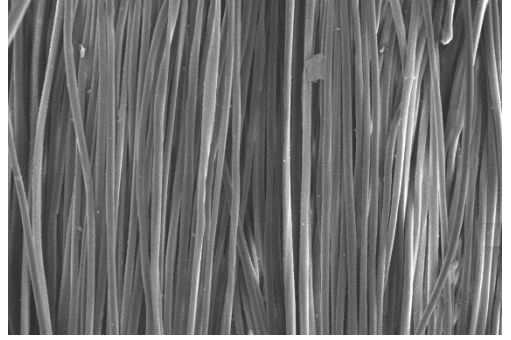


B

Şekil 4.13. Ham döşemelik kumaşa ait SEM görüntüleri. **A)** 200 μm boyutunda görüntü **B)** 20 μm boyutunda görüntü



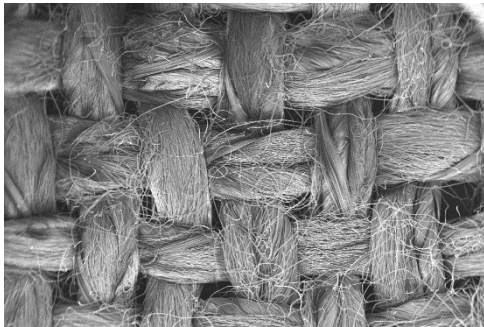
A



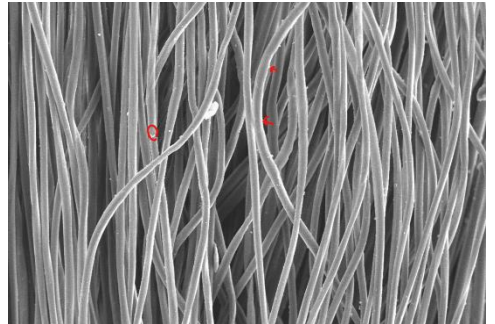
B

Şekil 4.14. Konvansiyonel boyanmış döşemelik kumaşa ait SEM görüntüleri. **A)** 200 μm boyutunda görüntü **B)** 20 μm boyutunda görüntü

Konvansiyonel boyama işlemi uygulandıktan sonra kumaşların y zeylerinin daha d zg n olduğu görülmektedir.



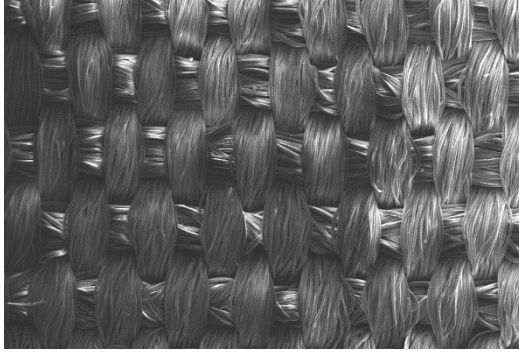
A



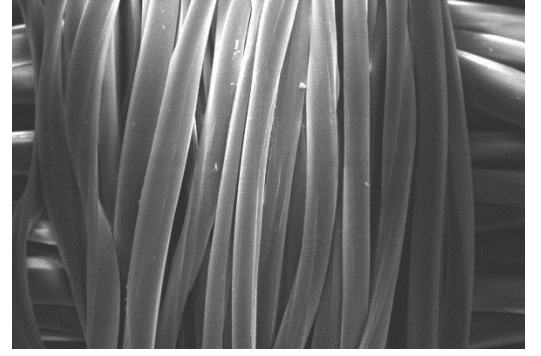
B

Şekil 4.15. 250 Bar 130 $^{\circ}\text{C}$ 'de susuz boyanmış döşemelik kumaşa ait SEM görüntüleri. **A)** 200 μm boyutunda görüntü **B)** 20 μm boyutunda görüntü

Süperkritik karbondioksit ortamında yapılan boyamada, ortamdaki basıncın liflerin yüzeylerinde konvansiyonel boyamaya göre daha fazla düzgünsüzlüğe neden olduğu görülmüştür.

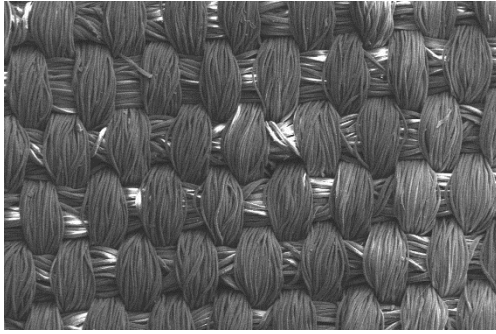


A

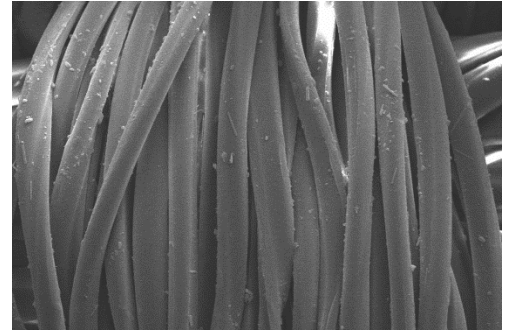


B

Şekil 4.16. Ham tafta kumaşa ait SEM görüntüleri. **A)** 200 µm boyutunda görüntü **B)** 20 µm boyutunda görüntü



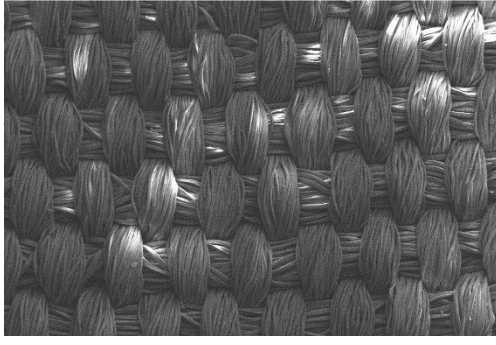
A



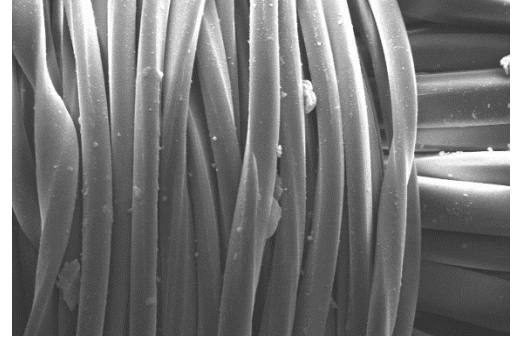
B

Şekil 4.17. Konvansiyonel boyanmış tafta kumaşa ait SEM görüntüleri. **A)** 200 µm boyutunda görüntü **B)** 20 µm boyutunda görüntü

Konvansiyonel boyama işlemi sonrası yüzeyde boyarmadde partikülleri olduğu görülmektedir.



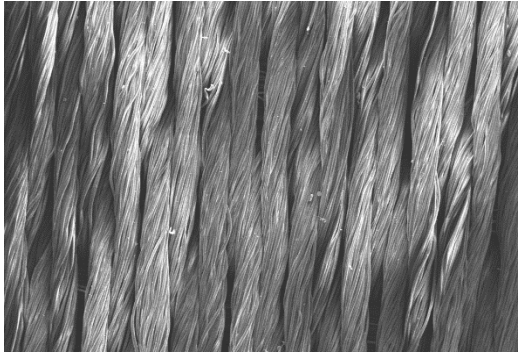
A



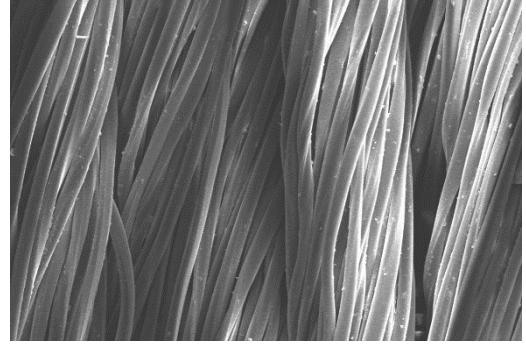
B

Şekil 4.18. 280 Bar 130 °C’de susuz boyanmış tafta kumaşa ait SEM görüntüleri. **A)** 200 μm boyutunda görüntü **B)** 20 μm boyutunda görüntü

Süperkritik karbondioksit ortamında yapılan boyamada basıncın etkisiyle lif üzerinde değişimler görülmektedir.

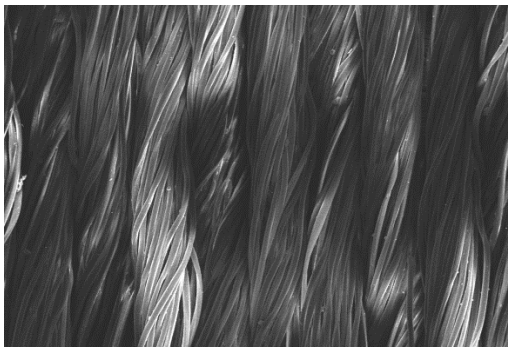


A

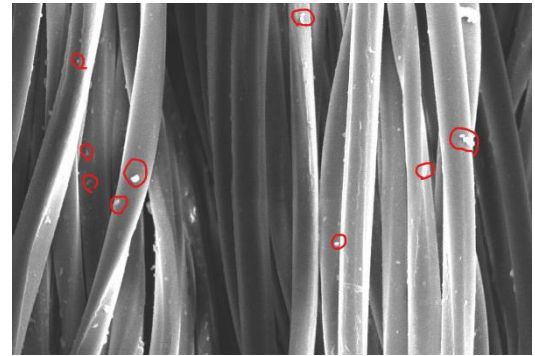


B

Şekil 4.19. Ham saten kumaşa ait SEM görüntüleri. **A)** 200 μm boyutunda görüntü **B)** 20 μm boyutunda görüntü



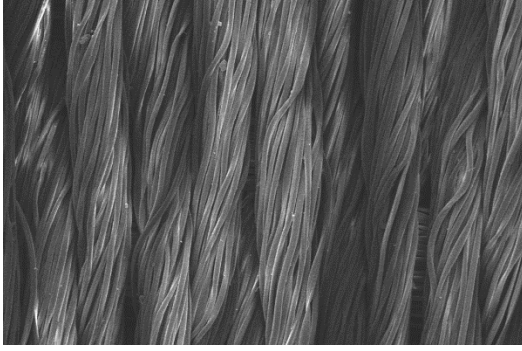
A



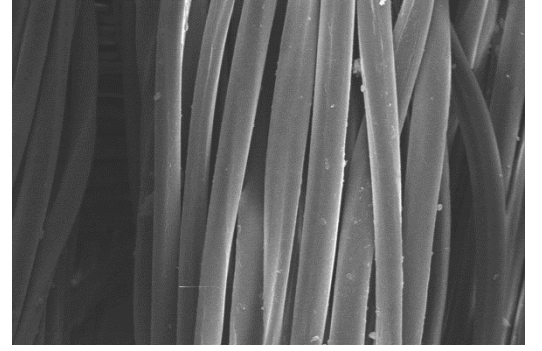
B

Şekil 4.20. Konvansiyonel boyanmış saten kumaşa ait SEM görüntüleri. **A)** 200 μm boyutunda görüntü **B)** 20 μm boyutunda görüntü

Aynı boyutlarda çekilen SEM görüntüleri incelendiğinde konvansiyonel işlemden sonra liflerin hacimsel olarak büyüdüğü söylenebilir.



A



B

Şekil 4.21. 250 Bar 130 °C’de susuz boyanmış saten kumaşa ait SEM görüntüleri. **A)** 200 µm görüntü **B)** 20 µm görüntü

5. SONUÇ

Poliester kumaşların süperkritik karbondioksit ortamda susuz boyanması ticari olarak uygulanmaktadır. Yapılan literatür taramalarında genellikle benzer gramajdaki ve konstrüksiyondaki kumaşların uygulama alanı buldukları görülmektedir. Dolayısıyla bu yüksek lisans tezi farklı gramaj ve konstrüksiyonlardaki kumaşların süperkritik ortamda boyanması bakımından özgündür.

- Veriler incelendiğinde literatür ve DyeCoo firmasının da önerdiği gibi 250 Bar 120 °C de tüm kumaşların başarıyla boyandığı görülmüştür.
- Hiç su kullanılmadan ve literatüre göre daha düşük basınç değerlerinde (210 bar) konvansiyonel boyama ile aynı boyamaların başarıyla elde edilmesi sonucu boyama prosesinde boyarmadde tasarrufu sağlanabileceğini göstermektedir. Kullanılan CO₂* miktarları aşağıda verilmiştir. Daha az CO₂ ile daha koyu boyamalar elde edilmiştir.
 - * 280 bar 120 °C de kullanılan CO₂ miktarı =133.461 g
 - * 210 bar 130 °C de kullanılan CO₂ miktarı =94.341g
- Tül ve tafta kumaşların gramajları (57 g/m²) literatürdeki çalışmalarda kullanılan kumaşlara benzerlik göstermektedir. Bu nedenle elde edilen sonuçlarda literatürdekine uygun olarak 250 bar 120 °C de başarılıdır ve daha koyu boyanmıştır.
- Numunelerin haslık değerlerinin konvansiyonel boyanmış numunelere kıyasla benzer olduğu görülmektedir.
- Yapılan çalışmalar neticesinde poliesterin daha yüksek gramajdaki kumaşlarda daha düşük basınç (210 Bar) değerlerinde uniform boyanabildiği aynı zamanda boyamalarında daha koyu olduğu sonuçları en çok dikkat sonuçlardandır.
- Susuz üretim sonucunda boyanan kumaş numuneleri daha yüksek (daha koyu) K/S değerleri verdiği için, boyama süreleri 90 dk'dan 60 dk'ya düşürülmüştür.

Süre kısaltıldıkça renk farkı değerlerinin düşüp konvansiyonel boyamaya yaklaştığı görülmüştür.

- Susuz boyama işleminde hiç su kullanımı olmadığı için bir çevresel atık yükü yoktur. Dolayısıyla KOİ sonuçları da elde edilen başarılı sonuçlar içindedir.
- Susuz üretim ile konvansiyonel yapılan işlemlerin oligomer testi sonuçları incelendiğinde susuz üretimde oligomer oluşumunun daha düşük olması başarılı bir sonuçtur.

KAYNAKLAR

- Abate, M. T., Ferri, A., Guan, J., Chen, G., ve Nierstrasz, V. (2019). Impregnation of Materials in Supercritical CO₂ to Impart Various Functionalities. *Advanced Supercritical Fluids Technologies*. doi.org/10.5772/intechopen.89223
- Abate, M. T., Ferri, A., Guan, J., Chen, G., Ferreira, J. A., ve Nierstrasz, V. (2019). Single-step disperse dyeing and antimicrobial functionalization of polyester fabric with chitosan and derivative in supercritical carbon dioxide. *The Journal of Supercritical Fluids*, 147, 231-240. doi.org/10.1016/j.supflu.2018.11.002
- Abou Elmaaty, T., ve Abd El-Aziz, E. (2018). Supercritical carbon dioxide as a green media in textile dyeing: A review. *Textile Research Journal*, 88(10), 1184-1212. doi.org/10.1177/0040517517697639
- Amenaghawon, A. N., Anyalewechi, C. L., Kusuma, H. S., ve Mahfud, M. (2020). Applications of supercritical carbon dioxide in textile industry. *Green Sustainable Process for Chemical and Environmental Engineering and Science* (s. 329-346). içinde Elsevier. doi.org/10.1016/B978-0-12-817388-6.00013-1
- Avinç, O., ve Khoddami, A. (2010). Overview of poly (lactic acid)(PLA) fibre: Part II: Wet processing; pretreatment, dyeing, clearing, finishing, and washing properties of poly (lactic acid) fibres. *Fibre Chemistry*, 42(1).
- Baig, G. A. (2020). Coloration of poly (lactic acid) based textiles—a review. *Polimery*, 65(6), 414-429. doi.org/10.14314/polimery.2020.6.1
- Balçı, O. (2011). New Approaches for Reductive Washing of Polyester Knitted Fabrics. *Textile and Apparel*, 21(1), 42-49.
- Banchero, M. (2013). Supercritical fluid dyeing of synthetic and natural textiles – a review. *Coloration Technology*, 129(1), 2-17. doi.org/10.1111/cote.12005
- Banchero, M. (2020). Recent advances in supercritical fluid dyeing. *Coloration Technology*, 136(4), 317-335. doi.org/10.1111/cote.12469
- Barber, N. (2017). *Polyethylene Terephthalate : Uses, Properties, and Degradation*. Polymer Science and Technology.
- Bechtold, T., ve Pham, T. (2019). *Textile chemistry*. De Gruyter.
- Bird, C. L., & Boston, W. S. (1975). *The Theory of Colouration of Textiles*. Dyers Company Publications Trust. Bradford, UK, 197.
- Broadbent, A. D. (2001). *Basic Principles of Textile Colouration*. Bradford, UK: Society of Dyes and Colorists.

Choi, J.-h., ve Seo, W.-y. (2006). Coloration of poly (lactic acid) with disperse dyes. 1. Comparison to poly (ethylene terephthalate) of dyeability, shade and fastness. *Fibers and Polymers*, 7(3), 270-275.

Çelebi, N. (2007). Süperkritik Akışkan Ortamında Kiral Hidroksi Ketonların Sentezi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Devrent, N., Özcan, A. S., ve Durur, G. (2006). Süperkritik karbon dioksitte boyama. *Tekstil ve Mühendis*, 13(63), 44-48.

Eren, H. A., ve Anış, P. (2009). Surface trimer removal of polyester fibers by ozone treatment. *Textile Research Journal*, 79(7), 652-656. doi.org/10.1177/0040517508097521

Eren, H. A., Yiğit, İ., Eren, S., ve Avinç, O. (2020). Sustainable textile processing with zero water utilization using super critical carbon dioxide technology. *Sustainability in the Textile and Apparel Industries* (s. 179-196). Springer Cham.

Eren, S., Özcan, H., Yiğit, İ. & Eren, H. A. (2019). POLYESTERİN DİSPERSE BLUE 79 İLE KLASİK VE SUSUZ BOYANMASININ KARŞILAŞTIRILMASI. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 24 (2), 661-670. doi.org/10.17482/uumfd.565247

Gulzar, T., Farooq, T., Kiran, S., Ahmad, I., ve Hameed, A. (2019). Green chemistry in the wet processing of textiles. *In The impact and prospects of green chemistry for textile technology* (s. 1-20). içinde Woodhead Publishing. doi.org/10.1016/B978-0-08-102491-1.00001-0

Huang, G., Dai, J., Dong, F., Wang, J., ve Jia, Y. (2013). Compatibility of a disperse dye mixture in supercritical carbon dioxide dyeing. *Coloration Technology*, 129(4), 305-311. doi.org/10.1111/cote.12018

Jaffe, M., Easts, A. J., ve Feng, X. (2020). Polyester Fibers. *Thermal Analysis of Textiles and Fibers*, 133-149. doi.org/10.1016/B978-0-08-100572-9.00008-2

Karahan, N., ve Mangut, M. (2011). *Tekstil Lifleri*. Bursa: Ekin Yayınevi.

Koh, J. (2011). Dyeing with disperse dyes. *Textile Dyeing* (s. 195-220). South Korea.

NIST Chemistry WebBook. (2021). (U.S. Department of Commerce) National Institute of Standards and Technology: webbook.nist.gov.tr adresinden alındı

Odabaşoğlu, H. Y., Avinç, O. O., ve Yavaş, A. (2013). Susuz Boyama. *Tekstil ve Mühendis*, 20(90), 63-79.

Seventekin, N. (2003). *Kimyasal Lifler*. İzmir: E. Ü. Tekstil Ve Konfeksiyon Araştırma-Uygulama Merkezi.

Shang, S. M. (2013). Process control in dyeing of textiles. *Process control in textile manufacturing* (s. 300-338). Woodhead Publishing. doi.org/10.1533/9780857095633.3.300

Sunguray, G. (2010). Dispers boyarmaddelerle boyanmış poliester materyallerin renk haslık özelliklerinin iyileştirilmesi. Türkiye: Marmara Üniversitesi.

Thomas, S., ve Visakh, P. M. (2011). *Handbook of Engineering and Specialty Thermoplastics, Volume 3: Polyethers and Polyesters* (Cilt 63). John Wiley & Sons.

Toprak, T., ve Anış, P. (2017). Textile industry's environmental effects and approaching cleaner production and sustainability, an overview. *Journal of Textile Engineering & Fashion Technology*, 2(4), 429-442.

Yiğit, İ., Eren, S., Özcan, H., Avinc, O., ve Eren, H. A. (2021). An investigation of process parameters on colour during the dyeing of polyester in supercritical carbon dioxide media. *Coloration Technology*, 137(6), 625-644. doi.org/10.1111/cote.12553

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Büşra ÇİFTÇİ
Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa – 03.05.1992
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu
Lise : Bursa Merkez Anadolu İmam Hatip Lisesi
Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi – Tekstil Mühendisliği
Yüksek Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi – Tekstil Mühendisliği

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : Yeşim Tekstil – Stajyer (2015-2016)
Gülcemal Tekstil San. ve Tic. A.Ş. – Stajyer (2014)

İletişim (e-posta) : busraciftci.b@gmail.com

Yayınları :