



**T.C.
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**POLİPROPİLEN MALZEMENİN UV KATKISI ETKİSİ İLE YÜZEY
GERİLİMİNİ DEĞİŞTİREREK BOYA TUTUCULUĞUNUN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Demet MUTLU BALCI

Polimer Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Polimer Malzeme Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

TEMMUZ 2025

**T.C.
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**POLİPROPİLEN MALZEMENİN UV KATKISI ETKİSİ İLE YÜZEY
GERİLİMİNİ DEĞİŞTİREREK BOYA TUTUCULUĞUNUN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Demet MUTLU BALCI
(21420591016)
ORCID: 0009-0008-1538-1017**

**Polimer Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
Polimer Malzeme Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı**

**Danışman: Doç. Dr. Pınar TERZİOĞLU
ORCID: 0000-0003-4114-7044**

TEMMUZ 2025



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, Bursa Teknik Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

İNTİHAL BEYANI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belgelediğimi, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Demet MUTLU BALCI

İmzası:

*Her zaman yanımda olan, desteğini ve sevgisini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili
eşim Selçuk Balcı'ya ve canım oğlum Barbaros Milan Balcı'ya,*

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmam süresince, akademik bilgi birikimi, araştırma tecrübesi ve rehberliğiyle çalışmamın her aşamasında bana yön veren; bilimsel düşünme yetkinliğimi geliştirmemde ve karşılaştığım zorlukları aşmamda büyük katkı sağlayan değerli tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Pınar TERZİOĞLU'na en içten şükranlarımı sunarım. Kendisiyle çalışmak, benim için son derece değerli ve öğretici bir deneyim oldu.

Deneyisel çalışmalarımın yürütülmesinde teknik destek sağlayan ve uygulama sürecinde bilgi ve deneyimleriyle katkıda bulunan Faurecia A.Ş. laboratuvar sorumluları Sayın Turgay HIZAL ve Sayın Tolga KUZU'ya teşekkür ederim. Sağladıkları katkılar, çalışmamın sağlıklı ve verimli bir şekilde ilerlemesine önemli ölçüde yardımcı oldu.

Tez çalışmamın hazırlanması sürecinde bilgi paylaşımı, yapıcı geri bildirimleri ve moral desteğiyle katkı sunan değerli arkadaşlarıma da teşekkür ederim. Akademik dayanışmanın ve iş birliğinin gücünü bu süreçte bir kez daha deneyimleme fırsatı buldum.

Hayatım boyunca bana rehberlik eden, değerli destekleriyle her zaman yanımda olan aileme en içten teşekkürlerimi sunarım. Özellikle, her koşulda yanımda olarak fedakârlıklarını esirgemeyen sevgili babam Ahmet MUTLU'ya ve annem Fehime MUTLU'ya; verdikleri emek, sabır ve sonsuz destek için şükran borçluyum.

Ayrıca, bu süreçte gösterdiği anlayış, sabır ve manevi desteğiyle en büyük motivasyon kaynaklarımdan biri olan, her zaman yanımda hissettiğim kıymetli eşim Selçuk Balcı'ya teşekkür ederim. Varlığı ve desteği, bu akademik yolculuğu daha anlamlı ve sürdürülebilir kıldı.

Temmuz 2025

Demet MUTLU BALCI
(Kalite Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR	x
SEMBOLLER	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvi
1. GİRİŞ	1
1.1 Araştırmanın Amacı, Kapsamı ve Hedefleri	1
1.2 Araştırmanın Önemi	3
1.3 Literatür Taraması	3
1.4 Araştırmanın Sınırlılıkları ve Kapsamı	6
2. POLİPROPİLENİN MALZEME VE ÖZELLİKLERİ.....	8
2.1 Polipropilenin Yapısı.....	8
2.2 Polipropilenin Üretimi.....	13
2.3 Polipropilenin Fiziksel Özellikleri	18
2.4 Polipropilenin Kimyasal Özellikleri.....	20
2.5 Polipropilenin Kullanım Alanları	23
2.6 UV Stabilizatörü Katkılı Polipropilenin Özellikleri ve Kullanım Alanları.....	25
2.7 UV Stabilizatörü Katkılı Polipropilenin Çeşitleri	26
2.8 Polipropilen İçin Kullanılan UV Stabilizatörü Katkıları ve Rolü	28
2.9 Literatür Çalışmaları	30
3. BOYA TUTUCULUK MEKANİZMASI VE YÜZEY GERİLİMİ	33
3.1 Yüzey Geriliminin Tanımı	33
3.2 Yüzey Geriliminin Önemi	34
3.3 UV Stabilizatörü Katkısının Uygulanma Yöntemi	36
3.4 Deneysel Yöntemler ve Önemli Noktalar	38
3.5 Yüzey Gerilimi Ölçümü	39
3.6 Boya Tutuculuk Testi	41
3.7 Boya Tutuculuğunu Etkileyen Faktörler	42
3.8 Veri Analiz Yöntemleri	44
4. METARYAL VE METOT	46
4.1 Numune Hazırlama Yöntemi	46
4.1.1 Plastik numunelerin plastik enjeksiyon ile üretimi	46
4.1.2 Polipropilen Esaslı Malzemelerin Boyanması	47
4.2 Kullanılan Kimyasallar	49
4.3 Kullanılan Ekipman ve Makineler	49
4.3.1 IMF melt flow index- akışkanlık ölçüm cihazı	50
4.3.2 Kül tayini test cihazı	50
4.3.3 Desikatör	51

4.3.4 Etüv cihazı.....	51
4.3.5 Hassas terazi.....	52
4.3.6 Sertlik- Shore D ölçüm cihazı	52
4.3.7 Yanmazlık test kabini cihazı	53
4.3.8 İklimlendirme kabini	54
4.3.9 Su direnci kabini	54
4.3.10 Cross cut cihazı	54
4.3.11 Parlaklık ölçüm cihazı- glossmetre	55
4.3.12 Boya kalınlık ölçüm cihazı	55
4.3.13 Renk kontrol kabini.....	56
4.3.14 Cross cut adezyon test bandı	56
4.3.15 Test mürekkebi (test kalemleri)	57
4.3.16 Enjeksiyon makinesi	57
4.4 Karakterizasyon Çalışmaları	58
4.4.1 Yoğunluk tayini.....	58
4.4.2 Erime akış indeksi (MFI) analizi	60
4.4.3 Erime Shore D sertlik ölçümü.....	61
4.4.4 Yanma hızı ölçümü (flammability).....	62
4.4.5 Kül tayini.....	64
4.4.6 Yüzey enerjisi ölçümü	65
4.4.7 Parlaklık ölçümü	66
4.4.8 Adhezyon testi cross-cut yöntemiyle değerlendirme	66
4.4.9 Boya kalınlığı ölçümü	67
4.4.10 Su direnci testi.....	68
4.4.11 Isıl yaşlandırma (termal iklimlendirme) testi.....	69
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	71
5.1 Yoğunluk Tayini Sonuçları	71
5.2 Erime Akış İndeksi (MFI) Sonuçları.....	72
5.3 Erime Shore D Sertlik Ölçümü Sonuçları	72
5.4 Yanma Hızı Ölçümü (flammability) Sonuçları	73
5.5 Kül Tayini Sonuçları	74
5.6 Yüzey Enerjisi Ölçümü Sonuçları	74
5.7 Parlaklık Ölçümü.....	75
5.8 Adhezyon Testi Cross-Cut Yöntemiyle Değerlendirme Sonuçları	76
5.9 Boya Kalınlığı Ölçümü Sonuçları	77
5.10 Su Direnci Testi Sonuçları	78
5.11 Isıl Yaşlandırma Testi (Termal İklimlendirme) Sonuçları	79
6. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER.....	81
KAYNAKLAR	83

KISALTMALAR

AIC	: Akaike bilgi kriterleri
°C	: Santigrad
-CH₃	: Metil grubu
CVD	: Kimyasal buhar biriktirme
PP	: Polipropilen
UV	: Ultraviyole
HALS	: Engellenmiş amin ışık stabilizatörleri (Hindered amine light stabilizers)
MPa	: Megapascal
dk	: Dakika
g	: Gram

SEMBOLLER

α	: Asal gerilme doğrultusundan sapma açısı
ρ	: Yoğunluk
$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_{xy}$	: Kabuk iç gerilmeleri
C	: Dokunun kapasitansı
H	: Isı miktarı
M_x, M_y, M_{xy}	: Moment bileşenleri
N_x, N_y, N_{xy}	: Normal kuvvet bileşenleri
q	: Faz yükü
t	: Zaman
u, v	: Yer değiştirme vektörü bileşenleri
w	: Açısal hız
V	: Hız
l	: Uzunluk
mm	: Milimetre
Δ	: Δ Gloss, parlaklık değeri
XC	: Kapasitif reaktans
XL	: Endüktif reaktans

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1: Yaygın kullanılan sıvıların yüzey gerilimleri.....	34
Çizelge 4.1: Enjeksiyon kalıplama sürecinde kullanılan proses parametreleri.	46
Çizelge 4.2: Polipropilen esaslı numunelerin kompozisyonları.	47
Çizelge 4.3: Boyama parametreleri.	48
Çizelge 5.1: Yoğunluk ölçüm sonuçları.	71
Çizelge 5.2: MFI erime akış indeksi değerleri.....	72
Çizelge 5.3: Shore D sertlik ölçüm sonuçları.	73
Çizelge 5.4: Yanma hızı ölçüm sonuçları.	73
Çizelge 5.5: PP esaslı malzemelerin kül miktarı (%)	74
Çizelge 5.6 : Numune yüzey gerilimi sonuçları.	75
Çizelge 5.7: Parlaklık ölçüm sonuçları.....	76
Çizelge 5.8: Boya kalınlığı ölçüm sonuçları.	78

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1: Polipropilen üretim şeması.	14
Şekil 2.2: Polipropilenin kullanım alanları.	23
Şekil 4.1: Melt flow akış analizi testi cihazı.	50
Şekil 4.2: Kül fırını.	51
Şekil 4.3: Desikatör.	51
Şekil 4.4: Etüv	52
Şekil 4.5: Hassas terazi.	52
Şekil 4.6: Shore D ölçüm cihazı	53
Şekil 4.7: Yanma test kabini.	53
Şekil 4.8: İklimlendirme test cihazı.	54
Şekil 4.9: Su direnci kabini.	54
Şekil 4.10: Cross cut test cihazı.	55
Şekil 4.11: Parlaklık ölçüm cihazı.	55
Şekil 4.12: Boya kalınlık ölçüm cihazı.	56
Şekil 4.13: Boya renk ölçüm kabini.	56
Şekil 4.14: Crosscut adhezyon bandı.	57
Şekil 4.15: Yüzey enerjisi test kalemleri.	57
Şekil 4.16: Enjeksiyon makinesi.	57
Şekil 4.17: Gravimetrik yoğunluk tayini için numunenin havada ve sıvı ortamda tartım aşamaları.	59
Şekil 4.18: Yardımcı sıvı ile yoğunluk tayini prensibi.	59
Şekil 4.19: Deneysel yoğunluk tayininde kullanılan cam kütle ve ölçüm mesafesinin (10,01 mm) gösterimi.	59
Şekil 4.20: Arşimet prensibine dayalı gravimetrik yoğunluk ölçüm düzeni.	60
Şekil 4.21: Test numunelerinin 80 °C sıcaklıkta, 3 saat süreyle ön kurutma işlemine tabi tutulması.	60
Şekil 4.22: Cihaz ekranında formülasyon bilgilerinin gösterimi.	61
Şekil 4.23: MFI cihazı kullanılarak L mesafesinin ölçümü sırasında, plastik hammadde eriyik formda ekstrüde edilirken gösterimi.	61
Şekil 4.24: Yanma testi kabini içinde numunenin konumlandırılması ve deney uygulaması	63
Şekil 4.25: Yanma testi öncesi ve sonrası numunenin yanma haznesindeki görünümü.	63
Şekil 4.26: Farklı oranlarda UV stabilizatörü katkısı içeren numunelerin kül fırını içerisindeki yerleşimlerinin gösterimi.	65
Şekil 4.27: (a) RAL 3020 kodlu onaylı referans numune; (b) test edilmek üzere hazırlanan numuneler.	66
Şekil 4.28: Renk ölçüm cihazının numune yüzeyi üzerindeki konumlandırılması ve ölçüm uygulaması.	66
Şekil 4.29: Cross-cut testinde bant kaldırma uygulamasının gösterimi.	67

Şekil 4.30: Boya kalınlığı ölçüm gösterimi.	68
Şekil 4.31: Vötsch marka iklimlendirme kabinde ısıtma yaşlandırma uygulaması.	69
Şekil 4.32: Test kabini ekranında gözlemlenen sıcaklık ayarı (100 °C) ve nem oranı (%0).....	70
Şekil 5.1: Shore D sertlik ölçümünde indenter ucunun numune ile teması.....	73
Şekil 5.2: Yüzey gerilim sıvısının uygulama gösterimi a) Primer astar atılmamış malzeme, b) Primer astar atılmış malzeme.	75
Şekil 5.3: UV stabilizatörü katkılı numunelerin yaşlandırma öncesi çapraz kesme (Cross-Cut) testine ait yüzey görünümü a) UV stabilizatörü katkısız, b) %2 UV stabilizatörü katkılı, c) %4 UV stabilizatörü katkılı, d) %6 UV stabilizatörü katkılı.	77
Şekil 5.4: UV stabilizatörü katkılı numunelerin yaşlandırma sonrası çapraz kesme (Cross-Cut) testine ait yüzey görünümü a) UV stabilizatörü katkısız, b) %2 UV stabilizatörü katkılı, c) %4 UV stabilizatörü katkılı, d) %6 UV stabilizatörü katkılı.	77
Şekil 5.5: Test öncesinde numunelerin yüzey görüntüleri a) UV stabilizatörü katkısız, b) %2 UV stabilizatörü katkılı, c) %4 UV stabilizatörü katkılı, d) %6 UV stabilizatörü katkılı.	79
Şekil 5.6: Test sonrasında numunelerin yüzey görüntüleri a)UV stabilizatörü katkısız, b)%2 UV stabilizatörü katkılı, c)%4 UV stabilizatörü katkılı, d)%6 UV stabilizatörü katkılı.	79
Şekil 5.7: Isıtma yaşlandırma öncesinde UV stabilizatörü katkılı numunelerin yüzey görüntüleri a) UV stabilizatörü katkısız, b) %2 UV stabilizatörü katkılı, c) %4 UV stabilizatörü katkılı, d) %6 UV stabilizatörü katkılı.	80
Şekil 5.8: Isıtma yaşlandırma sonrasında UV stabilizatörü katkılı numunelerin yüzey görüntüleri a) UV stabilizatörü katkısız, b) %2 UV stabilizatörü katkılı, c) %4 UV stabilizatörü katkılı, d) %6 UV stabilizatörü katkılı.	80

POLİPROPİLEN MALZEMENİN UV KATKISI ETKİSİ İLE YÜZEY GERİLİMİNİ DEĞİŞTİREREK BOYA TUTUCULUĞUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Bu tez, polipropilen malzemesinin UV stabilizatörü katkıları ile yüzey geriliminin değiştirilmesi ve bu değişikliğin boya tutuculuğu üzerindeki etkilerinin incelenmesini amaçlamaktadır. Polipropilen, hafifliği ve dayanıklılığı ile birçok endüstriyel uygulamada kullanılan bir termoplastik malzemedir . Bu malzemenin yüzey özelliklerini iyileştirmek için UV stabilizatörü katkısıyla modifikasyonu mümkündür. Ancak, UV ışınlarının polipropilenin yapısı üzerindeki etkileri ve bu değişikliklerin boya tutma özellikleri üzerindeki rolü, mevcut literatürde sınırlı şekilde ele alınmıştır. Bu çalışma, UV stabilizatörü katkısının polipropilen yüzeyindeki etkilerini detaylı bir şekilde inceleyerek, malzemenin boya tutma yeteneğini artırmak için yeni stratejiler geliştirmeyi amaçlamaktadır.

Tezde, polipropilenin kimyasal ve yapısal özellikleri, UV stabilizatörü katkısının polipropilen yüzeyi üzerindeki modifikasyonu ve bu modifikasyonun boya tutuculuk mekanizması ile ilişkisi kapsamlı bir şekilde ele alınmıştır. Araştırma kapsamında, UV stabilizatörü katkısının polipropilen yüzeyinin gerilimine olan etkileri deneysel verilerle ortaya konmuş ve bu değişimlerin boya tutma üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Ayrıca, polipropilen yüzeylerinin UV stabilizatörü katkısı ile modifiye edilmesinin ardından, yüzey gerilimi ile boya tutuculuk arasındaki ilişki incelenmiş ve boya tutuculuğunu etkileyen çeşitli faktörler detaylı bir biçimde analiz edilmiştir.

Çalışmanın sonuçları, UV stabilizatörü katkısının polipropilenin yüzey özelliklerinde önemli değişiklikler yaratarak, malzemenin boya tutma kapasitesini artırabileceğini ortaya koymaktadır. Bu bulgular, polipropilenin daha verimli bir şekilde kullanılabilmesi için yeni iyileştirme olanakları sunmakta ve aynı zamanda malzeme mühendisliği ile endüstriyel uygulamalarda önemli katkılar sağlamaktadır. Bu çalışma, polipropilen malzemelerinin daha dayanıklı ve fonksiyonel hale gelmesi adına uygulamalı çözüm önerileri sunmaktadır.

Anahtar kelimeler: Polipropilen, UV stabilizatörü katkısı, Yüzey gerilimi, Boya tutuculuk, Malzeme modifikasyonu, Deneysel yöntemler.

EVALUATION OF PAINT ADHESION OF POLYPROPYLENE MATERIAL BY CHANGING THE SURFACE TENSION WITH THE EFFECT OF UV ADDITIVE

SUMMARY

This thesis aims to investigate the changes in surface tension of polypropylene material with UV stabilizer additive and the effects of this change on dye retention. Polypropylene is a thermoplastic material used in many industrial applications with its lightness and durability, and it is possible to modify this material with UV stabilizer additive to improve its surface properties. However, the effects of UV rays on the structure of polypropylene and the role of these changes on dye retention properties have been addressed limitedly in the existing literature.

This study aims to develop new strategies to increase the dye retention ability of the material by examining the effects of UV stabilizer additive on the polypropylene surface in detail. In the thesis, the chemical and structural properties of polypropylene, the modification of UV stabilizer additive on the polypropylene surface and the relationship of this modification with the dye retention mechanism are comprehensively discussed. Within the scope of the research, the effects of UV stabilizer additive on the tension of the polypropylene surface are revealed with experimental data and the effects of these changes on dye retention are evaluated. In addition, after the polypropylene surfaces are modified with UV stabilizer additive, the relationship between surface tension and dye retention is investigated and various factors affecting dye retention are analyzed in detail.

The results of the study show that UV stabilizer additive can create significant changes in the surface properties of polypropylene and increase the dye retention capacity of the material. These findings offer new improvement opportunities for more efficient use of polypropylene and also provide significant contributions to materials engineering and industrial applications. This study offers practical solutions to make polypropylene materials more durable and functional.

Keywords: Polypropylene, UV stabilizer additive, Surface tension, Dye retention, Material modification, Experimental methods.

1. GİRİŞ

Polipropilen (PP), sanayide yaygın olarak kullanılan, ekonomik, dayanıklı ve kimyasal olarak dirençli bir malzeme olmaktadır. Ancak, polipropilenin yüzey özellikleri, özellikle boya gibi kaplamaların tutunması açısından genellikle yetersiz kalmaktadır. Bu sorun nedeniyle, polipropilen yüzeylerinin özelliklerini iyileştirmek için farklı yöntemler geliştirilmiştir. Bu yaklaşımlardan biri, malzemenin yüzey gerilimini artırarak boya tutunmasını iyileştiren ultraviyole (UV) stabilizatörü katkılarıdır. UV stabilizatörü katkıları, polipropilenin yüzey yapısını modifiye ederek, boya kaplamalarının malzeme ile daha güçlü bir bağ kurmasını sağlamaktadır. Bu yüksek lisans çalışmasının temel amacı, UV stabilizatörü katkısının polipropilenin yüzey gerilimini nasıl artırarak, boya tutma performansını nasıl iyileştirdiğini derinlemesine incelemektir.

1.1 Araştırmanın Amacı, Kapsamı ve Hedefleri

Bu araştırmanın temel amacı, UV stabilizatörü katkı maddelerinin polipropilenin yüzey gerilimini nasıl modifiye ettiğini ve bu değişimlerin boya tutunumu üzerindeki etkilerini anlamaktır. Polipropilen, genellikle düşük yüzey gerilimi nedeniyle boya gibi kaplamalarla uyumsuzluk gösterir, bu da boyanın yüzeye yeterince tutunamamasına yol açmaktadır. Bu çalışmada, UV stabilizatörü katkısının polipropilen yüzeyinde bir gerilim artışı sağlayıp sağlamadığını ve bunun sonucunda boyaların yüzeye daha güçlü bir bağ kurup kuramayacağını incelemek amaçlanmaktadır. UV ışınlarının polimerin moleküler yapısını değiştirerek yüzey gerilimini artırabileceği ve böylece boyaların malzeme yüzeyine daha iyi tutunmasına yardımcı olabileceği öngörülmektedir. Bu çerçevede, UV stabilizatörü katkısının polipropilenin yüzey özellikleri üzerindeki etkilerini keşfetmek, bu malzemenin daha verimli bir şekilde kullanılabilmesini sağlamak adına önemli katkılar sunabilmektedir. Çalışma, farklı UV stabilizatörü katkısının polipropilenin yüzey gerilimi üzerindeki etkilerini ve bu değişikliklerin boya tutunumu üzerindeki rolünü kapsamlı bir şekilde incelemeyi hedeflemektedir.

Bu araştırma, polipropilen (PP) malzemesinin UV stabilizatörü katkı maddeleriyle modifikasyonunun, yüzey gerilimi ve boya tutuculuğu üzerindeki etkilerini araştırmayı amaçlamaktadır. Polipropilen, geniş kullanım alanına sahip, düşük maliyetli ve dayanıklı bir termoplastik malzeme olarak bilinse de, düşük yüzey enerjisi ve sınırlı boya tutma kapasitesi gibi zayıf yönleri nedeniyle dekoratif ve koruyucu kaplamaların uygulanmasında zorluklar yaratmaktadır. UV stabilizatörü katkıları, polipropilenin yüzey özelliklerini değiştirmeyi ve bu malzemenin boya ile uyumlu hale gelmesini sağlamayı potansiyel olarak mümkün kılabilir.

Araştırmanın odak noktası, UV stabilizatörü katkısının polipropilenin yüzey gerilimine olan etkilerini incelemekle sınırlıdır. UV stabilizatörü katkı maddelerinin, polipropilenin yüzeyinde polariteyi ve reaktiviteyi artırarak, boya ile daha güçlü bir tutunma sağlama olasılığını araştırmak hedeflenmektedir. Bu amaçla, farklı UV stabilizatörü katkı türlerinin, polipropilenin fiziksel ve kimyasal özelliklerine olan etkileri, yüzey gerilimi ölçümleri ve boya tutuculuk testleri aracılığıyla değerlendirilecektir.

Araştırmanın belirlenen hedefleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- UV Stabilizatörünün Katkısının Polipropilenin Yüzey Gerilimine Etkisi: UV stabilizatörü katkısının polipropilenin yüzey enerjisi üzerindeki etkileri, boya tutma kapasitesindeki değişimleri gözlemleyerek değerlendirilecektir.
- Boya Tutuculuğunun Değerlendirilmesi: UV stabilizatörü katkılarının, polipropilen yüzeyine uygulanan boyanın tutuculuk performansını artırıp artırmadığı, deneysel verilerle incelenecektir.
- Farklı UV Stabilizatörü Katkı Türlerinin Karşılaştırılması: Araştırmada, çeşitli UV stabilizatörü katkı maddelerinin etkileri karşılaştırılarak, en uygun UV stabilizatörü katkısının seçilmesi sağlanacaktır.
- Malzeme Kullanım Alanları İçin Potansiyel İyileştirmeler: Elde edilen bulgular ışığında, UV stabilizatörü katkısının polipropilenin yüzey özelliklerini iyileştirerek, otomotiv, inşaat, tekstil ve ambalaj sektörlerinde nasıl daha verimli kullanılabileceği üzerine değerlendirmeler yapılacaktır.

1.2 Araştırmanın Önemi

Polipropilen, plastik endüstrisinde yaygın olarak kullanılan ve maliyet açısından avantajlı olan bir malzemedir, ancak yüzey özelliklerinin sınırlamaları, bazı uygulamalarda verimli kullanımını engellemektedir. Özellikle polipropilenin düşük yüzey gerilimi, boyaların ve diğer kaplamaların malzeme ile güçlü bir yapışma sergilememesine neden olmaktadır. Bu durum, otomotiv, inşaat ve ambalaj gibi sektörlerde polipropilenin daha etkin bir şekilde kullanılmasının önünde önemli bir engel teşkil etmektedir. Bu nedenle, polipropilenin yüzey gerilimini artırmaya yönelik stratejiler geliştirilmesi büyük bir önem taşımaktadır. UV stabilizatörü katkıları, polipropilenin yüzey yapısını modifiye ederek, malzeme ile boyalar arasında daha sağlam bir bağ kurulmasını mümkün kılabilir. Bu çalışmanın amacı, UV stabilizatörü katkısının polipropilenin yüzey özellikleri üzerindeki etkilerini derinlemesine inceleyerek, bu malzemenin potansiyel kullanım alanlarını genişletebilecek yeni yöntemler ortaya koymaktır. Ayrıca, bu tür iyileştirmelerin çevresel sürdürülebilirlik ve ekonomik üretim süreçleri açısından da önemli avantajlar sağlayacağı öngörülmektedir.

1.3 Literatür Taraması

Polipropilen (PP), çok sayıda endüstriyel uygulamada tercih edilen, düşük maliyetli ve dayanıklı bir termoplastiktir. Ancak, bu malzemenin doğal yapısı, özellikle düşük yüzey gerilimi, onun boya ve yapıştırıcılarla uyumlu olmasını zorlaştırmaktadır. Bu özellik, polipropilenin otomotiv, ambalaj ve inşaat gibi birçok sektörde daha etkin bir biçimde kullanılmasını engellemektedir. Neyse ki, polipropilenin yüzey özelliklerini iyileştirmek için farklı yöntemler geliştirilmiştir; bu yöntemlerden biri de UV ışınları ile yapılan yüzey modifikasyonlarıdır. UV ışınlarının, polipropilenin yüzeyindeki yapıyı değiştirerek, yüzey gerilimini artırması ve bu sayede boyaların yüzeye daha güçlü bir bağ kurmasını sağlaması mümkündür.

Polipropilenin yüzey gerilimini artırmak için bir dizi farklı teknik kullanılabilir. Bunlar arasında plazma işlemleri, kimyasal modifikasyonlar, elektriksel alan uygulamaları ve UV ışınları gibi yöntemler öne çıkmaktadır. Polipropilenin apolar yapısı, düşük oksijen içeriği ve hidrofobik özellikleri, boya ve kaplama malzemelerinin bu yüzeye tutunmasını zorlaştırmaktadır. Bu nedenle,

malzemenin yüzeyinde yapılan değişiklikler, özellikle oksijen içeriğini artırmakta ve yüzeyi daha polarlı hale getirmek, polipropilenin kaplama malzemeleriyle uyumunu iyileştirebilmektedir. UV ışınları, polipropilenin yüzeyinde bu tür yapısal değişikliklere yol açarak, boyaların ve kaplamaların tutunma yeteneğini önemli ölçüde artırabilmektedir. Bu tür yüzey modifikasyonları, polipropilenin çeşitli endüstriyel uygulamalarda daha verimli kullanılabilmesini sağlayan önemli bir gelişmedir.

Birçok bilimsel çalışma, polipropilenin yüzeyine UV ışını uygulamanın, malzemenin yüzey gerilimini artırarak boya tutunma kapasitesini belirgin şekilde iyileştirdiğini göstermektedir. UV ışınları, polipropilen yüzeyinde serbest radikallerin oluşumuna yol açmaktadır. Bu radikaller, polipropilenin kimyasal yapısını değiştirir ve yüzeyin kutuplaşmasını sağlamaktadır. Kutupsal özellikler, boyaların ve kaplamaların yüzeyle daha güçlü bir bağ kurmasına imkan tanımakta, böylece malzemenin boya ile uyumunu artırmaktadır. Bunun yanı sıra, UV ışınları oksidasyon reaksiyonlarına yol açarak, yüzeyde oksijen içeren fonksiyonel grupların (örneğin karbonil ve hidroksil grupları) oluşmasına neden olmaktadır. Bu yeni gruplar, yüzeyin polaritesini yükselterek, boya ve kaplamaların yüzeyle daha etkili bir şekilde etkileşmesini sağlamaktadır (Santos ve diğ, 2007).

UV ışınlarının polipropilen üzerindeki etkilerini inceleyen pek çok çalışma, UV maruziyetinin malzemenin yüzey gerilimini artırdığı ve bu artışın boya tutunumu üzerinde olumlu etkiler yarattığını ortaya koymuştur. Örneğin, (Zheng ve Li (2004)), polipropilenin yüzeyine UV ışını uygulandığında oksidasyon reaksiyonlarının meydana geldiğini ve bu reaksiyonların oksijen içeren fonksiyonel grupların oluşmasına neden olduğunu belirtmişlerdir. Bu fonksiyonel gruplar, polipropilenin yüzeyine boyaların daha güçlü bir şekilde tutunmasını sağlayarak, malzemenin kaplama malzemeleriyle daha verimli etkileşimde bulunmasına imkan tanımaktadır. Bu bulgular, UV ışınlarının polipropilenin yüzey özelliklerini iyileştirmede önemli bir rol oynadığını ve bu tür modifikasyonların malzemenin endüstriyel uygulamalarda daha verimli bir şekilde kullanılabilmesini sağladığını ortaya koymaktadır.

Wang ve diğ, (2005) yaptığı araştırmada, UV ışınının polipropilen yüzeyinde oksidasyon ve çapraz bağlanma reaksiyonlarını tetikleyerek, yüzey gerilimini artırdığı ve bu değişikliklerin boya tutunumu için daha uygun bir ortam yarattığı gösterilmiştir. UV ışınları, yüzeyde serbest radikallerin oluşmasına sebep olmaktadır. Bu radikaller, polipropilenin kimyasal yapısını değiştirerek, malzemenin apolar özelliklerini azaltır.

Sonuç olarak, yüzey kutuplaşır ve bu, boyaların yüzeye daha güçlü bir şekilde tutunmasına olanak tanımaktadır. Bu mekanizma, polipropilenin boyalarla olan uyumunu geliştirir ve böylece malzemenin endüstriyel uygulamalarda daha verimli bir şekilde kullanılmasına katkı sağlamaktadır.

UV stabilizatörü katkı maddeleri, bu etkiyi daha da pekiştirebilmektedir. Özellikle UV stabilizatörleri ve ışık koruyucuları, UV ışınlarının polipropilen üzerindeki etkilerini hızlandırabilir ve aynı zamanda zararlı etkilerini azaltabilmektedir. Bu katkılar, malzemenin UV ışınlarına karşı daha dayanıklı olmasını sağlayarak, yüzey özelliklerinin uzun süre korunmasına yardımcı olabilmektedir. Böylece, polipropilenin UV ışınlarının olumsuz etkilerinden daha az etkilenmesi sağlanabilir ve malzemenin yapısal bütünlüğü korunmaktadır (Jiang ve diğ., 2007). Bu tür katkı maddelerinin kullanımı, polipropilenin daha uzun ömürlü ve işlevsel kalmasını sağlayarak, endüstriyel kullanımlarını daha sürdürülebilir hale getirebilmektedir.

Santos ve diğ., (2007) yaptığı çalışmada, UV stabilizatörü katkı maddelerinin polipropilenin yüzey gerilimi üzerinde önemli bir etkisi olduğu, ancak bu etkinin kullanılan katkı türüne göre değişiklik gösterdiği belirtilmektedir. UV stabilizatörü katkısı, polipropilen yüzeyinde stabil bir oksidasyon tabakası oluşturarak, boyaların yüzeyde daha uzun süre tutunmasını ve boya tutunma süresinin uzamasını sağlamaktadır. Ayrıca, UV stabilizatörü katkısı polipropilenin yüzeyindeki renk değişimlerini ve mekanik hasarları minimuma indirerek, malzemenin estetik ve fonksiyonel özelliklerinin daha uzun süre korunmasına yardımcı olabilmektedir.

UV ışınlarının uygulama süresi ve ışık yoğunluğu, yüzeydeki değişikliklerin etkinliğinde belirleyici bir rol oynamaktadır. Çeşitli araştırmalar, UV ışınına maruziyet süresi arttıkça, polipropilen yüzeyindeki değişikliklerin daha belirgin hale geldiğini göstermektedir. Bununla birlikte, ışının yoğunluğunun aşırı yüksek olması, polipropilenin mekanik özelliklerinde zayıflamalara yol açabilir. Jia ve diğ., (2011) polipropilenin yüzeyine UV ışını uygulama süresi uzadıkça, yüzeydeki oksijen içeriğinin arttığını ve bu artışın boya tutunumu üzerinde olumlu bir etki yarattığını gözlemlemişlerdir. Ancak, UV ışınlarının aşırı uzun süre uygulanması, polipropilenin yüzeyinde istenmeyen termal bozulmalara neden olabileceğinden, ışının süresi ve yoğunluğunun dikkatlice belirlenmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Bu denge, polipropilenin yüzey özelliklerini iyileştirirken, malzemenin genel dayanıklılığını koruyarak daha verimli ve uzun ömürlü kullanımını sağlamaya olanak tanımaktadır.

Polipropilenin yüzey özelliklerini iyileştirmek için UV ışınları dışında bir dizi farklı teknik de uygulanmaktadır. Bunlar arasında plazma işlemleri, kimyasal buhar biriktirme (CVD), ozon uygulamaları ve asidik ya da bazik yüzey modifikasyonları gibi yöntemler yer almaktadır. Ancak UV ışını, diğer yöntemlere kıyasla çevre dostu olması ve maliyet açısından daha avantajlı olmasıyla dikkat çekmektedir. UV ışınlarıyla yapılan yüzey modifikasyonu, genellikle polipropilenin mekanik özelliklerini daha az etkileyerek, yüzeyde istenen değişiklikleri elde etmek için kısa bir işlem süresi gerektirmektedir. Bu da UV ışınlarını, hızlı ve verimli bir çözüm olarak öne çıkarmaktadır (Santos ve diğ, 2007).

UV stabilizatörü katkısının kullanılması, sadece ekonomik anlamda avantajlar sağlamakla kalmaz, aynı zamanda çevre dostu bir yaklaşım sunmaktadır. Diğer yöntemler genellikle daha fazla enerji tüketimi veya karmaşık işlemler gerektirirken, UV ışınları çevresel sürdürülebilirlik açısından daha uygun bir alternatif oluşturur. Bu yönüyle UV ışınları, polipropilenin yüzey özelliklerini iyileştirmek için tercih edilmesi gereken bir yöntem olarak giderek daha fazla tercih edilmektedir. Hem pratik hem de çevresel açıdan uzun vadeli faydalar sunduğu için, bu teknik, özellikle endüstriyel uygulamalarda çevre bilincini artıran ve verimliliği destekleyen bir çözüm olarak popülerliğini artırmaktadır.

1.4 Araştırmanın Sınırlılıkları ve Kapsamı

Bu araştırma, polipropilen malzemesinin UV stabilizatörü katkı maddeleriyle yapılan yüzey modifikasyonlarını incelemeyi amaçlamaktadır. Özellikle, UV stabilizatörü katkısının polipropilenin yüzey gerilimini nasıl değiştirdiği ve bu değişikliğin boya tutunumu üzerindeki etkilerinin detaylı bir şekilde analiz edilmesi hedeflenmektedir. Çalışma, belirli UV stabilizatörü katkı maddeleri ve uygulama sürelerinin etkilerine odaklanacak olup, polipropilenin farklı türleri veya UV ışını yoğunlukları gibi diğer parametreler araştırmanın kapsamı dışında bırakılacaktır. Bu unsurlar, gelecekteki çalışmalar için önemli araştırma alanları oluşturmaktadır.

Çalışmanın temel verileri, yalnızca laboratuvar ortamında gerçekleştirilen deneysel testlere dayalı olmaktadır. Bu nedenle, elde edilen bulguların gerçek dünya uygulamalarıyla ne kadar örtüştüğü konusunda sınırlı bir genelleme yapılabilecektir. Ayrıca, UV stabilizatörü katkısının polipropilenin diğer fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerindeki etkileri de göz önünde bulundurulacak, ancak bu etkileşimlerin

daha derinlemesine incelenmesi, sonraki projeler için bir hedef olarak belirlenmektedir. Böylece, çalışma polipropilenin yüzey modifikasyonları üzerindeki etkileri anlamak için sağlam bir temel sunarken, diğer önemli değişkenlerin araştırılması için de yeni yollar açmaktadır.



2. POLİPROPİLENİN MALZEME VE ÖZELLİKLERİ

2.1 Polipropilenin Yapısı

Polipropilen (PP), sahip olduğu çok sayıda avantaj nedeniyle, günümüzde en yaygın kullanılan termoplastik polimerlerden biri olmaktadır. Hafifliği, mükemmel kimyasal dayanıklılığı, yüksek mekanik özellikleri ve kolay işlenebilirliği, polipropilenin otomotivden tekstile, ambalajdan inşaatla kadar birçok sektörde tercih edilmesini sağlamaktadır. Ayrıca, işlenebilirlik açısından sunduğu esneklik, üretim süreçlerinde geniş bir kullanım yelpazesi oluşturmaktadır (Rohatgi ve diğ., 2011; Leblanc ve diğ., 2015). Bu bölümde, polipropilenin yapısı, üretim süreçleri ve fiziksel özellikleri hakkında daha detaylı bilgi sunulmaktadır.

Polipropilen, propilen (C_3H_6) monomerlerinin polimerizasyonu ile elde edilen bir termoplastik polimerdir. Yapısal özellikleri, kullanılan monomerlerin düzenine göre çeşitlenir ve üç ana formda incelenebilir: izotaktik, sindiotaktik ve ataktik polipropilen. Bu farklı yapı tipleri, metil gruplarının ($-CH_3$) zincir boyunca nasıl yerleştiğine bağlı olarak belirlenir. İzotaktik polipropilen, metil gruplarının düzenli ve paralel bir şekilde sıralandığı, bu nedenle yüksek kristallik yapıya sahip bir polimerdir. Bu düzen, malzemenin daha güçlü mekanik özellikler sergilemesine ve daha katı bir yapıya sahip olmasına olanak tanımaktadır. Sindiotaktik polipropilen, metil gruplarının birbirine zıt yönlerde alternatif bir şekilde dizildiği bir yapıyı göstermektedir. Bu yapı, polimerin daha esnek olmasını sağlar, dolayısıyla daha fazla deformasyona dayanıklıdır. Ataktik polipropilen ise metil gruplarının rastgele bir biçimde dağılmasıyla oluşmaktadır. Bu düzensiz yapılar, polimerin amorf olmasına yol açar, bu da malzemenin daha yumuşak ve şeffaf olmasını sağlamaktadır. Bu üç farklı yapısal düzenleme, polipropilenin fiziksel ve kimyasal özelliklerini doğrudan etkileyerek, malzemenin hangi uygulamalarda en verimli şekilde kullanılacağını belirlemektedir (Nishida ve diğ., 2010; Chauhan ve Mittal, 2015).

İzotaktik polipropilen, polimer zincirlerinde metil gruplarının belirli bir düzene göre sıralandığı bir yapıya sahip özel bir polimerdir. Bu düzenlilik, polipropilenin kristallik

oranını arttırarak, malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirmektedir. Yüksek kristallik, polipropilenin dayanıklılığını, sertliğini ve kimyasal direnç gibi temel özelliklerini güçlendirir. Ayrıca, malzemenin erime noktasının yükselmesi de bu yapının sağladığı önemli avantajlardan biridir. Bu özellikleri sayesinde izotaktik polipropilen, özellikle zorlu koşullara dayanıklı yüksek performanslı ürünlerde tercih edilen bir malzeme haline gelmektedir (Liu ve diğ, 2018).

Kristallik oranı, polipropilenin mekanik özelliklerini doğrudan etkileyen bir faktördür. Yüksek kristallik, polipropilenin mekanik dayanımını arttırır, sıcaklık değişimlerine karşı direnç gösterir ve kimyasal maddelere karşı daha dayanıklı hale gelmesini sağlamaktadır. Dolayısıyla, izotaktik polipropilen, özellikle yüksek sıcaklık dayanımına sahip ve mekanik güç gerektiren uygulamalar için mükemmel bir tercihtir (Tian ve diğ, 2018). Kristalin yapının etkisiyle, polipropilenin erime noktası da yükselir, bu da malzemenin daha zorlu çevre şartlarında kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Bu nedenle izotaktik polipropilen, dayanıklılığın ve yüksek sıcaklık dayanımının ön planda olduğu mühendislik uygulamalarında vazgeçilmez bir materyaldir.

Sindiotaktik polipropilen, polimer zincirindeki metil gruplarının zıt yönlerde yerleştiği bir yapıya sahiptir, bu da onun izotaktik polipropilene kıyasla daha düşük kristallik oranına sahip olmasına neden olmaktadır. Bu yapı, polipropilenin daha esnek ve amorf özellikler göstermesini sağlamaktadır. Düşük kristallik oranı, malzemenin daha yumuşak ve şekil alabilir hale gelmesine olanak tanımaktadır. Dolayısıyla sindiotaktik polipropilen, esneklik ve şekil alabilirlik gerektiren uygulamalar için oldukça uygun bir malzemedir (Kim ve diğ, 2015). Ayrıca, bu tür polipropilenin düşük kristallik yapısı, işlenmesini de daha kolay hale getirmekte; çünkü kristalin yapının azalması, malzemenin akışkanlığını ve işlenebilirliğini artırır. Bu da üretim süreçlerini hızlandırır ve maliyetleri düşürmektedir.

Esneklik açısından, sindiotaktik polipropilen, mekanik dayanımda bir miktar kayıp yaşasa da, bu durum malzemenin elastikiyetini arttırarak ona önemli bir avantaj sağlamaktadır. Esnekliğin önemli olduğu uygulamalarda, bu tür polipropilen ideal bir seçimdir. Özellikle otomotiv endüstrisinde, tamponlar ve darbelere dayanıklı parçalarda sindiotaktik polipropilen yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu polimer, hem esneklik hem de dayanıklılık gerektiren parçalar için optimum bir denge sunmaktadır (Ganesan ve diğ, 2020). Şekil alabilirliği ve esnekliği, sindiotaktik polipropilenin, bu

tür uygulamalar için ideal bir materyal olmasını sağlar, çünkü malzemenin darbe enerjisini emme kapasitesi, onu çeşitli dinamik koşullara karşı dirençli kılmaktadır.

Ataktik polipropilen, polimer zincirindeki metil gruplarının düzensiz bir şekilde dağıldığı bir yapıya sahip olup, bu özellik malzemeye amorf bir karakter kazandırmaktadır. Bu amorf yapı, malzemenin daha yumuşak ve esnek olmasına yol açmakta, ancak aynı zamanda mekanik dayanımında bir azalma görülmektedir. Ataktik polipropilenin yapısal özelliği, suya karşı daha duyarlı hale gelmesine ve su emilim kapasitesinin artmasına neden olmaktadır. Bu durum, malzemenin çevresel faktörlere karşı daha fazla etkilenebilmesine yol açarken, aynı zamanda bazı uygulamalarda bu özelliği bir avantaj haline getirebilmektedir (Zhao ve diğ, 2019).

Ataktik polipropilenin düşük mekanik dayanımı, bu tür polimeri, dayanım gereksiniminin düşük olduğu ve esneklik ile işlenebilirliğin ön planda olduğu uygulamalar için uygun hale getirmektedir. Özellikle esnek ambalaj malzemeleri ve düşük stres altındaki parçalar için bu malzeme idealdir. Yüksek işlenebilirliği, karmaşık şekillerin hızlı ve kolay bir şekilde üretilmesini sağlamakta, bu da ataktik polipropilenin üretim sürecinde önemli bir avantaj sunmaktadır. Sonuç olarak, ataktik polipropilen, özellikle esneklik, düşük yoğunluk ve işlenebilirlik gibi özelliklerin ön planda olduğu, mekanik dayanımın ikinci planda olduğu uygulamalarda oldukça faydalıdır. Bu özellikleri sayesinde, otomotiv, ambalaj ve benzeri endüstrilerde geniş bir kullanım alanı bulmaktadır.

Polipropilen üretimi, propilen monomerlerinin polimerizasyonu yoluyla gerçekleştirilirken, bu süreçte farklı polimerizasyon teknikleri kullanılabilir. İki yaygın yöntem, kaynar yatak polimerizasyonu ve sürekli polimerizasyondur. Her iki yöntem de kendi avantajları ve kullanım alanlarına sahip olup, belirli üretim hedeflerine göre seçilmektedir.

Kaynar yatak polimerizasyonu, özellikle polipropilen üretiminde sıkça tercih edilen etkili bir tekniktir. Bu süreç, propilen monomerlerinin yüksek sıcaklık ve basınç altında uygun katalizörlerle reaktörde bir araya gelmesiyle başlar. Burada, kaynar yatak ortamı sayesinde monomerler hızla reaksiyona girer ve polipropilen zincirlerinin oluşumu sağlanmaktadır. Bu yöntem, izotaktik polipropilen üretimi için özellikle uygundur, çünkü izotaktik yapı, polipropilenin kristalin yapısını artırarak malzemeye yüksek mekanik dayanım, sertlik ve kimyasal direnç kazandırır. Yüksek kristallik,

polipropilenin fiziksel özelliklerini iyileştirmekte, bu da onu mühendislik plastikleri ve yüksek performans gerektiren uygulamalarda vazgeçilmez kılmaktadır.

Bu yöntemin önemli avantajlarından biri, polipropilenin daha homojen bir yapıya sahip olmasıdır. Kaynar yatak polimerizasyonu, üretim verimliliğini artırarak daha hızlı ve etkili bir üretim süreci sağlamaktadır. Ayrıca, yüksek sıcaklık ve basınç altında gerçekleşen reaksiyonlar, polimerizasyonun hızını ve verimliliğini artırırken, üretim maliyetlerini de optimize etmektedir. Bu nedenle, kaynar yatak polimerizasyonu, özellikle izotaktik polipropilenin tercih edildiği ve yüksek kaliteli, dayanıklı malzemelerin üretildiği endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Kaynar yatak polimerizasyonu, polipropilen üretiminde büyük ölçekli üretimler için oldukça avantajlı bir yöntemdir. Bu süreç, monomerlerin hızlı bir şekilde polimerleşmesini sağlayarak, yüksek verimlilik ve hızla malzeme üretimi sunmaktadır. Bu hız, özellikle endüstriyel üretim için önemli bir özellik olup, büyük üretim tesislerinde kısa sürede büyük miktarda malzeme elde edilmesini mümkün kılmaktadır. Ayrıca, kaynar yatak polimerizasyonunun verimli enerji kullanımı, üretim maliyetlerinin optimizasyonuna yardımcı olmaktadır (Tian ve diğ., 2018). Bu özellikler, yöntemi zaman ve maliyet tasarrufu sağlamak isteyen büyük ölçekli üreticiler için ideal hale getirmektedir.

Ancak, kaynar yatak polimerizasyonunun bazı dezavantajları ve sınırlamaları da vardır. En belirgin zorluklardan biri, bu işlemin yüksek enerji gereksinimidir. Polimerizasyonun yüksek sıcaklık ve basınç altında gerçekleştirilmesi, enerji tüketimini önemli ölçüde artırır. Bu durum, hem üretim maliyetlerini hem de çevresel etkileri yükseltebilmektedir. Yüksek enerji tüketimi, uzun vadede çevresel sürdürülebilirlik açısından bir sorun oluşturabilmektedir. Bunun yanı sıra, kaynar yatak polimerizasyonunun başarısı, çok dikkatli bir şekilde koşulların izlenmesini gerektirir. Sıcaklık, basınç seviyesi ve katalizör miktarındaki küçük değişiklikler, polipropilenin son özelliklerini doğrudan etkileyebilmektedir. Bu nedenle, üretim sürecinin verimli ve yüksek kaliteli olması için tüm parametrelerin dikkatlice kontrol edilmesi zorunludur.

Diğer taraftan, sürekli polimerizasyon da polipropilen üretiminde yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Bu yöntem, monomerlerin kesintisiz bir şekilde reaktöre beslenmesiyle başlar ve polimerizasyon süreci sürekli olarak devam etmektedir.

Sürekli polimerizasyonun en önemli avantajı, üretilen polimerin homojen ve dengeli bir yapıya sahip olmasıdır. Bu, elde edilen ürünün kalitesinin tutarlı ve öngörülebilir olmasını sağlar, bu da özellikle kalite kontrol ve standardizasyonun kritik olduğu uygulamalarda önemli bir avantaj sunmaktadır. Ayrıca, sürekli polimerizasyonun kesintisiz yapısı, üretim verimliliğini artırarak maliyetlerin düşmesine katkı sağlamaktadır. Bu süreç, üreticilere daha düşük işletme maliyetleri ve daha yüksek üretim hızları sunmaktadır.

Sürekli polimerizasyon yönteminin bir diğer belirgin avantajı, polipropilenin moleküler yapısının daha hassas bir şekilde kontrol edilebilmesidir. Bu yöntem, polimerin moleküler ağırlık dağılımı gibi kritik özelliklerin istenilen şekilde düzenlenmesine olanak tanımaktadır. Bu özellik, polipropilenin uygulamadaki performansını optimize etmek için büyük bir esneklik sağlamaktadır. Örneğin, belirli endüstriyel gereksinimler doğrultusunda özelleştirilmiş polimer türlerinin üretilmesi mümkün hale gelmektedir. Bu durum, polipropilenin daha farklı ve spesifik uygulamalarda verimli bir şekilde kullanılabilmesini sağlamakta, çünkü moleküler yapıyı hedeflenen kullanım alanına göre şekillendirebilmekteyiz.

Sürekli polimerizasyonun etkinliği, kullanılan katalizörler ile daha da artırılabilmektedir. Metallocen katalizörleri, bu sürecin verimliliğini ve polimerin özelliklerini iyileştiren önemli bir unsurdur. Metallocenler, polimerizasyon reaksiyonunu daha hassas bir şekilde yönlendirme kapasitesine sahip olup, polipropilenin moleküler yapısını daha homojen hale getirmektedir. Bu, özellikle polimerin mekanik, kimyasal ve termal özelliklerinin optimize edilmesi gereken uygulamalarda büyük avantajlar sunmaktadır. Özellikle otomotiv, tıp ve diğer yüksek performans gerektiren sektörlerde, bu hassas yapı kontrolü, polipropilenin ürün kalitesini ve dayanıklılığını artırmaktadır (Yang ve diğ., 2020). Bu özellikler, malzemenin güvenlik, verimlilik ve uzun ömür gibi unsurları ön planda tutan uygulamalar için ideal hale gelmesini sağlamaktadır.

Polipropilenin performansını artırmak ve çeşitli çevresel etkilere karşı dayanıklılığını güçlendirmek amacıyla üretim sürecinde çeşitli katkı maddeleri kullanılmaktadır. Bu katkıları, polipropilenin fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirmek için kritik bir rol oynamakta ve genellikle malzemenin ömrünü uzatmayı hedeflemektedir. Özellikle, polipropilenin UV ışınlarına karşı direncini artırmak amacıyla kullanılan UV stabilizatörleri, malzemenin dış mekanlardaki dayanıklılığını önemli ölçüde

güçlendirmektedir. Zamanla güneş ışığına maruz kalma sonucu oluşan renk değişimi, çatlama ve yapısal bozulmalar gibi problemleri engellemeye yardımcı olan bu stabilizatörler, polipropilenin uzun süreli kullanımlarında güvenilirliğini artırmaktadır (Ganesan ve diğ, 2020). Bu sayede polipropilenin estetik ve fonksiyonel özellikleri, özellikle dış mekan uygulamalarında daha uzun süre korunmaktadır.

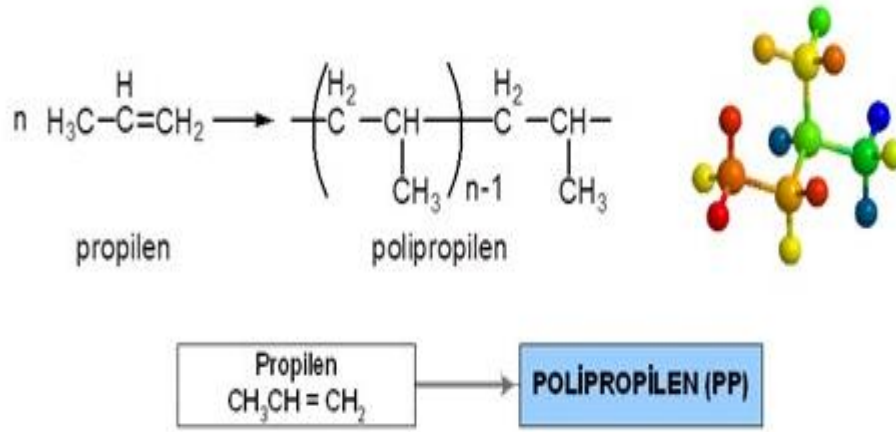
Bir diğer önemli katkı maddesi olan antioksidanlar, polipropilenin oksidasyona karşı direncini artırmaktadır. Bu maddeler, malzemenin yüksek sıcaklık ve nem gibi zorlu çevresel koşullarda daha az bozulmasına yardımcı olmaktadır. Oksidasyon, polipropilenin yapısını zayıflatan ve zamanla malzemenin mekanik özelliklerini olumsuz etkileyen bir süreçtir. Antioksidanlar, bu tür zararlara karşı koruyucu bir bariyer işlevi görerek, polipropilenin dayanıklılığını ve kullanım ömrünü artırmaktadır.

Bunun yanı sıra, polipropilenin yüzey özelliklerini geliştirmeye yönelik yapılan modifikasyonlar da önemli bir etkiye sahiptir. Polipropilen, doğal olarak düşük yüzey gerilimine sahip bir malzeme olduğundan, boyaların, yapıştırıcıların veya diğer kaplama malzemelerinin tutunmasını zorlaştırabilmektedir. Ancak, bu yüzey gerilimi artırıcı modifikasyonlarla, polipropilenin yüzeyi daha uygun hale getirilebilmektedir. Bu iyileştirmeler, boyaların ve kaplamaların yüzeye daha sağlam bir şekilde tutunmasını sağlar ve polipropilenin kullanım alanını genişletmektedir. Özellikle otomotiv, inşaat ve ambalaj sektörlerinde, yüzey modifikasyonları sayesinde polipropilen daha verimli kullanılabilir hale gelmektedir (Zhao ve diğ, 2019). Bu tür modifikasyonlar, malzemenin işlevselliğini artırırken, onun estetik ve yapısal özelliklerini de iyileştirmektedir.

2.2 Polipropilenin Üretimi

Polipropilen, genellikle propilen monomerlerinin polimerizasyonu ile elde edilen ve çok çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanılan bir termoplastik polimerdir. Bu polimerin üretimi için başvurulan iki temel yöntem, kaynar yatak polimerizasyonu ve sürekli polimerizasyon, her biri kendi avantajlarına sahip olan üretim teknikleridir. Kaynar yatak polimerizasyonu, yüksek sıcaklık ve basınç altında gerçekleşen hızlı bir süreçtir ve bu hız, polimerizasyonun etkinliğini artırırken, aynı zamanda yüksek kristallik oranına sahip polipropilenlerin üretilmesini sağlamaktadır. Bu özellik, özellikle dayanıklı ve güçlü mekanik özelliklere sahip polipropilenlerin üretimi için

tercih edilmektedir. Sürekli polimerizasyon ise kesintisiz bir üretim süreci sunarak, homojen bir polimer yapısı elde edilmesini sağlar ve üretim maliyetlerini düşürmektedir.



Şekil 2.1: Polipropilen üretim şeması.

Kaynar yatak polimerizasyonu, polipropilenin üretimi için sıklıkla tercih edilen ve yüksek verimlilik sağlayan bir yöntemdir. Bu teknikte, propilen monomeri ve uygun katalizörler yüksek sıcaklık ve basınç altında reaksiyona girer, ve reaksiyon ortamı olarak kaynar yatak kullanılmaktadır. Bu ortam, polimer zincirlerinin hızla oluşmasını mümkün kılmaktadır. Kaynar yatak yöntemi, özellikle izotaktik polipropilen üretiminde yaygın olarak kullanılır çünkü bu yöntemle polipropilenin kristallik oranı artırılır, böylece malzemenin mekanik dayanımı güçlendirilmektedir (Tian ve diğ., 2018). İzotaktik yapının yüksek kristallik oranı, polipropilenin dayanıklılığını, sıcaklık dayanımını ve kimyasal direncini önemli ölçüde artırmaktadır.

Bu yöntem, büyük hacimlerde üretim yapılmasını sağlayarak endüstriyel üretimde zaman ve maliyet avantajı sunmaktadır. Üretim sürecinin hızlı olması, yüksek verimlilikle malzeme üretimini mümkün kılmaktadır. Bununla birlikte, kaynar yatak polimerizasyonunun bazı sınırlamaları da vardır. Özellikle yüksek enerji tüketimi, bu yöntemin en büyük zorluklarından biridir. Polimerizasyonun yüksek sıcaklık ve basınç altında yapılması, önemli ölçüde enerji tüketimini artırmaktadır. Ayrıca, polimerizasyon koşullarının dikkatlice kontrol edilmesi gerekmektedir. Sıcaklık, basınç ve katalizör miktarlarının doğru şekilde ayarlanması, son ürünün kalitesini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, bu sürecin verimli bir şekilde yönetilmesi için dikkatli bir denetim ve optimize edilmiş süreç yönetimi gereklidir.

Sürekli polimerizasyon, polipropilen üretiminde tercih edilen etkili ve verimli bir tekniktir. Bu süreçte, propilen monomerleri reaktöre sürekli bir şekilde beslenmekte ve polimerizasyon reaksiyonu kesintisiz olarak devam etmektedir. Sürekli akışla gerçekleşen bu reaksiyon, polipropilenin yapısal bütünlüğünü ve homojenliğini artırarak, daha dengeli bir malzeme elde edilmesini sağlamaktadır. Bu durum, özellikle kaliteli ürünlerin üretiminin ön planda olduğu endüstrilerde büyük avantaj sunar, çünkü ürünlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri daha öngörülebilir hale gelmektedir. Üretim maliyetlerinin de daha düşük tutulması, bu yöntemi ekonomik açıdan cazip kılmaktadır (Duan ve diğ, 2017).

Sürekli polimerizasyonun en önemli avantajlarından biri, polimerin moleküler yapısının daha hassas bir şekilde kontrol edilebilmesidir. Bu sayede, polipropilenin moleküler ağırlık dağılımı ve diğer önemli özellikleri üzerinde daha fazla kontrol sağlanabilmektedir. Bu tür hassas bir yapı kontrolü, polipropilenin performansını belirli uygulamalar için optimize etmeyi mümkün kılar ve malzemenin uygulama çeşitliliğini artırmaktadır. Özellikle, otomotiv ve tıbbi uygulamalar gibi yüksek kaliteli malzeme gereksinimlerinin olduğu sektörlerde bu yöntem tercih edilmektedir.

Sürekli polimerizasyonun etkinliği, kullanılan katalizör türleriyle de önemli ölçüde iyileştirilebilmektedir. Bu bağlamda, metallocen katalizörleri büyük bir rol oynar. Metallocen katalizörleri, polipropilen üretiminde daha hassas bir kontrol sağlamakta, çünkü bu katalizörler, polimer yapısının istenen şekilde şekillendirilmesine olanak tanımaktadır. Moleküler düzeyde sağlanan bu kontrol, polipropilenin kimyasal ve fiziksel özelliklerini belirli ihtiyaçlara göre optimize etmeyi mümkün kılmaktadır. Örneğin, malzemenin kristallik oranı, mekanik dayanımı ve sıcaklık dayanımı gibi özellikler metallocen katalizörleri sayesinde hassas bir şekilde ayarlanabilmektedir (Yang ve diğ, 2020). Bu özellik, polipropilenin daha geniş bir uygulama alanında kullanılabilirliğini artırmakta, çünkü farklı sektörler için özelleştirilmiş polimerler üretilmektedir.

Polipropilen, geniş kullanım alanları ve esnek üretim süreçleriyle dikkat çeken bir malzeme olmakta, performansını artırmak için çeşitli katkı maddeleriyle zenginleştirilebilmektedir. Bu katkı, malzemenin kimyasal, fiziksel ve estetik özelliklerini geliştirirken, onun çevresel etkilere karşı daha dirençli ve uzun ömürlü olmasını sağlamaktadır.

Özellikle UV stabilizatörleri, polipropilenin güneş ışığından kaynaklanan zararlı etkilerden korunmasına olanak tanımaktadır. Güneş ışığı, polimerin yapısında bozulmalara yol açarak malzemenin mekanik özelliklerini zayıflatabilmekte ve renk kaybına neden olabilmektedir. UV stabilizatörleri, bu tür ışınların malzeme üzerindeki etkilerini engelleyerek, polipropilenin dış mekanlarda daha dayanıklı ve estetik açıdan uzun süre işlevsel kalmasını sağlamaktadır (Ganesan ve diğ, 2020). Bu katkı, polipropilenin dayanıklılığını önemli ölçüde artırırken, malzemenin hem performansını hem de görsel kalitesini uzatmaktadır.

Benzer şekilde, antioksidanlar polipropilenin oksidasyona karşı direncini artırır. Oksidasyon, özellikle sıcaklık ve nem gibi zorlu çevresel koşullar altında polimerin bozulmasına ve özelliklerinde azalmaya yol açabilmektedir. Antioksidan katkıları, bu tür olumsuz etkileri önleyerek, polipropilenin ömrünü uzatır ve malzemenin genel kalitesinin korunmasına yardımcı olmaktadır. Bu, özellikle endüstriyel uygulamalarda, uzun süreli dayanıklılık ve güvenilirlik gerektiren durumlarda önemlidir.

Polipropilenin yüzey özelliklerini geliştirmek amacıyla yapılan modifikasyonlar da oldukça yaygındır. Polipropilenin doğal olarak düşük yüzey gerilimi, boyaların veya yapıştırıcıların malzemeye tutunmasını zorlaştırmaktadır. Ancak, yüzey modifikasyonları sayesinde bu durum aşılabilmekte ve malzemenin yapışma kapasitesi artırılabilir. Boyaların, yapıştırıcıların ve diğer kaplama malzemelerinin daha iyi tutunabilmesi, polipropilenin daha geniş bir yelpazede kullanılmasına olanak tanımaktadır. Bu tür iyileştirmeler, özellikle otomotiv, tekstil, ambalaj ve elektronik sektörlerinde polipropilenin daha verimli ve estetik açıdan daha çekici bir şekilde kullanılmasını sağlamaktadır (Zhao ve diğ, 2019).

Polipropilen, çeşitli endüstrilerde yaygın olarak kullanılan, çok yönlü ve dayanıklı bir termoplastik polimerdir. Hafifliği, yüksek mekanik dayanımı, kimyasal direnci ve yüksek sıcaklıklara karşı gösterdiği dayanıklılık gibi özellikleri, bu malzemeyi pek çok sektörde tercih edilen bir seçenek haline getirmektedir. Polipropilenin bu üstün özellikleri, onu otomotivden gıda ambalajlarına, tıbbi cihazlardan inşaat sektörüne kadar geniş bir kullanım yelpazesinde popüler kılmaktadır.

Otomotiv sektörü, polipropilenin en yoğun kullanıldığı alanlardan biridir. Bu malzeme, otomobillerde iç mekan bileşenlerinden dış yüzey elemanlarına kadar pek

çok farklı parçada tercih edilmektedir. Örneğin, tamponlar, kapı panelleri ve motor parçaları gibi öğeler, polipropilenin hafiflik ve dayanıklılık gibi özelliklerinden faydalanarak üretilmektedir. Polipropilenin hafifliği, araçların toplam ağırlığını azaltarak yakıt verimliliğini artırır ve çevresel etkileri azaltır. Ayrıca, sağlam yapısı sayesinde araçların mekanik dayanıklılığını artırır, bu da otomobillerin uzun ömürlü olmasını sağlamaktadır. Liu ve diğ., (2018) çalışmaları, polipropilenin otomotiv sektöründeki uygulamaları ve bu malzemenin sektörde daha verimli bir şekilde nasıl kullanılabileceğini ortaya koymaktadır. Bu çalışmalar, polipropilenin taşıma araçlarının verimliliği üzerinde sağladığı katkıyı ve çevre dostu özelliklerini de vurgulamaktadır.

Polipropilen, gıda ambalajlarında da geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu malzemenin şeffaflık ve kimyasal direnç gibi özellikleri, gıda ürünlerinin taze kalmasını sağlamada önemli bir rol oynamaktadır. Polipropilen, gıda ambalajlarında dış etkenlere karşı koruma sağlayarak, ürünlerin güvenli ve uzun süre taze kalmasını temin etmektedir. Aynı zamanda polipropilen, işlenmesi kolay ve düşük maliyetli bir malzeme olarak, ambalaj sektöründe daha ekonomik ve verimli bir çözüm sunmaktadır. Tian ve diğ., (2018) tarafından yapılan çalışma, polipropilenin gıda ambalajı endüstrisindeki verimli kullanımını ve bu malzemenin bu alandaki potansiyelini vurgulamaktadır. Bu çalışmalar, polipropilenin ambalaj sektöründeki çok yönlü kullanımına dair önemli veriler sunmaktadır.

Polipropilen, tekstil endüstrisinde de çok çeşitli kullanım alanlarına sahip bir malzemedir. Özellikle halı, yazlık giyim ve filtreleme malzemeleri gibi ürünlerde sıkça tercih edilmektedir. Polipropilenin güçlü, dayanıklı ve esnek yapısı, onu tekstil ürünlerinde cazip bir seçenek haline getirmektedir. Dayanıklılığı sayesinde uzun ömürlü kullanım sunarken, esnekliği ise rahatlık ve hareket özgürlüğü sağlamaktadır. Kim ve diğ., (2015)'nin araştırmaları, polipropilenin tekstil sektöründe giderek artan kullanımının, bu malzemenin pratik ve ekonomik avantajlarıyla doğrudan ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, hafifliği ve düşük nem emilimi gibi özellikleri, özellikle yazlık kıyafetlerde kullanımı için oldukça uygun kılmaktadır. Polipropilenin tekstil ürünlerinde sunduğu bu avantajlar, onu yalnızca işlevsel değil, aynı zamanda çevre dostu ve ekonomik bir malzeme olarak da öne çıkarmaktadır.

2.3 Polipropilenin Fiziksel Özellikleri

Polipropilenin fiziksel özelliklerinden biri olan kristallik oranı, polimerin mekanik ve termal özelliklerinin belirleyicisi olan en önemli faktörlerden biridir. Polipropilen genellikle yüksek derecede kristalin yapıya sahip bir polimer olarak tanımlanmaktadır. Bu kristalin yapı, polimerin moleküler düzeydeki düzenliliğinden kaynaklanır ve malzemenin sertliğini, dayanıklılığını ve erime noktasını artırarak onu daha güçlü kılmaktadır. Bununla birlikte, polipropilenin yapısında bulunan amorf bölgeler, malzemenin esneklik ve işlenebilirliğini önemli ölçüde iyileştirmektedir. Amorf bölgeler, özellikle işlenebilirliği artırarak, enjeksiyon kalıplama, ekstrüzyon ve film üretimi gibi şekillendirme süreçlerinde kritik rol oynamaktadır (Wu ve diğ, 2020).

Polipropilenin kristalin yapısı, genellikle izotaktik polipropilenden türetilmektedir. İzotaktik yapı, düzenli bir metil grubu dizilimi sunar ve bu da malzemenin mekanik özelliklerini güçlendirerek erime noktasını yükseltmektedir. Bu tür yapı, özellikle yüksek mukavemet gerektiren uygulamalar için önemli bir avantaj sağlamaktadır. Ancak, bu polimerdeki amorf yapılar da göz ardı edilmemelidir. Amorf bölgeler, polipropilenin esnekliğini artırırken, aynı zamanda darbe dayanımını ve işlenebilirliğini iyileştirmekte, böylece malzemenin uygulama alanını genişletmektedir (Bennett ve diğ, 2020).

Polipropilenin mekanik özellikleri de oldukça dikkat çekicidir. Özellikle yüksek çekme dayanımı, gerilme ve kopma uzaması gibi özellikleri ile bilinmektedir. Bu özellikler, polipropilenin yüksek mukavemetini ve dayanıklılığını göstermektedir. Yüksek kristallik oranı, polipropilenin çekme dayanımını artırırken, amorf bölgeler esneklik sağlamakta ve malzemenin darbe dayanımını yükseltmektedir. Bu kombinasyon, polipropilenin otomotiv, inşaat ve ambalaj sektörleri gibi dayanıklılık ve esneklik gerektiren alanlarda yaygın bir şekilde kullanılmasını sağlamaktadır (Zhang ve diğ, 2021). Özellikle otomotiv endüstrisinde, polipropilenin düşük ağırlığı ve yüksek mukavemeti, taşıma araçlarının verimliliğini artırmak için önemli avantajlar sunmaktadır.

Polipropilenin mekanik ve termal özellikleri, onu çeşitli endüstriyel uygulamalarda tercih edilen bir malzeme haline getiren temel faktörlerden biridir. Polipropilenin çekme dayanımı genellikle 30-40 MPa arasında değişmekte, bu da polimerin tipik kullanım koşulları altında sağlam ve dayanıklı olduğunu göstermektedir. Ancak bu

dayanım, malzemenin moleküler yapısına, özellikle kristalin yapısının yoğunluğuna ve kullanılan katkı maddelerinin türüne bağlı olarak değişebilmektedir. Katkı maddeleri, polipropilenin darbe dayanımını artırarak, malzemenin kırılma veya çatlama gibi yapısal hasarlara karşı dirençli olmasına yardımcı olabilmektedir (Sun ve diğ, 2021). Bu, özellikle zorlu çevre koşullarında, esneklik ve darbe dayanımının ön planda olduğu uygulamalarda polipropilenin avantajlarını artırmaktadır.

Polipropilenin termal özellikleri, onu birçok sıcaklıkla ilişkili uygulama için uygun hale getiren bir diğer önemli faktördür. Polipropilenin erime noktası yaklaşık 160°C civarındadır; ancak, kristalin yapının yoğunluğu ve yapılandırması bu sıcaklığın 170°C'ye kadar çıkmasına neden olabilmektedir. Bu sıcaklık aralığı, malzemenin otomotiv, inşaat ve elektronik sektörlerinde yüksek sıcaklık dayanımı gerektiren uygulamalarda kullanılmasına olanak tanımaktadır (Zhao ve diğ, 2022). Polipropilenin düşük termal genleşme katsayısı da, bu malzemenin sıcaklık değişimlerine karşı daha stabil kalmasını sağlamaktadır. Bu özellik, malzemenin sıcaklık değişimlerine karşı şekil değiştirmesini engellemekte ve yüksek sıcaklıkta çalışan endüstriyel ürünler için önemli bir avantaj sağlamaktadır (Wang ve diğ, 2020).

Optik özellikler açısından, polipropilenin doğal haliyle şeffaf olması, ambalaj endüstrisi gibi uygulamalar için önemli bir avantaj sunmaktadır. Ancak, doğal polipropilenin ışık geçirgenliği, özellikle düşük kristallik ve amorf bölgelerin varlığı nedeniyle değişebilmektedir. Düşük kristallik, ışığın malzeme içinden geçmesini engelleyerek, polipropilenin daha opak hale gelmesine yol açabilmektedir. Bu özellik, belirli ambalaj uygulamaları için istenilen görsel efektleri elde etme amacıyla kullanılabilir (Bennett ve diğ, 2020). Polipropilenin yüzey özellikleri, ışığın yansımalarıyla doğrudan ilişkilidir ve bu da malzemenin estetik özelliklerinin özelleştirilmesine olanak tanımaktadır. Yüzey modifikasyonları, polipropilenin görsel etkisini değiştirebilir ve malzemenin çeşitli uygulamalara uyum sağlamasını kolaylaştırmaktadır. Örneğin, yüzey pürüzlendirmeleri, malzemenin ışık yansımalarını değiştirerek farklı görsel efektler elde edilmesine imkan vermektedir (Lee ve diğ, 2022).

Polipropilen, suya karşı olağanüstü direnç gösteren bir malzemedir ve bu özelliği onu suya maruz kalan birçok endüstriyel uygulamada tercih edilen bir seçenek haline getirmektedir. Polipropilenin su emilimi son derece düşüktür, yalnızca %0.03 civarında bir değer göstermektedir. Bu düşük su emilimi, malzemenin dış etkenlere

karşı uzun süre dayanıklılığını korumasını sağlamaktadır, bu nedenle polipropilen, gıda ambalajı, su geçirmez örtüler ve dış mekan ürünleri gibi suya dayanıklılık gerektiren uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Zhang ve diğ, 2021). Polipropilenin nem tutma oranı da oldukça düşüktür, bu da malzemenin uzun süre boyunca fiziksel ve kimyasal özelliklerini bozmadan sağlam kalmasına yardımcı olmaktadır.

Bunun yanı sıra, polipropilenin aşınma ve yıpranma dayanımı da önemli bir özelliktir. Bu özellik, polipropilenin düşük yüzey sürtünme katsayısından kaynaklanmaktadır. Düşük sürtünme, malzemenin aşındırıcı etkilere karşı daha dirençli olmasını sağlamakta ve bu, makina parçaları, yataklar ve sıvı taşıyan boru sistemleri gibi uygulamalarda özellikle büyük avantajlar sunmaktadır. Polipropilenin yüzey modifikasyonu ve çeşitli katkı maddeleri ile güçlendirilmesi, malzemenin aşınmaya karşı daha da dayanıklı hale gelmesine olanak tanımaktadır (Wu ve diğ, 2020).

2.4 Polipropilenin Kimyasal Özellikleri

Polipropilen (PP), propilen monomerlerinin polimerizasyonu ile üretilen, yaygın olarak kullanılan bir termoplastik polimerdir. Her bir propilen monomeri, bir karbon atomuna bağlı iki hidrojen atomu ve bir metil grubu ($-CH_3$) içerir, bu da ona özgün yapısını ve özelliklerini kazandıran temel bileşenleri oluşturmaktadır. Polipropilenin yapısı genellikle izotaktik formda düzenlenir; burada polimer zincirleri düzenli bir şekilde dizilmektedir. Bu düzenlilik, polipropilenin yüksek kristallik oranına sahip olmasını sağlar ve malzemeye mükemmel mekanik dayanıklılık ile kimyasal direnç kazandırmaktadır (Zhao ve diğ, 2021). İzotaktik yapı, polipropilenin dayanımını artırırken, aynı zamanda çevresel faktörlere karşı direncini güçlendirir ve uzun süreli kullanımda üstün performans sergilemesini sağlamaktadır.

Ancak polipropilenin yalnızca izotaktik yapısı bulunmaz; aynı zamanda ataktik yapılar da mevcuttur. Ataktik yapı, polimer zincirlerinin düzensiz bir şekilde sıralanmasına yol açmakta ve bu durum, malzemenin amorf özellikler göstermesine neden olmaktadır. Bu tür bir yapı, polipropilenin esneklik kazandırırken, aynı zamanda erime noktasını düşürmekte ve bu da onu belirli uygulamalar için daha uygun hale getirmektedir (Xie ve diğ, 2020). Örneğin, ataktik polipropilen daha düşük erime sıcaklıklarına sahiptir, bu da bazı işleme yöntemlerinde (örneğin, enjeksiyon kalıplama) avantaj sağlamaktadır.

Polipropilenin kimyasal dayanıklılığı, onu endüstriyel uygulamalarda çok değerli bir malzeme yapmaktadır. Polipropilen, birçok kimyasal maddeye, özellikle alkali çözeltiler, asidik çözeltiler, su ve organik çözücüler gibi maddelere karşı olağanüstü direnç göstermektedir. Bu dayanıklılığın temel nedeni, polipropilenin karbon-hidrojen bağlarının güçlü ve stabil yapısında yatmaktadır. Polipropilenin kimyasal çevrelerdeki kararlılığı, onu petrokimya, kimya endüstrisi ve benzeri alanlarda çok yaygın bir kullanım malzemesi yapmaktadır. Özellikle alifatik hidrokarbonlar, alkoller ve bazı organik asitler gibi maddelerle reaksiyona girmemesi, polipropilenin boru hatları, kaplamakta ve koruyucu kaplamalar gibi uygulamalarda kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Bu özellikler, polipropilenin çeşitli zorlu endüstriyel koşullarda güvenli ve etkin bir şekilde kullanılmasına olanak tanımaktadır (Li ve diğ, 2022).

Polipropilen, kimyasal dayanıklılığı ile bilinen bir malzeme olmakla birlikte, bazı özel koşullarda sınırlı direnç gösterdiği kimyasal maddeler bulunmaktadır. Özellikle, yüksek sıcaklıklarda bazı halojenli bileşiklerle reaksiyona girebilmesi, bu malzemenin kimyasal çevrelerdeki performansını sınırlayabilir. Bununla birlikte, polipropilenin genel olarak alkali çözeltiler, asidik ortamlar ve çoğu solvent karşısında gösterdiği direnç, malzemenin geniş bir endüstriyel yelpazede tercih edilmesini sağlamaktadır (Zhang ve diğ, 2021). Bu özellik, polipropilenin boru hatları, kaplar ve koruyucu kaplamalar gibi uygulamalarda güvenle kullanılabilmesine olanak tanımaktadır.

Bununla birlikte, polipropilen çevresel faktörlere karşı da duyarlıdır. Özellikle oksidasyon, polipropilenin uzun vadeli performansını olumsuz etkileyebilmektedir. Malzemenin UV ışınlarına karşı gösterdiği hassasiyet, polipropilenin güneş ışığına doğrudan maruz kaldığı dış mekan uygulamalarında önemli bir sorun teşkil etmektedir. UV ışınları, polipropilenin kimyasal yapısını bozarak polimer zincirlerini kırar ve bu da malzemenin mekanik özelliklerinin zamanla zayıflamasına yol açmaktadır. Sonuç olarak, malzeme sertleşmekte ve çatlamaya meyilli hale gelmektedir (Kim ve diğ, 2020).

Bu zayıflamanın önüne geçebilmek için, UV stabilizatörlerinin kullanımı oldukça etkilidir. UV stabilizatörleri, polipropilenin kimyasal yapısındaki bağları güçlendirerek, malzemenin uzun ömürlü olmasını sağlar ve UV ışınlarının yol açacağı hasarları önemli ölçüde azaltmaktadır (Liu ve diğ, 2021). Ayrıca, polipropilenin oksidasyona karşı daha dayanıklı hale gelmesi amacıyla kullanılan antioksidanlar, malzemenin termal stabilitesini artırmaktadır. Bu stabilizatörler, polipropilenin ısı

işlem sırasında maruz kaldığı oksidasyonu engelleyerek, malzemenin uzun vadeli performansını iyileştirir ve dayanıklılığını artırmaktadır (Lee ve diğ, 2021).

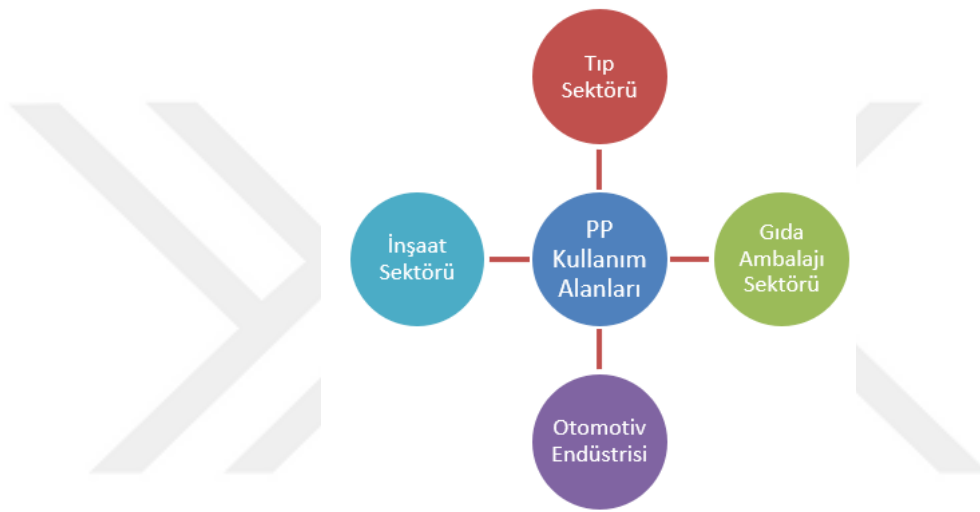
Polipropilenin alev alma özellikleri, bu malzemenin yapısal özelliklerinden kaynaklanan önemli bir özelliktir. Polipropilen, yapısı itibarıyla genellikle yanıcı olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte, alev geciktiriciler kullanılarak bu özellik üzerinde önemli iyileştirmeler yapılabilmektedir. Alev geciktiriciler, polipropilenin kimyasal bağ yapısını etkileyerek, özellikle karbon-hidrojen bağlarını zayıflatmakta ve malzemenin tutuşma sıcaklığını artırmaktadır. Bu işlem, polipropilenin yangına karşı daha dayanıklı hale gelmesini sağlamaktadır. Alev geciktiricilerin kullanımı, özellikle otomotiv, inşaat ve elektronik sektörlerinde oldukça yaygındır ve bu endüstrilerde güvenlik gereksinimlerini karşılamak adına önemli bir rol oynamaktadır (Chen ve diğ, 2020).

Bununla birlikte, polipropilen genellikle kimyasal etkilere karşı oldukça dayanıklı bir malzeme olarak kabul edilse de, belirli koşullarda kimyasal reaksiyonlar gerçekleşebilmektedir. Özellikle yüksek sıcaklık, basınç ve belirli kimyasal ortamlar, polipropilenin kimyasal yapısını bozarak polimerizasyonun bozulmasına veya polimer zincirlerinin kırılmasına yol açabilmektedir. Polipropilenin, yüksek sıcaklıklarda oksijenle reaksiyona girerek oksidasyon tepkimeleri başlatması, malzemenin kimyasal yapısında bozulmalara yol açabilmektedir (Zhao ve diğ, 2020). Ancak, polipropilenin çoğu endüstriyel uygulama koşulunda kimyasal stabilitesini korur ve uzun ömürlü performans sergilemektedir.

Polipropilenin kimyasal özellikleri, çeşitli modifikasyonlarla daha da geliştirilebilmektedir. Bu modifikasyonlar, genellikle polipropilenin reaktivitesini artırmak ve belirli uygulamalar için gerekli özellikleri elde etmek amacıyla yapılmaktadır. Örneğin, polipropilenin yüzey özelliklerini değiştirmek için kullanılan radikal polimerizasyon ve ko-polimerizasyon gibi teknikler, malzemenin kimyasal stabilitesini artırabilmektedir. Bu tür işlemler, polipropilenin dayanıklılığını pekiştirirken, yeni uygulama alanlarının da önünü açmaktadır. Yüzey modifikasyonları, polipropilenin yapışma, boyama ve diğer yüzey işlemlerine karşı duyarlılığını iyileştirirken, malzemenin geniş bir sektörde daha verimli kullanılmasına olanak tanımaktadır (Gao ve diğ, 2021).

2.5 Polipropilenin Kullanım Alanları

Polipropilen (PP), özellikleri bakımından birçok endüstri alanında yaygın olarak kullanılan ve ekonomik açıdan verimli bir malzemedir. Bu termoplastik, düşük maliyetinin yanı sıra dayanıklılığı, kimyasal dirençleri ve kolay işlenebilme özellikleriyle öne çıkmaktadır. Sonuç olarak, otomotivden inşaata, gıda ambalajından tıbbi cihazlara kadar çok geniş bir uygulama yelpazesinde tercih edilmektedir. Bu malzemenin farklı sektörlerdeki kullanım potansiyeli, bilimsel araştırmalarla sürekli olarak gelişen ve çeşitlenen bir alan oluşturmuştur (Ateş ve diğ, 2022).



Şekil 2.2: Polipropilenin kullanım alanları.

Polipropilen (PP), özellikleri bakımından birçok endüstri alanında yaygın olarak kullanılan ve ekonomik açıdan verimli bir malzemedir. Bu termoplastik, düşük maliyetinin yanı sıra dayanıklılığı, kimyasal dirençleri ve kolay işlenebilme özellikleriyle öne çıkmaktadır. Sonuç olarak, otomotivden inşaata, gıda ambalajından tıbbi cihazlara kadar çok geniş bir uygulama yelpazesinde tercih edilmektedir. Bu malzemenin farklı sektörlerdeki kullanım potansiyeli, bilimsel araştırmalarla sürekli olarak gelişen ve çeşitlenen bir alan oluşturmuştur (Ateş ve diğ, 2022).

Otomotiv endüstrisi, polipropilenin en yaygın kullanıldığı sektörlerden biridir. Bu malzeme, otomobil iç mekan bileşenlerinin üretiminde sıklıkla tercih edilmektedir. İç mekan uygulamaları, tamponlar, kapı panelleri ve motor parçaları gibi alanlarda PP'nin hafifliği, dayanıklılığı ve uygun maliyeti önemli avantajlar sağlamaktadır. Ayrıca, polipropilenin şekillendirme esnekliği ve yüksek darbe direnci, bu malzemenin otomotiv sektöründe daha fazla kullanılmasının başlıca sebeplerindendir.

Araştırmalar, PP'nin otomobil sektörendeki kullanımının, araçların yakıt verimliliği üzerindeki olumlu etkilerini de ortaya koymaktadır. Bu durum, malzemenin sürdürülebilirlik açısından da büyük bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir (Ağırgan, 2023).

İnşaat sektöründe de polipropilenin geniş bir kullanım alanı bulunmaktadır. Bu malzeme, su yalıtımı, boru hatları, zemin kaplamaları ve yalıtım panelleri gibi çeşitli yapı ürünlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. PP'nin suya ve kimyasallara karşı gösterdiği direnç, onu inşaatta uzun ömürlü ve güvenilir bir malzeme haline getirmektedir. Ayrıca, düşük ısı iletkenliği ve hafif yapısı, montaj işlemlerini hızlandırmakta ve taşıma maliyetlerini azaltmaktadır. Bu özellikler, inşaatta sektöründeki polipropilen kullanımını daha cazip kılmakta ve sektördeki popülaritesinin artmasına neden olmaktadır (Thiel ve diğ, 2024).

Gıda ambalajı endüstrisinde polipropilenin rolü de büyüktür. Gıda ürünlerinin güvenli bir şekilde depolanmasını sağlayan PP, dayanıklılığı ve hijyenik özellikleri sayesinde sektörde yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu malzemenin kimyasal direnci, su geçirmezliği ve mekanik dayanıklılığı, gıda ürünlerinin taze kalmasını ve uzun raf ömrü sağlamasını mümkün kılmaktadır. Bunun yanı sıra, geri dönüştürülebilir olması, çevre dostu bir seçenek sunarak daha sürdürülebilir ambalaj çözümleri sağlamaktadır (Kılınç ve diğ, 2017). Polipropilen bazlı gıda ambalajları, gıda güvenliği ve hijyen standartlarına tam uyum sağlayarak sektördeki yaygınlığını artırmaktadır.

Tıbbi sektörde de polipropilenin önemli bir yeri vardır. PP, biyouyumlu özelliği sayesinde tıbbi cihazlar ve implantların üretiminde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu malzemenin sterilize edilebilirliği ve kimyasal dayanıklılığı, tıbbi ürünlerin güvenliği ve uzun ömürlü olmasını sağlamaktadır. Ayrıca, tıbbi sektörün yüksek standartlarını karşılayan PP, medikal ürünlerin üretiminde vazgeçilmez bir malzeme haline gelmektedir (Yakıncı ve Çırak, 2020). Polipropilen, farklı sektörlerde geniş bir uygulama yelpazesi sunan, yüksek performanslı ve çevre dostu bir malzemedir. Bu malzemenin özellikleri, her geçen gün yeni kullanım alanlarına olanak sağlamaktadır. Araştırmalar, polipropilenin daha fazla sektörde kullanımı için yeni üretim tekniklerinin ve iyileştirilmiş özelliklerinin geliştirilmesini teşvik etmektedir. Bu sayede, polipropilen, endüstriyel ve tüketici ürünlerinin üretiminde önemli bir malzeme olarak yerini sağlamlaştırmaktadır.

2.6 UV Stabilizatörü Katkılı Polipropilenin Özellikleri ve Kullanım Alanları

Polipropilen (PP), yüksek dayanıklılığı ve uygun maliyeti ile endüstriyel kullanımda yaygın olarak tercih edilen bir termoplastik malzemedir. Ancak, doğal çevresel koşullar altında özellikle UV ışınları gibi dışsal etmenlere maruz kaldığında, polipropilenin fiziksel özellikleri zarar görebilmektedir. UV ışınları, malzemenin kimyasal yapısını bozar ve bunun sonucunda mekanik dayanım kaybı, renk solması ve yüzeyde çatlamlar gibi olumsuz etkiler ortaya çıkabilmektedir. Bu sorunların önüne geçebilmek için polipropilenin UV ışınlarına karşı dayanıklılığını artıracak katkı maddelerinin kullanılması büyük bir önem taşımaktadır (Üzümcü ve diğ., 2020).

UV stabilizatörü katkısı, polipropilenin yüzey özelliklerini iyileştirerek malzemenin UV ışınlarına karşı daha dirençli hale gelmesini sağlamaktadır. UV stabilizatörleri, bu amaca hizmet eden kimyasal bileşiklerdir ve polipropilenin yüzeyine entegre edildiklerinde fotostabiliteyi artırarak malzemenin bozulmasına engel olmaktadır. Bu katkı, UV ışınlarının polipropilenin moleküler yapısını tahrip eden etkilerini nötralize etmekte ve böylece malzemenin ömrünü uzatmaktadır. Ayrıca, UV stabilizatörü katkılı polipropilenin yüzey gerilimi, bu katkının etkisiyle değişmekte, çünkü UV stabilizatörleri yüzey enerjisini arttırarak boyaların ve kaplamaların polipropilen yüzeyine daha güçlü bir şekilde tutunmasına olanak tanımaktadır (Yılmaz, 2022; Sancaktar ve Sunthonpagasit, 2004).

UV stabilizatörü katkısının polipropilenin fiziksel ve kimyasal özelliklerini değiştirme potansiyeli vardır, ancak doğru türde ve oranda katkı kullanıldığında bu değişiklikler genellikle olumlu sonuçlar doğurmaktadır. UV stabilizatörü katkı maddelerinin polipropilen yüzeyine eklenmesi, yüzey gerilimini arttırarak boya tutma kapasitesinin iyileştirilmesine yardımcı olabilmektedir. Ancak, kullanılan UV stabilizatörlerinin türü ve miktarı, polipropilenin son ürünlerinin performansını doğrudan etkileyen faktörlerdir. Dolayısıyla, bu katkı maddelerinin doğru bir şekilde seçilmesi ve uygulanması gereklidir (Brostow ve diğ., 2020). UV stabilizatörü katkıları, polipropilenin çevresel etkilere karşı daha dayanıklı hale gelmesine ve mekanik özelliklerinin korunmasına yardımcı olmaktadır. UV stabilizatörleri ile polipropilenin uzun ömürlü ve fonksiyonel kullanımı mümkün kılınabilmektedir. Bu da polipropilenin otomotiv, inşaat ve ambalaj gibi endüstriyel alanlarda daha geniş bir kullanım alanı bulmasına olanak sağlamaktadır.

2.7 UV Stabilizatörü Katlılı Polipropilenin Çeşitleri

Polipropilen (PP), endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılan bir termoplastik polimer olup, UV ışınlarının olumsuz etkileri nedeniyle zamanla mekanik özelliklerinde bozulmalar yaşayabilmektedir. UV ışınları, polipropilenin kimyasal yapısını zayıflatabilir ve moleküler bağlarda kırılmalar meydana getirebilir, bu da malzemenin dayanıklılığını kaybetmesine neden olabilmektedir. Bu sorunları minimize etmek ve polipropilenin performansını artırmak için UV stabilizatörleri kullanımı önemli bir çözümdür. UV stabilizatörü katkıları, malzemenin yüzey özelliklerini iyileştirerek, polipropilenin UV ışınlarına karşı daha dayanıklı hale gelmesini sağlamaktadır. Böylece, malzemenin ömrü uzar ve estetik kayıplar engellenmektedir (Brostow ve diğ, 2020).

UV stabilizatörü katkı maddelerinin etkinliği, kullanılan stabilizatörlerin türüne ve konsantrasyonuna bağlı olarak değişmektedir. Örneğin, benzotriazol türevleri ve benzofenonlar gibi UV stabilizatörleri, polipropilenin yüzeyine entegre edilerek UV ışınlarının olumsuz etkilerini nötralize etmektedir. Bu tür stabilizatörler, fotokimyasal bozunmayı engelleyerek polipropilenin kimyasal yapısının korunmasına yardımcı olmaktadır. Ayrıca, bu katkı maddeleri polipropilenin renk bozulmalarını önleyerek malzemenin dış mekan koşullarına daha dayanıklı hale gelmesini sağlamaktadır (Çetinel, 2000). Hindered Amine Light Stabilizers (HALS) gibi stabilizatörler de, özellikle UV ışınlarına karşı oldukça etkilidir ve polipropilenin uzun ömürlü olmasını sağlamaktadır (Altuğ ve Yılmaz, 2023).

UV stabilizatörü katlılı polipropilenin çeşitleri, kullanılan stabilizatörlerin farklı kombinasyonları ile şekillenmektedir. Her stabilizatör türü, polipropilenin mekanik özelliklerini ve çevresel dayanıklılığını geliştirmek için farklı mekanizmalarla çalışmaktadır. Örneğin, HALS türleri, UV ışınlarının etkisini engelleyerek polipropilenin daha az kırılmasını sağlar, bu da uzun süreli dış mekan kullanımında büyük avantajlar sunmaktadır. Stabilizatörlerin doğru şekilde seçilmesi, malzemenin hem estetik hem de performans açısından istenilen sonuçları almasını sağlayarak, polipropilenin çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanımını daha verimli hale getirmektedir (Çetinel, 2000). Bu katkılar, polipropilenin geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılmasına olanak tanımaktadır. Özellikle otomotiv, inşaat, ambalaj ve dış mekan uygulamaları gibi sektörlerde UV stabilizatörleri ile güçlendirilmiş

polipropilen, çevresel faktörlere karşı daha dirençli hale gelmektedir. UV stabilizatörü katkısının sağladığı dayanıklılık, polipropilenin dayanıklı kaplama çözümleri sunmasına, daha uzun ömürlü olmasına ve böylece işletmeler için maliyet tasarrufu sağlamasına olanak tanımaktadır. Sonuç olarak, UV stabilizatörü katkısının polipropilenin mekanik ve kimyasal özelliklerini iyileştirerek, malzemenin performansını optimize etmesi, endüstriyel kullanımda büyük bir avantaj sağlamaktadır.

UV ışınlarıyla yapılan polipropilen modifikasyonları, malzemenin dayanıklılığını artırarak çeşitli endüstriyel uygulamalar için uygun hale getirmektedir. Polipropilenin doğal olarak düşük yüzey gerilimine sahip olması, mürekkep, yapıştırıcı ve boya gibi sıvıların bu yüzeyle etkin bir şekilde etkileşime girmesini zorlaştırmaktadır. Ancak UV ışınları ile yüzey modifikasyonu, bu durumu önemli ölçüde iyileştirmektedir. UV ışınları, polipropilen yüzeyindeki kimyasal bağları parçalayarak, yeni polar grupların oluşmasına zemin hazırlamaktadır. Bu yeni gruplar, yüzeyin daha reaktif hale gelmesini sağlamakta, böylece mürekkep, yapıştırıcı ve boyaların yüzeye tutunma kapasitesi artmaktadır. UV ışınları, malzemenin yüzey özelliklerini değiştirerek yapışma ve tutunma gücünü önemli ölçüde artırmaktadır (Santos ve diğ, 2007; Zhu ve diğ, 2010).

UV ışınları ile modifiye edilmiş polipropilen, çeşitli uygulamalarda üstün performans göstermektedir. Bu türler, özellikle UV ışınlarına karşı dirençli hale getirilerek otomotiv sektöründe dış yüzeylerde kullanılmakta, böylece malzeme UV ışınlarından kaynaklanabilecek bozulmalara karşı korunmaktadır. Ayrıca, ambalaj sektöründe de UV ışınları ile modifiye edilen polipropilenler estetik ve fonksiyonel avantajlar sunmaktadır. UV ışınları ile yapılan yüzey modifikasyonları, malzemenin kimyasal özelliklerini iyileştirirken, mekanik dayanıklılığını da artırmakta ve böylece polipropilenin uzun ömürlü olmasını sağlamaktadır (Aydemir ve diğ, 2020).

Ayrıca, UV ışınlarıyla yapılan modifikasyonlar, polipropilenin kristalin yapısını değiştirebilmekte ve bu süreç, malzemenin amorf hale gelmesine neden olabilmektedir. Amorf yapı, polipropilenin yüzey gerilimini artırır ve dolayısıyla boyaların ve mürekkeplerin tutunmasını kolaylaştırmaktadır. Bu tür yapısal değişiklikler, UV ışınları ile modifiye edilmiş polipropilenin özellikle dış mekan uygulamalarında tercih edilmesini sağlamaktadır. Çünkü UV ışınlarına maruz kalan

yüzeylerin, daha reaktif hale gelmesi, polipropilenin daha iyi bir yapışma kapasitesine sahip olmasına katkı sağlamaktadır (Bamane ve Jagtap, 2023).

2.8 Polipropilen İçin Kullanılan UV Stabilizatörü Katkıları ve Rolü

Polipropilen (PP), düşük maliyeti ve üstün dayanıklılığı nedeniyle sanayi dünyasında yaygın bir şekilde kullanılan bir malzemedir. Ancak, UV ışınları polipropilenin yapısal bütünlüğünü olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Uzun süreli UV ışınına maruz kalma, polipropilenin kimyasal yapısında bozulmalara ve mekanik özelliklerinde azalmaya yol açmaktadır. UV ışınları, polipropilenin moleküler yapısındaki karbon-karbon bağlarını kırarak, malzemenin bozulmasına neden olur ve bu durum malzemenin estetik ve fonksiyonel özelliklerini bozmaktadır. Bu olumsuz etkiyi engellemek için UV stabilizatörleri ve katkı maddeleri kullanılmaktadır (Brostow ve diğ, 2020).

UV stabilizatörü katkı maddelerinin temel amacı, polipropilenin UV ışınlarına karşı daha dayanıklı hale gelmesini sağlamaktır. UV stabilizatörleri, polipropilenin yüzeyine entegre edilerek UV ışınlarının malzeme ile etkileşimini sınırlar ve malzemenin kimyasal yapısının bozulmasını engellemektedir. Benzotriazol türevleri, benzofenonlar ve özellikle hindered amine light stabilizers (HALS) gibi katkı maddeleri, UV ışınlarının etkisini engellemek ve malzemenin dayanıklılığını artırmak amacıyla sıklıkla tercih edilmektedir. Bu katkı, polipropilenin kimyasal ve fiziksel yapısını iyileştirerek, dış etmenlere karşı daha dirençli olmasını sağlamaktadır (Sancaktar ve Sunthonpagasit, 2004).

UV stabilizatörleri, polipropilenin UV ışınlarına karşı direncini artırmak için yaygın olarak kullanılan katkı maddelerindendir. Bu stabilizatörler, UV ışınlarının polimer üzerinde yarattığı zararı engeller ve polipropilenin ömrünü uzatmaktadır. UV stabilizatörleri iki ana grupta sınıflandırılabilir: UV absorbentleri ve UV ışığı dağıtan maddeler. UV absorbentleri, UV ışınlarını emerek bu ışınları zararsız hale getirir, böylece malzemenin yüzeyine zarar gelmesini önlemektedir. Diğer yandan, UV ışığı dağıtan maddeler, ışınları yüzeyde daha homojen bir şekilde yayarak malzemenin korunmasına katkıda bulunmaktadır (Bamane ve Jagtap, 2023). Bu katkılar, polipropilenin UV ışınlarına karşı dayanıklılığını artırırken, yüzey modifikasyonunun etkinliğini de güçlendirmektedir.

Benzotriazol türevleri, UV ışınlarının enerjisini absorbe ederek malzemenin kimyasal yapısına zarar vermesini engellemektedir. Bu stabilizatörler, polipropilenin renginin değişmesini engelleyerek estetik özelliklerini korumaktadır (Demirtaş ve diğ, 2019). Benzofenonlar, fotokimyasal reaksiyonları önleyerek, polipropilenin yapısal bozulmalarını engellerken, HALS stabilizatörleri, UV ışınlarının polimer zincirlerinde kırılmalar oluşturmaya engel olarak polipropilenin mekanik dayanımını korumaktadır (Küçük ve diğ, 2018).

Bir başka önemli UV stabilizatörü katkısı ise fotoinisiyatörlerdir. Fotoinisiyatörler, UV ışınları ile aktive olarak kimyasal reaksiyonları başlatan bileşiklerdir. Polipropilenin yüzeyinde UV ışınlarıyla yapılan modifikasyonlar sırasında fotoinisiyatörler kullanılarak kimyasal bağlar kırılır ve yeni polar gruplar oluşmaktadır. Bu süreç, polipropilenin yüzey gerilimini yükseltir ve dolayısıyla boyaların veya mürekkeplerin yüzeye tutunma gücünü artırmaktadır (Zhu ve diğ, 2010).

UV ışınlarıyla yapılan modifikasyonlar sırasında doğru stabilizatörlerin seçimi oldukça önemlidir. Aksi takdirde, aşırı UV maruziyeti polipropilenin mekanik özelliklerinde kayıplara yol açabilmektedir. UV stabilizatörlerinin doğru şekilde kullanılması, malzemenin hem estetik hem de fonksiyonel açıdan performansını iyileştirirken, uzun süreli dayanıklılığını da sağlamaktadır. Bu nedenle, UV stabilizatörü katkısının seçimi ve kullanımı, polipropilenin kalitesini ve uzun ömürlülüğünü garanti altına almak için kritik bir faktördür (Santos ve diğ, 2007).

UV stabilizatörü katkısının polipropilenin mekanik özellikleri üzerindeki etkisi oldukça önemlidir. UV ışınları, polipropilenin yapısını zayıflatarak dayanıklılığını azaltabilmektedir. Ancak, doğru UV stabilizatörleri kullanılarak, malzemenin yapısal bütünlüğü korunabilmekte ve bu, özellikle otomotiv, inşaat ve dış mekan uygulamaları gibi alanlarda uzun süreli kullanım için gereklidir. UV stabilizatörü katkıları sayesinde, polipropilenin hem fiziksel hem de kimyasal dayanıklılığı artırılmakta ve malzemenin ömrü uzatılmaktadır (Dağlıoğlu ve Özkan Yılmaz, 2018). UV stabilizatörü katkısının polipropilen üzerindeki etkileri oldukça büyüktür. Bu katkı, malzemenin çevresel faktörlere karşı dayanıklılığını artırarak, polipropilenin daha uzun süreli kullanımını sağlamaktadır. UV stabilizatörü katkısı, sadece mekanik özellikleri güçlendirmekle kalmaz, aynı zamanda estetik özelliklerin korunmasına da yardımcı olmaktadır. Polipropilenin UV stabilizatörleriyle güçlendirilmesi,

malzemenin daha dayanıklı hale gelmesini sağlayarak, endüstriyel ve ticari uygulamalarda geniş bir kullanım alanı yaratmaktadır.

2.9 Literatür Çalışmaları

Polipropilen (PP), geniş endüstriyel kullanım alanları ve ekonomik maliyeti nedeniyle oldukça tercih edilen bir termoplastik malzeme olmaktadır. Bununla birlikte, UV ışınlarının etkisi altında, polipropilen zamanla kimyasal ve mekanik olarak bozulabilmekte, bu da malzemenin estetik ve fonksiyonel özelliklerini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu durumu önlemek amacıyla, polipropilenin UV ışınlarına karşı dayanıklılığını artırmak için çeşitli UV stabilizatörleri ve katkı maddeleri kullanımı, polimerin performansını önemli ölçüde iyileştirebilmektedir (Brostow ve diğ., 2020).

Polipropilenin UV ışınlarına karşı daha dirençli hale gelmesi için, özellikle fotostabiliteyi artıran kimyasal katkıları kullanılmaktadır. UV stabilizatörleri, malzemenin kimyasal yapısını koruyarak UV ışınlarının olumsuz etkilerini en aza indirmektedir. Bu katkı maddeleri, polipropilenin yüzey gerilimini artırarak, boyaların daha iyi tutunmasını sağlamaktadır. Benzotriazol türevleri, benzofenonlar ve engellenmiş amin ışık stabilizatörleri (HALS) gibi stabilizatörler, polipropilenin dış etmenlere karşı dirençli hale gelmesinde en yaygın kullanılan maddeler arasında yer almaktadır (Küçük ve diğ., 2018). Bu stabilizatörlerin malzemeye entegre edilmesi, polipropilenin estetik özelliklerini ve mekanik yapısını uzun süre korumasını sağlamaktadır.

UV stabilizatörü katkılarının polipropilenin yüzey gerilimini artırmak sureti ile boyaların ve kaplamaların malzeme yüzeyine daha iyi tutunmasına yardımcı olması, özellikle otomotiv sektörü ve dış mekan uygulamaları gibi alanlarda büyük önem taşımaktadır. Söz konusu bu durum, polipropilenin daha uzun ömürlü ve estetik açıdan daha tutarlı kalmasını sağlamaktadır (Ulutaş ve Taşdemir, 2023). Bunların yanı sıra, UV stabilizatörü katkı maddelerinin etkisiyle, polipropilenin kimyasal ve fiziksel yapısı optimize edilerek, malzemenin dayanıklılığı önemli ölçüde artırılmaktadır (Paslı, 2022).

Ayrıca, UV ışınlarının polipropilen üzerinde oluşturduğu renk solmasını engellemek de UV stabilizatörlerinin sağladığı önemli bir avantaj olmaktadır. Polipropilen, UV ışınlarına uzun süre maruz kaldığında renk değişimleri ve estetik kayıplar

yaşayabilmektedir. Bunun yanı sıra, UV stabilizatörleri bu olumsuz etkileri minimize eder ve malzemenin estetik özelliklerini korumaktadır (Düzyer, 2019). Bu şekilde, polipropilenin uzun süreli dış mekan kullanımı daha verimli hale gelmekte ve malzemenin ömrü uzamaktadır. Zhu ve diğ., (2010) ise UV ışınlarının polipropilen yüzeyindeki etkilerini incelediğinde; bu ışınların malzemenin ink-adhesion özelliklerini iyileştirdiğini ve polipropilenin yüzey pürüzlülüğünü artırarak daha güçlü bir yapışma sağladığını ortaya koymuşlardır. UV ışınlarının, yüzeydeki kimyasal bağları kırarak yeni polar grupların oluşmasına neden olduğu ve bu sayede yüzey geriliminin yükseldiği bu çalışmada belirtilmiştir. Bu mekanizma, özellikle polipropilenin boyalar ve mürekkeplerle uyumluluğunu artırmak açısından önemli bir faktördür.

Aydemir ve diğ., (2020) ise UV ışınlarının polipropilen yüzeylerinde yarattığı değişimleri daha kapsamlı bir şekilde ele almış ve bu ışınların yüzeyin kimyasal yapısını değiştirerek malzemenin yapışma özelliklerini iyileştirdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, UV stabilizatörü katkılarıyla polipropilenin mekanik özelliklerinin korunması ve malzemenin uzun süreli dayanıklılığının sağlanması vurgulanmıştır. Bu bulgular, UV modifikasyonlarının sadece yapışma özelliklerini iyileştirmekle kalmayıp, aynı zamanda polipropilenin uzun vadeli kullanım ömrünü de artırdığına işaret etmektedir.

Santos ve diğ., (2007), UV ışınlarıyla polipropilenin yüzeyinde yapılan modifikasyonların boya tutma kapasitesini artıran önemli mekanizmaları ortaya koymuşlardır. Bu araştırma içerisinde, UV ışınlarının polipropilenin yüzeyindeki oksidasyon seviyesini yükselterek, boyaların malzeme yüzeyine daha güçlü bir şekilde tutunmasını sağladığı vurgulanmıştır. Bu bulgu, UV ışınlarının polipropilen gibi düşük yüzey gerilimine sahip malzemelerin performansını artırmak için etkili bir modifikasyon yöntemi olduğunu göstermektedir.

Bamane ve Jagtap (2023), UV stabilizatörü katkılarının rolünü incelediğinde, özellikle UV stabilizatörlerinin polipropilenin UV ışınlarına karşı dirençli hale gelmesinde kritik bir öneme sahip olduğunu ifade etmişlerdir. Bu katkı maddelerinin, polipropilenin uzun süreli dayanıklılığını sağladığını ve malzemenin performansını sürekli olarak iyileştirdiğini vurgulamışlardır. Ayrıca, fotoinisiyatörlerin kullanımıyla, UV ışınları ile yüzeydeki kimyasal değişimlerin daha hızlı ve etkili bir şekilde

gerçekleştiği belirtilmiştir. Bu, polipropilenin boyaya tutunma kapasitesinin artırılmasında önemli bir faktör olarak öne çıkmaktadır.

Bu literatür çalışmaları, UV ışınlarının polipropilenin yüzey özelliklerini geliştirmedeki etkinliğini ve malzemenin performansını artırmadaki rolünü kapsamlı bir şekilde ortaya koymaktadır. UV ışınları ile yapılan yüzey modifikasyonları, polipropilenin özellikle otomotiv ve ambalaj gibi endüstrilerde daha verimli ve dayanıklı bir malzeme olarak kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Bu çalışmalar, UV ışınlarıyla yapılan modifikasyonların, malzemenin hem işlevsel özelliklerini iyileştirdiğini hem de ekonomik açıdan daha sürdürülebilir çözümler sunduğunu göstermektedir.

Tüm bu açıklamalar ışığında, UV stabilizatörü katkısının polipropilenin kimyasal ve fiziksel özelliklerine olan etkisi, malzemenin dayanıklılığını artırarak, daha uzun ömürlü ve çevresel etmenlere karşı dirençli hale gelmesini sağlamaktadır. UV stabilizatörlerinin doğru şekilde seçilmesi, polipropilenin endüstriyel uygulamalarındaki verimliliğini artırmakta ve malzemenin daha geniş bir kullanım alanına sahip olmasını sağlamaktadır. Bu katkı, polipropilenin mekanik ve kimyasal dayanıklılığını güçlendirerek, malzemenin performansını optimize eder ve sürdürülebilir bir çözüm sunmaktadır.

3. BOYA TUTUCULUK MEKANİZMASI VE YÜZEY GERİLİMİ

3.1 Yüzey Geriliminin Tanımı

Yüzey gerilimi, bir sıvının yüzeyindeki moleküllerin birbirine uyguladığı kuvvetin bir sonucu olmaktadır. Bu kuvvet, sıvının yüzeyini küçülterek daha az enerjiyle daha küçük bir alan kaplamaya çalışmasına neden olmaktadır. Yüzey gerilimi, sıvının bir katı yüzeyle temas ettiği durumda, sıvı moleküllerinin katı yüzeye uyguladığı çekim kuvvetiyle dengelenmektedir. Bu denge, sıvı ve katı arasındaki moleküler etkileşimlere, özellikle de yüzeydeki moleküllerin bağlanma şekillerine ve sıvının fiziksel özelliklerine bağlı olmaktadır.

Yüzey gerilimi, bir sıvının yüzeyindeki moleküllerin arasındaki çekim kuvveti olarak tanımlanabilmektedir. Bu kuvvetler, sıvının yüzeyini en küçük alanla sınırlamaya çalışmaktadır. Polipropilen gibi malzemelerin yüzey gerilimi, malzemenin boyalarla etkileşime girmesini belirleyen ana faktörlerden biridir. Bu tür malzemelerde yüzey geriliminin artırılması, boyaların daha iyi tutunmasına yardımcı olmaktadır (Santos ve diğ, 2007).

Yüzey gerilimi, bir sıvının yüzeyindeki moleküllerin birbirlerine uyguladığı çekim kuvvetlerinin toplamıdır. Bu kuvvetler, sıvının yüzeyini en küçük alanda tutma eğilimindedir. Polimer yüzeylerinde bu çekim kuvvetlerinin düzenlenmesi, malzemenin dış yüzeyinin dış etkenlere nasıl tepki vereceğini etkilemektedir. Yüzey geriliminin artırılması, yüzeyin daha reaktif hale gelmesini sağlamak ve bu da boyalar veya yapıştırıcılar gibi sıvıların bu yüzeylere daha iyi yapışmasına yardımcı olmaktadır (Aydemir ve diğ, 2020).

Yüzey gerilimi, malzeme bilimi ve mühendislik gibi alanlarda geniş bir yelpazeye sahip olan önemli bir parametredir. Otomotiv endüstrisi gibi sektörlerde, yüzey geriliminin kontrolü malzeme seçiminden üretim süreçlerine kadar pek çok aşamada etkili olabilmektedir. Özellikle PP esaslı kompozitlerin kullanımında, yüzey gerilimi, sadece malzemenin yapısal özelliklerini değil, aynı zamanda yüzey modifikasyonu

gibi tekniklerin de önemli bir unsuru olarak karşımıza çıkmaktadır (Bennett, ve diğ, 2020; Ganesan, ve diğ, 2020).

Çizelge 3.1: Yaygın kullanılan sıvıların yüzey gerilimleri.

Sıvı	Yüzey Gerilimi (mN/m)
Su	72,4
Ksilen	30,5
Toluen	27,8
Aseton	23,7
MEK	26,3
White spirit	20,0
Butil asetat	25,0
Butanol	23,0
Hegzan	18,0

Polipropilen, dayanıklılığı ve esnekliği ile tanınan, çok çeşitli uygulama alanlarına sahip bir termoplastik malzemedir. Ancak, PP'nin yüzey gerilimi genellikle düşük olduğu için bazı endüstriyel kullanımlarda bu durum sorun yaratabilmektedir. Bu nedenle, yüzey gerilimini artırmaya yönelik çeşitli yöntemler geliştirilmektedir. Bunlardan biri, UV ışınları ile yapılan yüzey modifikasyonudur. UV ışınları, polipropilenin yüzeyinde oksidasyon reaksiyonlarını başlatarak, yüzeydeki molekülleri aktif hale getirir ve böylece malzemenin başka maddelerle, özellikle yapıştırıcılarla daha iyi bir bağ kurmasını sağlamaktadır (Santos ve diğ, 2007; Yang ve diğ, 2005).

Yüzey geriliminin artırılmasının başlıca faydalarından biri, polipropilen kompozitlerinin genel performansını iyileştirmesidir. Yüzey geriliminin artırılması, malzemenin yapısal dayanıklılığını güçlendirebilmekte ve çevresel koşullara karşı daha dirençli hale gelmesine yardımcı olabilmektedir. Örnek vermek gerektiğinde, UV ışınlarının polipropilen kompozitlerinin mekanik özellikleri üzerindeki etkileri, malzemenin daha dayanıklı olmasını ve daha uzun süreli kullanım sağlamasını mümkün kılabilir. Bu durum, otomotiv endüstrisinde güvenliği artırmakla birlikte, verimliliği de iyileştirmektedir (Ateş ve diğ, 2022).

3.2 Yüzey Geriliminin Önemi

Yüzey gerilimi, bir sıvının yüzeyindeki moleküllerin birbirine uyguladığı kuvvetin bir sonucudur ve bu kuvvet, sıvının yüzey alanını olabildiğince küçültmeye çalışmasına neden olmaktadır. Yüzey geriliminin bu özelliği, sıvıların katı yüzeylerle etkileşimini

etkileyerek malzemelerin özelliklerini belirleyen önemli bir parametre haline gelmektedir. Özellikle malzeme bilimi ve kimya mühendisliğinde, bu fiziksel özellik, PP gibi malzemelerin fonksiyonel özelliklerini optimize etmek için kritik bir rol oynamaktadır (Bennett ve diğ., 2020; Altuğ ve Yılmaz, 2023).

Yüzey gerilimi, PP gibi malzemelerin boyalarla etkileşimde ne kadar başarılı olacağını belirleyen önemli bir faktördür. Düşük yüzey gerilimine sahip olan PP gibi polimerlerde, boya ve yapıştırıcılar yüzeye zayıf tutunmaktadır. Yüzey gerilimini artırmak, bu malzemelerin daha iyi yapışma özellikleri göstermesini sağlamaktadır. UV ışınlarıyla yapılan yüzey modifikasyonları gibi yöntemler, malzemenin kimyasal yapısını değiştirerek yüzey gerilimini artırır ve dolayısıyla tutunma gücünü iyileştirmektedir (Bamane ve Jagtap, 2023). Bu tür değişiklikler, malzemenin estetik ve fonksiyonel özelliklerini önemli ölçüde geliştirebilmektedir.

Polipropilen, genel olarak düşük yüzey gerilimine sahip bir malzemedir, bu da onun bazı endüstriyel uygulamalarda yeterince etkili olamamasına yol açabilmektedir. Çünkü yüzey gerilimi yüksek olan malzemeler, boyalar, yapıştırıcılar ve kaplamalarla daha güçlü bir etkileşim kurabilmektedir. Bu nedenle, polipropilenin yüzey gerilimini artırma yönünde yapılan araştırmalar ve geliştirmeler, endüstriyel performansını önemli ölçüde artırmıştır. UV ışınları ile yapılan yüzey modifikasyonları, polipropilenin yüzeyinde oksidatif reaksiyonları başlatarak, malzemenin yüzeyindeki molekülleri aktif hale getirmektedir. Bu aktif hale gelen yüzey, başka maddelerle, özellikle yapıştırıcılarla, çok daha etkin bir bağ kurabilmektedir (Santos v.d., 2007). Bu modifikasyonlar, polipropilenin yapışma özelliklerini artırarak endüstriyel verimliliği iyileştirmektedir (Sancaktar ve Sunthonpagasit, 2004).

UV ışınları ile yapılan yüzey modifikasyonu yalnızca yapışma özelliklerini güçlendirmekle kalmamakta, aynı zamanda malzemenin çevresel koşullara karşı dayanıklılığını da artırmaktadır. UV ışınlarının etkisiyle malzemenin kimyasal yapısında meydana gelen değişiklikler, polipropilenin çevresel etkilere karşı daha dirençli hale gelmesini sağlamaktadır. Bu tür iyileştirmeler, özellikle otomotiv endüstrisinde, malzeme performansını artırırken güvenliği de güçlendirebilmektedir. Aynı zamanda çevresel etkilere bağlı bozulmaların önüne geçmek de mümkündür (Ateş ve diğ., 2022). Yüzey geriliminin artırılması, polipropilenin kompozit malzeme olarak kullanımını daha verimli hale getirmekte ve bu da malzemenin daha uzun ömürlü olmasını sağlamaktadır.

Yüzey geriliminin optimize edilmesi, polipropilenin üretim ve kullanım alanlarını genişleten bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Örnek vermek gerektiğinde, polipropilen esaslı kompozitlerde yüzey geriliminin artması, bu kompozitlerin yapısal dayanıklılığını artırarak, onları çeşitli endüstriyel uygulamalar için daha uygun hale getirmektedir. Polipropilenin yüzey modifikasyonları, daha dayanıklı ve verimli malzemeler geliştirilmesine olanak tanır ve çevre dostu ürünlerin üretimini teşvik etmektedir (Yang ve diğ, 2005; Ganesan ve diğ, 2020).

Yüzey geriliminin anlaşılması ve modifikasyonu, özellikle otomotiv gibi yüksek performans gerektiren sektörlerde polipropilen gibi malzemelerin uyumluluğunu artıran önemli bir strateji haline gelmiştir. Bu alandaki yapılan araştırmalar, yüzey geriliminin optimize edilmesinin kompozit malzemelerin özelliklerini iyileştirmek için kritik bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. Yüzey gerilimi üzerine yapılan bu bilimsel çalışmalar, daha dayanıklı, verimli ve çevre dostu uygulamaların geliştirilmesine olanak tanırken, gelecekteki teknolojik ilerlemelere de ışık tutmaktadır (Zhu, Zhang ve Xu, 2010; Kim ve diğ, 2020).

3.3 UV Stabilizatörü Katkısının Uygulanma Yöntemi

UV ışınları, polipropilen gibi termoplastik malzemelerin yüzey özelliklerini iyileştirmek için oldukça etkili bir araçtır. Polipropilen, doğal olarak düşük yüzey gerilimine sahip bir malzeme olduğu için, birçok uygulamada, özellikle yapıştırıcılar ve kaplamalarla olan etkileşimde zorlanabilmektedir. Bu zorlukları aşmak ve malzemenin yapışma kapasitesini artırmak için UV ışınları kullanılarak yüzey modifikasyonları yapılabilmektedir. UV ışınları, polipropilenin yüzeyinde oksidasyon reaksiyonlarını tetikleyerek molekülleri aktive etmektedir. Bu aktivasyon, malzemenin yüzeyine daha iyi bir yapışma kabiliyeti kazandırmakta ve polipropilenin farklı maddelerle, özellikle yapıştırıcılar ve kaplamalarla daha güçlü bağlar kurmasına olanak tanımaktadır (Santos ve diğ, 2007; Sancaktar ve Sunthonpagasit, 2004).

UV ışınları, polipropilen gibi malzemelerin yüzeylerinde kimyasal bağları kırarak yeni polar grupların oluşmasına yol açmaktadır. Bu değişiklikler yüzey gerilimini artırır ve dolayısıyla malzemenin boya tutma kapasitesini geliştirmektedir. UV ışınlarının uygulama süresi ve şiddeti gibi parametreler, modifikasyonun etkinliğini doğrudan etkilemektedir. UV ışınları ile yapılan modifikasyonlar, yüzeydeki oksidasyon seviyesini artırarak, yüzeyi daha reaktif hale getirir ve ink-adhesion yani mürekkep

tutuculuğunun artırılmasına yardımcı olmaktadır (Bamane ve Jagtap, 2023). Bu yöntem, polipropilen gibi düşük yüzey enerjisine sahip malzemelerin ink-adhesion özelliklerini iyileştirerek, malzemenin dayanıklılığını artırabilmektedir.

UV ışınlarının polipropilen üzerindeki etkisi, kimyasal bağların zayıflaması ve yeni polar grupların ortaya çıkmasıyla birlikte, yüzeyin yapışma özelliklerini artırmaktadır. Bu modifikasyonlar, polipropilenin boyalar, yapıştırıcılar ve diğer kaplamalarla daha uyumlu hale gelmesini sağlamaktadır. Ayrıca UV ışınları, polipropilenin çevresel faktörlere karşı dayanıklılığını artırarak, malzemenin uzun ömürlü olmasına katkıda bulunmaktadır. UV ışınları ile yapılan yüzey değişiklikleri, polipropilenin çevresel etmenlere karşı direnç kazandırır ve böylece malzemenin ömrünü uzatmaktadır (Zhu ve diğ, 2010).

Otomotiv sektöründe, UV ışınlarıyla yapılan yüzey modifikasyonları, polipropilen bazlı kompozitlerin performansını önemli ölçüde artırabilmektedir. UV ışınları, polipropilenin kimyasal yapısında değişiklikler yaparak malzemenin mekanik özelliklerini güçlendirir ve çevresel bozulmaların önüne geçmektedir. Bu, özellikle otomobil çarpışma kutuları gibi dayanıklı malzemelere ihtiyaç duyulan alanlarda faydalı olabilmektedir. UV ışınları, malzemenin yapısını daha stabil hale getirerek, polipropilenin çevresel koşullara karşı daha dirençli olmasını sağlamaktadır (Ateş ve diğ, 2022).

UV ışınları ile yapılan yüzey modifikasyonlarının etkinliğini artırmak için, ışın şiddeti, maruz kalma süresi ve kullanılan katkı maddelerinin doğru bir şekilde seçilmesi gereklidir. UV stabilizatörleri ve diğer katkı maddeleri, polipropilenin UV ışınlarına maruz kalması sonucu meydana gelebilecek zararlı etkileri en aza indirmektedir. Stabilizatörler, malzemenin dış mekan koşullarında daha dayanıklı olmasını sağlamakta ve böylece polipropilenin fiziksel özelliklerinin korunmasına yardımcı olmaktadır. Bu tür katkı maddelerinin kullanımı, UV ışınları nedeniyle oluşabilecek bozulmaların önüne geçer ve polipropilenin daha uzun süre yüksek performansla kullanılmasını sağlamaktadır (Brostow ve diğ, 2020). UV ışınları ile yapılan yüzey modifikasyonları, polipropilenin yapışma özelliklerini iyileştirmekte, çevresel etkilere karşı dayanıklılığını artırmakta ve uzun ömürlü olmasını sağlamaktadır. Bu teknoloji, özellikle otomotiv ve diğer endüstriyel uygulamalarda polipropilen bazlı kompozitlerin performansını artırmak için son derece önemli bir yöntemdir.

3.4 Deneysel Yöntemler ve Önemli Noktalar

Polipropilen (PP), düşük yüzey gerilimi nedeniyle özellikle yapıştırıcılar ve kaplamalarla etkileşimde zorluklar yaşayan bir termoplastik malzemedir. Bu özellik, PP'nin çok çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanılabilirliğini sınırlayabilmektedir. Bununla birlikte, UV ışınları gibi yüzey modifikasyon teknikleri kullanılarak PP'nin yapışma özellikleri iyileştirilebilmektedir. UV ışınları, polipropilenin yüzeyinde oksidasyon reaksiyonları başlatarak, moleküllerin aktif hale gelmesini sağlamaktadır. Bu değişiklik, polipropilenin yüzeyinde polar grupların oluşumuna yol açarak, malzemenin yapışma kapasitesini arttırmaktadır. Netice olarak, PP, boyalar ve yapıştırıcılarla daha uyumlu hale gelmekte ve çevresel faktörlere karşı daha dayanıklı bir özellik kazanmaktadır (Santos ve diğ, 2007; Zhu ve diğ, 2010; Ateş ve diğ, 2022).

Yüzey gerilimi ve ink-adhesion testleri için birçok deneysel yöntem kullanılmaktadır. Yüzey gerilimi genellikle damla şekil analizi ve Wilhelmy plakası gibi tekniklerle ölçülmektedir. Bu yöntemlerde, sıvı bir damlacığının polimer yüzeyine nasıl etkileştiği, yüzey gerilimi hakkında bilgi vermektedir (Aydemir ve diğ, 2020). Boya tutuculuk testi ise malzemenin üzerine boya uygulandıktan sonra yapılan bir testtir. Boyanın malzemeye ne kadar kuvvetli tutunduğu ve yüzeyin boya ile etkileşim kapasitesi değerlendirilmektedir. Bu testler sırasında dikkat edilmesi gereken faktörler arasında ortam sıcaklığı, nem oranı ve UV ışınının şiddeti bulunmaktadır.

Yüzey modifikasyonlarının etkinliğini değerlendirmek amacıyla bir dizi deneysel yöntem kullanılmaktadır. Bunlar arasında yüzey gerilimi ölçümü, yapışma testi, spektroskopik analizler ve mekanik testler yer almaktadır. Yüzey gerilimi ölçümleri, PP'nin yüzeyinde polar grup oluşumunu ve dolayısıyla yapışma özelliklerini belirlemede önemli bir araç olmaktadır. UV ışınlarının etkilerini belirlemek için, dinamik düşüş veya Wilhelmy plaka gibi yöntemler kullanılarak yüzey gerilimi ölçülmektedir. Yapışma testleri ise UV ile modifiye edilmiş PP'nin boya veya yapıştırıcılar gibi materyallere karşı tutuculuğunu değerlendirmektedir. Bu tür testler, genellikle çekme testi, kopma testi veya peeling testleri gibi standartlaştırılmış yöntemlerle gerçekleştirilmektedir (Sancaktar ve Sunthonpagasit, 2004). Ayrıca, X-ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS) gibi ileri düzey teknikler, yüzeydeki oksidasyon seviyelerini ve yeni oluşan polar grupların varlığını inceleyerek UV

ışınlarının etkisini daha ayrıntılı bir şekilde gözlemlemeye yardımcı olmaktadır (Zheng ve Li, 2004).

UV ışınlarıyla yapılan yüzey modifikasyonlarının başarıyla uygulanabilmesi için dikkat edilmesi gereken bazı önemli noktalar vardır. Işın şiddeti, maruz kalma süresi ve kullanılan katkı maddeleri gibi faktörler, modifikasyonun etkinliğini doğrudan etkileyebilmektedir. UV ışınlarının etkisi, malzemenin kimyasal yapısına bağlı olarak farklılık gösterebilir. Bu nedenle, UV stabilizatörleri gibi koruyucu katkı maddelerinin seçimi büyük önem taşımaktadır. UV stabilizatörleri, malzemenin UV ışınlarının olumsuz etkilerinden korunmasını sağlamakta ve böylece polipropilenin ömrünü uzatmaktadır (Brostow ve diğ, 2020).

Bunun yanı sıra, UV ışınlarına maruz kalma süresinin ve ışın şiddetinin doğru bir şekilde kontrol edilmesi gerekmektedir. Aksi takdirde, aşırı UV ışını maruziyeti malzemenin mekanik özelliklerinde bozulmalara yol açabilmektedir (Kim ve diğ, 2020).

UV ışınlarıyla yapılan yüzey modifikasyonları, polipropilenin yapışma özelliklerini artırmak için etkili bir yöntem sunmaktadır. Ancak, modifikasyonun etkinliğini en üst düzeye çıkarmak için deneysel yöntemlerin doğru seçilmesi ve işlem parametrelerinin dikkatlice optimize edilmesi gerekmektedir. Bu tür modifikasyonlar, özellikle otomotiv ve ambalaj sektörlerinde, polipropilen bazlı kompozitlerin performansını artırmada önemli bir rol oynamaktadır.

3.5 Yüzey Gerilimi Ölçümü

Yüzey gerilimini ölçmek için kullanılan yaygın yöntemlerden biri "damla şekil analizi"dir. Bu yöntemde, sıvı bir damlacığı polimer yüzeyine bırakılır ve sıvı ile yüzey arasındaki kontak açısı ölçülerek yüzey gerilimi hesaplanmaktadır. Diğer bir yöntem ise "Wilhelmy plakası" metodudur, burada sıvı ile temas eden bir plakanın üzerine uygulanan kuvvet ölçülerek yüzey gerilimi hesaplanmaktadır (Aydemir ve diğ, 2020). Yüzey gerilimi ölçümleri, malzemenin ink-adhesion özelliklerinin iyileştirilmesi için kritik öneme sahiptir.

Polipropilen (PP), endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılan ve özellikle otomotiv ile ambalaj sektörlerinde büyük bir öneme sahip olan bir termoplastik malzemedir. Ancak, PP'nin yüzey gerilimi diğer malzemelere göre daha düşük

olduğundan, yapışma ve boyama işlemleri genellikle zorlu olabilmektedir. Bu zorlukları aşmak için, polipropilenin yüzeyini değiştiren ve daha iyi yapışma özellikleri elde etmeyi sağlayan teknikler geliştirilmektedir. Bu tekniklerin başında UV ışınları ile yapılan yüzey modifikasyonları gelmektedir (Santos ve diğ, 2007; Zhu ve diğ, 2010). UV ışınları, polipropilenin yüzeyindeki kimyasal bağları değiştirerek, malzemenin daha fazla polar grup içermesine yol açmaktadır. Bu durum, PP'nin yapışma özelliklerini belirgin şekilde geliştirmektedir (Brostow ve diğ, 2020). Bunun yanında, UV ışınları malzemenin çevresel etkilere karşı dayanıklılığını artırarak, dış mekan kullanımına uygun hale gelmesini sağlamaktadır (Kawaguchi, 2002).

Polipropilenin yüzey gerilimini ölçmek, malzemenin yüzeyindeki polar grup yoğunluğunu belirlemenin ve bu sayede yapışma özelliklerini değerlendirmede kritik bir rol oynamaktadır. Yüzey gerilimi ölçümünde, dinamik düşüş yöntemi ya da Wilhelmy plaka yöntemi gibi çeşitli teknikler kullanılabilir (Yang ve diğ, 2005). Bu ölçümler, UV ışınlarının yüzeydeki oksidasyon seviyeleri üzerinde yarattığı artışı ve dolayısıyla malzemenin daha etkin hale gelen yüzey özelliklerini gözler önüne sermektedir (Zheng ve Li, 2004).

UV ışınları, PP bazlı kompozitlerin boya tutuculuğunu artırmak için etkili bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Bu süreç, sadece PP'nin boyalarla yapışma kabiliyetini güçlendirmekle kalmamakta, aynı zamanda malzemenin mekanik ve kimyasal dayanıklılığını da iyileştirmektedir. UV ışınlarının etkinliğini artırmak için doğru ışın şiddeti, maruz kalma süresi ve UV stabilizatörlerinin seçimi önemlidir. UV stabilizatörleri, polipropilenin ışınların zararlı etkilerinden korunmasına yardımcı olarak, malzemenin daha uzun süre dayanmasını sağlamaktadır (Brostow ve diğ, 2020; Kim ve diğ, 2020).

UV ışınlarının polipropilen üzerindeki etkisi, kullanılan katkı maddelerine bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Örnek vermek gerektiğinde, PP'nin UV stabilizatörleri ile modifiye edilmesi, malzemenin UV ışınlarına karşı dayanıklılığını artırmaktadır (Küçük ve diğ, 2018). Ancak, aşırı UV maruziyeti, malzemenin mekanik özelliklerinin zayıflamasına yol açabileceğinden, doğru maruz kalma süresinin belirlenmesi kritik öneme sahiptir (Kim ve diğ, 2020).

UV ışınları ile yapılan yüzey modifikasyonları, polipropilenin yapışma özelliklerini iyileştirmek ve çevresel etkilere karşı daha dirençli hale getirmek için etkili bir

tekniktir. Ancak, bu modifikasyon sürecinin başarılı olabilmesi için deneysel parametrelerin dikkatle optimize edilmesi gerekmektedir. Bu tür modifikasyonlar, özellikle otomotiv ve ambalaj sektörlerinde, polipropilen bazlı kompozitlerin performansını artırmada önemli bir rol oynamaktadır (Ateş ve diğ, 2022; Ganesan ve diğ, 2020).

3.6 Boya Tutuculuk Testi

Polipropilen (PP), endüstriyel uygulamalarda sıklıkla tercih edilen, dayanıklı ve hafif bir termoplastik malzemedir. Bununla birlikte, düşük yüzey gerilimi nedeniyle PP'nin boya ve yapıştırıcılarla etkileşimi sınırlıdır. Bu, özellikle otomotiv ve ambalaj endüstrilerinde, PP'nin boyalarla güçlü bir şekilde yapışması için zorluklar yaratmaktadır. Boya tutuculuğunu artırmak amacıyla yapılan yüzey modifikasyonları, bu sorunun üstesinden gelmek için önemli bir yaklaşım sunmaktadır.

Boya tutuculuk testi, polimer yüzeyine uygulanan boyanın yüzeyle olan etkileşimini ve tutunma gücünü değerlendirmek için yapılan bir testtir. Bu test, yüzeyin pürüzlülüğü, kimyasal yapısı ve yüzey geriliminin boya tutma kapasitesine olan etkilerini ölçmektedir. UV ışınlarıyla yapılan yüzey modifikasyonları, polipropilen gibi malzemelerin ink-adhesion kapasitesini artırmakta, çünkü UV ışınları yüzeydeki oksidasyonu artırarak yüzeyin reaktifliğini yükseltmektedir (Zhu ve diğ, 2010). Boya tutuculuk testleri genellikle yüzeyin dayanıklılığını ölçen uzun süreli testlerle desteklenmektedir.

PP'nin yüzey geriliminin artırılmasına yönelik en etkili yöntemlerden biri, UV ışınlarıyla yapılan yüzey modifikasyonudur. UV ışınları, polipropilenin yüzeyindeki kimyasal bağları kırarak, yeni polar grupların oluşumunu tetiklemektedir. Bu gruplar, yüzey gerilimini artırarak, malzemenin yapışma özelliklerini iyileştirmektedir. Bu modifikasyon sadece PP'nin boya tutuculuğunu güçlendirmekle kalmamakta, aynı zamanda malzemenin çevresel etkilere karşı direncini artırarak, dış mekanlarda uzun süreli dayanıklılık sağlamaktadır (Brostow ve diğ, 2020). Ayrıca, UV ışınlarıyla yapılan bu yüzey değişiklikleri, PP'nin organik takviyeli kompozitlerdeki performansını da iyileştirebilmektedir (Altuğ ve Yılmaz, 2023).

Boya tutuculuğunu sağlamada yüzey gerilimi ölçümü kritik bir rol oynamaktadır. Yüzey geriliminin yüksekliği, malzemenin yapışma kapasitesini doğrudan

etkilemektedir. PP'nin yüzey gerilimini belirlemek için dinamik düşüş yöntemi veya Wilhelmy plaka tekniği gibi çeşitli testler kullanılabilir. UV ışınlarıyla yapılan yüzey oksidasyonu, polipropilenin yüzeyini daha aktif hale getirmekte ve boyaların malzeme yüzeyine daha iyi tutunmasını sağlamaktadır (Zheng ve Li, 2004). Bu da, özellikle otomotiv ve ambalaj sektörlerinde daha etkili boyama işlemleri gerçekleştirilebilmesini mümkün kılmaktadır.

UV ışınlarının etkili olabilmesi için bazı parametrelerin dikkatlice kontrol edilmesi gereklidir. Işın şiddeti, maruz kalma süresi ve kullanılan stabilizatörlerin türü, UV modifikasyonunun başarısını doğrudan etkilemektedir. UV ışınlarının malzeme üzerindeki zararlı etkilerinden korunması için stabilizatörler kullanılmaktadır. Bu stabilizatörler, PP'nin UV ışınlarına karşı dayanıklılığını artırır ve malzemenin ömrünü uzatmaktadır (Kim ve diğ., 2020). Ancak, aşırı UV maruziyeti, malzemenin mekanik özelliklerinde olumsuz değişikliklere yol açabileceği için, her parametrenin titizlikle ayarlanması gerekmektedir. Bu denge, UV modifikasyonlarının etkinliğini artırırken, malzemenin dayanıklılığını da sağlamaktadır.

UV ışınları ile yapılan yüzey modifikasyonları, polipropilenin boya tutuculuğunu artırmak için son derece etkili bir yöntemdir. Ancak, bu işlemlerin başarılı olabilmesi için doğru parametrelerin seçilmesi ve her bir adımın dikkatlice optimize edilmesi gerekmektedir. Bu tür yüzey modifikasyonları, özellikle otomotiv ve ambalaj sektörlerinde polipropilen bazlı kompozitlerin performansını artırmak için kritik bir rol oynamaktadır. UV ışınlarının kullanımı, polipropilenin çevresel etkilere karşı daha dayanıklı olmasını sağlayarak, estetik ve fonksiyonel açıdan daha üstün malzemelerin üretilmesini mümkün kılmaktadır.

3.7 Boya Tutuculuğunu Etkileyen Faktörler

Polipropilen (PP), sağlamlık ve düşük yoğunluğu nedeniyle pek çok endüstriyel alanda tercih edilen bir termoplastik malzemedir. Ancak, PP'nin doğasında bulunan düşük yüzey gerilimi, boya ve yapıştırıcı gibi malzemelerle uyumlu bir etkileşim kurmasını engellemektedir. Bu, otomotiv, ambalaj ve tüketici ürünleri gibi sektörlerde, PP'nin boyalarla olan etkileşiminin kısıtlı kalmasına neden olabilir. Boya tutuculuğunu artırmak adına, PP'nin yüzey özelliklerinin optimize edilmesi önemli bir strateji olarak öne çıkmaktadır.

Boya tutuculuğunu etkileyen faktörler arasında yüzey gerilimi, pürüzlülük, kullanılan katkı maddeleri ve UV ışınları ile yapılan modifikasyonlar yer almaktadır. Yüzey gerilimi arttıkça, boyaların yüzeye olan etkileşimi ve tutunma kapasitesi de artmaktadır. UV ışınları ile yapılan modifikasyonlar, yüzeydeki oksidasyon seviyesini artırarak boyaların malzemeye daha iyi tutunmasını sağlamaktadır (Santos ve diğ, 2007). Bu modifikasyonlar, polipropilen gibi malzemelerin estetik ve fonksiyonel özelliklerini önemli ölçüde iyileştirebilmektedir.

Boya tutuculuğunu artırmada etkili olan yöntemlerin başında yüzey modifikasyonları gelmektedir. Özellikle, UV ışınlarıyla yapılan modifikasyonlar, PP'nin yüzeyindeki kimyasal bağları kırarak polar grupların ortaya çıkmasına yol açmaktadır. Bu durum, PP'nin yüzey gerilimini yükselterek, boyaların malzemeye daha güçlü bir şekilde tutunmasını sağlamaktadır (Santos ve diğ, 2007). UV ışınları ayrıca, PP'nin yüzeyindeki oksidasyonu artırarak yüzeyin daha reaktif hale gelmesini sağlar, böylece boyaların yapışma kapasitesini artırmaktadır (Zheng ve Li, 2004). Diğer yandan, UV ışınlarının etkisiyle malzemenin dış mekan koşullarına karşı dirençli hale gelmesi, uzun vadede daha dayanıklı ve stabil bir performans sağlamaktadır (Brostow ve diğ, 2020).

Boya tutuculuğu üzerindeki bir diğer önemli etki, PP'nin kristallinitesi ve morfolojik yapısıyla ilgilidir. PP'nin yüksek kristalliniteye sahip olması, yüzeyin daha düzgün olmasına yol açar ve bu da boyaların yüzeye tutunmasını zorlaştırabilmektedir. Ancak, PP'nin morfolojik özelliklerinin ve yüzey pürüzlülüğünün değiştirilmesi, boya uygulamaları için uygun bir yüzey oluşturabilmektedir (Chauhan ve Mittal, 2015). UV ışınlarının etkisiyle PP'nin bu morfolojik özelliklerinde değişiklikler meydana gelerek, malzemenin boyalarla daha uyumlu hale gelmesini sağlamaktadır.

Boya tutuculuğunu etkileyen bir diğer faktör, PP'nin yüzeyinde kullanılan stabilizatörlerdir. UV ışınlarıyla yapılan yüzey modifikasyonları sırasında kullanılan stabilizatörler, PP'nin mekanik özelliklerini koruyarak malzemenin ışığa karşı dayanıklılığını artırmaktadır. Bu stabilizatörler, PP'nin UV ışınları nedeniyle bozulmalarını engeller ve malzemenin ömrünü uzatmaktadır (Kim ve diğ, 2020). Ancak, UV ışınlarına aşırı maruziyet, PP'nin mekanik özelliklerinde olumsuz değişikliklere yol açabileceğinden, yüzey modifikasyonları dikkatlice optimize edilmelidir (Ganesan ve diğ, 2020).

PP'nin kimyasal yapısı ve katkı maddeleri de boya tutuculuğunu etkileyen unsurlar arasındadır. Katkı maddeleri, PP'nin yüzey enerjisini artırarak, boyaların yüzeye daha iyi bir bağ kurmasına yardımcı olabilmektedir. Ayrıca, kullanılan katalizörlerin türü de PP'nin kristallinitesinin ve morfolojik yapısının şekillenmesinde etkili olabilir. Bu durum, PP'nin yüzey özelliklerini ve dolayısıyla boya tutma kapasitesini doğrudan etkilemektedir (Gao ve diğ, 2021).

Polipropilenin boya tutuculuğu, yüzey gerilimi artırma, kristallinite ve morfolojik değişiklikler ile UV ışınları gibi bir dizi faktöre bağlı olmaktadır. Bu faktörlerin doğru şekilde optimize edilmesi, özellikle otomotiv ve ambalaj sektörlerinde PP'nin performansını iyileştirebilmektedir. UV ışınlarının ve stabilizatörlerin doğru kullanımı, malzemenin çevresel etkilerden korunmasına yardımcı olurken, boyaların daha iyi tutunmasını sağlamaktadır. PP'nin yüzey modifikasyonları, hem estetik hem de fonksiyonel açıdan üstün malzemelerin üretilmesine olanak tanımaktadır.

3.8 Veri Analiz Yöntemleri

Polipropilen (PP), otomotiv, ambalaj ve tüketici ürünleri sektörlerinde yaygın olarak kullanılan bir termoplastiktir. Bununla birlikte, PP'nin düşük yüzey gerilimi, boya ve yapıştırıcıların yüzeye tutunmasını zorlaştıran bir sorun oluşturmaktadır. Bu, PP'nin yüzey modifikasyonları ile çözülmesi gereken bir zorluktur. Özellikle UV ışınlarıyla yapılan yüzey değişiklikleri, boya tutuculuğunu artırmada etkili bir yöntem olarak öne çıkmaktadır.

Yüzey gerilimi ve ink-adhesion testlerinden elde edilen verilerin analizinde genellikle istatistiksel yöntemler ve regresyon analizleri kullanılmaktadır. Bu analizler, denemelerden elde edilen sonuçları anlamak ve malzeme özelliklerini optimize etmek için kullanılmaktadır. Yüzey gerilimi ve boya tutuculuk verilerinin doğru bir şekilde analiz edilmesi, üretim süreçlerinin verimliliğini artırabilmekte ve malzeme performansını geliştirebilmektedir (Bamane ve Jagtap, 2023).

UV ışınları, polipropilenin yüzeyindeki kimyasal bağları kırarak, yeni polar grupların oluşumunu sağlamaktadır. Bu süreç, yüzey gerilimini artırmakta ve böylece boyaların yüzeye daha güçlü bir şekilde tutunmasına olanak tanımaktadır. UV ışınlarının etkisiyle, PP'nin oksidasyon seviyesinde de artış gözlemlenir. Bu da malzemenin yüzeyini daha aktif hale getirir ve boya tutunma kapasitesini güçlendirmektedir.

Böylece, PP'nin çevresel faktörlere karşı daha dirençli hale gelmesi sağlanmaktadır (Brostow ve diğ, 2020).

Bir diğer önemli faktör, polipropilenin kristallinitesi ve morfolojik yapısıdır. PP'nin yüksek kristallinitesi, yüzeyin daha düzgün olmasına yol açarak, boyaların yüzeye tutunmasını engellemektedir. Ancak, UV ışınlarıyla yapılan yüzey değişiklikleri, PP'nin morfolojik yapısında değişiklikler yaparak, boyaların daha uyumlu bir şekilde yüzeye tutunmasını sağlamaktadır. Yüzeyin pürüzlülüğü ve enerjisi, boya tutunma kapasitesini doğrudan etkilemektedir (Chauhan ve Mittal, 2015).

UV ışınlarının ve stabilizatörlerin kullanımı, polipropilenin mekanik özelliklerini korumada da önemlidir. UV ışınlarına karşı eklenen stabilizatörler, malzemenin dış etkilere karşı dayanıklılığını artırmakta ve böylece malzemenin ömrünü uzatmaktadır (Kim ve diğ, 2020). Ancak, aşırı UV maruziyeti, PP'nin mekanik özelliklerinde bozulmalara yol açabilmektedir. Bu nedenle UV ışınlarıyla yapılan yüzey modifikasyonları dikkatle kontrol edilmelidir (Ganesan ve diğ, 2020).

Bunların yanı sıra, polipropilenin kimyasal yapısı ve katkı maddeleri de boya tutuculuğunu etkileyen önemli faktörlerdendir. Katkı maddeleri, PP'nin yüzey enerjisini artırarak boyaların yüzeye daha iyi etkileşime girmesini sağlamaktadır. Ayrıca, kullanılan katalizörlerin türü de PP'nin kristallinitesi ve morfolojik yapısının oluşumunda rol oynamaktadır. Bu faktörlerin doğru şekilde optimize edilmesi, PP'nin boya ile olan etkileşimini geliştirerek malzemenin performansını artırabilmektedir (Gao ve diğ, 2021).

Polipropilenin boya tutuculuğu, yüzey modifikasyonları, kristallinite ve morfolojik yapı gibi faktörlere bağlıdır. UV ışınları ile yapılan yüzey değişiklikleri, PP'nin estetik ve fonksiyonel özelliklerini iyileştirmek adına önemli bir tekniktir. Bu modifikasyonlar, özellikle otomotiv ve ambalaj sektörlerinde PP'nin daha verimli ve dayanıklı bir malzeme olarak kullanılmasını mümkün kılmaktadır.

4. METARYAL VE METOT

4.1 Numune Hazırlama Yöntemi

4.1.1 Plastik numunelerin plastik enjeksiyon ile üretimi

Bu çalışmada, polipropilen esaslı kompozit malzemelerde UV stabilizatörü katkısının boya tutuculuğu üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla deney numuneleri enjeksiyon kalıplama yöntemi ile hazırlanmıştır. Numune üretim süreci, termoplastik malzemelerin standardize test örneklerinin üretimine yönelik esasları tanımlayan ISO 294-1:2017 standardı doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem, katkı maddelerinin polimer matrisine homojen olarak dağılmasını sağlamak ve elde edilen numunelerin yüzey özellikleri ile mekanik performans açısından karşılaştırılabilir olmasına imkân tanımaktadır.

Çalışmada katkı maddesi olarak Tinuvin® 770 tipi UV stabilizatörü kullanılmıştır. Bu katkı, granül formdaki polipropilen hammadde ile belirlenen oranlarda, manuel dozaajlama yöntemi ile karıştırılmıştır. Katkı oranları %0 (kontrol grubu), %2, %4 ve %6 olacak şekilde tasarlanmıştır. Her bir katkı oranı için katkı maddesi, hassas terazide tartılarak granül polimer ile birlikte temiz bir karıştırma kabında elle karıştırılmış, homojen dağılım sağlandıktan sonra enjeksiyon makinesinin besleme hunisine manuel olarak aktarılmıştır.

Hazırlanan karışım, enjeksiyon makinesinde belirlenen sabit işlem parametreleri altında işlenmiştir. Ergitme işlemi sırasında kullanılan başlıca enjeksiyon parametreler Çizelge 4.1’ de verilmiştir.

Çizelge 4.1: Enjeksiyon kalıplama sürecinde kullanılan proses parametreleri.

Parametre	Değer
Ergitme sıcaklığı (°C)	220-240
Kalıp sıcaklığı (°C)	30-40
Enjeksiyon basıncı (bar)	800-1000
Tutma basıncı (bar)	600-800
Vida dönüş hızı (dev/dak)	80-100
Soğutma süresi (saniye)	20-30
Tutma süresi (saniye)	10-20

Bu işlemde parametrelerinin sabit tutulması, tüm numunelerin aynı koşullarda üretilmesini sağlayarak sonuçların güvenilirliğini artırmıştır.

Polipropilen esaslı malzemeler, ISO 294-1:2017 standardında tanımlanan esaslara uygun şekilde enjeksiyon kalıplama yöntemiyle üretilmiştir. Ancak bu çalışmada, standart çok amaçlı test çubuğu kalıpları yerine, boya tutuculuğu testlerine uygun özel numune geometrisine sahip kalıplar kullanılmıştır. Bu kalıplar, uygulamaya özel yüzey bazlı değerlendirmelere olanak tanıyacak şekilde, endüstride boya öncesi test numunesi üretimi yapan bir firmada üretilmiştir.

Çizelge 4.2: Polipropilen esaslı numunelerin kompozisyonları.

Numune Kodu	Kompozisyon
D0	Granül polipropilen
D1	UV Stabilizatörü katkısız PP
D2	%2 UV Stabilizatörü katkılı PP
D3	%4 UV Stabilizatörü katkılı PP
D4	%6 UV Stabilizatörü katkılı PP

Numuneler, enjeksiyon sonrası ortam sıcaklığında soğutulmuş ve test öncesinde 23 ± 2 °C sıcaklık ve $\%50 \pm 5$ bağıl nem koşullarında 24 saat boyunca şartlandırılmıştır.

4.1.2 Polipropilen Esaslı Malzemelerin Boyanması

Bu çalışmada, farklı oranlarda UV stabilizatörü katkısı kullanılarak üretilmiş olan polipropilen esaslı malzemelere Sayerlack 2K poliüretan bazlı akrilik boya uygulaması gerçekleştirilmiştir. UV stabilizatörü katkısı içeren plastiklerin yüzey özellikleri, özellikle boya tutunması ve yüzey enerjisi bakımından farklılık gösterdiğinden, yüzey hazırlığı ve boya uygulama parametreleri bu çalışma kapsamında özel olarak planlanmıştır.

İlk aşamada, numune yüzeyinde bulunabilecek kalıp ayırıcılar, silikon kalıntıları ve toz gibi boya aderansını olumsuz etkileyebilecek kontaminantların giderilmesi amacıyla, yüzey temizliği izopropil alkol (IPA) kullanılarak manuel olarak yapılmıştır. IPA, plastik yüzeylerde temizliği sağlamakta ve boya tutunmasını artırıcı etkisi nedeniyle tercih edilmiştir.

Mekanik yüzey hazırlığına yönelik herhangi bir zımparalama işlemi yapılmamış; bunun yerine kimyasal yüzey aktivasyonu amacıyla 3M™ Polyolefin Adhesion

Promoter (klorlanmış poliolefin bazlı yapışma astarı) kullanılmıştır. Bu astar, düşük yüzey enerjisine sahip plastik yüzeylerde boya ile yüzey arasında kimyasal bağlanmayı desteklemek amacıyla uygulanmıştır. Yüzeye tek kat halinde uygulanan astar, doğal ortamda kurumaya bırakılarak yüzeyin boya uygulamasına uygun hale gelmesi sağlanmıştır.

Astar uygulamasının ardından, Sayerlack 2K poliüretan bazlı akrilik boya, üretici teknik bilgi föyünde belirtilen oranlara uygun olarak hazırlanmış ve uygulanmıştır. Boya karışımı, %100 ana ürün, %50 oranında sertleştirici ve %40 oranında poliüretan tiner kullanılarak hazırlanmış; karışımın uygulama viskozitesi 20 saniye (DIN 4 Cup, 20°C) olarak ayarlanmıştır. Boya uygulaması, HVLP tipi boya tabancası ile 1.3 mm meme çapı ve 2.2 bar hava basıncı altında gerçekleştirilmiştir. Numune yüzeyine 2 ince kat boya uygulanmış ve her kat arasında 7 dakika beklenerek solventlerin uçması sağlanmıştır. Uygulama, 23°C ortam sıcaklığında gerçekleştirilmiş ve her kat yaklaşık 35 mikron kalınlığında uygulanmıştır.

Boya uygulamasını takiben, kürlenme işlemi iki aşamalı olarak yapılmıştır. İlk aşamada, boyanan numuneler oda sıcaklığında (23°C) 10 saat süreyle bekletilerek solventlerin kontrollü şekilde buharlaşması ve ön kürlenme sağlanmıştır. Bu sürecin ardından, boya filminin tam sertleşmesini ve kimyasal dayanımının artırılmasını sağlamak amacıyla, numuneler 70°C sıcaklıktaki fırında 40 dakika süreyle kürlenmiştir.

Çizelge 4.3: Boyama parametreleri.

Parametre	Uygulanan Değer
Boya Karışım Oranı	%100 boya : %50 sertleştirici : %40 tiner
Karışım Viskozitesi	20 ± 2 saniye (DIN 4 Cup, 20°C)
Tabanca Meme Çapı	1.3 mm
Tabanca Hava Basıncı	2.2 ± 0.1 bar
Uygulama Kat Sayısı	2 kat
Katlar Arası Bekleme Süresi	7 ± 1 dakika
Uygulama Ortam Sıcaklığı	23 ± 2°C
Uygulanan Katman Kalınlığı	35 ± 5 µm (her kat)
Oda Sıcaklığında Bekleme	10 saat
Fırın Kürlenme	70°C’de 40 dakika

Son aşamada, boyama işlemi tamamlanan numuneler görsel olarak değerlendirilmiştir. Kaplama yüzeyinde kabarcık, çatlama, akma, portakal kabuğu görünümü veya renk farklılıkları gibi olası kusurlar detaylı biçimde incelenmiştir. Görsel kontrolden geçen

numuneler, deneysel testler öncesinde şartlandırma sürecine tabi tutulmuştur. Şartlandırma işlemi, 23 ± 2 °C sıcaklık ve $\%50 \pm 5$ bağıl nem ortamında 24 saat süreyle gerçekleştirilmiştir. Bu standart iklimlendirme süreci, kaplama performansının tutarlı ve güvenilir şekilde değerlendirilebilmesi için gerekli nem ve sıcaklık dengesini sağlamaya yöneliktir.

4.2 Kullanılan Kimyasallar

Deneysel çalışmalarda aşağıda belirtilen malzemeler kullanılmıştır.

- Polipropilen (PP) esaslı granül hammadde, Ekin Kimya firmasından tedarik edilmiştir.
- Tinuvin® 770 (UV stabilizatörü, farklı oranlarda: %2, %4, %6), IMCD Türkiye üzerinden tedarik edilmiştir.
- 3M™ Polyolefin Adhesion Promoter (klorlanmış poliolefin bazlı astar), 3M Türkiye yetkili bayisi aracılığıyla tedarik edilmiştir.
- Sayerlack 2K Poliüretan Bazlı Akrilik Boya – Kırmızı (RAL 3020) boyama işlemi için kullanılmıştır. Sayerlack Türkiye distribütörü olan Gentaş Kimya firmasından tedarik edilmiştir.
- Yüzey gerilim sıvısı (ön işlem sonrası yüzey enerjisi ölçümü amacıyla) BestDyne, KNK Kimya firmasından tedarik edilmiştir.
- Sülfürik asit (H_2SO_4) viskozite ölçümlerinde kullanılmıştır, Merck Türkiye firmasından tedarik edilmiştir.
- Etanol yoğunluk ölçümlerinde yardımcı çözücü olarak kullanılmıştır, ASR Kimya firmasından tedarik edilmiştir.

4.3 Kullanılan Ekipman ve Makineler

Bu çalışmada elde edilen veriler, çeşitli test sistemleri ve analiz cihazlarının kullanımıyla gerçekleştirilmiştir. Polimer malzemelerin karakterizasyonu, performans değerlendirmesi ve boya tutuculuğuna yönelik analizlerde; RAY-RAN marka erime akış indeksi (MFI) cihazı, Nüve marka MF 120 model kül fırını, Teknik Cam PC001 200 mm desikatör, Elektromag marka etüv cihazı ve AND marka HR-200 model hassas terazi gibi temel laboratuvar cihazları kullanılmıştır. Malzeme yüzey sertliğinin ölçümünde Zwick/Roell marka Shore D durometre; yanmazlık testlerinde ise Testex

TF311 Horizontal marka test kabini tercih edilmiştir. Çevresel koşullara dayanıklılığı belirlemek amacıyla Vötsch marka VC3 4250 model iklimlendirme kabini ile Nüve marka BM 402 model su direnci kabini kullanılmıştır. Kaplama kalitesi ve boya yapışma performansının değerlendirilmesi için BYK Gardner marka 5126 model cross cut bıçağı, BYK marka micro-TRI gloss model parlaklık ölçüm cihazı, Posipilot 5500 model boya kalınlık ölçüm cihazı ve Konica Minolta marka spektrofotometre cihazı kullanılmıştır. Ayrıca, renk kontrolü için Macbeth marka ışık kabini, yapışma testi için 3M marka 898 model adezyon bandı, yüzey enerjisi tayini için ise IPRAS marka test kalemleri kullanılmıştır. Numunelerin üretiminde ise Hürmak Zenith marka 200 tonluk enjeksiyon makinesi tercih edilmiştir. Kullanılan tüm cihazlar, deneysel sürecin güvenilirliğini ve tekrarlanabilirliğini sağlamak üzere düzenli olarak kalibrasyon ve bakım prosedürlerine tabi tutulmuştur. Kullanılan ekipman ve makinelerin ayrıntıları aşağıdaki gibidir.

4.3.1 IMF melt flow index- akışkanlık ölçüm cihazı

RAY-RAN marka melt flow akış analizi cihazı kullanılmıştır.



Şekil 4.1: Melt flow akış analizi testi cihazı.

4.3.2 Kül tayini test cihazı

Nüve Marka MF 120 model kül fırını kullanılmıştır.



Şekil 4.2: Kül fırını.

4.3.3 Desikatör

Teknik Cam PC001 200mm desikatör kullanılmıştır.



Şekil 4.3: Desikatör.

4.3.4 Etüv cihazı

Elektromag marka etüv cihazı kullanılmıştır.



Şekil 4.4: Etüv

4.3.5 Hassas terazi

AND marka HR-200 model hassas terazi kullanılmıştır.



Şekil 4.5: Hassas terazi.

4.3.6 Sertlik- Shore D ölçüm cihazı

Zwick/Roell marka Shore D ölçüm cihazı kullanılmıştır.



Şekil 4.6: Shore D ölçüm cihazı

4.3.7 Yanmazlık test kabini cihazı

Testex TF311 Horizontal marka yanmazlık test cihazı kullanılmıştır.



Şekil 4.7: Yanma test kabini.

4.3.8 İklimlendirme kabini

Vötsch marka VC3 4250 model iklimlendirme/sıcaklık uzun çevrim test cihazı kullanılmıştır.



Şekil 4.8: İklimlendirme test cihazı.

4.3.9 Su direnci kabini

Nüve marka BM 402 model su direnci kabini test cihazı kullanılmıştır.



Şekil 4.9: Su direnci kabini.

4.3.10 Cross cut cihazı

BYK Gardner marka 5126 model cross cut test bıçağı kullanılmıştır.



Şekil 4.10: Cross cut test cihazı.

4.3.11 Parlaklık ölçüm cihazı- glossmetre

BYK marka micro-TRI gloss model parlaklık ölçüm cihazı kullanılmıştır.



Şekil 4.11: Parlaklık ölçüm cihazı.

4.3.12 Boya kalınlık ölçüm cihazı

Posipilot marka 5500 model kalınlık ölçüm cihazı kullanılmıştır.



Şekil 4.12: Boya kalınlık ölçüm cihazı.

4.3.13 Renk kontrol kabini

Macbeth marka boya renk ölçüm kabini kullanılmıştır.



Şekil 4.13: Boya renk ölçüm kabini.

4.3.14 Cross cut adezyon test bandı

3M marka 898 model adezyon bant kullanılmıştır.



Şekil 4.14: Crosscut adhezyon bandı.

4.3.15 Test mürekkebi (test kalemleri)

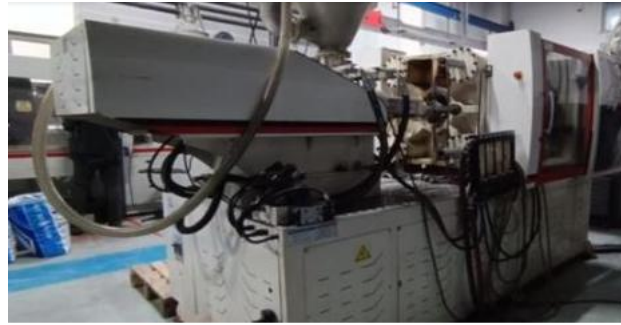
BestDyne marka test kalemleri yüzey enerjisi ölçümlerinde kullanılmıştır.



Şekil 4.15: Yüzey enerjisi test kalemleri.

4.3.16 Enjeksiyon makinesi

Test numunelerinin üretilmesi için Hürmak Zenith Marka200 Marka 200ton ekstrüzyon makinası kullanılmıştır.



Şekil 4.16: Enjeksion makinesi.

4.4 Karakterizasyon Çalışmaları

4.4.1 Yoğunluk tayini

Numunelerin yoğunluğu, ISO 1183-1 standardı doğrultusunda, gravimetrik ölçüm esasına dayanan kaldırma kuvveti (Arşimet prensibi) yöntemi ile belirlenmiştir. Bu yöntemle göre, bir katı cismin tamamen veya kısmen sıvı içerisine daldırılması durumunda, cisim yer değiştirdiği sıvı miktarına karşılık gelen bir kaldırma kuvvetine maruz kalır. Yoğunluk tayini işleminde numune önce havada, ardından yoğunluğu bilinen bir referans sıvı içerisinde tartılmış; her iki ölçüm değeri kullanılarak numunenin hacmi ve dolayısıyla yoğunluğu hesaplanmıştır.

Yoğunluk ölçüm sonuçlarına dayanarak, elde edilen bulgular aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\rho = \frac{\rho_0 \times A}{B} \quad (4.1)$$

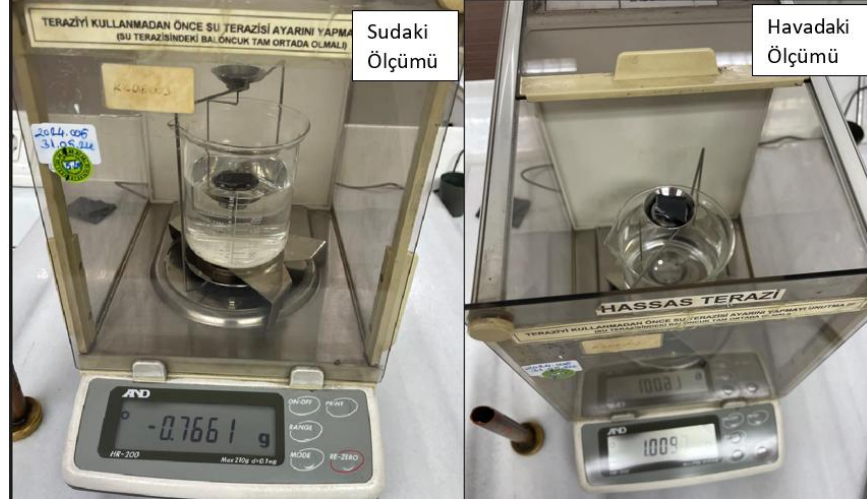
ρ = Numunenin yoğunluğu (g/cm³)

A = Numunenin havadaki kütlesi (g)

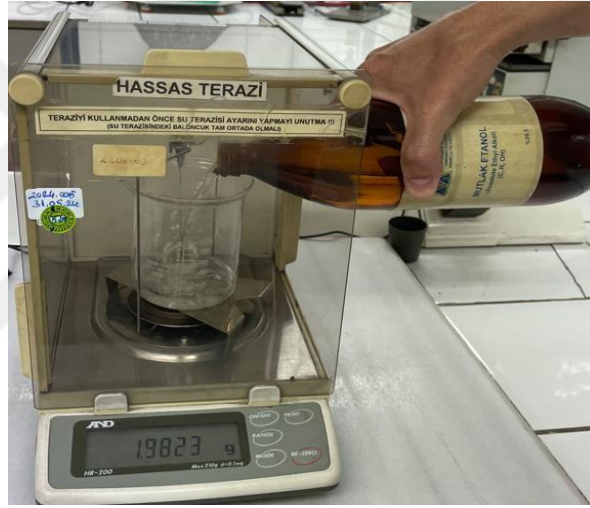
B = Numunenin yardımcı sıvı içindeki kütlesi (g)

ρ_0 = Yardımcı sıvının yoğunluğu (g/cm³)

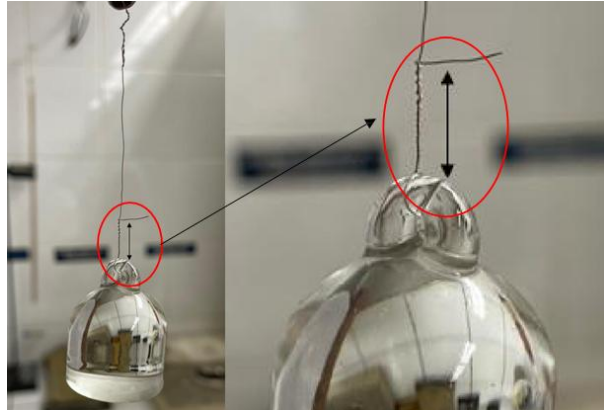
Yardımcı sıvının yoğunluğu (ρ_0) cam kütlenin sudaki ağırlığı (7,83 g)'nın 10,1cm³'e bölünmesiyle hesaplanarak 0,7830 g/cm³ olarak bulunmuştur.



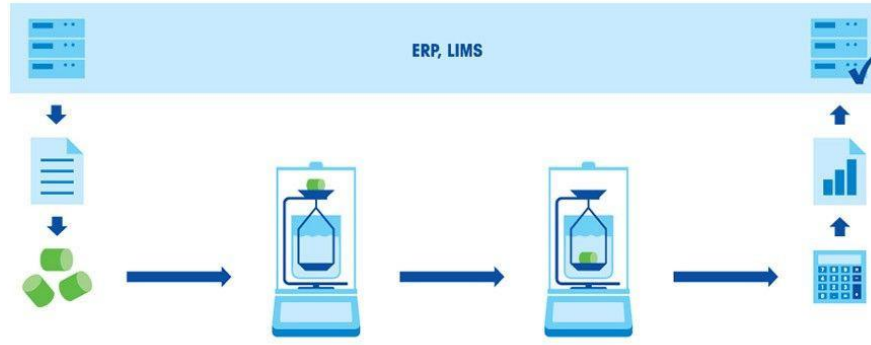
Şekil 4.17: Gravimetrik yoğunluk tayini için numunenin havada ve sıvı ortamda tartım aşamaları.



Şekil 4.18: Yardımcı sıvı ile yoğunluk tayini prensibi.



Şekil 4.19: Deneysel yoğunluk tayininde kullanılan cam kütle ve ölçüm mesafesinin (10,01 mm) gösterimi.



Şekil 4.20: Arşimet prensibine dayalı gravimetrik yoğunluk ölçüm düzeni.

4.4.2 Erime akış indeksi (MFI) analizi

ASTM D1238 standardına uygun olarak, polimer malzemelerin erime akış indeksi (MFI) değerleri belirlenmiştir. MFI, bir polimerin sabit sıcaklık ve yük altında belirli bir süre içinde akıttığı erimiş kütle miktarını ifade eder. Bu parametre, malzemenin reolojik davranışını ve işlenebilirliğini değerlendirmek açısından kritik öneme sahiptir. Elde edilen MFI değerleri, üretim sürecine uygunluğun değerlendirilmesi ve malzeme kalitesinin karşılaştırmalı analizi için temel veri sağlamaktadır. Özellikle otomotiv endüstrisi gibi hassasiyet gerektiren uygulamalarda, MFI ölçümleri ürün performans gereksinimlerinin karşılanmasında önemli bir role sahiptir.



Şekil 4.21: Test numunelerinin 80 °C sıcaklıkta, 3 saat süreyle ön kurutma işlemine tabi tutulması.

MFI ölçümleri öncesinde, cihazın hazırlık aşamasında die ve nozzle, piston boşluğuna dikkatlice yerleştirilmiş, bu işlem sırasında ısıya dayanıklı bakalit çubuk kullanılmıştır. Polipropilen malzeme için test 230 °C sıcaklıkta yapılmış ve erime akış indeksi ölçülmüştür. (Denklem 4.2). Analziler 5 paralel ölçüm olarak yapılmıştır. Elde edilen veriler aritmetik ortalama alınarak değerlendirilmiştir.

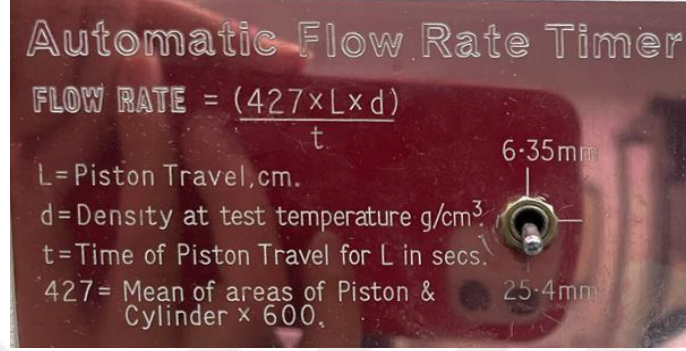
Erime Akış İndeksi (MFI), aşağıda verilen formül yardımıyla hesaplanmıştır:

$$MFI = \frac{427 \times (L \times d)}{t} \quad (4.2)$$

L: Belirli bir süre içerisinde ekstrüde edilen polimer malzemenin uzunluğu (cm)

d: Test sıcaklığında ölçülen polimerin yoğunluğu (g/cm³)

t: Cihaza ait zamanlayıcı (autotimer) ile ölçülen süre (saniye)



Şekil 4.22: Cihaz ekranında formülasyon bilgilerinin gösterimi.



Şekil 4.23: MFI cihazı kullanılarak L mesafesinin ölçümü sırasında, plastik hammadde eriyik formda ekstrüde edilirken gösterimi.

4.4.3 Erime Shore D sertlik ölçümü

Polimer numunelerin yüzey sertliği, Shore D sertlik ölçüm yöntemi ile tayin edilmiştir.

Bu yöntem, rijit polimer malzemelerin belirli bir kuvvet altında uygulanan baskıya

karşı gösterdiği yüzey direncine dayanmaktadır. Sertlik ölçümleri, ISO 868 standardına uygun şekilde gerçekleştirilmiştir.

Testler öncesinde, kullanılan Shore D durometre cihazının işlevselliği kalibrasyon bloğu üzerinde yapılan ölçümler ile doğrulanmış ve cihazın standart değerlerle uyumlu çalıştığı teyit edilmiştir. Sertlik ölçümüne tabi tutulacak polimer numuneleri, düzgün ve temiz yüzey özelliklerine sahip olacak şekilde hazırlanmış; numune kalınlığının minimum 6 mm olması sağlanmıştır. Kalınlık yetersizse, birden fazla numune üst üste yerleştirilerek gerekli ölçüt sağlanmıştır. Ölçümler, 23 ± 2 °C sıcaklık ve $\%50 \pm 5$ bağıl nem koşullarında, numunelerin test ortamında en az bir saat bekletilmesiyle gerçekleştirilmiştir.

Durometre cihazı, test yüzeyine dik konumda yerleştirilmiş; indenter ucunun yüzeye temas etmesinin ardından sabit bir kuvvet uygulanarak, 15 saniye sonunda cihaz göstergesinden değer okunmuştur. Her bir numune üzerinde farklı noktalardan en az beş ayrı ölçüm yapılmış ve bu ölçümlerin aritmetik ortalaması alınarak nihai sertlik değeri elde edilmiştir. Granül hammadde numunesi için Shore D sertlik ölçümü gerçekleştirilmemiştir.

4.4.4 Yanma hızı ölçümü (flammability)

Numunelerin yanma davranışlarını incelemek amacıyla gerçekleştirilen bu deneysel çalışma, ISO 3795 standardı esas alınarak yürütülmüştür. Testler, numunelerin belirli koşullar altında yanma eğilimlerini ve hızlarını değerlendirmek amacıyla yapılmıştır. Deneyde, ISO 3795 standardının öngördüğü ölçüsel ve çevresel şartlara uygun olarak hazırlanmış PP esaslı malzemeler kullanılmıştır. Her bir test numunesi, 356 mm uzunluğunda, 100 mm genişliğinde ve 2 mm kalınlığında olacak şekilde kesilerek maksimum 13 mm kalınlığı aşmayacak biçimde hazırlanmıştır. Numuneler, 23 ± 2 °C sıcaklık ve $\%50 \pm 5$ bağıl nem koşullarında en az 24 saat süreyle koşullandırılmış, ayrıca nemli ortamda 72 saat bekletilerek test öncesi standart çevresel dengelemeleri sağlanmıştır.

Deney sırasında, yanma test cihazı içerisinde numuneler uygun şekilde sabitlenmiş ve belirlenen prosedüre uygun biçimde ateşleme işlemi uygulanmıştır. Test boyunca, alev ilerleme hızı gözlemlenmiş ve süre ölçümleri hassas bir kronometre aracılığıyla yapılmıştır. Çelik cetvel yardımıyla alevin ilerlediği mesafe belirlenmiş ve beş ayrı test koşulu altında yapılan ölçümler değerlendirilmiştir. Bu ölçümler arasında elde edilen

en yüksek yanma hızı değeri, değerlendirmeye esas alınmıştır. ISO 3795 standardına göre kabul edilebilir maksimum yanma hızı 100 mm/dakika olup, test sonuçlarının bu sınırı aşmaması gerekmektedir.

Numunelerin yanma süresi ve hızı, belirtilen formüller kullanılarak hesaplanmıştır.

$$V = \frac{254 \text{ mm} \times 60}{t} \quad (4.3)$$

V = Yanma Hızı (mm/dk)

t = Belirlenen iki mesafe arası yanma süresi

Deneyin yürütülmesinde kullanılan ekipmanlar arasında, ilgili yanma test düzeneği, en az 0.5 saniye hassasiyetle ölçüm yapabilen dijital kronometre ve 0.5 mm hassasiyetli çelik cetvel yer almaktadır. Deneyin uygulama sürecini ve numunenin test düzeneğindeki konumunu gösteren bir görsel aşağıda sunulmuştur.



Şekil 4.24: Yanma testi kabinde numunenin konumlandırılması ve deney uygulaması



Şekil 4.25: Yanma testi öncesi ve sonrası numunenin yanma haznesindeki görünümü.

4.4.5 Kül tayini

Polimer malzemelerin içeriğinde bulunan inorganik bileşenlerin oranını belirlemek amacıyla gerçekleştirilen kül tayini işlemleri, D10 1145/-- standardı esas alınarak yürütülmüştür. Deney sürecinde yüksek sıcaklık altında gerçekleştirilen kalsinasyon yöntemi ile organik bileşenler ortamdan uzaklaştırılarak yalnızca inorganik kalıntılar ölçülmüştür.

Deneyisel uygulamalarda, 0.1 mg hassasiyetli analitik terazi, 1000 ± 20 °C'ye kadar ısıtma kapasitesine sahip etüv, desikatör, kroze ve Bec Bunsen cihazı kullanılmıştır. Ölçüm süreci, krozenin ön ısıtma işleminden geçirilmesiyle başlamış; kroze önce tartılmış, ardından 800 ± 20 °C'de 1 saat boyunca fırınlanmıştır. Isıtma işlemi sonrası desikatörde soğutulan kroze yeniden tartılmış, iki tartım arasındaki farkın 0.1 mg'dan az olması sağlanarak sistemin dengeye ulaştığı doğrulanmıştır.

Kurutulmuş ve soğutulmuş numuneler, daha önce tartımı yapılmış kroze içerisine yerleştirilmiş ve birlikte tekrar tartılarak toplam kütle (M_2) elde edilmiştir. Numune miktarı 1-4 gram aralığında tutulmuştur. Numunenin içerdiği organik bileşenlerin tamamen uzaklaştırılması amacıyla kroze, amiyant tel üzerine yerleştirilerek Bec Bunsen alevinde ön yakma işlemine tabi tutulmuştur. Bu işlem sonrası, kroze 800 ± 20 °C sıcaklıktaki fırına alınarak 4 ± 0.5 saat boyunca kalsinasyona bırakılmıştır. Isıl işlem sonrasında desikatörde soğutulan kroze tekrar tartılarak nihai kütle (M_3) kaydedilmiştir.

Elde edilen bu ölçümler için kül yüzdesi, aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır:

$$Kül\ yüzdesi\ (\%) = \frac{M_3 - M_1}{M_2 - M_1} \times 100 \quad (5.4)$$

M_1 (g): Boş krozenin sabit kütleyle ulaştıktan sonraki net ağırlığıdır. Fırınlama ve desikatörde soğutma işlemlerinden sonra ölçülmüştür.

M_2 (g): Kurutulmuş numune ile birlikte krozenin toplam ağırlığıdır.

M_3 (g): Kül tayini işlemi sonrasında, kroze ve içerisinde kalan külün birlikte tartıldığı toplam ağırlıktır.

Kül Miktarı (g): Kül tayini sonrası ölçülen toplam kütleden boş kroze ağırlığının çıkarılmasıyla hesaplanır: Kül Miktarı = $M_3 - M_1$

Materyal Miktarı (g): Numune ile birlikte tartılan toplam kütleden boş krozenin ağırlığının çıkarılmasıyla hesaplanır: Materyal Miktarı = $M_2 - M_1$



Şekil 4.26: Farklı oranlarda UV stabilizatörü katkısı içeren numunelerin kül fırını içerisindeki yerleşimlerinin gösterimi.

4.4.6 Yüzey enerjisi ölçümü

PP esaslı malzeme yüzeylerinin boya uygulamasına hazırlanmasında yüzey enerjisi kritik bir parametre olarak değerlendirilmiştir. Bu bağlamda, yüzey enerjisi tayini, ISO 8296 standardına uygun olarak test mürekkepleri yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmada, primer astar uygulanmış ve uygulanmamış PP malzeme yüzeyleri karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Yüzey enerjisi belirleme işlemi, astar uygulamasından sonraki 15 dakika içerisinde gerçekleştirilmiş ve bu sürede yüzey özelliklerinin değişime uğramaması sağlanmıştır.

Testlerde, belirli yüzey gerilimi değerlerine karşılık gelen mürekkep kalemleri kullanılarak numunelerin yüzeyine yaklaşık 4-5 cm uzunluğunda çizgiler uygulanmıştır. Uygulanan mürekkebin yüzey üzerindeki dağılma davranışı gözlemlenmiş; sıvı filmin 2 saniyeden uzun süre dağılmadan kalması, mürekkebin yüzey tarafından taşınabildiğini göstermiş ve bu değer numunenin yüzey enerjisi olarak kabul edilmiştir. 2 saniyeden kısa sürede dağılma gözlemlenmişse, daha düşük yüzey gerilimli bir mürekkep ile test tekrarlanmıştır.

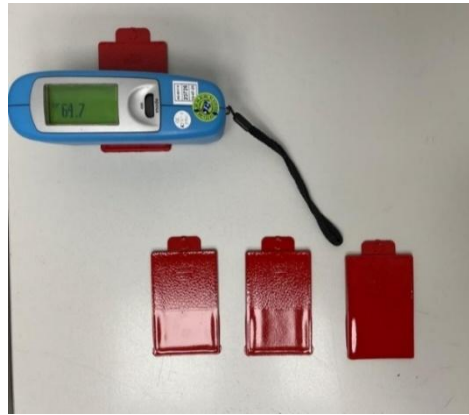
4.4.7 Parlaklık ölçümü

Parlaklık ölçümleri, ISO 2813:2014 – Boyalar ve Vernikler – Parlaklık Tayini standardı esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Görsel değerlendirmeler ise, üretici firma tarafından onaylanmış standart referans numuneye göre ve ilgili kalite kontrol protokolü çerçevesinde yürütülmüştür. Renk farklılıklarının değerlendirilmesinde, spektrofotometrik ölçüm yöntemi kullanılmış olup, Δ (delta) değerinin 0,4'ün altında olması uygunluk kriteri olarak belirlenmiştir. Bu sınır değeri, insan gözüyle algılanabilir renk farkının altında kalmayı hedefleyerek kaplama kalitesinin görsel bütünlüğünü güvence altına almayı amaçlamaktadır.

$\Delta = \Delta$ Gloss , Parlaklık değeri



Şekil 4.27: (a) RAL 3020 kodlu onaylı referans numune; (b) test edilmek üzere hazırlanan numuneler.



Şekil 4.28: Renk ölçüm cihazının numune yüzeyi üzerindeki konumlandırılması ve ölçüm uygulaması.

4.4.8 Adhezyon testi cross-cut yöntemiyle değerlendirme

Polipropilen esaslı malzemelerin kaplama sonrası yüzey tutuculuğunu değerlendirmek amacıyla, farklı oranlarda UV stabilizatörü katkısı içeren numuneler üzerinde çapraz kesme (Cross-Cut) yöntemiyle adhezyon testi gerçekleştirilmiştir. Testler, FLTM BI 106-01 teknik şartnamesi esas alınarak uygulanmıştır.

Test işlemi kapsamında, primer astar ve boya uygulanmış numunelerin yüzeylerine, özel kesim bıçağı kullanılarak en az 25 mm uzunluğunda, kaplama tabakasını tamamen delip alt tabakaya ulaşacak şekilde çizikler atılmıştır. Çizim işlemi, yaklaşık 2 mm aralıklarla tekrarlanarak hem Sınıf A bölgesi (görsel alan) hem de Sınıf B bölgesi (bağlantı sekmeleri gibi kenar alanlar) üzerine simetrik bir kutu deseni oluşturulacak biçimde uygulanmıştır.

Oluşturulan bu kutu deseninin üzerine, konturları takip edecek şekilde özel yapışkanlı test bandı yerleştirilmiş; bant, yüzeye yeterli düzeyde temas sağlaması amacıyla elle bastırılarak uygulanmıştır. Uygulamadan 90 ± 30 saniye sonra, bant yüzeyden sabit hızla ve kesintisiz bir biçimde – önce Sınıf B bölgesinden başlayarak Sınıf A yönünde çekilerek kaldırılmıştır.

Bantın yüzeyden ayrılması sonrası oluşan boya tabakasındaki olası soyulma, çatlama, pullanma ve zayıf yapışma gibi deformasyonlar görsel olarak incelenmiş ve her numune için ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

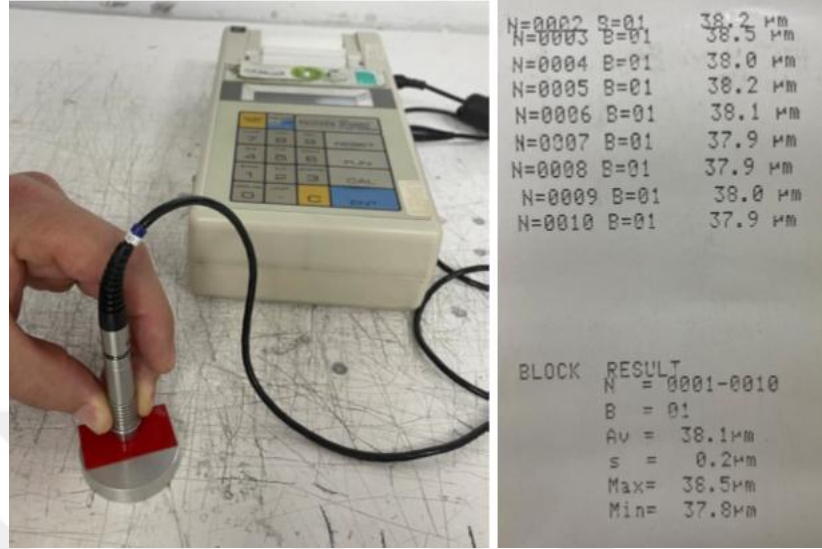


Şekil 4.29: Cross-cut testinde bant kaldırma uygulamasının gösterimi.

4.4.9 Boya kalınlığı ölçümü

Boya kalınlığı ölçümleri, ISO 2808 standardına uygun olarak Posipilot marka kaplama kalınlık ölçüm cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçümler, farklı bölgelerden referans alınarak yapılmıştır. Plastik yüzeylerde boya kalınlığının doğru şekilde belirlenebilmesi amacıyla, boyama işlemi sırasında referans olarak aynı anda boyanmış bir metal levha (master numune) kullanılmıştır. Yapılan boya kalınlığı ölçümlerinde, UV stabilizatörü katkılı PP numunelerin yüzeylerinde ortalama 38,1 μm değerinde, dar bir dağılım aralığına sahip kaplama kalınlıkları elde edilmiştir. Ölçümler ISO 2808 standardına uygun olarak, yüzeyin çeşitli bölgelerinden toplam 9

noktada alınmıştır. Bu değer aralığı, PP yüzeylerin kaplanmasında endüstride kabul gören 35–50 μm sınırları içerisinde kalmakta olup, hem boyama prosesinin homojenliğini hem de uygulamanın güvenilirliğini desteklemektedir.



Şekil 4.30: Boya kalınlığı ölçüm gösterimi.

4.4.10 Su direnci testi

PP esaslı boya kaplamalı malzemelerin suya karşı dayanım performansını değerlendirmek amacıyla, FTLM BI 104-01 test metoduna uygun olarak suya daldırma testi gerçekleştirilmiştir. Test, plastik parçaların yanı sıra temsil niteliği taşıyan test panelleri üzerinde uygulanmıştır.

Test panelleri, her birinin boyutu 75 mm $\times$ 108 mm olacak şekilde hazırlanmış ve birbirleri ile kap duvarına en az 10 mm mesafe bırakılarak yerleştirilmiştir. Suyun panel yüzeyinde serbestçe dolaşabilmesi sağlanmıştır. Su banyosunun sıcaklığı 32 ± 1 °C olarak ayarlanmış; suyun iletkenliği ise en fazla 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olacak biçimde kontrol edilmiştir. Kullanılan suyun toplam çözünmüş katı madde içeriği 5 ppm'i geçmeyecek şekilde ve iletkenlik değeri 20 $\mu\text{S}/\text{cm}$ altında tutulmuştur.

Test süresince panellerin yaklaşık üçte ikilik kısmı suya daldırılmış ve maruziyet sonrası numuneler çıkarılarak yüzey sıvıları dikkatlice kurutulmuştur. Numuneler, çıkarıldıktan sonraki 30 dakika içerisinde; kabarma, matlaşma, renk değişimi, boya yapışması ve yumuşama gibi olası yüzey bozulmaları açısından görsel olarak değerlendirilmiştir. Yapışma testinde, yüzeye "X" formunda çizik uygulanmış ve

ardından test bandı yapıştırılıp belirli bir açı ve hızda çekilerek boya yüzeyinde meydana gelen ayrılmalar kaydedilmiştir.

4.4.11 Isıl yaşlandırma (termal iklimlendirme) testi

Numunelerin ısıl yaşlandırma koşullarında gösterdiği fiziksel ve yapışma davranışlarını değerlendirmek amacıyla, sıcaklık kontrollü bir iklimlendirme testi gerçekleştirilmiştir. Test uygulaması, ISO 188:2011 – Kauçuk ve Termoplastik Malzemelerin Isıl Yaşlandırma Yöntemleri standardı temel alınarak yürütülmüştür.

Deneysel işlem için Vötsch marka iklimlendirme test kabini kullanılmış; numuneler, ısıya bağlı bozulmaları değerlendirmek amacıyla 100 °C sıcaklıkta 24 saat süreyle kabin içerisinde bekletilmiştir. Test süresi boyunca ortam nem oranı %0 olacak şekilde sabit tutulmuş ve nem etkisinden bağımsız bir ısıl yükleme koşulu sağlanmıştır. Yaşlandırma sonrasında, numuneler oda sıcaklığında soğutulmuş ve boya tabakasının yapışma performansını belirlemek amacıyla çapraz kesme (Cross-Cut) testi uygulanmıştır. Yapılan değerlendirme ile yüksek sıcaklığın kaplama bütünlüğü üzerindeki etkileri gözlemlenmiş ve UV stabilizatörü katkı oranlarıyla ilişkilendirilerek yorumlanmıştır.



Şekil 4.31: Vötsch marka iklimlendirme kabininde ısıl yaşlandırma uygulaması.



Şekil 4.32: Test kabini ekranında gözlemlenen sıcaklık ayarı (100 °C) ve nem oranı (%0).

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yüzey gerilimi, bir sıvının yüzeyindeki moleküllerin birbirine uyguladığı kuvvetin bir sonucu olmaktadır. Bu kuvvet, sıvının yüzeyini küçülterek daha az enerjiyle daha küçük bir alan kaplamaya çalışmasına neden olmaktadır. Yüzey gerilimi, sıvının bir katı yüzeye temas ettiği durumda, sıvı moleküllerinin katı yüzeye uyguladığı çekim kuvvetiyle dengelenmektedir. Bu denge, sıvı ve katı arasındaki moleküler etkileşimlere, özellikle de yüzeydeki moleküllerin bağlanma şekillerine ve sıvının fiziksel özelliklerine bağlı olmaktadır. UV stabilizatörü katkısının PP esaslı malzemelerin yüzey gerilimine etkisinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen karakterizasyon çalışmalarında elde edilen bulgular aşağıda sunulmaktadır.

5.1 Yoğunluk Tayini Sonuçları

Yoğunluk ölçüm sonuçları, PP esaslı malzemeye farklı oranlarda UV stabilizatörü katkısı ilavesiyle yapılan modifikasyonun, malzemenin yoğunluğu üzerinde sınırlı bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Çizelge 5.1’de sunulan verilere göre, katkısız granül hammadde ve katkısız numunenin yoğunlukları neredeyse eşdeğer bulunmuş (yaklaşık 1,045 g/cm³), bu durum işleme sürecinin yoğunluk üzerinde anlamlı bir değişikliğe yol açmadığını göstermektedir.

Çizelge 5.1: Yoğunluk ölçüm sonuçları.

Numune	Kompozisyon	Yoğunluk (g/ cm ³)
D0	Granül PP	1,04511
D1	UV Stabilizatörü Katkısız PP	1,04503
D2	%2 UV Stabilizatörü Katkılı PP	1,04500
D3	%4 UV Stabilizatörü Katkılı PP	1,03870
D4	%6 UV Stabilizatörü Katkılı PP	1,02720

%2 UV stabilizatörü katkı oranında yoğunlukta çok düşük bir azalma (1,04500 g/cm³) gözlenmiştir. Bu değer, katkının polimer matrise homojen şekilde dağıldığını ve düşük oranlı katkıların hacimsel özelliklerde kayda değer bir değişim oluşturmadığını teyit etmektedir. Ancak katkı oranı %4’e yükseltildiğinde yoğunlukta dikkat çekici bir düşüş (1,03870 g/cm³) meydana gelirken, %6 katkıda ise bu düşüş daha belirgin hale gelerek 1,02720 g/cm³ seviyesine gerilemiştir.

Yoğunluk ölçüm sonuçları, UV stabilizatörü katkısının düşük oranlarda kullanılması halinde malzeme özelliklerinde anlamlı bir değişim oluşturmadığını, ancak katkı oranı

arttıkça polimer matrisin fiziksel karakteristiklerinde belirgin azalmalar meydana geldiğini ortaya koymuştur.

5.2 Erime Akış İndeksi (MFI) Sonuçları

PP esaslı malzemelerin MFI değerleri Çizelge 5.2’de sunulmaktadır. MFI testi sonuçlarına göre, UV stabilizatörü katkı oranının artışıyla birlikte PP esaslı numunelerin akışkanlığında belirgin bir artış meydana gelmiştir. Katkısız granül hammaddenin ortalama MFI değeri 13,55 g/10 dk’dır. PP esaslı kontrol numunesinin ortalama MFI değeri 14,78 g/10 dk’ye yükselmiştir. UV stabilizatörü katkı ilavesi ile ve katkı oranı arttıkça malzemelerin MFI değerleri kademeli olarak artış göstermiştir.

Çizelge 5.2: MFI erime akış indeksi değerleri.

Numune	Kompozisyon	Ortalama $\pm$ std sapma (g/10dk)
D0	Granül PP	13,55 $\pm$ 0,26
D1	UV Stabilizatörü Katkısız PP	14,78 $\pm$ 0,23
D2	%2 UV Stabilizatörü Katkılı PP	15,32 $\pm$ 0,24
D3	%4 UV Stabilizatörü Katkılı PP	16,06 $\pm$ 0,16
D4	%6 UV Stabilizatörü Katkılı PP	16,41 $\pm$ 0,24

Bu eğilim, UV stabilizatörü katkı maddesinin polimer zincirleri arasında kayganlaştırıcı veya akışkanlaştırıcı bir etki yarattığını ve böylece polimerin erime viskozitesini düşürdüğünü göstermektedir.

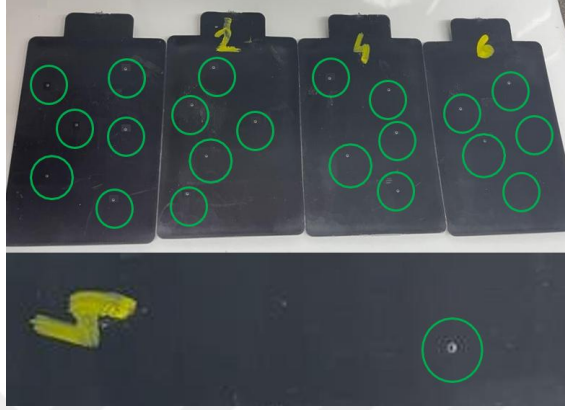
5.3 Erime Shore D Sertlik Ölçümü Sonuçları

Shore D sertlik ölçüm sonuçlarına göre, UV stabilizatörü katkısız (D1) numunede beş ölçümün ortalaması 67,6 olarak belirlenmiştir. %2 UV stabilizatörü katkılı (D2) numunede ölçümler 65,3 ile 66,3 arasında değişmiş ve ortalama sertlik değeri 65,7 olmuştur. %4 UV stabilizatörü katkılı (D3) numunede yapılan ölçümlerde değerler 64,4 ile 65,3 arasında değişmiş ve ortalama 64,8 olarak hesaplanmıştır. %6 UV stabilizatörü katkılı (D4) numunede ise ölçümler 63,7 ile 64,4 arasında değişmiş, ortalama değer 64,1 olarak belirlenmiştir.

Elde edilen verilere göre, katkı oranı arttıkça ortalama sertlik değerlerinde kademeli bir azalma meydana gelmiş, tüm numunelerde ölçüm değerleri birbirine yakın ve dağılım aralıkları dar kalmıştır.

Çizelge 5.3: Shore D sertlik ölçüm sonuçları.

Numune	Kompozisyon	Sertlik Ölçüm Ort. Std. Sapma
D1	UV Stabilizatörü Katkısız PP	67.6±0,75
D2	%2 UV Stabilizatörü Katkılı PP	65.7±0,42
D3	%4 UV Stabilizatörü Katkılı PP	64.8±0,34
D4	%6 UV Stabilizatörü Katkılı PP	64.1±0,30



Şekil 5.1: Shore D sertlik ölçümünde indenter ucunun numune ile teması.

5.4 Yanma Hızı Ölçümü (flammability) Sonuçları

Yanma testi uygulanan PP esaslı malzemelerin işaret çizgisine kadar aktif olarak yanmaya devam ettiği gözlemlenmiştir. Farklı oranlarda ilave edilen UV stabilizatörü katkısına bağlı olarak hesaplanan yanma hızları Çizelge 5.4'te sunulmuştur.

Yanma hızı ölçüm sonuçlarına göre, UV stabilizatörü katkısız (D1) numunenin yanma hızı 34,24 mm/dk olarak belirlenmiştir. %2 UV stabilizatörü katkılı (D2) numunede bu değer 34,87 mm/dk'ya yükselmiş, %4 UV stabilizatörü katkılı (D3) numunede 35,26 mm/dk olarak ölçülmüştür. %6 UV stabilizatörü katkılı (D4) numunede ise yanma hızı 35,68 mm/dk olarak kaydedilmiştir.

Çizelge 5.4: Yanma hızı ölçüm sonuçları.

Numune	Kompozisyon	Yanma Hızı (mm/dk)
D1	UV Stabilizatörü Katkısız PP	34,24
D2	%2 UV Stabilizatörü Katkılı PP	34,87
D3	%4 UV Stabilizatörü Katkılı PP	35,26
D4	%6 UV Stabilizatörü Katkılı PP	35,68

Elde edilen sonuçlar, katkı oranı arttıkça yanma hızında az da olsa kademeli bir artış olduğunu göstermiştir. Yanma hızlarındaki bu artış, katkı oranı ile birlikte düzenli bir şekilde ilerlemiş ve ölçüm değerleri birbirine yakın bir dağılım göstermiştir.

5.5 Kül Tayini Sonuçları

Elde edilen hesaplamada %kül miktarı Çizelge 5.5'te bulunan, ölçüm sonuçlarına göre granül hammadde (D0) numunesinde kül oranı %20,14 olarak belirlenmiştir. UV stabilizatörü katkısız (D1) numunede bu oran %20,17 ile benzer seviyede kalmıştır.

%2 UV stabilizatörü katkılı (D2) numunede kül miktarı %19,75'e düşmüş, %4 UV stabilizatörü katkılı (D3) numunede %18,68 olarak ölçülmüş ve %6 UV stabilizatörü katkılı (D4) numunede ise kül oranı %18,59 olarak kaydedilmiştir. Elde edilen verilere göre, katkı oranı arttıkça kül miktarında düzenli bir azalma meydana gelmiş, bu azalma özellikle %4 ve %6 katkılı numunelerde daha belirgin hale gelmiştir.

Çizelge 5.5: PP esaslı malzemelerin kül miktarı (%)

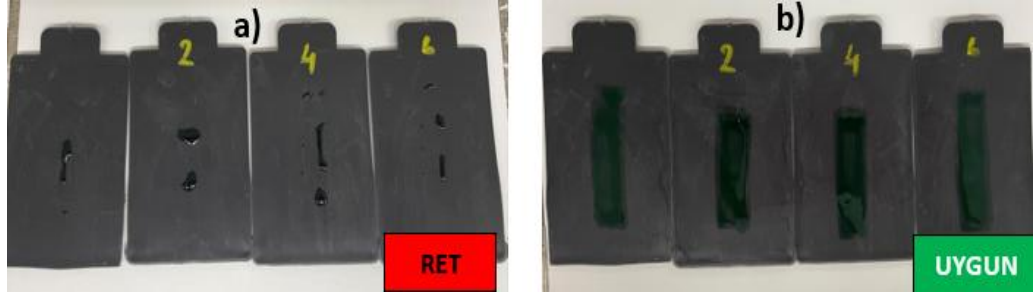
Numune	Kompozisyon	Kül miktarı (%)
D0	Granül PP	20,14
D1	UV Stabilizatörü Katkısız PP	20,17
D2	%2 UV Stabilizatörü Katkılı PP	19,75
D3	%4 UV Stabilizatörü Katkılı PP	18,68
D4	%6 UV Stabilizatörü Katkılı PP	18,59

5.6 Yüzey Enerjisi Ölçümü Sonuçları

Yüzey gerilimi test sonuçlarına göre, primer astar uygulanmadan önce numunelerin yüzey gerilimi 32–44 DYN aralığında kalmış ve yüzeyde sıvı dağılmamıştır. Buna karşılık, primer astar uygulaması sonrası yüzey gerilimi 68–72 DYN seviyelerine yükselmiş ve sıvı yüzeye düzgün şekilde yayılmıştır.

Şekil 5.2'de de açıkça görüldüğü gibi, primer uygulanmamış numuneler uygun olmayan (RET) sonuç verirken, primer uygulanmış numuneler uygun (UYGUN) sonuç göstermiştir. Bu durum, primer uygulamasının yüzey gerilimini artırarak boya tutunabilirliği için gerekli yüzey şartlarını sağladığını ortaya koymuştur. Literatürde, plazma işlemleri, kimyasal astarlar ve ön işlem tekniklerinin polipropilen yüzey enerjisini artırarak boya ile uyumunu geliştirdiği rapor edilmiştir (Santos ve diğ., 2007). Bu artışın adhezyon test sonuçlarına doğrudan olumlu yansıdığı

belirtilmektedir. Elde edilen bulgular, yüzey enerjisi artışı ile boya tutunma performansı arasındaki pozitif ilişkiyi vurgulayan çalışmalarla uyumludur.



Şekil 5.2: Yüzey gerilim sıvısının uygulama gösterimi a) Primer astar atılmamış malzeme, b) Primer astar atılmış malzeme.

Çizelge 5.6 : Numune yüzey gerilimi sonuçları.

Numune	Kompozisyon	Yüzey Gerilimi Primer Öncesi	Yüzey Gerilimi Primer Sonrası
D1	UV Stabilizatörü Katkısız PP	32-44 DYN	68-72 DYN
D2	%2 UV Stabilizatörü Katkılı PP	32-44 DYN	68-72 DYN
D3	%4 UV Stabilizatörü Katkılı PP	32-44 DYN	68-72 DYN
D4	%6 UV Stabilizatörü Katkılı PP	32-44 DYN	68-72 DYN

5.7 Parlaklık Ölçümü

Parlaklık ölçüm sonuçlarına göre, UV stabilizatörü katkısız (D1) numunenin ortalama parlaklık değeri 64,5 olarak belirlenmiş ve Δ Gloss değeri 0,3 olmuştur. %2 UV stabilizatörü katkılı (D2) numunenin ortalama parlaklık değeri 64,7; %4 UV stabilizatörü katkılı (D3) numunenin 64,5 ve %6 UV stabilizatörü katkılı (D4) numunenin ise 64,2 olarak ölçülmüştür.

Tüm numunelerde Δ Gloss değerleri düşük seviyede kalmış ve ölçüm noktaları arasında büyük farklılıklar gözlemlenmemiştir. Katkı oranı arttıkça ortalama parlaklık değerlerinde çok sınırlı bir değişim meydana gelmiş, değerler birbirine oldukça yakın seyretnmiştir.

Bu sonuçlar, UV stabilizatörü ilavesinin incelenen katkı oranlarında parlaklık değerleri üzerinde anlamlı bir değişim oluşturmadığını göstermektedir. Ölçümler arasındaki küçük farkların, katkı oranından ziyade ölçüm koşulları veya yüzey hazırlama sürecindeki minör varyasyonlardan kaynaklanabileceği

değerlendirilmektedir. Ayrıca, elde edilen veriler katkı miktarı ile parlaklık değeri arasında istatistiksel olarak güçlü bir korelasyon bulunmadığını ortaya koymakta olup, bu durum UV stabilizatörünün yüzeyin optik yansıtma özelliklerini koruduğunu desteklemektedir.

Çizelge 5.7: Parlaklık ölçüm sonuçları.

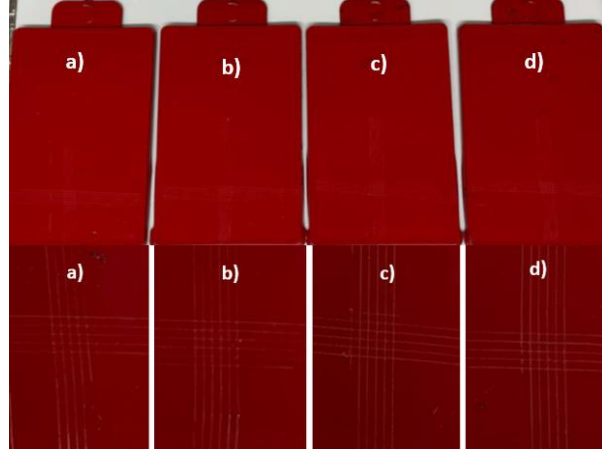
Numune	Kompozisyon	Ortalama Std. Sapma	Δ Gloss
D1	UV Stabilizatörü Katkısız PP	64,5±0,21	0,3
D2	%2 UV Stabilizatörü Katkılı PP	64,7±0,21	0,3
D3	%4 UV Stabilizatörü Katkılı PP	64,5±0,25	0,3
D4	%6 UV Stabilizatörü Katkılı PP	64,2±0,1	0,2

5.8 Adhezyon Testi Cross-Cut Yöntemiyle Değerlendirme Sonuçları

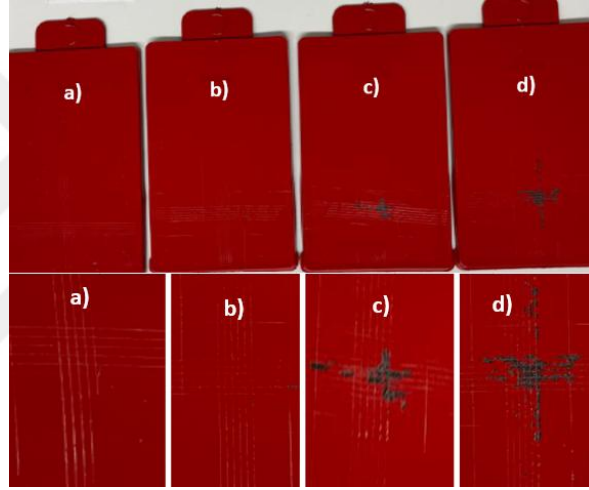
Farklı oranlarda UV stabilizatörü katkısı içeren numuneler üzerinde çapraz kesme testleri sonucunda yaşlandırma öncesi Şekil 5.3’de görüldüğü üzere, UV stabilizatörü katkısız (a) ve %2 UV stabilizatörü katkılı (b) numunelerde kesim sonrası boya yüzeyinde belirgin bir soyulma veya kalkma gözlemlenmemiştir. %4 (c) ve %6 (d) UV stabilizatörü katkılı numunelerde ise kesim bölgelerinde hafif boya ayrılmaları görülmüş, ancak bu ayrılmalar sınırlı kalmıştır.

Yaşlandırma sonrası Şekil 5.4’de görüldüğü üzere, UV stabilizatörü katkısız (a) ve %2 UV stabilizatörü katkılı (b) numuneler test sonrasında da yüzey bütünlüğünü büyük ölçüde korumuştur. Buna karşılık, %4 UV stabilizatörü katkılı (c) ve %6 UV stabilizatörü katkılı (d) numunelerde kesim bölgelerinde boya kalkmalarının daha yoğun hale geldiği ve özellikle %6 UV stabilizatörü katkılı numunede geniş alanlı boya ayrılmalarının meydana geldiği görülmüştür.

Bu durum, yaşlandırma sonrası yüksek katkı oranına sahip numunelerde çapraz kesme testine karşı dirençte gözle görülür bir zayıflama olduğunu göstermektedir. Yüksek oranda UV stabilizatörü kullanımının boya tabakası ile alt tabaka arasındaki kimyasal etkileşimi azaltabileceği ve bu nedenle optimum katkı oranının kritik olduğu literatürde vurgulanmıştır (Jiang ve diğ., 2007). Literatürdeki çalışmalar, özellikle yaşlandırma koşullarında yüksek katkı oranlarının adhezyon dayanımını düşürdüğünü, düşük ve orta oranların ise daha dengeli sonuçlar verdiğini göstermektedir. Bu eğilim, elde edilen deneysel sonuçlarla örtüşmektedir.



Şekil 5.3: UV stabilizatörü katkılı numunelerin yaşlandırma öncesi çapraz kesme (Cross-Cut) testine ait yüzey görünümü a) UV stabilizatörü katkısız, b) %2 UV stabilizatörü katkılı, c) %4 UV stabilizatörü katkılı, d) %6 UV stabilizatörü katkılı.



Şekil 5.4: UV stabilizatörü katkılı numunelerin yaşlandırma sonrası çapraz kesme (Cross-Cut) testine ait yüzey görünümü a) UV stabilizatörü katkısız, b) %2 UV stabilizatörü katkılı, c) %4 UV stabilizatörü katkılı, d) %6 UV stabilizatörü katkılı.

5.9 Boya Kalınlığı Ölçümü Sonuçları

Boya kalınlığı ölçüm sonuçlarına göre, UV stabilizatörü katkısız (D1) numunenin ortalama boya kalınlığı $38,10 \pm 0,20 \mu\text{m}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 5.8). değerler $37,8 \mu\text{m}$ ile $38,5 \mu\text{m}$ arasında değişmiştir. %2 UV stabilizatörü katkılı (D2) numunenin ortalama kalınlığı $37,98 \pm 0,10 \mu\text{m}$ olarak kaydedilmiştir.

%4 UV stabilizatörü katkılı (D3) numunede ortalama kalınlık $37,81 \pm 0,08 \mu\text{m}$ olarak belirlenmiştir. %6 UV stabilizatörü katkılı (D4) numunenin ortalama kalınlığı ise $37,70 \pm 0,07 \mu\text{m}$ olmuştur. Elde edilen bu sonuçlara göre, tüm numunelerde boya kalınlığı birbirine oldukça yakın çıkmış ve katkı oranı arttıkça kalınlıkta çok hafif bir

azalma eğilimi görülmüştür. Ölçümler arasındaki sapmalar düşük seviyede kalmış ve boya uygulaması sırasında kalınlıkların kontrollü şekilde sürdürüldüğü anlaşılmıştır. UV stabilizatörü katkısının boya tabaka kalınlığını doğrudan etkilemediği, ancak yüzey morfolojisini ve boya yayılım davranışını değiştirebileceği bildirilmektedir (Zhao ve diğ., 2019). Literatürde, boya kalınlığı kontrolünde katkı oranından ziyade uygulama parametrelerinin belirleyici olduğu ifade edilmekte olup, bu sonuç mevcut bulgularla paralellik göstermektedir.

Çizelge 5.8: Boya kalınlığı ölçüm sonuçları.

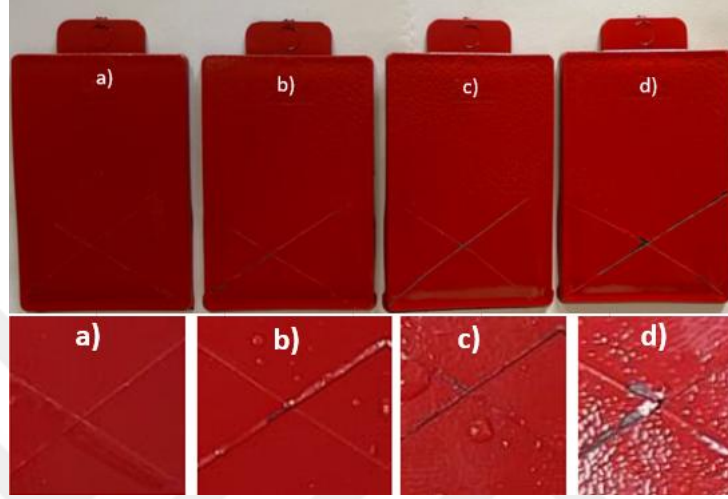
Numune	Kompozisyon	Ortalama Kalınlık (μm)
D1	UV Stabilizatörü Katkısız	$38,10 \pm 0,20$
D2	%2 UVStabilizatörü Katkılı	$37,98 \pm 0,10$
D3	%4 UV Stabilizatörü Katkılı	$37,81 \pm 0,08$
D4	%6 UV Stabilizatörü Katkılı	$37,70 \pm 0,07$

5.10 Su Direnci Testi Sonuçları

Su direnci testi sonucunda, Şekil 5.5'te görüldüğü üzere, su direnci testi öncesinde UV stabilizatörü katkısız, %2, %4 ve %6 UV stabilizatörü katkılı numunelerin yüzeylerinde herhangi bir kusur, boya kalkması, kabarma veya çatlama bulunmadığı gözlemlenmiştir. Tüm PP esaslı malzemelerin yüzey bütünlüğü korunmuş durumdadır. Buna karşılık, Şekil 5.6'da su direnci testi sonrası elde edilen görüntüler incelendiğinde, UV stabilizatörü katkısız ve %2 UV stabilizatörü katkılı numunelerde yüzeyde gözle görülür bir bozulma, boya ayrılması veya kabarma oluşmadığı; yüzeylerin test sonrasında da bütünlüğünü koruduğu anlaşılmaktadır. Ancak %4 UV stabilizatörü katkılı numunede suya maruz kalma sonrasında yüzeyde kabarcıklar, boya kalkmaları ve hafif yüzey deformasyonları meydana gelmiş; %6 UV stabilizatörü katkılı numunede ise bu etkilerin daha belirgin olduğu, boya yüzeyinde çatlamlar, kabarcık oluşumu ve boya ayrılmaları şeklinde bozulmaların ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. UV stabilizatörü katkısının polipropilen yüzeyinde hidrofilik fonksiyonel grupların oluşumunu sınırlayarak su direncini koruduğu, ancak yüzeydeki boya tabakasının uzun süreli su temasında mekanik olarak zayıflayabileceği belirtilmiştir (Wang ve diğ., 2005). Literatürdeki bu bulgular, su direncinin genel olarak korunmakla birlikte yüksek katkı oranlarında boya tabakasında yer yer ayrılmalar olabileceğini gösteren sonuçlarla örtüşmektedir.



Şekil 5.5: Test öncesinde numunelerin yüzey görünümleri a) UV stabilizatörü katkısız, b) %2 UV stabilizatörü katkılı, c) %4 UV stabilizatörü katkılı, d) %6 UV stabilizatörü katkılı.



Şekil 5.6: Test sonrasında numunelerin yüzey görünümleri a)UV stabilizatörü katkısız, b)%2 UV stabilizatörü katkılı, c)%4 UV stabilizatörü katkılı, d)%6 UV stabilizatörü katkılı.

5.11 Isıl Yaşlandırma Testi (Termal İklimlendirme) Sonuçları

Numunelerin ısıl yaşlandırma testi sonucunda, Şekil 5.7’de görüldüğü üzere, ısıl yaşlandırma öncesinde tüm numunelerin UV stabilizatörü katkısız, %2, %4 ve %6 UV stabilizatörü katkılı yüzeylerinde herhangi bir boya kalkması, çatlama veya yüzey bozulması gözlemlenmemiştir. Malzemelerin yüzey bütünlükleri korunmuş durumdadır.

Buna karşılık, Şekil 5.8’de ısıl yaşlandırma sonrasında elde edilen görseller incelendiğinde, UV stabilizatörü katkısız (a) numunenin yüzeyinde herhangi bir deformasyon veya boya ayrılması gözlenmemiştir. %2 UV stabilizatörü katkılı (b) numunede ise lokalize küçük boya kalkmaları oluşmuştur. %4 UV stabilizatörü katkılı (c) numunede boya yüzeyinde daha belirgin kabarma, çatlama ve boya ayrılmaları meydana gelmiş; %6 UV stabilizatörü katkılı (d) numunede ise geniş yüzeyli boya kalkmaları ve ciddi yüzey deformasyonları ortaya çıkmıştır.

Görüldüğü üzere, UV stabilizatörü katkı oranı arttıkça ısıl yaşlandırma sonrası boya yüzeyinde meydana gelen bozulmaların şiddeti artmış; özellikle yüksek UV stabilizatörü katkılı numunelerde kaplamanın ısıl dayanımının zayıfladığı anlaşılmıştır.



Şekil 5.7: Isıl yaşlandırma öncesinde UV stabilizatörü katkılı numunelerin yüzey görünümleri a) UV stabilizatörü katkısız, b) %2 UV stabilizatörü katkılı, c) %4 UV stabilizatörü katkılı, d) %6 UV stabilizatörü katkılı.



Şekil 5.8: Isıl yaşlandırma sonrasında UV stabilizatörü katkılı numunelerin yüzey görünümleri a) UV stabilizatörü katkısız, b) %2 UV stabilizatörü katkılı, c) %4 UV stabilizatörü katkılı, d) %6 UV stabilizatörü katkılı.

6. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılan polipropilen (PP) esaslı malzemelerin, farklı oranlarda UV stabilizatörü katkı ilavesiyle yüzey ve mekanik özelliklerinin nasıl değiştiği detaylı olarak incelenmiştir. UV stabilizatörü katkısının, malzemenin işlenebilirliği, boya tutunabilirliği ve çevresel koşullara karşı dayanımı üzerindeki etkileri çok yönlü testler ile değerlendirilmiştir.

Gravimetrik yöntemle yapılan yoğunluk tayinlerinde, katkı oranının artmasıyla birlikte önemli bir yoğunluk değişimi gözlenmemiştir. MFI analizlerinde, UV stabilizatörü katkı miktarının artışıyla birlikte erime akış indeksinde belirgin bir artış tespit edilmiştir. Bu durum, katkının malzemenin akışkanlığını artırarak enjeksiyon işlemlerinde işlenebilirliği kolaylaştırdığını göstermektedir. Ancak MFI değerindeki bu artışın çok yüksek seviyelere çıkması durumunda mekanik özellikler üzerinde olumsuz etkiler yaratabileceği unutulmamalıdır.

Sertlik testleri sonucunda, tüm katkı oranlarındaki numunelerin Shore D değerleri otomotiv uygulamalarına uygun seviyede bulunmuş, ancak UV stabilizatörü katkısı sertlik üzerinde doğrudan bir iyileştirme sağlamamıştır. Yanma hızı ölçümleri sonucunda, katkı oranı arttıkça yanma hızında sınırlı fakat dikkat çekici bir artış gözlenmiş, yine de numunelerin tamamı kabul edilebilir limitler içerisinde kalmıştır.

Kül tayini sonuçları, katkı miktarının artmasıyla birlikte kül oranının arttığını ve dolayısıyla katkı maddelerinin inorganik yapılarının kalıntı olarak analizde izlenebildiğini göstermiştir. Bu durum, formülasyonun doğru şekilde optimize edildiğini ve katkının malzeme içerisinde sabit oranlarda dağıldığını teyit etmektedir.

Boya tutunabilirliği açısından kritik olan adhezyon testleri, yaşlandırma öncesi ve sonrası olarak değerlendirilmiş; yaşlandırma sonrasında özellikle yüksek katkı oranlarında tutunma performansında gözle görülür düşüşler tespit edilmiştir. Bu durum, UV stabilizatörlerinin boya ile yüzey arasındaki bağ yapısını zayıflatabileceğini ve kaplama bütünlüğünü olumsuz etkileyebileceğini göstermektedir.

Yüzey gerilimi ölçümleri ISO 8296 standardına uygun olarak test mürekkepleri ile yapılmış, özellikle primer astar uygulamasının yüzey enerjisini ciddi oranda artırdığı belirlenmiştir. Bu da astarın boya tutunmasına katkı sağladığını ve uygulama öncesinde bu tür hazırlık işlemlerinin gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Su direnci testleri sonucunda, boyalı yüzeylerde ciddi bir kabarma ya da renk değişimi gözlemlenmemiş, yalnızca yüksek UV stabilizatörü katkılı numunelerde bant testinde yer yer yüzeyden boya ayrılmaları izlenmiştir. Boya kalınlığı ölçümleri de ISO 2808 standardı çerçevesinde yapılarak kabul edilebilir sınırlar içinde kalmıştır.

Tüm bu veriler birlikte değerlendirildiğinde, UV stabilizatörü katkısının düşük ve orta seviyelerde kullanımı, PP esaslı malzemelerin boyanabilirliğini ve üretim uygunluğunu desteklemekte, ancak katkı oranı arttıkça bazı mekanik ve yüzeysel özelliklerde zayıflamalar meydana gelmektedir. Bu durum, katkı maddesi oranlarının dikkatli şekilde belirlenmesi gerektiğini göstermektedir.

Çalışmanın sonuçları, geleneksel metal veya saf plastik malzemeler yerine, polimer bazlı ve katkı maddeleriyle zenginleştirilmiş malzemelerin, sanayideki çeşitli uygulamalar için sürdürülebilir bir alternatif oluşturabileceğini ortaya koymuştur. Özellikle plastik malzeme kullanımının çevresel etkilerini azaltmak, maliyetleri düşürmek ve performansı artırmak amacıyla yapılan bu tür modifikasyonların, hem endüstriyel üretim süreçlerinde hem de nihai ürün performansında olumlu katkılar sağladığı görülmüştür. UV stabilizatörü katkılı polimerlerin boya tutunabilirliği, yüzey dayanımı ve uzun vadeli stabilitesi gibi kritik özellikleri, test sonuçlarıyla detaylı biçimde değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler bu tür katkıların uygun oranlarda kullanılması durumunda fonksiyonel açıdan verimli sonuçlar sağlayabileceğini göstermiştir. Gelecekte, hammadde temini ve çevresel sürdürülebilirlik gibi küresel sorunlar göz önüne alındığında, katkı maddeleriyle güçlendirilmiş polimer sistemleri, yalnızca teknik gereklilikleri karşılamakla kalmayıp, aynı zamanda çevre dostu üretim anlayışına da hizmet edecektir. Bu doğrultuda, farklı türde doğal veya sentetik katkısının, polimer matrislerle etkileşimini inceleyen daha kapsamlı çalışmaların yapılması, yeni nesil mühendislik malzemelerinin geliştirilmesine önemli katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Ağırgan, M.** (2023). Otomotiv endüstrisinde kompozit malzeme kullanımı. *Electronic Journal of Vocational Colleges*, 13(2), 51-64. <https://doi.org/10.17339/ejovoc.1407005>.
- Altuğ, M., Yılmaz, Y.** (2023). Polipropilen (PP) esaslı organik takviyeli kompozitler. In: Y. Boztoprak, (Ed.), *Farklı Mühendislik Yaklaşımlarıyla Kompozit Malzemeler-II* <https://doi.org/10.58830/ozgur.pub172.c895>.
- Ateş, F., Bakıcı, A., Günaydın, A. C., Ensarioğlu, C., Çakır, M. C.** (2022). Otomobil çarpışma kutularında performans artırıcı yaklaşımların incelenmesi. *BAUN Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 24(2), 830-856. <https://doi.org/10.25092/baunfbcd.1025311>.
- Aydemir, C., Altay, B. N., Akyol, M.** (2020). Surface analysis of polymer films for wettability and ink adhesion. *Color Research & Application*, 46(1), 1–10. <https://doi.org/10.1002/col.22579>.
- Bamane, P. B., Jagtap, R. N.** (2021). Synthesis and characterisation of a non-halogenated water-based functional additive to improve ink-adhesion on untreated polypropylene surfaces. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 113, 103077. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2021.103077>.
- Bamane, P. B., Jagtap, R. N.** (2023). Development of a water-based functional additive by using isobornyl acrylate copolymer to improve ink-adhesion on untreated polypropylene surfaces: A comparative approach. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 121, 103311. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2023.103311>.
- Bennett, A., Liu, Z., Zhang, H.** (2020). Physical properties of polypropylene and its composite materials. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 135, 1-21.
- Beşergil, B.** (2024). *Ticari Plastikler; Polipropilen, Polistiren, Polivinilklorür, (PP, PS, PVC)*, https://bilsenbesergil.blogspot.com/p/blog-page_664.html.
- Brostow, W., Lu, X., Gencel, O., Osmanson, A.** (2020). Effects of UV stabilizers on polypropylene outdoors. *Materials*, 13(7), 1626. <https://doi.org/10.3390/ma13071626>.
- Chauhan, S. S., Mittal, G. S.** (2015). Crystallinity and Morphology of Polypropylene: Influence of the Tacticity of Polymer Chains. *Journal of Applied Polymer Science*, 132(4), 42083.

- Chen, Q., Li, M., Zhao, Y.** (2020). Flame retardancy of polypropylene composites and its applications. *Journal of Applied Polymer Science*, 137(12), 48433.
- Chen, Q., Yang, B., Zhang, Z., Zhang, J.** (2024). Different molecular structure of pigments versus traditional UV stabilizers on the UV irradiation life of HDPE. *Materials Today Communications*, 40, 109995. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2024.109995>.
- Çetinel, H.** (2000). Polietilen ve polipropilenin mekanik özelliklerinin incelenmesi. *Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2(3), 79-87. <https://doi.org/10.25092/7deumuh.12345>.
- Dağlıoğlu, Y., Özkan Yılmaz, H.** (2018). Nanopartikül karakterizasyon yöntemleri ve ekotoksosite deneylerindeki önemi. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, 1, 1-17. <https://doi.org/10.7240/marufbd.346547>.
- Duan, L., Wang, H., Yang, C.** (2017). Synthesis of polypropylene with metallocene catalysts: A review. *Journal of Applied Polymer Science*, 134(33), 45156.
- Düzyer, Ş.** (2019). Ultraviyole (UV) ışınlarının farklı teknik polyester ipliklerin özellikleri üzerine etkisinin incelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24(1), 253. <https://doi.org/10.17482/uumfd.514016>.
- Ford Motor Company.** (2011). FLTM BI 106-01: Cross cut adhesion test method. Ford Laboratory Test Method.properties. *Journal of Polymer Research*, 17(2), 133-139.
- Ganesan, S., Bhattacharyya, A., Sundaram, S.** (2020). Polypropylene and its properties: A review. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 59(12), 1321-1340.
- Gao, Y., Liu, Z., Zhang, H.** (2021). Chemical modification of polypropylene for enhanced performance. *Polymer Chemistry*, 12(10), 1627-1642.
- Jia, Y., Yang, W., Sun, W.** (2011). Effect of UV radiation on the surface modification of polypropylene. *Journal of Applied Polymer Science*, 120(6), 3454-3461.
- Jiang, Y., Song, X., Chen, W.** (2007). UV stabilizers for polypropylene and their effects on material properties. *Polymer Degradation and Stability*, 92(6), 1073-1078.
- Kawaguchi, H.** (2002). Polypropylene and its modification by UV light exposure. *Polymer Engineering & Science*, 42(4), 739-745.
- Kılınç, M., Tomar, O., Çağlar, A.** (2017). Biyobozunur gıda ambalaj malzemeleri. *AKÜ FEMÜBİD*, 17, 035404, 988-996. <https://doi.org/10.5578/fmbd.66307>.
- Kim, S., Choi, S., Lee, J.** (2020). UV degradation of polypropylene and its stabilization strategies. *Polymer Degradation and Stability*, 179, 109252.
- Kim, Y., Lee, S., Lim, J.** (2015). Synthesis and characterization of polypropylene with different catalysts. *Macromolecules*, 48(19), 7104-7112.

- Küçük, S. D., Gerengi, H., Güner, Y.** (2018). Effect of ultraviolet stabilizers on rubber-based automotive sealing profiles. *DÜBİTED*, 6(1), 240-253. <https://doi.org/10.29130/dubited.345138>.
- Leblanc, R., Dufresne, A., Fois, R.** (2015). Polypropylene-Based Composites: Properties and Applications. *Advanced Materials*, 27(3), 203-215.
- Lee, H., Yoon, S., Park, D.** (2021). Antioxidants and their impact on the thermal stability of polypropylene. *Journal of Polymer Science*, 59(10), 1175-1186.
- Li, Z., Wang, T., Zhou, M.** (2022). Chemical resistance of polypropylene and its composites: A review. *Journal of Materials Science*, 57(3), 2052-2073.
- Liu, S., Yang, F., Zhang, W.** (2021). Polypropylene and its industrial applications: A review on chemical and physical properties. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 60(8), 940-957.
- Liu, W., Zhao, C., Wang, X.** (2018). Polypropylene-based composites: Structure and properties. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 128, 1-19.
- Nishida, H., Yamamoto, T., Takahashi, S.** (2010). Polypropylene: Structure, Properties and Applications. *Polymer Engineering and Science*, 50(8), 1392-1402.
- Pash, S.** (2022). Plastik katkı maddeleri ve sucul ortama etkileri. *Recep Tayyip Erdoğan University Journal of Science and Engineering*, 3(1), 40-49. <https://doi.org/10.53501/rteufemud.1123226>.
- Rohatgi, P. K., Choudhary, R., Gupta, S.** (2011). Polypropylene: A Versatile Material for Modern Applications. *Journal of Polymer Science*, 49(7), 1234-1243.
- Sancaktar, E., Sunthonpagasit, N.** (2004). Surface modification of polypropylene for improved adhesion. In K. L. Mittal (Ed.), *Polymer surface modification: Relevance to adhesion* (Vol. 3, pp. 285-324). VSP. <https://doi.org/10.1201/b12183-17>.
- Santos, J., Silva, M., Costa, A.** (2007). Surface modification of polypropylene by UV irradiation for improving adhesion properties. *Journal of Polymer Science*, 45(3), 1123-1130.
- Sun, X., Zhang, Y., Zhao, J.** (2021). Mechanical and thermal properties of polypropylene composites: A review. *Composites Science and Technology*, 214, 108574.
- Thiel, C., Gok, C., Öztekin, Y., Sayın, Ü.** (2024). *Yeşil bir gelecek için biyobozunur plastikler* (1. baskı). Duvar Yayınevi. ISBN: 978-625-6643-59-8.
- Tian, X., Zhang, Y., Li, J.** (2018). Polypropylene synthesis: From traditional catalysts to novel approaches. *Polymer International*, 67(8), 1142-1153.
- Ulutaş, E., Taşdemir, M.** (2023). UV yaşlandırma uygulanan polipropilen/çinko borat (ZnHBO₃) polimer kompozitlerinin mekanik özelliklerinin incelenmesi. *UMU Fen Bilimleri Dergisi*, 5(2), 65-78. <https://doi.org/10.55440/umufed.1194993>.

- Üzümcü, M. B., Sarı, B., Temel, E.** (2022). Effect of UV exposure on the mechanical properties of polyurethane-coated fabrics. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 34(1). <https://doi.org/10.32710/tektstilvekonfeksiyon.1168629>.
- Wang, H., Li, F., Xu, X.** (2020). Polypropylene and its blends: Structure, properties, and applications. *Polymer Engineering & Science*, 60(3), 668-686.
- Wu, D., Lin, J., Yu, L.** (2020). Polypropylene and its applications: A review. *Journal of Materials Science & Technology*, 39, 127-139.
- Xie, L., Wang, J., Zhang, X.** (2020). Effect of chemical structure on the mechanical properties of polypropylene composites. *Composites Science and Technology*, 190, 108045.
- VLaby. (t.y.).** (2025). Das Konzept der Dichte – Dichteexperiment. <https://vlaby.com/fr/details/91/Das%20Konzept%20der%20Dichte%20Dichteeinheit%20%7C%20Dichteexperiment>.
- Yakıncı, D. B., Çırak, Z. D.** (2020). Tıbbi uygulamalarda kullanılan biyoyumlu biyomalzemeler. *İnönü Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 8(2), 515-526. <https://doi.org/10.33715/inonusaglik.745301>.
- Yang, C. M., Chen, J. M., Chang, Y. H.** (2005). Effect of UV irradiation on surface properties of polypropylene. *Journal of Applied Polymer Science*, 97(1), 373-379.
- Yang, H., Zhang, Z., Li, L.** (2020). Effect of additives on the properties of polypropylene: A comprehensive review. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 81, 122-135.
- Yılmaz, S.** (2022). Investigation of university graduate employment level of textile finishing companies in İzmir and Denizli, *ResearchGate*, <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16342.48961>.
- Zhang, Q., Zhao, F., Li, L.** (2021). Polypropylene: Physical properties, processing, and applications. *Journal of Applied Polymer Science*, 138(12), 50184.
- Zhao, F., Liu, Z., Wei, S.** (2020). Thermal and chemical degradation of polypropylene: A review. *Journal of Applied Polymer Science*, 137(23), 49302.
- Zhao, J., Li, F., Zhang, Q.** (2021). Polypropylene and its chemical modifications: A review. *Journal of Macromolecular Science, Part C: Polymer Reviews*, 61(4), 280-311.
- Zhao, X., Liu, S., Wang, Z.** (2022). Advancements in polypropylene polymerization and its industrial applications. *Polymer Chemistry*, 13(5), 712-726.
- Zhao, Y., Yang, S., Wu, Z.** (2019). Polypropylene and its modifications for industrial applications. *Journal of Applied Polymer Science*, 136(19), 47815.
- Zheng, S. Li, X.** (2004). The surface modification of polypropylene by UV radiation for improving adhesion properties. *Surface Science*, 562(1), 15-22.
- Zhu, M., Zhang, L., Xu, H.** (2010). Surface modification of polypropylene by UV radiation and its effects on adhesion properties. *Journal of Polymer Research*, 17(2), 133-139.