

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**HIZLANDIRILMIŞ YAŞLANDIRMANIN POLİPROPİLEN
ŞERİT İPLİKLERİN MEKANİK VE TERMAL
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

SEMA ÇOBAN

KOCAELİ 2024

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**HIZLANDIRILMIŞ YAŞLANDIRMANIN POLİPROPİLEN
ŞERİT İPLİKLERİN MEKANİK VE TERMAL
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

SEMA ÇOBAN

Dr.Öğr. Üyesi Ramiz Gültekin AKAY
Danışman, Kocaeli Üniversitesi

.....

Doç.Dr. Mehmet KODAL
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

.....

Doç.Dr. Filiz Uğur NİGİZ
Jüri Üyesi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

.....

Doç.Dr. Tülin ŞAHİN
İkinci Danışman, Kocaeli Üniversitesi

**Enstitü Yönetim Kurulunun
03/09/2021 tarih ve 2021/28 nolu
toplantısında II. tez danışmanı
olarak atanmıştır**

Tezin Savunulduğu Tarih: 08.05.2024

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez/proje çalışmada,

- Bu tezin/projenin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu,
- Çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı,
- Bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi,
- Bu çalışmanın Kocaeli Üniversitesi'nin abone olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun olduğunu,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Tezin/Projenin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez/proje çalışması olarak sunmadığımı,

beyan ederim.

☒ Bu tez/proje çalışmasının herhangi bir aşaması hiçbir kurum/kuruluş tarafından maddi/alt yapı desteği ile desteklenmemiştir.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Sema ÇOBAN

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI

Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/projemin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullarla kullanıma açma izninin Kocaeli Üniversitesi'ne verdiğimi beyan ederim. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin/projemin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanımı bana ait olacaktır. Tezin/projenin kendi özgün çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin/projenin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim kurulu tarafından yayınlanan **“Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge”** kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi/ Kocaeli Üniversitesi Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- ☐ Enstitü yönetim kurulu kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.
- ☐ Enstitü yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 6 ay ertelenmiştir.
- ☒ Tezim/projem ile ilgili gizlilik kararı verilmemiştir.

Sema ÇOBAN

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, “Hızlandırılmış Yaşlandırmanın Polipropilen Şerit İpliklerin Mekanik ve Termal Özelliklerine Etkisi” konusu araştırılmıştır.

Yüksek lisans tez çalışmamın her aşamasında bana yön gösteren, bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, her konuda sabrı ve anlayışı ile yanımda olan, öğrencisi olmaktan gurur duyduğum değerli danışman hocalarım Sayın Doç. Dr. Tülin ŞAHİN ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ramiz Gültekin AKAY’a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ve son olarak, her zaman ve her koşulda yanımda olan, desteklerini ve sevgilerini hiçbir zaman esirgemeyen değerli aileme sonsuz teşekkür ederim.

Mayıs – 2024

Sema ÇOBAN

İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ.....	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
TABLolar DİZİNİ.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1.GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	2
2.1. Polipropilen Lifleri	2
2.2. Polipropilen Liflerin Mekanik Özellikleri	2
2.3. Polipropilen Liflerin Kimyasal Özellikleri	3
2.4. Polipropilen Liflerin Oksidasyonu.....	3
2.4.1. Termal Oksidasyon.....	4
2.4.2. Fotobozunma	4
2.5. PP Şerit Üretimi	6
2.5.1. Film Ekstrüzyonu	6
2.5.2. Filmin Soğutulması.....	7
2.5.3. Filmin Şeritlere Bölünmesi.....	8
2.5.4. Şeritlerin Oryantasyonu.....	8
2.5.5. Şeritlerin Tavlama.....	9
2.5.6. Fibrilize İşlemi.....	9
2.5.7. Şerit İpliklerin Bobinlere Sarımı	10
3. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI.....	11
3.1. PP Şerit Çuval İplikleri İle İlgili Yapılan Çalışmalar	11
3.2. Geotekstil Türü PP Şerit İplikler İle İlgili Yapılan Çalışmalar.....	13
3.3. PP Filament İplikler İle İlgili Yapılan Çalışmalar	15
3.4. Tez Çalışmasının Özgünlüğü ve Literatüre Yapacağı Katkılar	15
4. MALZEME VE YÖNTEM.....	16
4.1. Malzeme.....	16
4.2. Yöntem.....	16
4.2.1. Numune Üretimi	18
4.2.2. Numune Doğrusal Yoğunluklarının Belirlenmesi	20
4.2.3. Ön Gerilme	21
4.2.4. Hızlandırılmış Yaşlandırma.....	21
4.2.5. Karakterizasyon Testleri	23
4.2.5.1. Çekme Testi.....	23
4.2.5.2. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Analizi	24
4.2.5.3. Termo Gravimetrik Analiz (TGA)	25
4.2.5.4. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometresi (FTIR) Analizi	26
4.2.5.5. Polarize Optik Mikroskop Görüntüleme (POM)	26
5. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	28
5.1. Çekme Testi Sonuçları.....	28

5.2. DSC Sonuçları	32
5.3. TGA Sonuçları	35
5.4. FTIR Sonuçları	38
5.5. Makro Yapı Görüntüleri	40
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	44
KAYNAKLAR.....	46
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER.....	51
ÖZGEÇMİŞ.....	52



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Fibrilizeli PP şerit iplik	10
Şekil 4.1.	Çalışmanın akış şeması ve deney metodolijisi	17
Şekil 4.2.	Numune üretiminde kullanılan ekstrüzyon makinesi	18
Şekil 4.3.	PP şerit iplik üretimi ekstrüzyon hattı	19
Şekil 4.4.	Hassas terazi	20
Şekil 4.5.	PP şerit iplik numuneleri	21
Şekil 4.6.	Hızlandırılmış yaşlandırma test cihazı	22
Şekil 4.7.	Çekme test cihazı.....	23
Şekil 4.8.	Çekme deneyi sonrası iplik numuneleri	24
Şekil 4.9.	Diferansiyel taramalı kalorimetri cihazı.....	25
Şekil 4.10.	Termogravimetrik analiz cihazı	25
Şekil 4.11.	Kızılötesi spektrometre cihazı	26
Şekil 4.12.	Polarize optik mikroskop	27
Şekil 5.1.	5gün yaşlandırılmış iplik numunelerine ait kuvvet-uzama grafiği.....	28
Şekil 5.2.	10gün yaşlandırılmış iplik numunelerine ait kuvvet-uzama grafiği.....	29
Şekil 5.3.	15gün yaşlandırılmış iplik numunelerine ait kuvvet-uzama grafiği.....	29
Şekil 5.4.	20gün yaşlandırılmış iplik numunelerine ait kuvvet-uzama grafiği.....	30
Şekil 5.5.	15gün yaşlandırılmış şerit iplik çekme testi sonrası.....	31
Şekil 5.6.	Yaşlandırma süresine bağlı tokluk değişimi grafiği.....	32
Şekil 5.7.	DSC termogramları a)PP-UV0, b)PP-UV5-15, c) PP-UV10-15, d) PP-UV15-15, e) PP-UV20-15.....	34
Şekil 5.8.	5gün yaşlandırılmış iplik numunelerinin TGA termogramları.....	36
Şekil 5.9.	10gün yaşlandırılmış iplik numunelerinin TGA termogramları.....	36
Şekil 5.10.	15gün yaşlandırılmış iplik numunelerinin TGA termogramları.....	37
Şekil 5.11.	20gün yaşlandırılmış iplik numunelerinin TGA termogramları.....	37
Şekil 5.12.	5gün yaşlandırılmış iplik numunelerinin FTIR spektrası.....	38
Şekil 5.13.	10gün yaşlandırılmış iplik numunelerinin FTIR spektrası.....	39
Şekil 5.14.	15gün yaşlandırılmış iplik numunelerinin FTIR spektrası.....	39
Şekil 5.15.	20gün yaşlandırılmış iplik numunelerinin FTIR spektrası.....	39
Şekil 5.16.	İplik numunelerine ait makro yapı görüntüleri	40

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 4.1. Kullanılan PP malzemenin teknik özellikleri.....	16
Tablo 4.2. Numune üretim parametreleri	18
Tablo 4.3. Deneyde kullanılan ipliklerin özellikleri.....	20
Tablo 4.4. Numunelerin kodlanması	22
Tablo 5.1. Çekme Deney Sonuçları.....	31
Tablo 5.2. Numunelere ait DSC analizi sonuçları	33
Tablo 5.3. Numunelere ait TGA analizi sonuçları.....	35



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

den	: Denye
$F_{\max}$	: Maksimum kuvvet değeri (N)
g	: Gram
Gpa	: Gigapascal
J	: Joule
mm	: Milimetre
MPa	: Megapascal
nm	: Nanometre
R_m	: Çekme mukavemeti
Rpm	: Dakikadaki devir sayısı
T	: Sıcaklık, (°C)
T_m	: Erime sıcaklığı, (°C)
ΔH_m	: Erime entalpisi (J/g)
μm	: Mikrometre
ε	: Kopmadaki uzama yüzdesi (%)

Kısaltmalar

ASTM	: American Society for Testing and Materials (Amerika Test Materyalleri Topluluğu)
ATR	: Attenuated Total Reflectance (Zayıflatılmış Toplam Yansıma)
DMA	: Dinamik Mekanik Analiz
DTA	: Diferansiyel Termal Analiz
DSC	: Differential Scanning Calorimeter (Diferansiyel Taramalı Kalorimetri)
EDX	: Energy Dispersive Spectrometry (Enerji Dağılımı X-Işını Analizi)
FTIR	: Fourier Transform Infrared Spectroscopy (Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi)
ISO	: International Organization for Standardization (Uluslararası Standartlar Teşkilatı)
LDPE	: Low Density Polyethylene (Düşük Yoğunluklu Polietilen)
MFI	: Melt Flow Index (Eriyik Akış İndeksi)
PE	: Polietilen
POM	: Polarized Optical Microscopy (Polarize Optik Mikroskobu)
PP	: Polipropilen
SEM	: Scanning Electron Microscopy (Taramalı Elektron Mikroskobu)
TGA	: Thermogravimetric Analysis (Termogravimetrik Analiz)
UV	: Ultraviyole
XRD	: X-ray Diffraction (X-Işını Difraksiyonu)
WAXS	: Wide-Angle X-Ray Scattering (Geniş Açılı X-Işını Saçılması)

HIZLANDIRILMIŞ YAŞLANDIRMANIN POLİPROPİLEN ŞERİT İPLİKLERİN MEKANİK VE TERMAL ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

ÖZET

Polipropilen şerit iplikler, yüksek genişlik/kalınlık oranına sahip, tek eksenli olarak yönlendirilmiş termoplastik yarı mamul ürünlerdir. Film yarma yöntemiyle elde edilen şerit iplikler için polipropilen malzeme seçilmiştir. Şerit iplik numuneler, tek vidalı ekstrüzyon makinesinde film yarma yöntemiyle üretilmiştir. ISO 2060 standardına göre 950 denye yoğunluğunda, 3,1 mm genişliğinde ve 50 mikron kalınlığında numuneler elde edilmiştir. Bu çalışmada, elde edilen şerit ipliklerin maruz kaldığı çevresel koşullar (sıcaklık, radyasyon, çiy/yağmur) ve farklı yükleme koşulları (ön gerilme) için malzemenin mekanik özelliklerindeki değişim tespit edilmek istenmiştir. Ayrıca UV yaşlandırmaya bağlı numuneler üzerinde oluşan termal değişimler için diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) ve termal gravimetrik analiz (TGA), yapısal değişimler için kızılötesi spektroskopisi (FTIR) ve morfolojik değişimler için de makro yapı analizleri gerçekleştirilmiştir.

Şerit ipliklere, oda sıcaklığında yüke maruz kalma durumunun simülasyonu için ön gerilme çekme testi cihazıyla gerçekleştirilmiştir. Ön gerilmeye maruz kalmış ve kalmamış tüm şerit ipliklere, aynı koşullar altında hızlandırılmış yaşlandırma testleri uygulanmıştır. Testler tamamlandıktan sonra PP şerit ipliklerin karakterizasyon testleri yapılmış, hızlandırılmış yaşlandırmanın malzemenin özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Çekme testleri sonucunda, yaşlandırma sonrası ipliklerin çekme mukavemeti ve uzama değerlerinin zamanın artışıyla dramatik bir şekilde azaldığı görülmüştür. DSC ölçümleri ipliklerin erime zirvesinin daha düşük sıcaklıklara doğru bir kayma gösterdiğini, TGA ölçümleri ise ipliklerin yıpranma sıcaklıklarında azalma olduğunu göstermiştir. FTIR spektrumları ile yaşlandırılmış numunelerde bozunmaya bağlı olarak karbonil ve vinil grupları ile hidroksil/hidroksiperoksit gruplarının artış gösterdiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hızlandırılmış Yaşlandırma, Mekanik Özellikler, Ön Gerilme, Polipropilen Şerit İplik, Termal Özellikler.

EFFECT OF ACCELERATED AGING ON THE MECHANICAL AND THERMAL PROPERTIES OF POLYPROPYLENE TAPE YARNS

ABSTRACT

Polypropylene tape yarns are uniaxially oriented thermoplastic semi-finished products with a high width/thickness ratio. Polypropylene material was chosen for the tape yarns obtained by the film splitting method. Tape yarn samples were produced by the film splitting method on a single screw extrusion machine. According to the ISO 2060 standard, samples with a density of 950 denier, a width of 3.1 mm and a thickness of 50 microns were obtained. In this study, it was aimed to determine the change in the mechanical properties of the material for the environmental conditions (temperature, radiation, dew/rain) and different loading conditions (pre-stress) to which the obtained ribbon yarns are exposed. In addition, differential scanning calorimetry (DSC) and thermal gravimetric analysis (TGA) were performed for thermal changes on the samples due to UV aging, infrared spectroscopy (FTIR) for structural changes and macrostructure analyzes for morphological changes.

Pre-stressing was carried out with a tensile test device to simulate the load exposure to tape yarns at room temperature. Accelerated aging tests were applied to all tape yarns, whether pre-stressed or not, under the same conditions. After the tests were completed, characterization tests of PP tape yarns were carried out and the effect of accelerated aging on the properties of the material was investigated. As a result of the tensile tests, it was observed that the tensile strength and elongation values of the yarns after aging decreased dramatically with the increase of time. DSC measurements showed that the melting peak of the yarns showed a shift towards lower temperatures, while TGA measurements showed a decrease in the wear temperatures of the yarns. It was determined by FTIR spectra that carbonyl, vinyl groups and hydroxyl/hydroxyperoxide groups increased due to degradation in aged samples.

Keywords: Accelerated Aging, Mechanical Properties, Pre-stressing, Polypropylene Tape Yarn, Thermal Properties.

1.GİRİŞ

Polimer biliminde kaydedilen ilerlemeler ile birlikte polipropilen malzemelerin günümüz dünyasındaki yeri ve önemi gün geçtikçe artmaktadır. Polipropilen malzemelerin üretim ve işlemindeki düşük maliyet ile birlikte aynı zamanda yüksek mekanik özelliklere, yüksek ısı ve kimyasal dirence sahip olmaları bu malzemeleri birçok uygulamada diğer polimerik malzemelere göre daha tercih edilebilir kılmaktadır.

Polipropilen lifler üretim yöntemleri ve özelliklerine göre farklı çeşitlere ayrılır, polipropilen şerit iplikler de bu lif türlerinden biridir (Demir & Behery, 2006). Polipropilen şerit iplikler, yüksek genişlik/kalınlık oranına sahip, tek eksenli olarak yönlendirilmiş termoplastik yarı mamul ürünlerdir. Bu iplikler üretimleri sonrası farklı uygulamalarda kullanılmak üzere dokuma ve örme kumaşlara dönüştürülürler. Düz ve fibrilize olarak iki çeşidi olan şerit ipliklerden düz olanı, ambalaj malzemeleri (özellikle dokuma torba ve çuval) gibi teknik tekstil uygulamalarına yönelik üretilmektedir (Petrulis ve diğ., 2012).

Lif haline getirilmiş polipropilenin ısı ve ışığa duyarlılığı artar. Bu artışın nedeni lif üretimi sırasında uygulanan çekim ve tavlama işlemleri olup, bu işlemler polimer malzemenin bozunma aşamasını başlatan oksidasyon potansiyelini artırıcı etki meydana getirir (Lewin, 2006). Özellikle dış alan uygulamaları için üretilen malzemelerin kullanım ömrünü sınırlayan bu özelliğini iyileştirmek için üretim aşamasında ana hammaddeye UV stabilizatör eklenir. Polimer malzemelerde yaygın olarak UV Absorblayıcı (UVA) ve Engellenmiş Amin Işık Stabilizatörleri (Hindered Amin Light Stabilizer - HALS) kombinasyonuna sahip stabilizatörler kullanılmaktadır (Gerlock ve diğ., 1985). Bu iki malzemenin sinerjik etkisinin PP ve PE üzerinde olumlu sonuçlar doğurduğu tespit edilmiştir (Gugumus, 2002). Malzemelerin UV dayanım performansını belirlemek için, malzemelere güneş ışığının neden olduğu yaşlanmayı simüle eden hızlandırılmış yaşlandırma testi uygulanır.

Bu çalışmada, endüstriyel ambalaj olarak kullanılan dokuma çuvaların üretiminde kullanılan polipropilen şerit ipliklerin mekanik ve termal özelliklerine yapay yaşlandırmanın ve ön gerilmenin etkileri incelenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Polipropilen Lifleri

İzotaktik propilenin 1957 yılında ticari boyutta kullanıma sunulmasının ardından 1959 yılında polipropilen liflerinin üretimi başlamıştır (Lewin, 2006). Üretiminden günümüze PP lifleri yüksek büyüme oranı ile diğer sentetik liflere karşı son derece rekabetçi bir konuma ulaşmıştır. Bu büyümede PP'nin düşük fiyatlı olmasının yanı sıra, kolay işlenebilirlik, nem emmeme ve iyi yalıtım gibi lif özelliklerinin de önemli payı vardır. Propilen liflerinin üretimi, eriyikten lif çekim ve film yarma yöntemi olmak üzere iki şekilde gerçekleştirilir. Polipropilen liflerin çoğu, yarı kristalli izotaktik polipropilenden (iPP) eriyikten çekim yöntemi ile üretilir (Karger-Kocsis, 2012; Moore, 1996). PP lifleri dört ana gruba ayrılır:

- 1- Filament
- 2- Şerit
- 3- Stapel
- 4- Dokusuz yüzeyler

2.2. Polipropilen Liflerin Mekanik Özellikleri

Diğer sentetik liflerle karşılaştırıldığında, PP lifleri yüksek bir uzama, geniş bir mukavemet değerleri aralığı ve nispeten düşük bir erime sıcaklığı ile karakterize edilir. Lif özellikleri, kullanılan polimer sınıfı, üretim koşulları ve uygun katkı maddeleri ile geniş sınırlar dahilinde değiştirilebilir. Çekme mukavemeti, sertlik ve kopma uzaması, liflerin mekanik performansının değerlendirilmesinde kullanılan parametrelerdir ve tüm bu parametreler, orta düzeyde gerinim oranlarında ölçülen, spesifik stresi gerinime bağlayan eğrilerden değerlendirilir.

Lifin başlangıç modülünün maksimuma çıkarılması, bileşen polimer zincirleri için yüksek bir modül değeri, yüksek derecede zincir oryantasyonu ve bitişik zincirler arasında güçlü moleküller arası kuvvetler gerektirir (Northolt & Hout, 1985). Buna ek olarak, lif boyunca zincirlerin daha fazla sürekliliğine izin vermek için yüksek ve ayrıca dar bir molar kütle dağılımı arzu edilir. Yan grupların, özellikle de büyük olanların varlığı, zincirler arasındaki moleküller arası çekimin gücünü azaltır ve bu nedenle

istenmeyen bir durumdur. Bu yüzden PE için elde edilebilecek modül, PP için elde edilen modülden daha yüksektir. PE, yan zincir içermeyen zikzak zincirlerden oluşur. Öte yandan PP, daha kolay gerilebilen sarmal zincirlerden oluşur. Ayrıca metil yan grupları, her zincirin genel kesit alanını artırarak bitişik zincirler arasındaki çekimi azaltır. PE zincirleri için hesaplanan zincir modülü yaklaşık 300 GPa iken PP zincirleri için bu değer yalnızca 40GPa civarındadır (Tomka, 1996).

2.3. Polipropilen Liflerin Kimyasal Özellikleri

Polipropilen lifleri aslında alifatik polimerik hidrokarbonlardır. Oluştukları kimyasal elementler karbon ve hidrojendir. Diğer hidrokarbonlar gibi polipropilen lifler de genellikle çok yüksek kimyasal direnç gösterirler. Alkalilerin, mineral asitlerin ve çoğu organik sıvının kimyasal saldırılarına karşı dayanıklıdırlar. Bununla birlikte PP lifler oksidasyona eğilimlidirler. Hidrojen peroksit ve konsantre nitrik asit gibi güçlü oksitleyici maddeler tarafından oksitlenirler.

Poliolefinler kimyasal olarak birçok organik sıvıya karşı dirençli olmalarına rağmen liflerin çoğu, özellikle yüksek sıcaklıklarda şişer. Başka bir deyişle bazı organik sıvılar, polipropilen lifleri yeterince yüksek sıcaklıklarda çözebilmektedir. Bu sıvılar dekalin, tetralin ve çeşitli klorlu aromatik hidrokarbonları içerir. Bir lifte bulunan stabilizatörlerin, bazı deterjanlar ve organik sıvılar tarafından liften süzülebileceği ve bunun sonucunda lifin dayanıklılığında bir azalmaya neden olabileceği dikkate alınmalıdır.

Oksijen yokluğunda PP 350°C' ye kadar stabildir. Bu sıcaklık, bu polimer için normal lif işleme sıcaklıklarının oldukça üzerindedir ve bu nedenle lif işleme normalde piroliz nedeniyle engellenmez. Polipropilen eriyiğinin kesilmesi, kendisini oluşturan zincirlerin bozulmasına neden olabilir. Ancak uygulama, ekstrüzyon ekipmanının uygun tasarımı ve polimer için doğru üretim hızı, kesme kaynaklı zincir bozulmasının üstesinden gelmektedir (McIntyre & Textile Institute (Manchester, England), 2005).

2.4. Polipropilen Liflerin Oksidasyonu

Poliolefin liflerinin maruz kalabileceği açık ara en zararlı reaksiyonlar oksidasyon reaksiyonlarıdır. Liflerin içinde uygun katkı maddeleri bulunmadığı sürece, poliolefinler

hem termal hem de fotokimyasal oksidasyona oldukça yatkındır (Suits & Hsuan, 2003; Thomas & Baker, 1997).

Oksidasyon, lifin mekanik özelliklerinin kötüleşmesine ve bazen de istenmeyen renk bozulmalarına neden olur. Bazı metal türlerinin mevcut olması durumunda, şelatlama maddelerinin varlığı genellikle bu metallerin hareketini engellese de oksidasyon desteklenebilir.

2.4.1. Termal Oksidasyon

Poliolefinlerin termal oksidasyonu, yüksek sıcaklıklarda kayda değer bir bozulmaya neden olur. Bu nedenle, istenen eriyik akış özelliklerini elde etmek için yeterince yüksek sıcaklıkların aranabileceği poliolefin liflerinin eriyik ekstrüzyonunda bozunması özel bir sorundur. Eğer bozunma meydana gelmeye başladıysa, bu genellikle eriyik akış indeksiindeki artışla tespit edilebilir (Ugbolue, 2009).

Poliolefinlerin termal oksidasyonu, serbest radikalleri içeren karmaşık zincirleme reaksiyonlar yoluyla gerçekleşir. Bu reaksiyon mekanizması hem termal bozunma hem de fotobozunma için benzerdir ancak başlatma adımları farklılık gösterir. Termal bozunmada, başlatma kimyasal bağların termal ayrışmasından kaynaklanırken fotobozunmada ise başlatma, elektronik olarak uyarılmış türlerin oluşumu, enerji transfer süreçleri veya kimyasal bağların doğrudan foto-ayrışması gibi farklı fotofiziksel süreçlerden kaynaklanır (Rabek, 1990).

Literatürde sıcaklığın PP şerit ipliklerin termal degradasyonuna etkisinin araştırıldığı çalışmada 35-45-55-65 °C sıcaklık değerlerinde çalışılmış, 24 aylık inkübasyonun ardından, dört sıcaklığın tamamında hava basıncı altında inkübe edilen numunelerin çekme ve uzama değerlerinde önemli bir değişiklik olmadığı görülmüştür (Li & Hsuan, 2004).

2.4.2. Fotobozunma

Görünür bölge ve UV bölgesi ışınlarının neden olduğu bozunma türü fotobozunma olarak adlandırılır. Poliolefin lifleri, kullanımları sırasında 300-400 nm aralığındaki ultraviyole radyasyonla bozunur. Güneş ışığına veya oksijen varlığında yapay ışığa maruz kalması

fotobozunma sürecine yol açacaktır. Bu süreçlerin etkileri arasında renk, moleküler ağırlık, kırılgenlık, darbe dayanımının azalması, mikro çatlama ve çekme mukavemetinde ve % uzamada azalma gibi değışiklikler yer alır (Lampman, 2003; Wright, 2006). Poliolefin zincirlerinin foto-oksidasyonu, özellikle hidroperoksitlerin varlığından ve daha az oranda da karbonil gruplarının varlığından kaynaklanır. Bu fotoaktif türler, poliolefin lifin işlenmesi sırasında küçük miktarlarda üretilir. Bir polimerdeki katalizörlerin kalıntılarının yanı sıra polimer ile moleküler oksijen arasında oluşan zayıf yük transfer kompleksi bile ışığa duyarlılığı önemli ölçüde artırır. Bu yüzden, son derece saf PP lifleri bile fotobozunmaya yatkındır (Čunko ve diğ., 1999). Hem görünür ışık hem de UV ışığı moleküller tarafından emilir ve çoğu organik maddede değışikliklere neden olur. Absorbe edilen radyasyondaki, özellikle UV radyasyonundaki enerji, moleküler bağları kırmak için yeterlidir (Jakubowicz ve diğ., 2000).

Polimer malzemelerin yalnızca kristal olmayan alanlarında meydana gelen fiziksel yaşlanmanın aksine, elektromanyetik radyasyon her iki alana da nüfuz edebildiğinden fotobozunma hem kristal hem de amorf bölgelerde meydana gelir. Fotokimyasal bozunmanın doğrudan radyasyon kaynağına maruz kalan lif yüzeylerinde başlaması ve daha sonra içeriye doğru ilerlemesi beklenir.

Polimer molekül ağırlığındaki değışiklikler genellikle fotokimyasal bozunmadan kaynaklanır ve liflerin özelliklerini büyük ölçüde değıştirir. Bağların kesilmesi ortalama molekül ağırlığının azalmasına neden olur. Bir lifin molekül ağırlığında net bir azalma meydana gelirse, çekme mukavemeti ve elastikiyetinde de büyük düşüşler beklenir. Bu mekanik özelliklerin bozulmasına ek olarak, yeni kimyasal bağlar oluştuğundan ve bozulan malzeme kimyasal olarak daha çeşitli olduğundan zincir kesilmesi aynı zamanda kimyasal reaktivitenin de artmasına neden olur (Bresee, 1986).

PP filamentlerin fotobozunma sürecinde, UV ışın yoğunluğu ne kadar yüksek olursa malzemenin çekme mukavemetinde bozulma da o kadar hızlı gerçekleşir (Yang & Ding, 2006). Yaşlandırma nedeniyle meydana gelen kırılgenlık, malzemenin yüzeyindeki bozulmanın derinliğine ve yoğunluğuna bağlıdır. Yüzey bozulması, malzemenin şeffaf veya opak olmasına bağlı değışiklik gösterir. Şeffaf malzemelerin her iki tarafında da bozulmuş bir katman oluşurken, opak malzemelerde ise yalnızca ışına maruz kalan tarafta yani tek taraflı bir bozunma meydana gelmektedir (Abu-Ragheef, 2019).

2.5. PP Şerit Üretimi

Filmden şerit iplik üretimi çok daha erken tarihlerde bilinir olmasına rağmen bu tekniğin geliştirilmesi ve geniş ölçekli üretiminin yapılması 1980'li yılların başlarına tekabül etmektedir. Yarı kristalin termoplastiklerden polipropilen ve düşük yoğunluklu polietilen, bu üretim yöntemi için kullanılan ideal malzemeler olmakla birlikte ipliğin son kullanımı için gerekli özellikleri karşılama yeteneği nedeniyle üretimin büyük çoğunluğu polipropilenden yapılmaktadır. Şerit iplik üretimi geleneksel filament iplik üretimine göre nispeten düşük maliyetli ve daha basit bir üretim (sürekli yatay bir süreç, düşük spesifik enerji gereksinimleri ve dolayısıyla işletilmesi daha kolay bir tesis) avantajına sahiptir. Ancak filament ipliklerin farklı uygulamalarda kullanım avantajları da göz önüne alındığında, şerit iplik ve filament iplik olarak iki farklı teknolojinin birbirine karşı mutlak üstünlük sağlamasının mümkün olmadığını aksine birbirini tamamlayıcı teknolojiler olduğunu belirtmek gerekir (Lewin, 2006; Phillips & Ghosh, 2003).

Şerit iplik üretim sürecinin ilk basamağı filmin üretimidir ve iki şekilde gerçekleştirilebilir; düz/yayılmış film ve şişirilmiş film. Ancak şişirilmiş film yöntemi karmaşık yapısı ve barındırdığı dezavantajları nedeniyle yaygın kullanımı bulunmadığından çalışmada detaylarına yer verilmemiştir. Üretim süreci 6 ana aşamadan oluşmaktadır;

- Film ekstrüzyonu
- Filmin soğutulması
- Filmin şeritlere bölünmesi
- Şeritlerin oryante edilmesi
- Şeritlerin tavlama
- Fibrilize İşlemi (opsiyonel)
- Şerit ipliklerin bobinlere sarımı

2.5.1. Film Ekstrüzyonu

Yayılmış/dökme filmler, geleneksel tek vidalı ekstrüdere doğrudan bağlı uzun ve dar yarı kalıplardan elde edilirler. Ekstrüder ile kalıp arasında bir filtre bulunur. Film kalınlığının filmin tüm genişliği boyunca eşit olmasını sağlamak için kalıp açıklıkları tüm

kalıp boyunca ayarlanabilmektedir. Kalıp ayarı, film kalınlığının mikrometre ile ölçüm sonuçları dikkate alınarak manuel olarak da yapılabilirdiği gibi günümüz teknolojisinde bir çok ekstrüzyon makinesinde söz konusu ayarlama otomatik kontrol sistemi ile yapılmaktadır (Lewin, 2006).

Modern şerit iplik üretim hatlarında üretim atıkları (filmin dilimlenmesi sonucu kenarlarından artan iplikler, bobin değişimi sırasında üretimi devam eden iplikler vb.) için hat içi geri dönüşüm sistemi bulunmaktadır. İpliklerin çekme mukavemetlerini düşürücü etkilerinden ötürü sisteme geri gönderilen üretim atık miktarının kontrol altında tutulması gerekmektedir (Phillips & Ghosh, 2003).

2.5.2. Filmin Soğutulması

Eriyik haldeki polimer, kalıptan ekstrüzyonu sırasında kısmen yönlendirilir. Eriyik gevşemesini önlemek için, eriyik kalıptan çıktıktan sonra hızlıca soğutulmalıdır. Dökme filmlerde soğutma işlemi su banyosu veya soğutma silindirleri kullanılarak yapılabilir. Daha basit ve düşük maliyetli oluşu ve eriyiği en hızlı şekilde soğutma özelliği nedeniyle en yaygın kullanılan yöntem su banyosudur. Kalıptan çıkan eriyik film, sabit sıcaklıkta tutulan bir su banyosuna dikey olarak beslenir. Filmin her iki tarafı da aynı anda soğutulmuş eriyiğin daha düzgün bir şekilde soğutulması sağlanır. Nihai ipliklerin kalite performansı filmin soğutulma koşulları (kalıp-su mesafesi, soğutma suyu sıcaklığı, soğutma hızı) ile doğrudan ilişkilidir. Eriyiğin hızla söndürülmesi, en düşük kristallliğe sahip bir film elde edilmesini sağlar; bu durum belirli bir gerilme seviyesi için daha yüksek derecede yönelime izin verir ve bu nedenle iplikler daha yüksek mukavemet gösterir. Genel olarak hızlı söndürme, çekme ve germeye yardımcı olur ve daha yüksek mukavemet sağlar. Bu yöntemle ilgili olası problemler arasında filmin su taşıma eğilimi ile daha ince filmlerin olası eğilmesi ve buruşması yer alır. Filmin ıslak kalması durumunda çekim/yönlendirme işleminde zorluklarla karşılaşılacaktır. Su taşıma sorununun azaltılmasına yönelik olarak düşük su taşıma özelliğine sahip PP sınıfları geliştirilmiştir. Katkı maddeleri su taşıma sorununun ana nedenidir. Bu nedenle bazı üretim uygulamalarında soğutma işlemi su banyosu yerine silindirlerle yapılır. Soğuk silindirle soğutma yöntemi daha maliyetlidir, ekipman ve vasıflı işgücü gerektirir ve suyla söndürmeye göre daha yavaş soğutma sağlar, bu nedenle kullanımı oldukça sınırlıdır. Bu yöntemde, eriyik film, krom kaplı veya cilalı çelikten yapılmış su soğutmalı bir silindir

üzerine dökülür. Sonuç olarak polimer film tamamen kuru kalır. Ancak daha yavaş soğutma sonucu, daha yüksek kristallliğe sahip bir film elde edilir, bu durum da iplik dayanıklılığını sınırlayabilir (Lewin, 2006; Phillips & Ghosh, 2003).

2.5.3. Filmin Şeritlere Bölünmesi

Filmi şeritlere dönüştürme işlemi için iki farklı yöntem kullanır;

- Gerdirilmemiş/çekilmemiş filmi şeritlere bölme
- Filmi önce gerdirip ardından şeritlere bölme

Birinci yöntemde, çekilmemiş düz bir polimerik film, paralel olarak düzenlenmiş dikdörtgen bıçaklara (tırş bıçağına benzer) sahip bir çubuk veya dönen bir shaft üzerine monte edilmiş dairesel bıçaklar ile dar şeritler halinde kesilir. Bazı durumlarda bıçaklar ısıtılır. Filmin kesme genişliği bir başka deyişle kesim bıçakları arası mesafe (b) ve nihai ipliğin doğrusal yoğunluğu (T), sırasıyla Denklem (2.1) ve Denklem (2.2) kullanılarak hesaplanır (Chattopadhyay, 2010).

$$b = w \times (\lambda)^{1/2} \quad (2.1)$$

$$T = w \times d \times 10 \times \rho \quad (2.2)$$

Burada, w nihai iplik genişliğini (mm), λ çekim oranını, d iplik kalınlığını (mm) ve ρ iplik yoğunluğunu (g/cm^3) ifade eder.

İkinci yöntemde, düz film, istenen özellikleri ve boyutları (kalınlık) elde etmek için önce tek eksenli olarak ısıyla gerilir ve ardından ilk yöntemle benzer şekilde bıçaklarla istenen genişliğe kadar kesilir. Bu yöntemle elde edilebilecek minimum şerit genişliği ve kalınlığı sırasıyla 1–2 mm ve 15–20 mm'dir (Chattopadhyay, 2010).

2.5.4. Şeritlerin Oryantasyonu

PP gibi yarı kristalin termoplastikler, yönlendirilmiş ürünler üretmek için ideal malzemelerdir. Şeritlerin sıcak ortamda gerdirilmesi moleküllerin oryantasyonuna ve dolayısıyla şeritlerin mekanik dayanıklılığının büyük ölçüde artmasına neden olur (Alcock ve diğ., 2013). Germe-çekme işleminde makro moleküllere çekme yönünde bir

yönelim verilir. Malzemenin yönlenebilme yeteneği sferülit yapısı ile belirlenir. Gerilme uygulandığında, amorf bölgeler ilk olarak katlanmış lamellerle sferülit sınırları arasında yönlendirilir. Yönlendirme, şeritlerin bir sıcak hava fırınından veya PP'nin erime sıcaklığının hemen altındaki bir sıcaklıkta tutulan sıcak plakanın üzerinden geçerken gerdirilmesi ile gerçekleştirilir. Şeritlerin yönlendirilmesi, sıcak hava fırının/sıcak plakasının giriş ve çıkışına yerleştirilen ve farklı hızlarda çalışan iki takım silindirin üzerinden geçirilmesiyle yapılır. Daha yüksek hızda çalışan ikinci takım silindirlerin hızının birinci takım silindirlerinin hızına oranı çekme oranı olarak adlandırılır. Optimum çekme oranları ve sıcaklıklar, kullanılan ham maddelere, üretimde kullanılan işlemlere ve şeritlerin son kullanım gereksinimlerine bağlıdır (Phillips & Ghosh, 2003). Yüksek kristallığe sahip poliolefinler için tipik çekme oranları 5–10 aralığındadır (Krevelen & Nijenhuis, 2009).

2.5.5. Şeritlerin Tavllanması

Termal büzülme, bir malzemenin son işlem sırasındaki termal stabilitesiyle ilgili önemli bir özelliktir (Göschel, 1996). Termal stabilitenin önemli olduğu kumaşlarda, şeritlerin çekme davranışı oldukça önemlidir. Şeritlerin büzülme eğilimini minimize etmek için, tavlama aşamasının uygulanması gerekir. Tavlama aşaması, yönlendirilmiş şeritlerdeki artık gerilimlerin bir sonucu olarak oluşabilecek büzölmelerin en aza indirilmesine yardımcı olur. Tavlama işlemi, genellikle şeritlerin çıkış hızının giriş hızından daha düşük olduğu bir dizi ısıtılmış silindir kullanılarak şeritlerin ısıyla sabitlenmesini içerir. Isıyla sertleştirme, yarı kristalin polimerin kristalleşmesini hızlandırır (Phillips & Ghosh, 2003). Yönlendirilmiş kristal polimerlerin, tavlama yoluyla kristal yönelimi artar ve kristal kusurlarında azalma görülür (Bendak ve diğ., 1997; Rodríguez-Cabello ve diğ., 1996). Poliolefin grubu şerit ipliklerin tavlama işlemi, genellikle 100-145°C sıcaklık aralığında gerçekleştirilmektedir.

2.5.6. Fibrilize İşlemi

Şerit iplik üretiminde mekanik fibrilize işlemi opsiyoneldir. İplik çekildikten sonra fibrilize işlemine tabi tutulur. Şeritlere daha lif benzeri bir karakter kazandırmak amacıyla hat üzerinde fibrilize etmek için çok sayıda cihaz icat edilmiştir. Çeşitli yöntemlerle şeritler yuvarlanır, bükölür, fırçalanır, çekilir, hava jetleriyle işlenir, ultrasonik işlemlere

tabi tutulur veya çevrelerinde kesme veya delme cihazları bulunan dönen rulolarla temas ettirilir. En yaygın yöntem, dönen ruloların kullanıldığı iğneli fibrilize yöntemidir. Bu yöntem basittir, kontrolü kolaydır ve daha düzgün bir ürün verir. İğneli fibrilizede bir dizi film şeriti, uzunluğu değiştirilebilen iğnelerle kaplı dönen bir silindir ve kauçuk kaplı bir basınç silindirinden oluşan bir fibrilize ünitesine beslenir. Kauçuk kaplı basınç silindiri, filmin düzgün şekilde nüfuz etmesini sağlar. Fibrilizeli silindirin iğneleri sayesinde bantta ağ benzeri bir yapı oluşturulur (Şekil 2.1). Ağ yapısının özellikleri, fibrilize oranı, iğneli silindirin çapı, fibrilize silindiri ile film arasındaki geliş açısı ve temas açısı, şerit gerilimi, şerit kalınlığı, iğne yoğunluğu, iğneler arasındaki mesafe, iğnelerin fibrilatör üzerindeki düzeni (düz bir iğne sırası veya kıvrımlı dalga benzeri bir düzenleme) ve iğnelerin nüfuz derinliği tarafından yönetilir (Chattopadhyay, 2010).



Şekil 2.1. Fibrilizeli PP şerit iplik (URL-1)

2.5.7. Şerit İpliklerin Bobinlere Sarımı

Son silindir standından sonra şerit, sarıcı standı doğru ilerler ve bobinler tarafından alınır. Sarma makineleri bir veya iki taraflıdır ve birbirinin üzerinde iki ila dört sıra sarım mili bulunur. Her bir iş mili bağımsız olarak tahrik edilir. Tipik bir hassas çapraz sarıcıda, her biri bağımsız hız kontrolüyle ayrı ayrı tahrik edilen 180 sarma kafası bulunur. İyi bir sarma işlemi için kontrollü gerginlik şarttır. Modern sarım makineleri 300 m/dk' ya varan hızlarda çalışır ve sarım gerginliği elektronik olarak kontrol altında tutulur (Phillips & Ghosh, 2003).

3. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Şerit iplik terminolojisi son derece kafa karıştırıcıdır. Polipropilen şerit iplikler için literatür araştırılırken, arama sonucunda bulunan makalelerin çoğu aslında dar şeritler halinde dokunan polipropilen kesikli lif veya sürekli filament iplikler hakkındadır. Şeritlerin lif (monofilamentlere benzer) mi yoksa iplik mi olarak kabul edilmesi gerektiği konusunda bile hala bir netlik bulunmamaktadır. Bu iplik türü ile ilgili sınırlı sayıdaki literatür çalışmaları, üretim koşullarının ve kullanılan katkıların ipliğin mekanik özelliklerine etkisi üzerine odaklanmıştır.

Bu bölümde yüksek lisans tez çalışması kapsamına yönelik yapılmış olan akademik çalışmalar özet şeklinde verilmiştir. İlk bölümde; PP şerit çuval iplikler, ikinci bölümde PP şerit geotekstil iplikler ve üçüncü bölümde ise PP filament iplik için yapılan çalışmalar sunulmuştur.

3.1. PP Şerit Çuval İplikleri İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Seo ve diğ., yaptıkları çalışmada tavlama koşullarının PP şerit ipliklerin fiziksel, mekanik ve moleküler yapısına etkisini incelemişlerdir. İpliklere üretimleri sonrası iki farklı sıcaklık değerinde (100°C ve 140°C) ve 10-50 dk aralığında tavlama işlemi uygulanmıştır. Numunelere çekme testi, DSC, FTIR, WAXS, polarizasyon mikroskobu analizleri yapılmıştır. Çekme testi sonuçları, ipliklerin çekme mukavemetinin tavlama sıcaklığının artışıyla birlikte hafif şekilde arttığını ancak tavlama süresinin etkisinin önemsiz olduğunu göstermiştir. Tavlanmış ipliklerin WAXS desenleri sonuçları, malzemenin kristal yapısının tavlama süresinin artışıyla geliştiğini göstermiştir ve çekme mukavemetindeki artışın da kristal yapıdaki bu gelişim nedeniyle olduğu değerlendirilmiştir. DSC termogramları, tavlanmış iplikler arasında çok küçük değişiklikler olduğunu göstermiştir. Tavlanmamış numunenin %38 olan kristalinite oranının tavlama işlemlerinin uygulanmasıyla %46'ya yükseldiği ancak bu oranın tavlama süresinden önemli ölçüde etkilenmediği not edilmiştir. FTIR analiz sonuçları numuneler arasında yapısal önemli bir fark oluşmadığını göstermiştir. Polarize mikroskop görüntülerinden ise tavlamanın moleküler oryantasyonda çok küçük değişikliğe neden olduğu sonucuna varılmıştır (Seo, Young Ho ve diğ., 2013).

Eichelter ve diğ., yaptıkları çalışmada çekme/yönlendirme koşullarının (çekim hızı, numune geometrisi, çekim oranı ve çekme sıcaklığı) PP ve PE şerit ipliklerin mekanik ve fiziksel özelliklerine etkisini araştırmıştır. Malzemenin karakterizasyonu için çekme testleri, DSC, XRD ve SEM analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda, yüksek çekim hızlarının (>400 mm/s) malzemenin mekanik özelliklerinin iyileşmesini sağladığı, daha dar ve ince numunelerin lif yapısına daha yakın geometriye sahip olduklarından daha iyi mekanik özellikler (Akma gerilmesi, Young modülü) sergilediği, kullanılan poliolefin türüne bağlı olarak %50-%90 arasında değişen optimum çekim oranına kadar numunelerin mekanik özelliklerinin arttığı, daha yüksek çekme sıcaklıklarının ($80^{\circ}\text{C} > T > 25^{\circ}\text{C}$) kristalitlerin daha yüksek yönelimine dolayısıyla daha yüksek mekanik özelliklere sahip ipliklerin oluşmasını sağladığı, çekme oranının artması ipliklerin ekstrüzyon yönündeki büzülme oranını artırırken ekstrüzyon yönüne dik büzülmesini azalttığı sonucuna varılmıştır (Eichelter ve diğ., 2020).

Ertabak tarafından gerçekleştirilen çalışmada, polipropilen şerit ipliklerin üretiminde kullanılan hammadde türü, iplik eni (mm) ve doğrusal yoğunluk (denye) parametrelerinin, ipliğin mukavemet ve uzama (%) değerlerine etkileri Taguchi metoduyla analiz edilmiş ve söz konusu parametreler için optimum değerler belirlenmiştir. Çalışmada üç faktörlü ve iki seviyeli deneyler için tasarlanan L_4 ortogonal dizisi seçilmiştir. Her bir faktör için iki farklı seviye belirlenmiştir ; hammadde türü için FS ve HG kodlu hammaddeler, iplik eni için 2,7 ve 3mm; doğrusal yoğunluk için 550 ve 600 denye. Deney sonuçlarının değerlendirilmesi sonucu mukavemet için en iyi değer, hammadde türünün FS, yoğunluğun 600 denye ve iplik eninin 2,7mm olduğunda elde edildiği tespit edilmiştir. Uzama için seçilmesi gereken optimum değerlerin ise; HG kodlu hammadde, 550 denye yoğunluk ve 2,7mm iplik eni olduğu görülmüştür (Ertabak, 2022).

Petrulis ve arkadaşları 2016, şerit iplikler ile ilgili üç farklı çalışma gerçekleştirmişlerdir; ilk çalışmalarında şerit ipliklerin üretiminde kullanılan katkı maddesi (Granic 422, %80 kalsiyum karbonat içeriğine sahip) oranının ipliklerin mekanik özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Çalışmada iki farklı en; 3,4mm ve 2,5mm, dört farklı doğrusal yoğunluk; 110tex, 120tex, 148tex ve 215tex, iki farklı katkı oranı; %8 ve %10 belirlenmiş ve test edilecek numuneler filmin farklı bölgelerinden seçilmiştir. Yapılan testler sonucunda; ipliklerin doğrusal yoğunluklarının film boyunca uniform/sabit olmadığı, katkı oranının

artırılması ipliklerin doğrusal yoğunlukların artmasına ancak mukavemetlerinin azalmasına neden olduğu, kopma uzaması değerlerinin ise katkı oranındaki değişimden etkilenmediği tespit edilmiştir (Petrulis ve diğ., 2012) Petrulis ve ekibi bir sonraki çalışmalarında, proses işleme yardımcısı olarak kullanılan bir başka katkı maddesinin (Polycom JB 7100, % 75,5 inorganik madde içeriğine sahip) kullanım oranının şerit ipliklerin morfolojisine, geometrik özelliklerine ve çekme davranışına etkilerini incelemiştir. Katkı miktarı %0-6 aralığında değişen 5 farklı numunede kullanılmıştır. SEM ve EDX analizi sonuçlarından katkı maddesinin eklenmesinden sonra iplik yüzeylerinde inorganik madde parçacıkları ya da kalsiyum elementinin aglomerasyonunun arttığı görülmüştür. Malzemenin en, kalınlık ve doğrusal yoğunluk değerlerinin katkı oranının ağırlıkça %6'ya kadar arttırılması ile %3-4 oranında artış gösterirken diğer yandan kopma kuvveti ve mukavemet değerlerinin ise %2-9 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Kopma uzaması değerlerinin ise belirgin bir trend olmadan değiştiği görülmüştür (Petrulis ve diğ., 2016). Aynı ekip akabinde gerçekleştirdikleri çalışmalarında ise, bu defa UV stabilizatör katkı maddesi oranına bağlı malzemenin başlangıç özelliklerinde meydana gelen değişimleri incelemişlerdir. SEM analizleri sonuçlarından en yüksek UV stabilizatör oranına sahip numunelerin en düşük orana sahip numunelere göre daha pürüzlü bir yüzeye sahip olduğu görülmüştür. Katkı oranı artırıldığında malzemenin en, kalınlık, doğrusal yoğunluk, kopma kuvveti ve mukavemet değerlerinin istatistiksel olarak önemli oranda değiştiği ve lineer bir azalma eğilimi gösterdiği bununla birlikte kopma uzaması değerlerinin ise istatistiksel olarak anlamlı lineer büyüme eğilimi sergilediği tespit edilmiştir (Petrulis ve diğ., 2017).

3.2. Geotekstil Türü PP Şerit İplikler İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Horrocks ve D'souza'nın yaptığı çalışmada üç farklı çekme oranında oryante edilmiş PP şerit iplikler, gevrekleşmeleri için gerekenden daha kısa süreler boyunca 130°C'de fırında yaşlandırılmıştır. Bu indüksiyon periyodu sırasında malzemenin fiziksel ve kimyasal yapısında meydana gelen değişiklikler incelenmiştir. Yaşlandırmanın ilk aşamalarında muhtemelen oksidatif polimer zincir kırılmalarının ardından fiziksel yapının yeniden düzenlenmesi nedeniyle, hem çekme mukavemeti hem de kopma uzaması değerlerinin kristalin düzenine bağlı olarak arttığı, yaşlandırmanın ileriki dönemlerinde ise, gerilme özelliklerinin ilgili maksimumlardan geçtiğini ve daha fazla oksidatif bozulma meydana

geldikçe azaldığı görülmüştür. IR spektroskopisi incelemesi, üzerinde çalışılan en uzun yaşlanma sürelerinden sonra ve gevrekleşme için gerekli indüksiyon periyoduna yakın zamanlarda bile oksitlenmiş zincir gruplarının varlığının ancak fark edilebildiğini göstermiştir. DTA sonuçları, termal oksidasyonun ilk aşamalarında füzyon endotermilerinin başlangıcında daha düşük sıcaklıklara doğru küçük kaymaların meydana geldiğini göstermektedir. Ayrıca, yaşlandırılmış şeritler havadaki füzyon sonrası oksidasyona karşı daha duyarlı hale gelir. TGA sonuçları, yaşlandırılmamış PP şeritlerin füzyon sonrası oksidasyonunun esas olarak izokinetik olduğunu ve fırında yaşlandırmanın aktivasyon enerjilerini azalttığını, özellikle daha yüksek çekme oranlarının bu reaksiyonu daha karmaşık hale getirdiğini göstermiştir (Horrocks & D'souza, 1991). Horrock bir sonraki çalışmasında PP şerit iplik ve filamentlerin termal yaşlanma davranışlarına stresin etkisini incelemiştir. Farklı oryantasyon dereceleri (4:1 ve 8:1) ve antioksidan içeriklerine sahip PP şerit ve filamentler 90-130°C aralığında fırında yaşlandırılmış ve eş zamanlı olarak ilgili kopma yüklerinin %15'ine varan seviyelerde gerilime tabi tutulmuştur. Çekme özellikleri analizleri sonucu; daha yüksek düzeyde stabilize edilmiş numuneler için, gerilim veya çekme oranının çok az etkisi olduğu, bununla birlikte, daha az etkin düzeyde stabilize edilmiş numunelerin dayanıklılıkları, artan başlangıç çekme oranı/oryantasyon derecesi ve uygulanan gerilme ile azaldığı görülmüştür (Richard Horrocks ve diğ., 1994). Akabinde gerçekleştirdikleri çalışmada, sıcaklık, uygulanan gerilme, bağıl nem ve maruz kalma süresinin PP şerit iplikler üzerindeki birleşik etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada çeşitli ortalama molekül ağırlık ve antioksidan paket içeriklerine sahip şeritler kullanılmış, ortam sıcaklığı, yüksek sıcaklıklar(90-130°C) ve seçilen yüklerde, başarısız olana kadar olan süreler boyunca fırın yaşlandırılma yapıldıktan sonra numunelere TGA, DTA, DMA, SEM ve IR analizleri yapılmıştır. Analizlerin sonucunda, PP şeritlerin yüksek sıcaklıklara maruz kalması, eş zamanlı oksidatif zincir kopmasına ve bunun sonucunda fiziksel yapıda yeniden organizasyonun gerçekleştiği, daha uzun süreli maruz kalmalar sırasında oksidatif zincirin daha fazla kesilmesini takiben daha kademeli fizikokimyasal değişiklik meydana geldiği, bu değişiklikler üzerinde düşük gerilim uygulamanın ihmal edilebilir etkisi, orta gerilim uygulamalarının hafif bir dengeleyici etkisi olduğu ancak %10'luk kritik gerilimin üzerinde hem kimyasal hem de fiziksel yapıda bozulmaların arttığı gözlemlenmiştir. Maruz kalma sıcaklıkları düştükçe yüksek gerilimin öneminin azaldığı

ancak ortam koşulları altında bile bozulmaya karşı yüksek gerilim hassasiyetinin olduğu görülmüştür. Bağlı nemin etkilerinin de artan sıcaklığın etkileri ile benzer olduğu tespit edilmiştir (Horrocks & D'Souza, 1994).

3.3. PP Filament İplikler İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Yang ve Ding tarafından gerçekleştirilen çalışmada, polipropilen filament iplikler, üç farklı UV ışın yoğunluğunda (81.58, 162.58 ve 325.25W/m²) ASTM G154 standardına göre hızlandırılmış yaşlandırma testlerine tabi tutulmuş, iplik numunelerinin bir kısmı da dış ortamda 1 yıl süre ile doğal yaşlandırmaya bırakılmıştır. Hızlandırılmış yaşlandırmada test süreleri kümülatif UV ışın miktarı her bir test için eşit olacak şekilde belirlenmiştir. UV ışın yoğunluğunun filamentlerin foto oksidasyon süreçlerine etkileri gözlemlenerek hızlandırılmış yaşlandırma testi sonuçlarının malzemenin doğal yaşlandırma süreci ile uyumu araştırılmıştır. Numunelere çekme testleri ve FTIR analizleri uygulanarak malzemenin mekanik ve yapısal özelliklerindeki değişimler gözlemlenmiştir. Çekme testleri sonucunda daha düşük UV ışın yoğunluğunda (81.58 ve 162.58W/m²) hızlandırılmış yaşlandırmaya maruz bırakılan malzemelerin çekme mukavemetindeki değişimin doğal yaşlandırmaya maruz bırakılan malzemelerin değişimleri ile çok benzer olduğu, yine FTIR analizleri sonucunda bu malzemelerin aynı hidroperoksit bozunma kinetiği ile bozunduğu ancak yüksek ışın yoğunluğu (325.25W/m²) altında yaşılandırılan malzemelerin bozunma kinetiğinin ise farklı olduğu tespit edilmiştir (Yang & Ding, 2006).

3.4. Tez Çalışmasının Özgünlüğü ve Literatüre Yapacağı Katkılar

Polipropilen şerit iplik türü ile ilgili sınırlı sayıdaki literatür çalışmaları, üretim koşullarının ve kullanılan katkıların ipliğin mekanik özelliklerine etkisi üzerine odaklanmıştır. Bu nedenle bu çalışmada, farklı ön gerilme seviyelerine sahip şerit ipliklerin yaşlandırmaya bağlı mekanik ve termal özelliklerinde meydana gelen değişiklikler irdelenmiştir.

4. MALZEME VE YÖNTEM

4.1. Malzeme

Deneysel çalışmada plastik hammadde olarak Petkim (Türkiye) firması tarafından üretilen orta moleküler ağırlık dağılımına sahip, ürün kodu Petoplen MH418 olan homopolimer yapıda polipropilen malzeme kullanılmıştır. Kullanılan malzemeye ait teknik özellikler Tablo 4.1.'de verilmiştir. Malzemeye işleme sürecinde; Kafrit (İsrail) firması tarafından üretilen HALS ve UVA içeriğine sahip ürün kodu UVA 0J810 LD olan UV stabilizatör, BC Co. (İran) firması tarafından üretilen ürün kodu BG-LL 22B02 olan lineer alçak yoğunluklu polietilen, Polirem (Türkiye) firması tarafından üretilen ürün kodları sırasıyla C280.PE ve T370.PE olan kalsit (kütlece %3 oranında) ve beyaz renklendirici (kütlece %0,5 oranında) ilave edilmiştir.

Tablo 4. 1. Kullanılan PP malzemenin teknik özellikleri

Özellikler		Test Metodu	Tipik Değer	Birim
Fiziksel	Erime Akış Hızı (230°C/2.16 kg)	ASTM D 1238	4.7	g/10 dk
	Yoğunluk	ASTM D 1505	0.950	g/cm ³
	Ergime Noktası	ASTM D 3418	163	°C
Mekanik	Akmada Gerilme Dayanımı	ASTM D 638	34	MPa
	Bükülme Modülü (23 °C)	TS EN ISO 178	1450	MPa
	İzod Darbe Dayanımı (23 °C, çentikli)	ASTM D 256	30	J/m
	Rockwell Sertliği	ASTM D 785	94	R-scale
Termal	Deformasyon Sıcaklığı (0.45 MPa)	ISO 75	94	°C

4.2. Yöntem

Bu projede gerçekleştirilen deneysel çalışma Şekil 4.1.'de akış şeması verilen metodoloji uygulanarak gerçekleştirilmiştir.

İlk olarak tedarik edilen hammadde ve katkı malzemeleri ekstrüzyon makinesinde işlenerek polipropilen şerit iplik üretimi gerçekleştirilmiştir. Nihai ürünün yük taşıma kapasitesine etkisi daha fazla olduğu için çalışmada çözgü ipliği kullanılmıştır.

Üretimden 48 saat sonra ipliğin ilk halinin (yaşlanmamış) çekme testleri gerçekleştirilmiştir. İpliklere, oda sıcaklığında yüke maruz kalma durumunun simülasyonu için çekme test cihazı ile mikro ve makro oranda ön gerilme uygulanmıştır. Ön gerilmeye maruz bırakılmış ve bırakılmamış tüm ipliklere, aynı koşullar altında hızlandırılmış yaşlandırma testleri gerçekleştirilmiştir. Hızlandırılmış yaşlandırma testleri sonrası numunelerin çekme testleri gerçekleştirilmiştir.

Çekme testlerine ek olarak; numuneler üzerinde oluşan termal değişimler için diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) ve termal gravimetrik analiz (TGA), yapısal değişimleri için kızılötesi spektroskopisi (FTIR) ve morfolojik değişimler için de Polarize optik mikroskop (POM) görüntüleme analizleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.1. Çalışmanın akış şeması ve deney metodolojisi

4.2.1. Numune Üretimi

Çalışmada kullanılacak numuneler, Windmüller & Hölscher Tirex LT marka ekstrüzyon makinesinde üretilmiştir. Makineye ait görsel Şekil 4.2’de, numune üretim parametreleri ise Tablo 4.2’ de verilmiştir.



Şekil 4.2. Numune üretiminde kullanılan ekstrüzyon makinesi

Tablo 4.2. Numune üretim parametreleri

Parametre	Birim	Değer
Ekstrüder hızı	rpm	120
Çekim Oranı	—	6,7
Jilet Aralığı	mm	8
Ekstrüder Sıcaklığı	°C	220-265
Kalıp Sıcaklığı	°C	260
Fırın Sıcaklığı	°C	165
Soğutma Suyu Sıcaklığı	°C	36
Kalıp -Su Mesafesi	mm	60

Şekil 4.3.'de şerit iplik üretim ekstrüzyon hattının tamamını içeren sembolik bir görsel verilmiştir. Ekstrüzyon hattının bileşenleri de aşağıda belirtilmiştir;

- Ekstrüder
- Eriyik Boşaltma
- T-Kalıp
- Su Banyosu
- Film Sarma ve Kurutma Ünitesi
- Film Klavuz Sistemi
- Film Kesme
- Tutma Ünitesi
- Sıcak Hava Fırını
- Gerdirme Ünitesi
- İplik Sarma Ünitesi



Şekil 4. 3. PP şerit iplik üretimi ekstrüzyon hattı (URL-2)

Üretilen PP şerit ipliklerin özellikleri Tablo 4.3'de verilmiştir.

Tablo 4.3. Deneyde kullanılan ipliklerin özellikleri

Özellik	Test Metodu	Tipik Değer	Birim
Yoğunluk	ISO 2060	950	den
Genişlik	*	3.1	mm
Kalınlık	*	50	μm

4.2.2. Numune Doğrusal Yoğunluklarının Belirlenmesi

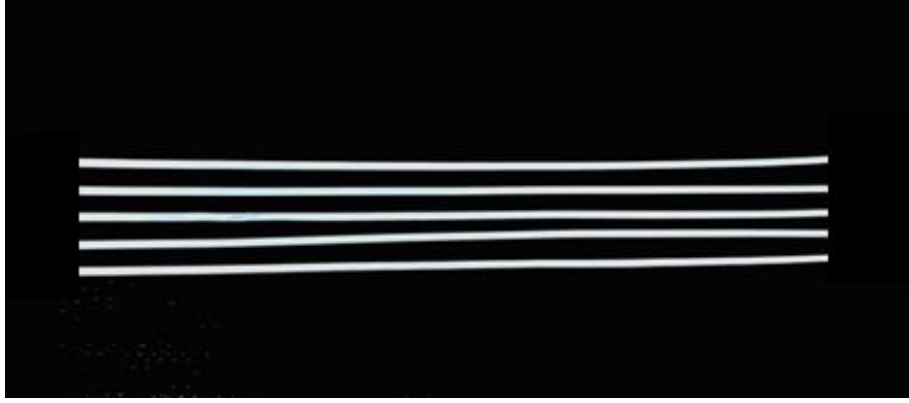
Doğrusal yoğunluk, bir ipliğin birim uzunluğu başına kütlesidir. Dteks (10 000m uzunluk başına) veya denye (9000 m uzunluk başına) cinsinden belirtilir.

Bobine sarılı haldeki iplikten 9m lik parçalar kesilerek elde edilen iplik demetleri çile haline getirilerek ISO 2060 standardına göre hassas terazide doğrusal yoğunlukları tayin edilmiş ve 950 denye (+/-10) olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.4). Tolerans aralığının deney sonuçlarına etki etmeyeceği öngörülmüştür.



Şekil 4.4. Hassas terazi

Deneylerde kullanılacak numuneler, yoğunluğu belirlenmiş iplik demetleri kullanılarak ISO 2062 standardına göre hazırlanmıştır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. PP şerit iplik numuneleri

4.2.3. Ön Gerilme

Şerit ipliklerin yüke maruz kalma koşullarını simüle etmek amacıyla üretimden sonra yaşlandırma öncesi çekme numunelerine mikro(%5) ve makro(%15) düzeyde ön gerilme uygulanmıştır. Ön gerilme uygulanan numunelerde germe işlemi 1mm/dk çekme hızında gerçekleştirilmiş ve her bir ön gerilme işlemi sonrasında iplikler çekme test cihazında 5dk bekletilmiştir. Bekleme süresi sonrasında cihazdan çıkartılan ipliklerin uzunlukları ölçülmüş, %5 ön gerilme uygulanan ipliklerin ilk boyuna geri döndüğü, %15 ön gerilme uygulanan ipliklerin boyunda ise 4mm uzama olduğu görülmüştür.

4.2.4. Hızlandırılmış Yaşlandırma

Deney süresini kısaltmak için, doğal ortamı hızlandırılmış bir şekilde simüle etmek ve çevre koşullarının etkilerini (sıcaklık, nem, UV ışıınımı vb.) tahmin etmek için hızlandırılmış yaşlandırma testleri gerçekleştirilir (Azuma ve diğ., 2009). Bu sayede tekrarlanabilir sonuçlar elde edilebilir ve aynı şartlarda yapılan testler ile malzemeler birbirleriyle karşılaştırılabilirler (Lizárraga-Laborín ve diğ., 2018).

Hızlandırılmış yaşlandırma işlemi, QUV/Basic Accelerated Weathering Tester cihazıyla (Şekil 4.6.), UV-B tipi 310 nm dalgaboyuna sahip lambalar kullanılarak ASTM G154 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Testlerde numunelere uygulanan çevrim; 8 saat 60 °C ve UV ışınlarına (ışık şiddeti 0,67 W/m²@310nm) ardından 4 saat 50 °C’de yoğuşmaya maruz bırakma şeklindedir. Işık şiddetinin kontrolü ve kalibrasyonu her yaşlandırma testi öncesi cihazın kalibrasyon aparatı ile yapılmıştır.



Şekil 4.6. Hızlandırılmış yaşlandırma test cihazı

İplik numuneleri toplam 20 gün süre ile yaşlandırılmıştır. Cihazdan 5, 10, 15 ve 20. günlerde numuneler alınmış ve malzemede yaşlandırma zamanına bağlı meydana gelen değişimler analiz edilmiştir.

Hızlandırılmış yaşlandırma uygulanan numunelerin kodlanması Tablo 4.4.'de verilmiştir.

Tablo 4.4. Numunelerin kodlanması

Yaşlandırma Süresi (gün)	Ön Gerilme (%)	Numune Kodu
0	0	PP-UV0
5	0	PP-UV5-0
	5	PP-UV5-5
	15	PP-UV5-15
10	0	PP-UV10-0
	5	PP-UV10-5
	15	PP-UV10-15
15	0	PP-UV15-0
	5	PP-UV15-5
	15	PP-UV15-15
20	0	PP-UV20-0
	5	PP-UV20-5
	15	PP-UV20-15

4.2.5. Karakterizasyon Testleri

4.2.5.1. Çekme Testi

İlk üretim ve yaşlandırma testinin 5,10,15 ve 20.günleri sonrası, numunelerin çekme testleri, Şekil 4.7.'de gösterilen Instron 4414 çekme test cihazında ISO 2062 standardına göre yapılmıştır. Cihazda farklı testler için farklı numune tutma çeneleri kullanılmaktadır.

Çekme testleri 5 adet numune üzerinde tekrarlı olarak gerçekleştirilmiş ve ortalama değerler dikkate alınmıştır. Çeneler arası mesafe 250 mm olup, testler 250mm/dk çekme hızında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.7. Çekme test cihazı

Yapılan çekme testlerinde temel mukavemet belirteci olarak maksimum kuvvet, çekme mukavemeti değerleri ile elastikliğini belirten kopma uzaması değerleri kaydedilmiştir.

Numunelerin çekme deneyinden önceki ve sonraki durumları Şekil 4.5 ile Şekil 4.8’de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Çekme deneyi sonrası iplik numuneleri

4.2.5.2. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Analizi

Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizleri Şekil 4.9’da gösterilen Mettler Toledo DSC 1 Star marka cihazında yapılmıştır. DSC analizleri 25 °C ile 300 °C aralığında, 10°C/dk ısıtma hızı ile azot atmosferinde gerçekleştirilmiştir.

DSC analizi ile numunelerin erime başlama, bitiş ve tepe noktası (pik) sıcaklıkları ile erime entalpileri (ΔH_m) belirlenmiş ve numunelere ait yüzde kristalinite (% X_c) değerleri Denklem (4.1) kullanılarak hesaplanmıştır:

$$X_c(\%) = \frac{\Delta H_m}{\Delta H_{mo}} \times 100 \quad (4.1)$$

Denklemden; ΔH_m , erime entalpisini, ΔH_{mo} , %100 kristalin polimerin erime entalpisini (207 J/g) göstermektedir.

DSC analizi tek basamaklı ya da çift basamaklı olarak yapılabilir. Numune, erime noktasının üzerinde sabit bir ısıtma hızında ısıtılır (ilk basamak), yeniden kristalleşme için sabit bir soğutma hızında soğutulur ve ardından tekrar ısıtılır (ikinci basamak). İlk basamak ve ikinci basamak, polimer özelliklerine ilişkin olarak farklı bilgiler sağlar. İlk ısıtma, malzemenin yaşlandırmaya maruz kaldıktan sonraki durumunu gösterirken, ikinci ısıtma, malzemenin geçmişini ortadan kaldırdıktan sonraki polimerin ortalama özelliklerini temsil eder (Grause ve diğ., 2020).



Şekil 4.9. Diferansiyel taramalı kalorimetri cihazı

4.2.5.3. Termo Gravimetrik Analiz (TGA)

Termogravimetrik analizler (TGA) Şekil 4.10’da gösterilen Mettler Toledo TGA 1 marka cihazında yapılmıştır. Analizler 25 °C ile 600°C aralığında, 10°C/dk ısıtma hızı ile azot atmosferinde gerçekleştirilmiştir.

TGA analizleri ile, numunelerin %5 kütle kaybındaki (T_{d5}) bozunma sıcaklıkları, %10 kütle kaybındaki (T_{d10}) bozunma sıcaklıkları, maksimum bozunma sıcaklıkları (T_{max}) ve yanma sonucu kalan kül miktarları elde edilmiştir.



Şekil 4.10. Termogravimetrik analiz cihazı

4.2.5.4. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometresi (FTIR) Analizi

Kızılötesi spektrometresi analizleri için Şekil 4.11.'de gösterilen “Perkin Elmer Spektrum 100” markalı cihaz kullanılmıştır. Numuneler cihazın ATR ünitesinde bulunan elmas yüzeye yerleştirilip sabitlenmiş ve analiz $650-4000\text{ cm}^{-1}$ dalga boyu aralığında gerçekleştirilmiştir.

Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektroskopisi analizi, moleküldeki atomların titreşim hareketine dayanarak numunenin yapısındaki fonksiyonel grup türlerini belirlemek için gerçekleştirilir (Bower, 2002). Numunelerin olası yapısal değişimlerini incelemek için FTIR analizi yapılarak spektrumlar elde edilmiştir. Analiz sonucu numunelerde meydana gelen kimyasal değişiklikler belirlenmiştir.



Şekil 4.11. Kızılötesi spektrometre cihazı

4.2.5.5. Polarize Optik Mikroskop Görüntüleme (POM)

Numunelerin makro yapı analizleri yüksek çözünürlüğe sahip Şekil 4.12.'de gösterilen “Nikon LV100 POL” markalı polarize optik mikroskop ile 5X ve 20X büyütme oranlarında gerçekleştirilmiştir.

Polarize optik mikroskop ile yapılan görüntülemeler sonucunda numune yüzeylerinde meydana gelen değişiklikler tespit edilmiştir.



Şekil 4.12. Polarize optik mikroskop

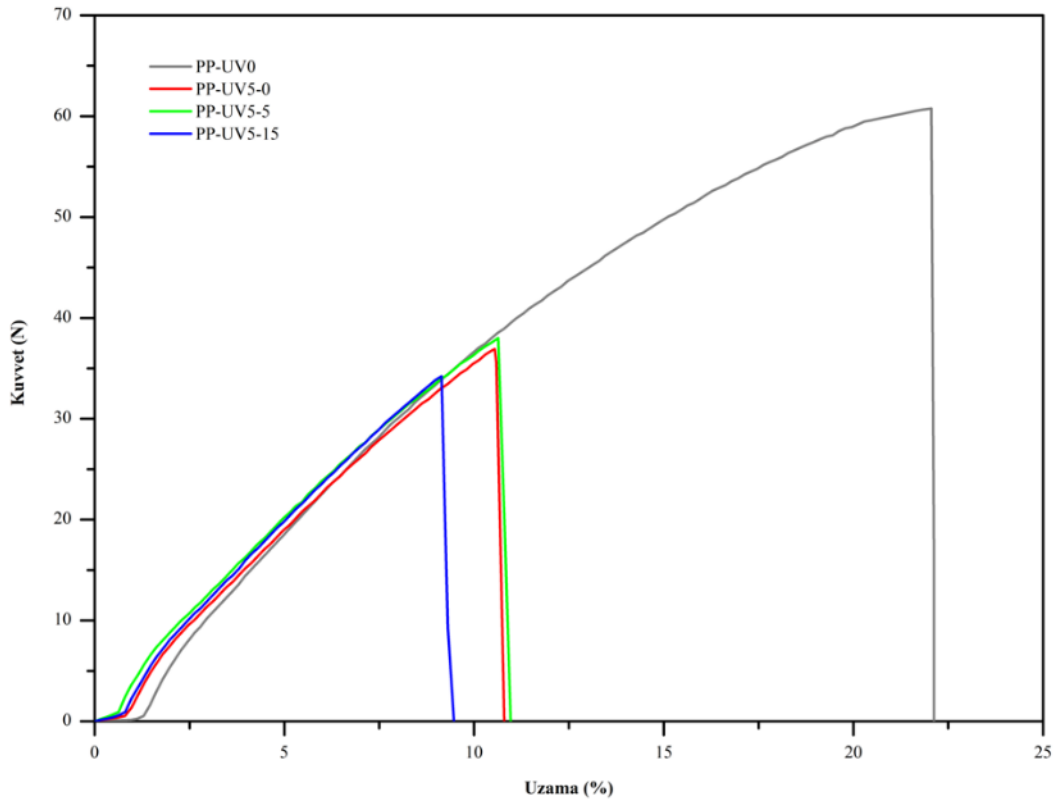
5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. Çekme Testi Sonuçları

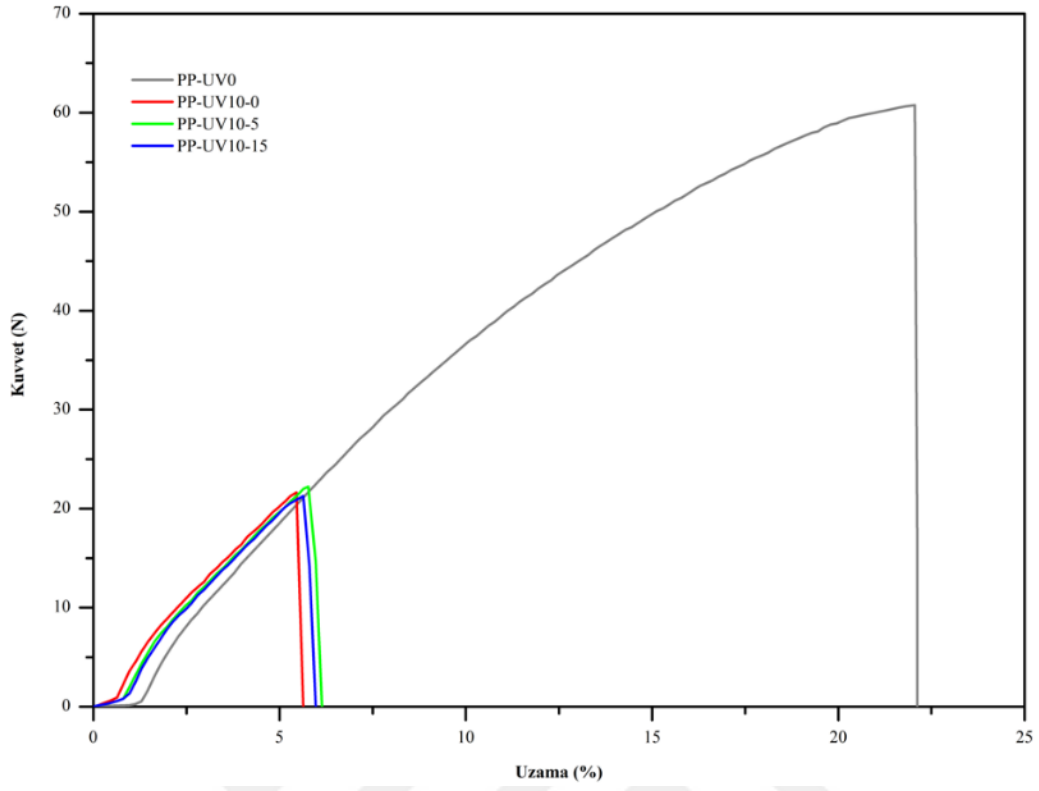
UV yaşlandırma işlemine maruz kalan polipropilen şerit ipliklerin içyapısında değişiklikler oluşmakta ve bu değişikliklerin sonucu olarak malzemenin mekanik özellikleri de değişmektedir. Özellikle poliolefin türü polimerlerin UV ışınları altında bozunma sürecinin oldukça hızlı olduğu bilinmektedir (Čunko ve diğ., 1999).

Hızlandırılmış yaşlandırma sonrası gerçekleştirilen çekme testlerinden elde edilen maksimum kuvvet (F_{max}), kopma uzaması (ϵ), çekme mukavemeti (R_m) ve tokluk değerleri Tablo 5.1.'de verilmiştir.

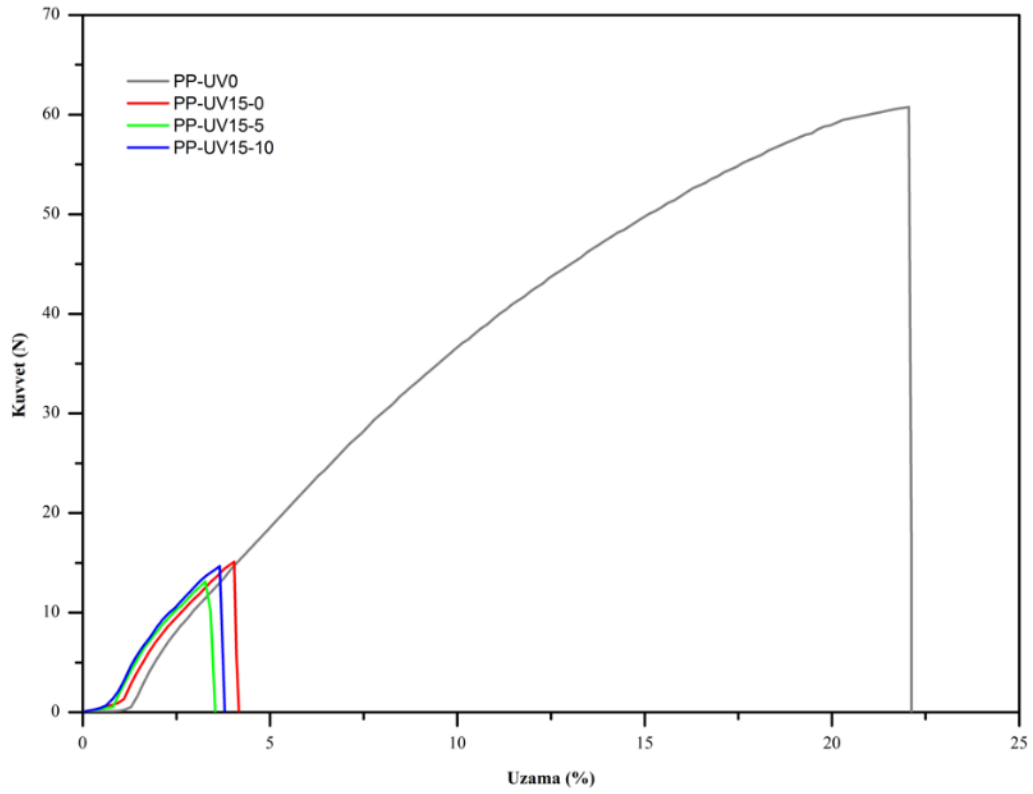
Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.3 ve Şekil 5.4' de iplik numunelerinin yaşlandırma zamanına bağlı kuvvet – uzama grafikleri ve Şekil 5.5.'de yaşlandırma süresine bağlı iplik numunelerinin tokluk değişimi grafiği yer almaktadır.



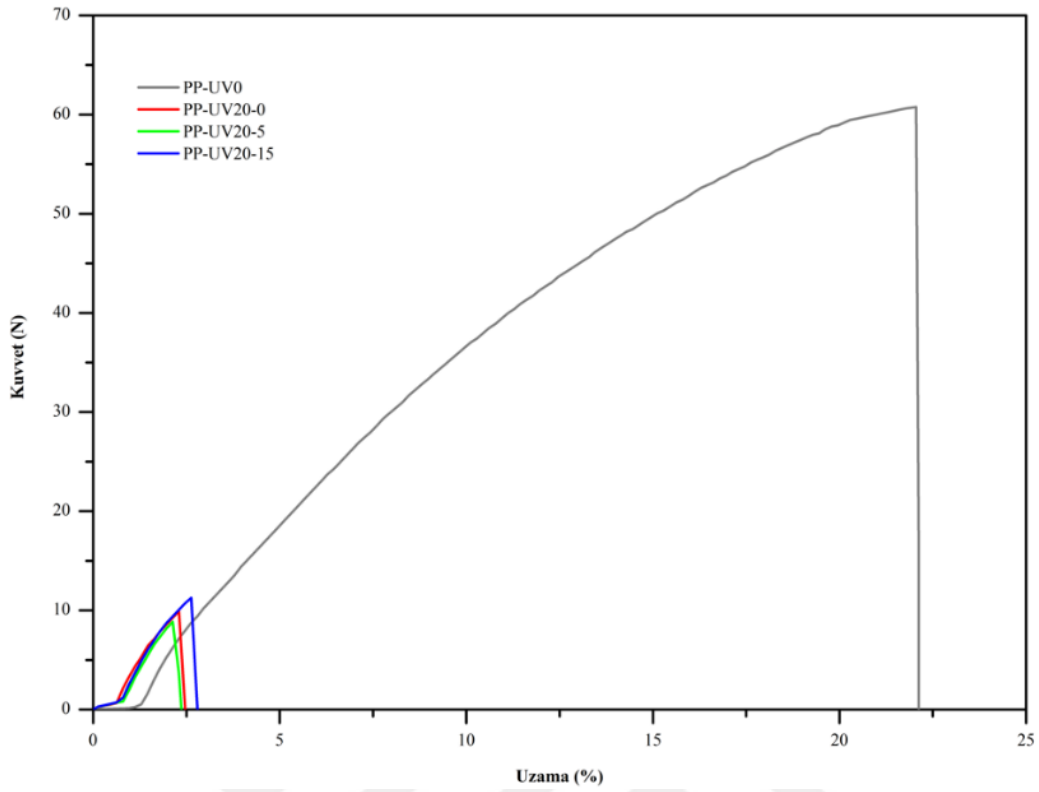
Şekil 5.1. 5gün yaşlandırılmış iplik numunelerine ait kuvvet-uzama grafiği



Şekil 5.2. 10gün yaşlandırılmış iplik numunelerine ait kuvvet-uzama grafiği



Şekil 5.3. 15gün yaşlandırılmış iplik numunelerine ait kuvvet-uzama grafiği



Şekil 5. 4. 20gün yaşlandırılmış iplik numunelerine ait kuvvet-uzama grafiği

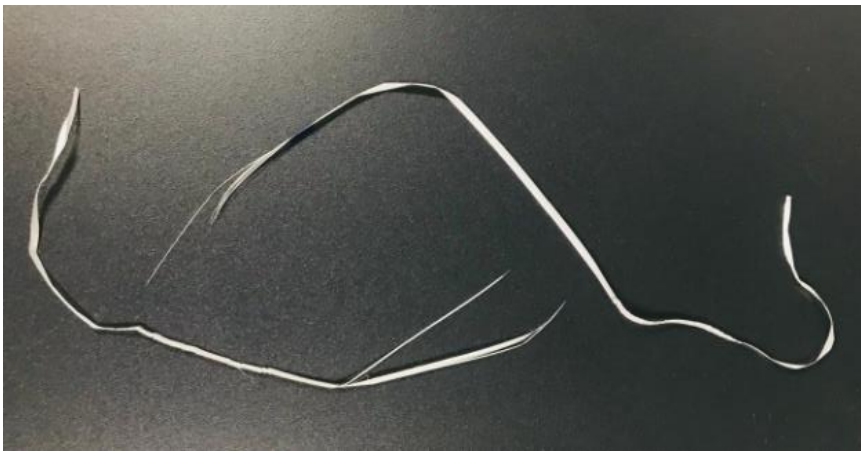
Tablo 5.1.' deki deney çıktıları incelendiğinde hızlandırılmış yaşlandırma sonucu ipliğin çekme mukavemeti ve kopma uzaması değerlerinin düştüğü görülmüştür. Polipropilenin yapısındaki çok sayıda kararsız üçüncül karbon atomu nedeniyle, çekme mukavemeti ve kopma uzaması değerleri, zamana bağlı düşüş sergiler. Ayrıca, eş zamanlı gerçekleşen zincir kırılması sonucu meydana gelen kristallikteki artış, numunelerin kırılma hızına ve dolayısıyla UV'ye maruz kalma sırasında kopma uzamasının azalmasına yol açar (Ainali ve diğ., 2021). Tokluk değerlerindeki azalmanın % uzama değerlerindeki ile aynı eğilimi gösterdiği görülmüştür (Şekil 5.5). İpliklerin yaşlandırma süresinin artışı ile gevrek bir kopma davranışı sergilediği çekme testleri sonucunda tespit edilmiştir.

Deney sonuçlarından yaşlandırma süresinin artışı ile ipliklerin çekme mukavemeti ve % uzama değerlerinde azalış meydana geldiği görülmektedir. Her bir yaşlandırma süresi içinde ipliklere uygulanan ön gerilmenin artışının etkisi erken UV yaşlandırma süresinde etkin gözükürken ilerleyen yaşlandırma süresinde uygulanan ön gerilmenin belirgin bir etkisi görülmemiştir. Yaşlandırmanın malzemede oluşturduğu hasarın yanında ön gerilmenin oluşturduğu hasarın göz ardı edilebilecek boyutta olduğu tespit edilmiştir.

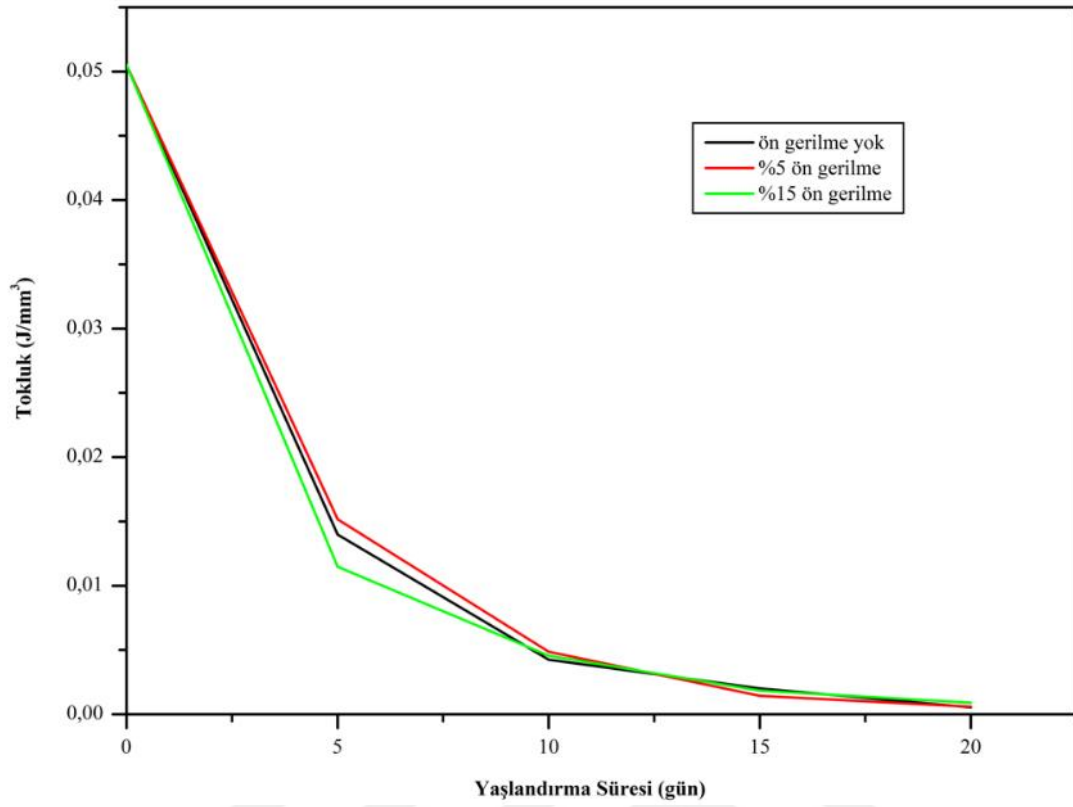
Tablo 5.1. Çekme Deney Sonuçları

Numune Kodu	Yaşlandırma Süresi (gün)	Ön gerilme (%)	Fmax (N)	ϵ (%)	Rm (mN/den)	Tokluk (J/mm ³)
PP-UV0	0	0	60,76	22,06	63,96	504,98x10 ⁻⁴
PP-UV5-0	5	0	36,91	10,55	38,85	140,86x10 ⁻⁴
PP-UV5-5		5	37,98	10,63	39,98	151,5x10 ⁻⁴
PP-UV5-15		15	34,22	9,14	36,02	114,29x10 ⁻⁴
PP-UV10-0	10	0	21,63	5,45	22,77	42,52x10 ⁻⁴
PP-UV10-5		5	22,22	5,77	23,39	47,84x10 ⁻⁴
PP-UV10-15		15	21,28	5,64	22,40	45,18x10 ⁻⁴
PP-UV15-0	15	0	15,11	4,04	15,90	21,26x10 ⁻⁴
PP-UV15-5		5	13,95	3,44	14,68	16,10x10 ⁻⁴
PP-UV15-15		15	14,65	3,66	15,42	18,60x10 ⁻⁴
PP-UV20-0	20	0	8,43	2,03	8,87	5,32x10 ⁻⁴
PP-UV20-5		5	8,91	2,15	9,38	5,32x10 ⁻⁴
PP-UV20-15		15	9,17	2,09	9,65	7,52x10 ⁻⁴

Tablo 5.1 deki veriler incelendiğinde, UV yaşlandırma testleri sonucu kopma uzamasında meydana gelen azalmanın, çekme mukavemetinde meydana gelen azalmadan daha yüksek olduğu görülmüştür. Literatürde lif oluşumunda kullanılan PP'nin UV yaşlandırma ile bozunması sonucu çekme mukavemeti ve uzaması değerlerinde benzer azalışlar bulunmaktadır (Carlsson & Wiles, 1975).



Şekil 5. 5. 15gün yaşlandırılmış şerit iplik çekme testi sonrası



Şekil 5.6. Yaşlandırma süresine bağlı tokluk değişimi grafiği

5.2. DSC Sonuçları

Polipropilen lifin termal stabilitesi, UV ışığının etkisi ile azalır yani lif daha düşük bir sıcaklıkta yumuşar ve erir. Yaşlandırılmış lifin ayrışma süreci daha karmaşıktır ve daha geniş bir sıcaklık aralığında meydana gelir (Ainali ve diğ., 2021; Čunko ve diğ., 1999).

Deney numunelerine ait DSC analiz sonuçları Tablo 5.2.'de verilmiştir. Yaşlandırmaya maruz bırakılan ipliklerin erime sıcaklıklarının (T_{peak}) azaldığı ve faz değişim sıcaklık aralıklarının genel olarak arttığı tespit edilmiştir. UV yaşlandırma işlemi, lamellerin kalınlığını azaltmakta, kristalitlerin kalınlık dağılımının genel olarak genişlemesine neden olmakta ve bu durum da PP' nin erime sıcaklığında azalmaya yol açmaktadır (Grause ve diğ., 2020). Yaşlandırma işlemi sonrası ipliklerin yüzde kristalinite değerlerinde yaşlandırma süresine bağlı iki farklı eğilim görülmüştür. Kristalinite oranının erken yaşlandırma döneminde artma eğiliminde olduğu, 15 gün ve sonrasında ise azalışa geçtiği belirlenmiştir. Her bir yaşlandırma süresi için elde edilen kristalinite

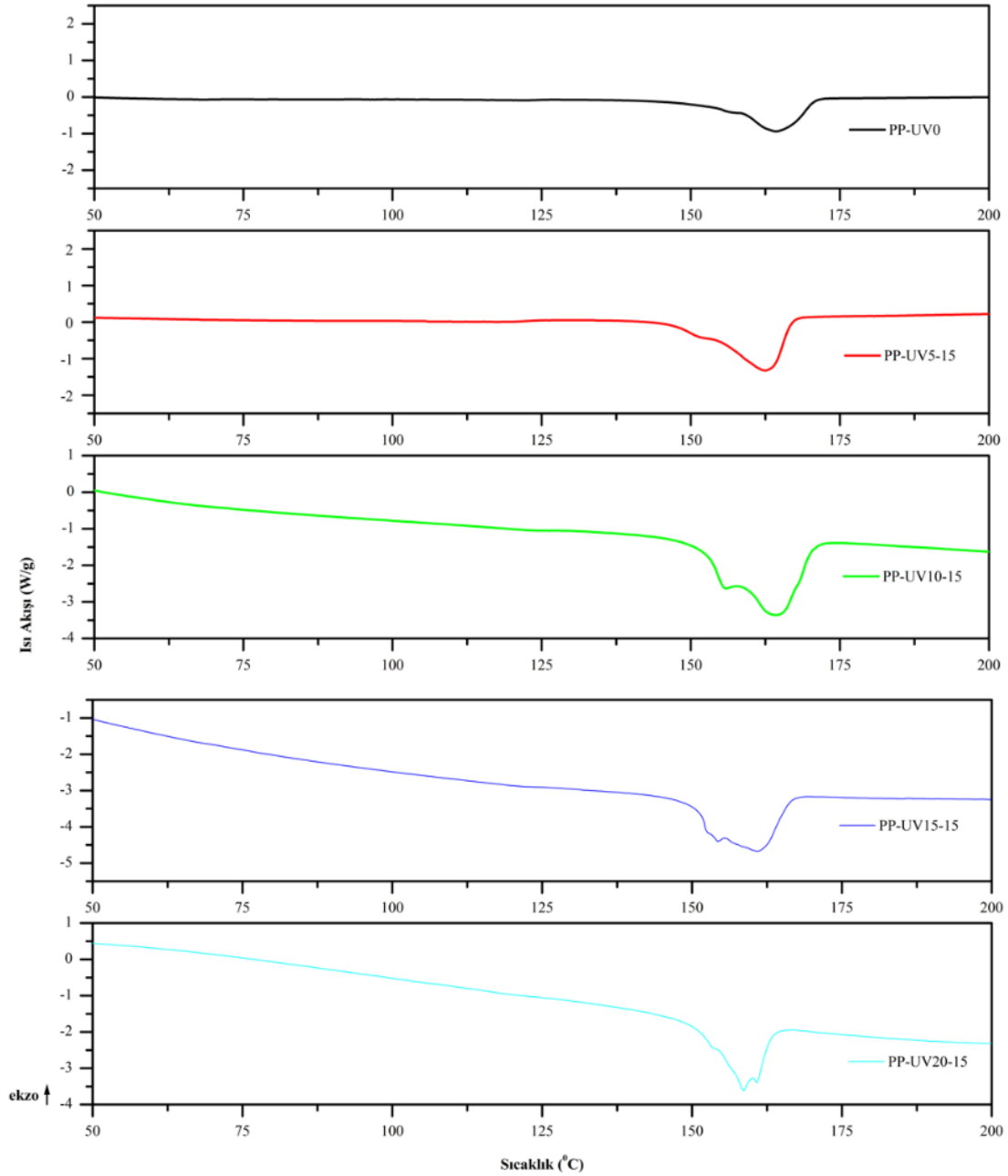
değerlerine bakıldığında ise, ipliklere uygulanan ön gerilmenin kristalinite oranını artırıcı etki meydana getirdiği görülmüştür.

Literatürde PP malzemenin % X_c değerindeki değişimi, UV radyasyon kaynaklı bozunma ile kristalleşme arasındaki korelasyon ile ilişkilendirilir. Yaşlandırmanın erken aşamasında kristallik zincir bölünmesi ile kontrol edilir. İlk olarak, amorf makromoleküler bölgelerde zincir kırılmaları meydana gelir ve kimyasal kristalleşmeye yardımcı olur (Rabello & White, 1997a). Daha uzun süre UV'ye maruz kaldıktan sonra, polimerin kristalin bölgelerinin bozulması ve UV ile bozunmuş malzemede birkaç ek grubun (FTIR ölçümleri ile doğrulanan karbonil grupları gibi, Şekil 5.6) oluşması, kristalizasyon prosedürlerini bloke eder ve kristalleşme süreci durur (Arráez ve diğ., 2018; Brambilla ve diğ., 2003; Rajakumar ve diğ., 2009). Literatürdeki birçok çalışmada, iPP'nin fotobozunması sırasında başlangıçta % X_c değerinin arttığı, ardından artan maruziyet zamanını bağlı azalış gösterdiği ifade edilmiştir (Larena ve diğ., 2006; Lv ve diğ., 2015; Rabello & White, 1997b, 1997a).

Tablo 5.2. Numunelere ait DSC analizi sonuçları

Numune Kodu	T_m			$\Delta H_m(J/g)$	X_c (%)
	T_{onset} (°C)	T_{peak} (°C)	T_{endset} (°C)		
PP-UV0	158,29	164,44	170,88	52,40	25,31
PP-UV5-0	154,15	163,47	168	58,45	28,24
PP-UV5-5	149,86	162,21	167,21	99,65	48,14
PP-UV5-15	150,91	162,56	166,99	102,29	49,42
PP-UV10-0	151,95	161,61	166,95	113,28	54,72
PP-UV10-5	155,21	162,68	170,05	106,85	51,62
PP-UV10-15	154,74	164,22	170,46	140,67	67,96
PP-UV15-0	153,58	161,30	164,79	72,90	35,22
PP-UV15-5	151,71	154,41	161,56	91	43,96
PP-UV15-15	146,11	160,89	166,33	107,44	51,90
PP-UV20-0	150,1	155,38	165,73	76,95	37,17
PP-UV20-5	139,83	152,34	161,52	93,22	45,03
PP-UV20-15	129,06	158,56	170,04	92,17	44,53

Şekil 5.6.'da iplik numunelerinin DSC termogramları yer almaktadır. DSC termogramları incelendiğinde, UV ye maruziyet süresinin artmasıyla geniş ve çoklu erime piklerinin ortaya çıktığı görülmüştür. Bu durum polimer zincirlerinin kopması, çeşitli kristal türlerinin ve/veya morfolojilerinin ortaya çıkışı, salınan düşük molekül ağırlıklı bölümler ve safsızlıkların ayrılması ile ilişkilendirilmektedir (Ainali ve diğ., 2021; Zhou ve diğ., 2022).



Şekil 5.7. DSC termogramları a)PP-UV0, b)PP-UV5-15, c) PP-UV10-15, d) PP-UV15-15, e) PP-UV20-15

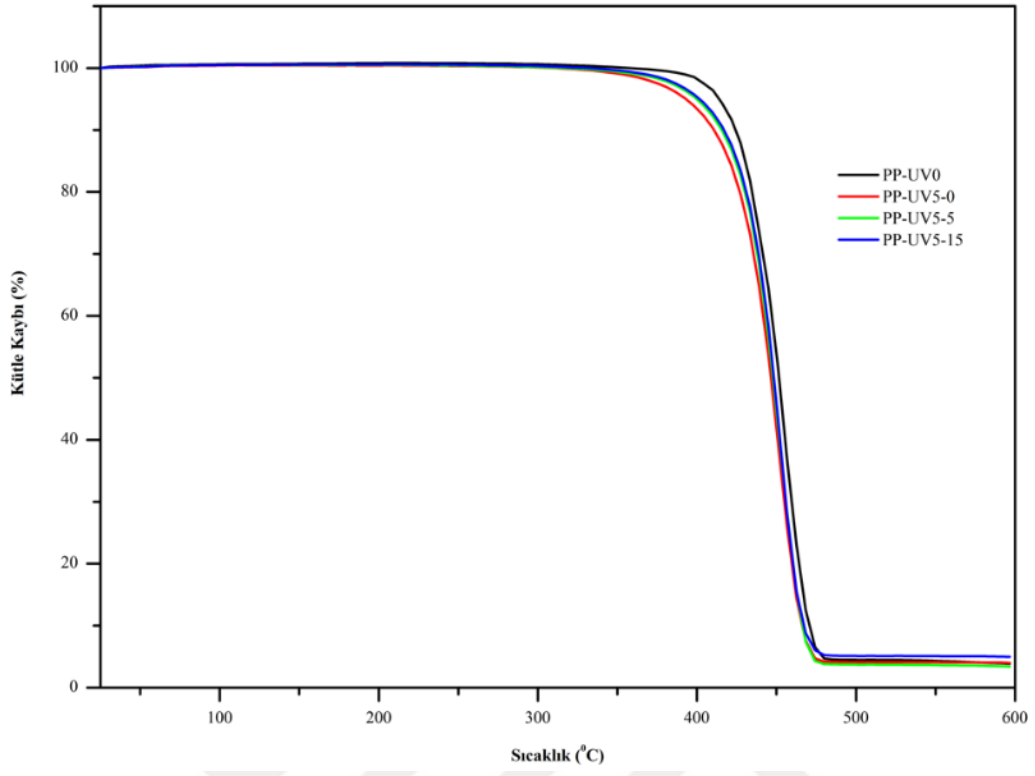
5.3. TGA Sonuçları

TGA analiz sonuçları Tablo 5.3’de verilmiştir. Sonuçlar numunelerin %5 oranında ağırlık kaybının olduğu bozunmaya başladığı sıcaklığı (T_{d5}), %10 oranında ağırlık kaybının olduğu bozunma sıcaklığı (T_{d10}), maksimum bozunma sıcaklığı (T_{max}) ve 600 °C’deki kalıntı miktarı verilerini içermektedir.

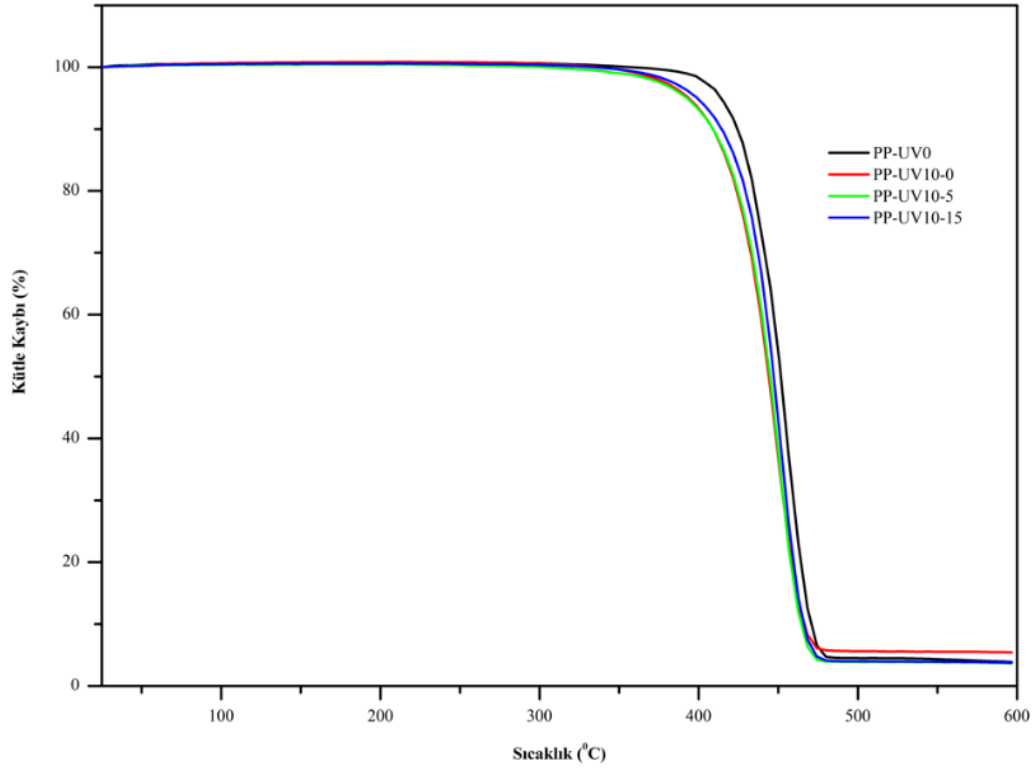
Tablo 5.3. Numunelere ait TGA analizi sonuçları

Numune Kodu	T_{d5} (°C)	T_{d10} (°C)	T_{max} (°C)	Kalıntı (600 °C, % ağırlık)
PP-UV0	413,87	424,32	455,62	3,86
PP-UV5-0	393,16	410,78	451,41	3,97
PP-UV5-5	399,90	415,64	452,25	3,39
PP-UV5-15	401,85	417,09	452,25	4,95
PP-UV10-0	393,74	408,92	449,30	5,42
PP-UV10-5	392,52	408,94	450,57	3,61
PP-UV10-15	399,09	414,43	451,41	3,77
PP-UV15-0	400,28	414,63	453,09	4,05
PP-UV15-5	393,72	410,23	450,99	4,34
PP-UV15-15	382,33	397,26	446,78	5,86
PP-UV20-0	391,77	408,15	450,57	4,12
PP-UV20-5	379,90	399,06	448,46	1,63
PP-UV20-15	393,12	409,76	451,83	1,24

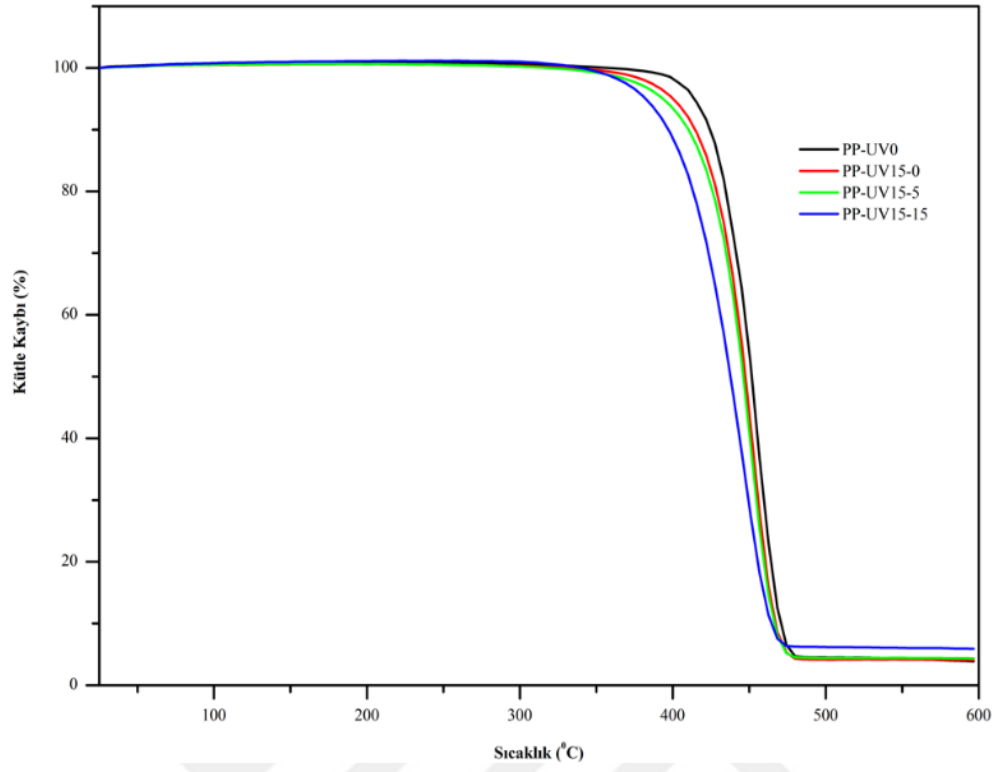
Şekil 5.7 - Şekil 5.10 arasında verilen TGA eğrileri incelendiğinde, malzemenin termal stabilitesinin düştüğü görülmektedir. Bu durum hızlandırılmış yaşlandırma sonucu malzemenin molekül yapısında bozunma meydana geldiğini işaret etmektedir. Analiz sonucunda yaşlandırılmış numunelerin kütlece %5’inin ve %10’unun bozunmaya başladığı yıpranma (T_{d5} ve T_{d10}) sıcaklıklarının daha düşük değerlere kayma eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir. Söz konusu düşüşlerin, yaşlandırma sırasında meydana gelen zincir kesilme reaksiyonlarının sonucu olarak malzemede daha düşük molekül ağırlıklı zincirlerin oluşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



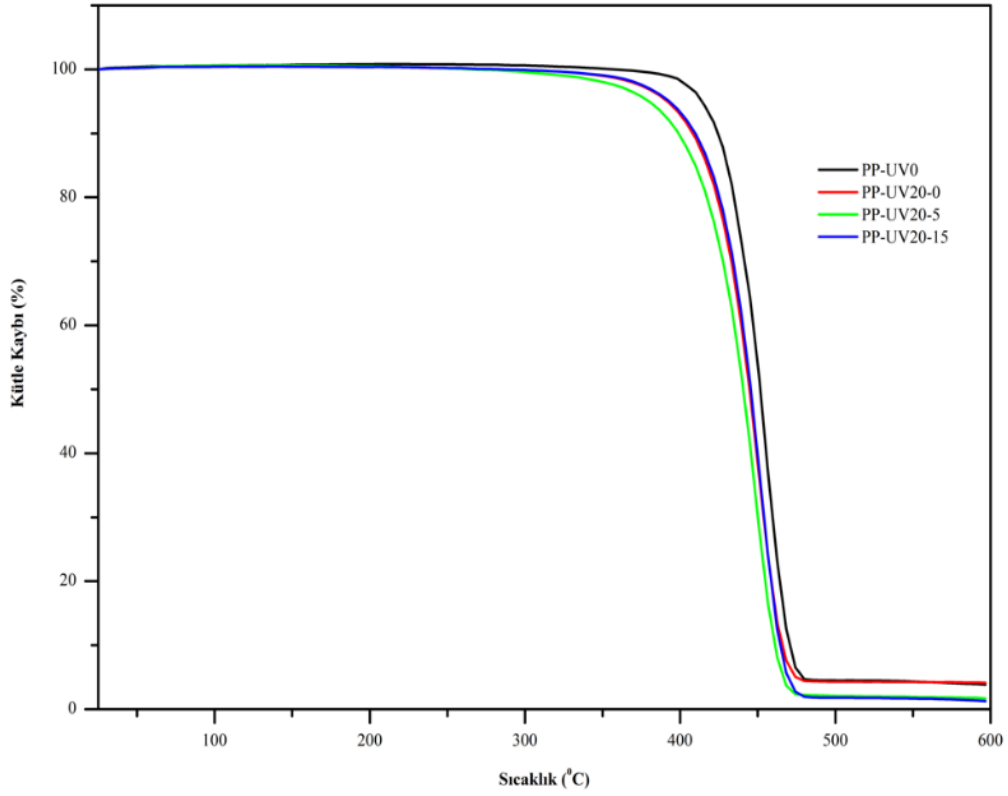
Şekil 5.8. 5gün yaşlandırılmış iplik numunelerinin TGA termogramları



Şekil 5.9. 10gün yaşlandırılmış iplik numunelerinin TGA termogramları



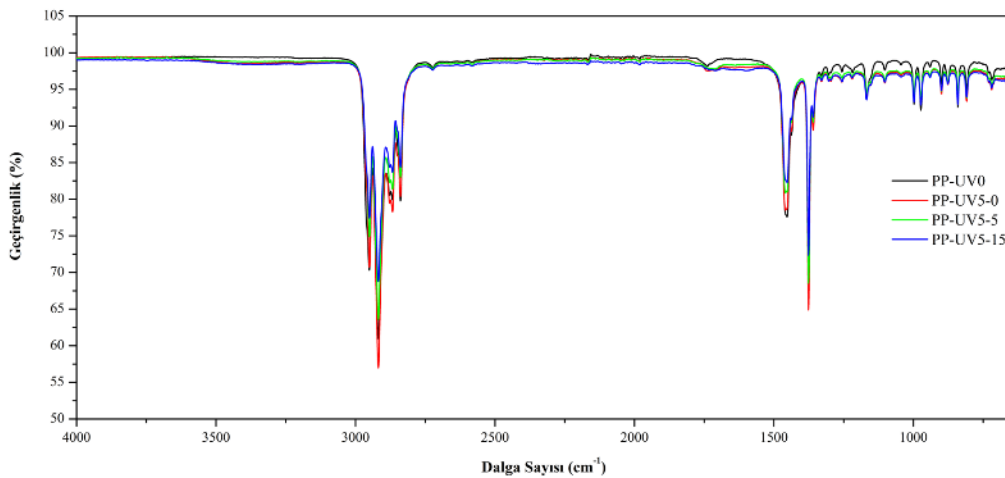
Şekil 5.10. 15gün yaşlandırılmış iplik numunelerinin TGA termogramları



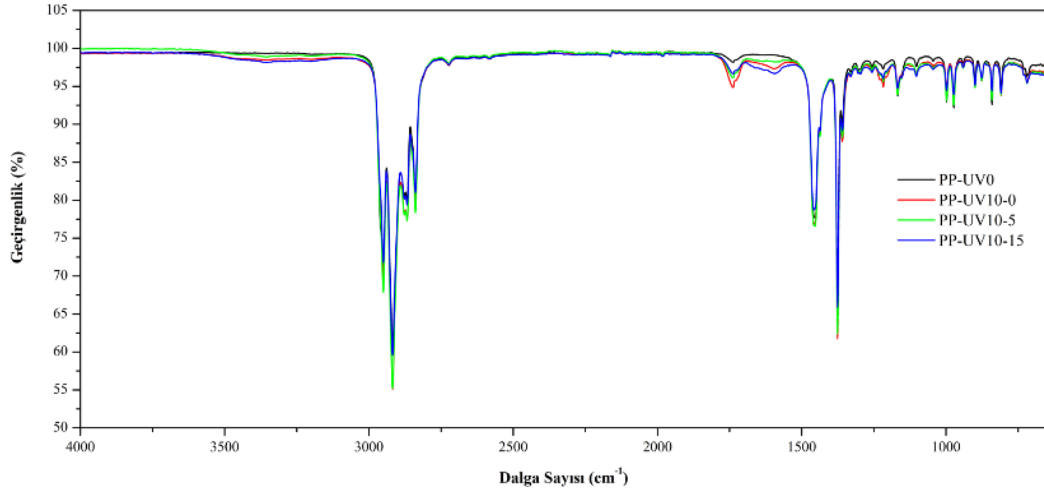
Şekil 5.11. 20gün yaşlandırılmış iplik numunelerinin TGA termogramları

5.4. FTIR Sonuçları

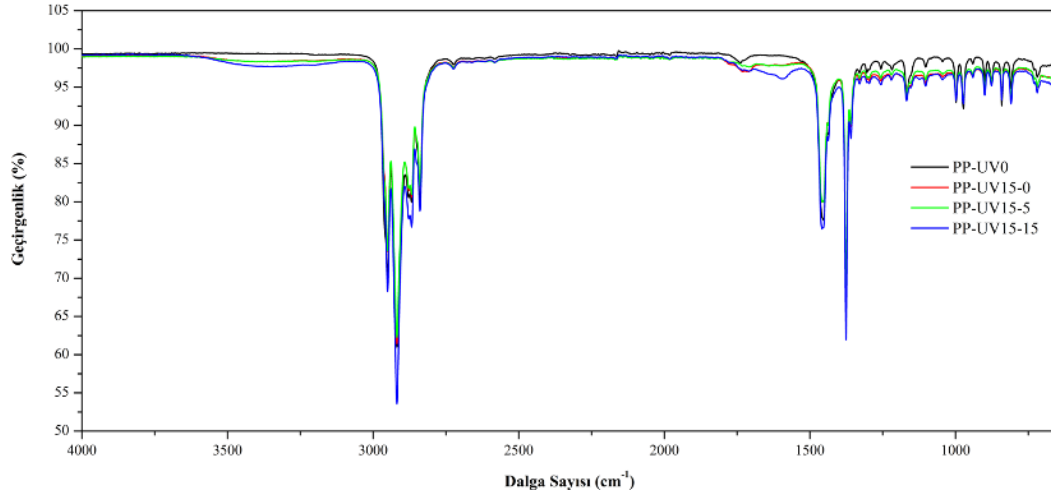
Poliolefinlerin fotobozunması esas olarak hidroperoksit ve karbonil grupları gibi kromofor gruplarının varlığından, üretim ve işleme sırasında ortaya çıkan çift bağlardan ve katalizör kalıntılarından kaynaklanır. Tüm bu kromoforlar 290 nm'nin üzerindeki UV ışığını emer ve çeşitli fotokimyasal reaksiyonlara katılır (Rabek, 1990). Polipropilen malzemenin fotobozunması genel olarak iki mekanizma üzerinden gerçekleşmektedir. Birincisi Norrish tip I mekanizması olup karbonil gruplarının oluşumuyla ilgiliyken, ikinci mekanizma (Norrish tip II) vinil ve hidroksil/hidroksiperoksit türlerinin oluşumuna yol açmaktadır (Ainali ve diğ., 2021). FTIR spektrumları incelendiğinde, numunelerden elde edilen spektrumlarda, $2800\text{--}3000\text{ cm}^{-1}$, 1455 cm^{-1} ve 1375 cm^{-1} 'deki karakteristik pikleri görebiliriz. Bu pikler sırasıyla polimer yapıdaki C-H bandının gerilme titreşimine, --CH_2 gruplarının deformasyon titreşimine ve --CH_3 gruplarının deformasyon titreşimine aittir (Zhou ve diğ., 2022). Yaşlandırılmış numunelerde, erken yaşlandırma döneminden itibaren karbonil ve vinil grupları bölgesindeki $1640\text{--}1800\text{ cm}^{-1}$ 'deki bandın genişlediği ve bant genişliğinin UV ışınlarına daha uzun maruz kalma süreleri boyunca artış gösterdiği tespit edilmiştir. Bu durum karboksilik asitler, esterler ve keton oluşumlarına işaret etmektedir. İpliğin 15 günlük UV maruziyetinden sonra $3300\text{--}3500\text{ cm}^{-1}$ bandında yeni bir geniş pik sunduğu görülmüş ve bu durum da bozunmaya bağlı oluşan hidroksil/hidroksiperoksit gruplarının varlığını ortaya koymuştur. Hızlandırılmış yaşlandırma sonrası şerit ipliklerinin FTIR analizinde benzer spektral değişiklikler meydana geldiği literatürde de belirtilmiştir (Marsich ve diğ., 2017).



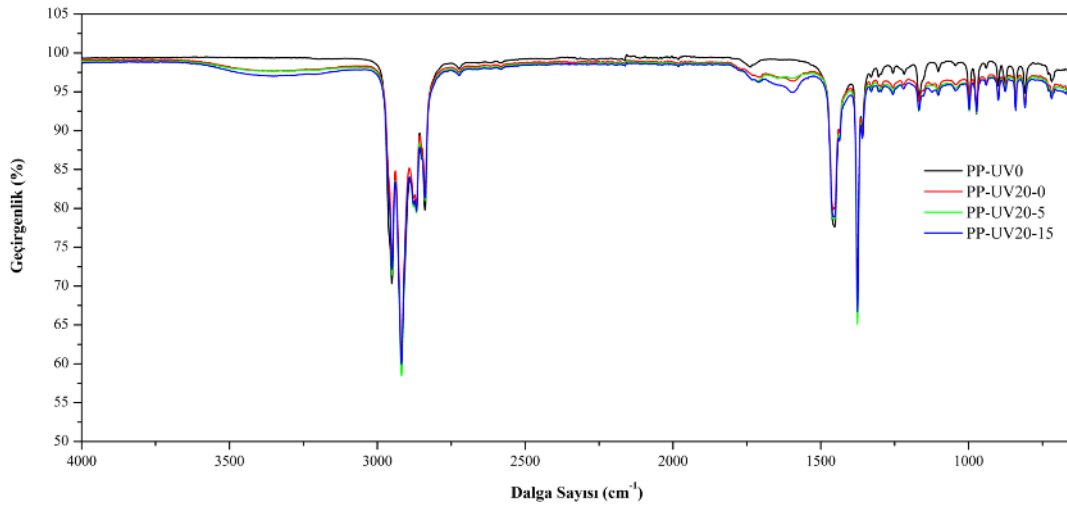
Şekil 5.12. 5gün yaşlandırılmış iplik numunelerinin FTIR spektrası



Şekil 5.13. 10gün yaşlandırılmış iplik numunelerinin FTIR spektrası



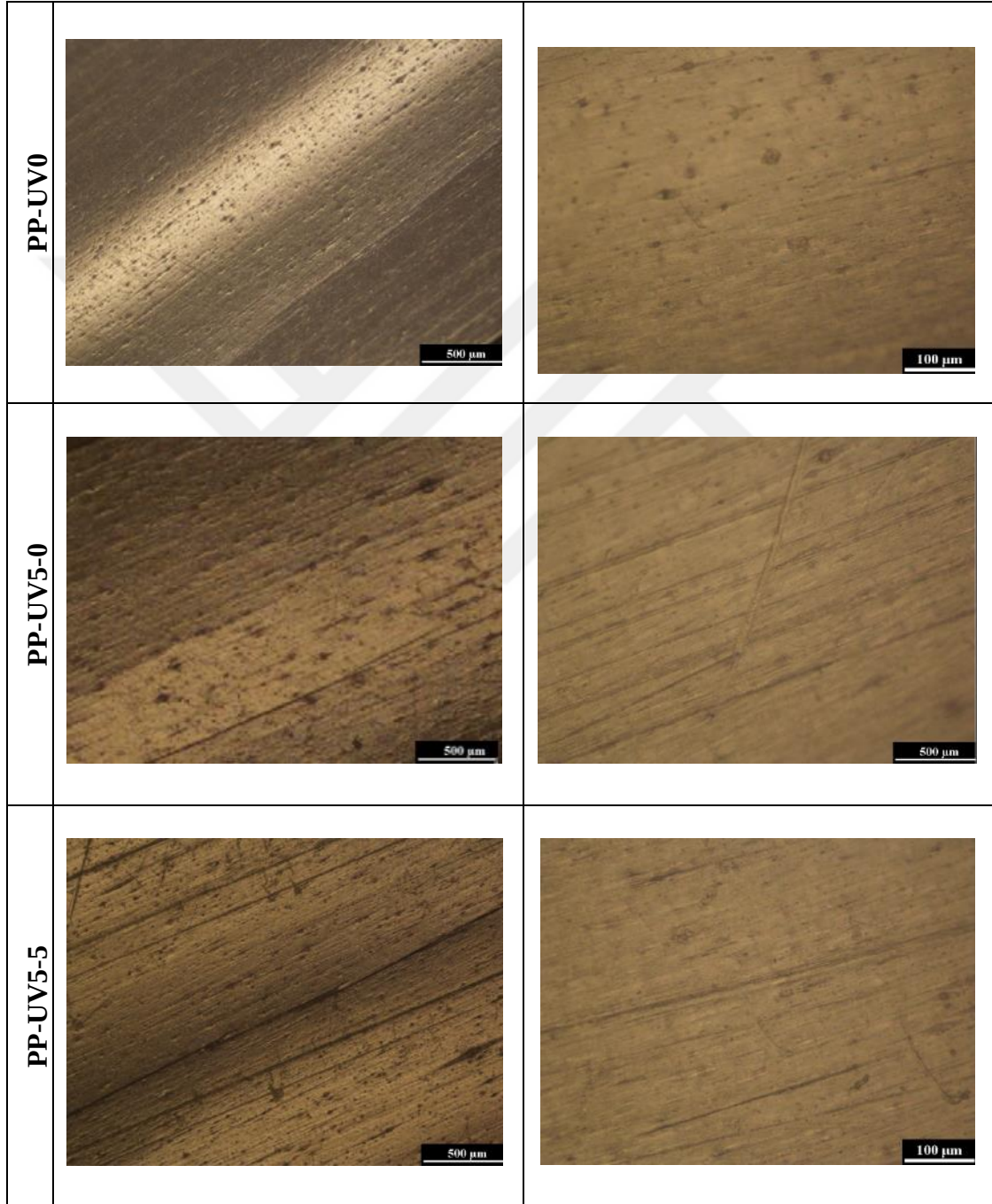
Şekil 5.14. 15gün yaşlandırılmış iplik numunelerinin FTIR spektrası



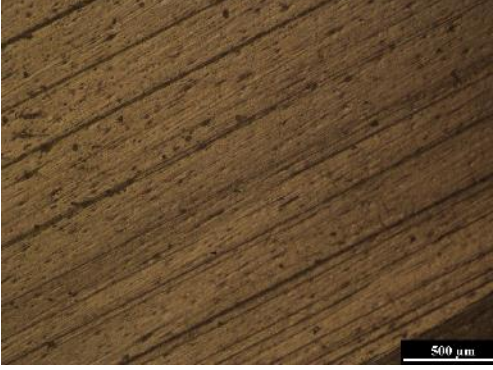
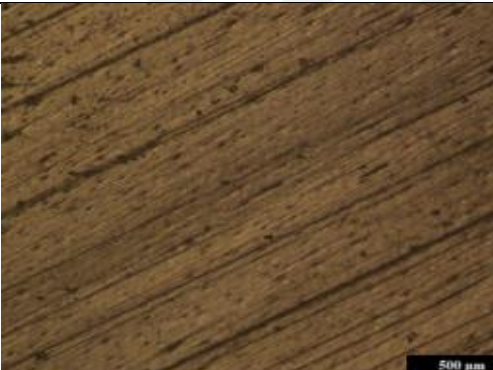
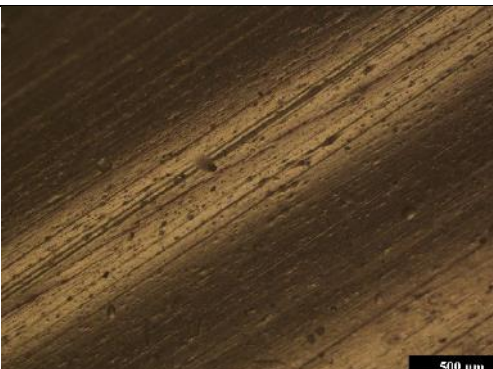
Şekil 5.15. 20gün yaşlandırılmış iplik numunelerinin FTIR spektrası

5.5. Makro Yapı Görüntüleri

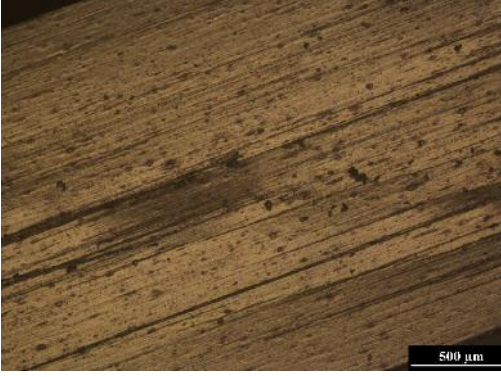
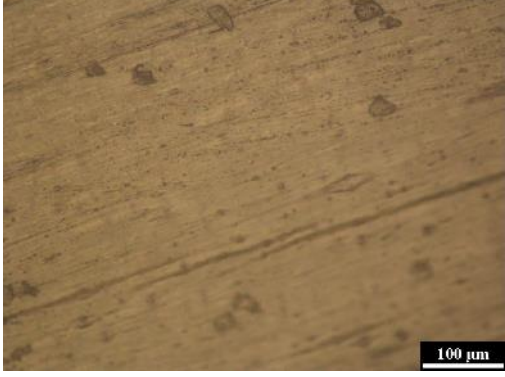
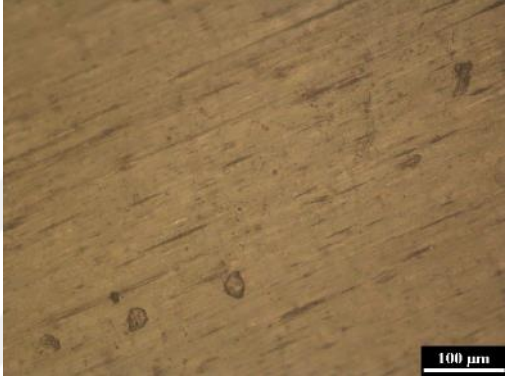
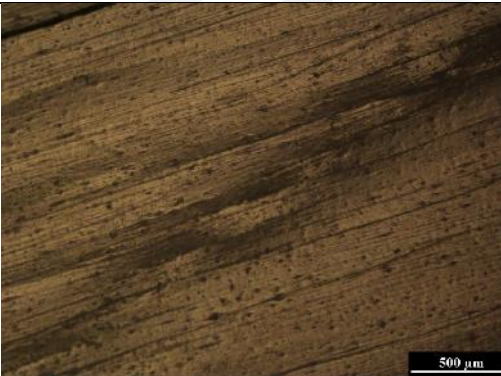
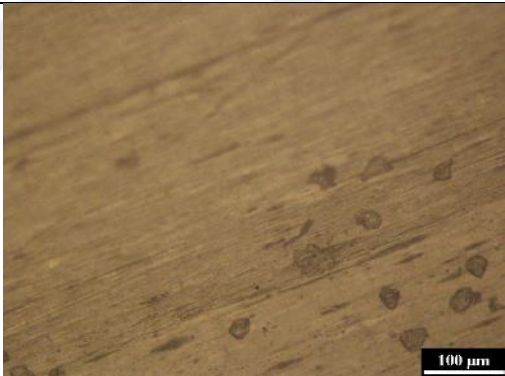
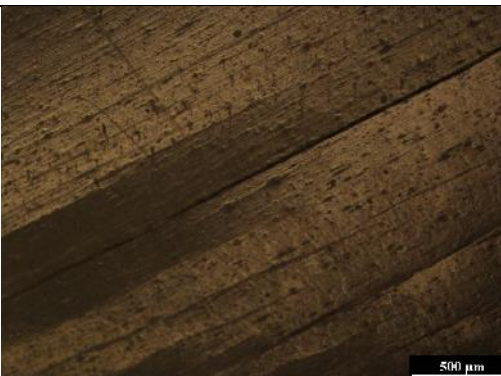
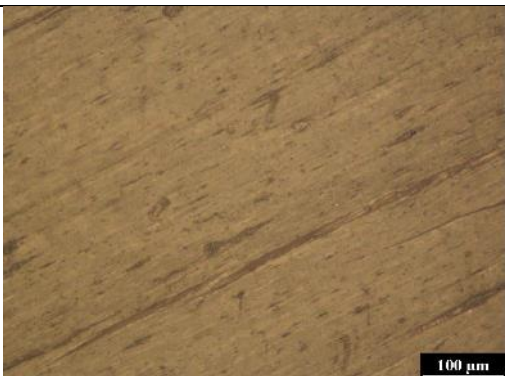
Yaşlandırma işlemi uygulanmamış numune ve yaşlandırmaya maruz bırakılan numunelere ait makro yapı görüntüleri Şekil 5.16 'da verilmiştir. Numuneler için iki farklı büyütme oranında görüntüleme yapılmıştır.



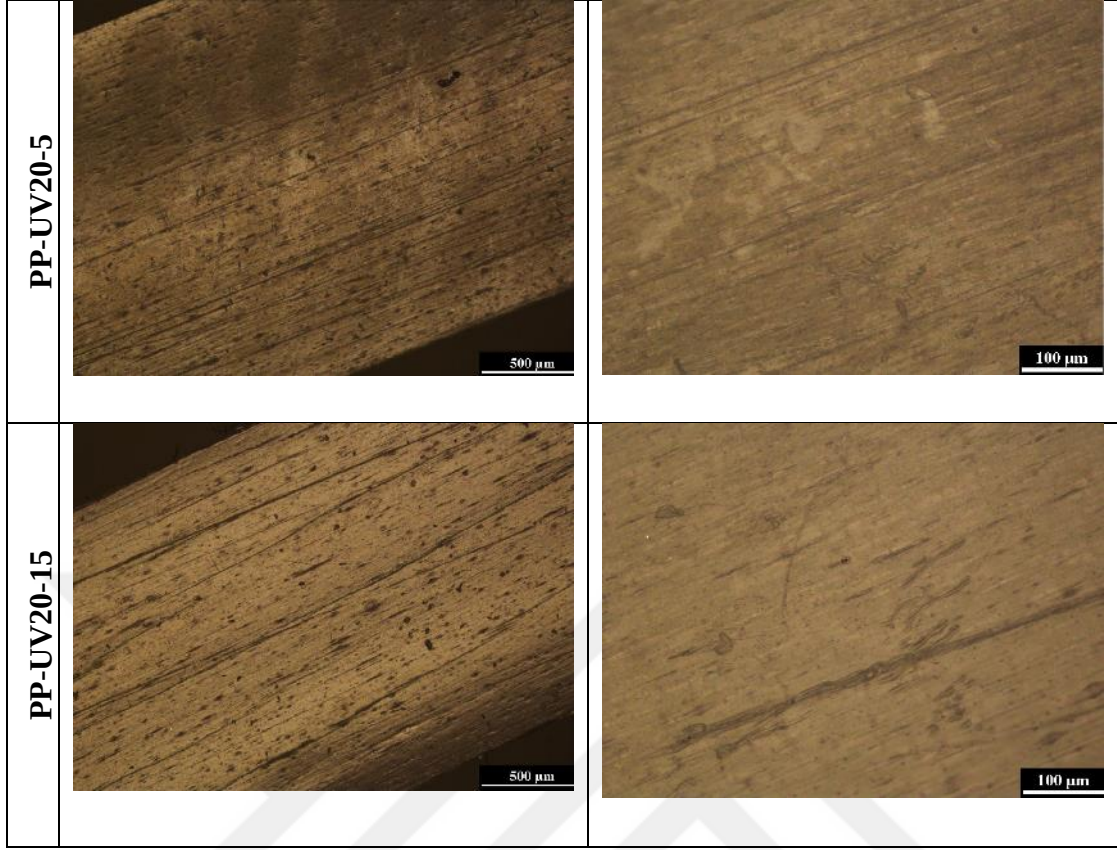
Şekil 5.16. İplik numunelerine ait makro yapı görüntüleri

PP-UV5-15		
PP-UV10-0		
PP-UV10-5		
PP-UV10-15		

Şekil 5.17 (Devam) İplik numunelerine ait makro yapı görüntüleri

PP-UV15-0		
PP-UV15-5		
PP-UV15-15		
PP-UV20-0		

Şekil 5.19 (Devam) İplik numunelerine ait makro yapı görüntüleri



Şekil 5.20 (Devam) İplik numunelerine ait makro yapı görüntüleri

Şekil 5.16’da verilen malzeme yüzeyleri incelendiğinde, hem ön gerilme/oryantasyon hem de UV yaşlandırmanın etkisiyle numunelerde hasar oluştuğu görülmektedir. Oryantasyon yönüne paralel çizgisel çatlakların meydana geldiği ve yaşlandırma süresinin artması ile birlikte bu çizgisel çatlakların hem sayısının hem de büyüklüğünün arttığı görülmektedir. Yaşlandırmanın ilerleyen dönemlerinde (15 ve 20.günlerde) yaşlandırmanın meydana getirdiği hasarın artarak malzemedeki katlanmalara neden olduğu ve çizgisel çatlakların yırtılmaya dönüştüğü tespit edilmiştir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada hızlandırılmış yaşlandırmanın polipropilen şerit ipliklerin mekanik ve termal özelliklerine etkisi incelenmiştir. Hızlandırılmış yaşlandırma testi ile malzemenin çevre koşulları ve farklı yükleme koşullarına maruz kaldığında mekanik ve termal özelliklerinde meydana gelen değişim kısa zamanda tespit edilmiş, zaman ve maliyetten tasarruf sağlanmıştır.

Çekme testi sonuçları incelendiğinde, yaşlandırma sonrası ipliklerin çekme mukavemeti ve uzama değerlerinin yaşlandırmaya maruziyet süresinin artışıyla dramatik bir şekilde azaldığı görülmüştür. 20 gün yaşlandırma sonrasında ipliklerin çekme mukavemetinde %86 oranında, kopma uzamalarında ise %91 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir.

DSC analizi sonuçları incelendiğinde, yaşlandırılmış PP şerit ipliklerin erime sıcaklıklarında azalma olduğu görülmüştür. Kristalinite oranının erken yaşlandırma döneminde artış gösterdiği, yaşlandırma süresinin artışıyla (15 gün ve sonrasında) ise azalışa geçtiği belirlenmiştir. Ön gerilme artışının ise ipliklerde kristalinite oranını artırıcı etki oluşturduğu görülmüştür.

TGA analizi sonuçları incelendiğinde, yaşlandırma işlemi sonrası PP şerit ipliklerin termal stabilitesinin azaldığı buna bağlı yıpranma sıcaklıklarının (T_{d5} , T_{d10}) düştüğü tespit edilmiştir.

FTIR analizi sonuçları incelendiğinde, ipliklerin fotobozunması sonrası ana spektral değişikliğin karbonil grubu titreşimleriyle ilişkili 1650cm^{-1} ila 1850cm^{-1} arasındaki bölgede meydana geldiği ve daha uzun maruz kalma süreleri boyunca da pik genişliğinin arttığı tespit edilmiştir. UV maruziyet süresinin artışıyla $3300\text{-}3500\text{ cm}^{-1}$ bandında malzemedeki bozunmaya bağlı oluşan hidroksil/hidroksiperoksit gruplarının varlığını işaret eden yeni bir geniş oluştuğu görülmüştür.

Polarize optik mikroskop (POM) ile yapılan makro yapı analizinde yaşlandırma öncesi ipliklerin muhtemelen üretim sürecinden kaynaklanan ihmal edilebilir kusurlar barındırdığı, yaşlandırma sonrası iplik yüzeylerinde oryantasyon yönüne paralel şekilde mikro çatlaklar meydana geldiği ve maruz kalma süresine bağlı çatlakların ilerlediği tespit edilmiştir.

Bu çalışma sırasında elde edilen bilgiler ve deneyimler sonucunda yaşlandırma koşullarının PP şerit ipliklerin mekanik ve termal özelliklerine etkisi ile ilgili çalışma gerçekleştirecek araştırmacılara aşağıda belirtilen önerilerde bulunulabilir;

PP şerit iplikler anizotropik malzemeler olduğından ipliklerin mekanik ve termal özelliklerinde düzensizlikler ve geniş dağılımlar görülebilir. Bu nedenle seçilen her bir deney süresi için test edilen numune sayısının artırılması önerilebilir.

Çalışmada, hızlandırılmış yaşlandırma testleri, ASTM G154 standardında tanımlı tipik deney parametreleri (sıcaklık, radyasyon miktarı, döngü süreleri) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler uygun deney tasarımı seçilerek, parametrelerin farklı değerleri ile gerçekleştirilebilir ve bu parametrelerin malzemenin bozunma sürecine olan etki oranları belirlenebilir.

KAYNAKLAR

- Abu-Ragheef, B. (2019). Polymer Aging Mechanics: An investigation on a Thermoset Polymer used in the Exterior Structure of a Heavy-duty Vehicle. Master Thesis, Linnaeus University, Sweden.
- Ainali, N. M., Bikiaris, D. N., Lambropoulou, D. A. (2021). Aging effects on low- and high-density polyethylene, polypropylene and polystyrene under UV irradiation: An insight into decomposition mechanism by Py-GC/MS for microplastic analysis. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 158, 105207.
- Alcock, B., Cabrera, N. O., Barkoula, N. M., & Peijs, T. (2009). The effect of processing conditions on the mechanical properties and thermal stability of highly oriented PP tapes. *European Polymer Journal*, 45(10), 2878-2894.
- Arráez, F. J., Arnal, M. L., Müller, A. J. (2018). Thermal and UV degradation of polypropylene with pro-oxidant. Abiotic characterization. *Journal of Applied Polymer Science*, 135(14), 46088.
- Azuma, Y., Takeda, H., Watanabe, S., Nakatani, H. (2009). Outdoor and accelerated weathering tests for polypropylene and polypropylene/talc composites: A comparative study of their weathering behavior. *Polymer Degradation and Stability*, 94(12), 2267-2274.
- Bendak, A., Kantouch, A., Nasr, M. F. (1997). Some studies on thermal treatments of polyester fibers: Structural changes. *Journal of applied polymer science*, 65(13), 2773-2780.
- Bower, D. I. (2002). An Introduction to Polymer Physics (1st Edition). Cambridge University Press.
- Brambilla, L., Consolati, G., Gallo, R., Quasso, F., Severini, F. (2003). Environmental degradation of isotactic polypropylene plates as studied by positron annihilation lifetime spectroscopy. *Polymer*, 44(4), 1041-1044.
- Bresee, R. R. (1986). General effects of ageing on textiles. *Journal of the American Institute for Conservation*, 25(1), 39-48.
- Carlsson, D. J., & Wiles, D. M. (1976). *Effects of UV light on the chemical and mechanical properties of fiber forming polymers*. ACS Publications.
- Chattopadhyay, R. (2010). Introduction: Types of technical textile yarn. *Technical Textile Yarns* (3-55). Cambridge: Woodhead Publishing.
- Čunko, R., Gambiroža-Jukić, M., Pezelj, E. (1999). The influence of light on the thermal decomposition of polypropylene fibers. *Journal of applied polymer science*, 71(13), 2237-2244.

- Demir, A. (2006). *Sentetik Filament İplik Üretim ve Tekstüre Teknolojileri*. İstanbul: Şan Ofset.
- Eichelter, J., Wilhelm, H., Mautner, A., Schafler, E., Eder, A., Bismarck, A. (2020). High-velocity stretching of polyolefin tapes. *Polymer Testing*, 81, 106228.
- Ertabak, D. (2020). İplik Dayanımını Etkileyen Proses Parametrelerinin Gri Taguchi Yöntemi ile Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 760313.
- Gerlock, J. L., Bauer, D. R., Briggs, L. M., Dickie, R. A. (1985). A rapid method of predicting coating durability using electron spin resonance. *JCT, Journal of coatings technology*, 57(722), 37-46.
- Göschel, U. (1996). Thermally stimulated structural changes in highly oriented glassy poly (ethylene terephthalate). *Polymer*, 37(18), 4049-4059.
- Grause, G., Chien, M.-F., Inoue, C. (2020). Changes during the weathering of polyolefins. *Polymer degradation and stability*, 181, 109364.
- Gugumus, F. (2002). Possibilities and limits of synergism with light stabilizers in polyolefins 2. UV absorbers in polyolefins. *Polymer degradation and stability*, 75(2), 309-320.
- Horrocks, A. R., & D'souza, J. A. (1991). Physicochemical changes in stabilized, orientated polypropylene films during the initial stages of thermal oxidation. *Journal of Applied Polymer Science*, 42(1), 243-261.
- Horrocks, A. R., & D'Souza, J. A. (1994). The effects of stress, environment and polymer variables on the durabilities of oriented polypropylene tapes. *Polymer Degradation and Stability*, 46(2), 181-194.
- Jakubowicz, I., Gardiner, D., Jamtvedt, S., Kockott, D., Schlosser, M., & Trubiroha, P. (2000). Interlaboratory test programme—Reproducibility in xenon arc weathering. *Polymer Testing*, 19(7), 729-753.
- Karger-Kocsis, J. (2012). *Polypropylene: An AZ reference* (Vol. 2). Springer Science & Business Media.
- Krevelen, D. W., Nijenhuis, K. te. (2009). *Properties of polymers: Their correlation with chemical structure their numerical estimation and prediction from additive group contributions* (4th ed.). Oxford: Elsevier.
- Lampman, S. (2003). *Characterization and failure analysis of plastics*. Asm International.

- Larena, A., De Ochoa, S. J., Dominguez, F. (2006). Dynamic-mechanical analysis of the photo-degradation of long glass fibre reinforced polypropylene: Mechanical properties' changes. *Polymer degradation and stability*, 91(4), 940-946.
- Lewin, M. (2006). *Handbook of Fiber Chemistry* (3rd ed.). CRC Press.
- Li, M., & Hsuan, Y. G. (2004). Temperature and pressure effects on the degradation of polypropylene tape yarns—Depletion of antioxidants. *Geotextiles and Geomembranes*, 22(6), 511-530.
- Lizárraga-Laborín, L. L., Quiroz-Castillo, J. M., Encinas-Encinas, J. C., Castillo-Ortega, M. M., Burruel-Ibarra, S. E., Romero-García, J., Torres-Ochoa, J. A., Cabrera-Germán, D., & Rodríguez-Félix, D. E. (2018). Accelerated weathering study of extruded polyethylene/poly (lactic acid)/chitosan films. *Polymer Degradation and Stability*, 155, 43-51.
- Lv, Y., Huang, Y., Yang, J., Kong, M., Yang, H., Zhao, J., Li, G. (2015). Outdoor and accelerated laboratory weathering of polypropylene: A comparison and correlation study. *Polymer Degradation and Stability*, 112, 145-159.
- Marsich, L., Ferluga, A., Cozzarini, L., Caniato, M., Sbaizero, O., Schmid, C. (2017). The effect of artificial weathering on PP coextruded tape and laminate. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 95, 370-376.
- McIntyre, J. E., & Textile Institute (2005). *Synthetic fibres: Nylon, polyester, acrylic, polyolefin*. CRC Press.
- Moore, E. P. (1996). *Polypropylene handbook: Polymerization, characterization, properties, processing, applications*. Hanser Publishers; Hanser/Gardner Publications.
- Northolt, M. G., & Hout, R. v. d. (1985). Elastic extension of an oriented crystalline fibre. *Polymer*, 26(2), 310-316.
- Petrulis, D., Petravičius, A., Petravičius, A., & Petrulyte, S. (2016). Effects of the Functional Compound on the Properties of Composite Tape Yarns. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 24(3(117)), 44-50.
- Petrulis, D., Petravičius, A., & Petrulyte, S. (2012). Analysis of breaking characteristics of tape yarns made from blends of polyolefins and additives. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 6A (95), 63--68.
- Petrulis, D., Petravičius, A., & Petrulyte, S. (2017). The side effects of UV light stabilizer on properties of polypropylene based composite tape yarn. *Journal of Applied Polymer Science*, 134(2).
- Phillips, K. J., & Ghosh, T. K. (2003). The Technology Of Polypropylene Tape Yarns: Processing And Applications. *Textile Progress*, 33(1), 1-53.

- Rabek, J. F. (1990). *Photostabilization of Polymers*. Springer Netherlands.
- Rabello, M. S., & White, J. R. (1997a). Crystallization and melting behaviour of photodegraded polypropylene—I. Chemi-crystallization. *Polymer*, 38(26), 6379-6387.
- Rabello, M. S., & White, J. R. (1997b). Photodegradation of polypropylene containing a nucleating agent. *Journal of applied polymer science*, 64(13), 2505-2517.
- Rajakumar, K., Sarasvathy, V., Thamarai Chelvan, A., Chitra, R., & Vijayakumar, C. T. (2009). Natural weathering studies of polypropylene. *Journal of Polymers and the Environment*, 17, 191-202.
- Richard Horrocks, A., Valinejad, K., & Crighton, J. S. (1994). The influence of fibre production history and stress on the durability of polypropylene. *Polymer Degradation and Stability*, 43(1), 81-91.
- Rodríguez-Cabello, J. C., Santos, J., Merino, J. C., & Pastor, J. M. (1996). Thermally induced structural changes in low-shrinkage poly (ethylene terephthalate) fibers. *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, 34(7), 1243-1255.
- Seo, Y. H., Han, S. S., Oh, T. H., (2013). Effect of Annealing Conditions on Molecular Structure and Physical Properties of Polypropylene Slit-Film Yarns. *Textile Science and Engineering*, 50(3), 174-179.
- Suits, L. D., Hsuan, Y. G. (2003). Assessing the photo-degradation of geosynthetics by outdoor exposure and laboratory weatherometer. *Geotextiles and Geomembranes*, 21(2), 111-122.
- Thomas, L., Baker, P. E., Long term relationship of outdoor exposure to xenon-arc test apparatus exposure. *Proceedings of the '97 Conference on Geosynthetics*, St. Paul, U.S.A, 11-13 March 1997.
- Tomka, J. (1996). Polypropylene—the world' s strongest fibre. *Textile Month*, 1, 40-44.
- Ugbolue, S.C.O. (2009). *Polyolefin fibres: Industrial and medical applications*. Woodhead Publ. Ltd.
- URL-1: <https://www.bossgoo.com/product-detail/fibrillated-pp-yarn-50752990.html>, (Ziyaret Tarihi: 5 Ocak 2024)
- URL-2: https://www.tf-machinery.com/plastic_tape_extrusion/SJPL-Z_series_plastic-tape_extrusion_ine_p95.html, (Ziyaret Tarihi: 12 Şubat 2024)
- Wright, D. (2006). *Failure of plastics and rubber products: Causes, effects and case studies involving degradation*. iSmithers Rapra Publishing.

Yang, X., Ding, X. (2006). Prediction of outdoor weathering performance of polypropylene filaments by accelerated weathering tests. *Geotextiles and Geomembranes*, 24(2), 103-109.

Zhou, Q., Liu, X., Lu, Y., Dao, X., & Qiu, L. (2022). Accelerated Laboratory Weathering of Polypropylene/Poly (Lactic Acid) Blends. *Polymers*, 15(1), 17.



KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Çoban, S., Şahin, T., Akay, R.G., (2023). Yaşlandırmaya Maruz Kalmış Polipropilen Şerit İpliklerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, *12. Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi*, İstanbul, Türkiye, 23-24 Aralık 2023.



ÖZGEÇMİŞ

İlk, orta ve lise öğrenimini Kocaeli’de tamamladı. 2007 yılında girdiği Marmara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü’nden 2010 yılında Kimya Mühendisi olarak mezun oldu. 2020-2024 yılları arasında, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans öğrenimini tamamladı.

