

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**POLİPROPİLEN ELYAFIN BOYANABİLİRLİĞİNİN
İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Yük. Kimya Müh. Elif ATABEK YİĞİT

Enstitü Anabilim Dalı : KİMYA

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Murat TEKER

Temmuz 2009

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ


POLİPROPİLEN ELYAFIN BOYANABİLİRLİĞİNİN
İNCELENMESİ

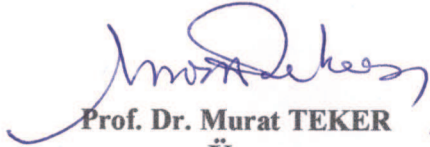
DOKTORA TEZİ

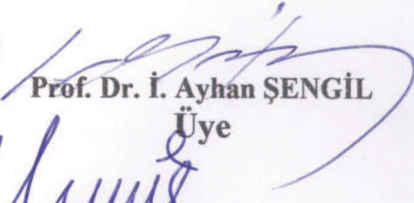
Kimya Yük. Müh. Elif ATABEK YİĞİT


Enstitü Anabilim Dalı : KİMYA


Bu tez 23 / 07 /2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr. Musa ŞAHİN
Jüri Başkanı


Prof. Dr. Murat TEKER
Üye


Prof. Dr. İ. Ayhan ŞENGİL
Üye


Prof. Dr. Mustafa CENGİZ
Üye


Doç. Dr. Mahmut ÖZACAR
Üye

TEŞEKKÜR

Çalışmanın her aşamasında bilgi, tecrübe ve felsefi yaklaşımından yararlandığım danışmanım sayın Prof. Dr. Murat TEKER'e katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Tez çalışmamın ilerleyişini periyodik olarak değerlendirerek eksik ve hatalarının belirlenmesi ve düzeltilmesi yönündeki katkılarından dolayı Prof. Dr. İ. Ayhan ŞENGİL'e ve Doç. Dr. Mahmut ÖZACAR'a çok teşekkür ederim.

Çalışmamın deneysel aşamasında spektrofotometre ölçümleri ve yıkama haslıklarının belirlenmesi için bana yardımcı olan Aydın Örne A.Ş. çalışanlarına, deneylerde kullandığım ultrasonik banyonun temininde yardımcı olan sayın Prof. Dr. Ulvi AVCIATA'ya, boyarmaddelerin ve kimyasalların teminini sağlayan Setaş Kimya A.Ş.'ye çok teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasını 2006-FBD-021 numaralı proje olarak destekleyen Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu Başkanlığı'na teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımnda maddi, manevi ve akademik desteğini esirgemeyen sevgili eşim Cemil YİĞİT'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışmasının başarıya ulaşması noktasında bilgilerinden istifade ettiğim arkadaşım Kimya Mühendisi Elif TUFAN'a katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olduklarını hissettiğim aileme sabır, anlayış ve destekleri için çok teşekkür ederim.

Elif ATABEK YİĞİT

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ	xiii
ÖZET	xvi
SUMMARY	xvii

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
1.1. Yapılan Çalışmalara Bakış	2
1.2. Çalışmanın Kapsamı	14

BÖLÜM 2.

POLİPROPİLEN ELYAF	16
2.1. Polipropilenin Elde Edilişi	17
2.1.1. Polimerizasyonda kullanılan katalizör sistemleri	17
2.1.1.1. Ziegler-Natta katalizörleri.....	18
2.1.1.2. Metallocene katalizörleri	19
2.1.2. Polimerizasyon hızını etkileyen faktörler	19
2.1.2.1. Katalizör tipi ve konsantrasyonu	19
2.1.2.2. Monomer konsantrasyonu ve hidrojen	20
2.1.2.3. Polimerizasyon sıcaklığı ve süre.....	20
2.1.2.4. Polimerizasyon ortamı	20
2.1.3. Polimerizasyon prosesi	21
2.1.3.1. Çamurumsu polimerizasyon	21
2.1.3.2. Çözelti polimerizasyonu	22

2.1.3.3.	Kütle polimerizasyonu.....	22
2.1.3.4.	Gaz fazı polimerizasyonu	23
2.1.3.5.	Kütle ve gaz fazı polimerizasyonu.....	23
2.2.	Polipropilen Elyafın Üretimi.....	23
2.2.1.	Elyaf üretiminde kullanılan katkı maddeleri.....	26
2.2.1.1.	Stabilizatörler.....	26
2.2.1.2.	Pigmentler.....	27
2.2.1.3.	Tutuşmayı geciktiriciler.....	28
2.2.1.4.	Bitim işlemleri katkıları	29
2.3.	Polipropilen Elyafın Özellikleri	29
2.3.1.	Molekül kütlesi ve molekül kütlesi dağılımı	30
2.3.2.	Kristal yapısı	31
2.3.3.	Oryantasyonu	33
2.3.4.	Reolojisi	33
2.3.5.	Yoğunluğu.....	35
2.3.6.	Termal iletkenliği.....	35
2.3.7.	Elektriksel özellikleri.....	36
2.3.8.	Optik özellikleri	36
2.3.9.	Biyolojik özellikleri	37
2.3.10.	Mekanik özellikleri	37
2.3.10.1.	Sağlamlık	37
2.3.10.2.	Elastik modülü	38
2.3.10.3.	Kopma uzaması.....	39
2.3.10.4.	Sertlik.....	39
2.3.11.	Nem tutuculuğu.....	39
2.3.12.	Kimyasallara karşı dayanımı.....	40
2.4.	Polipropilen Elyafın Önemi ve Kullanım Alanları.....	40

BÖLÜM 3.

BOYAMA	42
3.1. Işık ve Renk.....	42
3.2. Renk Teorileri	43
3.3. Boyama Kinetiği	47

3.4. Rengin Ölçümü	50
3.4.1. Ostwald renk sistemi	50
3.4.2. Munsell renk sistemi	51
3.4.3. CIELab renk uzayı	51
3.4.4. Kubelka-Munk teorisi	52
3.5. Renk Haslıkları	52
3.5.1. Kullanılma esnasında istenen haslıklar	53
3.5.2. Üretim esnasında istenen haslıklar	53
3.6. Boyarmaddeler	54
3.6.1. Dispers boyarmaddeler	55
3.6.2. Elyaf türlerine uygun boyarmaddeler	58
3.7. Tekstil Elyafın Boyanmasıyla İlgili Bazı Terimler	59
3.8. Boyama Yöntemleri	60
3.8.1. Kütle boyama yöntemi	60
3.8.2. Taşıyıcı kullanarak boyama	62
3.8.3. Yüksek sıcaklık (HT) yöntemiyle boyama	63
3.9. Mikrodalga ve Ultrasonik Enerjinin Tekstil Boyanmasına Kullanımı	64
3.9.1. Mikrodalga enerjisi	64
3.9.2. Mikrodalga enerjisinin tekstil boyamada kullanımı	69
3.9.3. Ultrasonik enerji	70
3.9.4. Ultrasonik enerjinin tekstil boyamada kullanımı	74

BÖLÜM 4.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR	77
4.1. Kullanılan Kimyasal Maddeler	77
4.2. Kullanılan Malzeme ve Cihazlar	77
4.3. Yöntem	78
4.3.1. Ön temizleme işlemi	78
4.3.2. Boyama çalışmaları	78
4.3.2.1. Mikrodalga ile yapılan boyama çalışmaları	78
4.3.2.2. Taşıyıcı kullanılmadan ultrasonik banyo ile yapılan boyama çalışmaları	80

4.3.2.3. Taşıyıcı kullanarak ultrasonik banyo ile yapılan boyama çalışmaları	81
4.3.2.4. Zamana bağlı olarak yapılan boyama çalışmaları.....	83
4.3.3. Boyanan kumaşların renk şiddetlerinin ölçülmesi	83
4.3.4. Boyama kinetiğinin incelenmesi	84
4.3.5. Boyanmış kumaşların yıkama haslıklarının belirlenmesi	85
4.3.6. Boyanmamış ve boyanmış kumaşların yüzey görüntülerinin incelenmesi.....	86

BÖLÜM 5.

SONUÇLAR	87
5.1. Değişik Seviyelerde Mikrodalga Enerjisi Kullanılarak Yapılan Boyamaların Sonuçları	87
5.2. Ultrasonik Enerji Kullanarak Yapılan Boyamaların Sonuçları.....	102
5.3. Ultrasonik Enerjinin Yardımıyla Boyamaya Taşıyıcının Etkisi.....	115
5.4. Zamana Bağlı Olarak Yapılan Boyama Denemelerinin Sonuçları	128
5.5. Boyama Kinetiğinin İncelenmesi	133
5.6. Boyanmış Örneklerin Yıkama Haslıkları Sonuçları.....	138
5.7. Çeşitli Yöntemler ile Boyanmış Örneklerin Yüzey Görüntüleri.....	138

BÖLÜM 6.

TARTIŞMA VE ÖNERİLER	141
6.1. Mikrodalga Enerjisi Kullanılarak Yapılan Boyamalar.....	141
6.2. Ultrasonik Enerji Kullanılarak Yapılan Boyamalar	141
6.3. Ultrasonik Enerji Kullanılarak Boyamada Taşıyıcının Etkisi.....	142
6.4. Mikrodalga Enerjisi ve Ultrasonik Enerji Kullanarak Yapılan Boyamaların Kıyaslanması	143
6.5. Zamana Bağlı Olarak Yapılan Çalışmalar.....	144
6.6. Boyanan Örneklerin Yıkama Haslıkları	144
6.7. Boyanan Örneklerin Yüzey Görüntüleri	145

KAYNAKLAR	146
-----------------	-----

ÖZGEÇMİŞ	153
----------------	-----

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

a^*	: CIELab renk uzayında kırmızı-yeşil eksen
A_0, A_1 ve A_2	: Katsayılar
ASTM	: American Society for Testing and Materials
b^*	: CIELab renk uzayında sarı-mavi eksen
BCF	: Bulk Continuous Filament (Devamlı Lif)
C	: Rengin doygunluğu ve kapasitörün yükü
C_f	: Elyaf üzerindeki boyarmaddenin konsantrasyonu
C_f/C_s	: Partitasyon katsayısı
C_s	: Çözeltideki boyarmaddenin konsantrasyonu
C_0	: Kapasitörün başlangıçtaki yükü
C.I.	: Color Index (Renk İndeksi)
CIE	: Commission Internationale d'Eclairage (Uluslararası Renk Komisyonu)
CIELab	: CIE tarafından belirlenen $L^*a^*b^*$ ile ifade edilen renk uzayı
CR	: Kontrollü reoloji
dC/dx	: Konsantrasyon gradyenti [$\text{mol}/\text{m}^3\text{m}$]
D	: Difüzyon katsayısı [m^2/s]
DEAC	: Dietil Alüminyum Klorür
DMTA	: Dinamik Mekanik Termal Analiz
DSC	: Diferansiyel Taramalı Kalorimetri
EVA	: Etilen vinil asetat
h	: Planck sabiti
H	: Renk tonu ve mikrodalga fırının yüksek seviyesi
HT	: Yüksek sıcaklık
ISO	: International Organization for Standardization
J	: Akı [$\text{mol}/\text{m}^3.\text{s}$]
K	: Absorpsiyon katsayısı

K/S	: Kubelka-Munk fonksiyonu
L	: Mikrodalga fırının düşük seviyesi
L*	: CIELab renk uzayında açıklık-koyuluk eksen
L/D	: Boy/çap
M	: Mikrodalga fırının orta seviyesi ve M_t / M_{∞}
M_t	: t zamanında elyaf üzerindeki boyarmaddenin miktarı
M_w/M_n	: Molekül kütlesi dağılımı
M_{∞}	: Dengede elyaf üzerindeki boyarmaddenin miktarı
MAO	: Metil Alüminyum Oksan
MFR	: Eriyik akış indeksi
M-H	: Mikrodalga fırının orta-yüksek seviyesi
M-L	: Mikrodalga fırının düşük-orta seviyesi
PP	: Polipropilen
PP-g-MAH	: Maleik anhidrit aşılı polipropilen
P_1 ve P_2	: M_{∞} değerinin hesaplanmasında kullanılan katsayılar
q_n	: Sıfırıncı derece Bessel fonksiyonunun pozitif kökleri
r	: Yarıçap
R	: Reflektans
S	: Saçılım katsayısı
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
t	: Zaman
TEM	: Transmisyon Elektron Mikroskobu
TGA	: Termal Gravimetrik Analiz
UV	: Ultraviyole
ν	: Absorplanan ışığın frekansı
V	: Rengin değeri
XRD	: X ışını kırınımı
Δa^*	: CIELab denklemine göre iki renk arasındaki a eksenindeki renk farkı
Δb^*	: CIELab denklemine göre iki renk arasındaki b eksenindeki renk farkı
ΔE	: CIELab denklemine göre iki renk arasındaki toplam vektörel renk farkı
ΔL^*	: CIELab denklemine göre iki renk arasındaki L eksenindeki renk farkı
ϵ_{τ}	: Dielektrik sabiti

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Propilenin polimerizasyonu	16
Şekil 2.2. İzotaktik polipropilen	16
Şekil 2.3. Sindiyotaktik polipropilen	16
Şekil 2.4. Ataktik polipropilen	17
Şekil 2.5. Polipropilen elyafın üretim prosesi	24
Şekil 3.1. Elektromanyetik spektrum	43
Şekil 3.2. Kinon ve benzoidin molekül yapısı	45
Şekil 3.3. Dispers boyarmaddeler ile boyama mekanizması	57
Şekil 3.4. Mikrodalga ışınımına maruz kalan çeşitli maddeler (a) İletken, (b) Yalıtkan, (c) Dielektrik kaybına sahip maddeler	65
Şekil 3.5. Magnetronun kesit görüntüsü	67
Şekil 3.6. Geleneksel ve mikrodalga ısıtma sistemleri	69
Şekil 4.1. Deneysel çalışmada kullanılan mikrodalga fırın	80
Şekil 4.2. Deneysel çalışmalarda kullanılan ultrasonik banyo	82
Şekil 5.1. 1/20 flotte ve %0.5 boyama şiddetinde hazırlanan boyama banyosunda değişik seviyelerde mikrodalga enerjisi kullanılarak boyanan örnekler için reflektansın dalga boyu-K/S ilişkisi	93
Şekil 5.2. 1/20 flotte ve %1 boyama şiddetinde hazırlanan boyama banyosunda değişik seviyelerde mikrodalga enerjisi kullanılarak boyanan örnekler için reflektansın dalga boyu-K/S ilişkisi	93
Şekil 5.3. 1/20 flotte ve %2 boyama şiddetinde hazırlanan boyama banyosunda değişik seviyelerde mikrodalga enerjisi kullanılarak boyanan örnekler için reflektansın dalga boyu-K/S ilişkisi	94
Şekil 5.4. 1/50 flotte ve %0.5 boyama şiddetinde hazırlanan boyama banyosunda değişik seviyelerde mikrodalga enerjisi kullanılarak boyanan örnekler için reflektansın dalga boyu-K/S ilişkisi	94

Şekil 5.5.	1/50 flotte ve %1 boyama şiddetinde hazırlanan boyama banyosunda değişik seviyelerde mikrodalga enerjisi kullanılarak boyanan örnekler için reflektansın dalga boyu-K/S ilişkisi	95
Şekil 5.6.	1/50 flotte ve %2 boyama şiddetinde hazırlanan boyama banyosunda değişik seviyelerde mikrodalga enerjisi kullanılarak boyanan örnekler için reflektansın dalga boyu-K/S ilişkisi	95
Şekil 5.7.	1/100 flotte ve %0.5 boyama şiddetinde hazırlanan boyama banyosunda değişik seviyelerde mikrodalga enerjisi kullanılarak boyanan örnekler için reflektansın dalga boyu-K/S ilişkisi	96
Şekil 5.8.	1/100 flotte ve %1 boyama şiddetinde hazırlanan boyama banyosunda değişik seviyelerde mikrodalga enerjisi kullanılarak boyanan örnekler için reflektansın dalga boyu-K/S ilişkisi	96
Şekil 5.9.	1/100 flotte ve %2 boyama şiddetinde hazırlanan boyama banyosunda değişik seviyelerde mikrodalga enerjisi kullanılarak boyanan örnekler için reflektansın dalga boyu-K/S ilişkisi	97
Şekil 5.10.	1/20 Flotte ve farklı boyama şiddetlerinde değişen mikrodalga güçlerinde boyanan örnekler için mikrodalga gücü ve renk şiddeti ilişkisi	98
Şekil 5.11.	1/50 Flotte ve farklı boyama şiddetlerinde değişen mikrodalga güçlerinde boyanan örnekler için mikrodalga gücü ve renk şiddeti ilişkisi	98
Şekil 5.12.	1/100 Flotte ve farklı boyama şiddetlerinde değişen mikrodalga güçlerinde boyanan örnekler için mikrodalga gücü ve renk şiddeti ilişkisi	99
Şekil 5.13.	1/20 flotte ve %0.5 boyama şiddetinde hazırlanan boyama banyosunda ultrasonik enerji kullanılarak değişik sıcaklıklarda boyanan örnekler için reflektansın dalga boyu-K/S ilişkisi	107
Şekil 5.14.	1/20 flotte ve %1 boyama şiddetinde hazırlanan boyama banyosunda ultrasonik enerji kullanılarak değişik sıcaklıklarda boyanan örnekler için reflektansın dalga boyu-K/S ilişkisi	107
Şekil 5.15.	1/20 flotte ve %2 boyama şiddetinde hazırlanan boyama banyosunda ultrasonik enerji kullanılarak değişik sıcaklıklarda boyanan örnekler için reflektansın dalga boyu-K/S ilişkisi	108

Şekil 5.16. 1/50 flotte ve %0.5 boyama şiddetinde hazırlanan boyama banyosunda ultrasonik enerji kullanılarak değişik sıcaklıklarda boyanan örnekler için reflektansın dalga boyu-K/S ilişkisi	108
Şekil 5.17. 1/50 flotte ve %1 boyama şiddetinde hazırlanan boyama banyosunda ultrasonik enerji kullanılarak değişik sıcaklıklarda boyanan örnekler için reflektansın dalga boyu-K/S ilişkisi	109
Şekil 5.18. 1/50 flotte ve %2 boyama şiddetinde hazırlanan boyama banyosunda ultrasonik enerji kullanılarak değişik sıcaklıklarda boyanan örnekler için reflektansın dalga boyu-K/S ilişkisi	109
Şekil 5.19. 1/100 flotte ve %0.5 boyama şiddetinde hazırlanan boyama banyosunda ultrasonik enerji kullanılarak değişik sıcaklıklarda boyanan örnekler için reflektansın dalga boyu-K/S ilişkisi	110
Şekil 5.20. 1/100 flotte ve %1 boyama şiddetinde hazırlanan boyama banyosunda ultrasonik enerji kullanılarak değişik sıcaklıklarda boyanan örnekler için reflektansın dalga boyu-K/S ilişkisi	110
Şekil 5.21. 1/100 flotte ve %2 boyama şiddetinde hazırlanan boyama banyosunda ultrasonik enerji kullanılarak değişik sıcaklıklarda boyanan örnekler için reflektansın dalga boyu-K/S ilişkisi	111
Şekil 5.22. 1/20 Flotte ve farklı boyama şiddetlerinde değişen sıcaklıklarda boyanan örnekler için sıcaklık-renk şiddeti ilişkisi.....	111
Şekil 5.23. 1/50 Flotte ve farklı boyama şiddetlerinde değişen sıcaklıklarda boyanan örnekler için sıcaklık-renk şiddeti ilişkisi.....	112
Şekil 5.24. 1/100 Flotte ve farklı boyama şiddetlerinde değişen sıcaklıklarda boyanan örnekler için sıcaklık-renk şiddeti ilişkisi.....	113
Şekil 5.25. 1/20 flotte ve %0.5 boyama şiddetinde %1 taşıyıcı ilavesiyle hazırlanan boyama banyosunda ultrasonik enerji kullanılarak değişik sıcaklıklarda boyanan örnekler için reflektansın dalga boyu-K/S ilişkisi.....	120
Şekil 5.26. 1/20 flotte ve %1 boyama şiddetinde %1 taşıyıcı ilavesiyle hazırlanan boyama banyosunda ultrasonik enerji kullanılarak değişik sıcaklıklarda boyanan örnekler için reflektansın dalga boyu-K/S ilişkisi.....	120

Şekil 5.27. 1/20 flotte ve %2 boyama şiddetinde %1 taşıyıcı ilavesiyle hazırlanan boyama banyosunda ultrasonik enerji kullanılarak değişik sıcaklıklarda boyanan örnekler için reflektansın dalga boyu-K/S ilişkisi.....	121
Şekil 5.28. 1/50 flotte ve %0.5 boyama şiddetinde %1 taşıyıcı ilavesiyle hazırlanan boyama banyosunda ultrasonik enerji kullanılarak değişik sıcaklıklarda boyanan örnekler için reflektansın dalga boyu-K/S ilişkisi.....	121
Şekil 5.29. 1/50 flotte ve %1 boyama şiddetinde %1 taşıyıcı ilavesiyle hazırlanan boyama banyosunda ultrasonik enerji kullanılarak değişik sıcaklıklarda boyanan örnekler için reflektansın dalga boyu-K/S ilişkisi.....	122
Şekil 5.30. 1/50 flotte ve %2 boyama şiddetinde %1 taşıyıcı ilavesiyle hazırlanan boyama banyosunda ultrasonik enerji kullanılarak değişik sıcaklıklarda boyanan örnekler için reflektansın dalga boyu-K/S ilişkisi.....	122
Şekil 5.31. 1/100 flotte ve %0.5 boyama şiddetinde %1 taşıyıcı ilavesiyle hazırlanan boyama banyosunda ultrasonik enerji kullanılarak değişik sıcaklıklarda boyanan örnekler için reflektansın dalga boyu-K/S ilişkisi.....	123
Şekil 5.32. 1/100 flotte ve %1 boyama şiddetinde %1 taşıyıcı ilavesiyle hazırlanan boyama banyosunda ultrasonik enerji kullanılarak değişik sıcaklıklarda boyanan örnekler için reflektansın dalga boyu-K/S ilişkisi.....	123
Şekil 5.33. 1/100 flotte ve %2 boyama şiddetinde %1 taşıyıcı ilavesiyle hazırlanan boyama banyosunda ultrasonik enerji kullanılarak değişik sıcaklıklarda boyanan örnekler için reflektansın dalga boyu-K/S ilişkisi.....	124
Şekil 5.34. 1/20 flotte ve farklı boyama şiddetinde %1 taşıyıcı içeren boyama banyosunda değişen sıcaklıklarda boyanan örnekler için sıcaklık-K/S ilişkisi	124

Şekil 5.35. 1/50 flotte ve farklı boyama şiddetinde %1 taşıyıcı içeren boyama banyosunda değişen sıcaklıklarda boyanan örnekler için sıcaklık-K/S ilişkisi	125
Şekil 5.36. 1/100 flotte ve farklı boyama şiddetinde %1 taşıyıcı içeren boyama banyosunda değişen sıcaklıklarda boyanan örnekler için sıcaklık-K/S ilişkisi	126
Şekil 5.37. Zamana bağlı olarak yapılan boyama denemelerinin sonuçları	133
Şekil 5.38. Mikrodalganın çeşitli seviyeleri için zamana bağlı sıcaklık değişimi...	134
Şekil 5.39. Mikrodalga enerji yardımıyla boyanan örnekler için $t^{1/2}$,ye karşı $(K/S)_t$ değerleri	135
Şekil 5.40. Ultrasonik enerji yardımıyla (taşıyıcı kullanmadan) boyanan örnekler için $t^{1/2}$,ye karşı $(K/S)_t$ değerleri	136
Şekil 5.41. Ultrasonik enerji yardımıyla (taşıyıcı kullanarak) boyanan örnekler için $t^{1/2}$,ye karşı $(K/S)_t$ değerleri.....	136
Şekil 5.42. Boyanmamış örneğin SEM görüntüsü	139
Şekil 5.43. Mikrodalga enerjisi kullanılarak boyanan örneğin SEM görüntüsü	139
Şekil 5.44. Ultrasonik enerji yardımıyla (taşıyıcı kullanmadan) boyanan örneğin SEM görüntüsü	139
Şekil 5.45. Ultrasonik enerji yardımıyla (taşıyıcı kullanarak) boyanan örneğin SEM görüntüsü.....	140

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1.	Polipropilen elyafın kütle boyama yöntemi ile boyanmasında kullanılan pigmentler	4
Tablo 2.1.	Ziegler-Natta ve metallocene katalizörleriyle elde edilen izotaktik polipropilenin özellikleri	21
Tablo 2.2.	Çeşitli elyaf türlerinin yoğunlukları	35
Tablo 2.3.	Bazı önemli elyafların termal iletkenlik değerleri	36
Tablo 2.4.	Polipropilenin elektriksel özellikleri	36
Tablo 2.5.	Bazı elyaflar için kuru ve yaş sağlamlık değerleri	38
Tablo 2.6.	Çeşitli elyaflar için elastik modülü değerleri	38
Tablo 2.7.	21 °C ve %65 bağıl nemde bazı elyaflar için yüzde nem kazanım değerleri	40
Tablo 3.1.	Işık absorpsiyonu ve renk	43
Tablo 3.2.	M _∞ değerinin hesaplanmasında kullanılan katsayılar	49
Tablo 3.3.	Elyaf cinsine göre kullanılacak boyarmaddeler	58
Tablo 3.4.	Bazı maddelerin 20 °C'deki dielektrik sabitleri	66
Tablo 4.1.	Boyarmaddenin özellikleri.....	77
Tablo 4.2.	Mikrodalga fırının değişik seviyeleri için güç değerleri.....	79
Tablo 4.3.	Mikrodalga enerjisi ile boyanan örneklerin numaralandırılması.....	79
Tablo 4.4.	Ultrasonik enerji ile (taşıyıcı kullanmadan) boyanan örneklerin numaralandırılması	81
Tablo 4.5.	Ultrasonik enerjisi ile (taşıyıcı kullanarak) boyanan örneklerin numaralandırılması	82
Tablo 4.6.	Değişik yöntemlerle farklı sürelerde boyanan örneklerin numaraları	83
Tablo 5.1.	Mikrodalganın L seviyesinde (195.5 W) boyanan örnekler için K/S değerleri	88

Tablo 5.2.	Mikrodalganın M-L seviyesinde (460 W) boyanan örnekler için K/S değerleri	89
Tablo 5.3.	Mikrodalganın M seviyesinde (759 W) boyanan örnekler için K/S değerleri	90
Tablo 5.4.	Mikrodalganın M-H seviyesinde (977.5 W) boyanan örnekler için K/S değerleri	91
Tablo 5.5.	Mikrodalganın H seviyesinde (1150 W) boyanan örnekler için K/S değerleri	92
Tablo 5.6.	Mikrodalganın L (195.5 W) seviyesinde boyanan örnekler için CIELab değerleri.....	100
Tablo 5.7.	Mikrodalganın M-L (460 W) seviyesinde boyanan örnekler için CIELab değerleri.....	100
Tablo 5.8.	Mikrodalganın M (759 W) seviyesinde boyanan örnekler için CIELab değerleri.....	100
Tablo 5.9.	Mikrodalganın M-H (977.5 W) seviyesinde boyanan örnekler için CIELab değerleri.....	101
Tablo 5.10.	Mikrodalganın H (1150 W) seviyesinde boyanan örnekler için CIELab değerleri.....	101
Tablo 5.11.	Ultrasonik enerji kullanarak 20 °C sıcaklıkta boyanan örnekler için K/S değerleri	103
Tablo 5.12.	Ultrasonik enerji kullanarak 40 °C sıcaklıkta boyanan örnekler için K/S değerleri	104
Tablo 5.13.	Ultrasonik enerji kullanarak 60 °C sıcaklıkta boyanan örnekler için K/S değerleri	105
Tablo 5.14.	Ultrasonik enerji kullanarak 80 °C sıcaklıkta boyanan örnekler için K/S değerleri	106
Tablo 5.15.	20 °C sıcaklıkta boyanan örnekler için CIELab değerleri	114
Tablo 5.16.	40 °C sıcaklıkta boyanan örnekler için CIELab değerleri	114
Tablo 5.17.	60 °C sıcaklıkta boyanan örnekler için CIELab değerleri	114
Tablo 5.18.	80 °C sıcaklıkta boyanan örnekler için CIELab değerleri	115
Tablo 5.19.	%1 taşıyıcı içeren boyama banyolarında ultrasonik enerji kullanılarak 20 °C sıcaklıkta boyanan örnekler için K/S değerleri.....	116

Tablo 5.20. %1 taşıyıcı içeren boyama banyolarında ultrasonik enerji kullanılarak 40 °C sıcaklıkta boyanan örnekler için K/S değerleri.....	117
Tablo 5.21. %1 taşıyıcı içeren boyama banyolarında ultrasonik enerji kullanılarak 60 °C sıcaklıkta boyanan örnekler için K/S değerleri.....	118
Tablo 5.22. %1 taşıyıcı içeren boyama banyolarında ultrasonik enerji kullanılarak 80 °C sıcaklıkta boyanan örnekler için K/S değerleri.....	119
Tablo 5.23. %1 taşıyıcı içeren boyama banyolarında ultrasonik enerji yardımıyla 20 °C sıcaklıkta boyanan örnekler için CIELab değerleri	127
Tablo 5.24. %1 taşıyıcı içeren boyama banyolarında ultrasonik enerji yardımıyla 40 °C sıcaklıkta boyanan örnekler için CIELab değerleri	127
Tablo 5.25. %1 taşıyıcı içeren boyama banyolarında ultrasonik enerji yardımıyla 60 °C sıcaklıkta boyanan örnekler için CIELab değerleri	127
Tablo 5.26. %1 taşıyıcı içeren boyama banyolarında ultrasonik enerji yardımıyla 80 °C sıcaklıkta boyanan örnekler için CIELab değerleri	128
Tablo 5.27. Mikrodalga enerjisi kullanılarak farklı sürelerde boyanan örneklerin K/S değerleri.....	129
Tablo 5.28. Ultrasonik enerji kullanılarak farklı sürelerde boyanan örneklerin K/S değerleri	130
Tablo 5.29. Taşıyıcı kullanılarak hazırlanan boyama banyolarında ultrasonik enerjisi kullanılarak farklı sürelerde boyanan örneklerin K/S değerleri	131
Tablo 5.30. Mikrodalganın çeşitli seviyelerinde zamana bağlı sıcaklık değerleri	134
Tablo 5.31. Örnekler için hesaplanan $(K/S)_{\infty}$ değerleri ve hesaplamada kullanılan katsayılar	137
Tablo 5.32. Mikrodalga enerjisi ve ultrasonik enerji yardımıyla (taşıyıcı kullanarak ve kullanmadan) yapılan boyamalar için hesaplanan difüzyon katsayıları.....	137
Tablo 5.33. Örneklerin yıkama haslıkları.....	138

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Polipropilen Elyaf, Boyanabilirlik, Ultrasonik enerji, Mikrodalga enerjisi

Polipropilen elyaf; düşük yoğunluk, iyi mekanik özellikler, kimyasallara karşı yüksek dayanım ve düşük maliyet gibi üstün özellikleri olan bir elyaf türü olmasına rağmen, boyanmasında karşılaşılan sorunlar kullanım alanını sınırlandırmaktadır.

Günümüzde halat, çuval yapımında ve halı ipliği olarak sıkça kullanılan polipropilen elyaf kütle boyama olarak isimlendirilen bir teknikle renklendirilmektedir. Ancak bu yöntemle renklendirilen elyafın yinelenebilirliğinin az oluşu ve farklı kalınlıklarda lif çekildiğinde renk değişmesi gibi olumsuzluklar yöntemin yetersizlikleridir. Ayrıca, bu şekilde iplik haline gelmeden önce boyanabilen polipropilen elyaf iplik haline dönüştükten sonra boyanamamaktadır.

Kütle boyama yönteminin olumsuzluklarını iyileştirecek yöntem arayışları uzun zamandır mevcuttur. Literatüre bakıldığında bu amaçla yapılan çalışmalar; blend elyaf elde etme, fiziksel ve kimyasal modifikasyon, yüzeye plazma uygulaması gibi gruplarda toplanabilir. Esasında tüm çalışmaların ortak amacı polimer ile boya molekülleri ile güçlü bir etkileşim kurmaktır. Boyanabilirlik çalışmalarında en fazla denenen yöntem blend hazırlamaktır.

Bu çalışmada, polipropilen elyafın boyanabilirliği farklı boyama banyosu koşullarında, mikrodalga ve ultrasonik enerji kullanılarak incelenmiştir. Bu amaçla üç farklı flote (1/20, 1/50 ve 1/100) ve üç farklı boyama şiddetinde (%0.5, %1 ve %2) hazırlanan boyama banyolarında dispers boyarmadde kullanılarak denemeler yapıldıktan sonra, en iyi boyama banyosu koşulları ve en iyi boyama süresi belirlenmiştir. Tüm denemeler için boyanabilirlik, renk şiddeti (K/S) değerleri ile yorumlanmıştır. Boyamanın kinetik açıdan değerlendirilmesi her bir yöntem için en iyi boyama koşullarında difüzyon katsayılarının hesaplanması ile gerçekleştirilmiştir. Ayrıca boyanan örneklerin yüzey görüntüleri SEM kullanılarak incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda hem mikrodalga hem de ultrasonik enerji kullanımının polipropilen elyafın boyanabilirliğini geliştirdiği ve boyama sürelerini kısalttığı sonucuna varılmıştır.

INVESTIGATION OF DYEABILITY OF POLYPROPYLENE FIBERS

SUMMARY

Keywords: Polypropylene fiber, Dyeability, Ultrasonic energy, Microwave energy

Polypropylene fiber is distinguished from other fibers with its well properties such as low density, good mechanical properties, good resistance to chemicals and low cost. However difficulties in dyeing restrict its area of usage.

Polypropylene fiber is used mostly in rope, sackcloth and carpet production and colored by a technique called masterbatching. In this technique it is difficult to obtain same color in different batches. Additionally this technique is suitable only in large scale manufacturing and does not allow changing or adjusting the color after production.

There have been a number of studies in order to develop a new technique for polypropylene fibers dyeing. The studies in the literature can be categorized as blending with other polymers, physical and chemical modification and surface plasma treatment. The main purpose of all studies can be summarized as to interact polymer and dye molecules. Of the all studies blending is the most studied method.

In this study, dyeability of polypropylene fiber is investigated in different dye baths by using microwave and ultrasonic energy. By this purpose dyeing experiments have been done in different dye baths (three different liquors to good ratio: 1/20, 1/50 and 1/100 and three different dyestuff concentration: %0.5, %1 and %2 owf) and optimum dye bath conditions were obtained. Dyeability of fibers was determined by using color strength values (K/S). In order to examine the kinetics of dyeing, diffusion coefficients in all methods were calculated. Besides, surfaces of samples were examined by SEM. By the light of obtained information with this study, it can be concluded that microwave and ultrasonic energy can be used for dyeable polypropylene fibers.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Polipropilen elyaf pek çok özelliği ile diğer elyaf türleri arasında fark edilmektedir. Bu özelliklerin başında düşük yoğunluğu ve düşük maliyeti gelmektedir. Aynı zamanda kimyasallara karşı dayanımı yüksektir, mekanik özellikleri iyi seviyededir, işlenebilirliği kolaydır, termal iletkenliğinin düşük olması ile yalıtım uygulamalarında kullanılabilir, toksik ve kanserojen değildir, mikroorganizmalara karşı dayanımı yüksek olduğundan anti bakteriyel uygulamalarda kullanılabilir, jeotekstil uygulamalarında en önemli hammaddedir. Mono ve multifilament, kesikli elyaf, dokusuz yüzey ve film yarma tekniğiyle hazırlanan şerit ve elyaf olarak üretilebilen polipropilen başlıca halı ipliği, çuval, döşemelik kumaş, hijyen ürünleri, dar dokumalar, jeotekstil ürünleri ve otomotiv endüstrisinde kullanılmaktadır.

İlk defa 1959 yılında İtalyan Montecatini Co. tarafından ticari olarak üretimi yapılan PP elyafın günümüzde dünya çapındaki en büyük üreticisi Çin'dir. Ülkemizde ise PP elyafın en büyük üreticileri Gaziantep bölgesinde bulunmaktadır. Dünya'da 2006 yılında 4 milyon 500 bin ton olan PP elyaf tüketiminin 2010 yılında %13.3 artışla 5 milyon 100 bin ton olması beklenirken, ülkemiz için 2006 yılında 203 bin ton olan tüketimin 2010 yılında % 41.9 artışla 288 bin ton olması beklenmektedir [1].

Polipropilen elyafın üretim ve tüketiminin bu şekilde hızla artmasındaki temel sebep düşük maliyeti olmakla birlikte, hammaddesinin kolay bulunması, teknolojik gelişmelere cevap vermesi ve kolay işlenebilirliği de artışın sebepleri arasındadır. Son yıllarda dokusuz yüzey alanında da kullanımı giderek artan PP elyaf özellikle kullan-at ürünlerinin birincil hammaddesi durumundadır. Bunun yanı sıra agrotekstil ve jeotekstil alanlarında, örneğin inşaat, yol ve baraj yapımı, havuz ve kanal yapımı, spor alanları altyapısı gibi teknik tekstil uygulamalarında çok etkin bir şekilde kullanılmaktadır [2].

Tüm bu avantajlarının yanında PP elyafın düşük termal kararlılığı, düşük UV dayanımı ve boyanması ile ilgili zorluklar bu elyaf türünün başlıca dezavantajları olarak belirtilebilir. Termal kararlılığı ve UV dayanımı katkı maddeleri ile giderilebilir. Boyanabilirlik konusunda ise günümüzde ticari olarak en fazla uygulanan yöntem kütle boyama ya da masterbatching olarak bilinen tekniğin kullanılmasıdır. Bu yöntemde boya pigmentleri polimer eriyik haldeyken katılır ve lif çekilip soğutulduğunda boya pigmentleri polimerin kristal bölgeleri arasına hapsoldüğünden elyaf renklendirilmiş olur. Ancak yöntemin tekrarlanabilirliğinin az oluşu, yalnızca büyük ölçekli üretim için uygun oluşu, özel renk tonları elde edilemeyişi ve renk değiştirilmesine imkan vermeyişi bu yöntemin yetersizlikleridir. Geçmişten günümüze PP elyafın boyanabilirliğinin geliştirilmesi yönünde yapılmış pek çok çalışma bulunmaktadır ve halen devam etmektedir. Ancak, ticari olarak uygulanabilecek bir yöntem halen bulunmuş değildir.

1.1. Yapılan Çalışmalara Bakış

PP elyafın boyanmasında karşılaşılan temel sorun, polimerin hidrofobik yapısı, yüksek kristalliği, stereodüzenli hali ve apolar yapısıdır.

İlk kez ticari üretimin ardından 1960'larda polipropilen elyafın renklendirilmesi temel olarak üç sınıfa ayrılabilir yöntemlerle yapılmıyordu [3].

1. Nikel bileşikleri ile modifiye edilmiş polipropilenin metal içeren dispers boyarmaddeler ile boyanması
2. Azot içeren polimerler ile modifiye edilmiş polipropilenin asit boyarmaddeler ile boyanması
3. İplik çekiminden önce polipropilenin kütle boyama denilen yöntem ile renklendirilmesi

İlk yöntem nikel atomları ile şelat oluşturabilecek özel dispers boyarmaddeler gerektiriyordu. Bu yöntemde polipropilene eriyik halde %0.5-2 oranında eklenen organometalik bileşikler hem polimerin boyanabilirliğinin geliştirilmesinde hem de polimerin ışığa karşı dayanımının artırılmasında önemli rol oynuyorlardı.

İkinci yöntem polimere bazik azot atomları katacak polimerin bulunmasının zorluğu ve ekonomik olmayışı sebebiyle ticari olarak kullanımı uygun olmayan bir yöntemdir. Bazik polimerik katkı maddelerinin eklenmesi, polimerin iplik çekim esnasında kırılması, düşük boyarmadde çekimi, yalnızca açık tonlarda boyama yapılabilmesi ve elyaf üzerine çekilen boyarmaddenin çoğunun boyama sonrası yıkama işlemlerinde çıkması gibi sorunları beraberinde getiriyordu.

Günümüzde de polipropilenin renklendirilmesinde en fazla kullanılan yöntem olan kütle boyama tekniği ile renklendirilen materyaller ise renk yinelenebilirliğinin az oluşu, diğer elyaf türleri ile karışımın sınırlı olması ve baskılı ürün olarak kullanılmayışı sebebiyle tekstil ürünü olarak kullanımı sınırlanmış ürünlerdir [3].

Polipropilenin boyanabilirliği çalışmaları konusunda günümüzde de halen devam eden çalışmalar genel olarak şu şekilde sınıflandırılabilir [4, 5]:

1. Kütle boyama
2. Fiziksel modifikasyon
3. Kimyasal modifikasyon
4. Modifiye edilmemiş elyafın boyanması üzerine yapılan çalışmalar
5. Diğer çalışmalar

Kütle boyama tekniğinde iplik çekiminden önce, ekstrüzyon aşamasında polimere pigmentler ilave edilir. İplik çekimi ile birlikte polimerin kristalin bölgeleri arasında hapsolan pigmentler ürünün renkli görünmesini sağlar [5].

Her ne kadar bazı anorganik pigmentler kütle boyama tekniğinde kullanılsa da bu yöntemde genellikle organik pigmentler tercih edilir. Titanyum dioksit ve karbon siyahı pigmentlerinin yanı sıra kütle boyama tekniğinde kullanılan organik pigmentler haslık gereksinimleri, elyafa uygulanma ve polimer işleme sıcaklığı kriterlerine bağlı olarak Tablo 1.1’de gösterildiği gibi üç gruba ayrılabilir [4].

Kütle boyama yönteminde kullanılan bu pigmentler taşıyıcı içerisinde dispers olmuş durumda, toz halde veya granül olarak piyasada mevcuttur ve “masterbatch” olarak

bilinirler. Organik pigmentlerde masterbatch içindeki pigment oranı %20-40 arasında değişirken, anorganik pigmentlerde ise bu oran yaklaşık %50'dir. Kütle boyama tekniği için pigment seçiminde etkili olan faktörler, ısıl dayanıklılık, dispers olabilirlik, haslık değerleri (özellikle ışık haslığı) ve polimer eriyiğinde çözünebilirliktir [4].

Tablo 1.1. Polipropilen elyafın kütle boyama yöntemi ile boyanmasında kullanılan pigmentler [4]

Grup I	Pigment Sarı 17	Grup II	Pigment Sarı 93	Grup III	Pigment Kırmızı 101
	Pigment Sarı 83		Pigment Sarı 110		Pigment Sarı 37
	Pigment Kırmızı 48:3		Pigment Kırmızı 144		Pigment Sarı 34
	Pigment Kırmızı 48:2		Pigment Kırmızı 149		
	Pigment Kırmızı 57:1				
	Pigment Mavi 15:3				
	Pigment Yeşil 7				

Pigmentin hangi gruptan seçilmesi gerektiğine karar verirken kullanılan en önemli kriter iplik çekim sıcaklığıdır. Ayrıca, ürünün kullanım yerine bağlı olarak haslık değerleri de göz önünde bulundurulur. Sıcaklığın düşmesiyle beraber pigment seçimi daha genişler. II. gruptaki pigmentler 285 °C gibi yüksek işlem sıcaklıklarında ve iyi haslık değerleri gerekli olduğunda tercih edilirler. Bu gruptaki pigmentler BCF halı iplikleri ve döşemelik kumaş üretimi için daha fazla tercih edilirler. I.gruptaki pigmentler ise düşük işlem sıcaklıklarında kullanılırlar. Örneğin kesikli elyaf ve dar dokumaların renklendirilmesinde bu gruptaki pigmentler kullanılır [4].

Pigment mümkün olduğunca kolay dispers olabilmelidir. İyi dispers olabilme, kısa sürede maksimum renk verimini mümkün kılar. Rengin ışık haslığı pigmentin yalnızca kimyasal yapısına bağlı değildir. Aynı zamanda ısıl kararlılığına ve polimer eriyiğindeki çözünürlüğüne de bağlıdır. Daha yüksek sıcaklık pigmentin daha fazla çözünmesi demektir ki bu da renk verimini artırır [4].

Pigment ile renklendirme metodu, yalnızca büyük ölçekli üretimde kullanılabilir olması, renk kromotogramındaki değişiklikler için esnek olmaması ve iplik çekiminden sonra rengin ayarlanmasına veya değiştirilmesine imkan tanıması yüzünden sınırlılıklara sahiptir. Ticari olarak başarılı sayılabilmek için, boyanabilir

elyafın uygun bir maliyetle üretilmesi ve orijinal özelliklerini değiştirmeden iyi boyama ve renk haslığı sağlanabilmesi önem taşmaktadır [5].

Fiziksel modifikasyonda, polipropilene boyanabilirlik kazandırmak için yapılan fiziksel modifikasyonlar blend hazırlama çalışmaları ve metallerle etkileşim şeklinde ele alınabilir [4].

Blend hazırlama işlemi polipropilene ekstrüzyon aşamasında başka polimerlerin, kopolimerlerin ve dendritik (hiper dallanmış) polimerlerin ilavesi ve eriyik halde karıştırılması ile yapılabilir. Blend hazırlama işleminde ilave edilecek diğer bileşenin polimer ile uyumlu olmaması durumunda bir uyumlulaştırıcı kullanımı gerekebilir. Blend hazırlama yöntemi ile polipropilenin boyanabilirliği geliştirilebilse de polimerin mekanik özelliklerinde değişiklik söz konusu olur. Bu bakımdan blend edilecek diğer bileşenin ne olduğu ve oranının ne olması gerektiği önemli parametrelerdir.

Polipropilene az miktarda polyester ve polistirenin eriyik halde karıştırılması polipropilenin kristalliğini önemli ölçüde değiştirir. %5 polistiren ilavesi kristallik derecesini %50'ye kadar düşürür. Kristalliğin düşmesi ise boyanabilirliğin gelişmesi demektir [6].

Teli ve arkadaşları [7], polipropilenin polibütilen teraftalat, polietilen teraftalat ve polistiren ile eriyik halde karıştırılmasıyla elde edilen blend sistemlerinin dispers ve asidik boyarmaddeler ile yüksek sıcaklık ve basınç koşullarında boyanabilmesi amacıyla yaptıkları çalışmanın sonucunda, polibütilen teraftalat ve polistiren içeren blend sistemlerinin dispers boyarmaddeler ile boyanabildiğini, polietilen teraftalat içeren sistemin ise hem dispers hem de asidik boyarmaddeler ile boyanabildiğini ifade etmişlerdir. Blend elde etmekte kullanılan diğer polimerin oranının artmasıyla boyama verimi artmaktadır. Optimum oranı ise blend elyafların sağlamlık ve termal kararlılık değerlerine göre polibütilen teraftalat için %15, polietilen teraftalat için %10 ve polistiren için %7.5 olarak bulmuşlardır. Araştırmacılar aynı zamanda boyanmış numunelerin iyi yıkama haslığı değerlerine sahip olduğunu da belirlemişlerdir.

Yu ve arkadaşları [8], yaptıkları çalışmada polipropilene ekstrüzyondan önce değişen oranlarda polistiren ilavesi ile elde edilen blend sisteminin polipropilenin boyanabilirliği üzerindeki etkisini incelemek maksadıyla dispers boyarmaddeler (Disperse Red 60 ve Disperse Yellow 23) kullanarak, 1/20 flotte oranında, 100 °C sıcaklıkta 600 dakika süren boyama denemeleri gerçekleştirmişlerdir. Boyanan örneklerin üzerindeki boya miktarı örneklerin dimetil formamid ile 110 °C'de ekstrakte edilmesi ve bu çözeltinin spektroskopik olarak incelenmesi ile elde edilmiştir. Araştırmacıların sonuçlarına göre polistirenin %2 ile %8 oranında ilave edilmesi ile kabul edilebilir mekanik özelliklere ulaşılmıştır. Polistirenin %6 oranında katılması ile elde edilen blend sistemi ise boyama için optimum olarak belirtilmiştir.

Polipropilen/poliester (poli(etilen teraftalat) ve poli(bütlen teraftalat)) blendinin boyanabilirliğinin kinetik açıdan incelenmesi Ujhelyiova ve arkadaşları [9] tarafından yapılmıştır. Araştırmacılar blend sisteminin boyanabilirliğinin boyama sıcaklığı ve zamanla doğru orantılı olduğunu, difüzyon katsayılarının artan sıcaklıkla arttığını ve blend sisteminin C.I.Disperse Blue 56 ile yapılan çalışmada en yüksek aktivasyon enerjisine sahip olduğunu ortaya koymuşlardır.

Akrman ve Prikryl [10] polipropilen elyafa boyanabilirlik kazandırabilmek maksadıyla yaptıkları çalışmada, polimere ekstrüzyondan önce uzun alkil zincirleri ucuna azot bağlı bulunan bir katkı maddesi eklemiştir. Asit boyarmaddeler (Acid Orange 7, Acid Yellow 11, Acid Yellow 23) ile çeşitli oranlarda modifiye edilmiş polipropilen elyafı çeşitli sıcaklıklar ve sürelerde, %2 boyama şiddetinde yapılan boyama denemelerinin sonucu spektrofotometrik olarak ve ayrıca boyanmış numunelerin K/S değerleri okunarak değerlendirilmiştir. Araştırmacılar çalışmalarında aynı zamanda boyamayı termodinamik ve kinetik açıdan incelemiştir. Sonuçlarına göre polimere ilave edilen katkı maddesi polimerin camsı geçiş sıcaklığında düşüşe sebebiyet vermiş ve katkı maddesine bağlı bulunan azot polimerin asit boyarmaddeler ile boyanabilirliğinin gelişmesini sağlamıştır.

Akrman ve Prikryl [11] yaptıkları bir diğer çalışmada asit boyarmaddeler ile boyanabilirliğini inceledikleri modifiye edilmiş polipropilen için boyarmadde

moleküllerinin kütle transferinin bir iyon değişimi mekanizması ile gerçekleştiğini belirtmişler ve boyarmaddenin elyafa nüfuz etmesinde önemli olan gereksinimleri şu şekilde sıralamışlardır: ilk olarak katkı maddesinin boyarmadde ile etkileşime girecek ucu oldukça bazik olmalıdır, boyama banyosunun pH ve sıcaklığı optimum düzeyde olmalıdır ve boyama banyosu elyaf üzerine modifiye edilmiş boyarmaddeye afinite duyan kısmı aktive edecek yardımcı kimyasallar içermelidir.

Aynı araştırmacılar başka bir çalışmalarında [12] aynı şekilde modifiye edilmiş polipropilenin boyanabilirliğinin iplik çekme oranı ile ilgisini incelemişlerdir. Bu amaçla farklı oranlarda çekim yapılan elyafın yapısal değişiklikleri geniş açı X ışını kırılımı, dar açı X ışını saçılımı, karanlık bölge ve optik mikroskoplar, taramalı elektron mikroskobu, yoğunluk, kırma indisi ve mukavemet testleri ile incelenmiştir. Sonuçlara göre 1.5'e kadar olan düşük çekim oranlarında polimerin orijinal yapısında değişiklikler meydana gelip kristalin bölgeler deformasyonu kontrol etmekte iken çekim oranının 1.5 ile 2.9 arasında olması durumunda polimerin yapısında makro boşluklar oluşmakta ve elyaf eksenine boyunca bu boşluklar yer almaktadır. Bu makro boşluklar elyaf yapısının küresel şeklini bozarak mikrofibrillerin oluşumuna sebebiyet vermekte ve boyanabilirlik artmaktadır. Çekim oranının 2.9'un üzerinde olması durumunda ise plastik deformasyon meydana gelmekte ve boyanabilirlik azalmaktadır.

Kotek ve arkadaşları [13] polipropilenin ekstrüzyondan önce çeşitli oranlarda (kütlece %20'ye kadar) naylon 6 ile blend hazırlanmasıyla (uyumlulaştırıcı olarak PP-g-MAH kullanarak) elde edilen blend elyafın dispers boyarmaddeler ile boyanabilirliği üzerine bir çalışma yapmışlar ve sonuçta blend elyafın dispers boyarmaddeler ile boyanabildiğini belirtmişlerdir.

Son ve arkadaşları [14] polipropilene ekstrüzyondan önce değişik oranlarda (kütlece %1, 3, 5, 7, 9) poli(etilen-ko-vinil asetat) (EVA) (vinil asetat oranı kütlece %28 ve %33 olan) ilave edilmesiyle hazırlanan blend elyafın dispers boyarmaddeler ile (Disperse Red 60 ve Disperse Blue 165, Disperse Yellow 42) boyanması üzerine bir çalışma yapmışlardır. 1/50 flotte oranında %1 boyama şiddetinde değişik sıcaklık ve sürelerde yapılan boyama denemelerinin ardından boyanan örneklerin piridin

içerisinde ekstraksiyonu ile kumaşların üzerindeki boyarmadde miktarını spektroskopik olarak belirlemişlerdir. Sonuçlarına göre %28 oranında vinil asetat içeren kopolimer ile hazırlanan blendler %33 oranında vinil asetat içeren kopolimer ile hazırlanan blendlere göre daha fazla boyanabilir bulunmuştur. Ayrıca blend hazırlamakta kullanılan EVA kopolimerinin miktarının artmasıyla elde edilen boyanmış numunelerin ışık haslıklarında da gelişme sağlandığı bildirilmiştir.

Akrman ve arkadaşları [15] polipropilenin stiren maleik anhidrit kopolimeri (%5 oranında) ile blend hazırlanması durumunda boyanabilirliği üzerinde çalışmışlardır. Bu amaçla eriyik halde karıştırma ile elde edilen blend elyaftan kumaşlar örülmüştür. Flotte oranı 1/30 olan ve %2 boyama şiddetindeki boya banyosunda asit boyarmaddeler ile yapılan boyama denemelerinin ardından ürün önce su ile durulanmış, sonra sabunlu su ile yıkandıktan sonra tekrar musluk suyu ile durularak kurutulmuştur. Boyama verimliliği boyarmadde banyosunun boyama başlangıcında ve sonunda spektroskopik analizi ile gerçekleştirilmiştir. Boyanan kumaşlara ışık, yıkama, sürtme ve kuru temizleme haslıkları testleri uygulanmıştır. Araştırmacılar ayrıca elde edilen blend elyafı yün ile %50-%50 karıştırarak hazırlanan kumaşların da boyanması için boyama denemeleri yapmışlardır. Araştırmacıların sonuçlarına göre polipropilenin bu şekilde stiren maleik anhidrit kopolimeri ile blendi şeklinde hazırlanan ürün asit boyarmaddeler ile boyanabilmiş, iyi haslık değerleri elde edilmiştir. Ayrıca bu ürünün yün ile karışımının da boyanması tek bir banyoda gerçekleştirilebilmiştir.

Huang ve arkadaşları [16] polipropilenin poli(stiren ko-akrilik asit), poli(stiren ko-sodyum akrilat) ve poli(stiren ko-bütül akrilat) ile blendlerinin dispers boyarmaddeler ile boyanabilirliğini araştırmışlardır. Değişen oranlarda kopolimer polistiren içeren blendler ile 1/100 flotte oranında, 100 °C sıcaklıkta ve 120 dakika süre ile gerçekleştirilen boyama çalışmaları sonucunda elde edilen numunelerin renk verimlilikleri CIELab değerlerine göre yorumlanmıştır. Sonuçlara göre poli(stiren ko-sodyum akrilat) ile hazırlanan blendin yansıma değerleri polipropilene göre %30 daha düşüktür. Aynı zamanda numunelerin haslık değerleri de iyi seviyededir. Ancak araştırmacılar blend sisteminin mekanik özellikleri konusunda bilgi vermemişlerdir.

Seves ve arkadaşları [17] yaptıkları çalışmada polipropilen ile poliamid 6 polimerlerini uyumlulaştırıcı olarak polipropilen aşı maleik anhidrit kullanarak eriyik halde karıştırmışlar ve çekimini gerçekleştirerek bir blend elyaf hazırlamışlardır. Elde ettikleri blend sistemini DSC, SEM, DMTA analizleri ile karakterize etmişler aynı zamanda mekanik özelliklerini de incelemişlerdir. Sonuçlarına göre blend sistemi polipropilene göre daha düşük kristallenme oranına ve daha pürüzlü yüzeye sahiptir ancak mekanik özellikleri polipropilene göre daha düşüktür. Blend sisteminin boyanma çalışmalarında Disperse Red 13, Disperse Blue 3 boyarmaddeleri kullanılmış, boyama 40 °C'de başlayarak 98 °C'de 1 saat devam etmiştir. Boyanan örneklerin renk verimliliği spektroskopik teknik kullanılarak elde edilmiştir. Boyama deneylerinden elde edilen sonuçlara göre Disperse Red 1 boyarmaddesi ile yapılan boyama sonucunda ham polipropilene göre %13, Disperse Blue 3 boyarmaddesi ile yapılan boyama sonucunda ise %51'lik bir gelişme saptanmıştır. Boyanan örneklerin yıkama haslığı değerleri ise orta-iyi seviyede bulunmuştur.

Burkinshaw ve arkadaşları [18], polipropilene %3 oranında stearat ile modifiye edilmiş hiper dallanmış polimer ilavesinin polipropilenin fiziksel özellikleri üzerinde az etkisi olduğunu ve Disperse Blue 56 boyarmaddesi ile gerçekleştirilen boyama denemeleri sonucunda boyanabilirliğini geliştirdiğini belirtmişlerdir. Araştırmacıların sonuçlarına göre optimum boyama sıcaklığı 110 °C olarak ifade edilmiştir. Bu şekilde hiper dallanmış polimer ilavesi ile hazırlanan polipropilen elyafın yıkama haslığı testleri iyi sonuçlar verirken, ışık haslığı testlerinin sonucu zayıftır.

Çok değerlikli geçiş metallerinin şelat oluşturabilen organometalik bileşiklerinin bazı boyarmaddelerle etkileşimi konusunda da bazı çalışmalar mevcuttur. Nikel, alüminyum ve kobalt polipropilene eklendiğinde şelat oluşumuna sebep olacak mükemmel reaksiyon uçları vererek boyanabilirliğini geliştirebilirler. Mekanizma, boyanın adsorpsiyonunu ve difüzyonunu takiben metalin elyaf içerisinde şelat oluşumu şeklindedir ve boyarmadde-metal organokompleksi oluşur. Nikel ışığa karşı en iyi dayanım gösterdiği için en fazla tercih edilir. En uygun nikel bileşikleri polimer içerisinde kolaylıkla çözünebilen yüksek yağ asitlerinin tuzlarıdır.

Dolayısıyla, fenolit, fenosülfite ve fenosülfatlı bileşikler kullanılabilir. Nikel ile modifiye edilmiş elyafın boyanabilmesi için özel boyarmaddeler gerekir. Bu boyarmaddeler esas olarak modifiye elyafıta bulunan nikel ile tepkime verecek azot atomu içerirler. Diğer taraftan, Cr, Al ve Co ise oksijen içeren ligandlarla kolayca tepkime verebilir. Nikel ile modifiye edilmiş polipropilen elyaf dispers mordan boyarmaddeler ile boyanabilir. Bu şekilde boyanabilirliği geliştirilen elyafın iyi ışık, yıkama ve kuru temizleme haslıklarına da sahip olduğu söylenebilir. Ancak, boyama işleminin hassasiyeti, düzgün olmayan boyama riski ve özel boyarmaddelerin gereksinimi bu yöntemin yetersizliklerdir [4, 11].

Polipropilenin boyanabilirliğini geliştirmek için uygulanan kimyasal modifikasyonlar klorlama, bromlama ve kopolimerizasyon olarak belirtilebilir [4].

Polipropilen için kopolimerizasyon çalışmaları Ziegler-Natta katalizör sistemlerinin polar monomerlerin varlığında etkili olamaması sebebiyle zordur. Elde edilen ürün ise elyaf üretimi için uygun değildir. Aşı kopolimerizasyon ve kimyasal modifikasyon çalışmaları yinelenebilirliklerinin az oluşu ve maliyetinin yüksek olması sebebiyle ticari olarak uygulanamamaktadır. Yalnızca elektrik deşarjı ile kaplama ve baskı uygulamaları endüstrisinde kendine yer bulmuştur [11].

Plessier ve arkadaşları [19] akrilonitril monomerinin radyasyonla polipropilen üzerine aşılmasının radyasyon dozajı, monomer konsantrasyonu, sıcaklık ve çekim oranını ile değişimini incelemiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre radyasyon dozajının ve sıcaklığın artması ile aşılama oranı artmaktadır.

Gupta ve Plessier [20] akrilonitril aşılınmış polipropilenin nem çekiciliği ve boyanabilirliğini araştırmışlardır. %2 boyama şiddetine sahip, 1/500 flotte oranında hazırlanan boyama banyosunda 25 dakikadan 6 saate kadar değişik sürelerde 100 °C sıcaklıkta yapılan boyama denemeleri sonucunda aşılama oranının %7 olması durumunda en fazla boya alımının gerçekleştiği ve boyama veriminin sürenin artışıyla birlikte arttığı ve optimum boyama süresinin 2 saat olduğu belirtilmiştir. Modifiye edilmiş elyafın nem çekiciliği konusunda ise %11 aşılınmış polimerin nem çekiciliğinin %0.9'a kadar arttığı ifade edilmiştir.

Polipropilen kumaş ya da iplik halde pH'ı HCl ile 4.5'e ayarlanmış 10 g/L konsantrasyondaki sodyum hipoklorit ile oda sıcaklığında klorlanabilirken, bromlama işlemi ya bromun su içerisinde çözeltisi veya sıvı bromun değişik oranlardaki dimetil formamid veya su içerisindeki çözeltisinin kullanıldığı fotobrominasyon yöntemine göre uygulanır. Hem klorlama hem de bromlama polimerin mekanik özelliklerini değiştirerek nem alma özelliğini de geliştirirler. Bromlanmış veya klorlanmış polipropilen bazik ve katyonik boyarmaddeler ile boyanabilir. Tüm katyonik boyarmaddeler bu şekilde modifiye edilmiş polipropilen için iyi yıkama haslıkları gösterirler. Bununla birlikte, bazı boyarmaddeler düşük ışık haslığı değerlerine sahiptirler, bazıları orta seviyededir ve yalnızca metilen mavisi iyi seviyede ışık haslığına sahiptir. Metilen mavisi ile boyama elyafa aynı zamanda ışık koruyucu özellik de kazandırır. Modifikasyonda kullanılan reaktiflerin konsantrasyonları ve boya banyosunun pH'ı bu yöntemin kalitesi konusundaki önemli parametrelerdir. Bazik boyarmadde molekülünün modifiye edilmiş polipropilene kazandırılması tuz oluşumu ile gerçekleşmez. Agster'e göre alkali ortamda bazik boyarmaddeler modifiye edilmiş polipropilenin ana zincirindeki klor ve bromla reaksiyon verirler ve elyaf ile boyarmadde molekülü arasında kovalent bağ oluşur [4].

Tehrani ve arkadaşları [21] yaptıkları çalışmada $KClO_3$ ve H_2SO_4 karışımı ile okside ettikleri polipropilenin metal kompleks, bazik ve dispers boyarmaddeler ile boyanabilirliğinin geliştiğini belirtmişlerdir. Boyanmış örneklerin ışık haslığı değerleri zayıf-orta seviyede, yıkama ve sürtme haslıkları ise kabul edilebilir düzeydedir. Ancak polimerin mekanik özellikleri (gerilme mukavemeti ve dayanım) ise azalmıştır.

Modifiye edilmemiş polipropilenin boyanması üzerine yapılan çalışmalar yeni boyarmaddelerin sentezi ve polimerin yüzeyinin plazma işlemi ile kaplanması olarak ifade edilebilir.

Modifiye edilmemiş polipropilenin boyanması için azoik ve löko vat asit boyarmaddelerin kullanımı denenmiştir. Ancak azoik boyarmaddeler çevreye

verdikleri zararlar ve toksik sebepler nedeniyle uygulanamazlar. L ko vat asit boyarmaddeler ise filtrasyon sorunları sebebiyle düzgün olmayan boyamalara neden olurlar [4].

Yaman ve arkadaşları [22] polipropilen üzerine argon ile plazma uygulaması gerçekleştirdikten sonra 6-aminoheksanoik asit, akrilik asit, etilen diamin, akril amid ve heksametil disiloksan ile aşılama yaparak elde ettikleri polimerin yüzey morfolojisi, fiziksel ve kimyasal özellikleri ile asit ve bazik boyarmaddeler ile boyanabilirliğini araştırmışlardır. Araştırmacılar plazma uygulanmış numunelerin yüzey morfolojisi ile ilgili olarak plazma uygulanmamış olanlara göre daha p r z l  bir yüzey olduğunu dolayısıyla yüzey alanının arttığını belirtmişlerdir. Boyanmış numunelerin renk verimini Kubelka Munk eşitliğini kullanarak yorumlayan araştırmacılara göre plazma uygulaması polipropilenin asit ve bazik boyarmaddeler ile boyanmasını geliştirmek amacıyla kullanılabilir.

Kwon [23] polyester ve polipropilen için plazma uygulaması ile elyafların su ge irmezlikleri, kirlenmeleri ve boyanabilirliklerinin geliştirilebilmesi üzerine bir çalışma yapmıştır. Araştırmacı oksijen ve tetraflorometan (CF₄) ile plazma uygulaması gerçekleştirdiği elyaflar için bazik boyarmaddeler ile (Basic Red 18 ve Basic Blue 3) 1/200 flote oranında, 100  C sıcaklıkta ve 2 saat süren boyama denemeleri sonucunda CF₄ plazmasının oksijene göre boyanabilirliği geliştirmede daha etkili olduğu sonucuna varmıştır.

Polipropilenin boyanması konusunda nanoteknolojinin kullanımı ve değişik boyama yöntemlerinin uygulanması ise diğer çalışmalar kapsamında ele alınabilir.

Razafimahefa ve arkadaşları [24] polipropilen ile çeşitli nanokil malzemeleri (sodyum montmorillanit türevleri) eriyik halde karıştırarak nanofiberler oluşturmuşlardır. Elde edilen nanofiberlerin karakterizasyonunu DSC ve TEM analizleriyle yaptıktan sonra bunların boyanabilirliğini asit ve dispers boyarmaddeler kullanarak yaptıkları deneylerle tespit etmeye çalışmışlardır. Değişik boyama şiddetlerinde ve değişik sürelerde yapılan boyama deneylerinin sonucunda, polipropilene çeşitli oranlarda nanokil ilavesiyle ve uyumlulaştırıcı olarak maleik

anhidrit aşılınmış polipropilen kullanarak elde edilen nanofiberlerin boyanabilirliğinde gelişme belirtmişlerdir. Hazırlanan nanofiberlerin boyanmasında asit boyarmadde kullanılarak yapılan boyamaya göre dispers boyarmadde kullanılarak yapılan denemeler daha başarılıdır. Boyamanın verimliliğini K/S oranıyla değerlendiren araştırmacılara göre boyanmadaki gelişme nanokil malzemenin boyarmadde ile yapmış olduğu güçlü Van der Waals ve iyonik etkileşimler neticesindedir. Ayrıca boyanmış numunelerin renk haslıklarının da iyi olduğu sonucu belirtilmiştir.

Fan ve arkadaşları [25] da yaptıkları çalışmada polipropilenin boyanabilirliğinin nanoteknoloji ile mümkün olup olmadığını incelemişlerdir. Araştırmacılar, polipropilene eriyik halde iken nanokil ilavesi ile boyanabilirliği inceledikleri bir başka çalışmalarından [26] elde ettikleri düzgün olmayan boyama sonuçlarını iyileştirebilmek amacıyla bu çalışmalarında polimer ile nanokili uyumlulaştırıcı olarak TiO_2 kullanmışlardır. Nanokilin polipropilen içerisinde dağılımını XRD ve TEM analizleriyle karakterize eden araştırmacılar, çeşitli oranlarda nanokil, polipropilen ve uyumlulaştırıcının solvent (ksilen) içerisinde ultrasonifikasyon ile homojenizasyonunun ardından film haline getirdikleri ürünün boyanması için çeşitli dispers, direkt, reaktif, bazik ve asit boyarmaddeler (Dispers Red 151, Disperse Yellow 42, Acid Red 266, Acid Blue 113, Direct Red 80, Reaktif Blue 18, Basic Red 2, Disperse Red 65) kullanmışlardır. Boyama denemeleri 1/100 flote oranında, çeşitli boyama şiddetlerinde (%1, %2, %3, %4), 95 °C sıcaklıkta ve 6 saat süreyle yapılmıştır. Boyama verimliliği ise boyama banyosunun boyama öncesi ve boyama sonrasında spektroskopik olarak incelenmesi ve boyanan örneklerin spektrofotometrik teknik kullanılarak elde edilen K/S değerlerinin yorumlanması ile elde edilmiştir. Sonuçlara göre, polipropilen içerisinde nanokilin dağılımı uyumlulaştırıcı olarak titanatın ilave edilmesiyle homojen bir şekilde gerçekleşmiştir. Boyama deneylerinden elde edilen sonuçlar nanokil miktarının artması ile boyama verimliliğinin arttığını göstermektedir. Ancak %2 nanokil ilavesinin üzerinde boyarmadde alımının belirgin şekilde değişmemesine bağlı olarak nanokilin optimum oranı %2 olarak belirlenmiştir. Optimum boyama şiddeti ise %1 olarak tespit edilmiştir.

Polipropilenin boyanabilirliğini geliştirmek amacıyla yeni boyama yöntemleri de denenmiştir.

Büyükakıncı [27] yapmış olduğu yüksek lisans tez çalışmasında polipropilen elyafın boyanabilirliğinin geliştirilmesi için yeni bir yöntem olarak mikrodalga enerjisinin kullanılabilirliğini incelemiştir. Bu amaçla polipropilen elyafı üç farklı dispers boyarmadde kullanarak atmosferik koşullarda, yüksek sıcaklık koşulunda ve mikrodalga enerjisi kullanarak boyama denemeleri gerçekleştirmiştir. Boyama denemeleri sonucunda elde edilen ürünleri boyanabilirliğin tekrarı, boyanmış numunelerin renk haslıkları, kullanılan yöntemin maliyet, enerji ve renk kalitesi açısından farkları şeklinde değerlendiren araştırmacının sonuçlarına göre mikrodalga enerjisi polipropilenin boyanabilirliğini renk verimi ve maliyet bakımından geliştirmek maksadıyla kullanılabilir.

Pamuk [28], yün [29], ipek [30] ve polyester [31] gibi elyafların boyanmasında denenilen bir yöntem olan ultrasonik enerjinin kullanımı ise polipropilen elyaf için henüz denenmemiştir.

1.2. Çalışmanın Kapsamı

Bu tez çalışmasının temel amacı PP elyafın boyanabilirliğinin incelenmesidir. Bu amaçla mikrodalga enerjisinin ve ultrasonik enerjinin kullanılabilirliği çeşitli boyama banyosu koşullarında denenmiştir. Deneysel çalışmaların sonucunda hem mikrodalga enerjisinin hem de ultrasonik enerjinin boyanabilirliği ne önemli ölçüde geliştirdikleri tespit edilmeye çalışılmıştır.

PP elyafın boyanabilirliğinin geliştirilmesiyle önemli elyaf türlerinden olan ancak bir tekstil materyalinde bulunması gereken en önemli özelliklerden birisi olan boyanma problemi yüzünden yeterince kullanılmayan PP elyafın kullanım alanları genişleyecektir. Böylece artan üretimle istihdam sağlanabilir ve ulusal ekonomiye katkıda bulunulabilir.

Bu çalışma beş bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde polipropilen elyafın elde edilişi, üretimi, özellikleri, önemi ve kullanım alanları ele alınmıştır.

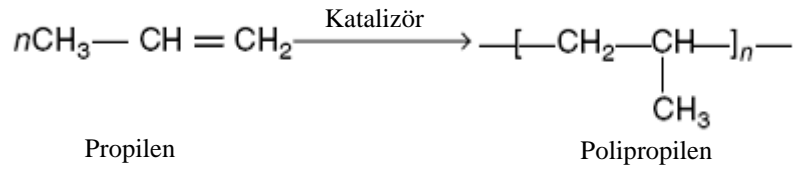
İkinci bölümde ise renk, boyarmadde çeşitleri ile boyama yöntemleri ve boyama kinetiği üzerinde durulmuştur. Ayrıca mikrodalga enerjisi ve ultrasonik enerji ile ilgili bilgiler verilmiş ve tekstil boyamada kullanımları konularına değinilmiştir.

Üçüncü bölümde deneysel çalışmaların nasıl gerçekleştirildiği anlatılmıştır.

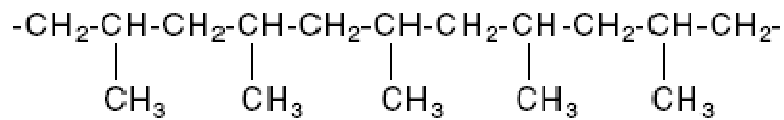
Elde edilen sonuçlar dördüncü bölümde tablo ve grafikler halinde verilerek son bölümde ise sonuçların değerlendirilmesi yapılarak ileride yapılabilecek çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

BÖLÜM 2. POLİPROPİLEN ELYAF

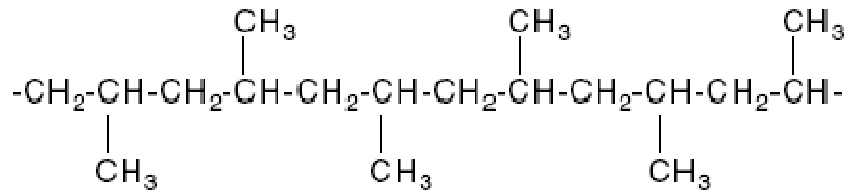
Polipropilen, ilk defa 1954 yılında K.Ziegler'in çalışmalarını takiben G.Natta tarafından propilenin polimerizasyonu ile üretilmiştir. Polipropilen makromolekülü zincir ucundaki metil gruplarının pozisyonuna bağlı olarak üç farklı taktisitede olabilir. Tüm metil gruplarının zincirin aynı yönünde olmasıyla izotaktik polipropilen, metil gruplarının zincirin bir altında bir üstünde sıralanmasıyla sindiyotaktik polipropilen, metil gruplarının belirli bir düzen dahilinde olmayan sıralanmasıyla ise ataktik polipropilen oluşur [5, 32].



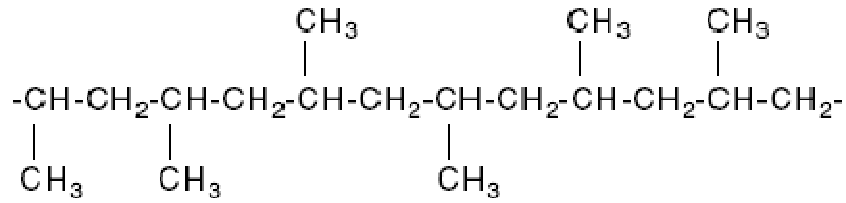
Şekil 2.1. Propilenin polimerizasyonu [5]



Şekil 2.2. İzotaktik polipropilen [5]



Şekil 2.3. Sindiyotaktik polipropilen [5]



Şekil 2.4. Ataktik polipropilen [5]

İzotaktik yapıdaki polipropilen yüksek kristalliği sebebiyle elyaf üretimine uygundur. Stereospesifik olmayan polimerizasyon ataktik polimer oluşumuyla sonuçlanır. Ataktik yapı düşük erime noktasına sahip bir katıdır ve lif üretimine uygun değildir [5, 33].

2.1. Polipropilenin Elde Edilişi

Polipropilen, propilenin stereospesifik polimerizasyonu ile elde edilir. Polimerizasyon için, Ziegler-Natta katalizörleri veya metallocene katalizörleri kullanılabilir. Polimerizasyonun entalpisi -20 kcal/mol ile -83.6 kcal/mol aralığında değişir. Polimerizasyon için kullanılan katalizör sistemi son ürünün özellikleri üzerinde etkilidir. Ziegler-Natta katalizörleriyle polimerizasyonda, polimerleşmenin zincirin büyümesi aşamasında birden çok aktif merkez oluşur. Sonuçta elde edilen polimerin molekül kütlesi dağılımı geniş olur. Metallocene katalizörleri varlığında ise bir veya birkaç aktif merkez üzerinden zincirin büyümesi gerçekleştiği için elde edilen polimer daha dar bir molekül kütlesi dağılımına sahip olur. Molekül kütlesi dağılımı polimerin pek çok fiziksel özeliği üzerinde etkilidir [5, 32, 34].

2.1.1. Polimerizasyonda kullanılan katalizör sistemleri

Stereospesifik (koordinasyon) polimerizasyon için kullanılan katalizörler koordinasyon katalizörleri adını alırlar. Koordinasyon katalizörleri iki temel görevi aynı anda yerine getirirler. Polimerizasyonu başlatmaları yanında üstün koordinasyon yetenekleri nedeniyle monomer birimlerinin polimer zincirlerine hep aynı düzende katılmalarını sağlarlar [35].

2.1.1.1. Ziegler-Natta katalizörleri

Ziegler-Natta katalizörlerinin en önemli endüstriyel uygulama alanlarından biri stereospesifik polipropilen üretimidir.

Karl Ziegler, organometalik katalizör sistemlerini ilk defa etilenin polimerizasyonuna uygulamış ve etileni yüksek basınçta alüminyum alkilerle etkileştirerek organometalik oligomerlerle polietilen karışımı bir ürün elde etmiştir. İleri çalışmalarında katalizör sistemine $TiCl_4$ ve VCl_4 türü geçiş metali bileşiklerini katarak yüksek mol kütleli polietilenin oda sıcaklığında ve atmosfer basıncında sentezini gerçekleştirmiştir. Aynı yıllarda Giulio Natta benzer katalizörlerin değişik bileşimlerini kullanarak propilen gibi α -olefinlerin kristalitesi yüksek ve stereospesifik polimerlerini sentezlemiştir [35].

Ziegler-Natta katalizörleri genelde grup IVB-VIII B geçiş metallerinin bileşiklerinden hazırlanır. Geçiş metali bileşikleri titanyum, vanadyum, molibden, zirkonyum gibi metallerin halojenür veya oksihalojenürleridir. Diğer bileşen ise çoğu kez alüminyum, lityum, magnezyum, çinko gibi metallerin alkil veya aril bileşikleridir. En yaygın kullanılan ve bilinen katalizör sistemi $TiCl_4$ veya $TiCl_3$ ile alüminyum trialkillerden hazırlanır. Genelde geçiş metali bileşiği katalizör ($TiCl_4$, VCl_4 gibi), organometalik bileşik (dietil alüminyum klorür gibi) kokatalizör olarak tanımlanır [35].

Başlangıcından itibaren Ziegler-Natta katalizörleri üç dört formülasyon geliştirilmiştir. Natta, Ziegler katalizör sistemindeki $TiCl_4$ 'den $TiCl_3$ kristalleri oluşturmak için $AlEt_3$ kullanmış ve %90 izotaktik polipropilen elde edebilmiştir. Daha sonra katalizör sistemine bir Lewis bazı eklenmesiyle reaktiflik dört-beş katına çıkmıştır. Dietil alüminyum klorürün (DEAC) kokatalizör olarak kullanıldığı sistem Solvay Co. tarafından denenmiştir. Bundan sonra $MgCl_2$ katalizörü destekleyici olarak kullanılmıştır. Polipropilenin elde edilmesi bu katalizörle, ataktik polimer ve katalizör kalıntılarının eliminasyonu ile oldukça kolaylaşmıştır. Bu sistemde uygun bir katyonik donörün kullanılması stereo düzenliliği artırır [5, 32, 34].

2.1.1.2. Metallocene katalizörleri

1980'lerde Sinn ve arkadaşları metil alüminyumoksani (MAO) katalizör olarak kullanmanın yalnızca polimerizasyonu aktive etmediğini aynı zamanda yüksek izotaktik veya sindiyotaktik polimer oluşumuna sebep olduğunu bildirmişlerdir. Montell Co.'dan Albizzati ve arkadaşları titanyum tetraklorür ve 2,2 diizobütil 1,3 dimetoksi propan gibi bir elektron donörü üzerine desteklenmiş magnezyum diklorür katalizörünü geliştirmişlerdir. Metallocene bileşikleri monomerin sterik konformasyonu için güçlü seçicilik gösteren sonlu, tek aktif uçlar sergilerler. Titanyum, zirkonyum ve hafniyum gibi geçiş metallerinin bileşikleri aktif katalizör uçları olarak araştırılmıştır. [5, 32, 34].

Metallocene katalizörleri kullanılarak üretilen polipropilen tek aktif merkez üzerinden büyüdüğü için Ziegler-Natta katalizörleri kullanılarak üretilene göre daha düzgün bir zincir uzunluğuna sahip olur ve daha az ataktik yapı içerir. Metallocene katalizörleriyle üretilen polipropilen Ziegler-Natta katalizörleriyle üretilene göre daha düşük yoğunluğa, yaklaşık 0.88 g/cm^3 , daha düşük erime noktasına, yaklaşık $130-150 \text{ }^\circ\text{C}$, daha düşük erime ısısına, yaklaşık $15-20 \text{ J/g}$, daha dar molekül kütlesi dağılımına, daha düşük kristallenme hızı ve sonuç itibarıyla daha iyi kimyasal dirence sahip olur. Metallocene katalizörleriyle üretilmiş PP aynı zamanda daha düşük erime noktasına sahip olması dolayısıyla daha iyi iplik çekim performansına da sahiptir. Dokusuz yüzeyler veya daha düşük denyeye sahip ürünler için tercih edilir [5, 34].

2.1.2. Polimerizasyon hızını etkileyen faktörler

2.1.2.1. Katalizör tipi ve konsantrasyonu

Ziegler-Natta katalizör sistemleri için metal alkiler ve Al-metal molar oranı önem taşımaktadır. Polimerizasyon oranı alüminyum trialkil konsantrasyonu ile maksimum seviyeye yükseldikten sonra düşmektedir. Metallocene katalizör sistemi için de polimerizasyon oranı Al-metal molar oranından etkilenmektedir. [5].

2.1.2.2. Monomer konsantrasyonu ve hidrojen

Çok düşük sıcaklıklar haricinde Ziegler-Natta reaksiyonlarının monomer konsantrasyonuna göre büyük ölçüde birinci dereceden kinetik izlediğini söylemek mümkündür. Halbuki, metallocene katalizör sistemleri yüksek monomer konsantrasyonlarındaki lokal ısı yüzünden daha yüksek mertebeden kinetik izlerler. Hidrojen hem polimerizasyon oranını hem de polimerin molekül kütlesini etkiler [5, 32].

2.1.2.3. Polimerizasyon sıcaklığı ve süre

Belirli bir sıcaklık aralığında polimerizasyon hızı, sıcaklığın artmasıyla artar. Maksimum sıcaklık limitinde katalizör bozunur ve reaksiyon yavaşlar. Bazı katalizörler küçük bir yükselmeden sonra uzun bir süre reaksiyon hızını sabit tutabilirler. [5, 34].

2.1.2.4. Polimerizasyon ortamı

Polimerizasyon ortamının etkisi Ziegler-Natta katalizörleri için çok açık değildir. Ancak metallocene katalizörleri için, polimerizasyon ortamının polaritesinin artması metallocene anyonlarının aktivasyonunu artırır. [5, 34].

Aşağıdaki tabloda Ziegler-Natta ve metallocene katalizörleriyle elde edilen izotaktik polipropilenin özellikleri kıyaslanmıştır.

Tablo 2.1. Ziegler-Natta ve metallocene katalizörleriyle elde edilen izotaktik polipropilenin özellikleri [5]

	Ziegler-Natta katalizörleriyle elde edilen izotaktik polipropilen	Metallocene katalizörleriyle elde edilen izotaktik polipropilen
Zaman süreci	1950'ler	1980'ler
Katalizör bileşenleri	Geçiş metallerinin bileşikleri Ti, V, Cr, N gibi Alkil-metal katalizörleri	Geçiş metallerinin organik bileşikleri Siklopentadienil halkasına bağlı Zr, Ti, Cr gibi
Karakteristik yapı	TiCl ₃ , R ₂ O/TiCl ₃	MgCl ₂ /TiCl ₄ /Ph(COOiBU)
Aktivasyon	5x10 ³ ~1x10 ⁴ g/g Ti	3x10 ⁴ ~6x10 ⁴ g/g Ti
Reaksiyon mekanizması	Polikoordinasyon, pek çok polimerizasyon merkezi	Polikoordinasyon, tek polimerizasyon merkezi, yüksek katalitik etki
Polimer özellikleri		
İzotaktisite derecesi	~%90	≥%98
Molekül kütlesi dağılımı	Geniş, M _w /M _n =3-6	Dar, M _w /M _n =2
Erime noktası	Kontrol edilebilme aralığı: 160-164 °C Yüksek erime noktası: 162 °C	Kontrol edilebilme aralığı: 130-160 °C Düşük erime noktası: 148 °C
Stereospesifiklik	Yalnızca izotaktik ürün	Düşük miktarda ataktik ürün, izotaktik veya sindiyotaktik homopolimer veya kopolimer
Eğrilme performansı	Zayıf: düşük elastiklik, düşük viskozite	İyi: iyi eğrilme-çekilme ve kolay işlenebilirlik

2.1.3. Polimerizasyon prosesi

Polipropilen elde etmek için kullanılacak polimerizasyon prosesleri; çamurumsu polimerizasyon, çözelti polimerizasyonu, kütle (bulk) polimerizasyonu ve gaz fazı polimerizasyonudur [5].

2.1.3.1. Çamurumsu polimerizasyon

Polimer hazırlamadaki en eski yöntemdir. İlk defa İtalyan Montecatini Co. tarafından kullanılan bu yöntemde kristal haldeki polipropilen partiküllerini süspansiyonda tutmak ve amorf polimerleri çözmek için bir çözücü kullanılır. Katalizörün santrifüjle ayrılmasından sonra yüksek stereo düzenliliğe sahip polipropilen elde edilir. Amorf polipropilendeki çözücü ise evaporasyonla uzaklaştırılır. Montecatini Co.da olduğu gibi çözücü olarak hekzan kullanılabileceği gibi Hercules Co.

tarafından geliştirilen teknolojiye olduğu gibi polimerin molekül kütlelerini kontrol etmek için hidrojen eklenebilir. Katalizörün uzaklaştırılması için genellikle etanol kullanılırken, etanol ve çamurumsu çözücünün saflaştırılması ve geri kazanımı önemli ölçüde proses ekipmanı gerektirir. Yüksek yatırım maliyeti, düşük stereo düzenliliğe ve geniş molekül kütle dağılımına sahip ürünle birleşince proses ilgi çekici ve kullanılabilir olmaktan çıkar. Bu yöntemle üretilen polipropilenin eriyik akış indeksi (MFR veya MFI) 15 g/dak'dan büyüktür ve üretim sırasında açığa çıkan kopolimerler genel uygulamalar için uygun değildir [5, 36].

2.1.3.2. Çözelti polimerizasyonu

Bu polimerizasyonda çözücü olarak yine alfa olefinler kullanılır. Polimerizasyon sıcaklığı 140 °C kadar yüksek olabilir. Proses karmaşıklığı sebebiyle oldukça maliyetlidir. Tepkimeye girmeyen monomer, basıncın azaltılması ve geri dönüşümle uzaklaştırılırken, katalizör atıkları filtrasyonla uzaklaştırılır. Polimer çözeltisi çözücünden ayrılmak için çoklu evaporasyon ve ekstrüzyona tabi tutulur ve amorf polipropilenin ayrılması için de heptan ile saflaştırılır. Sonuç olarak elde edilen polimer düşük erime noktasına sahiptir, özel ürünlerde kullanılır ve piyasadaki talebi azdır [5, 36].

2.1.3.3. Kütle polimerizasyonu

Rexene Co. ve Philip Petroleum Co., $TiCl_3$ katalizörleriyle kütle polimerizasyonu prosesini ilk geliştirenlerdir. Daha sonra 1964 yılında Dart Industries bu yöntemi ticarileştirmiştir. Reaktöre giren besleme %10-%30 oranında sıvı propilen içerir. Hekzan ve izopropanol karışımı katalizör artıklarını ve amorf polipropileni uzaklaştırmada kullanılır. Bu katalizör artıklarının uzaklaştırılması aşaması daha sonra yüksek verimlilikteki katalizörlerin geliştirilmesiyle "sıvı havuz prosesi" adı verilen bir yöntemle değiştirilmiştir. Daha sonra Philips ve Sumimoto şirketleri sıvı faz polimerizasyonunu daha da geliştirmişlerdir. Bu proses reaksiyon hızı, katalizör verimliliği, monomer dönüşümü gibi faktörleri geliştirerek yüksek verimlilik sağlamaktadır. Aynı zamanda çözücünün geri kazanımına gerek kalmadığından çevre

kirliliğine de neden olmamaktadır. Fakat reaksiyona girmeyen monomerin ilk önce buharlaştırılıp sonra sıvılaştırılması gerekliliği yöntemin karmaşıklığına sebep olur. Reaksiyon kabı yüksek basınçta çalışmak üzere tasarlanmalıdır. Kesikli operasyonlarda reaksiyon kabı çoğunlukla otoklavlardır, sürekli operasyonlarda ise boru reaktörler kullanılır [5, 36].

2.1.3.4. Gaz fazı polimerizasyonu

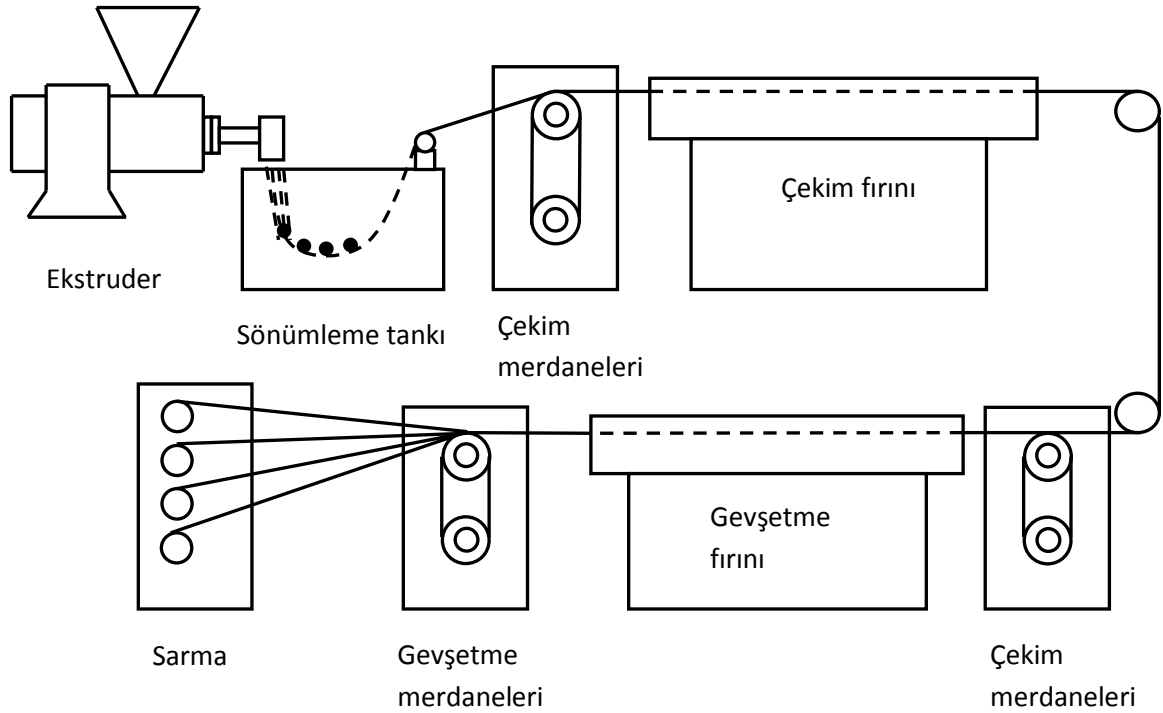
İlk defa 1969 yılında geliştirilen bu yöntem daha sonra akışkan yataklar kullanılarak uygulanmaya başlandı. Bu prosesin avantajları, yüksek katalizör verimi, artıkların uzaklaştırılmasının ve evaporasyon ve santrifüjle ayırmanın eliminasyonu şeklinde belirtilebilir. Ürün nerdeyse tüm uygulamalar için uygundur [5, 36].

2.1.3.5. Kütle ve gaz fazı polimerizasyonu

Spheripol tarafından kütle ve gaz fazı polimerizasyonlarının birleştirilmesiyle geliştirilen bu yöntem ticari ölçüde polipropilen üretimi için en fazla kullanılan yöntemdir. Proses Ziegler-Natta katalizörleri ile işler. Yöntemde propilen homopolimeri ya da kopolimeri hazırlanması için iki tane seri durumda boru reaktör kullanılır. Bu yöntemin bir avantajı soğutma suyuyla basınç altında reaksiyona girmemiş monomerin sıvılaştırılabilmesi ve reaktöre geri verilebilmesidir. Böylelikle yüksek enerji tüketen kompresörlere gerek kalmaz. Ürün, muntazam, yuvarlak yapılı toz şeklindedir. Bu yöntemle yüksek molekül kütleli ve dar molekül kütlesi dağılımına sahip ürünler elde edilebilir [5, 34].

2.2. Polipropilen Elyafın Üretimi

Polipropilen elyaf eriyikten çekme yöntemine göre üretilir. Aşağıdaki şekilde üretim prosesi görülmektedir.



Şekil 2.5. Polipropilen elyafın üretim prosesi [37]

Üretime ekstrüzyon aşamasıyla başlanır. Genellikle tek vidalı ekstrüder kullanılmakla birlikte bazı sistemlerde çift vidalı ekstrüder de kullanılmaktadır. Polimer 60-150 mm çapındaki yatay ya da dikey ekstrüderde eriyik hale getirilir. Standart ekstrüderlerde L/D oranı 24-30 arasındadır. Eriyik sıcaklığı 220-240 °C arasından 290-300 °C arasına kadar değişir. Polimerin eriyik hale gelmesi esnasında molekül kütlesi %20 azalır [3].

Ekstrüderin baş kısmında yabancı maddelerin elyafa karışmasını önlemek için bir filtre sistemi bulunur. Bu filtreden sonra yer alan basınç kontrol vanası, ekstrüder vidasının dönüş hızına bağlı olarak gelmesi gereken hammadde miktarını ayarlar. Ekstrüderin çıkışında eriyik haldeki polimerin liflere dönüşmesini sağlayan düze başlığı yer alır. Düze delikleri 200-400 µm çapındadır. Düze başlığı için L/D oranı 2-5 arasındadır. Daha büyük L/D oranına sahip başlıklar kullanmak maliyetlidir ve fazla basınç düşüşlerine sebep olurlar. Düze başlığı polimerin yapışmasını önlemek için silikon ile kaplanmıştır. Polipropilen viskoelastik karakteri sebebiyle kalıp şişmesi ve eriyik kırılması gösterebilir. Bu hususlar da dikkat edilmesi gereken noktalardır [37].

Düzeden çıktıktan sonra liflerin sönümlenmesi gerçekleştirilir. Bu amaçla su veya hava ile sönümleme yapılabilir. Bu işlem polimerin soğutulmasıyla tekrar kristalin bölgelerin oluşturulması amacıyla yapılır. Su veya hava ile yapılan sönümleme işlemlerinde kristal yapıdaki farklılıklar nedeniyle fiziksel özellikleri değişik ürün elde edilir.

Hava ile sönümleme yapıldığında %55 civarında kristalliğe sahip ipler üretilir. Kristaller iplik boyunca ince tabakalar halinde dağılmışlardır ve monoklinik α formundadırlar. Hızlı su sönümlenmeli proseste ise daha az düzenli olan smektik veya parakristalin yapı elde edilir. Özel çekim koşullarında bu smektik yapı yüksek dayanımlı elyaf ile sonuçlanır [5].

Özetle belirtmek gerekirse, hızlı sönümleme (düşük sıcaklıkta- su ile) kristal oluşumunu geciktirerek daha ziyade amorf bir polimer yapısı ile sonuçlanır. Böyle bir elyaf tokluk ve esneklik açısından üstündür. Daha yüksek sıcaklıkta sönümleme işlemi (yavaş sönümleme-hava ile) kristal oluşumunu artırır ve üstün gerilme ve sertlik özelliklerine sahip yüksek kristalliğe sahip elyaf oluşumu ile sonuçlanır [38].

Genellikle 100 denyeden daha büyük monofilamentlerin üretimi için su ile sönümleme yapılır. Polipropilen monofilamentleri genellikle döşemelik kumaş ve halat yapımında kullanılır. Düze çıkışından sonra bir su tankı içerisine gönderilerek sönümlenen monofilamentlerin buraya kadar geldikleri yol (uzunluk), tanktaki suyun sıcaklığı ve türbülanslı olmaması ürün özellikleri üzerinde etkili olur. Su ile yapılan sönümleme işlemi sonunda liflerin fazla sudan kurtarılması gerekir. Her lif aynı ıslaklık değerine sahip olmalıdır. Lifler genellikle ısıtılmış makaralarla veya sıcak bir hava fırınında tavlanylabilir [5].

Lifler daha sonra termal ve mekanik özelliklerini belirleyecek olan oryantasyon (yönlenme) ve çekim aşamasına gelirler. Öncelikle liflerin sıcaklığının artırıldığı bir oryantasyon fırınına gelirler. Daha sonra lifler güçlü motorlarla belirlenen çekim oranında çekilir. Yüksek çekim oranı liflerin daha fazla oryantasyonuna sebep olur. Daha sonra büzüşmeyi en aza indirebilmek için stres azaltılarak lifler gevşetilir ve başka bir ısı işlemine tabi olurlar. Buradaki sıcaklık lifin son kullanım sıcaklığından

yüksek olmalıdır. Daha sonra lifler bir makaraya sarılır. Tüm işlemlerde makaraların hızı ürünün özelliklerinin olumsuz yönde etkilenmemesi amacıyla uygun şekilde ayarlanmalıdır [38].

2.2.1. Elyaf üretiminde kullanılan katkı maddeleri

2.2.1.1. Stabilizatörler

Polipropilen ısı ve ışığa karşı kararlı değildir. Ekstrüderde eriyik hale gelmesi için uygulanan sıcaklık ile molekül kütlesi ve eriyik viskozitesi değişir. Polipropilen ısı veya ışığa maruz kaldığında PP radikali oluşur ve oksijenle reaksiyona girer.

Oluşan ürün tekrar PP ile reaksiyona girip PP[•] radikali oluşturur ve reaksiyonlar sürekli yenilenir. Oksijen konsantrasyonunun artması elyafın fiziksel özelliklerinin bozulmasına sebep olur. Ancak fiziksel özelliklerin bozulmasından yalnızca oksijen konsantrasyonunun artması değil elyaf oryantasyonu ve üretimi esnasındaki koşullar, özellikle iplik çekim sıcaklığı sorumludur. Yüksek oryantasyona sahip elyaf için UV ışığına maruz kalma durumunda oluşacak uzama azalması daha az olur. Çünkü elyaf yüzeyinde fotooksidasyon reaksiyonu sınırlanır. UV ışığına maruz kalma durumunda yüzeyde oluşacak oksijen bağları yüzünden elyafın ıslanabilirliği artar. Polipropilenin ısı ve ışık sebebiyle bozulmasını önlemek için eklenen stabilizatörler çeşitli gruplara ayrılabilir:

1. Radikal sonlandırıcılar
2. Peroksit bozundurucular
3. UV absorplayıcılar
4. Aktif polimerle reaksiyona giren ve sonra kendiliğinden zararsız ürünlere dönüşen enerji sönmleyiciler [5, 32].

Polipropilen elyafa eklenen stabilizatörlerin şu maksatla katıldığı belirtilebilir:

1. Eriyik ekstrüzyonunun stabilitesini sağlamak
2. Normal kullanım sıcaklıklarında uzun termal stabilite sağlamak

3. UV ışığına stabilite sağlamak [5, 32].

2.2.1.2. Pigmentler

Polipropilen polar gruplar içermediğinden boyarmadde molekülleriyle daimi bir etkileşim içerisine girmez. Dolayısıyla polipropilenin renklendirilmesi ya üretim esnasında polipropilenin modifikasyonu ya da pigmentlerin ilavesiyle başılır. Kullanılacak olan pigment seçilirken şu koşullar göz önünde bulundurulur:

1. Elyafın üretim prosesine uygunluk gereksinimleri
2. Ürünün stabilitesine uygunluk gereksinimleri
3. Bazı katkı maddeleriyle etkileşim
4. Maliyet gereksinimleri
5. Renk gereksinimleri [5, 32].

Pigment ile renklendirilen polipropilen, polimer ve pigment partiküllerinin ekstrüzyondan önce bir araya getirilmesiyle üretilir. Pigment genellikle pigment pastası olarak (%25-50 pigment içeren) satılır. Polipropilen üreticileri bu pigment pastası ile polimeri uygun şekilde birleştirirler. İyi renklendirilmiş elyaf üretebilmek için pigmentin çok küçük partikül boyutuna sahip olması dolayısıyla üründe topaklanma oluşturmaması son derece önemlidir. Pigment pastaları toz halinde olabilir. Üretici bunu polimerle uygun oranlarda karıştırır ya da pastayı uygun oranda seyrelterek polimerle karıştırır. Pigmentin işlem sırasındaki sıcaklıklarda termal stabil olması ve üretim işlemini engellememesi de son derece önemlidir. Pigment ilavesi kristallenme süresini kısaltmaktadır [32].

Pek çok pigment yüksek konsantrasyonda kullanıldığında koyu renkler vermekte çok kararlıdır. Bir kısmı orta derecede konsantrasyonda stabildir ve pek azı düşük konsantrasyonlarda uygulandıklarında istenilen etkiyi vermeye uygundur. Örneğin Kırmızı 194 pigmenti %0.25 ve daha büyük konsantrasyonlarda çok stabildir (bu şekilde döşeme ve otomotiv sektöründe kullanılır) ancak düşük konsantrasyonlarda (%0.0125) kullanılmaya uygun değildir. Çünkü çok hızlı bir şekilde rengi solar. Genel olarak yüksek performanslı pigmentler pahalıdır ve ucuz olanlar ise iyi

performans göstermezler. Yüksek performanslı pigmentleri gerekmeyen uygulamalarda kullanmak ekonomik olmaz ve düşük maliyetli pigmentler de bazı uygulamalarda yetersiz kalarak kötü sonuçlara sebebiyet verir. Pigmentin performansı bazen kullanılan stabilizatörlerle de ilişkili olabilir. Örneğin bazı yeni nesil stabilizatörler elyafın ömrünü 2 ila 5 yıl uzatabilir. Bu durumda kullanılan pigmentin de bu duruma uygun olması gerekir. Pigmentler aynı zamanda elyafın termal ve UV stabilitesini de etkileyebilirler. Aynı zamanda stabilizatörler de elyafın renk değiştirmesine sebep olabilirler. Bu bakımdan kullanılan pigment-stabilizatör ilişkisine dikkat etmek gerekir [5].

Pek çok pigment, özellikle de organik sarı, turuncu ve kırmızı polipropilenin ışık stabilitesinde olumsuz etkiye sahiptir.

1. Pek çok pigment, karbon siyah, ftalosiyanın mavi ve yeşili, titanyum dioksit gibi, ışık stabilitesini olumlu yönde etkilerler.
2. Pigmentlerin ışık stabilitesi üzerindeki olumsuz etkileri, singlet oksijen oluşumunu hassaslaştırmaları, polimerin fotooksidasyonu, ışıkla uyarılmış pigment kromoforu oluşturarak başlatmaları, stabilizatörleri absorplamaları, stabilizatörlerle kimyasal transformasyon oluşturmaları, veya daha az kararlı kristal polimer formunu başlatmaları şeklinde olur.
3. Uygun olmayan polimer-pigment etkileşimleri için tek ve basit bir açıklama yapılamaz. Pek çok organik pigment karmaşık bir yapıya sahiptir ve fotozomerizasyon, ışık etkisiyle yeniden düzenlenme, fotooksidasyon ve fotoredüksiyona uğrayabilir [5, 38].

2.2.1.3. Tutuşmayı geciktiriciler

Polipropilen elyaf yanmaz, alev tutulduğunda büzülür, erir ve alevden kaçma davranışı sergiler. Antimon oksit ve dekabromodifenil oksit gibi çeşitli halojenürlü bileşikler tutuşmayı geciktirme davranışını geliştirirler. Polipropilenin klorlu hidrokarbonlar ilave edilmesiyle termal bozunması hız kazanır. Bu durum klor atomlarının polipropilenin üçüncü hidrojen atomuyla etkileşime girmeleri (klorlu hidrokarbonun dehidroklorinasyonu esnasında) ile açıklanabilir. Pek çok tutuşmayı

geciktirici halojen içerdiğinden ve hidrohalojenizasyon tutuşmayı geciktiricilerin bir kısmı olduğundan ekipmanların korozyona uğramalarına dikkat edilmelidir. Çeşitli organik fosfor bileşikleri de tutuşmayı geciktirici olarak kullanılırlar [5].

2.2.1.4. Bitim işlemi katkıları

Bitim işlemi yağlandırıcı (kayganlaştırıcı, lubrikant) ve anti statik katkı maddelerinin ilavesiyle yapılır. Düşük molekül kütleli yağlar, özellikle yüksek sıcaklıklarda polipropilen içinde çözünür. Polipropilen genellikle renklendirilmiş olarak üretildiği için bitim malzemesinin temizlenmesi gerekmez, son ürünün bir parçası olarak kalır [5, 32].

2.3. Polipropilen Elyafın Özellikleri

Polipropileni tanımanın en basit yolu yakma analizidir. Polipropilen mavi alevle yanar ve alevin ucu sarı olur. Kokusu yanan muma benzer. Polipropilen suda yüzer. Sıcak toluende çözünebilir. Fakat bu özellikler kimyasal olarak da kendisine çok benzeyen polietilenle benzer. Ayrıca katkı maddeleri veya ko-monomerler bu şekildeki tanımayı güçleştirir. IR sıklıkla kullanılan bir tanıma yöntemidir. Fakat katkı maddelerinin varlığı IR sonuçlarının güvenilirliğini etkilemektedir. DSC, TGA ve X ışını florans spektrofotometresi ile daha iyi sonuçlar alınabilir [32].

Polimerlerin yapısal ve fiziksel özellikleri ekstrüzyondan önce polimer özelliklerine ve elyaf oluşumu için işlem koşullarına bağlıdır. Polimerlerin yapısal karakteristikleri, molekül kütlesi, ortalama molekül kütlesi dağılımı, kristal yapısı, oryantasyonu ve son uç gruplarıdır. Üretim aşamasındaki önemli koşullar, ekstrüzyon sıcaklığı, çekme oranları, tavlama süresi, sönümlenme sıcaklığı ve süresi olarak belirtilebilir ve bu koşullar elyafın özellikleri üzerinde etkilidir. Kristallik ve oryantasyon, sönümlenme, çekim ve tavlama koşullarından etkilenirken; ekstrüzyon koşulları kristallik, oryantasyon ve molekül kütlesi dağılımını etkiler [37].

2.3.1. Molekül kütlesi ve molekül kütlesi dağılımı

Polipropilenin molekül kütlesi viskozimetrik veya kromatografik yöntemlerle belirlenebilir. Polipropilen için kütlece ortalama molekül kütlesi genellikle 220 000-700 000 arasında değişir. Molekül kütlesi aynı zamanda eriyik akış indeksi (MFR) adı verilen bir terimle de ilişkilidir. Eriyik akış indeksi, 230 °C sıcaklıkta, 2.16 kg yük altında 10 dak.lık zamanda polimerin akış hızı olarak ifade edilir. Yüksek molekül kütleli polimer daha düşük eriyik akış indeksi değerine sahiptir.

Polipropilen için de eriyik akış indeksi kullanım alanlarını belirler. Ticari olarak eriyik akış indeksi 1'den küçükten 35'ten büyük olana kadar üretilebilmektedir. Elyaf üretimi için kullanılan polipropilenin eriyik akış indeksi çoğunlukla 3-35 arasında değişmektedir [5, 32, 37].

Molekül kütlesi, gerilme mukavemeti, uzama, elastiklik modülü ve oryantasyon derecesini etkiler. 280-300 °C civarındaki yüksek eriyik sıcaklıkları molekül kütlesini yüksek derecede etkiler. Artan sıcaklıkla beraber molekül kütlesinde %25-35'lere varan azalmalar meydana gelir. Bu yüzden endüstride eriyik sıcaklığında fazla değişiklik yapılmaz. Bu özellik düşünülerek yapılan ticari filament üretimi inilebilen en düşük eriyik sıcaklığında gerçekleştirilir [27].

Molekül kütlesinin artması diğer pek çok polimer gibi polipropilenin de eriyik viskozitesinin ve darbe dayanımının artmasına yol açarken, akma direnci, sertlik ve yumuşama noktası değerlerinin düşmesine neden olur [32].

Molekül kütlesi dağılımı zincir uzunluklarının göstergesidir. Jel geçirgenlik kromatografisi veya reolojik verilerin yorumlanmasıyla elde edilebilir. Kütlece ortalama molekül kütlesinin sayıca ortalama molekül kütlesine oranı şeklinde ifade edilebilen bu değer polipropilen için 5 ila 12 arasında değişir. Molekül kütlesi dağılımı işlenebilirliği etkileyen önemli bir faktördür. Molekül kütlesi dağılımının daha dar olduğu reçineler kontrollü reoloji ürünleri (CR) olarak bilinmektedir. Kontrollü reoloji ürünleri, molekül kütlesi dağılımının büyük olduğu reçinelerin ısı ile peroksit veya oksijen varlığında parçalanmasıyla üretilirler. Kontrollü reoloji ürünü

reçineler elyafa dönüştürüldüğünde normal elyafın özelliklerinden farklılıklar gösterir. Düze çıkışında kalıp şişmesi azalır, daha yüksek kayma oranları (shear stress) mümkün olduğundan daha yüksek çekim oranları sağlanabilir. Kontrollü reoloji ürünü reçinelerden daha düşük denyeye sahip elyaf üretilebilir. Aynı zamanda kontrollü reoloji ürünü reçineleriyle daha az termal kararlılık sağlayıcılar kullanılarak daha düşük sıcaklıklarda mükemmel lifler elde edebilmek mümkündür. Bu şekilde 177 °C'ye kadar düşen işlem sıcaklıkları literatürde yer almaktadır [5].

Kontrollü reoloji ile üretilen elyaflar için önemli bir sorun, zincirlerin kırılmasıyla işlem gerçekleştiği için oluşan küçük molekül kütleli polimer ve oligomerler dolayısıyla koku oluşumudur. Aynı zamanda bu şekildeki ürünlerin çarpma dayanımı da daha düşüktür [32].

Polimerin eriyik akış indeksinin artmasıyla daha yüksek denyeye sahip ürünler üretilebilir. Elyafın mukavemeti, uzaması ve sertliği ise eriyik akış indeksinin artmasıyla azalır. Yüksek molekül kütleli polimer büzüşmeye daha dayanıklı olur. Eriyik akış indeksi ve erime sıcaklığı filamentin şekliyle de ilişkilidir. Yüksek akış indeksine sahip polimerden üniform elyaf oluşur, düşük akış indeksine sahip polimer ise oval şekilli filament oluşturur. Yüksek ekstrüzyon sıcaklığında orta büyüklükte molekül kütesine sahip polimerlerden elde edilen filamentler yuvarlak şekilli iken düşük ekstrüzyon sıcaklıklarında bu polimerden oval şekilli filamentler oluşur [37].

2.3.2. Kristal yapısı

Polipropilen yarı kristalin bir polimerdir. Kristallik derecesi polimeri ısı geçişine bağlıdır. Hızlı sönümlenme kristal oluşunu engelleyerek daha elastik bir yapıya sebebiyet verirken, yavaş soğutma daha kırılabilir ve puslu görünümlü ürün oluşumuna neden olur. Kristallik derecesinin artması, sertliğin, mukavemetin, aşınma dayanımının, sürünme dayanımının, çekmesinin ve yoğunluğunun artmasına sebep olur. Düşük kristallik, kolay işlenebilirlik, berraklık ve ekonomik işleme koşulları sağlar [32].

Elyafın kristalin ve amorf bölgeleri farklı özelliklerden sorumludur. Kristalin bölgeler, elyafın sağlamlığı, sertliği, neme ve ısıya karşı kararlılığı ve ağ mukavemetini belirlerken; amorf bölgeler, plastiklik, emicilik, işlenebilirlik, boyanabilirlik ve tokluk özelliklerini belirler [37].

Polipropilenin kristallik derecesi üretim koşullarına bağlı olmakla beraber genellikle %50-65 arasında değişir. Kristal birim hücresi genellikle monoklinik yapıdadır [5, 37].

Kristallik derecesi ve oluşan kristallerin şekli farklı katalizör sistemleriyle üretilen polipropilen için farklı olabilmektedir. Ziegler-Natta katalizörleriyle üretilmiş polimerde monoklinik- α ve hekzagonal- β kristalleri gözlenir. Kristaller 123-140 $^{\circ}\text{C}$ 'de polarize ışık mikroskopuyla ölçülebilecek boyutlardadır. Metallocene katalizörleriyle üretilmiş polimerin kristalleri erime noktasına çok yakın noktalarda yapılan izotermal kristalizasyonda bile gözlenemeyecek kadar küçüktür. Diferansiyel taramalı kalorimetre ile Ziegler-Natta katalizörleri varlığında üretilmiş polimerde bir, metallocene katalizörleri varlığında üretilmiş polimerde ise iki erime noktası piki görülür [5].

Polimerin kristallenme derecesinin artmasına sebep izotaktisitesinin artmasıdır. İzotaktisite yan metil gruplarının aynı yönde olmasının bir ölçüsüdür. Ticari olarak üretilen polipropilenin izotaktisitesi %85-95 aralığında değişir [32].

Kristallenme derecesi, eriyik hale gelme sıcaklığı ve süresi, sönümlenme sıcaklığı ve süresi, çekim oranı ve sıcaklığı ve molekül kütlesiyle ilintilidir. Molekül kütlesinin azalmasıyla kristallik hafifçe artar. Eriyik hale gelme sıcaklığının 220 $^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar artmasıyla kristallik derecesinin düştüğü bu sıcaklıktan sonra ise etkilenmediği bulunmuştur. Ekstrüzyondan sonra düşük sıcaklıkta sönümlenen elyaf amorf bölgelerin çok olduğu bir yapı ile sonuçlanırken, yüksek sıcaklıkta sönümlenme (yavaş soğutma) daha yüksek kristallik derecesinin oluşmasını sağlar. Elyaf çekimi kristalliği düşürür ancak yüksek sıcaklıklarda yapılan çekimde kristallikte meydana gelen azalma daha azdır [37].

Polimerin kristallik derecesi polimerin sıvılara geçirgenlik özelliği üzerinde de etkilidir. Yarı kristalin polimerlerde çözücünün nüfuz etme isteği polimerin kristalin bölgeleri tarafından önlenir. Şiddetli kimyasallara maruz kalacak uygulamalar için yüksek kristallik dercesine sahip elyaf tercih edilir. Aynı zamanda kristallik oranının artmasıyla aşınma dayanımı da arttığından bu şekildeki uygulama alanlarında da yüksek kristalliğe sahip elyaf kullanılır [37].

2.3.3. Oryantasyonu

Polipropilen eriyik haldeyken çekilerek oryantasyonu sağlanır. Yönlendirilmiş elyaf ve filmlerin kristal yapısında değişiklikler olur. Gerilme mukavemeti yükselir ve çekme yönündeki uzaması azalır. Çift yönlü yönlendirme ise berraklığı artırır [32].

Yönlenme, kristallik derecesi, sönümleme koşulları ve çekim oranıyla ilişkilidir. Kristallik derecesi yüksek bir elyaf için yönlendirme daha zorken, yönlendirme işleminin kristallik derecesinde azalmaya sebebiyet verdiği de hatırlanmalıdır [37].

Yönlendirmek maksadıyla polipropilen filamentlere 150 °C'de havada çekim uygulanabilirken, 100 °C'de kaynar su içerisinde de çekim uygulanabilir. İşlem kolaylığından dolayı hava ile soğutma işlemi ve çekim işleminin birden fazla aşamada yapılması tercih edilir [27].

2.3.4. Reolojisi

Yük ve uzamaları arasında doğrusal bir ilişkinin olmadığı materyaller viskoelastik ya da non-Newtonian olarak tanımlanırlar. Bu materyaller hem mükemmel elastikiyet hem de kalıcı deformasyon periyotları gösterirler. Bu davranış bu materyallerin gerinim-gerilim eğrileriyle açıkça ortaya çıkar [32, 34, 37].

Polipropilen viskoelastik davranış gösterir ve viskoelastikliği naylon ve polyesterden daha yüksektir. Orta ve büyük genişlikteki molekül kütlesi dağılımına sahip polipropilen maksimum gerilmeye maruz kaldığında pek çok yerinden boyun verir.

Dar molekül kütlesi dağılımına sahip polipropilen ise düzgün bir şekilde uzar ve aniden kopar [5, 32, 34, 37].

Viskoelastik materyaller için görülen üç önemli davranış polipropilenin işlenmesi esnasında da dikkat edilmesi gereken kalıp şişmesi, eriyik çatlaması ve çekme rezonansı davranışlarıdır. Kalıp şişmesi polimerin içinden çıktığı kalıptan daha büyük çaplara sahip olabilmesidir. Bu proses esnasında güçlükler sebebiyet verir. Düşük boy/çap (L/D) oranına sahip ekstrüderler daha büyük kalıp şişmesi sorununa neden olurlar [5].

Kalıp şişmesi davranışı, ekstrüzyon sıcaklığı, besleme oranı, polimerin fiziksel özellikleri, düze deliklerinin çapı ve boy/çap oranından, L/D, etkilenir. Polimer eriyiğinin viskozitesinin artmasıyla kalıp şişmesi davranışı artar, yüksek eriyik sıcaklıklarında ise azalır. İnce elyaf üretiminde zorluklara sebebiyet veren bu davranış besleme oranının artmasıyla artmakta, düze deliklerinin çapının ve L/D oranının artmasıyla azalmaktadır [37].

Viskoelastik materyaller için gözlenen bir başka önemli davranış olan eriyik çatlaması davranışı, uygulanan gerilime bağlı olarak oluşmakta ve gerilimle doğru orantılı olarak artmaktadır. 200-300 °C sıcaklık aralığında 1-3 g/dL intrinsik viskoziteye sahip polipropilenin kayma gerilmesinin $0.8-1.2 \times 10^6$ dynes/cm² aralığında olduğunda eriyik çatlaması oluşur. Bu durum daha yüksek eriyik sıcaklığı, polimerin intrinsik viskozitesinin azaltılması ve düze delik çaplarının arttırılmasıyla azaltılabilir [37].

Çekme rezonansı da viskoelastik materyaller için gözlenen ve proseste zorluklara neden olan bir davranıştır. Bu durum ekstrüzyon işlemlerinde ekstrüderden çıkan ürünün su banyosuna belirli bir hızla çekilmesi sırasında gerçekleşir. İşlem sırasında ürün dolaşımı olarak titrer. Bu durum çekme hızının artmasıyla artar ve ürün sonunda soğutma ortamıyla havanın ara yüzeyinde kopar [39].

Çekme rezonansı kritik çekme oranının üstünde yapılan çekimlerde ipin çapının periyodik olarak değişmesi şeklinde de tanımlanabilir. Bu durum eriyik işlemin

yavaşlatılmasıyla veya ani olmayan bir soğutma şekli seçilmesiyle engellenebilir. Bu oran molekül kütlesi dağılımı dar olan polimerlerde daha yüksektir [5, 34].

2.3.5. Yoğunluğu

Elyafın yoğunluğu son ürünün kütlesini belirler. Konforlu, taşınabilirliği kolay ve güçlü ama hafif bir elyaf en fazla tercih edilen olacaktır. Ayrıca düşük yoğunluk maliyet açısından da caziptir [37].

Polipropilen ortalama 0.9 g/cm^3 'lük düşük yoğunluğu ile tüm elyaf türleri arasındaki en hafif elyaf türüdür. Elastomerle modifiye edilmiş veya dolgu maddeleri eklenmiş polipropilen için bu değer 1.2 g/cm^3 olabilmektedir [32]. Tablo 2.2'de çeşitli elyaf türleri için yoğunluk değerleri görülebilir.

Tablo 2.2. Çeşitli elyaf türlerinin yoğunlukları [37]

Elyaf	Yoğunluk (g/cm^3)
Polipropilen	0.90-0.92
Pamuk	1.50-1.55
Yün	1.30-1.32
Viskoz rayon	1.52
Asetat	1.32
Naylon 6, 66	1.14
Orlon akrilik	1.14-1.17
Dacron	1.38-1.39
Saran	1.72
Cam elyaf	2.54

Metallocene katalizörleriyle üretilen polipropilen Ziegler-Natta katalizörleriyle üretilene göre daha düşük yoğunluğa, yaklaşık 0.88 g/cm^3 , sahip olabilmektedir [5].

2.3.6. Termal iletkenliği

Polipropilenin diğer bir önemli özelliği tüm elyaf türleri arasındaki en düşük termal iletkenliğe sahip oluşudur. Bu durum polipropilen elyafı izolasyon uygulamalarının

önemli olduğu (örneğin kışlık kıyafetler) alanlarda önemli bir seçenek kılmaktadır [32, 37]. Tablo 2.3’de bazı önemli elyafların termal iletkenlik değerleri görülmektedir.

Tablo 2.3. Bazı önemli elyafların termal iletkenlik değerleri [37]

Materyal	Havaya göre termal iletkenlik
Hava	1.0
Polipropilen	6.0
Yün	6.4
Asetat	8.6
Viskoz	11.0
Pamuk	17.0

2.3.7. Elektriksel özellikleri

Polipropilen apolar yapısı sayesinde mükemmel bir yalıtıcıdır. Polipropilenin elektriksel özellikleri aşağıdaki tabloda görülebilir [32].

Tablo 2.4. Polipropilenin elektriksel özellikleri [32]

Özellik	
Hacimsel öz direnç ($\Omega.cm$)	10^{17}
Dielektrik mukavemeti (MV/m)	28
1 kHz’deki dielektrik sabiti	2.28
1 kHz’deki güç kaybı katsayısı	0.0001

2.3.8. Optik özellikleri

Polipropilen polimeri beyaz ve yarı saydam granül haldedir. Ancak nihai ürünün görünümü işleme göre değişebilir. Polipropilenin refraktif indeksi 1.49’dur. Üretim esnasında artan katalizör miktarı ürünün opaklığını değiştirebilir ve sarılaşmasına neden olur. Farklı katalizörler için bu sarılaşma miktarı farklılık gösterir. Optik özellikleri tanımlamak için sıklıkla saydamlık, parlaklık ve pusluluk terimleri kullanılır. Saydamlık yansıtılan ışığın gelen ışığa oranıdır. Kristallığın az olduğu yapılar daha berraktırlar. Parlaklık ise bir örneğin belli bir açıdan ışığı yansıtma

faktörü olarak tanımlanır. Pusluluk, bulutlu ya da süt gibi olan görünümü ifade eder ve yüzeydeki kusurlar sebebiyle oluşur [32].

2.3.9. Biyolojik özellikleri

Polipropilen toksik ve kanserojen değildir ve ayrıca mikroorganizmalar için iyi bir ortam olmadığından bunlara karşı dayanımı yüksektir [32].

2.3.10. Mekanik özellikleri

Malzeme biliminde malzemenin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde temel olarak gerilim-gerinim eğrileri adı verilen grafikler önemli yer tutar. Elyaf için ise gerilme genellikle sağlamlık (g/denye) cinsinden, gerinim ise yüzde uzama cinsinden verilir. Bu şekilde elyaf için çizilen gerilim-gerinim eğrileri vasıtasıyla kopma gerilmesi, elastiklik modülü, akma gerinimi ve sertlik gibi pek çok veri elde edilebilir. Bir gerilim-gerinim eğrisi yük altındaki elyafın kopmasına kadar uzamasının ölçülmesiyle elde edilen verilerle çizilebilir. Pamuk, yün gibi doğal elyaflar için bu eğriler önceden belirlenmiştir ancak sentetik elyaflar için elyafı oluşturan moleküllerin oryantasyon derecesine bağlı olarak bu eğriler değişebilir [32, 37].

2.3.10.1. Sağlamlık

Elyafın mukavemeti birim alana düşen yük cinsinden ifade edilir. Bununla birlikte elyafların kesit alanları çok değişken ve düzensiz şekilli olduğundan elyaf mukavemeti birim uzunluktaki mukavemete bağlıdır. Bu şekilde gerilme değeri g/denye cinsinden ifade edilir ve elyafın sağlamlığının ölçüsüdür. Yalnızca elyafın uzunluğunu ölçmeyi gerektiren sağlamlık değerinin (kütle/uzunluk) elde edilmesi elyafın kesit alanının belirlenmesini gerektiren mukavemet değerine (kütle/alan) göre daha kolay bir şekilde tespit edilir [32, 37].

Elyaf için sağlamlık değerleri kuru ve yaş sağlamlık değerleri olarak verilebilir. Yaş sağlamlık kuru sağlamlığın yüzdesi cinsinden ifade edilir. Aşağıdaki tabloda bazı elyaflar için sağlamlık değerleri görülebilir [37].

Tablo 2.5'den de görülebileceği gibi polipropilen için kuru sağlamlık değerleri daha pahalı bir elyaf olan naylon 6 ve 66 ile mukayese edilebilir seviyededir. Yaş sağlamlık değerleri göz önünde bulundurulduğunda polipropilen elyafın diğer tekstil materyallerinden oldukça güçlü olduğu görülebilir.

Tablo 2.5. Bazı elyaflar için kuru ve yaş sağlamlık değerleri [37]

Elyaf	Kuru sağlamlık (g/denye)	Yaş sağlamlık (%kuru sağlamlık)
Pamuk	3.0-4.9	100-110
Yün	1.0-1.7	76-97
Cam elyafı	6.0-7.3	65
Naylon 6	4.5-5.8	91.3-95.5
Naylon 66	4.6-5.9	87-88
Polipropilen	5.5-8.0	100

2.3.10.2. Elastik modülü

Bir materyalin elastik sınırları dahilinde gerilimindeki değişimin gerinimindeki değişime oranı ASTM tarafından elastik modülü yada Young modülü olarak ifade edilir. Bununla birlikte sentetik elyaflar için bu materyallerin viskoelastik davranışları neticesinde modülleri yalnızca gerilim-gerinim eğrisinin lineer olan ilk kısmı için sabittir. Aşağıdaki tabloda çeşitli elyaflar için elastik modülü değerleri görülebilir [37].

Tablo 2.6. Çeşitli elyaflar için elastik modülü değerleri [37]

Elyaf	Elastik modülü (birim gerinimdeki g/denye)
Pamuk	55
Yün	25-30
Polyester	130
Polipropilen	80-100
Naylon	45

2.3.10.3. Kopma uzaması

Genellikle elyafların mukavemeti ve uzaması ters orantılıdır. Cam ve çelik elyafları sağlam ama kırılıgandır. Yün gibi zayıf elyaflar ise kolayca uzatılabilirler. Kuru işlemdede polipropilen naylona göre sert bir elyaf olarak nitelendirilebilir. Yaş işlemdede ise pek çok sentetik elyaf sudan etkilenmediği için kopma uzamaları kuru işlemdedekinin aynıdır. Naylon gibi polar yapıya sahip elyaflar su tutmaları dolayısıyla kopma uzaması olumsuz yönde etkilenir [32, 37].

2.3.10.4. Sertlik

Bir elyafın sertliği materyalin enerji absorplama yeteneği olarak belirtilebilir. Bu değer gerilim/gerinim eğrisinin altında kalan alandan hesaplanır. Güçlü elyafların düşük uzama değerleri bu materyallerin germeye maruz kalması durumunda başarısızlıkları yani düşük enerji absorplayabilirlikleri ile açıklanabilir. Yün ve polietilen gibi daha zayıf elyaflar kolayca deforme olabilir ve dolayısıyla daha çok enerji absorplayabilir. Polipropilen pamuk ve naylon gibi sert elyaflar arasında yer alır [32, 37].

2.3.11. Nem tutuculuğu

Mukavemet, sertlik ve stabilite tekstil elyafı için ilk düşünülen parametreler olmakla beraber bu özelliklere ek olarak elyafın işlenebilirliği de önemli bir parametredir. Sıcaklıktan sonra nem elyafın işlenebilirliği açısından en önemli parametredir. Elyafın neme karşı davranışı molekülün kompozisyonuna bağlı olduğu kadar geometrisine de bağlıdır. Elyaf içerisindeki kristal bölgeler nemden etkilenmezken amorf bölgeler etkilenir. Elyafın nem tutuculuğu amorf bölgelerdeki hidrofilik ya da polar grupların (hidroksil, amino, karboksil, karbonil grupları gibi) varlığına bağlıdır. Elyafın belli ölçüde nem tutması boyanabilirlik açısından da istenen bir durumdur. Ancak elyafın fiziksel boyutları, kütlesi ve fiziksel özellikleri üzerine etkisi sebebiyle nem tutuculuk istenmeyen bir durum da olabilir. Elyaf içindeki nem miktarı genellikle yüzde nem içeriği veya yüzde nem kazanımı şeklinde ifade edilir. Yüzde nem içeriği orijinal örnek kütlesi içindeki suyun kütlesi olarak hesaplanırken, yüzde

nem kazanımı kuru elyaf esas alınarak hesaplanır. Polipropilen yüksek oranda kristal bölge içermesi ve suyun bağlanabileceği polar gruplar bulundurmaması sebebiyle nem tutmaz [3, 32, 37]. Tablo 2.7’de bazı elyaflar için yüzde nem kazanımı değerleri verilmiştir.

Tablo 2.7. 21 °C ve %65 bağıl nemde bazı elyaflar için yüzde nem kazanım değerleri [37]

Elyaf	Nem kazanımı %
Pamuk	8.5
Yün	16.0
Naylon 6	4.5
Polipropilen	0
Cam elyafı	0
Asetat	6.5

2.3.12. Kimyasallara karşı dayanımı

Polipropilenin kimyasallara karşı dayanımı pek çok organik ve anorganik madde için test edilmiştir. Bu verilere göre polipropilen mineral asitler, alkaliler, anorganik tuzların sulu çözeltileri, deterjanlar, yağlar ve oda sıcaklığında organik çözücülere karşı yüksek dayanım gösterir. Klorlu organik çözücüler, aromatik hidrokarbonlar ve yüksek alifatik hidrokarbonlar oda sıcaklığında polipropilenin şişme ve yumuşamasına, yüksek sıcaklıklarda ise çözünmesine neden olurlar. Polipropileni etkileyen diğer kimyasallar dumanlı nitrik asit, dumanlı sülfürik asit, halojenler ve klorosülfonik asittir [3, 37]. Polipropilenin bu şekilde kimyasallara karşı gösterdiği yüksek direnç kristal yapısı sayesinde [32].

2.4. Polipropilen Elyafın Önemi ve Kullanım Alanları

Polipropilen, polyesterlerin dışında özellikle teknik uygulamalar için en uygun sentetik elyaftır. Mükemmel mekanik özellikleri, kimyasallara karşı yüksek dayanımı ve işlenebilirliği bakımından çok değişik tekstil alanlarında kullanılabilir. Ancak düşük yüzey enerjisi, reaktif uç içermemesi ve ısı ve ışığa karşı hassasiyeti bazı uygulamalar için yetersiz kalmasına neden olur. Bu olumsuz özellikler çeşitli modifikasyon ve katkı maddeleriyle giderilmeye çalışılmaktadır [40].

Polipropilenin en önemli avantajları düşük yoğunluğu (nihai ürünün kullanım alanları bakımından ve maliyet gereksinimleri bakımından önemlidir), düşük termal iletkenliği (yalıtımın önemli olduğu uygulamalar için kullanılabilir olmasını sağlar), kimyasallara karşı yüksek dayanımı, mekanik özelliklerinin iyi oluşu ve düşük maliyeti olarak belirtilebilir.

Polipropilen elyafın ticari olarak ilk üretimini yapan firma Montecatini Co.'dur. Polipropilen elyaf teknolojisi ve kullanımına göre, mono ve multifilament, kesikli elyaf, dokusuz yüzey uygulamaları, dar dokuma ve film yarma tekniğiyle oluşturulan şerit veya elyaf olarak dört kategoriye ayrılır [34].

Polipropilen elyafın temel kullanım alanları, halılar, döşemelik kumaşlar, battaniye, hijyen ürünleri, dar dokumalar (çanta sapı gibi), halatlar, ev tekstili, spor kıyafetler, jeotekstiller, çuvallar, otomotiv endüstrisi ürünleri, çoraplar, çeşitli koruyucu kıyafetler, ameliyat ipleri, bandajlar ve bebek bezleridir [33, 34].

İnce polipropilen iplikler balık ağı yapımında da kullanılır. Hafifliği, yumuşak tutumu (tuşesi) ve ezildikten sonra yeterli geri dönebilme özellikleri sayesinde polipropilenin en fazla kullanım alanlarından bir tanesi halı havıdır. Kuru temizleme için uygun olmayan polipropilenin halen en belli başlı giyim ürünü termal iç çamaşırları ve çoraplardır [41].

BÖLÜM 3. BOYAMA

3.1. Işık ve Renk

Işık, yüksek hıza sahip elektromanyetik dalgalar şeklinde olan enerji çeşidi olarak tanımlanabilir. Elektromanyetik dalgalar, dalgaların tepe noktaları arasındaki uzaklığı ifade eden dalga boyu ve belirli bir sürede belirli bir noktadan geçen dalga sayısını ifade eden frekans özellikleri ile karakterize edilirler. Dalga boyu ile frekansın çarpımı dalganın hızını verir. Bu belli bir ortam için sabit bir değerdir [42].

İnsan gözü görünür bölge olarak adlandırılan ve dalga boyu 400-750 nm arasında olan elektromanyetik dalgaları algılayabilir [42, 43].

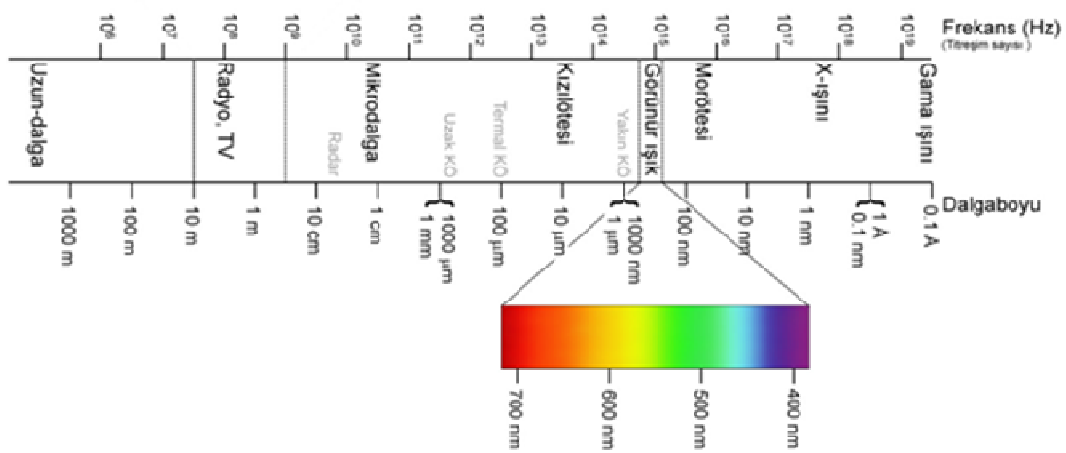
Rengin algılanmasının üç aşaması vardır ve bunların her biri çok sayıda karmaşık prosesler içerir.

1. Göze gelen renkli ışığın gözün retina kısmında yer alan hassas hücreler tarafından absorplanması
2. Sinir uyarılarının retinadan beyne göz sinirleri aracılığıyla iletilmesi
3. Görme korteksine ulaşan bu sinyallerin yorumlanması [42].

Güneş ışığı bir prizmadan geçirilerek bir beyaz ekran üzerine düşürülürse kırmızı, turuncu, sarı, yeşil, mavi ve mor renk tonlarına ayrılır. Elde edilen bu renk serisine renk spektrumu veya tayf adı verilir. Bu renk serisi bir prizma yardımıyla yeniden toplanırsa beyaz ışık elde edilebilir [43].

Eğer bir cisim üzerine düşen ışığın tamamını yansıtıyorsa beyaz, ışığın tamamını absorplayıp hiç yansıma yapmıyorsa siyah görünür. Cisim üzerine düşen beyaz ışıktan belli dalga boyundaki bazı ışık veya ışıkları absorpluyorsa beyaz ışıktan geri

kalanları yansır ve bu yansıyan ışıkların dalga boyuna bağlı olan bir renkte görünür. Spektrumda birbirleri ile karışmaları durumunda beyaz rengin elde edilebildiği renklere komplementer (tamamlayıcı) renk adı verilir. Örneğin beyaz ışıktan sarı absorplanırsa mavi görünür. Bu sebeple mavi ve sarı komplementer renklerdir. Cismin beyaz ışıktan absorpladığı ışığın dalga boyu ile cismin görünen rengi aşağıdaki tabloda gösterilmiştir [43, 44].



Şekil 3.1. Elektromanyetik spektrum [58]

Tablo 3.1. Işık absorpsiyonu ve renk [44]

Dalga boyu (nm)	Absorplanan ışığın rengi	Yansıyan ışığın fark edilen rengi
400-440	Mor	Sarımsı yeşil
440-480	Mavi	Sarı
480-490	Yeşilimsi mavi	Turuncu
490-500	Mavimsi yeşil	Kırmızı
500-560	Yeşil	Morumsu kırmızı (eflatun)
560-580	Sarımsı yeşil	Mor
580-595	Sarı	Mavi
595-605	Turuncu	Yeşilimsi mavi
605-750	Kırmızı	Mavimsi yeşil

3.2. Renk Teorileri

Bir boyarmaddenin herhangi bir boyama metoduyla tekstil boyamada kullanılabilmesi için bizzat renkli olması ve elyaf ile sıkı sıkıya birleşebilmesi

gerekir. Renklilik ve elyaf üzerine bağlanabilmek, birbirinden tamamen ayrı olan ve birbiriyle hiçbir ilişkisi bulunmayan iki ayrı özelliktir. Elyaf üzerine bağlanabilmek, gerek renkli bileşiğin gerekse elyafın bileşimine olduğu gibi uygulanan boyama metoduna da bağlıdır [43,44].

Maddenin kimyasal yapısı ile renklilik arasındaki ilişki çok eski yıllardan beri araştırılmıştır. 1869'da Graebe ve Liebermann indirgen maddelerin hemen her zaman organik maddelerin renklerini giderdiğini görerek renkliliğin doymamışlıkla ilişkisi olduğu sonucunu çıkardılar. Bugün hala diğer nedenler arasında renklilik en çok doymamışlıkla atfedilmektedir.

1876'da Witt nitro, nitrozo, azo, karbonil, etilenik çift bağ, tiyokarbonil gibi çifte bağlı grupların renklilik sağladığını öne sürdü. Bu gruplara kromofor yani renk verici gruplar adını verdi. Bu grupları taşıyan bileşiklere de kromojen dedi. Molekülde kromofor grup sayısının artması rengin koyulaşmasına neden olmakla beraber, kromofor bir grup içeren, örneğin azobenzen gibi bir madde teknik bir boyarmadde olmaktan çok uzaktır. Witt'e göre bir kromojenin boyarmadde karakterini alabilmesi için molekülde kromofordan başka oksokrom denilen amino, substitue amino, hidroksil, metoksil, sülfonik ve karboksil gruplarının da bulunması gerekir. Birçok durumlarda oksokromlar sadece renk oluşmasında kromoforu tamamlamakla kalmayıp, molekülün suda çözünmesini ve elyafa karşı afiniteye sahip olmasını da sağlarlar. Witt'in kromofor-oksokrom teorisi bütün renk olaylarını açıklamakta yeterli değildir. Çünkü bu teori bir grubun kromofor özellik gösterebilmesi için yapısında aranan koşulların ve kromofor gruplarla oksokrom gruplar arasındaki kimyasal etki ve ilişkilerin neler olduğunu açıklamaktan uzaktır [42, 43, 44].

Bundan sonraki gelişmeler birbirinden tamamen farklı iki yoldan yürümüştür. Birinci yol Willsatter'in merikinoid teorisi, ikinci yol ise Dilthey ve Wizinger'in koordinatif doymamışlık ve iyonlaşma teorisidir. 1888'de H.E.Armstrong renklilik hakkında kinonoid teorisini ortaya attı. Armstrong, bütün kinonların renkli olup benzoid yapısına indirgendiklerinde rengin kaybolmasına dayanarak kinon halkasını kromofor kabul etmiş ve bütün boyarmaddelerde kinoid bir atom sıralanışının bulunması gerektiğini ileri sürmüştür [42, 43, 44].

Moleküllerdeki elektronlar değişik enerji seviyelerinde bulunabilirler. Normal sıcaklık ve basınç koşullarında en düşük seviyede yani esas durumdadırlar. Enerji absorplayarak daha yüksek enerji seviyelerine yani uyarılmış duruma getirilebilirler. En düşük enerji seviyesi E_0 daha yüksek enerji seviyeleri $E_1, E_2, E_3...$ ile gösterildiğinde uyarılmış durumda bulunan bir molekülde elektronlar tarafından absorbe edilen ışık enerjisi her iki orbitalin enerji seviyeleri arasındaki farka eşittir.

$$\Delta E = E_n - E_0 = h\nu \quad (3.1)$$

Burada h : Planck sabiti ν : absorplanan ışığın frekansını göstermektedir. Frekans ile dalga boyu ters orantılı olduğundan absorplanan enerji ne kadar büyük olursa absorbe edilen ışığın dalga boyu o kadar kısa olur. Yalnız σ elektronlarından oluşan tek bağlı elektron sistemlerini içeren doymuş bileşikler özellikle doymuş hidrokarbonlar Schumann ultraviyole alanı denilen ve dalga boyu 120-190 nm olan alanda doymamış absorpsiyon yaptıklarından göze renksiz görünürler. Buna karşılık molekülerinde π elektronlar içeren maddelerde bu elektron sistemleri daha az enerji ile uyarılabildiklerinden absorplanan enerji küçük dolayısıyla dalga boyu büyük olur. Kısacası doymamış bileşikler ve boyarmaddeler kuvarz ultraviyole (dalga boyu 190-400 nm arasında olan) ve görünür bölge (dalga boyu 400-800 nm arasında olan) alanda absorpsiyon yaparlar. Sonuç olarak esas durumla uyarılmış durumları arasındaki enerji farkının oldukça küçük olduğu moleküllere sahip bileşikler göze renkli görünürler [42, 43, 44].

Moleküler orbital teorisine göre konjuge çifte bağ sistemi içeren bir molekülde π elektronları karbon zinciri boyunca uzanan bir bulut oluştururlar. Konjuge zincirin uzaması π orbitalleri arasındaki enerji aralıklarının azalmasına ve sayılarının artmasına neden olduğundan konjuge zincir ne kadar uzunsa elektronları uyarılmış duruma geçirmek için gereken enerji o kadar az olur ve absorplanan ışığın dalga boyu da o kadar büyük olur [43,44].

Bir bileşiğin renkli olabilmesi için yapısal şartlar şu şekilde belirtilebilir:

1. Molekülde π elektronlarının varlığı ve yeterli sayıda olması
2. Konjuge çift bağlar
3. Kromoforlar ve oksokromlar

3.3. Boyama Kinetiği

Pek çok tekstil boyama prosesi başlangıçta boyarmaddenin sulu çözeltiden elyafın yüzeyine geçişini içerir. Bu olay adsorpsiyondur. Boyarmadde molekülleri daha sonra elyafın içine difüzenir. Bu elyafın iç yapısına bağlı olarak polimer molekülleri arasına veya boşluklara geçiş şeklinde olur. Bu adım yani difüzyon, hızı belirleyen basamaktır. Adsorpsiyon ve boyarmaddenin elyafın içine nüfuz etmesi olaylarının bütününe absorpsiyon denir [9, 42]. Boyarmaddenin elyafa difüzenmesi boya banyosunun pH'ına, sıcaklığına ve kullanılan yardımcı kimyasallara bağlıdır [9]. Absorpsiyon tersinir bir prosestir. Materyalin yıkanması esnasında boyarmadde sulu ortama geri dönebilir. Bu durum desorpsiyon olarak tanımlanır. Direkt absorpsiyondan başka, elyafın boyanması boyarmaddenin elyafın içinde çöktürülmesini veya elyafı boyarmadde arasında kimyasal bir reaksiyonu da içerebilir. Bu iki yöntem tersinmez prosesler olduğundan daha iyi yıkama haslıği ile sonuçlanırlar [42].

Boyamanın en yavaş basamağı olan difüzyonun kinetik açıdan incelenmesi ile boyama kinetiğinin belirlenmesi pek çok araştırmacı tarafından çalışılmıştır. Boyarmaddenin elyaf içerisine difüzyonu Fick yasası tarafından tanımlanır. İkinci Fick yasasına göre, elyafın birim alanına difüzlenen boyarmadde akısı (J , mol/m²s), bu alandaki konsantrasyon gradyenti (dC/dx , mol/m³m) ve difüzyon katsayısı (D , m²/s) ile doğru orantılıdır [42].

$$j = -D \frac{dC}{dx} \quad (3.2)$$

Difüzyonun r yarıçapındaki sonsuz uzunluktaki bir silindir (ya da filament) içerisine olması durumu Hill denklemleri ile açıklanabilir.

$$\frac{M_t}{M_\infty} = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4}{q_n^2} \exp\left(-q_n^2 \frac{Dt}{r^2}\right) \quad (3.3)$$

Denklemden M_t , t zamanında elyaf üzerindeki boyarmaddenin miktarını, M_∞ dengede elyaf üzerindeki boyarmaddenin miktarını, D difüzyon katsayısını, r ise elyafın yarıçapını ifade etmektedir. q_n sıfırıncı derece Bessel fonksiyonunun pozitif köklerini göstermektedir [45].

$Dt/r^2 \ll 1$ olması durumunda Denklem 3.3 Crank denklemi olarak bilinen Denklem 3.4'e indirgenir [46].

$$\frac{M_t}{M_\infty} = 4\sqrt{\frac{Dt}{\pi r^2}} \quad (3.4)$$

M_t/M_∞ değerlerinin \sqrt{t} değerlerine karşılık grafiğe geçirilmesiyle elde edilen lineer doğrunun eğiminden difüzyon katsayısı değeri tespit edilebilir [46].

Deneysel olarak M_∞ değerlerinin tespit edilebilmesi uzun deney sürelerini gerektirebilir. Bu uzun boyama süresi içerisinde boyarmaddenin ve elyafın bozunması ihtimali sebebiyle deneysel olarak M_∞ değerlerinin tespit edilebilmesi güçtür. Bu sebeple M_∞ değerinin matematiksel ifadelerle elde edilebilmesine yönelik çalışmalar literatürde mevcuttur [45,47]. Shibusawa hidrofobik liflerin dispers boyarmaddeler ile boyanmasında difüzyon katsayılarının tespit edilebilmesi için Hill denklemini aşağıdaki şekilde tekrar düzenlemiştir.

$$\frac{M_t}{M_\infty} \approx P_1\left(\frac{Dt}{r^2}\right)^{1/2} - P_2\left(\frac{Dt}{r^2}\right) \quad (3.5)$$

Bu denklemdeki P_1 ve P_2 polinomun katsayılarıdır ve deneme yanma yoluyla aşağıdaki tabloya uygunluklarına göre belirlenirler.

Tablo 3.2. M_∞ değerinin hesaplanmasında kullanılan katsayılar

Aralık	P_1	P_2	$\Delta\left(\frac{M_t}{M_\infty}\right)$
$0 < \frac{M_t}{M_\infty} < 0.6$	2.271	1.122	± 0.0005
$0 < \frac{M_t}{M_\infty} < 0.7$	2.277	1.150	± 0.001
$0 < \frac{M_t}{M_\infty} < 0.8$	2.297	1.222	± 0.002
$0 < \frac{M_t}{M_\infty} < 0.9$	2.331	1.352	± 0.005

$\Delta(M_t/M_\infty)$ Hill denkleminin yeniden düzenlenmesi ile orijinal halinden farkını ifade etmektedir. Deneysel M_t değerlerinin $t^{1/2}$ 'ye karşı grafiğe geçirilmesiyle ikinci dereceden bir polinom denklemi elde edilebilir.

$$M_t \approx A_0 + A_1 t^{1/2} + A_2 t \quad (3.6)$$

Bu polinomun katsayıları ve seçilen P_1 ve P_2 katsayılarıyla M_∞ değeri ve difüzyon katsayısı aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanabilir.

$$M_\infty \approx \frac{A_1^2 P_2}{A_2 P_1^2} \quad (3.7)$$

$$\left(\frac{D}{r^2}\right)^{1/2} \approx \frac{A_2 P_1}{A_1 P_2} \quad (3.8)$$

Seçilen P_1 ve P_2 değerlerine bağlı olarak Denklem 3.7'den hesaplanan M_∞ değeri ile deneysel değerlerin oranının, M_t/M_∞ , seçilen P_1 ve P_2 değerlerinde belirtilen aralığa uymaması durumunda yeniden seçim yapılarak işlemler tekrarlanır [45].

Bu şekilde difüzyon katsayısı belirlenen aralık için ortalama bir değer olarak hesaplanabilirken, aşağıdaki denklemler vasıtasıyla belirlenen aralıktaki her bir

zaman değeri için de ayrı ayrı hesaplanıp ortalama bulunabilir. Böylece daha hassas değerler elde edilebilir [45].

$M_t/M_\infty < 0.855$ olması durumunda,

$$\left(\frac{Dt}{r^2}\right)^{1/2} \approx \frac{0.44292M - 0.480014M^2 + 0.069127M^3}{1 - 1.282686M + 0.31912M^2} \quad (3.9)$$

$0.855 < M_t/M_\infty < 0.998$ olması durumunda,

$$\left(\frac{Dt}{r^2}\right)^{1/2} \approx \left\{ -\frac{0.36839 + \ln(1-M)}{5.7836} \right\}^{1/2} \quad (3.10)$$

$$M = M_t/M_\infty \quad (3.11)$$

Kubelka-Munk teorisine göre boyanmış bir tekstil materyali üzerindeki boyarmaddenin konsantrasyonu ile K/S değerleri arasında lineer bir ilişki vardır. Bu durumda M_t/M_∞ değerleri yerine $(K/S)_t / (K/S)_\infty$ değerleri kullanılabilir [48].

3.4. Rengin Ölçümü

Herhangi bir rengin sayısal değerlerden yararlanılarak yapılan ölçümü ve değerlerin başka yer ve zamanda karşılaştırılması işlemi kolorimetri olarak tanımlanır [43, 49]. Herhangi bir rengin belirlenebilmesi farklı yöntemler kullanılabilir.

3.4.1. Ostwald renk sistemi

Ostwald renk sistemi 1914 yılında Alman bilim adamı Wilhelm Ostwald (1852-1932) tarafından geliştirilmiştir. Renklerin bir çember üzerine düzenli olarak sıralandığı, ortaya doğru, yani dairenin merkezine doğru rengin grileştiği ve tümünün aşağı doğru koyulaşıp, yukarı doğru açıldığı düşünülerek, renk çemberi boyunca taban tabana birleşmiş iki koniden oluşmuş geometrik bir yapıya sahiptir. Ostwald

renk sisteminde 4 temel renk, 8 tonlama vardır. Ana renkler sarı, deniz mavisi, kırmızı ve deniz yeşilidir. Bunlarda kendi aralarında 24 renk oluşturacak şekilde daire üzerinde yer alırlar [50].

3.4.2. Munsell renk sistemi

Munsell renk sistemi, 1905 yılında Amerikalı Albert H. Munsell (1858-1918) tarafından geliştirilmiştir. Bu sistemin esası, bir rengin görsel özelliklerinin üç bileşenle tanımlanabileceği ve herhangi bir bileşenin eşit adımlarının, eşit görsel algılama adımlarına karşılık geleceği düşüncesine dayanmaktadır. Söz edilen üç bileşen renk adı (H: hue), değer (V: value) ve doygunluktur (C: chroma). Renk adı (H): Bir rengi ötekilerden ayırt eden niteliktir. Munsell renk sisteminde 5 ana renk (kırmızı, sarı, yeşil, mavi, mor) vardır. Bunların arasında ise 5 yardımcı renk (sarı-kırmızı, yeşil-sarı, mavi-yeşil, mor-mavi, kırmızı-mor) vardır. Değer (V): açık bir rengi koyu bir renkten ayırt etmeyi sağlayan bileşendir. Doymunluk (C): Bir rengin aynı değerdeki renk tonu olmayan (siyah beyaz arası) bir renkten ayırım derecesini belirleyen niteliğidir. Bir renk griden uzaklaştıkça doymunluğu artar, griye yaklaştıkça doymunluğu azalır. Tam grinin doymunluğu 0'dır [51].

3.4.3. CIELab renk uzayı

Tekstil endüstrisinde renk ölçümü için yaygın olarak kullanılan CIELab renk uzayı Munsell renk sistemi üzerine kuruludur. CIELab renk uzayının bileşenleri değer (L: lightness), tonlama ve doymunluk (a, b) tür. L, bir rengin açıklığını-koyuluğunu, a ve b ise rengi oluşturmaktadır. a*, CIELab renk uzayında kırmızı-yeşil eksenidir. +a, kırmızı yönünü, -a, yeşil yönünü göstermektedir. b*, CIELab renk uzayında sarı-mavi eksenidir. +b, sarı yönünü, -b ise mavi yönünü göstermektedir. İki renk birbiriyle karşılaştırılırken ΔE toplam renk farklılığının genliğini ifade eder ve şu formülle hesaplanır [52].

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (3.12)$$

3.4.4. Kubelka-Munk teorisi

Kubelka-Munk denklemi boyanmış bir tekstil materyalinin renginin ölçümü için geliştirilmiş matematiksel ifadelerden en önemlisidir. Boyanmış bir materyal için belirli bir dalga boyunda reflektans değerlerinin konsantrasyon değerlerine karşı çizilmesiyle elde edilen grafik lineer olmaktan çok uzaktır. Ancak Kubelka-Munk denklemi ile enstrümantal olarak eşleştirme yapabilmek için gerekli lineer ilişki kurulmuş olur [53].

Kubelka-Munk denklemi:

$$\frac{K}{S} = \frac{(1-R)^2}{2R} \quad (3.13)$$

K/S saçılım katsayısıdır ve boyarmadde konsantrasyonuyla direkt ilişkilidir. R ise maksimum absorpsiyondaki dalga boyunda kumaşın reflektansıdır [33, 53]. Kumaş üzerindeki boyarmaddenin konsantrasyonu üç yöntemle belirlenebilir [33]:

1. Çözeltideki boyarmaddenin konsantrasyonunun zamanla azalmasının ölçümüyle (ultraviyole spektroskopisiyle)
2. Belirli bir zaman süresince boyanmış kumaştaki boyarmaddenin uygun bir çözücüde ekstraksiyonu ve bu yeni çözeltinin ultraviyole spektroskopisiyle analiziyle
3. Boyanmış kumaşın reflektans değerlerinin ölçümü ve Kubelka-Munk denkleminin uygulanmasıyla

3.5. Renk Haslıkları

Renk haslığı, bir tekstil materyalinin renginin üretim ve kullanılma esnasında karşılaştığı çeşitli etkenlere karşı gösterdiği direnme gücü şeklinde tanımlanır. Bir boyarmaddenin haslığı ışık, su, ter gibi belirli bir etkene karşı farklılık gösterebileceği gibi boyarmaddenin uygulandığı materyale göre de farklılık gösterir. Örneğin bir boyarmaddenin haslığı yün üzerinde düşük, fakat orlon üzerinde yüksek

olabilir. Ya da ışığa karşı yüksek, fakat tere karşı düşük haslık değerinden bahsedilebilir [44]. Renk haslıkları genel olarak iki açıdan incelenir:

3.5.1. Kullanılma esnasında istenen haslıklar

Işık, yıkama, sürtünme, deniz suyu, ter, çözücü, ütüleme haslıkları bu bağlamda değerlendirilir [44].

3.5.2. Üretim esnasında istenen haslıklar

Daha sonra karbonize, merserize, yıkama gibi terbiye işlemlerine tabi tutulacak mamüllerin boyanmasında aranan haslıklardır. Bunlar asit, alkali, soda, pişirme, klor, kükürt, tuz, kaynatma haslıkları olabilir. Mamülün daha sona göreceği işlemler göz önüne alınarak boyarmadde seçimi yapmak önem taşır [44].

Boyanmış tekstil materyali üzerinde yapılan testlerden elde edilen veriler boyamanın haslık değerlendirilmesi hakkında bilgi verir. Renk haslığı testlerinin değerlendirilmesinde deney sonuçlarının saptanması için gerekli derecelere sahip gri skalalar kullanılır. Gri skala üzerinde derece derece koyulaşan gri renkler içerir. Işık haslığı 8, diğer bütün haslıklar 5 ölçeği üzerinden değerlendirilir. Boyanmış tekstil materyali biri kendisiyle aynı, diğeri farklı cinsten iki tekstil materyaliyle sıkıca temasta olarak üretim veya kullanılma esnasında rastlayacağı koşullar altında çeşitli maddelere etki ettirilir. Boyalı örnekte meydana gelen renk değişikliği ve boyanmamış örneklerin lekelenme dereceleri gri skalalar yardımıyla değerlendirilir. Buna göre 1 en düşük haslığı 5 ise en yüksek haslığı ifade eder [44].

Günümüzde renk haslığının belirlenmesi testlerinde boyalı örneğe değişik elyaflardan mamül bir multifiberin sıkıca temasta bulundurulmasıyla haslık testleri yapılmakta ve örneğin diğer elyafları lekelemesi tespit edilmektedir. Multifiber; yün, akrilik, polyester, poliamid, pamuk ve asetat liflerinden hazırlanmıştır [53].

Yıkama haslığı testi, ISO standartlarına göre haslığı tespit edilecek materyal ile sıkıca temasta bulunan multifiberin yıkama makinasında flotte oranı 1:50 olacak

şekilde 50 °C sıcaklıkta 30 dakika süreyle yıkanmasıyla gerçekleştirilir. Yıkama esnasında kullanılacak deterjan en çok %0.3 oranında serbest alkali (Na_2CO_3 cinsinden hesaplanmış) içermelidir ve toplam yağlı madde miktarı en çok %85 olmalıdır. Yıkamadan sonra örnekler önce soğuk destile su ile iki kere sonra akar musluk suyu ile 10 dakika çalkalanır ve sıkıldıktan sonra 60°C sıcaklıktaki havada kurutulur. [44].

3.6. Boyarmaddeler

Boyarmadde, kendiliğinden veya uygun reaksiyonların ardından birlikte işleme girdiği ürünün rengini değiştiren kimyasal bileşik olarak tanımlanabilir. Bitkisel ve hayvansal kaynaklardan elde edilen doğal boyarmaddeler olmakla birlikte tekstil kullanımında önem kazanmış pek çok boyarmaddenin sentetik boyarmaddelerden elde edildiği bilinmektedir. Boyarmaddeler elyafa hidrojen bağları, Van der Waals bağları, elektrostatik ve koordinatif bağlar gibi fiziksel veya kovalent bağlar gibi kimyasal bağlarla bağlanırlar [54].

Boyarmaddeler çözünürlük, kimyasal yapı, boyama özellikleri, kullanılış yeri gibi çeşitli özelliklere göre sınıflandırılabilirler [44].

Kimyasal yapısına göre boyarmaddeler şu şekilde sınıflandırılabilir:

1. Azo boyarmaddeleri
2. Nitro ve nitrozo boyarmaddeleri
3. Polimetin boyarmaddeleri
4. Aril metin boyarmaddeleri
5. Karbonil boyarmaddeleri
6. Kükürt boyarmaddeleri

Çözünürlüklerine göre ise boyarmaddeler:

1. Suda çözünen boyarmaddeler
 - a. Anyonik suda çözünen boyarmaddeler

- b. Katyonik suda çözünen boyarmaddeler
- c. Zwitter iyon karakterli suda çözünen boyarmaddeler
- 2. Suda çözünmeyen boyarmaddeler
 - a. Substratta çözünen boyarmaddeler
 - b. Organik çözücülerde çözünen boyarmaddeler
 - c. Geçici çözünürlüğü olan boyarmaddeler
 - d. Polikondensasyon boyarmaddeleri
 - e. Elyaf içinde oluşturulan boyarmaddeler
 - f. Pigmentler

Daha yaygın bir sınıflandırma boyarmaddelerin boyama özelliklerine göre yapılır. Buna göre:

1. Bazik (katyonik) boyarmaddeler
2. Asit boyarmaddeler
3. Direkt (substantif) boyarmaddeler
4. Mordan boyarmaddeler
5. Reaktif boyarmaddeler
6. Küpe boyarmaddeleri
7. İnkişaf boyarmaddeleri
8. Metal-kompleks boyarmaddeler
9. Kükürt boyarmaddeleri
10. Dispers boyarmaddeler
11. İndigo boyarmaddeleri
12. Pigment boyarmaddeleri

Bu çalışmada dispers boyarmadde kullanılarak boyama çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

3.6.1. Dispers boyarmaddeler

Dispers boyarmaddeler, hidrofob karakterli, suda çözünmeyen (aslında çok az çözünürlük gösteren) boyarmaddelerdir [38, 44, 54]. Bu boyarmaddeler ilk olarak

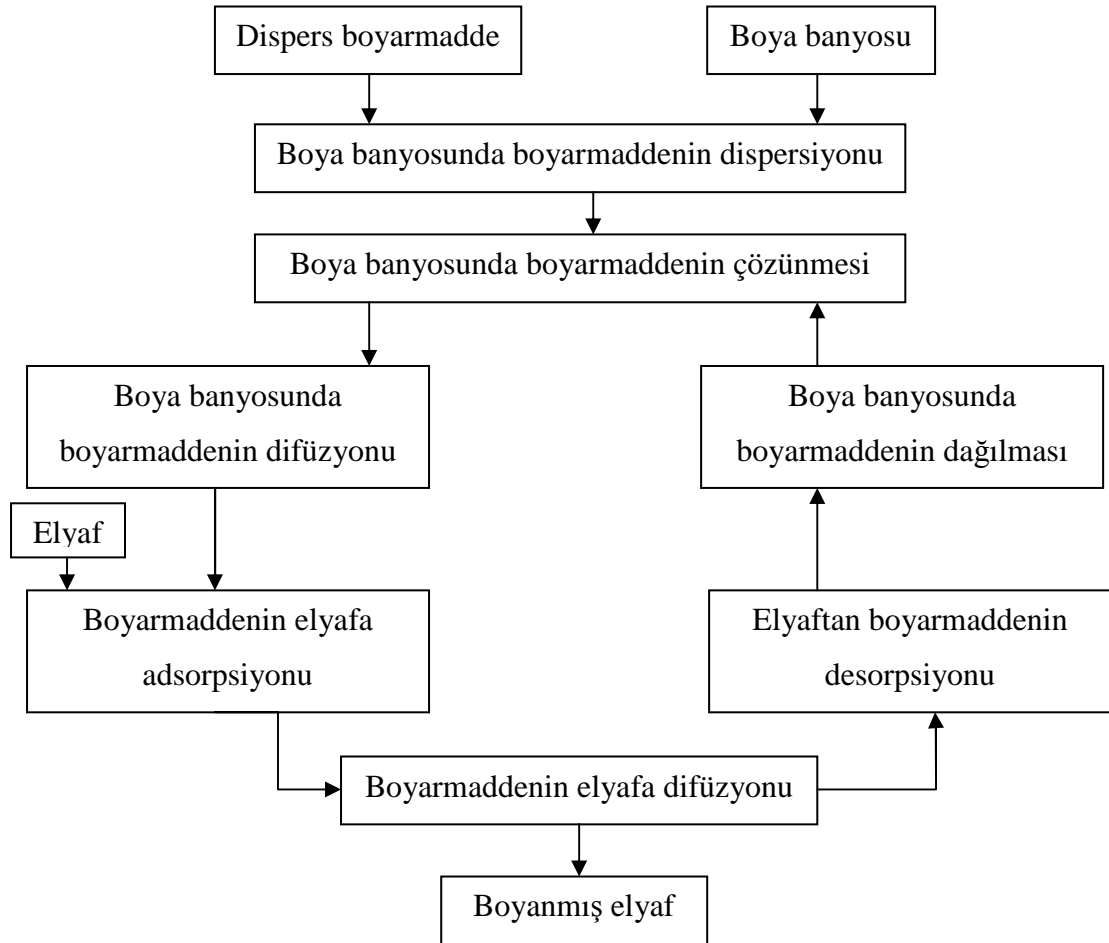
1920'lerde asetat lifleri için geliştirilmişlerdir ve günümüzde polyester elyafın büyük çoğunluğunu boyamakta kullanılırlar. Dispers boyarmaddeler ile ilgili ilk çalışmayı Green ve Saunders yapmıştır. Bu boyarmaddelerin önemi ve kullanımını polyester ve akrilonitril gibi sentetik elyafların keşfi ile artmıştır [42, 53, 54]. İlk dispers boyarmaddeler sülfatlanmış risinoleik asidin sodyum tuzlarının su içerisinde dispers edilmesiyle oluşan azo ve antrakınon bileşikleridir [42]. Aynı zamanda aminobenzen, nitrofenil diamin ve benzo difuranon türevi dispers boyarmaddeler de mevcuttur [38]. Azo dispers boyarmaddeler heterosiklik birimler ve siyano substituentleri içerirler. Antrakınon dispers boyarmaddeler ise genellikle 1-hidroksi veya 1-amino türevleridir. Basit antrakınon dispers boyarmaddeler azo dispers boyarmaddelere kıyasla daha düşük molar absorpsiyona sahip olduklarından boyamalarda renk şiddetleri daha düşüktür. [42].

Sentetikler ve asetatlarda molekül grupları diğer tekstil liflerine göre daha yoğundur. Bu lifler hemen hemen hiç nem çekmezler. Bu sebeple dispers boyarmaddeler dışındaki boyarmaddeler bu liflere nüfuz edemediklerinden kullanılamazlar [54].

Dispers boyarmaddelerin çoğunluğunun düşük molekül kütleli mono azo ve antrakınon türevleri oldukları söylenebilir. Boyarmadde molekülünde genellikle hidroksi etil amino grupları ($\text{NHCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$) gibi polar substitüentler yer alır. Bunlar boyama için gerekli olan az miktarda suda çözünebilmeyi sağlarlar. Bu polar grupların su ile etkileşimi dipol etkileşimleri ve hidrojen bağları şeklinde olur. Dipol etkileşimleri ve hidrojen bağları ve aynı zamanda dispersiyon kuvvetleri boyarmadde moleküllerinin elyafın polar gruplarına bağlanmasını sağlar [42].

İyonik yapıda olmayan dispers boyarmaddeler oda sıcaklığında suda çözünmezler ve sıcaklığın artmasıyla molekül yapılarındaki polar substituentler sayesinde suda kısmi çözünürlük gösterirler. Bu boyarmaddeler isimlerinin de belirttiği şekilde boya banyosunda dispers edici maddelerin (dispersant) varlığında ince süspansiyonlar halinde bulunurlar [42, 53]. Su boyarmaddenin küçük bir kısmını monomoleküler şekilde çözer. Hidrofobik lifler boyarmaddeyi çözültiden absorplar. Boyama süresince az bir miktar boyarmadde monomoleküler şekilde çözelti içerisinde bulunur. Boyarmaddenin çözünürlüğü lif içerisinde su içerisinde olduğundan daha

fazla olduğu için boyanma mümkün olur. Bunlar düşük molekül kütleli iyonik olmayan organik bileşikler olduklarından ısı ile pek çoğu süblimleşebilir. Bu şekilde boyarmadde buharının absorpsiyonu ile de boyama mümkündür [38, 42, 53]. Elyaf üzerindeki boyarmaddenin konsantrasyonunu (C_f) çözeltildeki boyarmaddenin konsantrasyonunun (C_s) bir fonksiyonu olarak gösteren boyama izotermi lineer Nernst tipidir. İzotermi lineer kısmının son noktası boyarmaddenin lif ve su içerisindeki çözünürlük sınırlarını verir. Bu noktanın ötesinde boyarmadde ile doymuş elyaf, doymuş çözelti ile dengededir. İzotermi eğiminden partitasyon katsayısı (C_f/C_s) bulunabilir [42, 53]. Dispers boyarmaddelerin sudaki çözünürlükleri sıcaklığın artmasıyla artar. Bu sebeple yüksek sıcaklıklarda boyama veriminin arttığından bahsedilebilir. Dispers boyarmaddelerin elyafları solid çözünme mekanizması denilen ve kimyasal değişim içermeyen bir şekilde boyadıkları düşünülmektedir [38]. Dispers boyarmaddelerle genel boyama mekanizması Şekil 3.3'de görülebilir [55].



Şekil 3.3. Dispers boyarmaddeler ile boyama mekanizması [38]

Dispers boyarmaddeler toz halde, granül halinde, renk pastası halinde ve sulu şekilde bulunabilir. Çapı 1 µm'den küçük mikro boyarmadde molekülleri ve dispers edici madde (dispersant) içerirler. Pek çok dispersant iyonik ve iyonik olmayan bileşiklerin karışımı şeklindedir. [38, 42].

Boya banyosuna tuz ilavesi boyarmadde partiküllerinin yüzeyindeki anyonik dispersant tabakasını etkileyerek istenmeyen partikül topaklanmalarına sebebiyet verir [42].

Boyamadan sonra elyaf üzerinde kalabilecek dispers boyarmaddelerin ortaya çıkarabileceği sorunları en aza indirebilmek amacıyla sodyum hidroksit, sodyum ditiyonit (hidrosülfid) ve yüzey aktif madde ile redüktif yıkama yapılır. Diester ve tiyofen azo türevi gibi bazı dispers boyarmaddeler için yalnızca alkali ile yıkama da yeterlidir [38].

Dispers boyarmaddelerle boyanan sentetik ve asetat elyafın yıkama ve ışık haslıkları iyi seviyededir [42].

3.6.2. Elyaf türlerine uygun boyarmaddeler

Tablo 3.3'de elyaf cinslerine göre kullanılacak boyarmaddeler verilmiştir [38].

Tablo 3.3. Elyaf cinsine göre kullanılacak boyarmaddeler [38]

Boyarmadde	Elyaf türü
Asit boyarmaddeler	Yün, ipek, poliamid (naylon 6, naylon 66)
Mordan boyarmaddeler	Yün
Azo boyarmaddeler	Selülozik elyaf (pamuk)
Direkt boyarmaddeler	Selülozik elyaf (pamuk, viskoz, yapay ipek, liyosel), keten, rami, jüt
Reaktif boyarmaddeler	Selülozik elyaf (pamuk, viskoz, yapay ipek, liyosel), protein elyaf (yün, ipek)
Kükürt boyarmaddeler	Selülozik elyaf (pamuk)
Küpe boyarmaddeler	Selülozik elyaf (pamuk, keten)
Bazik boyarmaddeler	Akrilik, modakrilik, aramid
Dispers boyarmaddeler	Polyester, selüloz triasetat, sekonder selüloz asetat, poliamid, akrilik, modakrilik, polipropilen, aramid

3.7. Tekstil Elyafın Boyanmasıyla İlgili Bazı Terimler

Tekstil boyama alanında sıklıkla kullanılan bazı terimler aşağıda açıklanmıştır [44].

Flotte oranı: 1 kg materyalin boyanması için gerekli olan boyama banyosunun litre cinsinden hacmidir. 1/1, 1/3, 1/5 ve 1/10 kısa flotte, 1/50, 1/100 ise uzun flotte olarak bilinir.

Boya banyosu: Boyama işlemi esnasında boyanacak elyafın içine konulduğu, boyarmadde ve yardımcı kimyasalları içeren çözeltilidir.

Çektirme oranı: Belirli aşamada tekstil materyali tarafından alınan boyarmadde miktarı ile başlangıç miktarı arasındaki orandır.

Dispergator: Boyarmaddenin düzgün olarak dağılmasını, bir yerde toplanmamasını sağlayan maddedir.

Egalizatör: Dispergator gibi görev yapar. Boyanın kumaş üzerinde düzgün dağılımını sağlar.

Fiksator: Boyarmaddenin kumaş yüzeyine tutunamaması durumlarında kullanılır. Kumaş yüzeyini bir sır tabakası gibi kaplayan fiksator kumaştan boya akmasını sağlar.

Renk haslığı: Boyalı ve baskılı tekstillerin, üretimi, kullanımı ve bakımı sırasında karşılaştıkları çeşitli etkilere karşı koyabilme özelliğidir.

Boyama şiddeti: 100 kg materyali boyamak için boyama banyosunda bulunan boyarmaddenin kg cinsinden kütlesidir.

Fularlama: Kumaşın açık durumda önce boya flottesinden, sonra sıkma silindirlerinden geçmesidir.

3.8. Boyama Yöntemleri

Tekstil elyafın boyanması esnasında boyarmadde moleküllerinin monomoleküler olarak elyafın kristalin olmayan (yada düzensizliği fazla olan) bölgelerine nüfuz ettiği düşünüldüğünden, yüksek kristaliniteye sahip olan polietilen, polipropilen, poli(tetrafloretillen) gibi elyafların boyanması güçtür. Bu tür elyafları boyayabilmek için elyafın camsı geçiş sıcaklığını düşürerek boyamaya yardımcı olan taşıyıcıların kullanıldığı taşıyıcı ile boyama, elyafın yüksek sıcaklıkta (130-140 °C) boyandığı HT boyama ve iplik çekiminden önce polimer eriyiğine renk verici pigmentlerin ilavesi ve iplik çekimiyle bunların polimerin kristalin bölgeleri arasına hapsolmesine dayanan kütle boyama teknikleri kullanılmaktadır [38].

Polipropilen elyafın renklendirilmesinde en çok kullanılan teknik kütle boyama tekniğidir.

3.8.1. Kütle boyama yöntemi

Günümüzde polipropilen elyafın renklendirilmesinde en çok başvurulan yöntem kütle boyama yöntemidir. Bu yöntemin esası iplik çekiminden önce pigmentlerin polimer eriyiği içerisine katılmaları ve iplik çekimiyle birlikte polimerin kristalin bölgeleri arasına hapsolmuş pigmentler sayesinde boyanmanın gerçekleşmesidir.

Kütle boyama tekniği yüksek haslık değerlerine sahip ürünler elde edilmesine imkan tanınmasına ve halen polipropilenin renklendirilmesinde en fazla kullanılan teknik olmasına rağmen, birçok yetersizliğe sahiptir. Bu yöntem;

1. Yalnızca büyük ölçekli üretim için uygundur,
2. Renk kromatogramındaki herhangi bir değişiklik için esnek değildir,
3. İplik çekiminden sonra rengin ayarlanması veya değiştirilmesi mümkün değildir.

Bu şekilde kütle boyama tekniği ile boyama ürün çeşitliliğini sınırlar ve kısa süreli üretimler (özel müşteri istekleri) karşısında yetersiz kalır [5,34].

Kütle boyama yönteminde anorganik pigmentler kullanılabileceği gibi daha çok organik pigmentler kullanılır. Kullanılan pigmentler taşıyıcı içerisinde dispers olmuş durumda, toz halde veya granül olarak piyasada mevcuttur ve “masterbatch” olarak bilinirler [4,38].

Masterbatchler içerdikleri taşıyıcıya göre şu şekilde sınıflandırılabilirler:

1. Taşıyıcının düşük molekül kütleli sıvı bileşik olduğu katı pastalar,
2. Taşıyıcının oda sıcaklığında katı bir bileşik olduğu katı pastalar,
3. Taşıyıcının boyanacak polimerin aynısı olduğu renk konsantreleri,
4. Pigment partiküllerinin dağılmasını sağlayan katkı malzemeleriyle hazırlanmış dispersiyonlar [34].

Organik pigmentlerde masterbatch içindeki pigment oranı %20-40 arasındayken, anorganik pigmentlerde yaklaşık %50'dir. Kütle boyama tekniği için pigment seçiminde etkili olan faktörler; pigmentin ısıl dayanıklılığı, dispers olabilme yeteneği, haslık değerleri (özellikle ışık haslığı) ve polimer eriğinde çözünebilme yeterliliğidir. İşlem sıcaklığının düşmesiyle kullanılabilecek pigmentlerin sayısı genişler. Kesikli elyaf ve dar dokumaların üretiminde daha düşük işlem sıcaklıkları kullanılır ve bunlar daha yüksek işlem sıcaklıkları gerektiren halı ipliği ve döşemelik kumaş üretimine göre daha fazla pigment seçeneğine sahiptir. Pigmentin dispers olabilme yeteneği renk verimini artırır. Ancak, rengin ışık haslığı yalnızca pigmentin kimyasal yapısına bağlı değildir. Aynı zamanda pigmentin ısıl kararlılığı ve polimer eriyiğindeki çözünebilirliği de önemlidir [4].

Polipropilenin boyanmasında kullanılan anorganik pigmentler Zn, Ti, Cd, Cr, Ni, Co, Pb, Mo gibi metallerin oksitleri, sülfürleri, selenürleri ve kromatlarıdır. Karbon siyahı da anorganik pigmentler grubunda ele alınır. Bunlar yüksek termal stabiliteye ve polimer içerisinde iyi dağılma özelliklerine sahiptirler. Organik pigmentler grubunda ise monoazopigmentleri, disazopigmentleri, perilen pigmentleri, antrakinin pigmentleri, ftalosiyanın pigmentleri ve florasans pigmentleri yer alır. Bunların termal stabiliteleri sınırlı olmakla beraber, içlerinden ftalosiyanın pigmentleri yüksek

termal stabilite ve haslık özelliklerine sahiptirler. Antrakinon pigmentleri de yüksek termal stabiliteye sahiptirler ancak dispers olmaları zordur [34].

Pigment konsantrelerinin hazırlanmasında taşıyıcıya ek olarak bir uyumlulaştırıcı (dispersant) kullanılır. Bu genellikle polipropilendir. Bazı konsantreler polietilen içerirler. Dispersantın görevi pigmentin polimerle ıslanabilirliğini arttırmak, pigmentin topaklanmasını engellemek, dispersiyonun reolojik özelliklerini geliştirmek ve heterojen sistemin kararlılığını arttırmaktır [34].

Konsantre dispersiyonlar polimere iki yolla eklenirler:

1. Direkt olarak ekstruder beslemesine hacim ya da kütle dozajlayıcı vasıtasıyla,
2. Ayrı bir ekstruderde konsantre eritilip homojenizasyonu sağlandıktan sonra eriyiğin polimer eriyiğine enjeksiyonu ile.

Gerekli olan renk şiddetine göre organik pigment kütlece %0.01-1.5 oranı arasında değişen oranda polimere eklenir. Aynı renk şiddetini elde edebilmek için kullanılması gereken anorganik pigmentin miktarı daha fazla, çözünebilir boyarmaddenin miktarı ise daha azdır. Ftalosiyanın pigmentleri gibi bazı pigmentler çekirdekleştirici gibi davranarak polimerin düzenin çıkışında kristallenmesini hızlandırır. Karbon siyahı ve TiO_2 gibi pigmentler kristallenme kinetiği üzerinde daha az etkiye sahiptirler [34].

3.8.2. Taşıyıcı kullanarak boyama

Bu boyama yönteminde kullanılan taşıyıcı elyaf tarafından çekilerek elyafın şişmesine, birbirine yakın olan polimer zincirlerinin uzaklaşmasına ve böylece boyarmadde moleküllerinin elyaf içine daha kolaylıkla girmesine neden olur. Taşıyıcılar suda çözünmezler ancak elyaf üzerinde dispers boyarmaddelerin çok çözündüğü bir yüzey filmi oluştururlar. Bu koşullar altında boyarmaddenin transferi sulu fazla elyaf arasında değil taşıyıcıda çözünen boyarmadde ile elyaf arasında olur. Ancak taşıyıcının uygun konsantrasyonda kullanılması gerekir. Fazla kullanılan taşıyıcı çözünmemiş bir taşıyıcı fazı meydana getirerek boyarmaddenin elyaf fazında

değil bu taşıyıcı fazında çözünmesine ve dolayısıyla boyama şiddetinin düşmesine neden olur. Taşıyıcı kullanarak boyama yöntemi atmosferik basınçta ve yüksek olmayan çalışma sıcaklıklarında (100 °C'den küçük sıcaklıklarda) verimli boyamayı mümkün kılar [44].

Taşıyıcılar küçük molekül kütleli bileşiklerdir ve hızlı bir şekilde absorplanarak boyanmayı geliştirirler. Taşıyıcılı boyama için kullanılacak uygun bir taşıyıcıda aranan özellikler; kolay elde edilmesi, ucuz olması, düşük konsantrasyonlarda etkili olması, toksik olmaması, boyama sonrasında mamulden uzaklaştırılmasının kolay olması, çevre kirliliği açısından biyolojik olarak parçalanabilir olması, depolama dayanıklılığının iyi olması olarak belirtilebilir. Ancak tek bir taşıyıcı tüm bu özellikleri taşıyamaz ve boyanacak ürün ve kullanılacak ekipmanlara göre en uygun olan taşıyıcı seçilir [56].

Taşıyıcı ile boyama yöntemi camsı geçiş sıcaklığını düşürerek boyama oranını arttırması, elyafın boya alımını iyileştirmesi ve düşük sıcaklıklarda boyamayı mümkün kılması sebebiyle pek çok araştırmacı tarafından araştırılmış olmasına karşın, taşıyıcının kötü kokusu ve toksikliği, ışık haslığını ve elyafın fiziksel özelliklerini olumsuz etkilemesi, boyama sonunda atık suların arıtma maliyetlerinin yüksek oluşu ve çevreye verdiği zararlar gibi olumsuz özelliklere sahiptir [57].

3.8.3. Yüksek sıcaklık (HT) yöntemiyle boyama

Yüksek sıcaklıklarda yapılan boyamalarda boyarmadde liflere daha iyi nüfuz ettiğinden kaliteli renkler ve üstün haslıklar elde edilir. Ayrıca boyamanın yüksek sıcaklıklarda yapılması taşıyıcı kullanımına ihtiyacı ortadan kaldırdığı için taşıyıcı ile boyamanın olumsuz özellikleri de sorun olmaktan çıkar [44].

HT boyamaya 70 °C'de başlanır. Aşağı yukarı dakikada 1-2 °C yükselecek şekilde sıcaklık 130 °C'ye çıkarılır. Rengin koyuluğuna göre 30-90 dakika süresince boyama gerçekleştirilir. Açık renklerin boyanmasında iyi bir düzgünlük elde etmek için 130 °C sıcaklığa mümkün olduğunca yavaş çıkılır. Koyu renkleri boyarken sıcaklık 140

$^{\circ}\text{C}$ 'ye yükseltilerek boya çekimi arttırılabilir. Ancak bu sıcaklıkta boyama yapmakta kullanılan makine ve elyaf açısından riskler bulunur [27].

HT boyama, boyama süresini azaltması, taşıyıcı kullanımına gerek olmaması sebebiyle boyama masraflarının düşüklüğü, yüksek molekül kütleli boyarmaddelerle bile iyi bir nüfuziyet sağlanması bakımından avantajlıdır. Metodun göze çarpan en önemli dezavantajı; kullanılan teçhizatın yüksek sıcaklıklarda çalışmaya dayanıklı olması gerekliliği sebebiyle gerekli yatırım masraflarının yüksek olmasıdır. Ayrıca 120°C 'nin üstündeki sıcaklıklarda liflerin zarar görme tehlikesi olduğu da göz önünde bulundurulmalıdır [53].

3.9. Mikrodalga ve Ultrasonik Enerjinin Tekstil Boyanmasına Kullanımı

3.9.1. Mikrodalga enerjisi

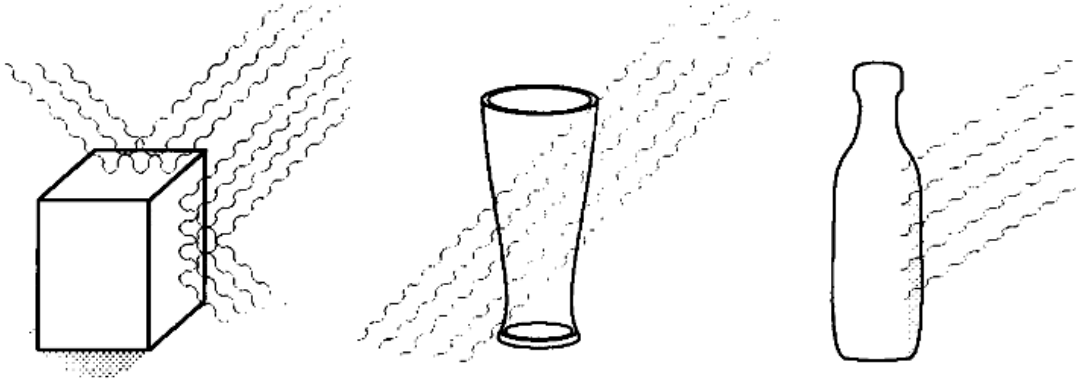
Mikrodalgalar elektromanyetik spektrumun infrared ve radyo dalgaları arasında yer alan, frekansları 300 MHz ile 300 GHz arasında, dalga boyları ise 1 mm ile 1 m arasında olan elektromanyetik dalgalardır. Birbirine dik elektrik ve manyetik alanlar ile karakterize edilen ve iyonlaşmayan elektromanyetik enerji türü olan mikrodalgalar, molekül ya da iyonların hareketlenmesine yol açar. Yansıtılabilir, iletilebilir, absorblanabilir ve absorblandığı materyal içerisinde ısı üretimine yol açar. Mikrodalgalar cep telefonları, radarlar, endüstriyel, bilimsel ve medikal uygulamalarda kullanılmaktadır [58]. Mikrodalga ışımasını radyoaktif ışımadan ayıran temel fark radyoaktif ışımının iyonize olmasıdır. İyonlaşan ışımalarda akım yüksektir. Bu yüzden canlı hücrelerinde hasara sebebiyet verebilir. Bu tehlikeli ışınlar maddenin yapısını değiştirip, genetik mutasyona neden olabilir. İyonlaşmayan ışımada ise düşük akımdan dolayı bu tür tehlikeler görülmez. Mikrodalga ışımaları iyonize olmayan ışımalar grubuna girerler [27].

Mikrodalga enerjisinin kullanımının bazı üstünlükleri vardır: proses hızı klasik metotlardan daha büyüktür, enerji, numune içerisine iç ısı üretimine yol açacak şekilde nüfuz eder, sıcaklık gradyenti minimumdur, volumetrik ısıtma sağlar, karışımlarda seçici ısıtma sağlar, otomatik sistemlere kolaylıkla adapte edilebilir, güç

seviyesi elektronik olarak düzenlenebilir ve kontrol edilebilir, kolayca ve hızlı bir şekilde başlatılıp durdurulabilir [59].

Bir madde mikrodalga ışınımına maruz kaldığında,

1. Eğer madde iletken ise (metaller, grafit gibi) mikrodalga maddenin yüzeyinden yansır. Bu sebeple mikrodalga iletken malzemelerin ısıtılması amacıyla kullanılamaz.
2. Eğer madde iyi dielektrik özelliklere sahip bir yalıtkan ise (kuvartz, porselen, seramik, cam gibi) mikrodalga absorpsiyon olmadan maddenin içinden geçer. Bu maddeler mikrodalgaları geçirgendir.
3. Eğer madde az dielektrik özelliğe sahipse (bu tür maddeler elektromanyetik alanda titreşerek ısı üretimine sebep olurlar, örneğin su) mikrodalga madde tarafından absorplanır [58].



Şekil 3.4. Mikrodalga ışınımına maruz kalan çeşitli maddeler (a) İletken, (b) Yalıtkan, (c) Dielektrik kaybına sahip maddeler [58]

Dielektrik maddeler elektriği iletmezler ancak uygulanan elektrik alandan etkilenirler. Elektrik alanın etkisinde maddenin elektron ve atomları yer değiştirir. Bunun sonucunda yük merkezleri değişerek elektriksel kutuplanma oluşur. Oluşan elektriksel dipoller dielektrik malzeme yüzeyinde elektriksel yük birikimi sağlarlar [60].

Mikrodalgaları kimyasal proseslere uygulayabilmek için en azından bir bileşenin polarize olabilmesi ve bileşiğin dipollerinin mikrodalga ışıması altında yönlendirilebilmesi gereklidir. Pek çok organik bileşik ve çözücü bu gereksinimleri karşılar ve mikrodalga uygulamalarında kullanılabilirler. Mikrodalganın uygulanabilmesi için ilk adım bileşenlerin dielektrik özellikleri bakımından incelenmesidir. Dielektrik özelliklerden en önemlisi maddenin elektrik geçirgenliğinin vakumun (boşluğun) elektrik geçirgenliğine oranı olan dielektrik sabitidir. Dielektrik sabiti maddenin karakteristik özelliğidir ve durumuna, voltaja ve elektrik alanın frekansına bağlıdır. Genel olarak, frekans arttıkça dielektrik sabiti azalmakta ve çok yüksek frekanslarda sabit kalmaktadır. [58].

$$\epsilon_r = \frac{C}{C_0} \quad (3.14)$$

Bu denklemde ϵ_r : dielektrik sabitini C ve C_0 ise kapasitörün işlem başlangıcındaki ve sonundaki toplam yükünü göstermektedir.

Tablo 3.4. Bazı maddelerin 20 °C'deki dielektrik sabitleri [37]

Madde	Dielektrik sabiti	Madde	Dielektrik sabiti
Vakum	1	Naylon	3-22
Hava (1 atm)	1.00059	Kağıt	1-3
Hava (100 atm)	1.0548	Su	80
Cam	5-10	Asetonitril	38
Kuvartz camı	5	Amonyak (sıvı -78 °C)	5
Porselen	5-6	Etil alkol	25
Mika	3-6	Benzen	2
Karbon tetraklorür	2	n-hekzan	2
Polivinilklorür	3	Polietilen	2
Polistiren	1.05	Polipropilen	2.2

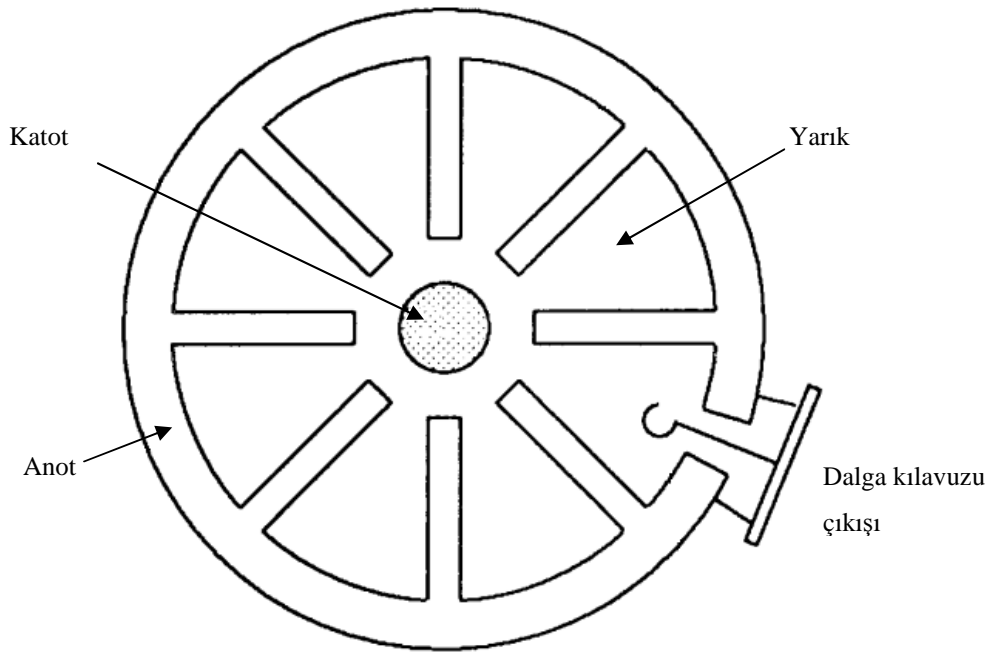
Polar organik çözücüler (örneğin su, asetonitril, etil alkol gibi) yüksek dielektrik sabitlerine sahiptirler ve mikrodalga ışıması ile dielektrik ısınma meydana getirebilirler. Apolar organik çözücüler (benzen, karbon tetraklorür, n-hekzan) ise düşük dielektrik sabitine sahip olmaları dolayısıyla mikrodalga ısıtma işleminde

kullanılmazlar. Pek çok plastiğin de dielektrik sabiti düşüktür. Bunlar cam veya kuartz camı yerine mikrodalga uygulamalarında kullanılacak olan reaksiyon kaplarının yapımında kullanılabilirler [58].

Maddelerin mikrodalga ışımasına maruz kaldıklarında ısınmaya sebebiyet verip veremeyeceğini gösteren bir diğer önemli terim de kayıp tanjantıdır. Bu parametre maddenin mikrodalga enerjisini absorplama yeteneğini ifade eder. Kayıp tanjantı çalışma frekansı ve sıcaklığa bağlıdır [58].

Kimyasal işlemler için kullanılan mikrodalga cihazları temel olarak üç kısımdan oluşur [58]:

1. Mikrodalga güç kaynağı (mikrodalga üretici),
2. Dalga kılavuzu (mikrodalga enerjisini aplikatöre ileten hat),
3. Mikrodalga aplikatörü (maddenin mikrodalga enerjisine maruz kaldığı bölge).



Şekil 3.5. Magnetronun kesit görüntüsü [58]

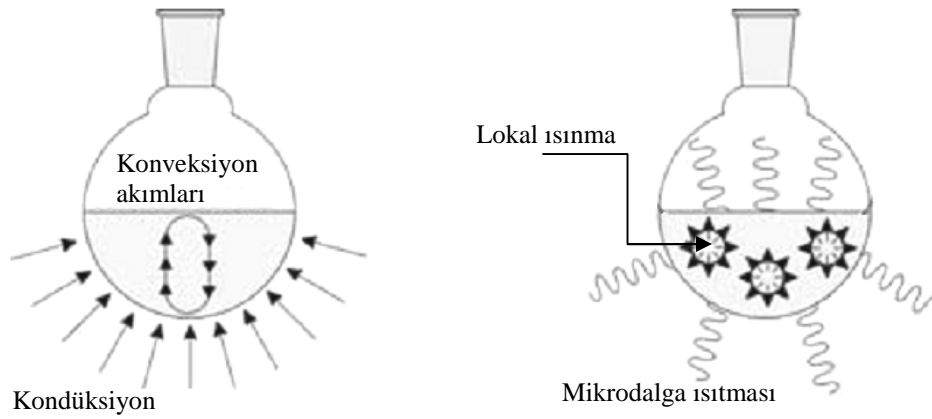
Mikrodalga üreteçlerinin temel iki tipi magnetron ve klistronlardır. Magnetronlar daha ucuz olmaları için uygulamada daha çok yer bulurlar. Magnetronun çalışma

prensibi elektrik ve manyetik alanlar tarafından uyarılan elektronların hareketlerine dayanır. [58].

Magnetron ile elde edilen mikrodalga enerjisi dalga kılavuzu ile maddenin mikrodalgaya maruz kalacağı aplikatöre iletilir.

Mikrodalgalar molekülleri iki yolla etkiler. İlk etki dipol rotasyondur. Dipol rotasyon, dipol momente sahip olan molekülleri elektrik alan bileşiği yardımı ile sıraya dizer. Bir numune veya örnek içerisinde mikrodalga geçerse, dipol momente sahip olan moleküller, bu etki ile sıraya girmeye başlarlar. Bileşik ne kadar polar ise, elektrik alandan o kadar fazla etkilenirler. Transfer edilen enerjinin miktarı, kayıp tanjantı olarak bilinir. Kayıp tanjantı dipol moment ile dielektrik sabiti değerlerinin bir fonksiyonudur. Bu ilişki lineer değildir. Dielektrik kayıp faktörü ile dielektrik sabitinin birbirine oranı olan dağılım faktörünün büyük olması, numunenin mikrodalga enerjisini almasının ve etkilenmesinin kolay olacağını gösterir. İkinci etki ise iyonik kondüksiyondur. İyonik kondüksiyon, değişen elektrik alanının etkisi ile çözünen veya titreşen iyonların göç etmesidir. Isı üretimi de sürtünme kayıplarından oluşur. İyonik kondüksiyonla, çözeltinin ısınmasını hızlandıracak iyonik bazdaki etkileşimlere sebep olan elektriksiz alandan gelen enerji transfer edilir. İyonik kondüksiyon sıcaklık ile artırılır. Sıcaklığı arttığı için iyonik çözelti mikrodalgayı daha kuvvetli almaya başlar [59].

Mikrodalga sistemleri gıda alanında (kurutma, pastörizasyon, pişirme, buz çözme gibi), metalurji alanında (kömürün iyileştirilmesi, orman ürünlerinin kurutulması gibi) ve kimya alanında (reaksiyonların hızlandırılması, polimerizasyon reaksiyonlarının başlatılması ve yürütülmesi, tekstil elyafın boyanması, kağıt ve karton üretiminde kurutma, seramik ve porselenin sinterlenmesi, kauçuğun vulkanizasyonu gibi) uygulamalarda kullanılırlar [27].



Şekil 3.6. Geleneksel ve mikrodalga ısıtma sistemleri [58]

3.9.2. Mikrodalga enerjisinin tekstil boyamada kullanımı

Mikrodalga enerjisinin tekstil elyafın boyanmasında kullanılabilirliği hakkında literatürde pek çok bilgi mevcuttur.

Xu ve Yang yaptıkları çalışmada, mikrodalga ışımasının polyester kumaşların sodyum hidroksit ile bitim işlemleri ve boyanabilirlikleri üzerindeki etkisini incelemiştir. Sonuçlarına göre mikrodalga ışıması polyesterin hidrolizini ve boyanabilirliğini arttırmıştır [61].

Büyükakıncı [27], polipropilen elyafın mikrodalga ile boyanabilirliğini incelemiştir.

Kim ve arkadaşları [62] yaptıkları çalışmada polyesterin boyanmasında mikrodalga enerjisinin etkilerini incelemek amacıyla 2450 MHz frekansa ve 700 W güce sahip bir mikrodalga fırın kullanmışlardır. Araştırmacılar boyama banyosuna sodyum klorür ve üre ilave edilmesiyle elyafın 10 dakika fularlanması ve ardından 7 dakika mikrodalga ışıması altında boyanmasının boyanabilirliği geliştirdiğini artan K/S değerlerine dayanarak belirtmişlerdir. Boyama banyosuna n-hekzan, dimetil formamid ve aseton gibi çeşitli çözücülerin etkisi de bu çalışmada incelenmiş ve çözücülerin ilavesinin mikrodalga ışıması altında boyanabilirliği artırdığı sonucuna varmışlardır.

Ohe ve Yoshimura [63] ise naylon 6 elyafın çeşitli çözücüler içerisinde mikrodalga ışımaya maruz kalması durumunda meydana gelen değişiklikler üzerine bir çalışma yapmışlardır. Araştırmacılar bu amaçla, dimetil formamid, etilen glikol ve gliserol çözücülerinde naylon 6 elyafı reaktif boyarmaddeler kullanarak boyamaya çalışmışlar ve sonuçta çözücünün cinsi, sıcaklığı ve mikrodalga ışımalarının büyüklüğüne bağlı olarak elyafın kristalliğinin azalması ve bu sayede boyarmadde alımının artması ve aynı zamanda nem çekiciliğinin artması şeklinde bulgulara ulaşmışlardır. Ancak çalışma sonucunda elyafın mukavemetinin azalması da sonuçlarda belirtilmiştir.

3.9.3. Ultrasonik enerji

İnsan kulağının duyma sınırının üzerinde bulunan ve 20 kHz-10 MHz aralığında frekans değerlerine sahip olan ses dalgaları ultrasonik ses dalgaları olarak tanımlanmaktadır. Pratikte bu frekans aralığında bulunan ses dalgaları üç şekilde sınıflandırılabilir:

1. Düşük frekanslı veya konvensiyonel ultrasonik güç (20-100 kHz),
2. Orta frekanslı ultrasonik güç (300 kHz-1000 kHz),
3. Yüksek frekanslı veya tanılayıcı ultrasonik güç (2 MHz-10 MHz) [64, 65].

Ultrasonik güç sanayinin değişik alanlarında (yer altı aramalarında, madencilikte, tıpta, askeri alanda, yüzey işlemlerinde, otomotiv endüstrisinde, delme, öğütme, kesme işlemlerine yardımcı olarak, kolay dispersiyon elde edilmesinde, temizleme işlemlerinde, polimerizasyonun başlatılmasında vs.) kullanılmaktadır. Ancak tekstilde kullanışı çok eskiye dayanmamaktadır. Bu anlamda temizleme, çeşitli bitkilerden boya eldesi ve boyama alanlarında ultrasonik güçten yararlandığı söylenebilir [66].

Elektromanyetik dalgalara benzer şekilde ultrasonik dalgalar da yansıtılabilir ve kırılabilir. Ancak elektromanyetik dalgalardan farklı olarak yayılmak için elastik özelliklere sahip bir alana gereksinim duyar. Ultrasonik enerji mekanik bir enerji çeşididir ve moleküller tarafından absorblanmaz. Ultrasonik ses dalgaları bir sıvı

içerisinden geçerken moleküller arası bağların titreşmesine neden olarak dalgaların yayılması yönünde enerjinin yayılmasına sebep olurlar [65].

Ultrasonik ses dalgalarının kimyasal etkisi çok çeşitli fiziksel mekanizmalar üzerinden yürür. Bunlardan en önemlisi lineer olmayan bir işlem olan kavitasyon olayıdır. Kavitasyon, bir sıvı içerisinde gaz ile dolu mikro baloncukların oluşması, büyümesi ve uygun koşullar altında patlamasıdır [64]. Kavitasyon olayı esnasında oluşan mikro baloncuklar birbirleri ile sürekli çarpışmakta ve kuvvetli bir lokal enerjinin oluşmasını sağlamaktadırlar [66].

Ultrasonik ses dalgaları sıvı içerisinde dalgalar halinde iletilirler ve bu dalgalar içerisinden geçtikleri ortamın moleküler yapısında sıkışma ve gevşemelere sebep olurlar [66]. Ses dalgalarının sıkıştırma ve genişleme şeklinde iki çevrime sahip oldukları düşünülmektedir. Sıkıştırma çevrimlerinde sıvı üzerine pozitif bir basınç uygulanır ve molekülleri biraraya çeker. Genleşme çevriminde ise negatif bir basınç uygulanır ve moleküller birbirlerinden uzağa çekilir. Kavitasyon, bir ses dalgasını genişleme çevrimi esnasında moleküllerin bunları birarada tutan kritik mesafeden daha fazla birbirinden uzaklaşması sağlanabilirse gerçekleşir. Örneğin su molekülleri için kritik mesafe 10^{-8} m'dir. Eğer ultrasonik dalgaların genişleme çevrimi esnasında moleküller birbirlerinden 10^{-8} m'den fazla uzaklaşabilirlerse kavitasyon oluşur. Dolayısıyla kavitasyonun oluşması sıvının çeşidine ve saflık değerine göre değişir. Saf sıvılar oldukça büyük gerilme mukavemetine sahiptirler. Bu sebeple ultrasonik gücün bunlar içerisinde kavitasyon başlatması mümkün değildir. Ancak, uygulamada sıvının içerisinde mukavemetini azaltacak merkezler bulunması sebebiyle kavitasyon gerçekleşebilir. Sıvı içerisinde mukavemeti azaltacak unsurlar sıvı içerisinde gaz, asılı duran gaz baloncukları, asılı durumdaki partiküller olarak belirtilebilir. Ultrafiltrasyon uygulanmamış tüm sıvıların içerisinde bu şekilde mukavemetini zayıflatıcı unsurlar yer alır. Bu noktalar kavitasyonun başlayabileceği noktalardır [66, 67]. Kavitasyon olayıyla oluşan mikro baloncukların çapı, sıvının cinsine ve uygulanan ultrasonik ses dalgalarının frekansına bağlı olarak değişir.

Kavitasyon olayı kimyasal reaksiyonlarda,

1. Reaksiyonu hızlandırma,
2. Kütle transferini kolaylaştırma,
3. Katalizörün etkisini arttırma,
4. Reaktif türleri oluşumuna neden olma,
5. Reaksiyonun işleyişini farklı bir mekanizma üzerinden gerçekleştirme,
6. Reaksiyon adımlarını azaltma

gibi önemli etkilere sahiptir. Böylece kimyasal reaksiyonlar ultrasonik gücün etkisiyle daha kolay şekilde gerçekleştirilebilir, işlem basamaklarının azalmasıyla hem kolaylık hem ekonomik açıdan avantaj sağlanır ve düşük verimlilikteki reaksiyonların verimi artırılabilir [67].

Kavitasyonu etkileyen faktörler ise; ultrasonik ses dalgalarının frekansı, çözücünün özellikleri (viskozitesi, buhar basıncı, yüzey gerilimi), gaz baloncukları, dış basınç ve sıcaklık şeklinde ifade edilebilir [66, 68].

Ultrasonik ses dalgalarının frekansı: Düşük frekanstaki ultrasonik dalgalar daha şiddetli kavitasyona sebep olurlar. Bu durumda daha yüksek lokal sıcaklıklar ve basınçlar oluşur. Çok yüksek frekansta, ses dalgalarının genişleme çevrimi moleküllerin birbirinden bir mikro baloncunun oluşmasına imkan verecek şekilde uzaklaşması için çok kısadır. Bu sebeple megahertz mertebesinde zayıf kavitasyon görülür veya kavitasyon oluşmaz [69].

Çözücünün özellikleri: Kavitasyonun eldesi, genişleme bölgesindeki negatif basıncın, sıvı içindeki doğal kohezyon kuvvetlerine üstün gelmesini gerekli kılmaktadır. Bu yüzden böyle kuvvetlerin büyük olduğu viskoz sıvılarda kavitasyonun elde edilmesi daha zor olacaktır [66]. Yüksek buhar basıncına ve düşük yüzey gerilimine sahip çözücülerde kavitasyon daha kolay oluşur. Ancak yüksek buhar basıncına sahip çözücülerde oluşan mikro baloncukların içerisine daha fazla buhar girer ve bu da mikro baloncukların daha kolay çökmesine (patlamasına) dolayısıyla daha az şiddetli olmasına sebep olur [70, 71].

Gaz baloncukları: Sıvıdaki çözünürlüğü fazla olan gazlar daha fazla mikro baloncuk oluşumuna neden olurlar. Ancak gazın sıvıdaki çözünürlüğü arttıkça, mikro baloncukların içerisine girebilecek gazın miktarı da artar. Bu sebeple mikro baloncukların patlaması daha az şiddetli olur [71].

Ultrasonik enerji, bir sıvı içindeki gazın atılması için de kullanılmaktadır. Böylece sonikasyonda, kavitasyon relatif olarak daha kolay olacaktır. Fakat gaz uzaklaştırıldıkça kavitasyonun oluşturulması güçleşecektir. Üniform bir kavitasyonun oluşturulabilmesi için sonokimyasal bir reaksiyonun içinden gaz baloncukları geçirilebilir [66].

Dış basınç ve sıcaklık: Dış basıncın artırılmasıyla, sıvının buhar basıncı düşer ve kavitasyonun başlatılması için daha büyük bir ultrasonik enerjiye ihtiyaç olur. Dış sıcaklığın yükseltilmesi ile ise sıvının buhar basıncındaki artış sebebiyle kavitasyonun başlaması için daha az ultrasonik güç gerekir. Çok yüksek dış sıcaklıklarda mikro baloncukların içerisine daha fazla buhar girer ve baloncukların patlaması daha az şiddetli olur. Dolayısıyla sonokimyasal reaksiyonlar dış sıcaklığın arttırılmasıyla daha yavaş ilerlerler. Diğer bir faktör ise kaynama sıcaklığında baloncukların artacağıdır. Sonuç olarak, bir sıvı kaynama noktasında sonikasyona tabi tutulursa, çok iyi bir sonokimyasal etki elde edilmektedir [66, 69].

Ultrasonik enerji elde edebilmek için gereken ticari cihazın tipi ne olursa olsun enerji, bir ultrasonik transduser yardımıyla üretilmektedir. Bu cihaz, elektrik enerjisini ses enerjisine dönüştürmektedir. Ultrasonik transduserlerin üç temel tipi mevcuttur ve herbirinin orijini 20. yüzyılın başlarına dayanmaktadır. Bunlar gaz sürücülü transduserler, sıvı sürücülü transduserler ve elektromekanik sürücülü transduserlerdir. Sonokimyada kullanılan cihazlar ise ultrasonik banyolar ve ultrasonik problardır. Bunlardan ultrasonik banyolar en fazla mevcut olan ve en ucuz cihazlardır. Genel olarak, dikdörtgen kesitinde paslanmaz çelik bir tank ve bu tankın altına yerleştirilmiş olan transduserlerden ibarettir. Özellikle büyük tanklar, termostatlı ısıtıcılara da sahiptirler. Bazı modern laboratuvar modellerinde güç de ayarlanabilir, fakat bunlar azınlıktadır. Ultrasonik banyonun frekansı ve gücü, konstrüksiyonundaki transduserlerin tipine ve adedine bağlıdır. Ultrasonik prob ise,

ultrasonik banyonun çeşitli dezavantaj ve problemlerinden dolayı biyokimyacıların hücre parçalamada kullanmaları için geliştirilmiştir. Laboratuvarda bu cihazın kullanılması ile ultrasonik banyonun oluşturduğundan 100 kat daha büyük bir ultrasonik enerji elde edilir. Bir ultrasonik prob, uzun bir metal çubuk ve bu çubuğun sonundaki transduserden ibarettir [66].

3.9.4. Ultrasonik enerjinin tekstil boyamada kullanımı

Ultrasonik enerji, reaksiyonları hızlandırma ve daha kısa zamanda veya daha düşük sıcaklıkta daha iyi sonuçlar vermekte olduğundan özellikle tekstil yaş işlemleri için ilgi çekicidir. Bu işlemlerde kullanılan kimyasal maddelerin fazlalığı, işlem sürelerinin ve sıcaklıklarının yüksek oluşu sebebiyle işlemlerin maliyetleri yüksektir. Aynı zamanda işlemler sonunda tekstil atık sularında çevre kirlenmesine neden olacak kirlilikler de fazlaca bulunmaktadır. Bu sebeplerle tekstil yaş işlemlerinde ultrasonik enerjinin kullanımı gelecekte daha fazla uygulanması beklenen bir yöntemdir.

Bu amaçla tekstil ön terbiyesinde, boyamada, yıkamada ve tekstil atık sularının arıtılmasında ultrasonik enerji kullanılabilir. Bu konularda literatürde çeşitli çalışmalar mevcuttur.

Tekstil boyamada ultrasonik enerjinin kullanımı;

1. Büyük molekül kütleli bileşiklerin dispersiyonlarının hazırlanması ve topaklanmaların engellenmesi,
2. Elyafın iç gözeneklerine nüfuz etmiş olan gazın uzaklaştırılması,
3. Boyarmadde moleküllerinin elyafa difüzyonunu hızlandırması,
4. Boya banyosunun homojenizasyonunu sağlaması,

açılarından önem taşımaktadır [68]. Lee ve Kim [30] tarafından yapılan çalışmada C.I.Dispers Red 60 boyarmaddesinin 26 kHz frekanstaki ultrasonik enerjiye maruz kalması durumunda partikül boyutunun değişimi ve bu değişimin boyama esnasında boyarmadde çekimi üzerine etkisi incelenmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, 1-2

μm boyutundaki partikül çapına sahip partiküllerin miktarı 1 saat ultrasonik enerjiye maruz kalmanın ardından %63'ten %80'e, 4-10 μm boyutundaki partikül çapına sahip partiküllerin miktarı %10'dan %16'ya çıkmış ve 65-72 μm boyutundaki partikül çapına sahip partiküllerin miktarı ise %14'den neredeyse 0'a düşmüştür. Kısacası düşük partikül çapına sahip partiküllerin miktarı artmış, büyük çapa sahip olanların sayısı ise azalmıştır.

Shukla ve Mathur [28], düşük sıcaklıklarda 26 kHz frekansa sahip ultrasonik enerji kullanarak katyonik, asit ve metal-kompleks boyarmaddeler ile ipek elyafının boyanması üzerine bir çalışma gerçekleştirmişler ve ultrasonik enerji kullanarak yaptıkları boyamaların sonuçlarını normal boyama sonuçlarıyla kıyaslamışlardır. Sonuçlara göre, tüm boyarmaddeler için ultrasonik enerji kullanımının boyama sıcaklığını 60 $^{\circ}\text{C}$ 'den 45-50 $^{\circ}\text{C}$ 'ye ve boyama süresini 60 dakikadan 15 dakikaya düşürdüğü ortaya çıkmaktadır.

Saligram ve arkadaşlarının [72], polyester elyafı C.I.Dispers Orange 25 ve C.I.Disperse Blue 79 boyarmaddeleriyle boyama yönündeki çalışmalarında ultrasonik enerji kullanımının elyafın boyarmadde çekimini arttırdığı belirtilmektedir. Araştırmacılar boyamada taşıyıcının etkisini de incelemiş ve hem ultrasonik enerji hem de taşıyıcı kullanımının boyama üzerinde daha büyük etkilere sebep olduğunu ifade etmişlerdir.

Vankar ve arkadaşları [73] tarafından Acer pectinatum isimli bir bitkiden elde edilen doğal boyayla pamuğun boyanmasında ultrasonik gücün kullanılmasına ilişkin yapılan çalışma sonucunda, boyamanın verimliliği, boyama süresinin %50 kısılması ve böylece maliyetin yaklaşık %30 düşürülmesi şeklinde ifade edilmiştir.

Sivakumar ve Rao [29] tarafından derinin boyanmasında ultrasonik gücün kullanımı araştırılmış ve sonuçta boyama veriminin %56'dan %93 seviyelerine çıktığı bulunmuştur.

Kamel ve arkadaşları [74] naylon elyafın reaktif boyarmaddeler ile boyanmasının geliştirilmesinde ultrasonik enerjinin kullanılabilirliğini inceledikleri çalışmalarında

renk şiddeti değerlerinin artmasına bağlı olarak ultrasonik enerji kullanımının boyanmayı geliştirdiği sonucuna varmışlardır. Ayrıca boyanan kumaşların yıkama haslıklarının da iyi seviyede olduğunu belirtmişlerdir. Aynı araştırmacıların bir başka çalışmasında [75] naylon elyafın reaktif boyarmaddeler ile boyanmasında ultrasonik enerji kullanımının boyama kinetiğine olan etkisi incelenmiştir. Sonuçlarına göre ultrasonik enerji kullanımı boyama veriminde %10.97-45.65'lik bir gelişme sağlamaktadır.

Kamel ve arkadaşları [76] tarafından yünün lak doğal boyasıyla boyanmasında geleneksel yöntemle göre %47'lik bir gelişme olduğu ortaya konmuştur. Aynı araştırmacıların bir başka çalışmalarında [77] pamuğun lak doğal boyasıyla boyanmasında ultrasonik gücün etkisi incelenmiş ve geleneksel yöntemle göre %66.5 daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Öner ve arkadaşlarının [78] yaptıkları çalışmada C.I.Reactive Red 120 ve C.I.Reactive Black 5 boyarmaddeleriyle selülozik elyaftan hazırlanan kumaşların boyanmasında ultrasonik enerjinin etkisi, yüzde çekim, boyamadan sonra boya banyosunda kalan boyarmaddenin miktarı ve elde edilen renklerin haslık değerleri üzerinden incelenmiştir. Sonuçlara göre, ultrasonik enerji boyarmaddenin elyaf tarafından çekimini ve fiksasyonunu attırmış ancak haslık değerleri üzerinde bir etki bulunmamıştır.

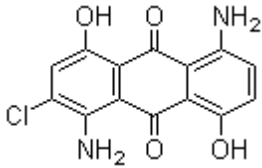
Akalın ve arkadaşları [79] yaptıkları çalışmada ultrasonik enerji kullanımının pamuğun reaktif boyarmaddeler ile boyanmasına ve yıkama haslıklarına olan etkisini incelemişlerdir. Araştırmacılar pamuk elyafı üç değişik reaktif boyarmadde ile geleneksel yöntemle göre, ultrasonik banyo kullanarak ve ultrasonik prob kullanarak boyamışlar ve sonuçta boyanmış örneklerin renk farkı (ΔE) değerlerini kıyaslayarak ultrasonik probun en koyu renk ile sonuçlandığını, ultrasonik banyo kullanımının da geleneksel yöntemle göre daha koyu renkler verdiğini ve ultrasonik prob ve banyo kullanılarak boyanan örneklerin yıkama haslıklarının yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Aynı araştırmacılar bir başka çalışmalarında [80] poliamid/lycra blend elyafının ultrasonik enerji yardımıyla reaktif boyarmaddeler ile boyanmasını incelemişlerdir. Bulgularına göre ultrasonik enerji kullanımı geleneksel yöntemle göre daha yüksek renk verimi ile sonuçlanmıştır.

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Kullanılan Kimyasal Maddeler

Deneysel çalışmada, %100 polipropilenden mamül dar dokuma kumaş kullanılmıştır. Kullanılan boyarmaddenin özellikleri Tablo 4.1’de verilmiştir. Taşıyıcı olarak Setacarrrier ECO (yarıdan fazlasını bip phthalimides oluşturmaktadır ve ayrıca %9 isobutilalkol; %10 LAB-SA ve monopropilenglikol’de ürünün içinde yer almaktadır) seçilmiştir. Sodyum karbonat ve asetik asit de (Merck) ön temizleme ve yıkama işleminde kullanılan kimyasallardır.

Tablo 4.1. Boyarmaddenin özellikleri

Boyarmadde adı	Firma	C.I.Numarası	Kimyasal sınıfı	Molekül formülü
Setapers Blue FBL CONZ	Setaş Kimya A.Ş	C.I.Disperse Blue 56	Antrakinon	$C_{14}H_9ClN_2O_4$ 

4.2. Kullanılan Malzeme ve Cihazlar

Mikrodalga fırın: Kumtel marka KUM-1445 model 1150 W güçte,

Ultrasonik banyo: Bandelin Sonorex marka RK-255 H model,

Spektrofotometre: Gretag Macbeth marka Color Eye 7000 A model,

Taramalı Elektron Mikroskobu: JEOL JSM marka 6060LV model,

Gri skala: Boyanan kumaşların yıkama haslıklarının belirlenmesinde kullanılan gri ölçek,

Boyama banyosu olarak beher ve balonjoje, ayrıca mezür, pipet, hassas terazi ve diğer laboratuvar malzemeleri kullanılmıştır.

4.3. Yöntem

4.3.1. Ön temizleme işlemi

Boyama çalışmalarına başlamadan önce %100 polipropilenden dokunmuş kumaş preparasyon yağlarının ve çeşitli kirlerin uzaklaştırılması amacıyla bir ön temizleme işleminden geçirilmiştir. Bu amaçla 4 cm x 5 cm kesilmiş kumaşlar ilk olarak %1'lik Na_2CO_3 'lu su ile 20 dakika, daha sonra %1'lik CH_3COOH çözeltisinde 20 dakika yıkanmış ve musluk suyu ile de 20 dakika çalkalandıktan sonra kurutulmuştur.

4.3.2. Boyama çalışmaları

Değişik flotte (1/20, 1/50 ve 1/100) ve değişik boyama şiddetlerinde (%0.5, %1 ve %2) hazırlanan boyama banyolarında hem mikrodalga enerjisi hem de ultrasonik enerji kullanılarak değişik sıcaklık, güç ve sürelerde boyamalar gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçların yorumlanmasında yardımcı olmak amacıyla aynı koşullarda geleneksel yönleme göre de boyama çalışmaları yapılmıştır.

4.3.2.1. Mikrodalga ile yapılan boyama çalışmaları

Değişik flotte ve boyama şiddetlerinde hazırlanan boyama banyoları bir beher içerisine alındıktan sonra kumaş boyama ortamına dahil edilmiş ve mikrodalga fırının L, M-L, M, M-H ve H seviyelerinde 5 dak. süre ile boyama gerçekleştirilmiştir. Boyamadan sonra kumaş mikrodalga fırının H seviyesinde 10 dakika süre ile kurutulmuş ve %1'lik Na_2CO_3 çözeltisiyle 30 dakika yıkandıktan sonra musluk suyu ile 30 dakika çalkalanarak durulanmıştır. Daha sonra tekrar mikrodalga fırının H seviyesinde 10 dakika süre ile kurutma gerçekleştirilmiştir. Bu

şekilde mikrodalga ile boyama tamamlanmış ve örnekler renk şiddeti ölçümü için hazır hale gelmiştir.

Mikrodalga fırının değişik seviyeleri için güç değerleri kullanıcı kitabı vasıtasıyla hesaplanarak Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2. Mikrodalga fırının değişik seviyeleri için güç değerleri

Mikrodalga seviyesi	Low (L)	Medium-Low (M-L)	Medium (M)	Medium-High (M-H)	High (H)
Güç (%)	17	40	66	85	100
Güç (W)	195.5	460	759	977.5	1150

Değişik seviyelerde mikrodalga enerjisi kullanılarak yapılan boyamalar için her bir örneğin koşulları Tablo 4.3’de verilmiştir.

Tablo 4.3. Mikrodalga enerjisi ile boyanan örneklerin numaralandırılması

Boyama süresi 5 dk				
Boyama şiddeti	Mikrodalga seviyesi	Örnek No		
		Flotte 1/20	Flotte 1/50	Flotte 1/100
%0.5	L	1	16	31
	M-L	2	17	32
	M	3	18	33
	M-H	4	19	34
	H	5	20	35
%1	L	6	21	36
	M-L	7	22	37
	M	8	23	38
	M-H	9	24	39
	H	10	25	40
%2	L	11	26	41
	M-L	12	27	42
	M	13	28	43
	M-H	14	29	44
	H	15	30	45

Bu çalışmalar için kullanılan mikrodalga fırına ait bir fotoğraf aşağıdaki Şekil 4.1’de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Deneysel çalışmada kullanılan mikrodalga fırın

4.3.2.2. Taşıyıcı kullanılmadan ultrasonik banyo ile yapılan boyama çalışmaları

Değişik flotte ve boyama şiddetlerinde hazırlanan boyama banyoları balon içerisine alındıktan sonra kumaş boyama ortamına dahil edilmiş ve değişik sıcaklıklarda (20 °C, 40 °C, 60 °C ve 80 °C) 15 dakika süre ile boyama gerçekleştirilmiştir. Boyamadan sonra kumaş kurutulmuş ve %1’lik Na₂CO₃ çözeltisi ile 30 dakika yıkanmış ve musluk suyu ile 30 dakika çalkalanarak durulanmıştır. Daha sonra kurutulan kumaş renk şiddeti ölçümlerine hazır hale gelmiştir.

Tablo 4.4’de ultrasonik enerji ile (taşıyıcı kullanmadan) boyanan örneklerin numaralandırılması gösterilmektedir.

Tablo 4.4. Ultrasonik enerji ile (taşıyıcı kullanmadan) boyanan örneklerin numaralandırılması

Boyama süresi 15 dk				
Boyama şiddeti	Sıcaklık (°C)	Örnek No		
		Flotte 1/20	Flotte 1/50	Flotte 1/100
%0.5	20	46	58	70
	40	47	59	71
	60	48	60	72
	80	49	61	73
%1	20	50	62	74
	40	51	63	75
	60	52	64	76
	80	53	65	77
%2	20	54	66	78
	40	55	67	79
	60	56	68	80
	80	57	69	81

4.3.2.3. Taşıyıcı kullanarak ultrasonik banyo ile yapılan boyama çalışmaları

Boyamaya taşıyıcının etkisini görebilmek amacıyla aynı flotte ve boyama şiddetindeki boyama banyoları ayrıca %1 taşıyıcı ilavesi ile hazırlanarak ultrasonik banyo ile yapılan boyamalar tekrarlanmıştır.

Tablo 4.5’de ultrasonik enerji ile (taşıyıcı kullanarak) boyanan örneklerin numaralandırılması gösterilmiştir.

Tablo 4.5. Ultrasonik enerjisi ile (taşıyıcı kullanarak) boyanan örneklerin numaralandırılması

Boyama süresi 15 dk				
Boyama şiddeti	Sıcaklık (°C)	Örnek No		
		Flotte 1/20	Flotte 1/50	Flotte 1/100
%0.5	20	82	94	106
	40	83	95	107
	60	84	96	108
	80	85	97	109
%1	20	86	98	110
	40	87	99	111
	60	88	100	112
	80	89	101	113
%2	20	90	102	114
	40	91	103	115
	60	92	104	116
	80	93	105	117

Bu çalışmalar için kullanılan ultrasonik banyo ve boyama çalışmasına ait bir fotoğraf Şekil 4.2’de gösterilmektedir.



Şekil 4.2. Deneysel çalışmalarda kullanılan ultrasonik banyo

4.3.2.4. Zamana bağılı olarak yapılan boyama çalışmaları

Boyamanın zaman bağılılığını belirlemek ve optimum boyama süresini tespit edebilmek amacıyla her bir yöntem için en iyi boyama koşullarında 1 dk, 2 dk, 3 dk, 4 dk, 5 dk, 10 dk, 15 dk, 20 dk, 25 dk ve 30 dk. süre ile boyamalar gerçekleştirilmiştir. Tablo 4.6'da değişik yöntemlerde farklı sürelerde boyanan örneklerin numaraları verilmiştir.

Tablo 4.6. Değişik yöntemlerle farklı sürelerde boyanan örneklerin numaraları

Süre (dk)	Örnek No			
	Mikrodalga	Ultrasonik		Normal
		Taşıyıcı kullanmadan	Taşıyıcı kullanarak	
1	118	123	131	139
2	119			
3	120	124	132	140
4	121			
5	122	125	133	141
10		126	134	142
15		127	135	143
20		128	136	144
25		129	137	145
30		130	138	146
Açıklama	F:1/20, B.Ş.%2, H seviyesi	F:1/20, B.Ş.%2, 80 °C		

4.3.3. Boyanan kumaşların renk şiddetlerinin ölçülmesi

Bu amaçla Aydın Örne firmasından yardım alınmış ve kumaşların renk ölçümleri Gretag Macbeth marka Color Eye 7000 A model bir spektrofotometre kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde ışık kaynağı olarak gün ışığı (D 65-10) ve referans olarak boyanmamış kumaş seçilmiştir. Tüm numuneler için renk şiddetleri (K/S değerleri) ve Uluslar arası Renk Komisyonunca belirlenen renk uzayı CIELab'daki L^* , a^* , b^* , ΔL^* , Δa^* , Δb^* değerleri belirlenmiştir.

L^* : CIELab renk uzayında açıklık-koyuluk eksenini ifade eder.

ΔL^* : İki renk arasındaki renk farkını belirtmektedir.

$+\Delta L$: Rengin referanstan daha açık olduğunu ifade eder.

$-\Delta L^*$: Rengin referanstan daha koyu olduğunu ifade eder.

a^* : CIELab renk uzayında kırmızı-yeşil eksenidir.

$+a$: Kırmızı yönünü göstermektedir.

$-a$: Yeşil yönünü göstermektedir.

b^* : CIELab renk uzayında sarı-mavi eksenidir.

$+b$: Sarı yönünü göstermektedir.

$-b$: Mavi yönünü göstermektedir.

K/S ise Kubelka-Munk fonksiyonunu gösterir. Basit anlamıyla,

$$\frac{K}{S} = \frac{(1-R)^2}{2R} \quad (4.1)$$

Denklem 4.1'de K ; absorpsiyon katsayısı, S ; saçılım katsayısı ve R ; reflektans değeridir.

4.3.4. Boyama kinetiğinin incelenmesi

Boyama kinetiğinin incelenmesi amacıyla farklı yöntemler kullanılarak değişen sürelerde boyanan örneklerin zamana bağlı (K/S) değerleri hesaplanmıştır.

Difüzyon katsayılarının hesaplanması için Fick denkleminin difüzyonun sonsuz uzunluktaki bir silindir (filament) içerisine olduğu düşünülerek düzenlenmiş hali olan Hill denklemi kullanılmıştır.

M_{∞} değerinin deneysel olarak tespit edilmesi uzayan deney sürelerinde boyarmadde ve elyafın bozunması ihtimali sebebiyle Shibusawa [45] tarafından geliştirilen matematiksel ifade ile hesaplanmıştır. Ayrıca elyaf üzerindeki boyarmaddenin miktarı kumaşın K/S değerleri ile doğru orantılı olduğundan M_t/M_{∞} oranı yerine $(K/S)_t/(K/S)_{\infty}$ oranı ile ifade edilmiştir. Li ve Sun [48] ve Addamo ve arkadaşları [81] da yaptıkları çalışmalarda M_t/M_{∞} oranı yerine $(K/S)_t/(K/S)_{\infty}$ oranını kullanmışlardır.

Bu amaçla öncelikle deneysel verilerden $(K/S)_{\infty}$ değerinin hesaplanması gerekir. Deneysel $(K/S)_t$ değerlerinin $t^{1/2}$ ye karşı grafiğe geçirilmesiyle ikinci dereceden bir polinom denklemi elde edilmiştir. Bu denklemlerin katsayıları ve Tablo 3.2'deki katsayılar seçilerek $(K/S)_{\infty}$ değerleri hesaplanmış daha sonra $(K/S)_t/(K/S)_{\infty}$ oranının katsayıların seçildiği aralığa uygunluğu kontrol edilmiştir. Bu şekilde her bir yöntem için P_1 ve P_2 katsayıları deneme-yanılma yolu ile tespit edilmiştir. Uygun katsayıların bulunmasının ardından $(K/S)_t/(K/S)_{\infty}$ oranına bağlı olarak Denklem 3.9 veya 3.10 ile $(Dt/r^2)^{1/2}$ oranı ve daha sonra da difüzyon katsayıları hesaplanmıştır. Ultrasonik enerji kullanılarak yapılan boyamalar için difüzyon katsayısı en yüksek renk şiddeti değerlerinin elde edildiği boyama banyosu koşullarında 80 °C sıcaklıkta tespit edilmiştir. Mikrodalga enerjisi kullanılarak yapılan boyamalarda ise sıcaklığın sabit bir değerde tutulması kontrol edilemeyen bir parametre olmakla beraber 3 dakikalık süre ile belirlenen sıcaklık ortalaması olan 99.40 ± 2.89 °C'de difüzyon katsayıları hesaplanmıştır.

4.3.5. Boyanmış kumaşların yıkama haslıklarının belirlenmesi

Boyanmış kumaşların yıkama haslıkları ISO standartlarına göre yapılmıştır. Boyanmış örnekler çeşitli kumaşların (yün, akrilik, polyester, poliamid, pamuk ve asetat) karışımından oluşan bir multifiber ile birleştirilmiş şekilde 1/50 flotte oranında, 50 °C sıcaklıkta ve 30 dakika süre ile alkali sabun içeren bir banyoda yıkanmıştır. Yıkamanın ardından örneklerin önce distile su ile daha sonra da musluk

suyu ile durulanıp açık havada kuruması sağlanmıştır. Örneklerin haslık değerleri gri skala kullanılarak belirlenmiştir.

4.3.6. Boyanmamış ve boyanmış kumaşların yüzey görüntülerinin incelenmesi

Bu amaçla boyanmamış ve çeşitli yöntemler ile boyanmış örnekler önce altınla kaplanmış daha sonra ise taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir.

BÖLÜM 5. SONUÇLAR

5.1. Değişik Seviyelerde Mikrodalga Enerjisi Kullanılarak Yapılan Boyamaların Sonuçları

Mikrodalga fırının L, M-L, M, M-H ve H seviyelerinde farklı flote (1/20 1/50 ve 1/100) ve farklı boyama şiddetlerinde (%0.5, %1 ve %2) hazırlanan boyama banyolarında 5 dakika süre ile boyanan örnekler için elde edilen K/S değerleri Tablo 5.1-5.5'de verilmiştir.

Sonuçlardan en büyük K/S değerinin olduğu 620 nm boyarmaddenin pik verdiği dalga boyu olarak belirlenmiştir.

Tablo 5.1. Mikrodalganın L seviyesinde (195.5 W) boyanan örnekler için K/S değerleri

Dalgaboyu (nm)	K/S									
	Boyanmamış örnek	Örnek 1	Örnek 6	Örnek 11	Örnek 16	Örnek 21	Örnek 26	Örnek 31	Örnek 36	Örnek 41
360	0,101	0,374	0,335	0,405	0,209	0,334	0,307	0,169	0,187	0,278
370	0,100	0,331	0,298	0,358	0,191	0,292	0,271	0,158	0,172	0,245
380	0,099	0,299	0,272	0,324	0,180	0,267	0,249	0,152	0,165	0,226
390	0,098	0,273	0,251	0,296	0,171	0,248	0,231	0,148	0,158	0,209
400	0,098	0,253	0,234	0,273	0,162	0,232	0,216	0,143	0,151	0,197
410	0,097	0,240	0,222	0,257	0,156	0,220	0,205	0,139	0,148	0,188
420	0,097	0,231	0,216	0,249	0,153	0,211	0,197	0,136	0,143	0,181
430	0,097	0,226	0,214	0,247	0,151	0,207	0,194	0,134	0,143	0,178
440	0,096	0,221	0,216	0,251	0,149	0,207	0,195	0,134	0,144	0,178
450	0,096	0,221	0,222	0,259	0,150	0,210	0,199	0,133	0,146	0,179
460	0,096	0,222	0,231	0,271	0,152	0,215	0,206	0,134	0,150	0,182
470	0,096	0,224	0,242	0,286	0,154	0,224	0,215	0,135	0,155	0,187
480	0,097	0,230	0,257	0,306	0,157	0,236	0,227	0,136	0,162	0,194
490	0,097	0,239	0,279	0,333	0,163	0,254	0,245	0,139	0,168	0,205
500	0,097	0,250	0,307	0,369	0,170	0,276	0,268	0,142	0,176	0,219
510	0,097	0,268	0,341	0,414	0,179	0,307	0,298	0,147	0,189	0,239
520	0,097	0,291	0,384	0,470	0,193	0,344	0,337	0,154	0,200	0,265
530	0,097	0,319	0,435	0,537	0,210	0,388	0,379	0,161	0,209	0,294
540	0,097	0,351	0,491	0,609	0,229	0,435	0,427	0,170	0,224	0,327
550	0,097	0,388	0,553	0,686	0,249	0,487	0,479	0,182	0,241	0,365
560	0,097	0,430	0,621	0,771	0,274	0,545	0,537	0,194	0,254	0,408
570	0,097	0,473	0,694	0,858	0,300	0,605	0,599	0,209	0,265	0,453
580	0,097	0,516	0,765	0,941	0,326	0,670	0,662	0,224	0,283	0,504
590	0,098	0,553	0,821	1,004	0,350	0,725	0,715	0,238	0,299	0,548
600	0,098	0,591	0,871	1,061	0,377	0,784	0,771	0,255	0,318	0,598
610	0,098	0,618	0,905	1,096	0,397	0,828	0,816	0,268	0,336	0,636
620	0,097	0,628	0,916	1,104	0,405	0,847	0,835	0,273	0,343	0,655
630	0,098	0,616	0,902	1,082	0,401	0,841	0,829	0,273	0,342	0,654
640	0,098	0,589	0,858	1,032	0,391	0,815	0,801	0,269	0,335	0,640
650	0,097	0,559	0,803	0,966	0,379	0,783	0,765	0,264	0,327	0,620
660	0,097	0,528	0,748	0,898	0,366	0,745	0,726	0,258	0,319	0,596
670	0,097	0,492	0,688	0,819	0,345	0,694	0,679	0,246	0,304	0,558
680	0,097	0,441	0,608	0,722	0,309	0,618	0,615	0,224	0,275	0,498
690	0,097	0,375	0,511	0,601	0,261	0,525	0,530	0,192	0,236	0,419
700	0,097	0,310	0,416	0,485	0,216	0,433	0,443	0,163	0,197	0,343
710	0,097	0,259	0,342	0,395	0,181	0,362	0,374	0,142	0,168	0,285
720	0,096	0,220	0,287	0,326	0,159	0,307	0,318	0,131	0,149	0,243
730	0,096	0,193	0,247	0,278	0,144	0,267	0,277	0,123	0,137	0,214
740	0,097	0,171	0,217	0,241	0,135	0,234	0,241	0,119	0,129	0,190
750	0,097	0,153	0,191	0,211	0,127	0,203	0,208	0,115	0,122	0,168

Tablo 5.2. Mikrodalganın M-L seviyesinde (460 W) boyanan örnekler için K/S değerleri

Dalgaboyu (nm)	K/S								
	Örnek 2	Örnek 7	Örnek 12	Örnek 17	Örnek 22	Örnek 27	Örnek 32	Örnek 37	Örnek 42
360	0,425	0,452	0,493	0,316	0,439	0,439	0,199	0,294	0,373
370	0,374	0,397	0,432	0,283	0,384	0,382	0,183	0,261	0,323
380	0,338	0,360	0,392	0,260	0,350	0,348	0,174	0,242	0,295
390	0,305	0,329	0,356	0,243	0,321	0,318	0,166	0,225	0,270
400	0,280	0,301	0,326	0,227	0,299	0,294	0,159	0,211	0,250
410	0,265	0,283	0,307	0,215	0,282	0,277	0,154	0,201	0,237
420	0,254	0,274	0,298	0,207	0,267	0,264	0,150	0,193	0,227
430	0,252	0,271	0,296	0,202	0,260	0,260	0,148	0,189	0,222
440	0,253	0,275	0,301	0,200	0,257	0,262	0,147	0,189	0,223
450	0,260	0,286	0,314	0,202	0,260	0,271	0,147	0,193	0,229
460	0,271	0,301	0,331	0,208	0,269	0,283	0,149	0,197	0,237
470	0,283	0,319	0,354	0,214	0,281	0,301	0,151	0,205	0,249
480	0,303	0,344	0,384	0,223	0,298	0,325	0,154	0,214	0,263
490	0,329	0,381	0,425	0,239	0,324	0,360	0,159	0,229	0,287
500	0,363	0,426	0,478	0,258	0,359	0,404	0,164	0,247	0,317
510	0,407	0,485	0,544	0,285	0,403	0,462	0,173	0,273	0,359
520	0,462	0,557	0,624	0,318	0,459	0,532	0,185	0,307	0,410
530	0,529	0,642	0,716	0,356	0,522	0,607	0,200	0,346	0,467
540	0,602	0,735	0,813	0,398	0,588	0,683	0,216	0,389	0,530
550	0,681	0,834	0,917	0,445	0,659	0,765	0,239	0,439	0,598
560	0,769	0,939	1,027	0,498	0,736	0,848	0,263	0,494	0,669
570	0,856	1,043	1,137	0,551	0,815	0,930	0,288	0,551	0,746
580	0,944	1,144	1,240	0,607	0,895	1,012	0,317	0,612	0,823
590	1,006	1,213	1,309	0,651	0,955	1,070	0,342	0,663	0,886
600	1,061	1,272	1,361	0,699	1,015	1,128	0,372	0,718	0,950
610	1,093	1,304	1,388	0,730	1,054	1,163	0,393	0,757	0,993
620	1,100	1,307	1,383	0,741	1,061	1,169	0,401	0,769	1,005
630	1,080	1,278	1,346	0,732	1,043	1,147	0,400	0,763	0,993
640	1,026	1,209	1,268	0,706	0,998	1,095	0,392	0,739	0,955
650	0,955	1,128	1,168	0,671	0,941	1,032	0,381	0,707	0,909
660	0,878	1,041	1,073	0,632	0,880	0,965	0,368	0,671	0,856
670	0,795	0,947	0,976	0,582	0,806	0,887	0,345	0,620	0,785
680	0,699	0,821	0,860	0,516	0,712	0,790	0,306	0,547	0,693
690	0,585	0,707	0,728	0,438	0,600	0,679	0,257	0,461	0,581
700	0,476	0,577	0,594	0,362	0,490	0,567	0,213	0,376	0,473
710	0,390	0,412	0,485	0,304	0,403	0,474	0,181	0,311	0,387
720	0,323	0,387	0,397	0,260	0,336	0,401	0,162	0,264	0,323
730	0,276	0,325	0,334	0,227	0,287	0,345	0,148	0,230	0,277
740	0,237	0,276	0,283	0,200	0,246	0,295	0,138	0,202	0,238
750	0,205	0,234	0,240	0,177	0,210	0,250	0,130	0,178	0,205

Tablo 5.3. Mikrodalganın M seviyesinde (759 W) boyanan örnekler için K/S değerleri

Dalgaboyu (nm)	K/S								
	Örnek 3	Örnek 8	Örnek 13	Örnek 18	Örnek 23	Örnek 28	Örnek 33	Örnek 38	Örnek 43
360	0,471	0,402	0,572	0,300	0,508	0,556	0,246	0,358	0,458
370	0,410	0,355	0,501	0,269	0,444	0,484	0,222	0,316	0,397
380	0,369	0,324	0,451	0,247	0,403	0,437	0,208	0,289	0,357
390	0,334	0,298	0,409	0,231	0,370	0,398	0,196	0,268	0,324
400	0,305	0,275	0,374	0,216	0,342	0,364	0,186	0,249	0,296
410	0,286	0,261	0,353	0,205	0,322	0,343	0,179	0,237	0,278
420	0,276	0,253	0,342	0,197	0,305	0,328	0,171	0,227	0,266
430	0,272	0,252	0,341	0,193	0,297	0,324	0,167	0,221	0,260
440	0,275	0,255	0,350	0,192	0,299	0,329	0,165	0,221	0,261
450	0,285	0,264	0,368	0,194	0,306	0,344	0,165	0,224	0,268
460	0,301	0,278	0,394	0,200	0,322	0,367	0,166	0,231	0,279
470	0,319	0,296	0,427	0,208	0,344	0,397	0,167	0,238	0,295
480	0,347	0,320	0,469	0,217	0,375	0,439	0,171	0,252	0,317
490	0,385	0,355	0,531	0,234	0,418	0,501	0,176	0,271	0,351
500	0,435	0,399	0,609	0,254	0,477	0,579	0,184	0,295	0,395
510	0,498	0,454	0,705	0,282	0,550	0,680	0,195	0,329	0,451
520	0,574	0,521	0,819	0,317	0,634	0,799	0,211	0,372	0,519
530	0,659	0,593	0,949	0,356	0,721	0,923	0,231	0,422	0,592
540	0,748	0,668	1,080	0,399	0,799	1,045	0,252	0,475	0,666
550	0,841	0,745	1,213	0,444	0,874	1,162	0,280	0,535	0,749
560	0,936	0,824	1,343	0,494	0,947	1,276	0,312	0,599	0,832
570	1,029	0,903	1,463	0,545	1,015	1,378	0,344	0,667	0,917
580	1,122	0,979	1,574	0,596	1,082	1,475	0,377	0,738	1,003
590	1,186	1,028	1,636	0,641	1,126	1,532	0,409	0,793	1,070
600	1,244	1,069	1,676	0,686	1,167	1,580	0,441	0,852	1,132
610	1,272	1,091	1,682	0,714	1,186	1,592	0,464	0,891	1,168
620	1,272	1,088	1,645	0,721	1,173	1,562	0,472	0,901	1,170
630	1,240	1,060	1,580	0,711	1,138	1,505	0,470	0,889	1,144
640	1,176	0,998	1,477	0,684	1,084	1,414	0,455	0,853	1,090
650	1,103	0,925	1,361	0,654	1,019	1,316	0,439	0,809	1,027
660	1,024	0,851	1,247	0,616	0,949	1,213	0,417	0,759	0,959
670	0,931	0,771	1,121	0,563	0,862	1,094	0,385	0,695	0,876
680	0,820	0,676	0,976	0,493	0,758	0,951	0,338	0,612	0,771
690	0,691	0,568	0,815	0,412	0,640	0,793	0,280	0,513	0,649
700	0,564	0,465	0,660	0,337	0,528	0,640	0,228	0,416	0,529
710	0,464	0,382	0,535	0,281	0,438	0,520	0,191	0,343	0,435
720	0,384	0,319	0,435	0,239	0,370	0,426	0,168	0,289	0,362
730	0,324	0,274	0,363	0,210	0,319	0,358	0,151	0,250	0,308
740	0,276	0,238	0,307	0,187	0,276	0,302	0,141	0,219	0,262
750	0,234	0,209	0,260	0,166	0,238	0,256	0,131	0,191	0,222

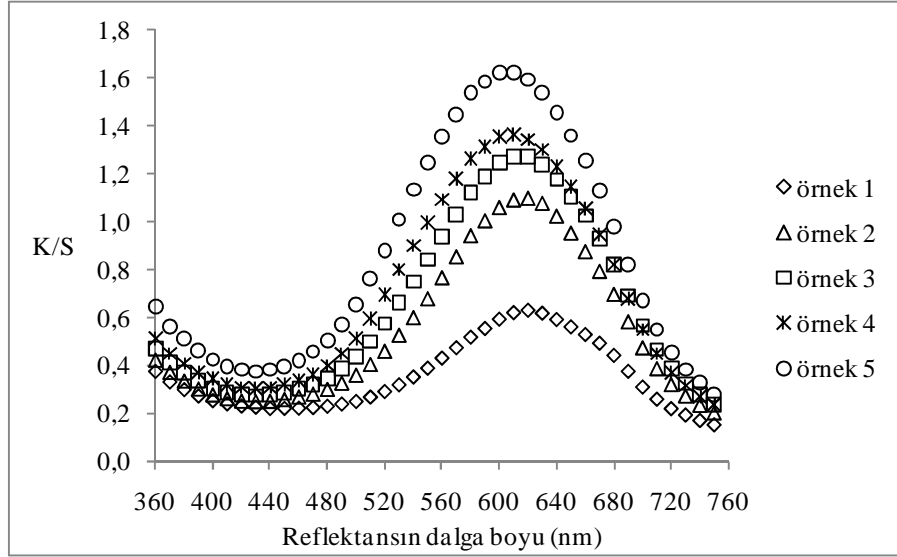
Tablo 5.4. Mikrodalganın M-H seviyesinde (977.5 W) boyanan örnekler için K/S değerleri

Dalgaboyu (nm)	K/S								
	Örnek 4	Örnek 9	Örnek 14	Örnek 19	Örnek 24	Örnek 29	Örnek 34	Örnek 39	Örnek 44
360	0,514	0,572	0,620	0,419	0,419	0,626	0,228	0,379	0,439
370	0,451	0,500	0,543	0,368	0,368	0,544	0,208	0,330	0,382
380	0,408	0,451	0,491	0,334	0,334	0,491	0,197	0,300	0,345
390	0,373	0,409	0,448	0,306	0,306	0,446	0,188	0,275	0,315
400	0,343	0,376	0,410	0,283	0,283	0,409	0,179	0,255	0,291
410	0,322	0,353	0,386	0,266	0,266	0,384	0,171	0,241	0,274
420	0,309	0,340	0,374	0,253	0,253	0,367	0,166	0,231	0,261
430	0,305	0,339	0,372	0,247	0,247	0,361	0,163	0,226	0,256
440	0,308	0,347	0,382	0,247	0,247	0,368	0,161	0,226	0,258
450	0,320	0,363	0,403	0,251	0,251	0,385	0,161	0,231	0,265
460	0,339	0,387	0,431	0,262	0,262	0,410	0,163	0,239	0,278
470	0,364	0,419	0,468	0,276	0,276	0,446	0,165	0,253	0,295
480	0,399	0,462	0,517	0,297	0,297	0,494	0,168	0,270	0,318
490	0,451	0,523	0,588	0,327	0,327	0,564	0,174	0,294	0,354
500	0,515	0,601	0,676	0,367	0,367	0,654	0,183	0,328	0,399
510	0,598	0,698	0,786	0,419	0,419	0,766	0,194	0,373	0,456
520	0,697	0,813	0,915	0,480	0,480	0,894	0,209	0,429	0,526
530	0,802	0,938	1,051	0,547	0,547	1,029	0,227	0,490	0,598
540	0,902	1,062	1,188	0,614	0,614	1,155	0,247	0,553	0,669
550	1,000	1,185	1,321	0,679	0,679	1,274	0,271	0,621	0,745
560	1,095	1,306	1,448	0,748	0,748	1,390	0,299	0,695	0,820
570	1,182	1,415	1,561	0,811	0,811	1,492	0,327	0,769	0,895
580	1,263	1,517	1,660	0,874	0,874	1,589	0,357	0,844	0,970
590	1,317	1,574	1,714	0,924	0,924	1,647	0,382	0,903	1,025
600	1,358	1,621	1,743	0,971	0,971	1,692	0,410	0,964	1,078
610	1,368	1,625	1,736	0,991	0,991	1,700	0,431	1,001	1,107
620	1,347	1,598	1,692	0,985	0,985	1,664	0,437	1,006	1,105
630	1,303	1,539	1,618	0,961	0,961	1,600	0,432	0,988	1,078
640	1,233	1,443	1,510	0,921	0,921	1,507	0,419	0,946	1,027
650	1,149	1,336	1,388	0,870	0,870	1,400	0,404	0,898	0,969
660	1,057	1,226	1,267	0,811	0,811	1,290	0,387	0,841	0,905
670	0,948	1,107	1,135	0,731	0,731	1,162	0,362	0,768	0,826
680	0,822	0,967	0,986	0,629	0,629	1,010	0,322	0,674	0,728
690	0,681	0,809	0,824	0,518	0,518	0,843	0,272	0,563	0,612
700	0,550	0,656	0,670	0,416	0,416	0,682	0,224	0,458	0,500
710	0,451	0,533	0,544	0,341	0,341	0,555	0,190	0,375	0,413
720	0,373	0,436	0,445	0,285	0,285	0,456	0,166	0,315	0,346
730	0,317	0,365	0,372	0,245	0,245	0,383	0,152	0,270	0,296
740	0,272	0,307	0,317	0,214	0,214	0,324	0,141	0,234	0,255
750	0,235	0,260	0,270	0,189	0,189	0,275	0,133	0,201	0,219

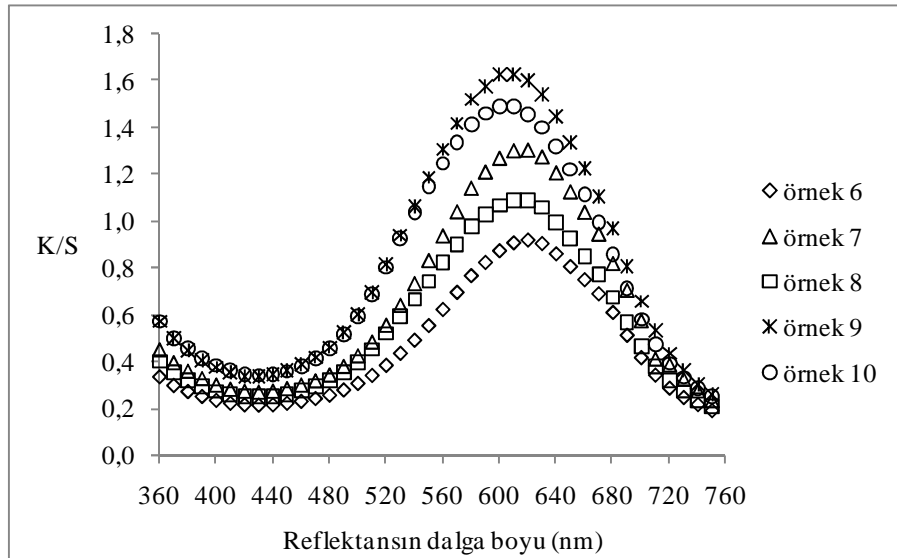
Tablo 5.5. Mikrodalganın H seviyesinde (1150 W) boyanan örnekler için K/S değerleri

Dalgaboyu (nm)	K/S								
	Örnek 5	Örnek 10	Örnek 15	Örnek 20	Örnek 25	Örnek 30	Örnek 35	Örnek 40	Örnek 45
360	0,647	0,568	1,021	0,600	0,609	0,782	0,280	0,412	0,499
370	0,565	0,498	0,890	0,525	0,532	0,678	0,250	0,364	0,435
380	0,510	0,451	0,800	0,474	0,483	0,610	0,232	0,333	0,393
390	0,465	0,413	0,725	0,431	0,440	0,554	0,218	0,306	0,358
400	0,425	0,379	0,662	0,394	0,405	0,506	0,205	0,284	0,330
410	0,397	0,356	0,621	0,366	0,380	0,473	0,195	0,268	0,311
420	0,383	0,342	0,601	0,347	0,362	0,454	0,188	0,254	0,296
430	0,376	0,337	0,602	0,335	0,355	0,449	0,184	0,248	0,288
440	0,382	0,342	0,624	0,332	0,358	0,460	0,183	0,247	0,290
450	0,398	0,356	0,663	0,338	0,371	0,484	0,184	0,251	0,298
460	0,423	0,378	0,721	0,353	0,391	0,520	0,187	0,260	0,312
470	0,458	0,409	0,796	0,374	0,422	0,570	0,192	0,274	0,335
480	0,506	0,451	0,896	0,406	0,461	0,635	0,200	0,293	0,363
490	0,572	0,511	1,033	0,453	0,519	0,731	0,212	0,323	0,408
500	0,657	0,588	1,207	0,514	0,594	0,850	0,227	0,361	0,465
510	0,762	0,685	1,415	0,593	0,688	0,996	0,248	0,410	0,537
520	0,883	0,800	1,652	0,682	0,799	1,169	0,275	0,467	0,622
530	1,012	0,921	1,900	0,777	0,909	1,346	0,303	0,525	0,708
540	1,136	1,036	2,134	0,864	1,015	1,513	0,333	0,580	0,791
550	1,251	1,143	2,347	0,948	1,114	1,668	0,366	0,634	0,871
560	1,359	1,244	2,535	1,033	1,207	1,813	0,401	0,688	0,949
570	1,451	1,333	2,682	1,106	1,291	1,934	0,438	0,738	1,020
580	1,542	1,411	2,801	1,178	1,373	2,048	0,476	0,791	1,093
590	1,589	1,458	2,845	1,227	1,420	2,106	0,509	0,830	1,142
600	1,627	1,489	2,843	1,267	1,460	2,144	0,544	0,870	1,188
610	1,627	1,485	2,774	1,275	1,467	2,130	0,566	0,892	1,206
620	1,595	1,452	2,659	1,255	1,441	2,066	0,569	0,886	1,193
630	1,541	1,398	2,521	1,214	1,394	1,976	0,561	0,867	1,158
640	1,459	1,314	2,344	1,157	1,323	1,857	0,543	0,831	1,102
650	1,361	1,218	2,151	1,091	1,236	1,720	0,520	0,790	1,033
660	1,255	1,113	1,957	1,010	1,141	1,578	0,492	0,740	0,961
670	1,130	0,994	1,745	0,908	1,029	1,419	0,451	0,674	0,872
680	0,983	0,856	1,512	0,784	0,897	1,224	0,395	0,590	0,763
690	0,824	0,711	1,265	0,650	0,754	1,018	0,329	0,495	0,642
700	0,672	0,575	1,031	0,528	0,616	0,822	0,269	0,405	0,525
710	0,552	0,470	0,839	0,435	0,507	0,664	0,226	0,339	0,435
720	0,456	0,389	0,679	0,363	0,421	0,539	0,197	0,289	0,366
730	0,384	0,329	0,561	0,312	0,358	0,449	0,177	0,253	0,314
740	0,326	0,283	0,467	0,271	0,306	0,376	0,162	0,223	0,271
750	0,277	0,246	0,393	0,235	0,262	0,318	0,149	0,196	0,233

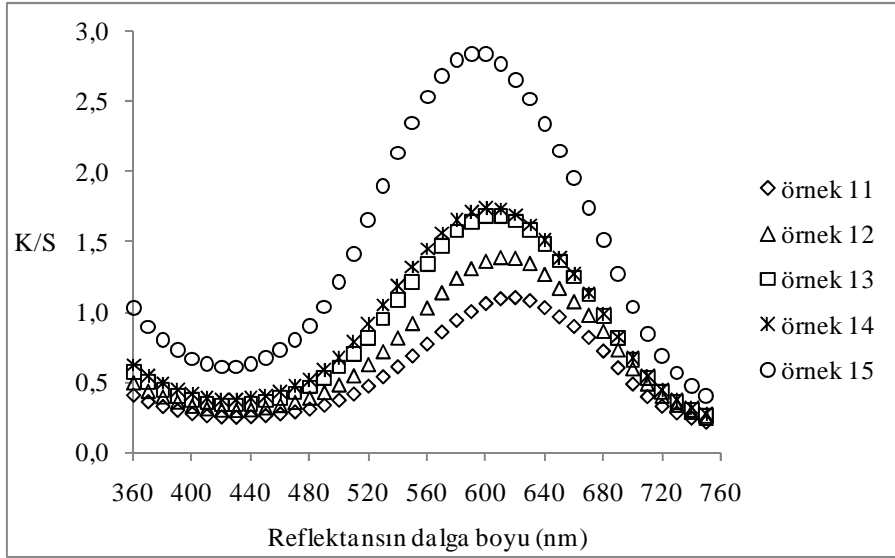
Değişen boyama şiddetlerinde 1/20 flote için K/S değerlerinin reflektansın dalga boyuna karşı değişimi Şekil 5.1, 5.2 ve 5.3 de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. 1/20 flote ve %0.5 boyama şiddetinde hazırlanan boyama banyosunda değişik seviyelerde mikrodalga enerjisi kullanılarak boyanan örnekler için reflektansın dalga boyu-K/S ilişkisi

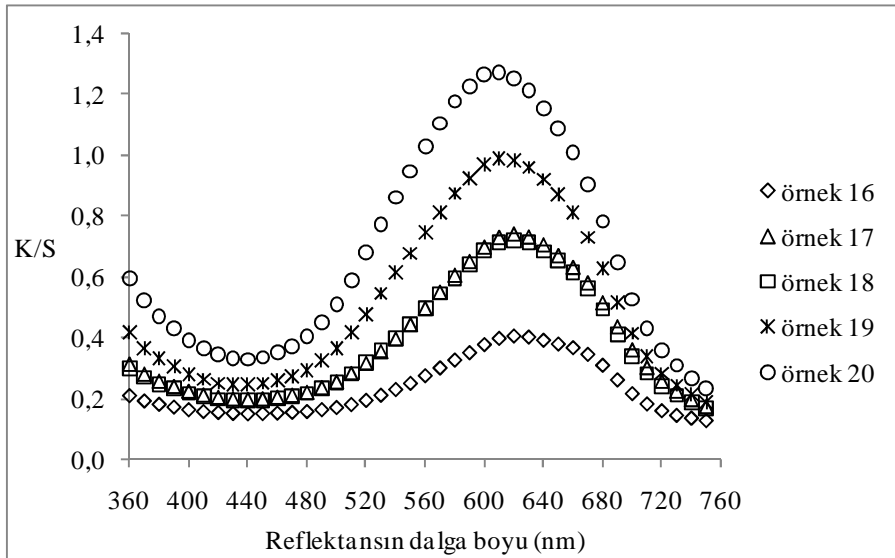


Şekil 5.2. 1/20 flote ve %1 boyama şiddetinde hazırlanan boyama banyosunda değişik seviyelerde mikrodalga enerjisi kullanılarak boyanan örnekler için reflektansın dalga boyu-K/S ilişkisi

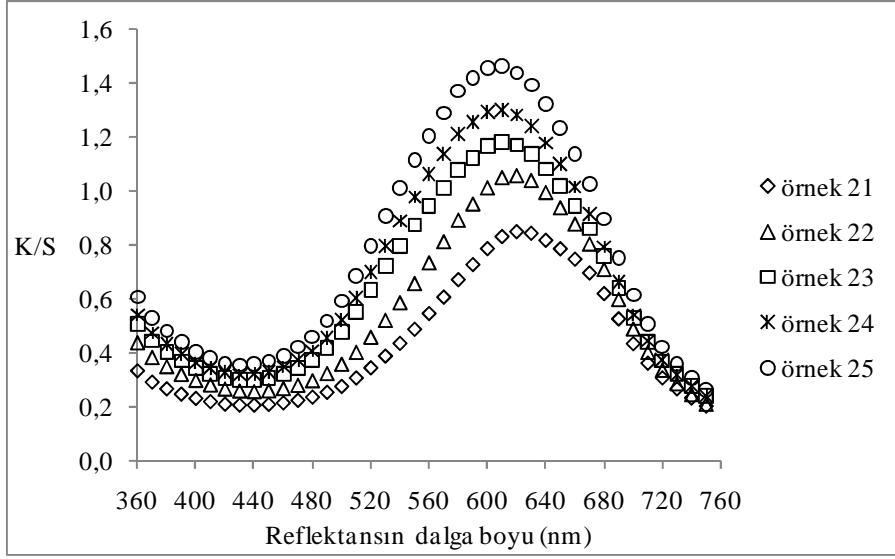


Şekil 5.3. 1/20 flotte ve %2 boyama şiddetinde hazırlanan boyama banyosunda değişik seviyelerde mikrodalga enerjisi kullanılarak boyanan örnekler için reflektansın dalga boyu-K/S ilişkisi

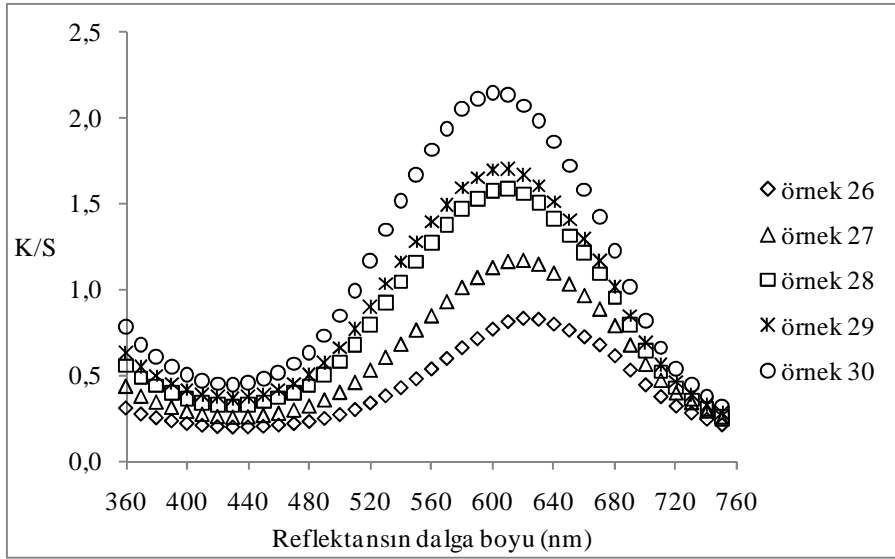
Değişen boyama şiddetlerinde 1/50 flotte için K/S değerlerinin reflektansın dalga boyuna karşı değişimi Şekil 5.4, 5.5 ve 5.6 da gösterilmiştir.



Şekil 5.4. 1/50 flotte ve %0.5 boyama şiddetinde hazırlanan boyama banyosunda değişik seviyelerde mikrodalga enerjisi kullanılarak boyanan örnekler için reflektansın dalga boyu-K/S ilişkisi

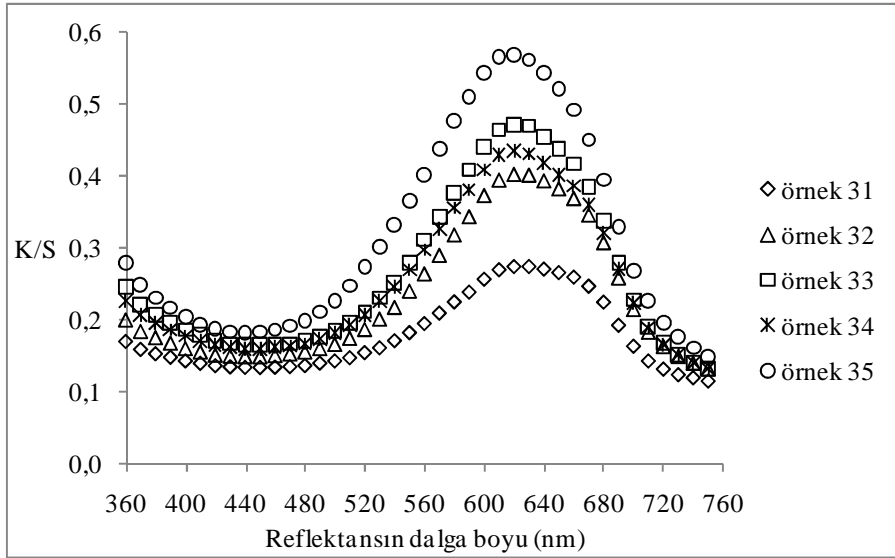


Şekil 5.5. 1/50 flotte ve %1 boyama şiddetinde hazırlanan boyama banyosunda değişik seviyelerde mikrodalga enerjisi kullanılarak boyanan örnekler için reflektansın dalga boyu-K/S ilişkisi

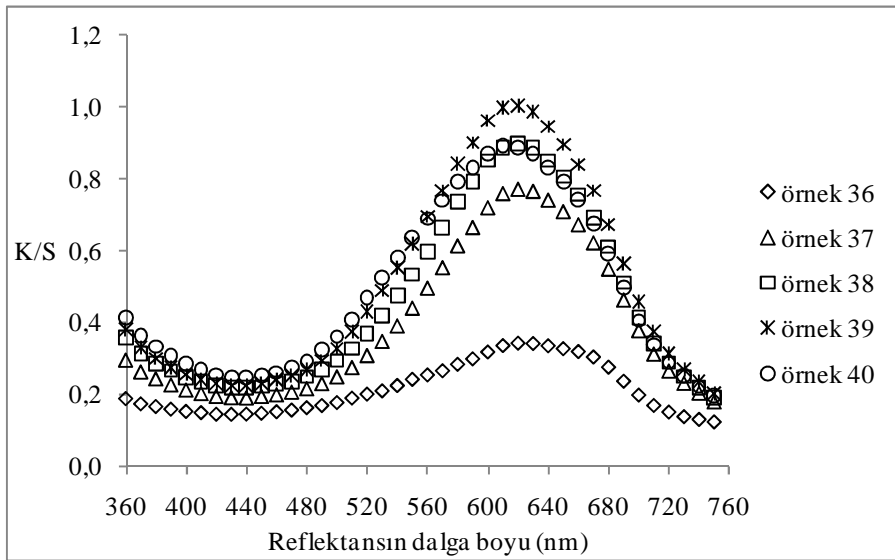


Şekil 5.6. 1/50 flotte ve %2 boyama şiddetinde hazırlanan boyama banyosunda değişik seviyelerde mikrodalga enerjisi kullanılarak boyanan örnekler için reflektansın dalga boyu-K/S ilişkisi

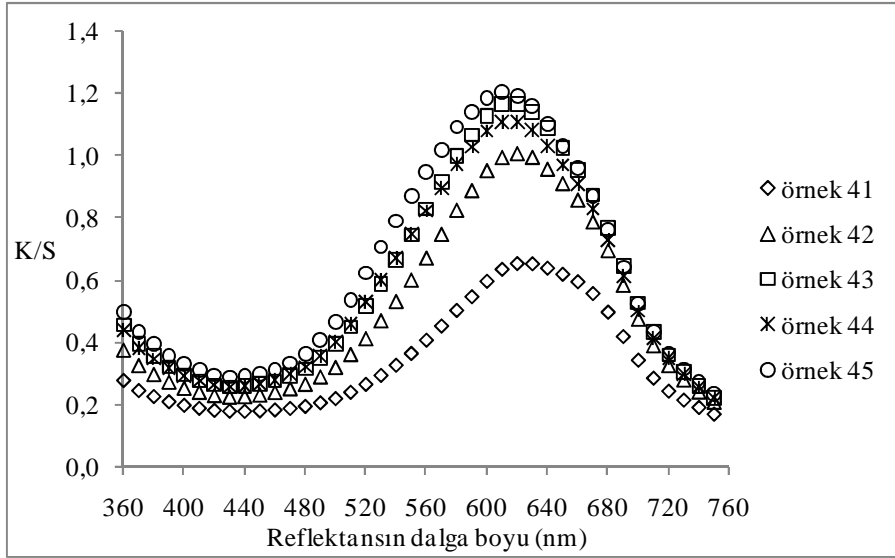
Değişen boyama şiddetlerinde 1/100 flote için K/S değerlerinin reflektansın dalga boyuna karşı değişimi Şekil 5.7, 5.8 ve 5.9 da gösterilmiştir.



Şekil 5.7. 1/100 flote ve %0.5 boyama şiddetinde hazırlanan boyama banyosunda değişik seviyelerde mikrodalga enerjisi kullanılarak boyanan örnekler için reflektansın dalga boyu-K/S ilişkisi



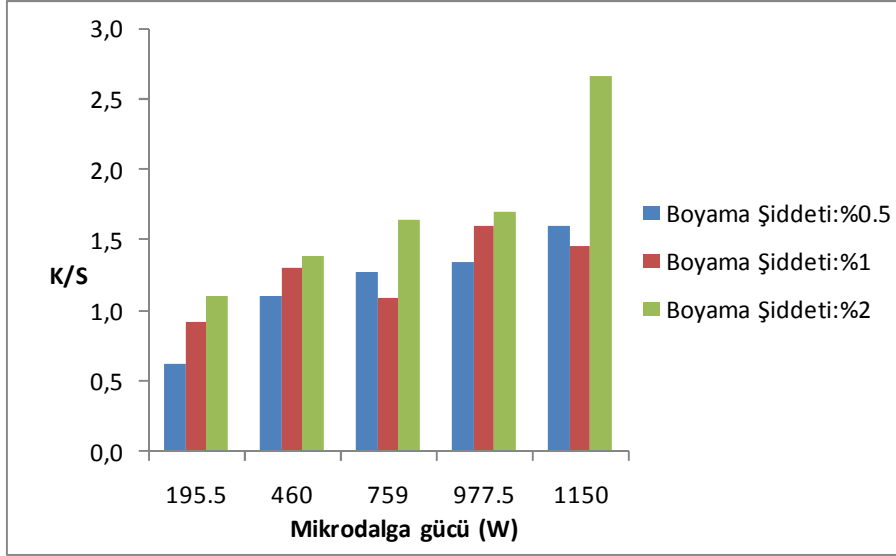
Şekil 5.8. 1/100 flote ve %1 boyama şiddetinde hazırlanan boyama banyosunda değişik seviyelerde mikrodalga enerjisi kullanılarak boyanan örnekler için reflektansın dalga boyu-K/S ilişkisi



Şekil 5.9. 1/100 flotte ve %2 boyama şiddetinde hazırlanan boyama banyosunda değişik seviyelerde mikrodalga enerjisi kullanılarak boyanan örnekler için reflektansın dalga boyu-K/S ilişkisi

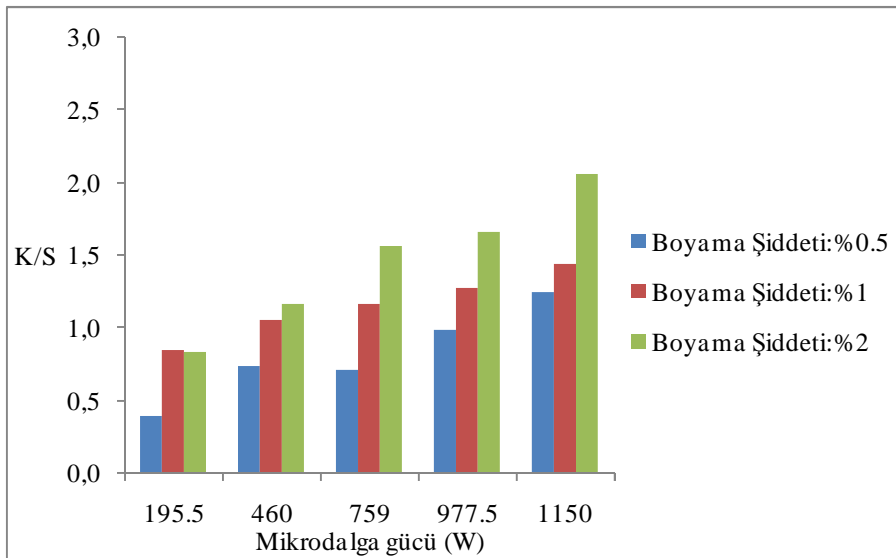
Grafiklerden de görüldüğü üzere mikrodalğanın H seviyesinde gerçekleştirilen boyamalar en büyük K/S değerine sahiptir.

Değişik flotte ve boyama şiddetinde hazırlanan boyama banyolarında boyanan örneklerin renk verimini kıyaslamak için boyarmaddenin pik verdiği dalga boyundaki K/S değerleri kullanılmıştır. 1/20 flotte ve değişen boyama şiddetlerinde hazırlanan boyama banyosunda değişik seviyelerde mikrodalga enerjisi kullanılarak boyanan örnekler için renk şiddetinin mikrodalga gücüne göre değişimi şekil 5.10'da, 1/50 flotte ve değişen boyama şiddetlerinde hazırlanan boyama banyosunda değişik seviyelerde mikrodalga enerjisi kullanılarak boyanan örnekler için renk şiddetinin mikrodalga gücüne göre değişimi şekil 5.11'de ve 1/100 flotte ve değişen boyama şiddetlerinde hazırlanan boyama banyosunda değişik seviyelerde mikrodalga enerjisi kullanılarak boyanan örnekler için renk şiddetinin mikrodalga gücüne göre değişimi şekil 5.12'de verilmiştir.



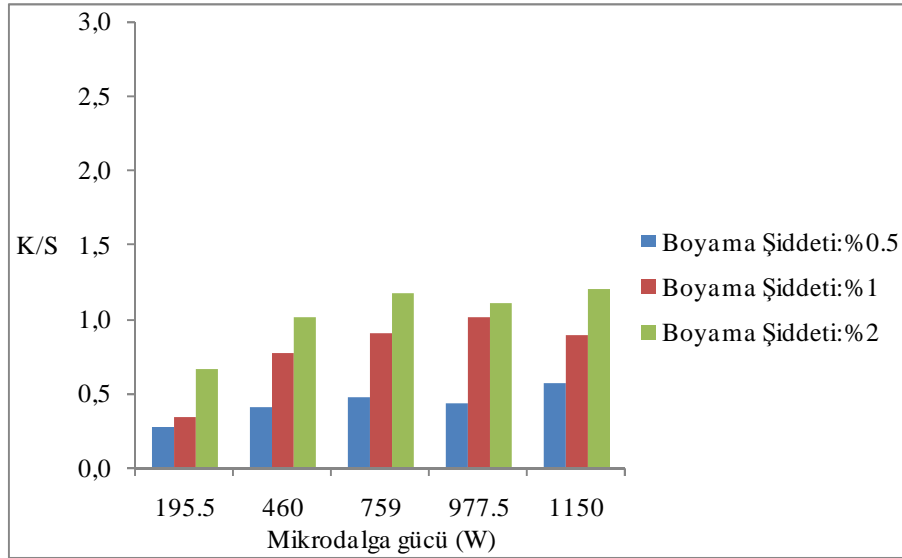
Şekil 5.10. 1/20 Flotte ve farklı boyama şiddetlerinde değişen mikrodalga güçlerinde boyanan örnekler için mikrodalga gücü ve renk şiddeti ilişkisi

Şekil 5.10'dan görüldüğü gibi mikrodalga gücünün ve boyama şiddetinin artmasıyla boyanan örneklerin K/S değerleri artış göstermektedir. Mikrodalga gücünün 1150 W, boyama şiddetinin ise %2 olduğu örneğin renk şiddeti diğerlerinden daha fazladır ve bu flote oranı (1/20) için hazırlanan boyama banyosu için en büyük K/S değerine sahiptir.



Şekil 5.11. 1/50 Flotte ve farklı boyama şiddetlerinde değişen mikrodalga güçlerinde boyanan örnekler için mikrodalga gücü ve renk şiddeti ilişkisi

Şekil 5.11’de de mikrodalga gücünün ve boyama şiddetinin artmasıyla boyanan örneklerin K/S değerlerinin artış gösterdiği görülmektedir. Mikrodalga gücünün 1150 W, boyama şiddetinin ise %2 olduğu örnek 1/50 flottede hazırlanan boyama banyosu için en büyük K/S değerine sahip olmakla birlikte 1/20 flottede hazırlanan boyama banyolarından daha küçüktür.



Şekil 5.12. 1/100 Flotte ve farklı boyama şiddetlerinde değişen mikrodalga güçlerinde boyanan örnekler için mikrodalga gücü ve renk şiddeti ilişkisi

Boyama banyosunun flotte oranı 1/100 olduğunda ise mikrodalga gücünün 759 W ve 1150 W olması durumunda boyanan örneklerin yaklaşık olarak aynı K/S değerine sahip olduğu görülmektedir.

Mikrodalga'nın değişik seviyelerinde farklı boyama banyosu koşullarında boyanan örnekler için CIELab değerleri Tablo 5.6'dan 5.10'a kadar verilmiştir.

Tablo 5.6. Mikrodalganın L (195.5 W) seviyesinde boyanan örnekler için CIELab değerleri

Örnek no	L*	a*	b*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE
1	74,08	-6,34	-9,06	-10,19	-6,30	-8,99	17,45
6	70,53	-6,35	-14,84	-13,74	-6,31	-14,76	25,44
11	68,12	-6,06	-16,44	-16,15	-6,03	-16,36	27,72
16	78,39	-5,40	-7,32	-5,88	-5,36	-7,25	14,16
21	71,80	-6,95	-13,56	-12,47	-6,92	-13,48	23,97
26	72,02	-6,86	-13,91	-12,24	-6,82	-13,83	24,37
31	81,09	-4,13	-4,31	-3,18	-4,09	-4,23	9,22
36	78,99	-3,40	-6,55	-5,28	-3,36	-6,48	11,50
41	74,70	-7,12	-11,07	-9,57	-7,09	-11,00	20,62

Tablo 5.7. Mikrodalganın M-L (460 W) seviyesinde boyanan örnekler için CIELab değerleri

Örnek no	L*	a*	b*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE
2	68,20	-6,36	-16,22	-16,07	-6,32	-16,14	27,55
7	65,93	-5,73	-18,43	-18,34	-5,69	-18,35	30,58
12	64,75	-4,98	-18,80	-19,52	-4,94	-18,72	30,91
17	72,82	-6,49	-12,38	-11,45	-6,45	-12,30	21,98
22	68,56	-6,31	-15,49	-15,71	-6,28	-15,42	26,48
27	67,01	-5,11	-17,45	-17,26	-5,07	-17,38	28,82
32	78,69	-5,80	-7,04	-5,58	-5,77	-6,97	14,20
37	72,93	-7,13	-12,95	-11,34	-7,10	-12,87	23,21
42	69,70	-6,70	-15,74	-14,57	-6,66	-15,66	26,97

Tablo 5.8. Mikrodalganın M (759 W) seviyesinde boyanan örnekler için CIELab değerleri

Örnek no	L*	a*	b*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE
3	65,91	-5,00	-18,44	-18,36	-4,96	-18,36	30,29
8	67,42	-4,40	-17,17	-16,85	-4,36	-17,09	28,08
13	61,52	-2,98	-21,28	-22,74	-2,94	-21,21	34,27
18	72,96	-6,05	-12,69	-11,31	-6,01	-12,61	22,10
23	65,59	-3,01	-17,57	-18,68	-2,97	-17,50	28,39
28	62,18	-2,66	-21,30	-22,09	-2,62	-21,23	34,18
33	77,25	-6,30	-7,98	-7,01	-6,26	-7,90	15,87
38	70,86	-6,84	-14,12	-13,40	-6,80	-14,05	24,73
43	67,21	-5,54	-17,30	-17,06	-5,50	-17,23	28,77

Tablo 5.9. Mikrodalganın M-H (977.5 W) seviyesinde boyanan örnekler için CIELab değerleri

Örnek no	L*	a*	b*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE
4	64,03	-3,03	-19,50	-20,24	-2,99	-19,42	31,40
9	61,83	-2,80	-20,99	-22,44	-2,76	-20,91	33,76
14	60,46	-1,89	-21,36	-23,80	-1,85	-21,28	34,29
19	68,53	-4,58	-16,02	-15,74	-4,54	-15,95	26,39
24	64,26	-2,70	-18,58	-20,01	-2,66	-18,50	29,93
29	60,90	-1,98	-21,38	-23,37	-1,95	-21,30	34,29
34	77,63	-5,56	-7,62	-6,64	5,52	-7,54	14,72
39	69,35	-6,11	-16,10	-14,91	-6,07	-16,03	27,17
44	67,38	-4,61	-17,13	-16,89	-4,58	-17,05	28,10

Tablo 5.10. Mikrodalganın H (1150 W) seviyesinde boyanan örnekler için CIELab değerleri

Örnek no	L*	a*	b*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE
5	61,13	-1,95	-20,38	-23,14	-1,92	-20,30	32,77
10	62,44	-1,99	-20,24	-21,83	-1,96	-20,16	32,45
15	48,90	2,33	-25,33	-35,36	2,37	-25,26	41,43
20	64,55	-3,17	-17,57	-19,72	-3,14	-17,49	28,52
25	62,58	-2,35	-19,26	-21,68	-2,31	-19,19	31,03
30	57,34	-0,79	-22,93	-26,93	-0,75	-22,86	36,84
35	74,93	-5,37	-10,25	-9,34	-5,34	-10,17	18,17
40	69,32	-3,93	-14,72	-14,95	-3,89	-14,64	24,16
45	65,66	-3,37	-17,98	-18,61	-3,33	-17,91	29,09

Mikrodalga enerjisi kullanılarak yapılan boyamalar için örneklerin CIELab değerlerinden renk farkının (ΔE), aynı flottede hazırlanan boyama banyolarında artan mikrodalga gücü ve artan boyama şiddeti ile arttığı görülmektedir. En fazla renk farkına sahip olan örnek 41.43 renk farkına sahip olan 1/20 flotte ve %2 boyama şiddetinde hazırlanan boyama banyosunda 1150 W mikrodalga gücü kullanılarak boyanan örnektir.

5.2. Ultrasonik Enerji Kullanarak Yapılan Boyamaların Sonuçları

Ultrasonik banyo kullanılarak farklı sıcaklıklarda (20 °C, 40 °C, 60 °C ve 80 °C), farklı flote (1/20, 1/50 ve 1/100) ve farklı boyama Şiddetlerinde (%0.5, %1 ve %2) hazırlanan boyama banyolarında 15 dak. süre ile boyanan örnekler için elde edilen K/S değerleri Tablo 5.11'den 5.14'e kadar verilmiştir.

Tablo 5.11. Ultrasonik enerji kullanarak 20 °C sıcaklıkta boyanan örnekler için K/S değerleri

Dalgaboyu (nm)	K/S									
	Boyanmamış örnek	Örnek 46	Örnek 50	Örnek 54	Örnek 58	Örnek 62	Örnek 66	Örnek 70	Örnek 74	Örnek 78
360	0,101	0,425	0,533	0,481	0,310	0,399	0,419	0,307	0,335	0,393
370	0,100	0,375	0,460	0,421	0,279	0,354	0,371	0,279	0,298	0,351
380	0,099	0,341	0,411	0,378	0,257	0,322	0,338	0,258	0,275	0,322
390	0,098	0,313	0,370	0,344	0,238	0,296	0,310	0,240	0,255	0,297
400	0,098	0,287	0,335	0,314	0,221	0,271	0,285	0,225	0,235	0,275
410	0,097	0,273	0,314	0,294	0,212	0,257	0,270	0,216	0,224	0,260
420	0,097	0,264	0,302	0,286	0,206	0,248	0,261	0,211	0,218	0,248
430	0,097	0,265	0,301	0,286	0,206	0,248	0,262	0,209	0,218	0,245
440	0,096	0,271	0,307	0,295	0,211	0,254	0,268	0,214	0,223	0,247
450	0,096	0,281	0,321	0,310	0,217	0,264	0,279	0,219	0,230	0,253
460	0,096	0,299	0,344	0,333	0,229	0,282	0,298	0,228	0,244	0,264
470	0,096	0,320	0,371	0,361	0,241	0,302	0,318	0,238	0,258	0,279
480	0,097	0,346	0,407	0,397	0,257	0,330	0,346	0,252	0,277	0,297
490	0,097	0,382	0,455	0,445	0,278	0,365	0,382	0,269	0,302	0,323
500	0,097	0,424	0,511	0,498	0,302	0,408	0,426	0,288	0,330	0,352
510	0,097	0,472	0,577	0,559	0,331	0,461	0,477	0,308	0,363	0,384
520	0,097	0,517	0,640	0,617	0,359	0,514	0,530	0,328	0,400	0,419
530	0,097	0,566	0,711	0,683	0,392	0,573	0,590	0,352	0,442	0,461
540	0,097	0,614	0,783	0,751	0,425	0,633	0,650	0,376	0,484	0,501
550	0,097	0,660	0,856	0,816	0,461	0,689	0,709	0,403	0,528	0,546
560	0,097	0,705	0,929	0,883	0,497	0,747	0,766	0,428	0,574	0,593
570	0,097	0,750	1,004	0,950	0,535	0,801	0,823	0,457	0,620	0,640
580	0,097	0,792	1,071	1,010	0,570	0,852	0,874	0,485	0,663	0,682
590	0,098	0,817	1,117	1,056	0,594	0,884	0,905	0,505	0,691	0,716
600	0,098	0,833	1,156	1,089	0,615	0,910	0,924	0,519	0,719	0,746
610	0,098	0,834	1,176	1,106	0,626	0,919	0,930	0,527	0,734	0,765
620	0,097	0,823	1,167	1,095	0,624	0,905	0,915	0,527	0,732	0,766
630	0,098	0,796	1,130	1,065	0,608	0,876	0,886	0,515	0,712	0,748
640	0,098	0,758	1,071	1,014	0,583	0,833	0,839	0,495	0,679	0,717
650	0,097	0,711	1,006	0,962	0,551	0,785	0,786	0,472	0,639	0,684
660	0,097	0,657	0,940	0,903	0,516	0,726	0,722	0,444	0,599	0,647
670	0,097	0,595	0,865	0,828	0,473	0,653	0,651	0,409	0,550	0,601
680	0,097	0,516	0,766	0,732	0,414	0,563	0,560	0,361	0,487	0,536
690	0,097	0,423	0,642	0,611	0,341	0,455	0,457	0,299	0,405	0,454
700	0,097	0,338	0,518	0,494	0,273	0,359	0,363	0,243	0,328	0,373
710	0,097	0,273	0,418	0,399	0,222	0,286	0,292	0,201	0,268	0,309
720	0,096	0,225	0,338	0,325	0,186	0,234	0,240	0,173	0,222	0,258
730	0,096	0,194	0,280	0,271	0,161	0,200	0,204	0,153	0,190	0,219
740	0,097	0,173	0,238	0,229	0,147	0,175	0,180	0,141	0,168	0,191
750	0,097	0,158	0,204	0,197	0,136	0,159	0,163	0,133	0,151	0,169

Tablo 5.12. Ultrasonik enerji kullanarak 40 °C sıcaklıkta boyanan örnekler için K/S değerleri

Dalgaboyu (nm)	K/S								
	Örnek 47	Örnek 51	Örnek 55	Örnek 59	Örnek 63	Örnek 67	Örnek 71	Örnek 75	Örnek 79
360	0,468	0,471	0,468	0,304	0,383	0,437	0,301	0,366	0,384
370	0,407	0,413	0,413	0,274	0,341	0,387	0,273	0,329	0,345
380	0,367	0,372	0,375	0,252	0,312	0,353	0,252	0,303	0,318
390	0,332	0,339	0,341	0,236	0,287	0,323	0,236	0,281	0,294
400	0,302	0,310	0,312	0,219	0,264	0,295	0,219	0,261	0,272
410	0,284	0,292	0,294	0,207	0,250	0,279	0,210	0,247	0,257
420	0,274	0,281	0,284	0,201	0,241	0,268	0,202	0,237	0,248
430	0,274	0,285	0,285	0,198	0,242	0,267	0,200	0,233	0,246
440	0,280	0,286	0,292	0,199	0,245	0,272	0,202	0,233	0,247
450	0,291	0,305	0,304	0,202	0,254	0,281	0,204	0,237	0,253
460	0,310	0,328	0,323	0,209	0,269	0,296	0,210	0,247	0,264
470	0,333	0,354	0,346	0,217	0,285	0,317	0,217	0,256	0,277
480	0,363	0,389	0,379	0,228	0,308	0,341	0,226	0,270	0,296
490	0,405	0,436	0,419	0,241	0,337	0,375	0,238	0,288	0,318
500	0,454	0,491	0,467	0,256	0,371	0,414	0,251	0,309	0,345
510	0,509	0,557	0,523	0,274	0,411	0,461	0,265	0,335	0,375
520	0,563	0,626	0,582	0,291	0,452	0,508	0,279	0,361	0,407
530	0,623	0,706	0,649	0,311	0,502	0,564	0,293	0,392	0,444
540	0,682	0,785	0,719	0,331	0,553	0,621	0,310	0,425	0,481
550	0,739	0,864	0,788	0,354	0,604	0,678	0,327	0,459	0,520
560	0,793	0,939	0,857	0,379	0,654	0,731	0,347	0,494	0,560
570	0,849	1,014	0,925	0,405	0,707	0,786	0,367	0,530	0,600
580	0,902	1,080	0,988	0,430	0,754	0,837	0,384	0,564	0,638
590	0,934	1,122	1,028	0,451	0,788	0,870	0,398	0,590	0,662
600	0,954	1,146	1,058	0,476	0,811	0,890	0,412	0,613	0,680
610	0,959	1,151	1,069	0,493	0,823	0,895	0,421	0,626	0,691
620	0,947	1,132	1,055	0,497	0,816	0,884	0,421	0,623	0,686
630	0,916	1,093	1,019	0,488	0,794	0,859	0,411	0,607	0,664
640	0,869	1,033	0,966	0,476	0,756	0,818	0,395	0,581	0,629
650	0,815	0,964	0,905	0,463	0,712	0,766	0,382	0,555	0,590
660	0,752	0,888	0,840	0,449	0,664	0,706	0,368	0,523	0,551
670	0,680	0,800	0,761	0,426	0,602	0,634	0,346	0,480	0,504
680	0,591	0,691	0,661	0,384	0,522	0,546	0,310	0,419	0,442
690	0,483	0,561	0,541	0,327	0,428	0,445	0,260	0,343	0,364
700	0,384	0,442	0,428	0,271	0,339	0,354	0,213	0,274	0,292
710	0,311	0,350	0,340	0,227	0,271	0,286	0,178	0,224	0,237
720	0,253	0,280	0,274	0,193	0,223	0,235	0,153	0,186	0,197
730	0,215	0,233	0,229	0,169	0,190	0,201	0,137	0,161	0,169
740	0,187	0,200	0,198	0,151	0,168	0,178	0,127	0,145	0,152
750	0,168	0,176	0,175	0,138	0,152	0,160	0,121	0,135	0,142

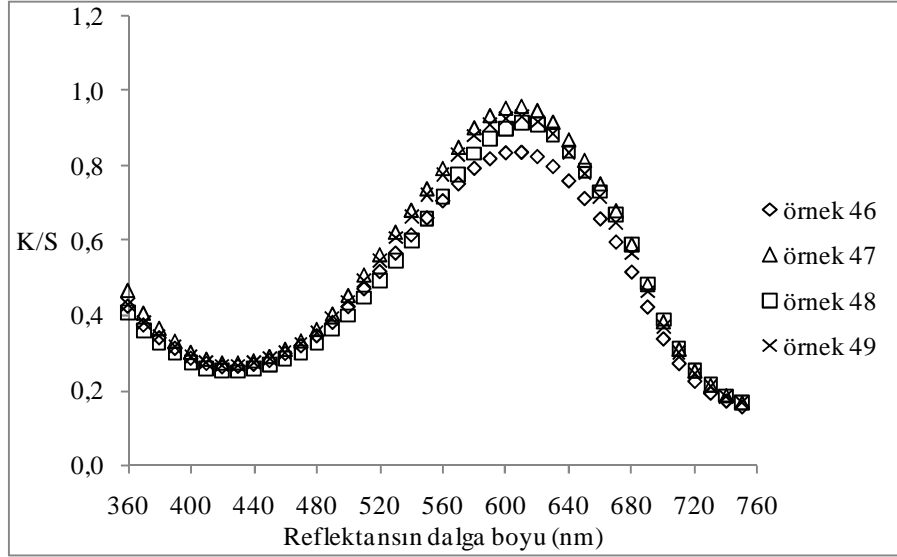
Tablo 5.13. Ultrasonik enerji kullanarak 60 °C sıcaklıkta boyanan örnekler için K/S değerleri

Dalgaboyu (nm)	K/S								
	Örnek 48	Örnek 52	Örnek 56	Örnek 60	Örnek 64	Örnek 68	Örnek 72	Örnek 76	Örnek 80
360	0,410	0,472	0,477	0,379	0,516	0,480	0,284	0,323	0,389
370	0,362	0,415	0,419	0,339	0,454	0,422	0,259	0,289	0,347
380	0,328	0,374	0,377	0,310	0,408	0,383	0,242	0,267	0,315
390	0,300	0,341	0,344	0,284	0,370	0,350	0,227	0,247	0,290
400	0,275	0,311	0,312	0,261	0,335	0,318	0,212	0,231	0,267
410	0,260	0,294	0,294	0,246	0,314	0,300	0,203	0,220	0,252
420	0,253	0,283	0,284	0,235	0,302	0,289	0,196	0,211	0,241
430	0,252	0,283	0,285	0,231	0,299	0,289	0,193	0,208	0,240
440	0,259	0,290	0,290	0,233	0,304	0,293	0,194	0,208	0,244
450	0,268	0,302	0,302	0,237	0,316	0,305	0,196	0,211	0,251
460	0,285	0,322	0,322	0,248	0,336	0,323	0,202	0,220	0,266
470	0,303	0,346	0,344	0,261	0,361	0,346	0,208	0,228	0,282
480	0,330	0,377	0,375	0,277	0,395	0,377	0,218	0,240	0,304
490	0,363	0,420	0,415	0,297	0,440	0,415	0,228	0,255	0,332
500	0,401	0,472	0,459	0,320	0,490	0,459	0,239	0,272	0,366
510	0,448	0,534	0,511	0,347	0,546	0,511	0,249	0,292	0,406
520	0,493	0,598	0,563	0,372	0,601	0,558	0,261	0,312	0,447
530	0,547	0,673	0,620	0,402	0,665	0,613	0,273	0,337	0,494
540	0,601	0,748	0,678	0,434	0,726	0,665	0,287	0,363	0,542
550	0,658	0,824	0,737	0,471	0,788	0,717	0,303	0,392	0,589
560	0,716	0,900	0,796	0,508	0,847	0,767	0,320	0,422	0,638
570	0,777	0,976	0,852	0,549	0,905	0,817	0,338	0,453	0,687
580	0,832	1,045	0,903	0,587	0,959	0,862	0,356	0,484	0,733
590	0,871	1,086	0,939	0,619	0,996	0,889	0,369	0,505	0,763
600	0,900	1,121	0,965	0,652	1,019	0,908	0,385	0,530	0,788
610	0,916	1,131	0,978	0,676	1,027	0,912	0,396	0,547	0,799
620	0,909	1,116	0,968	0,681	1,011	0,897	0,396	0,548	0,793
630	0,883	1,074	0,938	0,670	0,979	0,868	0,388	0,538	0,770
640	0,837	1,010	0,890	0,646	0,934	0,823	0,376	0,519	0,734
650	0,786	0,942	0,837	0,623	0,883	0,774	0,365	0,497	0,693
660	0,731	0,870	0,784	0,597	0,825	0,721	0,352	0,473	0,644
670	0,669	0,787	0,723	0,563	0,752	0,655	0,332	0,438	0,583
680	0,588	0,684	0,639	0,508	0,658	0,570	0,299	0,393	0,504
690	0,486	0,560	0,537	0,432	0,545	0,469	0,253	0,335	0,410
700	0,389	0,444	0,437	0,356	0,437	0,374	0,210	0,278	0,326
710	0,313	0,354	0,354	0,294	0,351	0,301	0,177	0,233	0,262
720	0,255	0,285	0,289	0,245	0,284	0,246	0,152	0,198	0,216
730	0,216	0,238	0,243	0,209	0,237	0,208	0,137	0,173	0,183
740	0,188	0,205	0,209	0,183	0,204	0,183	0,127	0,155	0,163
750	0,168	0,180	0,181	0,162	0,178	0,166	0,120	0,139	0,147

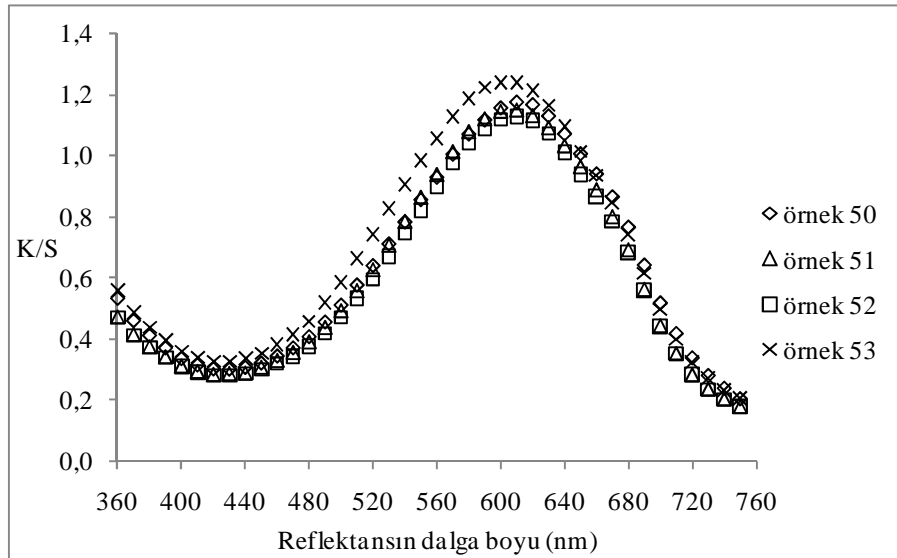
Tablo 5.14. Ultrasonik enerji kullanarak 80 °C sıcaklıkta boyanan örnekler için K/S değerleri

Dalgaboyu (nm)	K/S								
	Örnek 49	Örnek 53	Örnek 57	Örnek 61	Örnek 65	Örnek 69	Örnek 73	Örnek 77	Örnek 81
360	0,427	0,556	0,592	0,460	0,493	0,568	0,383	0,574	0,483
370	0,378	0,485	0,517	0,408	0,439	0,496	0,342	0,500	0,427
380	0,344	0,436	0,463	0,370	0,399	0,447	0,312	0,448	0,386
390	0,316	0,394	0,417	0,337	0,363	0,404	0,287	0,407	0,353
400	0,290	0,358	0,377	0,307	0,331	0,366	0,262	0,367	0,321
410	0,274	0,337	0,353	0,287	0,312	0,342	0,249	0,342	0,302
420	0,266	0,325	0,342	0,277	0,299	0,326	0,238	0,323	0,287
430	0,265	0,326	0,342	0,276	0,295	0,323	0,234	0,317	0,282
440	0,272	0,335	0,352	0,280	0,298	0,328	0,235	0,319	0,283
450	0,284	0,352	0,370	0,288	0,305	0,339	0,239	0,328	0,288
460	0,301	0,379	0,398	0,304	0,322	0,361	0,247	0,347	0,301
470	0,323	0,412	0,433	0,323	0,341	0,389	0,258	0,371	0,317
480	0,353	0,456	0,480	0,350	0,365	0,426	0,272	0,404	0,338
490	0,391	0,516	0,542	0,386	0,398	0,473	0,290	0,446	0,368
500	0,437	0,585	0,615	0,426	0,437	0,525	0,311	0,497	0,401
510	0,491	0,664	0,694	0,472	0,482	0,584	0,336	0,555	0,441
520	0,545	0,742	0,775	0,515	0,526	0,640	0,361	0,615	0,486
530	0,606	0,825	0,863	0,568	0,580	0,702	0,390	0,683	0,537
540	0,663	0,904	0,950	0,618	0,634	0,766	0,418	0,753	0,591
550	0,721	0,982	1,035	0,670	0,689	0,829	0,449	0,826	0,645
560	0,774	1,055	1,116	0,721	0,745	0,894	0,481	0,899	0,702
570	0,829	1,125	1,195	0,775	0,801	0,956	0,515	0,970	0,761
580	0,878	1,187	1,265	0,825	0,853	1,016	0,547	1,037	0,816
590	0,908	1,220	1,306	0,857	0,886	1,056	0,571	1,088	0,854
600	0,925	1,238	1,326	0,871	0,910	1,089	0,589	1,134	0,884
610	0,930	1,238	1,324	0,876	0,922	1,105	0,598	1,159	0,899
620	0,916	1,211	1,295	0,867	0,911	1,095	0,596	1,155	0,893
630	0,883	1,162	1,242	0,842	0,880	1,067	0,582	1,130	0,870
640	0,833	1,091	1,169	0,795	0,836	1,021	0,556	1,083	0,830
650	0,777	1,012	1,085	0,739	0,783	0,966	0,525	1,030	0,782
660	0,716	0,934	1,000	0,677	0,727	0,908	0,491	0,973	0,729
670	0,648	0,846	0,904	0,610	0,665	0,836	0,447	0,901	0,664
680	0,564	0,741	0,789	0,531	0,582	0,745	0,391	0,809	0,582
690	0,462	0,613	0,653	0,439	0,482	0,638	0,322	0,698	0,483
700	0,369	0,494	0,524	0,353	0,387	0,531	0,260	0,584	0,392
710	0,298	0,398	0,420	0,284	0,312	0,440	0,212	0,485	0,318
720	0,245	0,322	0,338	0,233	0,255	0,362	0,177	0,400	0,261
730	0,209	0,270	0,280	0,197	0,216	0,303	0,155	0,335	0,221
740	0,183	0,231	0,236	0,174	0,189	0,255	0,142	0,281	0,191
750	0,166	0,203	0,203	0,157	0,169	0,217	0,132	0,234	0,169

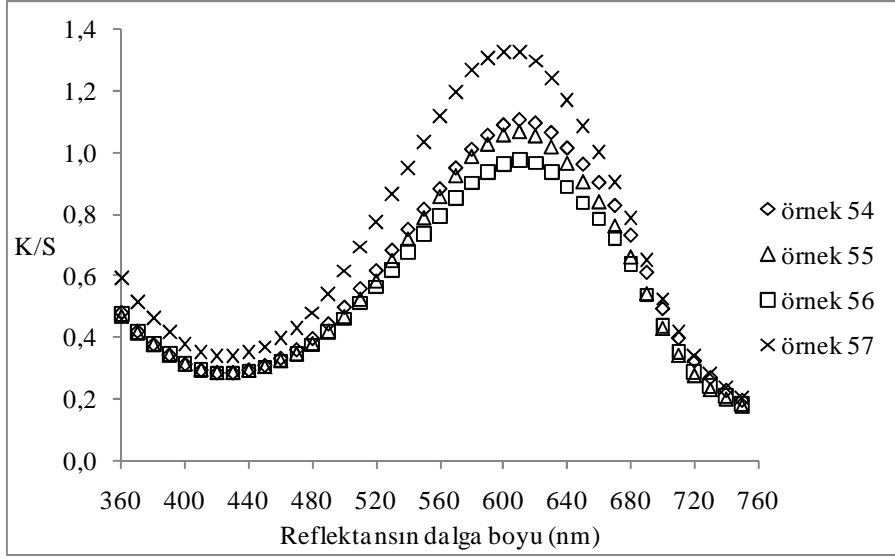
Değişen boyama şiddetlerinde 1/20 flotte için K/S değerlerinin reflektansın dalga boyuna karşı değişimi Şekil 5.13, 5.14 ve 5.15’de gösterilmektedir.



Şekil 5.13. 1/20 flotte ve %0.5 boyama şiddetinde hazırlanan boyama banyosunda ultrasonik enerji kullanılarak değişik sıcaklıklarda boyanan örnekler için reflektansın dalga boyu-K/S ilişkisi

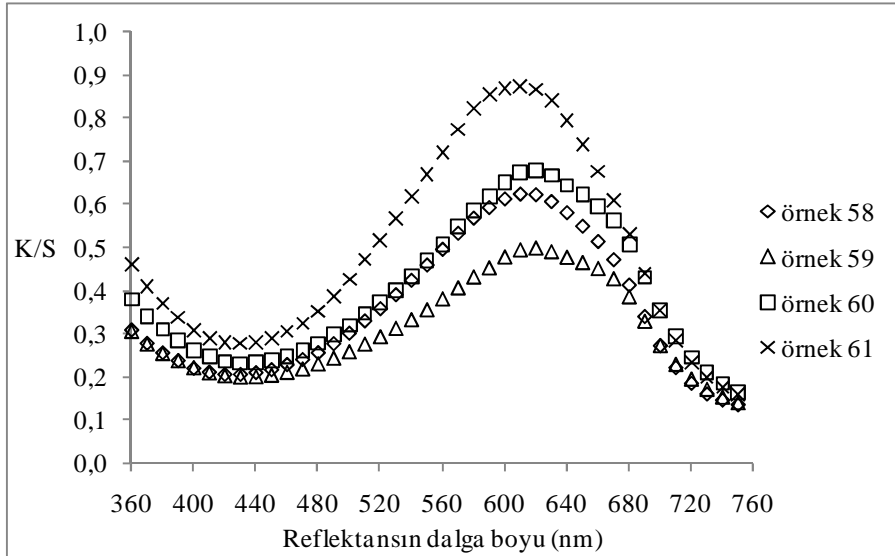


Şekil 5.14. 1/20 flotte ve %1 boyama şiddetinde hazırlanan boyama banyosunda ultrasonik enerji kullanılarak değişik sıcaklıklarda boyanan örnekler için reflektansın dalga boyu-K/S ilişkisi

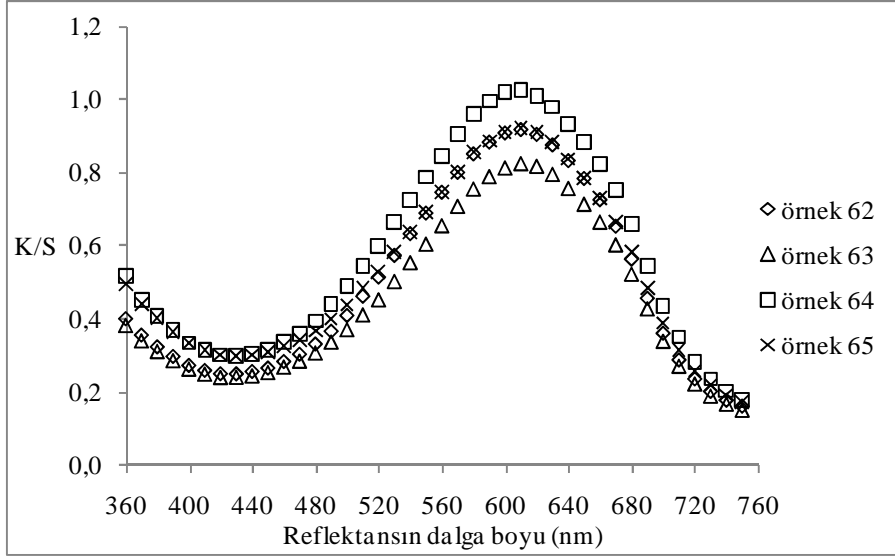


Şekil 5.15. 1/20 flotte ve %2 boyama şiddetinde hazırlanan boyama banyosunda ultrasonik enerji kullanılarak değişik sıcaklıklarda boyanan örnekler için reflektansın dalga boyu-K/S ilişkisi

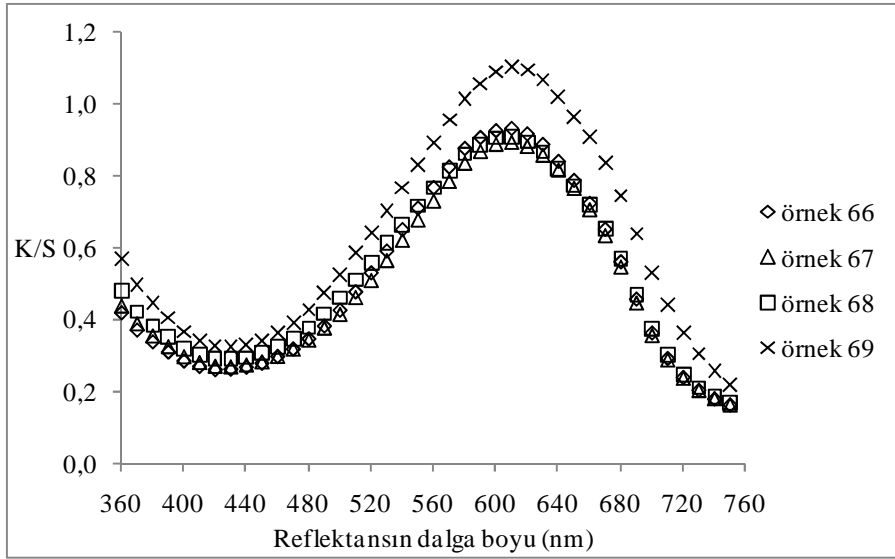
Değişen boyama şiddetlerinde 1/50 flotte için K/S değerlerinin reflektansın dalga boyuna karşı değişimi Şekil 5.16, 5.17 ve 5.18'de gösterilmektedir.



Şekil 5.16. 1/50 flotte ve %0.5 boyama şiddetinde hazırlanan boyama banyosunda ultrasonik enerji kullanılarak değişik sıcaklıklarda boyanan örnekler için reflektansın dalga boyu-K/S ilişkisi

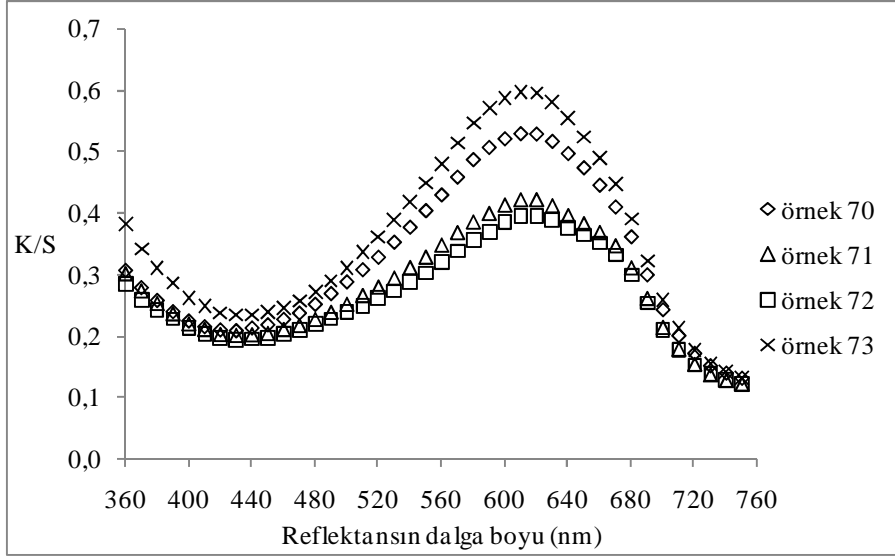


Şekil 5.17. 1/50 flote ve %1 boyama şiddetinde hazırlanan boyama banyosunda ultrasonik enerji kullanılarak değişik sıcaklıklarda boyanan örnekler için reflektansın dalga boyu-K/S ilişkisi

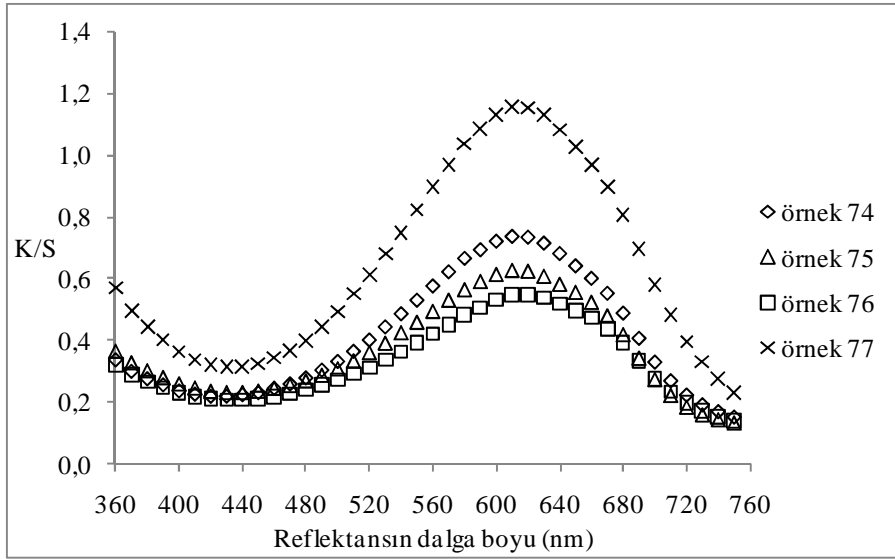


Şekil 5.18. 1/50 flote ve %2 boyama şiddetinde hazırlanan boyama banyosunda ultrasonik enerji kullanılarak değişik sıcaklıklarda boyanan örnekler için reflektansın dalga boyu-K/S ilişkisi

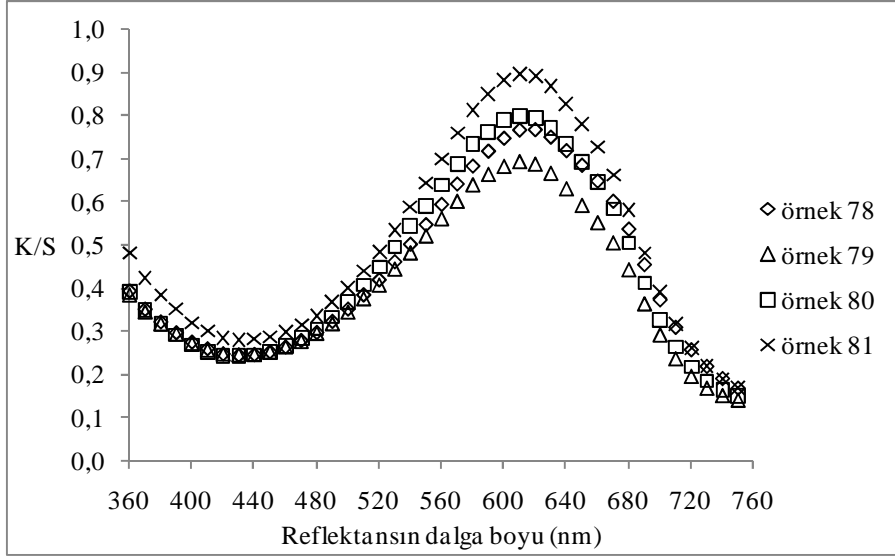
Değişen boyama şiddetlerinde 1/100 flote için K/S değerlerinin reflektansın dalga boyuna karşı değişimi Şekil 5.19, 5.20 ve 5.21'de gösterilmektedir.



Şekil 5.19. 1/100 flutte ve %0.5 boyama şiddetinde hazırlanan boyama banyosunda ultrasonik enerji kullanılarak değişik sıcaklıklarda boyanan örnekler için reflektansın dalga boyu-K/S ilişkisi

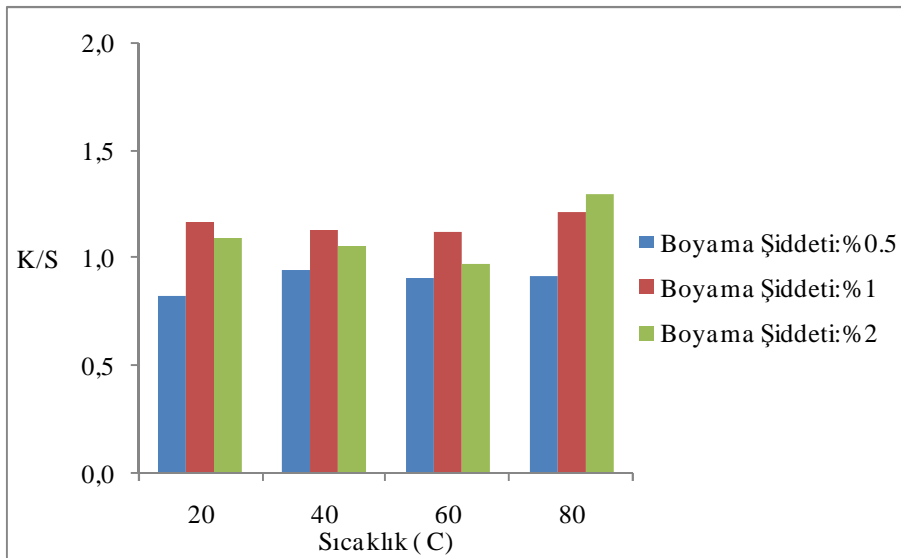


Şekil 5.20. 1/100 flutte ve %1 boyama şiddetinde hazırlanan boyama banyosunda ultrasonik enerji kullanılarak değişik sıcaklıklarda boyanan örnekler için reflektansın dalga boyu-K/S ilişkisi



Şekil 5.21. 1/100 flotte ve %2 boyama şiddetinde hazırlanan boyama banyosunda ultrasonik enerji kullanılarak değişik sıcaklıklarda boyanan örnekler için reflektansın dalga boyu-K/S ilişkisi

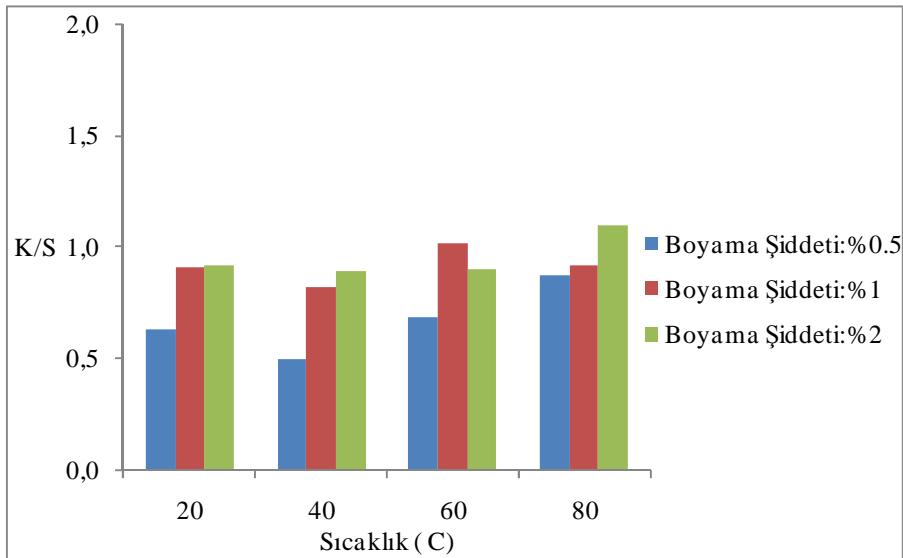
Boyarmaddenin pik verdiği 620 nm deki K/S değerleri değişik örneklerin renk verimini karşılaştırmak amacıyla kullanılmıştır. 1/20 flotte ve değişen boyama şiddetlerinde hazırlanan boyama banyosunda değişik sıcaklıklarda ultrasonik enerji yardımıyla boyanan örnekler için renk şiddetinin sıcaklığa göre değişimi Şekil 5.22'de gösterilmektedir.



Şekil 5.22. 1/20 Flotte ve farklı boyama şiddetlerinde değişen sıcaklıklarda boyanan örnekler için sıcaklık-renk şiddeti ilişkisi

1/20 flottede ve değişen boyama Şiddetinde hazırlanan boyama banyolarındaki örneklerin K/S değerleri incelendiğinde 20 °C, 40 °C ve 60 °C sıcaklıkta geręekleřtirilen boyamalarda %1 boyama Şiddetinde hazırlanan boyama banyosunun diğerlerine göre daha yüksek K/S değerine sahip olduğu ve sıcaklığın 80 °C'ye çıkmasıyla %2 boyama Şiddetinde hazırlanan banyoda boyanan örneğin tüm rnekleer içerisinde en büyük K/S değerine ulaştığı görülmektedir.

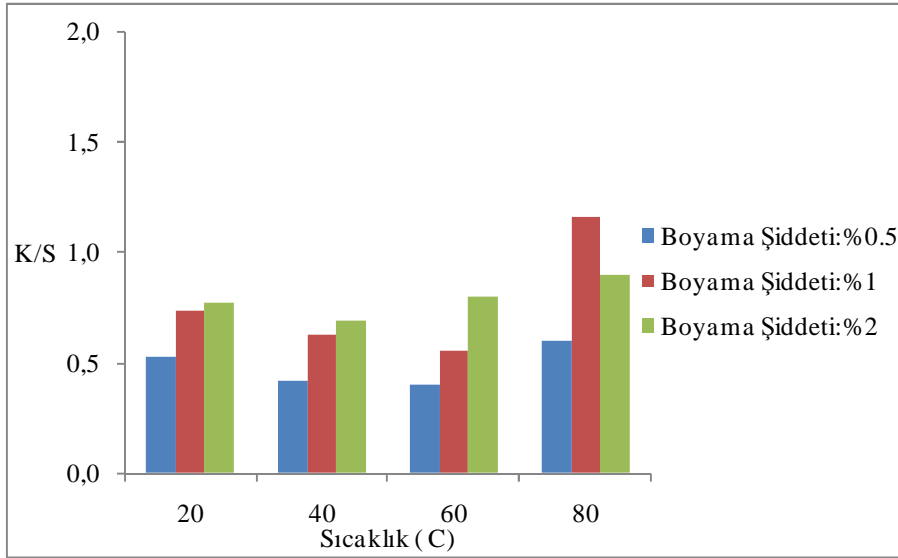
1/50 flotte ve değişen boyama Şiddetlerinde hazırlanan boyama banyosunda değişik sıcaklıklarda boyanan rnekleer için renk Şiddetinin sıcaklığa göre değişimi Şekil 5.23'de gösterilmektedir.



Şekil 5.23. 1/50 Flotte ve farklı boyama Şiddetlerinde değişen sıcaklıklarda boyanan rnekleer için sıcaklık-renk Şiddeti ilişkisi

1/50 flottede ve değişen boyama Şiddetlerinde hazırlanan boyama banyolarında değişen sıcaklıklarda yapılan boyamaların sonuçlarına bakıldığında 60 °C'de %1 boyama Şiddetine sahip örnek ile 80 °C'de %2 boyama Şiddetine sahip banyoda boyanan reğin yakın K/S değerlerine sahip oldukları görülmektedir. Ancak 1/50 flotte oranında hazırlanan banyoda boyanan rnekleer K/S değerleri 1/20 flotte oranında hazırlanan banyoda boyanan rnekleerinkinden düşüktür.

1/100 flotte ve değişen boyama Şiddetlerinde hazırlanan boyama banyosunda değişik sıcaklıklarda boyanan örnekler için renk Şiddetinin sıcaklığa göre değişimi Şekil 5.24’de verilmiştir.



Şekil 5.24. 1/100 Flotte ve farklı boyama Şiddetlerinde değişen sıcaklıklarda boyanan örnekler için sıcaklık-renk Şiddeti ilişkisi

1/100 flottede ve %1 boyama Şiddetinde hazırlanan boyama banyosunda 80 °C sıcaklıkta boyanan örnek en büyük K/S değerine sahiptir. %0.5 boyama Şiddetine sahip örneğin sıcaklık artışıyla önce azalan daha sonra artan K/S değerlerine sahip olduğu, %2 boyama Şiddetine sahip örneğin ise sıcaklık ile artan K/S değerleri oluşturduğu görölmektedir.

Ultrasonik enerji kullanılarak farklı sıcaklıklarda farklı boyama banyosu koşullarında boyanan örnekler için CIELab değerleri Tablo 5.15’den 5.18’e kadar verilmiştir.

Tablo 5.15. 20 °C sıcaklıkta boyanan örnekler için CIELab değerleri

Örnek no	L*	a*	b*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE
46	71,30	-4,76	-12,86	-12,97	-4,72	-12,78	21,69
50	68,22	-5,97	-15,87	-16,05	-5,93	-15,79	26,85
54	68,78	-5,61	-15,53	-15,49	-5,57	-15,45	26,13
58	74,96	-5,72	-10,64	-9,31	-5,68	-10,56	18,94
62	70,90	-5,55	-14,49	-13,37	-5,51	-14,42	24,47
66	70,58	-5,45	-14,21	-13,69	-5,41	-14,13	24,03
70	76,21	-5,22	-8,49	-8,06	-5,18	-8,42	15,63
74	73,59	-6,15	-12,11	-10,68	-6,11	-12,03	21,32
78	73,11	-6,52	-11,50	-11,16	-6,48	-11,42	20,80

Tablo 5.16. 40 °C sıcaklıkta boyanan örnekler için CIELab değerleri

Örnek no	L*	a*	b*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE
47	70,07	-5,16	-14,34	-14,20	-5,12	-14,26	24,10
51	68,36	-5,65	-16,47	-15,91	-5,61	-16,39	27,53
55	69,27	-6,00	-15,09	-15,00	-5,96	-15,01	25,68
59	77,29	-5,91	-7,77	-6,98	-5,87	-7,69	15,25
63	72,22	-6,05	-12,91	-12,05	-6,01	-12,83	22,45
67	71,02	-5,77	-13,39	-13,25	-5,73	-13,32	23,03
71	78,10	-4,86	-6,31	-6,17	-4,82	-6,24	12,45
75	74,91	-6,12	-9,45	-9,36	-6,09	-9,37	17,69
79	73,71	-5,73	-10,49	-10,56	-5,69	-10,41	18,83

Tablo 5.17. 60 °C sıcaklıkta boyanan örnekler için CIELab değerleri

Örnek no	L*	a*	b*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE
48	71,20	-6,24	-13,80	-13,06	-6,20	-13,72	23,88
52	68,81	-6,17	-15,94	-15,46	-6,14	-15,86	27,02
56	69,97	-5,56	-13,97	-14,30	-5,52	-13,89	23,80
60	74,50	-6,68	-10,05	-9,77	-6,64	-9,98	18,96
64	69,25	-5,32	-14,38	-15,02	-5,29	-14,30	24,31
68	70,34	-4,94	-13,19	-13,93	-4,90	-13,11	22,33
72	78,74	-4,96	-5,73	-5,53	-4,92	-5,66	11,82
76	76,39	-6,15	-8,62	-7,88	-6,11	-8,54	16,56
80	72,47	-5,95	-12,62	-11,80	-5,91	-12,54	21,96

Tablo 5.18. 80 °C sıcaklıkta boyanan örnekler için CIELab değerleri

Örnek no	L*	a*	b*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE
49	70,41	-5,09	-14,24	-13,86	-5,05	-14,17	23,90
53	66,81	-4,46	-16,68	-17,46	-4,42	-16,60	27,43
57	59,82	-0,51	-19,42	-24,45	-0,48	-19,34	31,33
61	71,05	-5,47	-12,90	-13,22	-5,44	-12,82	22,16
65	70,66	-6,04	-12,62	-13,61	-6,00	-12,54	22,16
69	68,50	-5,67	-14,42	-15,77	-5,63	-14,35	24,62
73	75,12	-5,73	-9,01	-9,15	-5,70	-8,93	16,79
77	68,55	-6,79	-14,92	-15,72	-6,75	-14,84	25,97
81	71,34	-6,80	-12,44	-12,93	-6,76	-12,36	22,39

Ultrasonik enerji yardımıyla değişen boyama banyosu koşullarında değişen sıcaklıklarda boyanan örneklerin CIELab değerleri incelendiğinde 1/20 flottede ve %2 boyama şiddetinde hazırlanan boyama banyosunda 80 °C sıcaklıkta boyanan örneğin 31.33 ile en büyük renk farkı değerine sahip olduğu görülmektedir. Bu değer mikrodalga enerjisi kullanılarak aynı boyama banyosu koşullarında boyanan örneğinkinden daha azdır.

5.3. Ultrasonik Enerjinin Yardımıyla Boyamaya Taşıyıcının Etkisi

Ultrasonik enerji kullanılarak yapılan boyamalara taşıyıcının etkisini görebilmek amacıyla farklı flotte (1/20, 1/50 ve 1/100) ve farklı boyama şiddetlerinde (%0.5, %1 ve %2) ve %1 taşıyıcı ilavesiyle hazırlanan boyama banyolarında değişen sıcaklıklarda (20 °C, 40 °C, 60 °C ve 80 °C) 15 dakika süre ile gerçekleştirilen deneyler sonucu elde edilen örneklerin K/S değerleri Tablo 5.19'dan 5.22'ye kadar verilmiştir.

Tablo 5.19. %1 taşıyıcı içeren boyama banyolarında ultrasonik enerji kullanılarak 20 °C sıcaklıkta boyanan örnekler için K/S değerleri

Dalgaboyu (nm)	K/S									
	Boyanmamış örnek	Örnek 82	Örnek 86	Örnek 90	Örnek 94	Örnek 98	Örnek 102	Örnek 106	Örnek 110	Örnek 114
360	0,101	0,199	0,265	0,498	0,164	0,184	0,219	0,147	0,164	0,174
370	0,100	0,185	0,241	0,439	0,155	0,172	0,200	0,141	0,155	0,164
380	0,099	0,175	0,222	0,394	0,149	0,163	0,187	0,137	0,149	0,157
390	0,098	0,164	0,204	0,352	0,141	0,152	0,174	0,132	0,142	0,148
400	0,098	0,156	0,190	0,321	0,136	0,145	0,164	0,127	0,136	0,142
410	0,097	0,153	0,186	0,308	0,134	0,143	0,160	0,126	0,135	0,140
420	0,097	0,153	0,186	0,312	0,134	0,143	0,161	0,128	0,135	0,140
430	0,097	0,157	0,191	0,328	0,137	0,146	0,165	0,129	0,138	0,142
440	0,096	0,162	0,201	0,357	0,140	0,150	0,171	0,131	0,142	0,146
450	0,096	0,168	0,212	0,391	0,143	0,154	0,178	0,134	0,145	0,150
460	0,096	0,174	0,226	0,435	0,146	0,159	0,187	0,136	0,149	0,155
470	0,096	0,180	0,240	0,479	0,149	0,163	0,194	0,138	0,150	0,157
480	0,097	0,186	0,253	0,523	0,150	0,165	0,200	0,138	0,152	0,159
490	0,097	0,191	0,269	0,580	0,151	0,169	0,209	0,138	0,153	0,162
500	0,097	0,201	0,292	0,648	0,154	0,175	0,223	0,139	0,157	0,168
510	0,097	0,214	0,323	0,728	0,158	0,183	0,240	0,139	0,162	0,174
520	0,097	0,231	0,358	0,819	0,163	0,193	0,263	0,141	0,168	0,183
530	0,097	0,252	0,405	0,926	0,171	0,209	0,296	0,144	0,178	0,196
540	0,097	0,276	0,453	1,029	0,179	0,224	0,329	0,148	0,188	0,209
550	0,097	0,302	0,505	1,129	0,187	0,243	0,365	0,152	0,199	0,225
560	0,097	0,331	0,558	1,226	0,198	0,262	0,405	0,158	0,212	0,243
570	0,097	0,363	0,619	1,334	0,210	0,286	0,453	0,164	0,228	0,263
580	0,097	0,396	0,680	1,435	0,222	0,311	0,499	0,171	0,245	0,285
590	0,098	0,423	0,725	1,503	0,233	0,331	0,536	0,178	0,260	0,304
600	0,098	0,450	0,767	1,554	0,246	0,351	0,569	0,186	0,274	0,323
610	0,098	0,473	0,797	1,584	0,256	0,369	0,598	0,194	0,288	0,341
620	0,097	0,491	0,827	1,615	0,266	0,386	0,624	0,201	0,300	0,356
630	0,098	0,504	0,847	1,637	0,276	0,398	0,642	0,208	0,311	0,366
640	0,098	0,506	0,842	1,614	0,282	0,400	0,640	0,214	0,316	0,370
650	0,097	0,494	0,807	1,523	0,280	0,391	0,610	0,216	0,310	0,363
660	0,097	0,462	0,735	1,373	0,268	0,367	0,558	0,211	0,296	0,344
670	0,097	0,404	0,626	1,161	0,241	0,324	0,478	0,195	0,265	0,306
680	0,097	0,329	0,501	0,930	0,203	0,266	0,386	0,169	0,224	0,254
690	0,097	0,243	0,367	0,694	0,158	0,200	0,284	0,136	0,172	0,193
700	0,097	0,174	0,259	0,496	0,120	0,145	0,200	0,107	0,129	0,141
710	0,097	0,129	0,188	0,361	0,096	0,110	0,146	0,087	0,101	0,106
720	0,096	0,102	0,144	0,270	0,081	0,090	0,114	0,075	0,083	0,087
730	0,096	0,088	0,120	0,215	0,073	0,079	0,097	0,069	0,074	0,077
740	0,097	0,082	0,106	0,180	0,070	0,074	0,087	0,067	0,071	0,073
750	0,097	0,079	0,098	0,155	0,070	0,073	0,083	0,068	0,070	0,072

Tablo 5.20. %1 taşıyıcı içeren boyama banyolarında ultrasonik enerji kullanılarak 40 °C sıcaklıkta boyanan örnekler için K/S değerleri

Dalgaboyu (nm)	K/S								
	Örnek 83	Örnek 87	Örnek 91	Örnek 95	Örnek 99	Örnek 103	Örnek 107	Örnek 111	Örnek 115
360	0,194	0,253	0,518	0,171	0,207	0,257	0,147	0,163	0,182
370	0,181	0,228	0,451	0,162	0,193	0,233	0,139	0,154	0,168
380	0,171	0,211	0,402	0,155	0,182	0,214	0,134	0,149	0,158
390	0,161	0,193	0,356	0,148	0,170	0,196	0,129	0,141	0,148
400	0,155	0,181	0,321	0,144	0,162	0,184	0,123	0,136	0,141
410	0,152	0,177	0,307	0,141	0,159	0,179	0,121	0,134	0,139
420	0,152	0,177	0,309	0,142	0,160	0,180	0,121	0,134	0,138
430	0,155	0,182	0,327	0,144	0,162	0,186	0,122	0,136	0,140
440	0,159	0,190	0,354	0,147	0,167	0,194	0,125	0,139	0,143
450	0,164	0,198	0,390	0,150	0,172	0,205	0,127	0,142	0,146
460	0,170	0,211	0,433	0,153	0,179	0,219	0,129	0,146	0,152
470	0,174	0,220	0,479	0,156	0,184	0,231	0,130	0,149	0,155
480	0,178	0,230	0,528	0,157	0,188	0,243	0,131	0,150	0,158
490	0,181	0,244	0,585	0,157	0,194	0,259	0,131	0,151	0,162
500	0,187	0,262	0,658	0,159	0,202	0,281	0,132	0,154	0,168
510	0,196	0,287	0,745	0,163	0,214	0,310	0,133	0,158	0,179
520	0,209	0,319	0,842	0,167	0,231	0,346	0,136	0,165	0,191
530	0,227	0,360	0,961	0,174	0,254	0,393	0,140	0,174	0,209
540	0,244	0,405	1,077	0,181	0,277	0,441	0,144	0,184	0,228
550	0,264	0,454	1,192	0,190	0,303	0,493	0,150	0,195	0,252
560	0,286	0,505	1,307	0,198	0,332	0,549	0,156	0,207	0,279
570	0,314	0,564	1,428	0,210	0,365	0,613	0,165	0,222	0,310
580	0,341	0,621	1,546	0,222	0,400	0,676	0,175	0,238	0,342
590	0,363	0,665	1,629	0,234	0,427	0,723	0,183	0,251	0,368
600	0,385	0,708	1,687	0,245	0,455	0,764	0,195	0,267	0,399
610	0,404	0,742	1,729	0,254	0,478	0,797	0,205	0,279	0,424
620	0,421	0,771	1,764	0,264	0,498	0,825	0,216	0,291	0,447
630	0,434	0,790	1,787	0,275	0,509	0,842	0,222	0,301	0,462
640	0,438	0,787	1,760	0,281	0,510	0,836	0,228	0,306	0,467
650	0,427	0,751	1,660	0,280	0,496	0,794	0,230	0,303	0,457
660	0,401	0,689	1,500	0,266	0,465	0,721	0,227	0,289	0,431
670	0,354	0,591	1,274	0,238	0,406	0,614	0,209	0,260	0,380
680	0,290	0,476	1,029	0,202	0,331	0,491	0,181	0,219	0,313
690	0,218	0,348	0,774	0,158	0,246	0,360	0,143	0,169	0,235
700	0,158	0,244	0,559	0,122	0,176	0,252	0,110	0,126	0,169
710	0,119	0,176	0,408	0,098	0,131	0,181	0,087	0,098	0,125
720	0,096	0,134	0,305	0,084	0,103	0,138	0,074	0,082	0,098
730	0,085	0,111	0,241	0,076	0,089	0,114	0,066	0,074	0,084
740	0,079	0,099	0,199	0,074	0,082	0,101	0,064	0,070	0,076
750	0,078	0,093	0,170	0,074	0,080	0,093	0,063	0,070	0,073

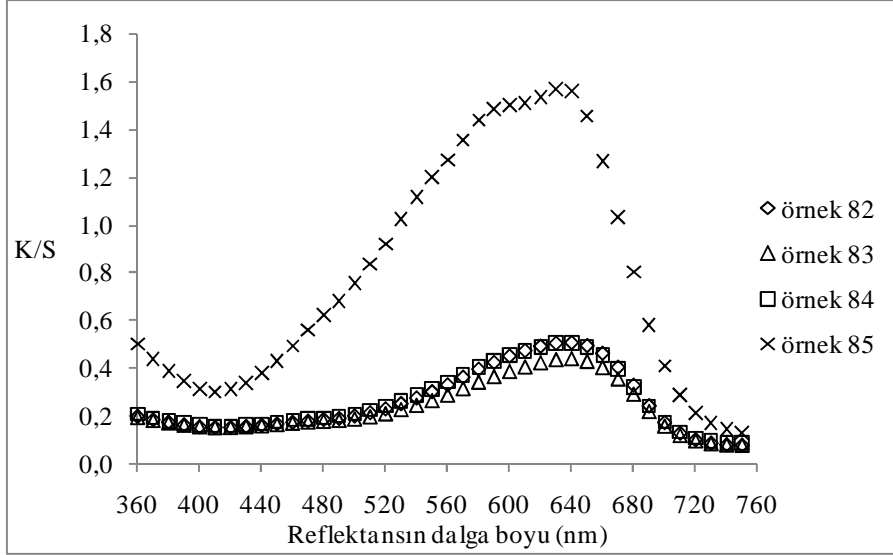
Tablo 5.21. %1 taşıyıcı içeren boyama banyolarında ultrasonik enerji kullanılarak 60 °C sıcaklıkta boyanan örnekler için K/S değerleri

Dalgaboyu (nm)	K/S								
	Örnek 84	Örnek 88	Örnek 92	Örnek 96	Örnek 100	Örnek 104	Örnek 108	Örnek 112	Örnek 116
360	0,206	0,452	0,647	0,233	0,331	0,299	0,151	0,209	0,170
370	0,191	0,395	0,558	0,214	0,293	0,268	0,143	0,192	0,160
380	0,178	0,352	0,490	0,199	0,267	0,244	0,137	0,182	0,153
390	0,166	0,312	0,428	0,184	0,241	0,220	0,132	0,169	0,146
400	0,159	0,283	0,380	0,174	0,222	0,205	0,127	0,160	0,139
410	0,155	0,270	0,360	0,169	0,215	0,198	0,126	0,157	0,138
420	0,156	0,275	0,361	0,170	0,218	0,201	0,128	0,157	0,138
430	0,161	0,290	0,382	0,176	0,228	0,211	0,129	0,161	0,140
440	0,166	0,314	0,418	0,185	0,244	0,225	0,132	0,166	0,144
450	0,172	0,345	0,463	0,194	0,263	0,241	0,135	0,172	0,147
460	0,180	0,383	0,520	0,207	0,288	0,262	0,139	0,180	0,152
470	0,186	0,423	0,583	0,217	0,311	0,281	0,142	0,186	0,156
480	0,190	0,461	0,648	0,226	0,334	0,301	0,143	0,192	0,158
490	0,198	0,510	0,728	0,238	0,362	0,325	0,144	0,199	0,160
500	0,208	0,569	0,827	0,255	0,400	0,357	0,145	0,209	0,166
510	0,223	0,642	0,941	0,275	0,445	0,397	0,148	0,224	0,173
520	0,240	0,724	1,069	0,300	0,499	0,445	0,153	0,240	0,182
530	0,263	0,825	1,219	0,333	0,565	0,503	0,159	0,262	0,196
540	0,287	0,924	1,360	0,367	0,633	0,564	0,167	0,284	0,209
550	0,314	1,022	1,495	0,401	0,701	0,624	0,174	0,309	0,225
560	0,341	1,117	1,625	0,436	0,771	0,689	0,182	0,333	0,243
570	0,373	1,223	1,756	0,477	0,850	0,760	0,192	0,363	0,263
580	0,406	1,327	1,881	0,519	0,932	0,831	0,204	0,392	0,287
590	0,431	1,398	1,964	0,553	0,992	0,884	0,215	0,416	0,303
600	0,455	1,446	2,018	0,580	1,040	0,923	0,224	0,439	0,323
610	0,474	1,481	2,043	0,600	1,076	0,952	0,232	0,456	0,338
620	0,493	1,518	2,069	0,624	1,116	0,984	0,242	0,476	0,353
630	0,508	1,544	2,083	0,648	1,153	1,011	0,252	0,492	0,366
640	0,510	1,524	2,048	0,656	1,158	1,009	0,259	0,496	0,370
650	0,494	1,432	1,933	0,630	1,105	0,954	0,256	0,479	0,361
660	0,458	1,280	1,740	0,573	0,998	0,855	0,242	0,442	0,339
670	0,396	1,078	1,472	0,486	0,837	0,715	0,216	0,381	0,298
680	0,323	0,864	1,179	0,388	0,660	0,565	0,181	0,312	0,247
690	0,240	0,641	0,879	0,284	0,473	0,413	0,143	0,232	0,186
700	0,173	0,457	0,629	0,200	0,323	0,290	0,111	0,168	0,136
710	0,130	0,330	0,455	0,145	0,224	0,209	0,089	0,126	0,105
720	0,104	0,246	0,337	0,112	0,163	0,158	0,076	0,100	0,086
730	0,091	0,196	0,266	0,095	0,130	0,130	0,069	0,087	0,076
740	0,084	0,165	0,218	0,087	0,112	0,113	0,067	0,082	0,072
750	0,082	0,143	0,187	0,084	0,102	0,103	0,068	0,080	0,072

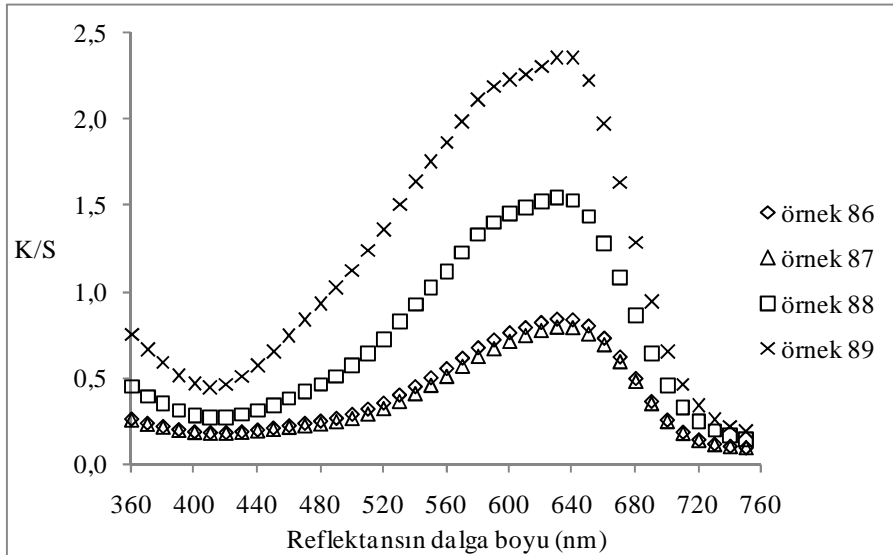
Tablo 5.22. %1 taşıyıcı içeren boyama banyolarında ultrasonik enerji kullanılarak 80 °C sıcaklıkta boyanan örnekler için K/S değerleri

Dalgaboyu (nm)	K/S								
	Örnek 85	Örnek 89	Örnek 93	Örnek 97	Örnek 101	Örnek 105	Örnek 109	Örnek 113	Örnek 117
360	0,505	0,749	1,266	0,420	0,640	0,996	0,238	0,319	0,312
370	0,443	0,658	1,099	0,365	0,550	0,861	0,215	0,281	0,276
380	0,394	0,587	0,964	0,323	0,482	0,754	0,198	0,252	0,250
390	0,348	0,513	0,838	0,282	0,418	0,650	0,182	0,224	0,224
400	0,316	0,461	0,743	0,252	0,373	0,574	0,169	0,204	0,205
410	0,306	0,444	0,707	0,242	0,356	0,549	0,165	0,197	0,201
420	0,314	0,460	0,723	0,246	0,363	0,568	0,168	0,200	0,204
430	0,341	0,504	0,785	0,261	0,387	0,623	0,173	0,209	0,215
440	0,383	0,570	0,880	0,282	0,426	0,705	0,179	0,221	0,232
450	0,434	0,651	1,002	0,307	0,474	0,805	0,187	0,236	0,254
460	0,498	0,745	1,149	0,338	0,534	0,927	0,198	0,253	0,281
470	0,563	0,839	1,306	0,367	0,596	1,052	0,206	0,269	0,308
480	0,624	0,927	1,466	0,396	0,660	1,175	0,212	0,285	0,333
490	0,687	1,017	1,653	0,438	0,744	1,317	0,223	0,308	0,361
500	0,759	1,121	1,872	0,499	0,859	1,499	0,242	0,348	0,398
510	0,839	1,236	2,113	0,574	0,995	1,704	0,267	0,396	0,441
520	0,924	1,359	2,376	0,666	1,158	1,939	0,298	0,458	0,490
530	1,027	1,503	2,672	0,787	1,360	2,232	0,341	0,541	0,553
540	1,120	1,634	2,943	0,913	1,564	2,519	0,387	0,629	0,616
550	1,203	1,754	3,179	1,032	1,752	2,777	0,431	0,712	0,676
560	1,274	1,861	3,387	1,149	1,933	3,030	0,476	0,793	0,735
570	1,357	1,986	3,600	1,298	2,147	3,335	0,535	0,901	0,808
580	1,440	2,110	3,797	1,452	2,362	3,645	0,600	1,013	0,884
590	1,488	2,185	3,906	1,551	2,490	3,823	0,644	1,085	0,937
600	1,507	2,230	3,939	1,594	2,555	3,871	0,663	1,110	0,964
610	1,513	2,254	3,929	1,625	2,603	3,901	0,678	1,130	0,987
620	1,539	2,302	3,943	1,708	2,695	4,034	0,717	1,197	1,028
630	1,572	2,356	3,962	1,807	2,793	4,188	0,767	1,283	1,073
640	1,563	2,351	3,883	1,824	2,781	4,154	0,784	1,307	1,077
650	1,459	2,220	3,633	1,664	2,578	3,750	0,721	1,182	1,001
660	1,271	1,971	3,223	1,356	2,225	3,102	0,589	0,926	0,859
670	1,034	1,631	2,705	1,001	1,799	2,407	0,438	0,645	0,688
680	0,805	1,280	2,175	0,702	1,401	1,820	0,318	0,433	0,530
690	0,587	0,937	1,649	0,463	1,020	1,312	0,222	0,282	0,379
700	0,412	0,652	1,206	0,295	0,712	0,913	0,154	0,184	0,262
710	0,295	0,458	0,886	0,196	0,498	0,640	0,113	0,129	0,185
720	0,218	0,334	0,658	0,140	0,353	0,458	0,090	0,099	0,138
730	0,174	0,259	0,516	0,112	0,271	0,352	0,079	0,084	0,112
740	0,148	0,214	0,417	0,099	0,218	0,282	0,075	0,078	0,099
750	0,131	0,185	0,347	0,092	0,182	0,236	0,075	0,077	0,092

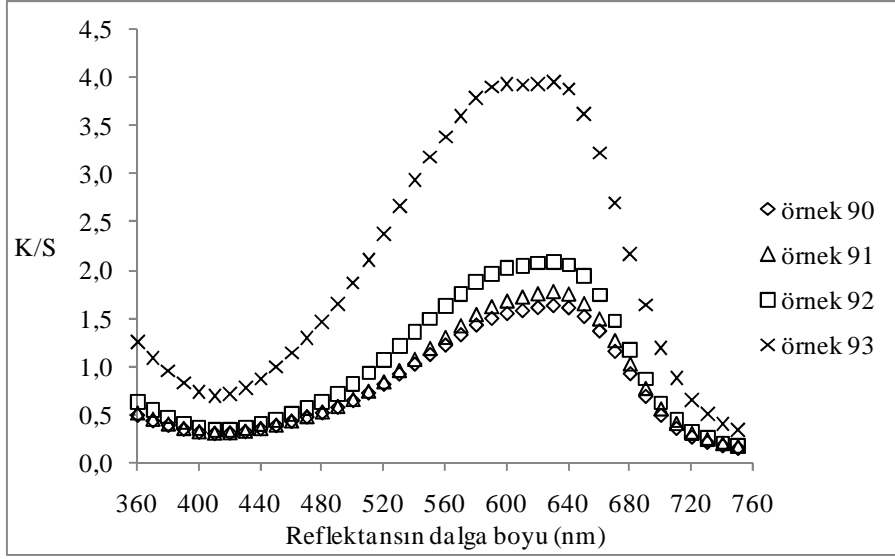
Değişen boyama şiddetlerinde 1/20 flotte için K/S değerlerinin reflektansın dalga boyuna karşı değişimi Şekil 5.25, 5.26 ve 5.27’de verilmiştir. Grafiklerden değişik boyama banyosu koşulları için sıcaklığın artmasıyla K/S oranının arttığı ve sıcaklığın 80 °C olması durumunda artışın en fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 5.25. 1/20 flotte ve %0.5 boyama şiddetinde %1 taşıyıcı ilavesiyle hazırlanan boyama banyosunda ultrasonik enerji kullanılarak değişik sıcaklıklarda boyanan örnekler için reflektansın dalga boyu-K/S ilişkisi

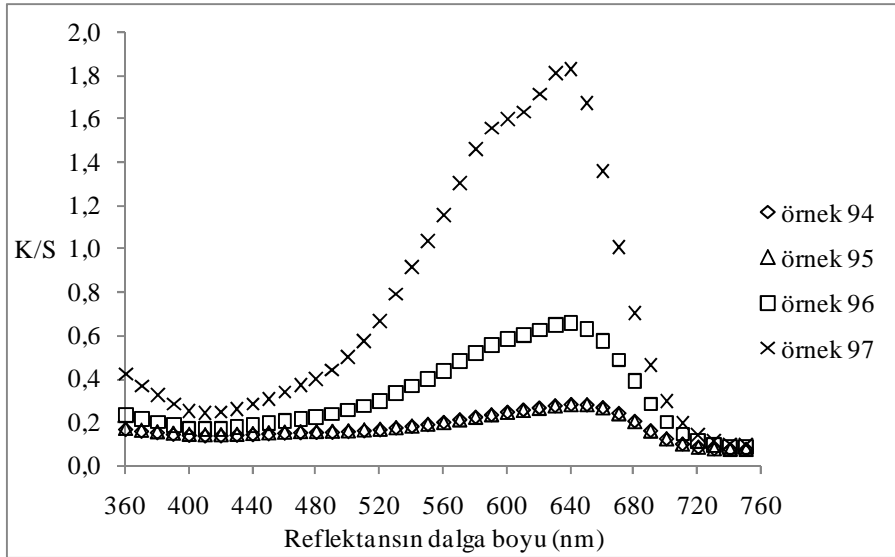


Şekil 5.26. 1/20 flotte ve %1 boyama şiddetinde %1 taşıyıcı ilavesiyle hazırlanan boyama banyosunda ultrasonik enerji kullanılarak değişik sıcaklıklarda boyanan örnekler için reflektansın dalga boyu-K/S ilişkisi

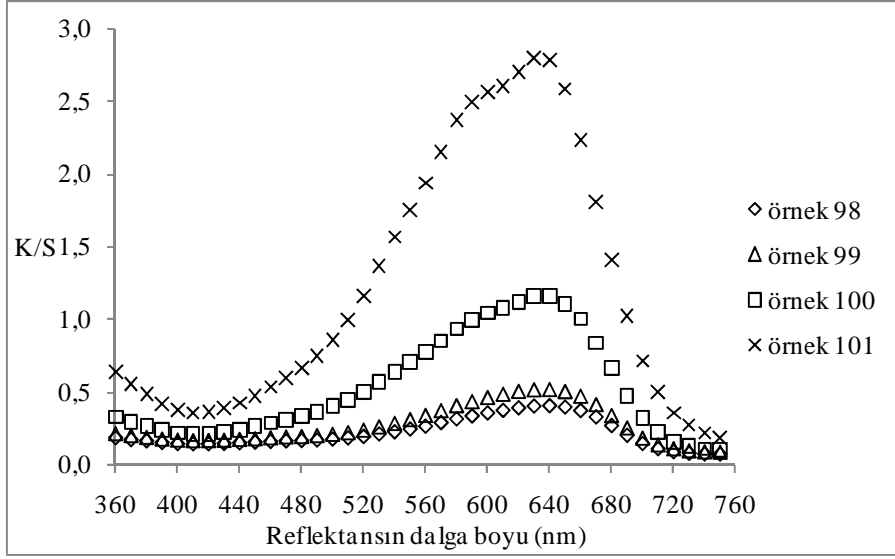


Şekil 5.27. 1/20 flotte ve %2 boyama şiddetinde %1 taşıyıcı ilavesiyle hazırlanan boyama banyosunda ultrasonik enerji kullanılarak değişik sıcaklıklarda boyanan örnekler için reflektansın dalga boyu-K/S ilişkisi

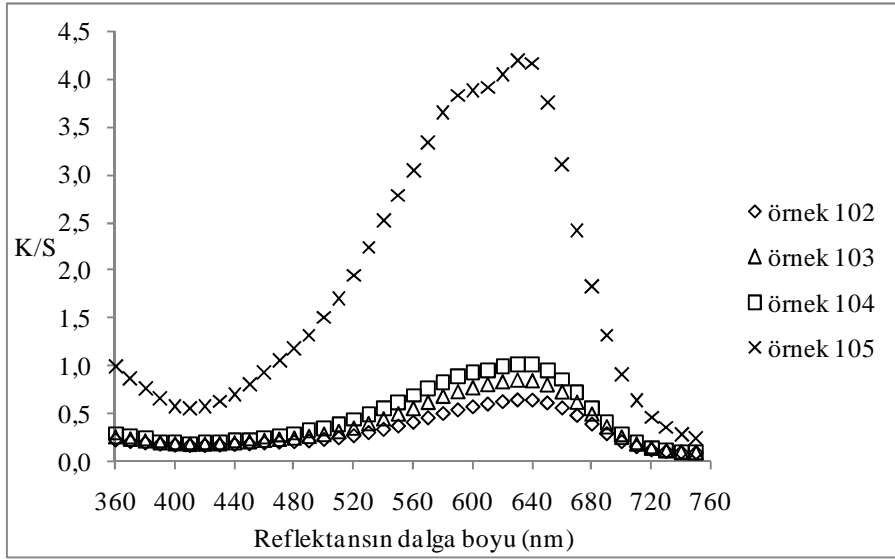
Değişen boyama şiddetlerinde 1/50 flotte için K/S değerlerinin reflektansın dalga boyuna karşı değişimi Şekil 5.28, 5.29 ve 5.30'da verilmiştir.



Şekil 5.28. 1/50 flotte ve %0.5 boyama şiddetinde %1 taşıyıcı ilavesiyle hazırlanan boyama banyosunda ultrasonik enerji kullanılarak değişik sıcaklıklarda boyanan örnekler için reflektansın dalga boyu-K/S ilişkisi

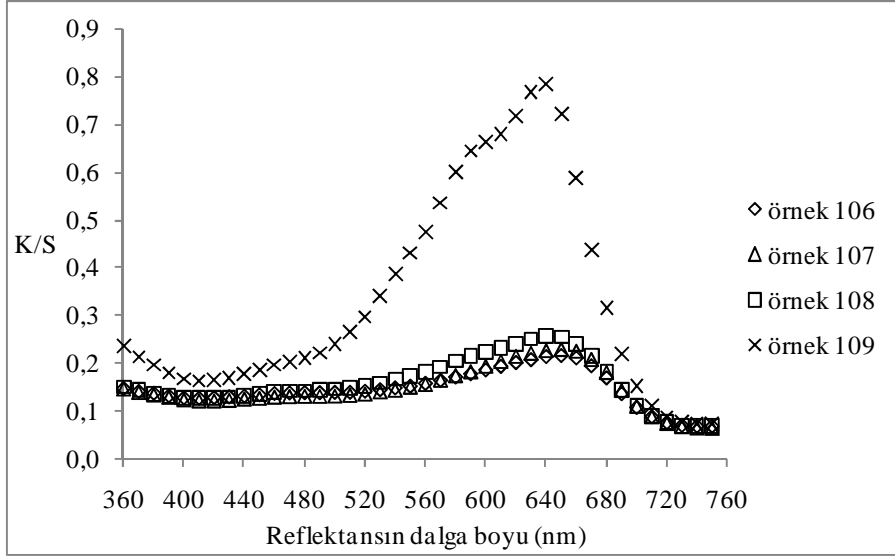


Şekil 5.29. 1/50 flotte ve %1 boyama şiddetinde %1 taşıyıcı ilavesiyle hazırlanan boyama banyosunda ultrasonik enerji kullanılarak değişik sıcaklıklarda boyanan örnekler için reflektansın dalga boyu-K/S ilişkisi

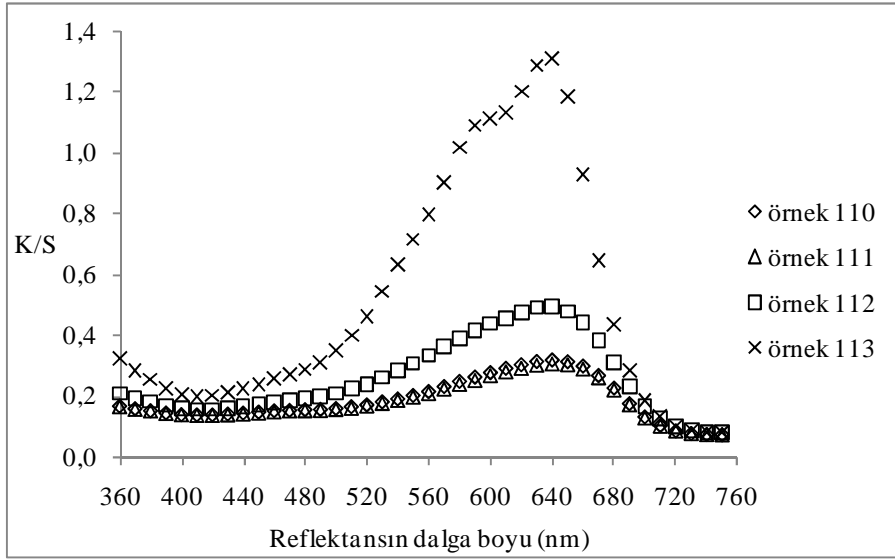


Şekil 5.30. 1/50 flotte ve %2 boyama şiddetinde %1 taşıyıcı ilavesiyle hazırlanan boyama banyosunda ultrasonik enerji kullanılarak değişik sıcaklıklarda boyanan örnekler için reflektansın dalga boyu-K/S ilişkisi

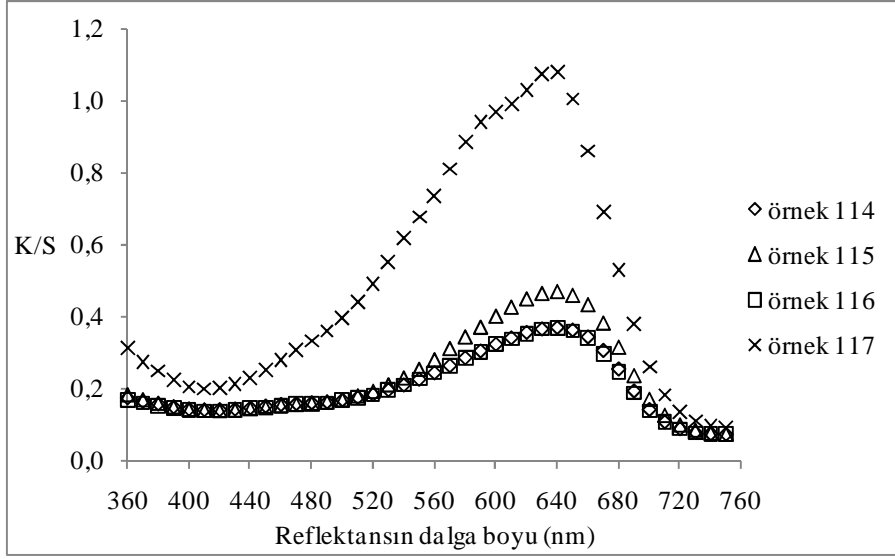
Değişen boyama şiddetlerinde 1/100 flotte için K/S değerlerinin reflektansın dalga boyuna karşı değişimi Şekil 5.31, 5.32 ve 5.33'de verilmiştir.



Şekil 5.31. 1/100 flotte ve %0.5 boyama şiddetinde %1 taşıyıcı ilavesiyle hazırlanan boyama banyosunda ultrasonik enerji kullanılarak değişik sıcaklıklarda boyanan örnekler için reflektansın dalga boyu-K/S ilişkisi

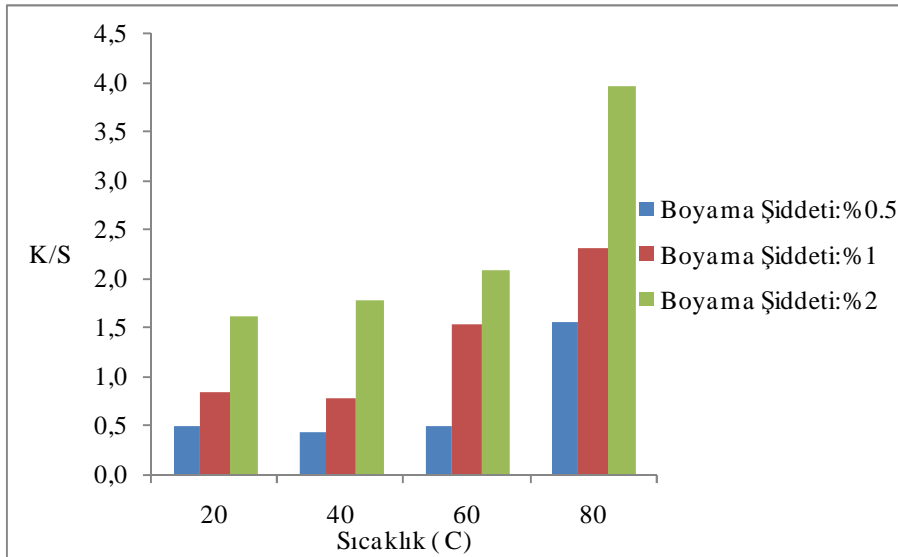


Şekil 5.32. 1/100 flotte ve %1 boyama şiddetinde %1 taşıyıcı ilavesiyle hazırlanan boyama banyosunda ultrasonik enerji kullanılarak değişik sıcaklıklarda boyanan örnekler için reflektansın dalga boyu-K/S ilişkisi



Şekil 5.33. 1/100 flotte ve %2 boyama şiddetinde %1 taşıyıcı ilavesiyle hazırlanan boyama banyosunda ultrasonik enerji kullanılarak değişik sıcaklıklarda boyanan örnekler için reflektansın dalga boyu-K/S ilişkisi

Boyamaya taşıyıcının etkisini görebilmek amacıyla 1/20 flotte ve değişen boyama şiddetlerinde hazırlanan boyama banyosunda değişik sıcaklıklarda boyanan örnekler için renk şiddetinin sıcaklığa göre çizilen grafiği Şekil 5.34’de verilmiştir.

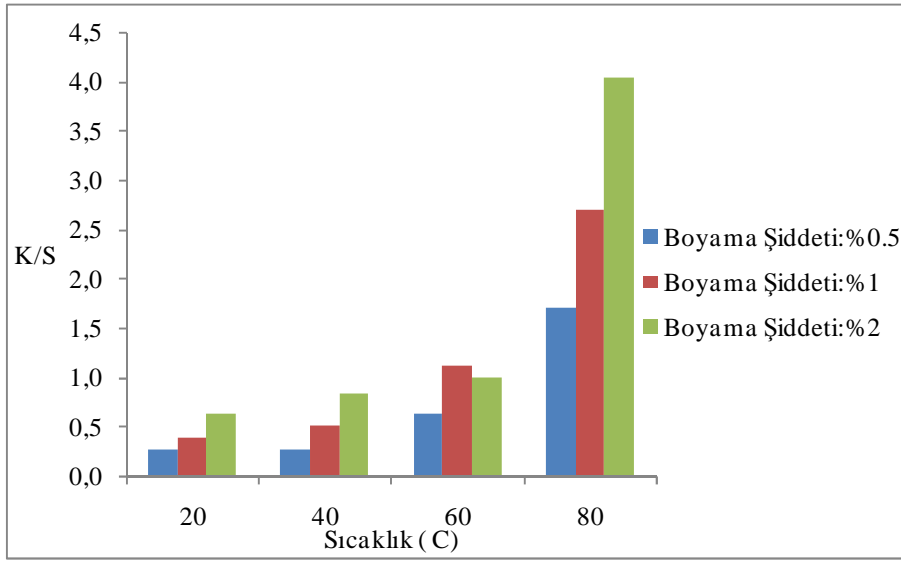


Şekil 5.34. 1/20 flotte ve farklı boyama şiddetinde %1 taşıyıcı içeren boyama banyosunda değişen sıcaklıklarda boyanan örnekler için sıcaklık-K/S ilişkisi

1/20 flotte oranında, değişen boyama şiddetlerinde ve taşıyıcı kullanılarak hazırlanan boyama banyolarında değişik sıcaklıklarda boyanan örneklerin K/S değerleri

incelendiğinde her sıcaklık için %2 boyama şiddetinde hazırlanan banyoda boyanan örneklerin diğerlerinden daha büyük değerlere sahip olduğu görülmektedir. Bu değerler taşıyıcı kullanmadan yapılan boyamalara göre de oldukça yüksektir.

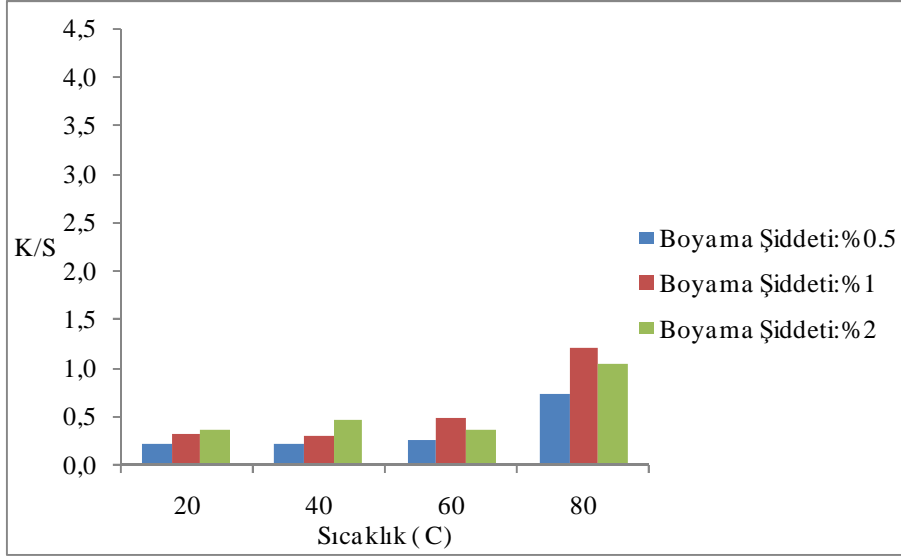
1/50 flotte ve değişen boyama şiddetlerinde hazırlanan boyama banyosunda değişik sıcaklıklarda boyanan örnekler için renk şiddetinin sıcaklığa göre çizilen grafiği Şekil 5.35'de gösterilmektedir.



Şekil 5.35. 1/50 flotte ve farklı boyama şiddetinde %1 taşıyıcı içeren boyama banyosunda değişen sıcaklıklarda boyanan örnekler için sıcaklık-K/S ilişkisi

Şekil 5.35. incelendiğinde artan sıcaklıkla örneklerin daha büyük K/S değerlerine sahip oldukları görülmektedir. Ayrıca artış oranı 80 °C sıcaklıkta en fazladır.

1/100 flotte ve değişen boyama şiddetlerinde hazırlanan boyama banyosunda değişik sıcaklıklarda boyanan örnekler için renk şiddetinin sıcaklığa göre çizilen grafiği Şekil 5.36'da verilmiştir.



Şekil 5.36. 1/100 flotte ve farklı boyama şiddetinde %1 taşıyıcı içeren boyama banyosunda değişen sıcaklıklarda boyanan örnekler için sıcaklık-K/S ilişkisi

1/100 flottede ve değişen boyama şiddetlerinde %1 taşıyıcı ilavesiyle hazırlanan boyama banyolarında değişen sıcaklıklarda boyanan örnekler incelendiğinde bu örneklerin K/S değerlerinin 1/20 ve 1/50 flottede hazırlanan boyama banyolarında boyanan örneklerinkine göre oldukça düşük olduğu görülmektedir. Bu flotte oranında en iyi boyamanın 80 °C sıcaklıkta ve %1 boyama şiddetinde hazırlanan banyoda boyanan örnek olduğu söylenebilir.

Taşıyıcı kullanılarak ultrasonik enerji yardımıyla farklı sıcaklıklarda farklı boyama banyosu koşullarında boyanan örnekler için CIELab değerleri Tablo 5.23'den 5.26'ya kadar verilmiştir.

Tablo 5.23. %1 taşıyıcı içeren boyama banyolarında ultrasonik enerji yardımıyla 20 °C sıcaklıkta boyanan örnekler için CIELab değerleri

Örnek no	L*	a*	b*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE
82	76,91	-5,38	-9,47	-7,36	-5,35	-9,39	17,00
86	71,84	-5,75	-14,61	-12,42	-5,72	-14,53	24,67
90	62,31	-2,72	-20,53	-21,96	-2,68	-20,45	33,02
94	81,10	-3,37	-4,53	-3,17	-3,34	-4,45	8,72
98	78,86	-4,88	-7,29	-5,41	-4,84	-7,21	13,64
102	75,08	-6,22	-11,75	-9,19	-6,19	-11,68	20,80
106	82,74	-2,45	-2,54	-1,53	-2,41	-2,46	5,39
110	80,52	-4,01	-5,33	-3,74	-3,97	-5,25	10,32
114	79,48	-4,68	-6,61	-4,79	-4,64	-6,53	12,57

Tablo 5.24. %1 taşıyıcı içeren boyama banyolarında ultrasonik enerji yardımıyla 40 °C sıcaklıkta boyanan örnekler için CIELab değerleri

Örnek no	L*	a*	b*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE
83	78,08	-5,02	-7,81	-6,19	-4,98	-7,74	14,47
87	72,94	-6,36	-13,77	-11,33	-6,32	-13,70	23,80
91	61,63	-3,13	-21,74	-22,64	-3,09	-21,66	34,97
95	80,99	-3,23	-4,07	-3,28	-3,19	-3,99	8,03
99	76,84	-5,59	-9,23	-7,43	-5,55	-9,16	16,85
103	72,08	-6,05	-14,74	-12,19	-6,01	-14,66	25,01
107	82,76	-3,17	-3,13	-1,51	-3,13	-3,05	6,82
111	80,74	-3,93	-5,14	-3,53	-3,89	-5,06	10,01
115	78,42	-6,19	-8,69	-5,85	-6,15	-8,61	16,59

Tablo 5.25. %1 taşıyıcı içeren boyama banyolarında ultrasonik enerji yardımıyla 60 °C sıcaklıkta boyanan örnekler için CIELab değerleri

Örnek no	L*	a*	b*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE
84	76,63	-5,04	-9,58	-7,64	-5,00	-9,51	16,92
88	63,64	-3,42	-20,54	-20,63	-3,39	-20,46	33,08
92	58,73	-1,48	-23,32	-25,54	-1,45	-23,24	37,34
96	74,26	-4,93	-11,86	-10,01	-4,90	-11,78	20,16
100	68,13	-4,95	-17,54	-16,14	-4,91	-17,46	28,79
104	69,53	-4,95	-16,57	-14,74	-4,91	-16,49	27,27
108	81,72	-3,07	-4,11	-2,55	-3,04	-4,03	7,90
112	76,80	-4,68	-9,24	-7,47	-4,64	-9,17	16,19
116	79,51	-4,62	-6,75	-4,75	-4,58	-6,67	12,70

Tablo 5.26. %1 taşıyıcı içeren boyama banyolarında ultrasonik enerji yardımıyla 80 °C sıcaklıkta boyanan örnekler için CIELab değerleri

Örnek no	L*	a*	b*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE
85	61,48	-0,13	-20,03	-22,79	-0,09	-19,96	32,08
89	56,02	0,05	-21,40	-28,25	0,09	-21,32	34,67
93	43,57	3,46	-25,34	-40,70	3,49	-25,26	42,26
97	63,69	-5,54	-22,57	-20,58	-5,51	-22,50	36,75
101	56,70	-2,92	-26,43	-27,57	-2,88	-26,36	42,39
105	49,79	-0,20	-27,27	-34,48	-0,16	-27,19	44,05
109	73,58	-6,32	-13,58	-10,69	-6,28	-13,50	23,46
113	68,25	-6,50	-19,17	-16,02	-6,46	-19,10	31,86
117	68,63	-3,97	-17,22	-15,64	-3,93	-17,15	27,91

Taşıyıcı ilavesi ile hazırlanan farklı boyama banyosu koşullarında ultrasonik enerji kullanılarak farklı sıcaklıklarda boyanan örneklerin CIELab değerlerine bakıldığında taşıyıcı kullanımının örneklerin renk farkı değerlerinde önemli ölçüde artışa sebep olduğu görülmektedir. Bu koşullar altında en iyi boyanan örnek 44.05 renk farkı değerine sahip olan 1/50 flotte ve %2 boyama şiddetinde %1 taşıyıcı ilavesi ile hazırlanan banyoda 80 °C sıcaklıkta boyanan örnektir. Bu örnek için renk farkı taşıyıcı kullanmadan yapılan boyamada elde edilen en iyi değer iki katına yakındır.

5.4. Zamana Bağlı Olarak Yapılan Boyama Denemelerinin Sonuçları

En iyi boyama süresini tespit edebilmek amacıyla her bir yöntem için boyama banyosu koşulları 1/20 flotte ve %2 boyama şiddeti olarak belirlenerek, örnekler 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 25 ve 30 dakika sürelerle boyanmıştır. Bu şekilde yapılan deneyler sonucu mikrodalga enerjisi kullanılarak farklı sürelerde boyanan örnekler için K/S değerleri Tablo 5.27’de, ultrasonik enerji kullanılarak farklı sürelerde boyanan örnekler için K/S değerleri Tablo 5.28’de ve taşıyıcının ultrasonik enerjiyle boyamaya etkisini görebilmek için farklı sürelerde boyanan örnekler için K/S değerleri Tablo 5.29’da verilmiştir. Farklı boyama yöntemlerinin polipropilenin boyanabilirliğini ne ölçüde geliştirdiğini kıyaslayabilmek amacıyla en uygun boyama banyosu koşullarında, 80 °C sıcaklıkta ve değişen sürelerde boyama denemeleri de gerçekleştirilmiştir. Bu denemelerin sonuçları da Tablo 5.30’da verilmiştir.

Tablo 5.27. Mikrodalga enerjisi kullanılarak farklı sürelerde boyanan örneklerin K/S değerleri

Dalgaboyu (nm)	K/S				
	Örnek 118	Örnek 119	Örnek 120	Örnek 121	Örnek 122
360	0,489	0,634	0,793	0,879	1,021
370	0,424	0,544	0,685	0,765	0,890
380	0,381	0,478	0,610	0,723	0,800
390	0,345	0,428	0,550	0,697	0,725
400	0,316	0,382	0,499	0,605	0,662
410	0,297	0,355	0,467	0,571	0,621
420	0,286	0,342	0,450	0,544	0,601
430	0,285	0,346	0,451	0,545	0,602
440	0,293	0,363	0,467	0,559	0,624
450	0,308	0,394	0,497	0,587	0,663
460	0,331	0,440	0,542	0,658	0,721
470	0,361	0,499	0,600	0,697	0,796
480	0,400	0,580	0,678	0,787	0,896
490	0,455	0,688	0,785	0,965	1,033
500	0,525	0,777	0,922	1,187	1,207
510	0,611	0,865	1,084	1,352	1,415
520	0,711	0,923	1,265	1,554	1,652
530	0,825	1,013	1,458	1,776	1,900
540	0,942	1,123	1,647	1,965	2,134
550	1,061	1,214	1,825	2,116	2,347
560	1,181	1,325	1,995	2,354	2,535
570	1,293	1,433	2,142	2,506	2,682
580	1,393	1,489	2,273	2,603	2,801
590	1,453	1,563	2,340	2,689	2,845
600	1,497	1,622	2,365	2,677	2,843
610	1,507	1,665	2,342	2,613	2,774
620	1,482	1,654	2,273	2,565	2,659
630	1,420	1,595	2,160	2,443	2,521
640	1,325	1,487	2,009	2,221	2,344
650	1,221	1,387	1,843	2,017	2,151
660	1,122	1,295	1,685	1,913	1,957
670	1,011	1,119	1,512	1,706	1,745
680	0,881	0,975	1,314	1,496	1,512
690	0,728	0,721	1,091	1,213	1,265
700	0,581	0,627	0,877	1,003	1,031
710	0,463	0,588	0,701	0,798	0,839
720	0,369	0,465	0,555	0,623	0,679
730	0,302	0,413	0,450	0,532	0,561
740	0,252	0,323	0,368	0,444	0,467
750	0,213	0,278	0,305	0,373	0,393

Tablo 5.28. Ultrasonik enerji kullanılarak farklı sürelerde boyanan örneklerin K/S değerleri

Dalgaboyu (nm)	K/S							
	Örnek 123	Örnek 124	Örnek 125	Örnek 126	Örnek 127	Örnek 128	Örnek 129	Örnek 130
360	0,364	0,386	0,478	0,565	0,592	0,605	0,558	0,602
370	0,327	0,343	0,422	0,494	0,517	0,527	0,485	0,522
380	0,298	0,311	0,381	0,444	0,463	0,472	0,434	0,466
390	0,275	0,285	0,345	0,401	0,417	0,425	0,390	0,418
400	0,254	0,262	0,315	0,363	0,377	0,384	0,353	0,378
410	0,240	0,247	0,296	0,339	0,353	0,360	0,331	0,353
420	0,230	0,239	0,287	0,325	0,342	0,349	0,320	0,342
430	0,226	0,237	0,286	0,323	0,342	0,350	0,320	0,343
440	0,227	0,240	0,291	0,329	0,352	0,360	0,330	0,355
450	0,232	0,248	0,304	0,344	0,370	0,380	0,349	0,376
460	0,242	0,261	0,323	0,367	0,398	0,409	0,375	0,407
470	0,254	0,277	0,347	0,397	0,433	0,445	0,409	0,447
480	0,270	0,299	0,378	0,435	0,480	0,495	0,456	0,498
490	0,293	0,328	0,420	0,485	0,542	0,559	0,517	0,567
500	0,321	0,364	0,470	0,545	0,615	0,634	0,591	0,649
510	0,353	0,405	0,525	0,609	0,694	0,716	0,673	0,743
520	0,390	0,452	0,586	0,677	0,775	0,798	0,759	0,844
530	0,433	0,506	0,652	0,751	0,863	0,885	0,854	0,955
540	0,477	0,561	0,719	0,825	0,950	0,970	0,948	1,066
550	0,524	0,619	0,787	0,903	1,035	1,052	1,043	1,176
560	0,573	0,677	0,856	0,980	1,116	1,129	1,135	1,284
570	0,626	0,737	0,925	1,056	1,195	1,201	1,225	1,386
580	0,676	0,796	0,987	1,126	1,265	1,264	1,303	1,476
590	0,714	0,837	1,028	1,177	1,306	1,299	1,353	1,531
600	0,739	0,864	1,053	1,214	1,326	1,312	1,377	1,556
610	0,754	0,877	1,063	1,232	1,324	1,300	1,378	1,554
620	0,756	0,875	1,050	1,221	1,295	1,262	1,349	1,520
630	0,742	0,856	1,014	1,184	1,242	1,212	1,293	1,455
640	0,711	0,822	0,959	1,127	1,169	1,148	1,215	1,365
650	0,666	0,770	0,890	1,066	1,085	1,070	1,124	1,262
660	0,615	0,709	0,820	1,002	1,000	0,985	1,035	1,160
670	0,557	0,637	0,743	0,925	0,904	0,886	0,936	1,048
680	0,484	0,550	0,649	0,823	0,789	0,769	0,819	0,915
690	0,400	0,450	0,537	0,697	0,653	0,636	0,678	0,760
700	0,322	0,357	0,431	0,571	0,524	0,512	0,543	0,610
710	0,261	0,286	0,347	0,465	0,420	0,413	0,434	0,489
720	0,216	0,234	0,282	0,377	0,338	0,334	0,345	0,388
730	0,187	0,199	0,236	0,314	0,280	0,279	0,284	0,318
740	0,165	0,174	0,202	0,261	0,236	0,236	0,237	0,263
750	0,150	0,156	0,177	0,219	0,203	0,204	0,203	0,222

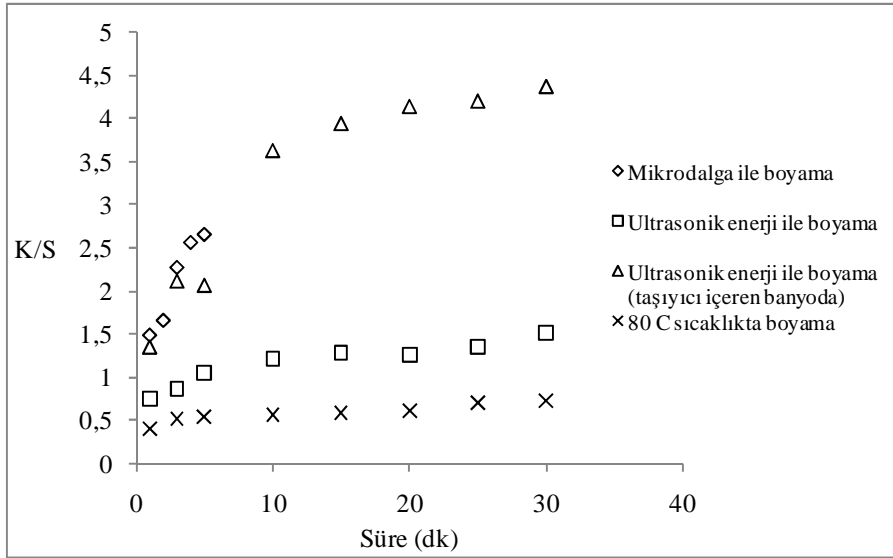
Tablo 5.29. Taşıyıcı kullanılarak hazırlanan boyama banyolarında ultrasonik enerjisi kullanılarak farklı sürelerde boyanan örneklerin K/S değerleri

Dalgaboyu (nm)	K/S							
	Örnek 131	Örnek 132	Örnek 133	Örnek 134	Örnek 135	Örnek 136	Örnek 137	Örnek 138
360	0,407	0,641	0,692	1,107	1,266	1,400	1,432	1,574
370	0,358	0,561	0,608	0,959	1,099	1,210	1,236	1,359
380	0,324	0,502	0,545	0,847	0,964	1,061	1,083	1,190
390	0,296	0,453	0,491	0,745	0,838	0,925	0,942	1,037
400	0,273	0,414	0,447	0,666	0,743	0,822	0,835	0,919
410	0,263	0,397	0,430	0,637	0,707	0,781	0,793	0,873
420	0,263	0,404	0,442	0,652	0,723	0,798	0,807	0,892
430	0,274	0,431	0,478	0,707	0,785	0,862	0,869	0,970
440	0,293	0,473	0,532	0,794	0,880	0,962	0,969	1,091
450	0,317	0,526	0,600	0,905	1,002	1,090	1,098	1,245
460	0,346	0,590	0,681	1,037	1,149	1,248	1,258	1,432
470	0,377	0,658	0,768	1,175	1,306	1,414	1,429	1,632
480	0,414	0,734	0,858	1,323	1,466	1,585	1,607	1,840
490	0,460	0,823	0,961	1,489	1,653	1,780	1,809	2,074
500	0,515	0,927	1,071	1,681	1,872	2,009	2,046	2,338
510	0,581	1,046	1,190	1,893	2,113	2,261	2,307	2,619
520	0,656	1,178	1,318	2,131	2,376	2,540	2,590	2,920
530	0,746	1,329	1,456	2,398	2,672	2,840	2,905	3,240
540	0,837	1,472	1,582	2,644	2,943	3,127	3,193	3,524
550	0,926	1,608	1,698	2,862	3,179	3,372	3,447	3,766
560	1,019	1,736	1,804	3,063	3,387	3,596	3,667	3,967
570	1,121	1,877	1,918	3,275	3,600	3,805	3,883	4,172
580	1,216	2,009	2,021	3,477	3,797	4,006	4,090	4,344
590	1,273	2,076	2,071	3,576	3,906	4,110	4,193	4,417
600	1,305	2,088	2,069	3,596	3,939	4,136	4,208	4,417
610	1,329	2,099	2,067	3,592	3,929	4,125	4,187	4,383
620	1,351	2,116	2,067	3,629	3,943	4,141	4,203	4,372
630	1,339	2,099	2,033	3,621	3,962	4,131	4,182	4,344
640	1,272	1,980	1,918	3,489	3,883	4,035	4,065	4,198
650	1,144	1,760	1,716	3,153	3,633	3,752	3,766	3,855
660	1,007	1,515	1,489	2,708	3,223	3,343	3,328	3,387
670	0,877	1,293	1,278	2,249	2,705	2,837	2,812	2,874
680	0,749	1,096	1,087	1,828	2,175	2,316	2,287	2,372
690	0,614	0,899	0,900	1,436	1,649	1,794	1,784	1,893
700	0,488	0,721	0,731	1,102	1,206	1,349	1,359	1,482
710	0,390	0,577	0,595	0,850	0,886	1,019	1,044	1,165
720	0,317	0,461	0,482	0,659	0,658	0,777	0,809	0,920
730	0,267	0,380	0,400	0,529	0,516	0,619	0,653	0,747
740	0,230	0,318	0,334	0,432	0,417	0,505	0,537	0,613
750	0,203	0,270	0,283	0,358	0,347	0,420	0,448	0,510

Tablo 5.30. En uygun boyama banyosu koşullarında 80 °C sıcaklıkta boyanan örneklerin K/S değerleri

Dalgaboyu (nm)	K/S							
	Örnek 139	Örnek 140	Örnek 141	Örnek 142	Örnek 143	Örnek 144	Örnek 145	Örnek 146
360	0,197	0,249	0,269	0,284	0,294	0,306	0,320	0,334
370	0,181	0,226	0,243	0,257	0,265	0,276	0,287	0,302
380	0,169	0,209	0,224	0,236	0,244	0,254	0,263	0,277
390	0,159	0,194	0,207	0,219	0,225	0,234	0,242	0,254
400	0,150	0,181	0,192	0,203	0,209	0,217	0,224	0,235
410	0,144	0,172	0,182	0,192	0,197	0,204	0,212	0,222
420	0,140	0,165	0,173	0,184	0,188	0,194	0,203	0,212
430	0,137	0,160	0,168	0,178	0,182	0,189	0,199	0,207
440	0,136	0,157	0,166	0,175	0,178	0,185	0,197	0,205
450	0,135	0,157	0,165	0,174	0,177	0,184	0,197	0,206
460	0,137	0,158	0,166	0,175	0,179	0,186	0,201	0,210
470	0,138	0,160	0,169	0,178	0,181	0,189	0,206	0,216
480	0,141	0,164	0,174	0,182	0,185	0,194	0,214	0,224
490	0,146	0,171	0,182	0,190	0,194	0,204	0,227	0,238
500	0,154	0,183	0,194	0,203	0,207	0,218	0,246	0,258
510	0,166	0,199	0,211	0,221	0,225	0,238	0,271	0,285
520	0,181	0,219	0,234	0,245	0,250	0,264	0,303	0,320
530	0,201	0,247	0,264	0,276	0,283	0,299	0,345	0,364
540	0,224	0,278	0,297	0,311	0,319	0,337	0,391	0,413
550	0,248	0,311	0,333	0,348	0,358	0,377	0,441	0,464
560	0,276	0,349	0,374	0,391	0,402	0,423	0,496	0,521
570	0,308	0,391	0,420	0,438	0,452	0,473	0,556	0,585
580	0,338	0,432	0,463	0,482	0,498	0,520	0,611	0,642
590	0,360	0,461	0,495	0,513	0,532	0,554	0,650	0,681
600	0,377	0,484	0,520	0,537	0,558	0,581	0,676	0,705
610	0,394	0,505	0,541	0,558	0,581	0,605	0,697	0,726
620	0,404	0,516	0,551	0,569	0,592	0,615	0,705	0,735
630	0,401	0,509	0,545	0,561	0,583	0,605	0,692	0,720
640	0,378	0,480	0,517	0,528	0,548	0,571	0,649	0,672
650	0,348	0,442	0,477	0,485	0,500	0,526	0,591	0,608
660	0,318	0,401	0,435	0,440	0,453	0,481	0,533	0,542
670	0,286	0,358	0,387	0,394	0,403	0,434	0,474	0,476
680	0,249	0,308	0,331	0,341	0,345	0,377	0,407	0,406
690	0,205	0,250	0,268	0,280	0,280	0,310	0,333	0,330
700	0,166	0,198	0,212	0,224	0,222	0,248	0,267	0,264
710	0,140	0,163	0,173	0,184	0,182	0,203	0,218	0,216
720	0,123	0,140	0,146	0,155	0,154	0,169	0,183	0,181
730	0,114	0,126	0,130	0,137	0,138	0,149	0,160	0,158
740	0,108	0,118	0,121	0,126	0,127	0,134	0,144	0,143
750	0,104	0,113	0,114	0,118	0,120	0,124	0,132	0,133

Her bir boyama yöntemine göre aynı boyama banyosu koşullarında ve değişen sürelerde boyanan örnekler için süreye bağlı olarak K/S değerleri Şekil 5.37’de verilmiştir.



Şekil 5.37. Zamana bağlı olarak yapılan boyama denemelerinin sonuçları

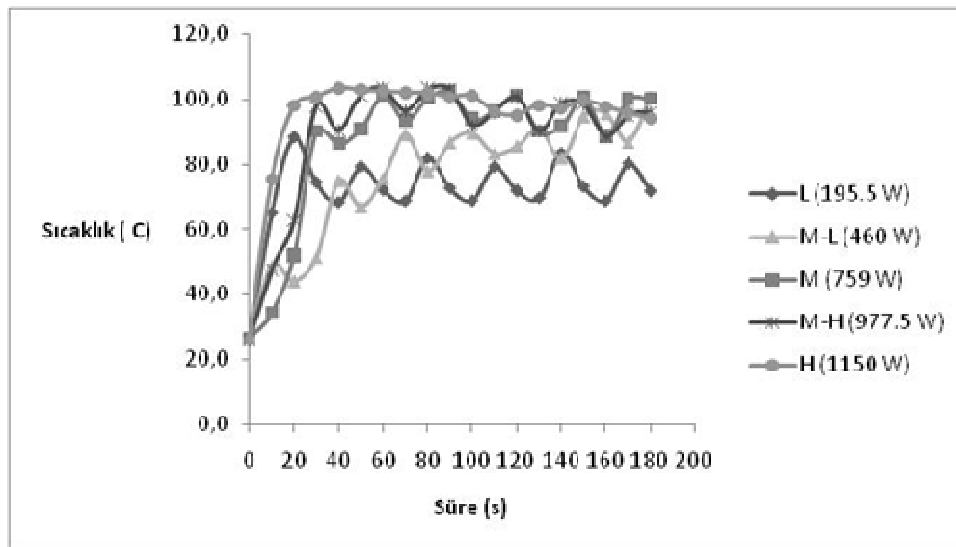
Şekil 5.37 incelendiğinde hem mikrodalga enerjisi kullanılarak hem de ultrasonik enerji kullanılarak yapılan boyamaların polipropilenin boyanmasını geliştirdikleri açıkça görülmektedir. Mikrodalga enerjisi kullanılarak yapılan boyamalar daha iyi boyama verimine sahip olmakla birlikte mikrodalga enerjisi ile boyama banyosunun tükenmesi sebebiyle süre 5 dakikadan fazla olamamıştır. Taşıyıcı kullanımının ise ultrasonik enerji ile boyamayı olumlu yönde geliştirdiği söylenebilir.

5.5. Boyama Kinetiğinin İncelenmesi

Mikrodalga enerjisi kullanılarak yapılan boyamalarda sıcaklığın sabit bir değerde tutulması kontrol edilebilen bir parametre değildir. Tablo 5.30’de mikrodalga’nın çeşitli seviyelerinde 3 dak süresince tespit edilen sıcaklık değerleri, Şekil 5.38’de ise sıcaklık değerlerinin zamana bağlı değişimi görülmektedir. Sıcaklık ortalamaları ve standart sapma değerleri 30. saniyeden itibaren elde edilen verilerle hesaplanmıştır.

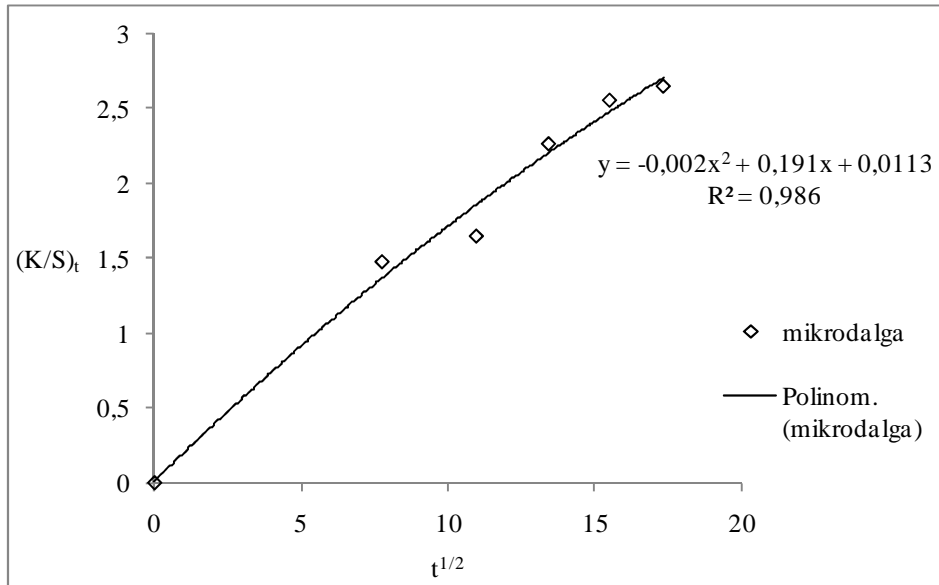
Tablo 5.30. Mikrodalganın çeşitli seviyelerinde zamana bağlı sıcaklık değerleri

t (s)	L (195.5 W)	M-L (460 W)	M (759 W)	M-H (977.5 W)	H (1150 W)
0	25.80	26.00	26.40	25.60	26.10
10	65.10	48.70	34.10	47.40	75.60
20	88.40	44.00	51.90	62.70	98.10
30	74.40	51.00	90.00	97.90	100.90
40	68.40	74.80	86.20	90.60	103.40
50	79.30	66.90	90.80	101.40	102.90
60	72.20	75.60	101.00	103.40	102.50
70	68.80	89.20	93.40	96.50	102.10
80	81.90	77.80	100.30	103.20	102.00
90	72.70	86.70	102.30	102.90	100.90
100	68.90	89.60	93.80	92.20	101.20
110	79.30	83.20	96.40	96.40	96.20
120	71.90	85.60	101.00	100.80	95.30
130	69.70	90.70	90.00	90.40	98.30
140	83.50	81.90	91.70	99.00	97.30
150	73.20	94.80	100.70	98.60	99.70
160	68.80	95.70	88.60	88.60	97.70
170	80.30	86.90	100.00	9.40	95.80
180	71.80	100.70	100.20	96.00	94.30
Ortalama	74.07	76.21	92.07	97.39	99.40
Standart sapma	4.96	6.74	6.36	4.87	2.89

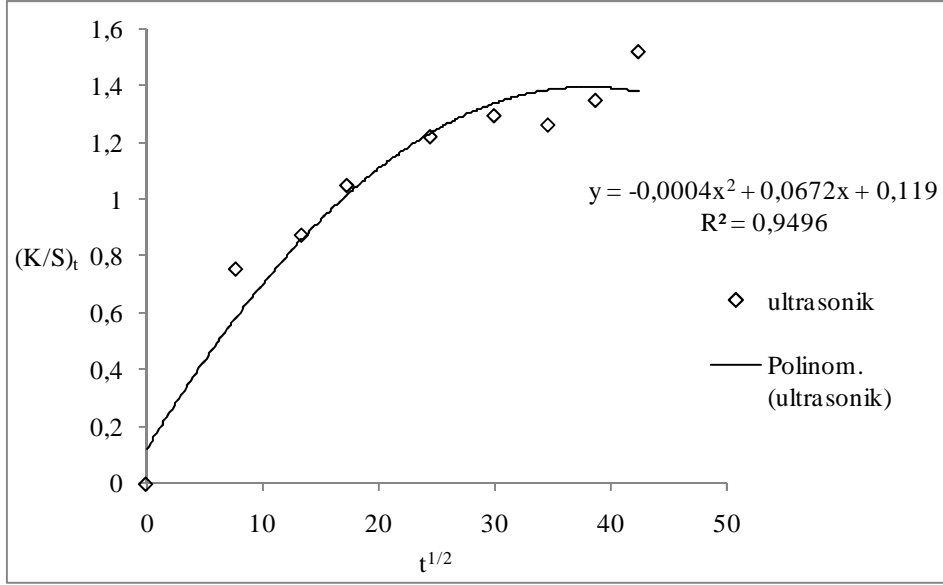


Şekil 5.38. Mikrodalganın çeşitli seviyeleri için zamana bağlı sıcaklık değişimi

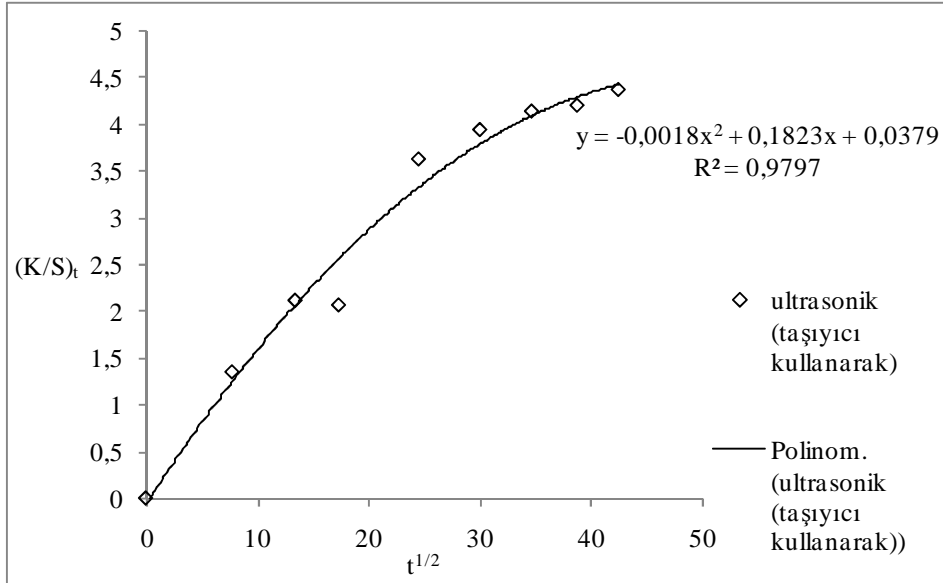
Boyama kinetiğinin incelenmesi amacıyla difüzyon katsayılarının hesaplanması için Hill denklemi ve Shibusawa [45]'nin hidrofobik karakterdeki eyafların dispers boyarmaddeler ile boyanması için difüzyon katsayılarının hesaplanması amacıyla geliştirdiği yaklaşım kullanılmıştır. Örnekler üzerindeki boyarmaddenin miktarı örneğin spektrofotometrik ölçümlerinden elde edilen K/S değerleri ile doğru orantılı olduğundan dolayı örnek üzerindeki boyarmadde miktarı yerine K/S değerleri hesaplamalara temel teşkil etmiştir. Deneysel $(K/S)_t$ değerlerinin $t^{1/2}$ ye karşı grafiğe geçirilmesiyle ikinci dereceden bir polinom denklemi elde edilmiştir. Mikrodalga enerjisi yardımıyla ve ultrasonik enerji yardımıyla (taşıyıcı kullanarak ve kullanmadan) boyanan örnekler için bu grafikler Şekil 5.39, 5.40 ve 5.41'de görülmektedir.



Şekil 5.39. Mikrodalga enerjisi yardımıyla boyanan örnekler için $t^{1/2}$ ye karşı $(K/S)_t$ değerleri



Şekil 5.40. Ultrasonik enerji yardımıyla (taşıyıcı kullanmadan) boyanan örnekler için $t^{1/2}$ ye karşı $(K/S)_t$ değerleri



Şekil 5.41. Ultrasonik enerji yardımıyla (taşıyıcı kullanarak) boyanan örnekler için $t^{1/2}$ ye karşı $(K/S)_t$ değerleri

Bu grafiklerin denklemlerinin katsayıları kullanılarak $(K/S)_\infty$ değerleri denklem 3.7 kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 5.31'de verilmiştir. Denklemdaki P_1 ve P_2 katsayıları deneme yanılma yoluyla tespit edilmiş ve her durum için en uygun katsayılar aynı tabloda gösterilmiştir.

Tablo 5.31. Örnekler için hesaplanan $(K/S)_\infty$ değerleri ve hesaplamada kullanılan katsayılar

	$(K/S)_\infty$	P_1	P_2
Mikrodalga enerjisi yardımıyla yapılan boyamalar için	4.046	2.277	1.150
Ultrasonik enerji yardımıyla (taşıyıcı kullanılmadan) yapılan boyamalar için	2.809	2.331	1.352
Ultrasonik enerji yardımıyla (taşıyıcı kullanılarak) yapılan boyamalar için	4.594	2.331	1.352

Hesaplamalarda kullanılmak üzere elyafın yarıçapı SEM görüntüleri kullanılarak tespit edilmiştir ($r=35.7 \times 10^{-4}$ cm).

Daha sonra her durum için difüzyon katsayıları Denklem 3.9 ve 3.10 vasıtasıyla hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 5.32’de verilmiştir.

Tablo 5.32. Mikrodalga enerjisi ve ultrasonik enerji yardımıyla (taşıyıcı kullanarak ve kullanmadan) yapılan boyamalar için hesaplanan difüzyon katsayıları

Süre (dk)	D (cm ² /s)		
	Mikrodalga yardımıyla boyanan örnekler (99.4 ± 2.89 °C’de)	Ultrasonik enerji yardımıyla (taşıyıcı kullanılmadan) boyanan örnekler (80 °C’de)	Ultrasonik enerji yardımıyla (taşıyıcı kullanarak) boyanan örnekler (80 °C’de)
1	6.63x10 ⁻¹¹	3.40x10 ⁻¹¹	4.11x10 ⁻¹¹
2	4.23x10 ⁻¹¹		
3	5.88x10 ⁻¹¹	1.55x10 ⁻¹¹	3.69x10 ⁻¹¹
4	5.95x10 ⁻¹¹		
5	5.22x10 ⁻¹¹	1.39x10 ⁻¹¹	2.10x10 ⁻¹¹
10		9.71x10 ⁻¹²	4.38x10 ⁻¹¹
15		7.40x10 ⁻¹²	3.88x10 ⁻¹¹
20		5.23x10 ⁻¹²	3.58x10 ⁻¹¹
25		4.88x10 ⁻¹²	3.08x10 ⁻¹¹
30		5.37x10 ⁻¹²	3.26x10 ⁻¹¹

Tablo 5.32 incelendiğinde mikrodalga enerjisi kullanarak yapılan boyamaların en yüksek difüzyon katsayılarına sahip olduğu görülmektedir. Taşıyıcı kullanımı ise ultrasonik enerji yardımıyla yapılan boyamada difüzyon katsayılarının artmasına ve boyamanın gelişmesine yardımcı olmuştur.

5.6. Boyanmış Örneklerin Yıkama Haslıkları Sonuçları

En iyi boyama banyosu koşullarında mikrodalga enerjisi kullanılarak 5 dak.süre ile boyanan örnek, ultrasonik enerji kullanılarak ise (taşıyıcı kullanılarak ve kullanılmadan) 10, 15 ve 20 dakika süre ile boyanan örnekler ISO standartlarında uygulanan yıkama haslığı testi sonuçları gri skala kullanılarak değerlendirilmiş ve sonuçlar tablo 5.33'de verilmiştir.

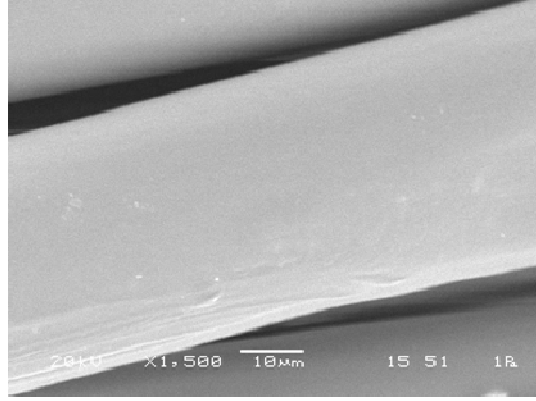
Tablo 5.33. Örneklerin yıkama haslıkları

Örnek	YÜN	AKRİLİK	POLYESTER	POLİAMİD	PAMUK	ASETAT
122	1	4	1-2	1	2	1
126	2	4-5	2-3	1	3	1
127	2	4	2-3	1	3	1
128	2	4	2	1	2-3	1
134	1	4	2	1	2	1
135	1-2	4-5	2-3	1	3	1
136	1	4	2	1	2	1

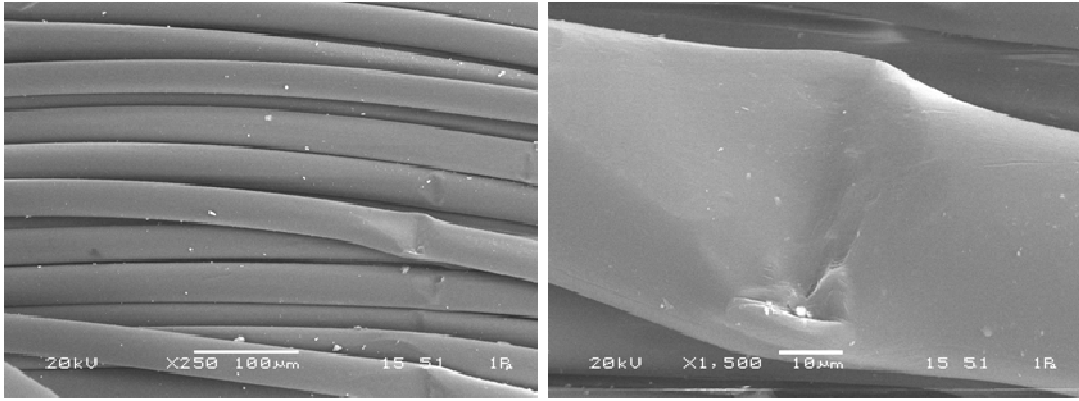
Yıkama haslıkları incelendiğinde örneklerin düşük-orta derecede yıkama haslıklarına sahip oldukları söylenebilir.

5.7. Çeşitli Yöntemler ile Boyanmış Örneklerin Yüzey Görüntüleri

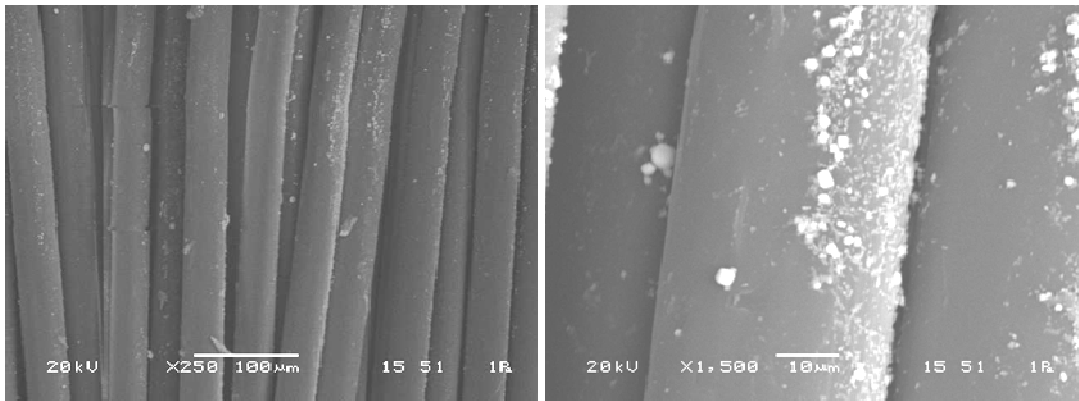
Boyanmamış örneğin taramalı elektron mikroskobu ile belirlenen yüzey görüntüsü şekil 5.42'de, mikrodalga enerjisi kullanılarak en iyi boyanan örneğin yüzey görüntüsü şekil 5.43'de, ultrasonik enerji kullanılarak boyanan en iyi örneğin yüzey görüntüsü şekil 5.44'de verilmiştir. Taşıyıcı ilavesi ile hazırlanan boyama banyosunda ultrasonik enerji kullanılarak en iyi boyanan örnek için ise yüzey görüntüsü şekil 5.45'de görülmektedir.



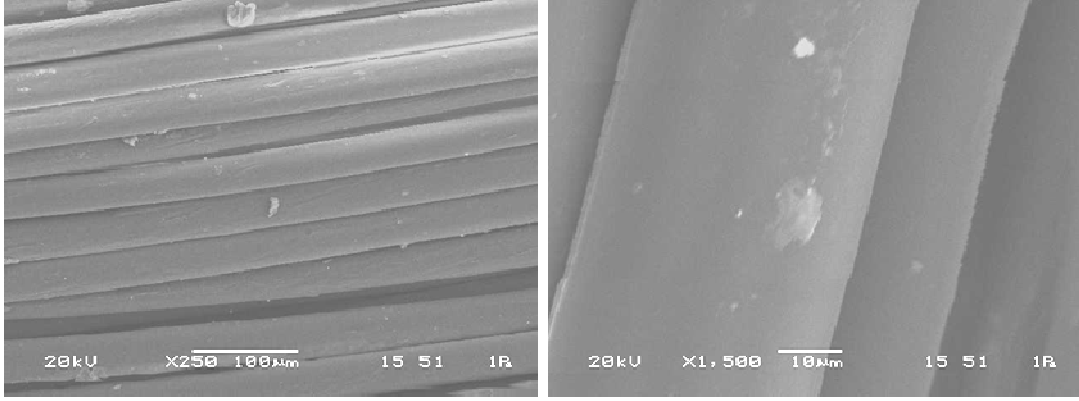
Şekil 5.42. Boyanmamış örneğin SEM görüntüsü



Şekil 5.43. Mikrodalga enerjisi kullanılarak boyanan örneğin SEM görüntüsü



Şekil 5.44. Ultrasonik enerji yardımıyla (taşıyıcı kullanmadan) boyanan örneğin SEM görüntüsü



Şekil 5.45. Ultrasonik enerji yardımıyla (taşıyıcı kullanarak) boyanan örneğin SEM görüntüsü

BÖLÜM 6. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışma ile polipropilen elyafın değişen boyama banyosu koşullarında mikrodalga ve ultrasonik enerji kullanımıyla boyanabilirliği incelenmiştir. Elde edilen bulgular şu şekilde değerlendirilebilir:

6.1. Mikrodalga Enerjisi Kullanılarak Yapılan Boyamalar

1. Değişen flotte ve değişen boyama şiddetinde hazırlanan boyama banyolarında yapılan boyama denemelerinin sonuçları değerlendirildiğinde renk şiddetinin boyama banyosunun flotte oranının artışı ile azalmakta ve boyama şiddeti oranının artması ile artmakta olduğu görülmüştür (Bkz. Şekil 5.10, 5.11 ve 5.12).
2. Değişen boyama banyosu koşullarında mikrodalga enerjisi kullanılarak yapılan boyamaların tümünde mikrodalga seviyesinin artmasıyla renk şiddeti artmaktadır (Bkz. Şekil 5.10, 5.11 ve 5.12). 1/20 flottede ve %2 boyama şiddetinde hazırlanan banyoda en yüksek mikrodalga gücü 1150 W kullanarak boyanan örnek diğerlerinden çok daha büyük renk şiddetine sahiptir (Bkz. Şekil 5.12). Böylece mikrodalga enerjisi kullanılarak yapılan boyamalar değerlendirildiğinde (Bkz. Tablo 5.6, 5.7, 5.8, 5.9 ve 5.10) en iyi boyamanın 1/20 flotte oranında %2 boyama şiddetinde ve mikrodalğanın H seviyesinde (1150 W) gerçekteştiği görülebilir. Bu örnek için renk farkı değeri 41.43'tür (Bkz. Tablo 5.10).

6.2. Ultrasonik Enerji Kullanılarak Yapılan Boyamalar

3. Değişen boyama banyosunda değerlendirildiğinde flotte oranının artmasıyla renk şiddetinin arttığı, ancak boyama şiddetinin %0.5'ten %1'e çıkmasıyla

oluşan artışın, boyama şiddetinin %1'den %2'ye çıkarılması durumundaki artıştan daha fazla olduğu belirtilebilir (Bkz. Şekil 5.22, 5.23 ve 5.24).

4. Değişen boyama banyosu koşullarında ultrasonik enerji kullanılarak yapılan boyamalarda flotte oranının 1/20 olduğu durumda %2 boyama şiddetinde hazırlanan banyoda boyanan örneğin renk şiddeti diğer örneklerinkinden daha fazladır (Bkz. Şekil 5.22). Flotte oranının 1/50 olduğu boyama banyosunda sıcaklığın 40 °C'den 60 °C'ye çıkmasıyla %1 boyama şiddetinde hazırlanan banyoda boyanan örneğin renk şiddetinde diğerlerine nazaran daha büyük bir artış görülmektedir (Bkz. Şekil 5.23). Flotte oranının 1/100 olması durumunda ise tüm boyama şiddetlerinde hazırlanan boyama banyoları için sıcaklığın 60 °C'den 80 °C'ye çıkmasıyla renk şiddetleri büyük ölçüde artmıştır (Bkz. Şekil 5.24).
5. Ultrasonik enerji kullanılarak yapılan boyamalarda en iyi boyanan örnek 1/20 flotte oranında ve %2 boyama şiddetinde hazırlanan boyama banyosunda 80 °C sıcaklıkta boyanan örnektir. Bu örnek için renk farkı değeri 31.33'tür (Bkz. Tablo 5.18).

6.3. Ultrasonik Enerji Kullanılarak Boyamada Taşıyıcının Etkisi

6. Taşıyıcı kullanımının boyamayı büyük ölçüde geliştirdiği görülmüştür. Değişen boyama banyosu koşullarında renk şiddeti flotte oranının artmasıyla azalmakta ve boyama şiddetinin artmasıyla artmaktadır. Ancak 1/100 flotte oranında hazırlanan banyoda boyanan örneklerin renk şiddetleri 1/20 ve 1/50 flotte oranında hazırlanan banyolarda boyanan örneklerinkine göre oldukça düşüktür. Bu sebeple flotte oranının 1/50 den büyük olmasının verimi düşüreceği söylenebilir (Bkz. Şekil 5.34, 5.35 ve 5.36).
7. Taşıyıcı kullanılarak hazırlanan boyama banyolarında ultrasonik enerji yardımıyla gerçekleştirilen boyamalarda sıcaklık artışı renk şiddetini arttırmaktadır. Sıcaklığın 60 °C'den 80 °C'ye artmasıyla büyük bir renk şiddeti artışı gerçekleşmektedir (Bkz. Şekil 5.34, 5.35 ve 5.36).

8. Taşıyıcı kullanılarak hazırlanan boyama banyolarında ultrasonik enerji yardımıyla boyanan örnekler içerisinde en iyi boyanan örnek 44.05 renk farkı değerine sahip olan 1/50 flote oranında %2 boyama şiddetinde hazırlanan banyoda 80 °C sıcaklıkta boyanan örnektir (Bkz. Tablo 5.28).
9. Taşıyıcı kullanımıyla renk şiddetinin iki katına yakın arttığı belirtilebilir.

6.4. Mikrodalga Enerjisi ve Ultrasonik Enerji Kullanarak Yapılan Boyamaların Kıyaslanması

10. Her iki yöneme göre en iyi boyanan örnekler incelendiğinde mikrodalga enerjisi kullanılarak boyanan örneğin renk farkının (41.43) ultrasonik enerji kullanılarak boyanan örneğin renk farkından (31.33) büyük olduğu ve mikrodalga'nın daha iyi boyama sağladığı belirtilebilir. Ancak taşıyıcı kullanılarak hazırlanan boyama banyosunda ultrasonik enerji yardımıyla boyama sonucunda elde edilen en iyi örnek için renk farkının 44.05 olması sebebiyle taşıyıcı kullanımının boyamayı olumlu yönde etkilediği ve bu şekilde en iyi boyamanın gerçekleştiği sonucuna varılabilir.
11. Mikrodalga ve ultrasonik enerji kullanılarak yapılan boyamalar için kinetik incelemesi difüzyon katsayılarının hesaplanması ile gerçekleştirilmiştir. Ancak mikrodalga enerjisi kullanılarak yapılan boyamalarda sıcaklığın sabit bir değerde tutulması bu çalışma için kontrol edilebilen bir parametre değildir. Bu sebeple mikrodalga'nın H seviyesinde (1150 W) 10 saniyelik aralıklarla 3 dakika boyunca boyama banyosunun sıcaklık değişimi incelenmiş ve bu değerlerin ortalaması olan 99.40 ± 2.89 °C'de boyamanın gerçekleştiği düşünülmüştür.
12. Her bir yöntem için difüzyon katsayıları incelendiğinde mikrodalga enerjisi kullanılarak yapılan boyamanın en büyük katsayılara sahip olduğu belirtilebilir. Bu büyük farkta mikrodalga enerjisi kullanılarak yapılan çalışmanın ultrasonik enerji kullanılarak yapılan çalışmaya göre daha yüksek sıcaklıkta gerçekleşmesinin de payı vardır. Mikrodalga enerjisi kullanılarak

yapılan boyamada 5.dakika için difüzyon katsayısı $5.22 \times 10^{-11} \text{ cm}^2/\text{s}$ iken ultrasonik enerji kullanılarak yapılan boyama için aynı süredeki difüzyon katsayısı $1.39 \times 10^{-11} \text{ cm}^2/\text{s}$ 'dir. Taşıyıcı kullanımının boyamayı geliştirdiği de yine aynı sürede taşıyıcı kullanılarak hazırlanan banyoda ultrasonik enerji ile boyanan örneğin difüzyon katsayısının $2.10 \times 10^{-11} \text{ cm}^2/\text{s}$ olması ile ifade edilebilir (Bkz. Tablo 5.32). Ultrasonik enerji yardımıyla taşıyıcı kullanmadan hazırlanan banyoda yapılan boyama için 30.dakikada difüzyon katsayısı $5.37 \times 10^{-12} \text{ cm}^2/\text{s}$ iken taşıyıcı kullanarak hazırlanan banyoda yapılan boyama için aynı sürede $3.26 \times 10^{-11} \text{ cm}^2/\text{s}$ 'dir (Bkz. Tablo 5.32).

13. Elde edilen difüzyon katsayıları polipropilenin boyanabilirliğini geliştirmek için çeşitli polyesterler ile değişen oranlarda blend hazırlayarak aynı boyarmadde (Disperse Blue 56) ile boyamayı deneyen araştırmacıların [9] elde ettikleri katsayılardan ($82 \text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta $1.96 \times 10^{-11} \text{ cm}^2/\text{s}$) daha yüksektir. Bu sonuç polipropilenin boyanabilirliğinin geliştirilmesinde mikrodalga enerjisinin ve ultrasonik enerjinin kullanılabilceğini göstermektedir.

6.5. Zamana Bağlı Olarak Yapılan Çalışmalar

14. Mikrodalga enerjisi kullanılarak yapılan boyamada boyama banyosunun tükenmesi sebebiyle 5 dakikalık sürenin üstüne çıkılmadığı belirtilebilir. Diğer yöntemlerle boyanan örnekler için 15 dakikaya kadar renk şiddeti hızla artmaktadır. Sürenin daha fazla artması ile ise renk şiddeti 15 dakikalık süreye kadar olan artışa nazaran fazla değişmemektedir (Bkz. Şekil 5.37). Bu durumda en iyi boyama süresinin 15 dakika olduğu söylenebilir.

6.6. Boyanan Örneklerin Yıkama Haslıkları

15. Değişik yöntemlerle boyanmış örneklerin yıkama haslığı testleri sonucu düşük-orta seviyededir (Bkz. Tablo 5.33). Bu sonuçtan boyama sonrası işlemlerin gerekliliği yorumu yapılabilir.

6.7. Boyanan Örneklerin Yüzey Görüntüleri

16. Değişik yöntemlerle boyanmış örneklerin SEM görüntüleri boyanmamış örneğin SEM görüntüsüyle karşılaştırılarak incelendiğinde boyanmış örneklerin içine yerleşmiş olan boyarmadde moleküllerinin varlığı görülmüştür (Bkz. Şekil 5.42, 5.43, 5.44 ve 5.45).
17. Sonuç itibarıyla hem mikrodalga enerjisinin hem de ultrasonik enerjinin polipropilen elyafın boyanabilirliğinin geliştirilmesinde kullanılabileceği söylenebilir. Her iki durumda da boyama sürelerinin oldukça kısa olması enerji tasarrufu bakımından da avantajlı bir durum oluşturmaktadır.
18. Bundan sonra yapılacak çalışmalar için ise, bu çalışma ile belirlenen en iyi boyama banyosu koşulları dikkate alınarak farklı boyarmaddelerin kullanımı değerlendirilebilir. Ayrıca, yıkama haslıklarını geliştirecek ard işlemler hakkında araştırma yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] AIZENSHTEIN, E.M., Polypropylene Fibres and Yarns in the Current State of Development, *Fibre Chemistry*, 40, 5, 399-405, 2008.
- [2] ÖZTÜRKMEN, A., GİRİŞKEN, A., Polipropilenin Önlenebilir Yükselişi, *Tekstil Araştırma Dergisi*, sayı 2, 2005.
- [3] AHMED, M., *Polypropylene Fibers Science and Technology*, Elsevier, Amsterdam, 1982.
- [4] Halbe, V., Various Approaches for Dyeing of Polypropylene, electronic article, <http://www.fibre2fashion.com/industry-article/2/156/various-approaches-for-dyeing-of-polypropylene1.asp>
- [5] LEWIN, M., *Handbook of Fiber Chemistry*, 3rd ed., Taylor&Francis Group, USA, 2007.
- [6] SEKAR, N., “Dyeable Polypropylene Compositions by Blending- Recent Developments”, *Colorage*, Aug, 53-54, 1999.
- [7] TELI, M.D., ADIVERAKAR, R.V., RAMANI, V.Y., SABALE, A.G., Imparting Disperse and Cationic Dyeability to Polypropylene Through Melt Blending, *Fibers and Polymers*, 5, 4, 264-269, 2004.
- [8] YU, C., ZHU, M., SHONG, X., CHEN, Y., Study on Dyeable Polypropylene Fiber and Its Properties, *Journal of Applied Polymer Science*, 82, 3172-3176, 2001.
- [9] UJHELYIOVA, A., BOLHOVA, E., ORAVKINOVA, J., TINO, R., MARCINCIN, A., Kinetics of Dyeing Process of Blend Polypropylene/Polyester Fibres with Disperse Dye, *Dyes and Pigments*, 72, 212-216, 2007.
- [10] AKRMAN, J., PRIKRYL J., Dyeing Behavior of Polypropylene Blend Fiber I. Kinetic and Thermodynamic Parameters of the Dyeing System, *Journal of Applied Polymer Science*, 62, 235-245, 1996.
- [11] AKRMAN, J., PRIKRYL, J., Dyeing Behaviour of Polypropylene Blend Fiber II. Ion Exchange Mechanism of Dyeing, *Journal of Applied Polymer Science*, 66, 543-550, 1997.

- [12] AKRMAN, J., PRIKRYL, J., Dyeing Behaviour of Polypropylene Blend Fiber III. Effect of Drawing on Dyeability, *Journal of Applied Polymer Science*, 73, 719-727, 1999.
- [13] KOTEK, R., AFSHARI, M., GUPTA, B.S., KISH, M.H., JUNG, D., Polypropylene Alloy Filaments Dyeable with Disperse Dyes, *Coloration Technology*, 120, 26-29, 2004.
- [14] SON, T.W., LIM, S.K., CHANG, C.M., KIM, S.S., CHO, I.S., Physical Modification of Polypropylene: Preparation of Fibres Dyeable with Disperse Dyes, *Journal of Society of Dyers and Colourists*, 115, 366-369, December 1999.
- [15] AKRMAN, J., PRIKRYL, J., BURGERT, L., Dyeing of Polypropylene/Wool Blend in a Single Bath, *Journal of Society of Dyers and Colourists*, 114, 209-215, July/August 1998.
- [16] HUANG, X., YU, H., ZHU, M.F., CHEN, Y.M., Blends of Polypropylene and Modified Polystyrene for Dyeable Fibers, *Journal of Applied Polymer Science*, 96, 2360-2366, 2005.
- [17] SEVES, A., TESTA, G., MARCANDALLI, B., BERGAMASCO, L., MUNEROTTO, G., BELTRAME, P.L., Inducing Water Bath Dyeability in Polypropylenic Fibers by Their Blending with Polyamide 6, *Dyes and Pigments*, 35, 4, 367-373, 1997.
- [18] BURKINSHAW, S.M., FROEHLING, P.E., MIGNANELLI, M., The Effect of Hyperbranched Polymers on the Dyeing of Polypropylene Fibres, *Dyes and Pigments*, 53, 229-235, 2002.
- [19] PLESSIER, C., GUPTA, B., CHAPIRO, A., Modification of Polypropylene Fiber by Radiation-Induced Graft Copolymerization of Acrylonitrile Monomer, *Journal of Applied Polymer Science*, 69, 1343-1348, 1998.
- [20] GUPTA, B., PLESSIER, C., Modified Polypropylene Fibers with Enhanced Moisture Absorption and Disperse Dyeability, *Journal of Applied Polymer Science*, 73, 2293-2297, 1999.
- [21] TEHRANI, A.R., SHOUSTARI, A.M., MALEK, R.M.A., ABOUS, M., Effect of Chemical Oxidation Treatment on Dyeability of Polypropylene, *Dyes and Pigments*, 63, 95-100, 2004.
- [22] YAMAN, N., ÖZDOĞAN, E., SEVENTEKİN, N., AYHAN, H., Plasma Treatment of Polypropylene Fabric for Improved Dyeability with Soluble Textile Dyestuff, *Applied Surface Science*, 255, 6764-6770, 2009.
- [23] KWON, Y.A., Surface Modification of Fabrics by Plasma Treatment, Thesis of Doctorate, The University of Wisconsin, 1992.

- [24] RAZAFIMAHEFA L, CHLEBICKI, S., VROMAN, I., DEVAUX, E., Effect of Nanoclays on the Dyeability of Polypropylene Nanocomposite Fibres, *Coloration Technology*, 124, 86-91, 2008.
- [25] FAN, Q., UGBOLUE, S.C., WILSON, A.R., DAR, Y.S., MANI, G., TOSHNIWAL, L., Dyeable Polypropylene via Nanotechnology, NTC Project: C01-MD20.
- [26] FAN, Q., UGBOLUE, S.C., WILSON, A.R., DAR, Y.S., AND YANG, Y., Nanoclay-Modified Polypropylene Dyeable with Acid and Disperse Dyes, *AATCC Review*, 3, 6, 25-28, 2003.
- [27] BÜYÜKAKINCI, Y., Özel Yöntemlerle Polipropilen Elyafın Boyanması, Marmara Üni.Fen Bil.Enst., Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2005.
- [28] VANKAR, P.S., SHANKER, R., DIXIT, S., Sonicator Dyeing of Cotton with the Leaves Extract Acer Pectinatum Wallich, *Pigment and Resin Tech.*, 37, 5, 308-313, 2008.
- [29] KAMEL, M.M., EL-SHISHTAWY, R.M., YUSSEF, B.M., MASHALY, H., Ultrasonic Assisted Dyeing III: Dyeing of Wool with Lac as a Natural Dye, *Dyes and Pigments*, 65, 103-110, 2005.
- [30] SHUKLA, S.R., MATHUR, M.R., Low Temperature Ultrasonic Dyeing of Silk, *Journal of Society of Dyers and Colourists*, 111, 342-345, 1995.
- [31] SALIGRAM, A.N., SHUKLA, S.R., MATHUR, M., Dyeing of Polyester Fibres Using Ultrasound, *Journal of Society of Dyers and Colourists*, 109, 263-266, 1993.
- [32] TRIPATHI, D., Practical Guide to Polypropylene, Rapra Technology Ltd., UK, 2002.
- [33] NEEDLES, H.L., Textile Fibers, Dyes, Finishes and Processes, Noyes Publications, USA, 1986.
- [34] KARGER-KOCSIS, J., Polypropylene An A to Z Reference, Kluwer Academic Publishers, Great Britain, 1999.
- [35] SAÇAK, M., Polimer Kimyası, Gazi Kitabevi, Ankara, 2002.
- [36] RODRIGUEZ, F., COHEN, C., OBER, C., ARCHER, L.A., Principles of Polymer Systems, 5th ed., Taylor and Francis Group, New York, 2003.
- [37] GALANTI, A., Polypropylene Fibers, Thesis of Master of Science, Newark Collega of Engineering, New Jersey, 1964.
- [38] HORROCKS, A.R., ANAND, S.C., Handbook of Technical Textiles, Woodhead Publishing Ltd., England, 2000.

- [39] <http://composite.about.com/library/glossary/d/bidef-d1790.htm> (Erişim tarihi: Mayıs 2009)
- [40] BROWN, P.J., STEVENS, K., Nanofibers and Nanotechnology in Textiles, Woodhead Publishing Ltd., England, 2007.
- [41] TAYLOR, M.A., (ter: Ali Emir, Melih Günay), Tekstil Teknolojisi, Forbes Publications Co., London, 1999.
- [42] BROADBENT, A.D., Basic Principles of Textile Coloration, Society of Dyers and Colourists, England, 2001
- [43] BAŞER, İ., İNANICI, Y., Boyarmadde Kimyası, Marmara Ün.v.Yay., İstanbul, 1990.
- [44] ÖZCAN, Y., Tekstil Elyaf ve Boyama Tekniği, Fatih Yayınevi Matbaası, İstanbul, 1984.
- [45] SHIBUSAWA, T., A Method of Estimating the Diffusion Coefficient of Disperse Dyes into Hydrophobic Fibers from the Initial Sorption Data of Dyeing by Means of the Polynomial Least-squares Method, Bull.Chem.Soc.Jpn., 54, 3, 909-912, 1981.
- [46] CHOI, T.S., SHIMIZU, Y., SHIRAI, H., HAMADA, K., Disperse Dyeing of Nylon 6 Fiber Using Gemini Surfactants Containing Ammonium Cations as Auxiliaries, Dyes and Pigments, 48, 217-226, 2001.
- [47] INOUE, H., SUDA, Y., On A Simple Equation of Obtaining Diffusion Coefficient within a Fibre in the Case of An Infinite Dye bath, Sen'i Gakkaishi, 24, 88-93, 1968.
- [48] LI, D., SUN, G., Kinetics of Thermo-fixation of Solvent Dyes and Pigments in Polyester Fibres, Coloration Technology, 122,194-200, 2006.
- [49] OHTA, N., ROBERTSON, A.R., Colorimetry: Fundamentals and Applications, John Wiley and Sons Ltd., England, 2005.
- [50] AGOSTON, G. A., Color Theory and Its Application in Art and Design, Springer-Verlag, Berlin, 1987.
- [51] ÜNVER, R., Renk Görünüm Dizgeleri, 3.Ulusal Aydınlatma Kongresi, İTÜ Mimarlık Fakültesi, 138-143, Kasım, 2000.
- [52] ÖNER, E., Tekstil Endüstrisinde Renk Ölçümü, Marmara Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 2001.
- [53] TROTMAN, E.R., Dyeing and Chemical Technology of Textile Fibres, 4th ed. Charles Griffin&Co.Ltd., London, 1970.

- [54] GÜRCÜM, B.H., *Tekstil Malzeme Bilgisi*, Grafiker Yayınları, Ankara, 2005.
- [55] HOLME, I., *Dye-Fibre Interrelations in Acrylic Fibres*, *Chimia*, 34, 110-130, 1980.
- [56] İSKENDER, M. A., BECERİR, B., KORUYUCU, A., *Carrier Dyeing of Different Energy Level Disperse Dyes on Polyester Fabrics*, *Textile Research Journal*, 75, 6, 462-465, 2005.
- [57] CHOI, T.S., SHIMIZU, Y., SHIRAI, H., HAMADA, K., *Disperse Dyeing of Polyester Fiber Using Gemini Surfactants Containing Ammonium Cations as Auxiliaries*, *Dyes and Pigments*, 50, 55-65, 2001.
- [58] BOGDAL, D., PROCIAK, A., *Microwave-Enhanced Polymer Chemistry and Technology*, Blackwell Publishing, USA, 2007.
- [59] KINGSTON, H., HASWELL, J., *Microwave-Enhanced Chemistry, Fundamentals, Sample Preparation and Applications*. American Chemical Society: Washington, DC, 1997.
- [60] GÖVER K., *Bazı Endüstriyel Malzemelerin Mikrodalga Dielektrik Sabitinin Ölçülmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniv., Fen Bilimleri Enst., Bursa, 1996.
- [61] XU, W., YANG, C., *Hydrolysis and Dyeing of Polyester Fabric Using Microwave Irradiation*, *Coloration Technology*, 118, 211-214, 2002.
- [62] KIM, S.S, LEEM, S.G.,GHIM, H.D., KIM, J.H., LYOO, W.S., *Microwave Heat Dyeing of Polyester Fabric*, *Fibers and Polymers*, 4, 4, 204-209, 2003.
- [63] OHE, T., YOSHIMURA, Y., *Microwave Irradiation onto Nylon 6 Fibers in Organic Solvent*, *Sen'i Gakkaishi*, 65, 1, 64-70, 2009.
- [64] PETERS, D., *Ultrasound in Material Chemistry*, *Journal of Materials Chemistry*, 6, 10, 1605-1618, 1996.
- [65] İNCE, N.H., TEZCANLI, G., BELEN, R.K., APIKYAN, I.G., *Ultrasound as a Catalyzer of Aqueous Reaction Systems: The State of the Art and Environmental Applications*, *Applied Catalysis B: Environmental*, 29, 167-176, 2001.
- [66] ÖNER, E., *Sonokimya*, Ders notu, Marmara Üniv., Teknik Eğt.Fak., Tekstil Eğt. Böl., İstanbul, 2002.
- [67] MASON, T.J., LORIMER, J.P., *A General Introduction to Sonochemistry*, The Royal Society of Chemistry, 1990.

- [68] VAJNHANDL, S., MARECHAL, A.M.L., Ultrasound in Textile Dyeing and Decolouration/Mineralization of Textile Dyes, *Dyes and Pigments*, 65, 89-101, 2005.
- [69] MASON, T.J., *Sonochemistry*, Oxford University Press, New York, 1999.
- [70] ADEWUYI, Y.G., *Sonochemistry: Environmental Science and Engineering Applications*, *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 40, 4681-4715, 2001.
- [71] MASON, T.J., *Practical Sonochemistry: User's Guide to Applications in Chemistry and Chemical Engineering*, Ellis Harwood Ltd, Chichester, 1991.
- [72] LEE, K.W., KIM, J.P., Effect of Ultrasound on Disperse Dye Particulate Size, *Textile Research Journal*, 71, 5, 395-398, 2001.
- [73] SALIGRAM, A.N., SHUKLA, S.R., MATHUR, M., Dyeing of Polyester Fibres Using Ultrasound, *Journal of Society of Dyers and Colourists*, 109, 263-266, 1993.
- [74] SIVAKUMAR, V., RAO, P.G., Studies on the Use of Power Ultrasound in Leather Dyeing, *Ultrasonics Sonochemistry*, 10, 85-94, 2003.
- [75] KAMEL, M.M., SHISHTAWY, R.M., HANNA, H.L., AHMED, N.S.E., Ultrasonic Assisted Dyeing: I. Nylon Dyeability with Reactive Dyes, *Polymer International*, 52, 373-380, 2003.
- [76] SHISHTAWY, R.M., KAMEL, M.M., HANNA, H.L., AHMED, N.S.E., Ultrasonic Assisted Dyeing: II. Nylon Fibre Structure and Comparative Dyeing Rate with Reactive Dyes, *Polymer International*, 52, 381-388, 2003.
- [77] KAMEL, M.M., SHISHTAWY, R.M., YUSSEF, B.M., MASHALY, H., Ultrasonic Assisted Dyeing: IV. Dyeing of Cationised Cotton with Lac Natural Dye, *Dyes and Pigments*, 73, 279-284, 2007.
- [78] ÖNER, E., BAŞER, İ., ACAR, K., Use of Ultrasonic Energy in Reactive Dyeing of Cellulosic Fabrics, *Journal of Society of Dyers and Colourists*, 5, 111, 279-281, 1991.
- [79] AKALIN, M., MERDAN, N., KOÇAK, D., USTA, İ., Effects of Ultrasonic Energy on the Wash Fastness of Reactive Dyes, *Ultrasonics*, 42, 161-164, 2004.
- [80] MERDAN, N., AKALIN, M., KOÇAK, D., USTA, İ., Effects of Ultrasonic Energy on Dyeing of Polyamide (microfibre)/ Lycra Blends, *Ultrasonics*, 42, 165-168, 2004.

- [81] ADDAMO, A.R., SELLI, E., BARNI, R., RICCARDI, C., ORSINI, F., POLETTI, G., MEDA, L., MASSAFRA, M.R., MARCANDALLI, B., Cold Plasma-Induced Modification of the Dyeing Properties of Poly(ethylene teraphthalate) Fibers, *Applied Surface Science*, 252, 2265-2275, 2006.

ÖZGEÇMİŞ

Elif ATABEK YİĞİT 04.09.1979'da Kocaeli'nde doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Sakarya'nın Hendek ilçesinde tamamladıktan sonra Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başladı. 2001 yılında bu bölümden mezun oldu ve 2002 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya bilim dalında yüksek lisans eğitimine ve araştırma görevlisi olarak göreve başladı. 2004 yılında tamamladığı yüksek lisans eğitiminin ardından aynı yıl Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya bilim dalında doktora eğitimine başladı.