

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PC/PBT KARIŞIM MALZEMENİN MEKANİK
ÖZELLİKLERİNE DOĞAL VE HIZLANDIRILMIŞ
YAŞLANDIRMALARIN ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖMER FARUK SARMAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2019

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PC/PBT KARIŞIM MALZEMENİN
MEKANİK ÖZELLİKLERİNE DOĞAL VE
HIZLANDIRILMIŞ YAŞLANDIRMALARIN
ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖMER FARUK SARMAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
PROF. DR. BABÜR ÖZÇELİK

GEBZE

2019

T.R.

GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

**INVESTIGATION OF THE EFFECT OF
NATURAL AND ACCELERATED AGING
ON MECHANICAL PROPERTIES OF
PC/PBT BLEND MATERIAL**

ÖMER FARUK SARMAN
**A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE**
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING

THESIS SUPERVISOR
PROF. DR. BABÜR ÖZÇELİK

GEBZE
2019

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 03/07/2019 tarih ve 2019/30 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 19/07/2019 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Ömer Faruk SARMAN'ın tez çalışması Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : PROF.DR. BABÜR ÖZÇELİK

ÜYE

: PROF.DR.FEVZİ BEDİR

ÜYE

: DR.ÖĞR.ÜYESİ MURAT KIYAK

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

ÖZET

Polikarbonat(PC) ve polibütilen tereftalat(PBT) karışımı olan PC/PBT özellikle otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılıp, iyi kimyasal dayanım, düşük sıcaklıklarda bile iyi darbe dayanımına ve iyi ısı dirence sahiptir. TÜBİTAK 1001-116M257 numaralı proje kapsamında hazırlanan bu tezde; PC/PBT malzemenin mekanik, kimyasal ve termal özelliklerine doğal ve hızlandırılmış yaşlandırmanın etkileri incelenmiştir. Projede kullanılan malzemelere ait olan deney numunelerinin üretimi YIZUMI UN90A2 marka plastik enjeksiyon makinesiyle yapılmıştır. Üretimi yapılan numunelerin bir kısmı doğal yaşlandırma için, doğal ortamda bulunan raflara, bir kısmı ise hızlandırılmış yaşlandırma prosesi için hızlandırılmış yaşlandırma cihazına dizilmiştir. Doğal yaşlandırma işlemi, 3 ay, 6 ay, 9 ay ve 12 ay 'lık maruz kalma süreleri boyunca doğal şartlar altında bırakılarak yapılmıştır. Hızlandırılmış yaşlandırma işlemi, QV-LAB Accelerated Weathering Tester cihazıyla 4 saat 50°C' de UV ışınlarına ardından, 4 saat 50°C' de yoğuşmaya maruz bırakılarak 48 saat, 144 saat ve 336 saat maruz kalma süreleri boyunca ASTM G154 standartına uygun olarak yapılmıştır. Belirtilen periyotlarda ve ilk üretimden hemen sonra; çekme, darbe, eğme, ağırlık ve eriyik akış testleri yapıp, zamanla değişimleri gözlemlenmiştir. Bu mekanik testlere ek olarak; taramalı elektron mikroskobu analizi(SEM), kızılötesi spektroskopisi(FTIR) analizi, termal gravimetrik analizi (TGA) ve diferansiyel taramalı kalorimetri(DSC) analizleri de yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: PC/PBT malzeme, doğal ve hızlandırılmış yaşlandırma, mekanik özellikler, FTIR, TGA, DSC.

SUMMARY

PC/PBT, which is a mixture of polycarbonate (PC) and polybutylene terephthalate (PBT), is widely used especially in the automotive industry and has good chemical resistance, good impact resistance and good thermal resistance even at low temperatures. In this thesis prepared within the support of TUBITAK project numbered 1001-116M257; the effects of natural and accelerated aging on the mechanical, chemical and thermal properties of PC / PBT material were investigated. The test samples was produced with YIZUMI UN90A2 plastic injection machine. Some of the test samples were placed on shelves in the natural environment for natural aging and the others were placed on accelerated aging device for accelerated aging process. Natural aging was done under natural conditions during the exposure periods of 3 months, 6 months, 9 months and 12 months. Accelerated aging was carried out with the QV-LAB Accelerated Weathering Tester device for 4 hours at 50°C with UV radiation followed by condensation at 4 hours at 50°C for 48 hours, 144 hours and 336 hours exposure time according to ASTM G154. At specified periods and immediately after the first production; tensile, impact, bending, weight and melt flow tests were performed and changes over time were observed. In addition to these mechanical tests; scanning electron microscopy (SEM), infrared spectroscopy (FTIR) analysis, thermal gravimetric analysis (TGA) and differential scanning calorimetry (DSC) analysis were also performed.

Keywords: PC/PBT material, natural and accelerated aging, mechanical properties, FTIR, TGA, DSC.

TEŞEKKÜR

Başta, yüksek lisans eğitimimde ve tez çalışmalarında desteğini ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyip, bu çalışmanın oluşmasının yolunu açan danışmanım Prof. Dr. Babür ÖZÇELİK'e, bütün çalışmalarım boyunca bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan proje yürütücüsü Dr. Emel KURAM'a, Arş. Gör. Hürol KOÇOĞLU'na, proje asistanı Mehmet DOĞAN'a ve TÜBİTAK 1001-116M257 projesinde bana çalışma fırsatı sunan TÜBİTAK' a en içten dileklerimle teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
TABLolar DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı ve İçeriği	7
2. TERMOPLASTİKLER	9
2.1. Termoplastiklerin Genel ve Karakteristik Özellikleri	9
2.2. Bazı Termoplastikler ve Özellikleri	13
2.2.1. Polikarbonat (PC)	13
2.2.2. Polibütlen Tereftalat (PBT)	14
2.2.3. Polikarbonat/Polibütlen Tereftalat (PC/PBT) Karışım	15
3. DENEYSEL ÇALIŞMA	18
3.1. Deneylerde Kullanılan Malzeme ve Özellikleri	18
3.1.1. Polikarbonat/Polibütlen Tereftalat (PC/PBT) Karışım	18
3.2. Deney ve Test Aşamaları	19
3.3. Kullanılan Deney Araç-Gereçleri ve Özellikleri	20
3.3.1. Enjeksiyon Makinası ve Numune Kalıbı	20
3.3.2. Kalıp Şartlandırıcısı	21
3.3.3. Kalıp Soğutma Ünitesi	22
3.3.4. Doğal Yaşlandırma Rafları	22
3.3.5. Hızlandırılmış Yaşlandırma Kabini	23
3.3.6. Çekme ve Eğilme Test Cihazı	24
3.3.7. Eriyik Akış Test Cihazı	24
3.3.8. Darbe Test Cihazı	25
3.3.9. Hassas Terazı	26

3.3.10. Taramalı Elektron Mikroskop (SEM)	26
3.3.11. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometresi (FTIR)	27
3.3.12. Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC)	28
3.3.13. Termal Gravimetrik Analiz (TGA) Cihazı	29
3.4. Deney Numuneleri	30
3.4.1. Çekme Test Numunesi	30
3.4.2. Darbe Test Numunesi (Çentikli)	30
3.4.3. Eğilme Test Numunesi	31
3.5. Deney Numunelerinin Plastik Enjeksiyonda Üretilmesi	31
3.5.1. Deney Numunelerinin Adlandırılması	32
3.6. Yaşlandırma Ortam Koşulları	33
3.6.1. Doğal Yaşlandırma Ortam Koşulları	33
3.6.2. Hızlandırılmış Yaşlandırma Ortam Koşulları	35
3.7. Test Parametreleri	37
4. DENEYSEL SONUÇLAR	38
4.1. Çekme Testi Sonuçları	38
4.2. Eğilme Testi Sonuçları	41
4.3. Darbe Testi Sonuçları	43
4.4. Eriyik Akış Testi Sonuçları	46
4.5. Ağırlık Testi Sonuçları	48
4.6. Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) Analiz Sonuçları	50
4.7. Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) Analiz Sonuçları	53
4.8. Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC) Analizi Sonuçları	56
4.9. Termal Gravimetrik Analiz (TGA) Sonuçları	57
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	60
KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŞ	66
EKLER	67

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve</u>	<u>Acıklamalar</u>
<u>Kisaltmalar</u>	
%	: Yüzde
°C	: Santigrat derece
ASA	: Akrilonitril stiren akrilat
ASTM	: American Society for Testing and Materials
cm ³	: Santimetreküp
dk	: Dakika
DSC	: Diferansiyel taramalı kalorimetri
EN	: Avrupa Normları
FTIR	: Fourier dönüşümlü kızılötesi spektrometresi
g	: Gram
GTÜ	: Gebze Teknik Üniversitesi
HP	: Beygir gücü
ISO	: Uluslararası Standart Teşkilatı
K	: Kelvin
kg	: Kilogram
kj	: Kilojoule
kN	: Kilonewton
L	: Litre
m ²	: Metrekare
MEB	: Milli Eğitim Bakanlığı
mm	: Milimetre
Mpa	: Megapascal
nm	: Nanometre
PBT	: Polibütilen tereftalat
PC	: Polikarbonat
PET	: Polietilen tereftalat
SAN	: Stiren akrilonitril
s	: Saniye
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu

T.C.	: Türkiye Cumhuriyeti
T_c	: Kristalizasyon sıcaklığı
T_d	: Yıpranma sıcaklığı
T_g	: Camı geçiş sıcaklığı
TGA	: Termal gravimetrik analiz
T_m	: Erime sıcaklığı
TS	: Türk Standartları
UV	: Ultraviyole
W	: Watt

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
1.1: Doğal yaşlandırma numune rafları.	1
1.2: Hızlandırılmış yaşlandırma cihazı.	2
1.3: Hızlandırılmış yaşlandırma cihazının iç yapısı.	2
1.4: Güneş ışığı ve UVA-340 tipi floresana ait ışık şiddet grafiği.	3
2.1: Amorf yapı.	9
2.2: Yarı-kristalin yapı.	10
2.3: Camsı geçiş sıcaklığı grafiği.	11
2.4: Kristalizasyon sıcaklığı grafiği.	12
2.5: Erime sıcaklığı grafiği.	13
2.6: Polikarbonatın zincir yapısı.	14
2.7: PBT'nin zincir yapısı.	15
2.8: PC/PBT kimyasal yapısı.	16
3.1: Deney ve test aşamaları şeması.	19
3.2: Plastik enjeksiyon makinası.	20
3.3: Numune kalıbı.	21
3.4: Kalıp şartlandırıcısı.	21
3.5: Kalıp soğutma ünitesi.	22
3.6: Doğal yaşlandırma rafları ve dizilmiş numuneler.	23
3.7: Hızlandırılmış yaşlandırma cihazı.	23
3.8: Çekme ve eğilme test cihazı.	24
3.9: Eriyik akış test cihazı.	25
3.10: Darbe test cihazı.	25
3.11: Hassas terazi.	26
3.12: Taramalı elektron mikroskopu.	27
3.13: Kaplama işlemi yapılmış numuneler.	27
3.14: Kızılötesi spektrometre cihazı.	28
3.15: Diferansiyel taramalı kalorimetri cihazı.	29
3.16: Termal gravimetri analiz cihazı.	30
3.17: Çekme test numunesinin şekil ve boyutları.	30
3.18: Çentikli darbe test numunesinin şekil ve boyutları.	31

3.19: Eğilme test numunesinin şekil ve boyutları.	31
3.20: Sıcaklık değerlerinin aylara göre değişimi.	34
3.21: UV indeks değerlerinin aylara göre değişimi.	34
3.22: Ortalama nispi nem değerlerinin aylara göre değişimi.	35
3.23: Hızlandırılmış yaşlandırma çevrimlerine ait şema.	36
4.1: Doğal yaşlandırılmış numunelerin çekme dayanımı ve maksimum uzama değişim grafiği.	39
4.2: Hızlandırılmış yaşlandırılmış numunelerin çekme dayanımı ve maksimum uzama değişim grafiği.	40
4.3: Doğal yaşlandırılmış numunelerin eğilme dayanımı ve maksimum uzama değişim grafiği.	42
4.4: Hızlandırılmış yaşlandırılmış numunelerin eğilme dayanımı ve maksimum uzama değişim grafiği.	43
4.5: Doğal yaşlandırılmış numunelerin darbe dayanımı değişim grafiği.	44
4.6: Hızlandırılmış yaşlandırılmış numunelerin darbe dayanımı değişim grafiği.	45
4.7: Doğal yaşlandırılmış numunelerin eriyik akış indeks değişim grafiği.	46
4.8: Hızlandırılmış yaşlandırılmış numunelerin eriyik akış indeks değişim grafiği.	48
4.9: Doğal yaşlandırılmış numunelerin kütle değişim grafiği.	49
4.10: Hızlandırılmış yaşlandırılmış numunelerin kütle değişim grafiği.	50
4.11: Doğal yaşlandırılan numunelere ait SEM görüntüleri.	51
4.12: Hızlandırılmış yaşlandırılan numunelere ait SEM görüntüleri.	52
4.13: Doğal yaşlandırılan numunelere ait FTIR spektrumları.	54
4.14: Hızlandırılmış yaşlandırılan numunelere ait FTIR spektrumları.	55
4.15: Doğal yaşlandırılan numunelere ait DSC eğrileri.	56
4.16: Hızlandırılmış yaşlandırılan numunelere ait DSC eğrileri.	57
4.17: Doğal yaşlandırılan numunelere ait TGA eğrileri.	58
4.18: Hızlandırılmış yaşlandırılan numunelere ait TGA eğrileri.	59

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
3.1: PC/PBT karışımın özellikleri.	18
3.2: Plastik enjeksiyonda PC/PBT numunelerin üretim parametreleri.	32
3.3: Deney numunelerinin adlandırılması.	33
3.4: Hızlandırılmış yaşlandırma çevrim sayıları ile UV ve yoğunlaşma maruziyet süreleri.	36
3.5: Test parametre değerleri.	37
4.1: Doğal yaşlandırma çekme testi sonuç değerleri.	38
4.2: Hızlandırılmış yaşlandırma çekme testi sonuç değerleri.	39
4.3: Doğal yaşlandırma eğilme testi sonuç değerleri.	41
4.4: Hızlandırılmış yaşlandırma eğilme testi sonuç değerleri.	42
4.5: Doğal yaşlandırma darbe testi sonuç değerleri.	44
4.6: Hızlandırılmış yaşlandırma darbe testi sonuç değerleri.	45
4.7: Doğal yaşlandırma eriyik akış indeksi sonuç değerleri.	46
4.8: Hızlandırılmış yaşlandırma eriyik akış indeksi sonuç değerleri.	47
4.9: Doğal yaşlandırma kütle ölçüm değerleri.	48
4.10: Hızlandırılmış yaşlandırma kütle ölçüm değerleri.	49

1. GİRİŞ

Termoplastikler; uzun ömür ve dayanıklılık, rijit ve esnek olabilmeleri, hafiflik, elektrik iletkenliğinin düşük olması gibi birçok özelliklerinden dolayı, kullanımları gün geçtikte birçok sektörde ve alanda artmaktadır. Ayrıca birbirleri ile karışım oluşturabilme ve birçok katkı maddesi ile farklı özellikler kazanma kabiliyetlerinden dolayı; cam, tahta ve metal gibi malzemelerin yerine de kullanılmaktadır. Termoplastiklerin neredeyse tamamı kullanımları esnasında; güneş ışını, nem, kirlilik ve sıcaklık gibi etkilere maruz kalmaktadır. Etki altında kalan termoplastikten, bu etkiler altında fonksiyonelliğini kaybetmemesi ve uzun ömürlü olması beklenmektedir. Doğal ve laboratuvar ortamında yapılan birçok çalışmada; yaşlanma parametrelerinin termoplastiklerin özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Doğal yaşlanma ve hızlandırılmış yaşlandırmaların malzemelere olan etkileri araştırılırken; numuneler doğal ortamdaki raflara ve ortam şartları ayarlanabilen yaşlandırma kabinlerine konulmaktadır. Şekil 1.1’de doğal ortamdaki numune rafları görülmektedir [Web-1, 2019].



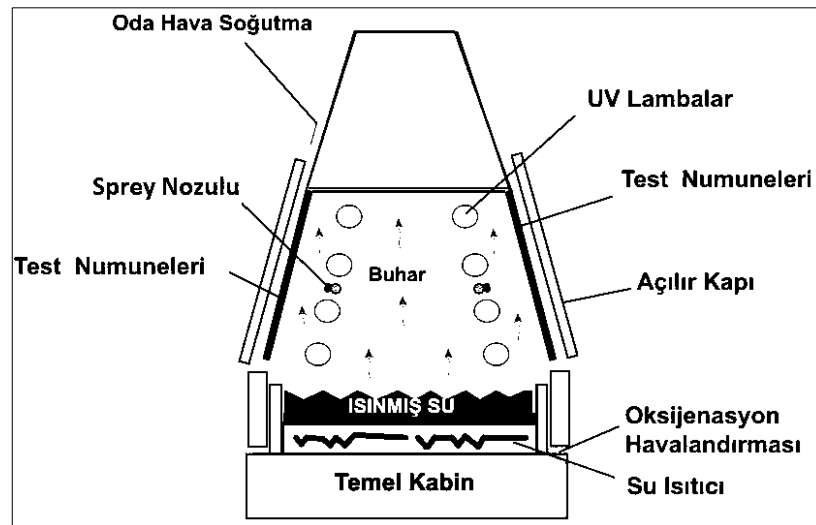
Şekil 1.1: Doğal yaşlandırma numune rafları.

Şekil 1.2’ de hızlandırılmış yaşlandırma kabini görülmektedir [Web-2, 2019].



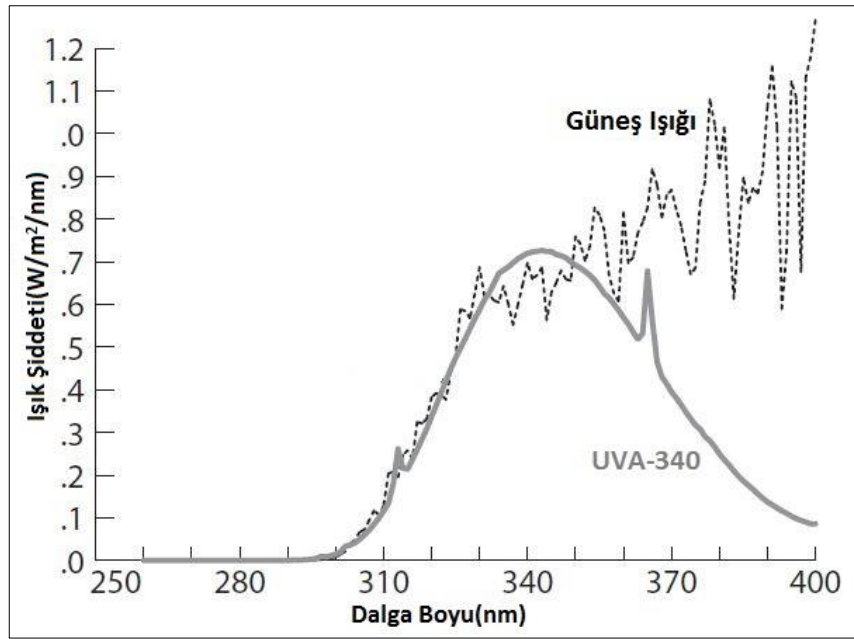
Şekil 1.2: Hızlandırılmış yaşlandırma cihazı.

Güneş ışığı ve nem her yıl milyonlarca dolarlık maddi hasara neden olmaktadır. Hızlandırılmış yaşlandırma cihazı, güneş ışığının floresan ultraviyole lambalarla etkilerini ve yoğunlaşma nemi ve/veya su spreyi kullanarak çiy ve yağmuru simüle eder. Birkaç gün veya hafta içerisinde aylar ve yıllarca dış mekan koşullarında meydana gelebilecek olan hasarı oluşturabilmektedir. Bu cihaz malzemeleri kontrollü, yüksek sıcaklıklarda değişen UV ışık ve nem döngülerine maruz bırakarak test eder. Hızlandırılmış yaşlandırma cihazının iç yapısı Şekil 1.3’de verilmiştir [Web-2, 2019].



Şekil 1.3: Hızlandırılmış yaşlandırma cihazının iç yapısı.

Floresan lambalı hızlandırılmış yaşlandırma cihazı, spektrumun kısa dalga boyu bölgesinde güneş ışığının en gerçekçi simülasyonunu sağlamaktadır. Sonuç olarak, bu cihaz dış mekan testleri ile mükemmel korelasyon sağlayan bir test cihazıdır. Test cihazının floresan lambasının, 295-365 nm dalga boyu bölgesindeki UV etkisi, güneş ışığının UV etkisine en yakın olduğu aralıktır. Ultraviyole A(UVA)-340 spektrumu, dayanıklı malzemelere verilen zararın çoğunun meydana geldiği UV bölgesindeki güneş ışığının mevcut en iyi simülasyonudur. Güneş ışığı ve UVA-340 tipi floresana ait ışık şiddet grafiği Şekil 1.4’de verilmiştir [Web-2, 2019].



Şekil 1.4: Güneş ışığı ve UVA-340 tipi floresana ait ışık şiddet grafiği.

Termoplastiklerin kullanımının artması, çevrenin malzemeler üzerindeki etkisinin daha iyi anlaşılması için bir ihtiyacı ortaya çıkarmıştır. Malzemede oluşan bozunmanın boyutu; iklim koşullarına, coğrafi konuma, malzemenin kimyasal yapısına ve maruziyet süresine bağlıdır. Bu etkiler renk değişiminden, termoplastiğin yapısının tamamen bozunmasına kadar rol oynayabilir. Çevrenin neden olduğu bozunma mekanizmalarını net bir şekilde anlamadan plastik parçaları tasarlama girişimi, ürünün erken bozulmasına neden olabilir. Termoplastikleri ciddi şekilde etkileyen ana çevresel faktörler şunlardır:

- Ultraviyole(UV) ışınlar,
- Sıcaklık,

- Yüksek nem,
- Su ve buhar,
- Mikroorganizmalar,
- Ozon ve oksijen,
- Endüstriyel kirlilik [Kutz, 2002].

Termoplastiklerin bu faktörlere maruziyeti sonucu, renk değişikliği, mekanik dayanım kaybı, gevreklik, elektriksel yalıtım ve direnç özellikleri kaybı meydana gelmektedir. Her bir termoplastiğin bozunma derecesi; malzemenin bu faktörlere olan duyarlılığına bağlıdır. Doğal yaşlanma faktörleri, kimyasal yapılarından dolayı bazı termoplastiklerin daha fazla bozunmalarına neden olmaktadır. Bir termoplastik bazen sadece bir doğal yaşlanma faktörüne karşı mükemmel dayanıma sahip olabilmektedir. Fakat diğer faktörlerin kombinasyonu sonucu termoplastik bozunmaya karşı oldukça hassaslaşabilmektedir [Campo, 2006].

Bütün radyasyon türleri termoplastikler üzerinde zararlı etkilere sahiptir. Bu radyasyon türlerinden en etkili olanı ultraviyole radyasyondur. Çünkü ultraviyole radyasyondaki enerji miktarı molekül bağlarını koparacak kadar güçlüdür. Termoplastikteki bu bağların kopması termal oksidatif bozunma sonucu malzemenin özelliklerini kaybetmesine neden olur. Xenon ark lambaları, floresan lambalar, güneş lambaları ve diğer yapay ışık kaynakları da benzer türde zararlı radyasyon yayar. Diğer sıcaklık, nem ve kirlilik gibi faktörler de, UV bozunma prosesini hızlandırıcı etkiye sahiptirler [Shah, 2007]. Termoplastikleri en çok etkileyen UV ışını dalga boyu 290-400 nm aralığıdır [Campo, 2006].

Bazı termoplastikler suyu ile temas ve artan sıcaklık ile yaşlanma sonucu daha fazla modifiye olmuş hale gelirler. Ancak polikarbonat (PC) gibi çok yüksek sertliğe sahip bazı amorf yapıdaki bazı termoplastikler ise uzun süreli su maruziyeti sonucu oldukça gevrekleşebilirler. Çünkü su maruziyeti, termoplastik malzeme yapısında gerginlik arttırıcı boşluklar oluşmasına neden olmaktadır [Qayyum et al., 1991].

Termoplastiğin düşük sıcaklığa maruziyeti daha kırılgan olmasına neden olabilir ve malzemenin uzama ve darbe dayanımı düşerken elastite modül değerini arttırabilir. Yüksek sıcaklıklara maruz kalması ise; mekanik, kimyasal ve elektriksel özelliklerinin kaybolmasına neden olabilir [Campo, 2006].

Çoğu termoplastik yalnızca çok yavaş bir şekilde oksijen ile tepkimeye girer. Ancak sıcaklığın artması ve UV maruziyetinden dolayı oksijen ile tepkimesi hızlanır. Bu şekilde sıcaklık ve UV ile desteklenen oksijen; polimerin yapısına bağlı olarak, diğer karbon grupları ile bağ oluşturabilir veya çapraz bağlar kurabilir [Campo, 2006].

Termoplastiklere çevresel etkileri bakımından yaklaşıldığında; ultraviyole ışınlarına karşı dirençli olmaları, bozunma sıcaklıklarının yüksek olması ve doğadaki biyolojik aktivitelere karşı dirençli olmaları sebebiyle doğada uzun süre bozunmadan kalabildikleri bilinmektedir. Bu özelliklerinden dolayı doğaya verdikleri zarar düşünülerek plastiklerin geri kazanımı zorunlu hale gelmektedir [Öztürk, 2005].

Polikarbonat (PC) ve polibütilentereftalat (PBT), karışım oluşturdıklarında yarı-kristalin bir yapıda oldukları görülür. Bununda nedeni PC'nin amorf yapıda, PBT'nin ise kristalin yapıda olmasıdır. Karışımında PBT'nin kristalizasyonu PC'nin varlığı ile büyük ölçüde engellenir ve karışımında artan PC oranı ile, karışımın kristalinite oranı azalır [Halder et al., 1990].

PC ve PBT'nin karışa bilirliliğini tespit edebilmek için diferansiyel termal analiz ve dinamik mekanik davranış testleri uygulanmıştır. Her iki test de amorf fazda tam karışa bilirliliğin eksikliğinin göstergesi olan birden fazla camsı geçiş sıcaklığı(T_g) görülmüştür. Böylece PC/PBT karışımının yapısında, her iki bileşenin kısmen karışmasına neden olan amorf fazların olduğu görülmüştür [Wahrmund et al., 1978].

Hopfe ve arkadaşları, PC/PBT karışımının transesterifikasyonunu ve kristalizasyon davranışlarını Fourier dönüşümlü kızılötesi spektrometresi (FTIR)'nin yanı sıra diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) ve nükleer manyetik rezonans (NMR) spektroskopisi ile incelemişlerdir. Transesterifikasyonun belirli spektral özellikler kullanılarak FTIR spektroskopisi ile analiz edilebileceğini öne sürmüşlerdir [Hopfe et al., 1997].

PC, mükemmel optik, termal, mekanik, ve darbe dayanımı gibi özelliklerinden dolayı çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Ancak uzun süre UV maruziyeti sonucu, bozunmaya karşı hassaslaşır ve bunun sonucu olarak da geçirgenlik ve parlaklığında azalma, yüzeyinde sararma ve mekanik özelliklerinde düşüş olur [Derudder et al., 2000].

Polikarbonatın, yüksek yoğunluklu UV radyasyonuna uzun süre maruz kalması üzerine bozunmaya karşı duyarlılığı, bazı kaplanmamış veya boyasız dış mekan uygulamalarında kullanımını sınırlandırmıştır. PC'nin bozunmaya karşı

korunması yaygın olarak; düşük molekül ağırlıklı UV soğurucu, koruyucu kaplama uygulaması ve pigmentlerin doğru seçimi ile sağlanabilmektedir [Pickett et al., 2001].

Sanchez bir çalışmada; gri pigmentli ve pigmentsiz PC/PBT karışım ve geri dönüşümlerinin mekanik özelliklerine doğal ve hızlandırılmış yaşlandırmanın etkilerini incelemiştir. Kopmadaki uzama değerleri yaşlandırma süresi arttıkça ciddi şekilde düşmüş ancak her geri dönüşümden sonra bu değerler de artış olmuştur. Bu davranış yüzeydeki bozunmanın yaşlandırmada büyük bir faktör olduğunu göstermektedir. Kopmadaki uzama değerinin geri dönüşümden sonra artması PC/PBT karışımın geri dönüşüm potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir. Çekme modülü ve çekme dayanımı değerlerinde yaşlandırma sonucunda önemli bir değişim olmamıştır. Eriyik akış değerleri artan yaşlandırma süresi ile ve her geri dönüşümden sonra artmıştır ancak bu artış geri dönüşümden sonraki kalıplama prosesini etkilememiştir. Darbe dayanım değerleri ise yaşlandırma süresi ile azalmış ve her ne kadar geri dönüşümden sonra artış gösterse de geri dönüşümü yapılmış numunelerin yaşlandırması sonucu tekrar azalma olmuştur. Gri pigmentin ise mekanik özelliklere hiçbir etkisi olmamıştır [Sanchez, 2007].

Tjandraatmadja ve arkadaşları bir çalışmada; PC malzemeye UV radyasyonunun etkisini incelemiştir. PC'nin molekül ağırlığında UV maruziyeti boyunca düşüş olduğu ve yüzeyin bozunmaya ve gevreklemeye karşı hassaslaştığı görülmüştür. Bu değişimler, polimerin renk bozulması ile birleştiğinde, hafif ışık iletimi, parlaklık kaybı, artan bulanıklık ve renk değişimi dahil olmak üzere optik özelliklerin kaybına neden olmuştur. Düşük ışık iletimi ve polikarbonatın sararması gibi durumlar FTIR ile tanımlanmıştır. UV etkisiyle oluşan sararma nem ile daha da hızlanırken, diğer optik özelliklerdeki azalma düşük nemli ortamda daha fazla olmuştur [Tjandraatmadja et al., 1999].

Shi ve arkadaşları; Çin'in farklı iklim özelliklerine sahip altı farklı bölgesinde polyamid-6 (PA-6) malzemesine doğal yaşlandırma uygulamışlardır. 3 ay yaşlandırılan numunelerin çekme dayanımı, viskozitesi ve eğme mukavemetinde düşüş, kopmadaki uzama değerinde artış olmuştur. 3 aydan sonraki testlerde viskozitede düşüş olmuş ve mekanik dayanımında artan bir eğilim görülmüştür. 12 ay yaşlandırmadan sonra viskozite düşmüş ve mekanik dayanımı sabit şekilde azalmıştır. Numunelerin yüzey çatlakları daha da genişlemiştir, bu da moleküler bozunmanın öncü rol oynadığının bir göstergesi olduğu belirtilmiştir. 24 ay

yaşlandırmadan sonra yüzeydeki çatlaklar daha da genişlemiş ve derinleşmiş olup, içlerinde partikül birikmesi başlamıştır. Yaşlanma süresinin uzamasıyla, 216 nm ve 230-340 nm'de UV absorbe seviyesi ve yüzey sararma derecesi artmıştır [Shi et al., 2016].

Mendes ve arkadaşları, yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE)'nin doğal yaşlandırma sonucu mekanik özelliklerini incelemişlerdir. 1800 saat doğal yaşlandırmadan sonra elastite modülünde %20 artış olmuştur. Akma dayanımı maruziyet süresi arttıkça hafif artış göstermiş aksine akmadaki uzama değeri düşmüştür. Bu davranışın elastite modülünün artışı ile alakalı olduğu belirtilmiştir. Kopma mukavemeti ve kopmadaki uzama değerlerinde de düşüş görülmüştür. Ancak kopmadaki uzama değerinde %90 düşüş olması, bu değerın yaşlanmaya karşı oldukça hassas olduğunu göstermiştir. Darbe dayanım değerlerinde ise yaklaşık olarak %50 düşüş olmuştur. Bu sonuçlara bakılarak malzemenin sertleştiğini ve kırılganlaştığını belirtmişlerdir [Mendes et al., 1999].

1.1. Tezin Amacı ve İçeriği

Mühendislik termoplastikleri, yüksek mekanik özelliklerin, kimyasal ve boyutsal kararlılığın, yüksek UV dayanımın, uzun kullanım ömrün, çekme ve darbe dayanımlarının gerekli olduğu yerlerde kullanılırlar. Bu sebeple maliyetlerinin yüksek olduğu mühendislik termoplastiklerin çevresel ve kullanım şartlarından en az şekilde etkilenerek; mekanik, kimyasal ve termal özelliklerinde bir değişiklik olmadan ve bozunmaya uğramadan kullanılabilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle yaşlanmanın, termoplastiklerin üzerindeki etkilerini araştırma ve bu etkileri en aza indirebilme ihtiyacı ortaya çıkmıştır.

PC, sahip olduğu özelliklerden dolayı en önemli mühendislik termoplastiklerindendir. PC, düşük sıcaklıkta bile yüksek darbe dayanımı, iyi süneklik, çok iyi tokluk ve geçirgenlik, UV dayanımı, yanma dayanımı ve yüksek camsı geçiş sıcaklığı gibi üstün özelliklere sahiptir. Bu özellikleri ile beraber amorf yapısından dolayı çözücülere karşı hassastır ve yüksek erime viskozitesinden dolayı kalıplama prosesi zordur [Zhang., 2005].

PBT, 227°C erime noktasına sahip yarı-kristalin bir mühendislik termoplastiğidir. PBT, mükemmel çekme dayanımı, yüksek aşınma direnci, yüksek

kimyasal dayanım ve iyi elektriksel yalıtım gibi üstün özelliklere sahiptir [Zhang., 2005].

PC/PBT karışım, hem yüksek performanslı malzemeler olarak kullanıldığından hem de karışımdaki PC ve PBT'nin birbirlerinin özelliklerini çok iyi tamamlamalarından dolayı, hem akademik alanın hem de endüstrinin ilgisini çekmektedir [Zhang., 2005]. PC'nin çözücülere karşı olan dayanımı PBT ile karışımdan sonra iyileşmektedir. Yine PC'ye çok az miktar PBT katkısı ile PC'nin eriyik akış indeksi büyük oranda düşebilmektedir. PBT'nin özellikle düşük sıcaklıklardaki düşük darbe dayanımı, yüksek darbe dayanımına sahip PC ile iyileştirilebilmektedir [Zhang., 2005].

Bu tez çalışmasında; PC/PBT karışım malzemenin mekanik ve kimyasal özelliklerine doğal ve hızlandırılmış yaşlandırmaların etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. Literatürde PC/PBT malzeme ile alakalı birçok çalışma yapılmış olup, sadece bir çalışmada PC/PBT malzemenin mekanik özelliklerine doğal ve hızlandırılmış yaşlandırmaların etkileri incelenmiştir. Bu tez çalışmasında mekanik özelliklerin araştırılmasına ilaveten kimyasal ve termal özellikler de incelenmiştir. Bu çalışmanın gerçek hayat uygulamalarında kullanılacak olan PC/PBT karışım malzeme için ve daha sonraki çalışmalar için referans bir çalışma olacağı da hedeflenmektedir.

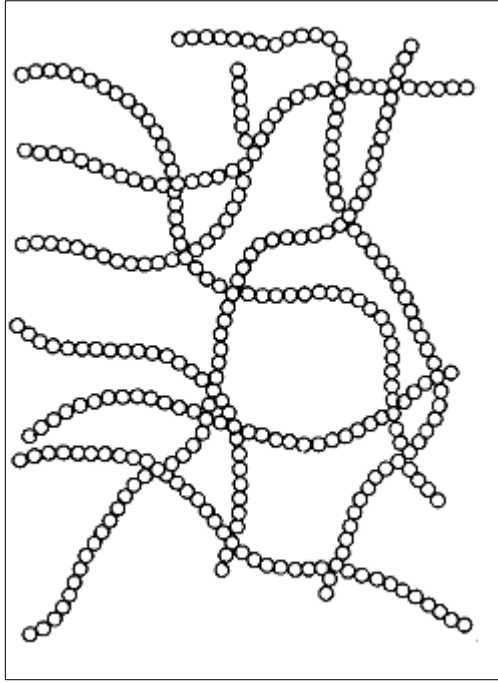
PC/PBT numunelerin belirlenen enjeksiyon şartlarında üretimi yapıldıktan sonra, doğal yaşlandırma için Gebze Teknik Üniversitesi (GTÜ) Makine Mühendisliği Bölüm binasının çatısında kurulan raflara dizilimi yapılmıştır. Hızlandırılmış yaşlandırma için ise Gebze Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan yaşlandırma kabinine numuneler dizilmiştir. Doğal yaşlandırmaya tabi tutulan numunelerin mekanik ve kimyasal testleri 3 , 6 , 9 ve 12 aylık periyotlarla yapılmıştır. Hızlandırılmış yaşlandırmaya tabi tutulan numunelerin ise mekanik ve kimyasal testleri 48 saat, 144 saat ve 336 saatlik periyotlarla gerçekleştirilmiştir. Mekanik özelliklerin değişimlerini incelemek için; çekme testi, eğilme testi, izod darbe testi ve eriyik akış testi yapılmıştır. Bunlara ilaveten her periyotta ağırlık ölçümleri de yapılmıştır. Kimyasal özelliklerdeki değişimleri incelemek için ise; malzemelere taramalı elektron mikroskobu analizi (SEM), kızılötesi spektroskopisi (FTIR), termal gravimetrik analiz (TGA) ve diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) testleri uygulandı.

2. TERMOPLASTİKLER

2.1. Termoplastiklerin Genel ve Karakteristik Özellikleri

Termoplastikler ısı ve basınç altında yumuşayan, soğutulduğunda sertleşebilen (katı halini alan) plastiklerdir. Bu şekillendirme sırasında hiçbir kimyasal değişikliğe uğramayıp sadece geçici değişiklik gösterirler. Termoplastikler yapısal olarak amorf ve yarı-kristalin olmak üzere ikiye ayrılırlar.

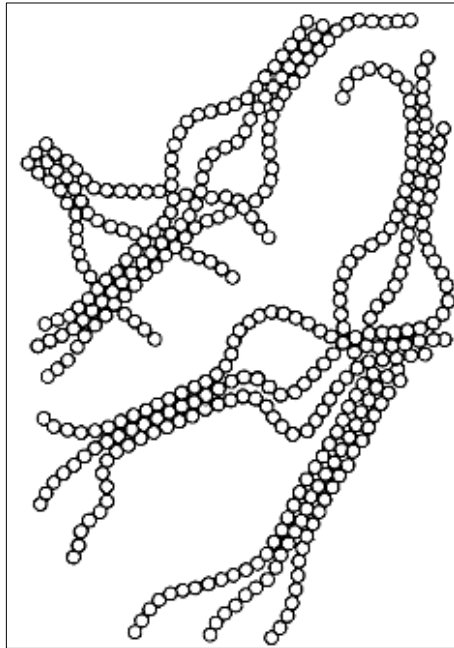
Amorf yapılarda molekül zincirleri birbirlerine göre karışık halde bulunurlar ve çekme kuvvetlerinin etkisi ile molekül zincirleri çekme yönünde yönelme gösterirler. Bu yönelme yapıda çekme mukavemetini arttırmaktadır. Ayrıca amorf yapıdaki malzemeler çok geniş aralığa sahip camsı geçiş sıcaklığına sahiptirler. Amorf yapıya sahip termoplastikler genellikle tok ve yumuşaktır, çekme mukavemetleri ve yoğunlukları düşüktür [Bal, 2009]. Şekil 2.1’de amorf yapı görülmektedir [Braun, 2010].



Şekil 2.1: Amorf yapı.

Yarı-kristalin yapılarda molekül zincirleri birbirlerine göre üç boyutlu bir yapıya benzeyen diziliş şekli gösterirler. Bu yapının dizilişi molekül zincirlerinin

şekline, molekül zincirleri arasındaki kuvvetlere ve düzene bağlıdır. Yarı-kristalin termoplastiklerin en belirgin özelliklerinden biri, yapısında aynı anda amorf ve yarı-kristalin yapıyı bulundurmalarıdır. Amorf yapı malzemeye elastikiyet özelliğini verirken, kristalin yapı malzemenin mukavemetini arttırmaktadır. Ayrıca yarı-kristalin yapıdaki termoplastiklerin çok keskin erime sıcaklıkları ve katılma sıcaklıkları vardır. Yarı-kristalin yapının çoğu özelliği, amorf yapının özelliklerine göre farklıdır. Yarı- kristalin yapı daha rijit olup, daha yüksek çekme mukavemetine, daha yüksek yoğunluğa ve daha yüksek erime viskozitesine sahiptir [Bal, 2009]. Şekil 2.2’de yarı-kristalin yapı görülmektedir [Braun, 2010].



Şekil 2.2: Yarı-kristalin yapı.

Termoplastiğin yapısındaki kristalin yapının miktarı, camsı geçiş sıcaklığını doğrudan etkilemektedir. Kristal yapı malzemede camsı geçiş sıcaklığını artırır. Yüksek oranda kristalin yapıya sahip termoplastikler yüksek sıcaklıklarda işlenebilir ancak bu termoplastiklerin üretim prosesi kristalin oranı düşük olan termoplastiklere göre oldukça zordur [Bal, 2009].

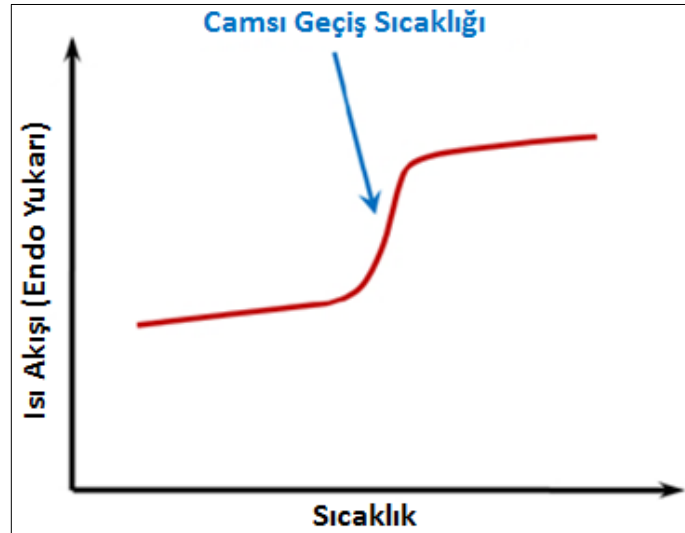
Malzemenin kristalinite oranı %60’ın üzerinde ise T_g ’nin etkisi çok azdır ve malzeme sertliği fazla değişmez. Malzemenin kristalinite oranı % 60’ın altında ise T_g ’nin etkisi daha fazladır ve malzemenin sertliği 13 daha hızlı azalır. T_g sıcaklığı amorf malzemelerde sürünme, darbe mukavemeti, yorulma gibi özellikleri

etkilerken, kristalin yapıdaki malzemeleri de etkiler. Kristalin malzemeler T_g ile T_m sıcaklıklarının arasında kullanılırlar [Baysal, 1994].

Termoplastikler üç sıcaklık altında karakterize edilebilir:

Camsı Geçiş Sıcaklığı (T_g): Camsı geçiş sıcaklığı (T_g), polimerlere ait karakteristik bir özelliktir. Polimerler; T_g altındaki sıcaklıklarda cam gibi sert ve kırılgan; T_g üzerinde ise esnek, bükülebilir ve zor kırılır bir yapıya geçer. T_g polimerlerde bağ hareketlerinin başladığı sıcaklıktır. Ancak bu bir faz geçişi değil, sadece polimer zincirlerinin verilen ısıyı absorbe ederek hareketlerini arttırmaya başladıkları bir geçiştir. Tam kristalin yapıda olan polimerlerde genelde T_g sıcaklığı gözlenmemektedir. Amorf termoplastiklerin kesin bir erime sıcaklıkları olmadığı için; T_g , amorf yapıya ait bir özelliktir. T_g polimerlerin yapısı hakkında bilgi verir. Şekil 2.3’de camsı geçiş sıcaklığını gösteren grafik görülmektedir [MEB, 2014].

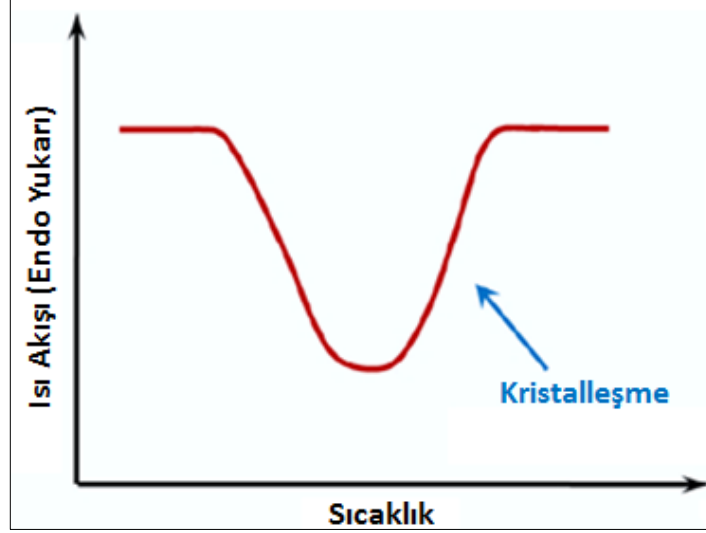
T_g değeri; moleküller arası kuvvetlerin, molekül ağırlığının ve çapraz bağların büyümesi ile artar. Ayrıca termoplastikler T_g değerini geçtikten sonra genleşme faktörü, özgül ısı ve elastite modülü ciddi oranda değişiklik göstermektedir [Çelik, 2000].



Şekil 2.3: Camsı geçiş sıcaklığı grafiği.

Kristalizasyon Sıcaklığı (T_c): Kristalizasyon sıcaklığı (T_c), herhangi bir polimer molekülünün veya küçük moleküller topluluğunun sık istiflenmesinin gözlemlendiği sıcaklıktır. Kristal yapı, amorf yapıya göre daha yüksek yoğunluğa sahiptir. Polimerlerde T_c , bir sıcaklık aralığındadır ve erime sıcaklığı (T_m) ile T_g arasında görülür. Termogramda ekzotermik pik olarak gözlenir. Şekil 2.4’de

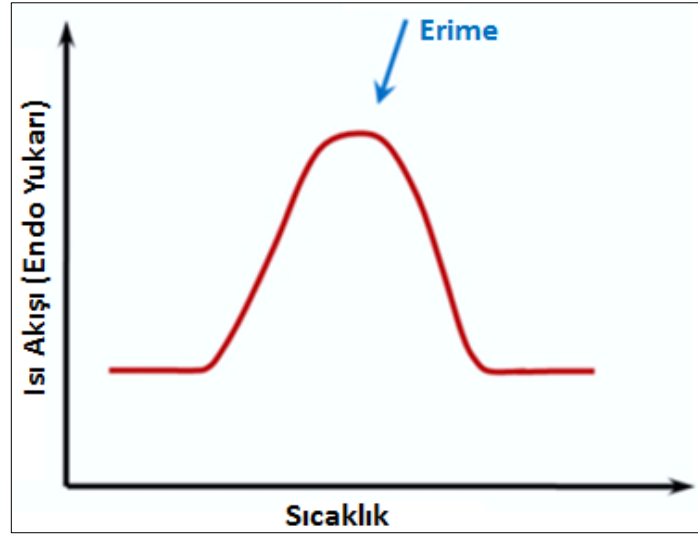
kristalizasyon sıcaklığını gösteren grafik görülmektedir. Kristalizasyon noktası ve pik alanı ile hesaplanan kristalizasyon enerjisi malzeme tanımlanmasında önemlidir [MEB, 2014].



Şekil 2.4: Kristalizasyon sıcaklığı grafiği.

Erime Sıcaklığı (T_m): Erime, kristalin yapıya ait endotermik bir faz geçişidir. Polimerin verilen ısı absorbe etmesi sonucu moleküller birbirlerinin üzerinden kaymaya başlar ve moleküller arasındaki Cohesive kuvvetler etkisini kaybeder. Moleküller arasındaki bu kayma olayı, küçük moleküllu bileşiklerde sabit sıcaklıkta gözlenirken, polimerlerde bir sıcaklık aralığında gözlenir. Bunun nedeni ise zincirler arasındaki etkileşimler, dolanmalar ve zincirlerin farklı uzunluklarda olmasıdır. Erime piki (T_m), termogramda endotermik olarak belirlenir. Şekil 2.5’de erime sıcaklığını gösteren grafik verilmiştir [MEB, 2014].

Yarı-kristalin plastikler, kristalin yapının bozulduğu T_m altında katı, üstünde ise viskoz sıvı haldedir. Bu malzemeler T_g altında gevrek ve set, üstünde ise tok ve sert bir yapı gösterirler. Sıcaklık erime sıcaklığına yaklaştıkça yumuşama görülür, T_m erime sıcaklığında lastiksi bir hal alır ve sonra viskoz bir akışkan olur [Bitirgiç, 2010].



Şekil 2.5: Erime sıcaklığı grafiği.

Yüksek sıcaklıklarda, molekül zincirini oluşturan üniteler arasında kopmalar meydana gelir ve plastik malzeme yıpranır, buna yıpranma sıcaklığı (T_d) denir. T_g , T_m , T_d sıcaklıkları plastiklerin alanlarını ve teknolojilerini tayin etmektedirler. Amorf polimerler T_g sıcaklığı altında kullanılırlar, teknolojileri T_g ile T_d sıcaklıkları arasında yapılır. Yarı kristalin plastikler, kristalinite derecesine bağlı olarak T_m erime sıcaklığına kadar kullanılabilir. Ancak T_m ile T_d arasında sıcak olarak ve T_g ile T_m arasında soğuk olarak şekillendirilirler [Akkurt, 1991].

2.2. Bazı Termoplastikler ve Özellikleri

2.2.1. Polikarbonat (PC)

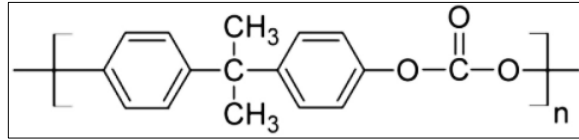
Polikarbonat, iyi mekanik özelliklere sahip olup, sertliği ve darbe dayanımı yüksek bir malzemedir. PC malzeme; çok iyi sertlik, saydamlık, rijitlik ve iyi mukavemet özelliklerine sahiptir. Ayrıca ısı direnci ve ultraviyole (UV) dayanıklılığı da yüksek bir malzemedir ve iyi elektrik yalıtımı sağlamaktadır. Çoğu çözücülere ve petrol ürünlerine karşı dirençlidir. Polikarbonat amorf bir yapıya ve düşük yoğunluğa sahiptir. PC'nin yoğunluğu $1,2 \text{ g/cm}^3$ 'dür. Camı geçiş sıcaklık değeri 150°C 'dir. Çekme mukavemeti ise 65 Mpa 'dır.

Amorf bir mühendislik termoplastiği olan polikarbonatın genel amaçlı kalıplama ve ekstrüzyon çeşidinin yanı sıra bazı özellikleri ve işleme karakteristiklerini sağlayan çeşitleri de vardır [Akkurt, 1991].

PC, %100 geri dönüşümü yapılabilen ve çöp yakma tesislerinde enerji üretimi için kullanılabilen bir malzemedir. En uygun geri kazanım seçeneği birçok koşula bağlıdır. Bu koşullar arasında mahalli mevzuat, plastik parça tasarımı, ayırma tesislerine ulaşım, lojistik ve geri dönüşüm maliyetleri bulunur [Web-3, 2019].

Polikarbonatlar bu önemli özelliklerinin sayesinde çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. PC, otomotivde; arka lambalar, geri vites lambaları, sis lambaları, ön farlar, ayna yuvaları gibi parçaların üretiminde sıklıkla kullanılır. Ayrıca; buzdolapları, mikserler, elektrikli tıraş makineleri, saç kurutma cihazları, cep telefonu, bilgisayar, faks makineleri, su ısıtıcıları gibi kullanım yerleri de vardır. Çok iyi ışık geçirgenlik özelliğinden dolayı optik malzeme olarak da kullanılmaktadır.

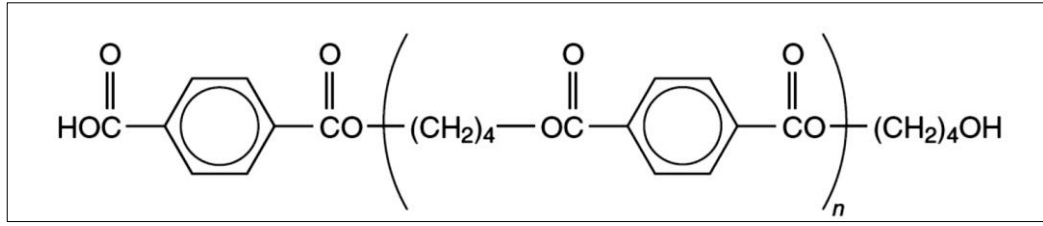
Şekil 2.6’da polikarbonatın zincir yapısı verilmiştir [Saylan, 2010].



Şekil 2.6: Polikarbonatın zincir yapısı.

2.2.2. Polibütlen Tereftalat (PBT)

Polibütlen tereftalat yüksek performansa sahip, dayanıklı ve yarı kristalin yapıya sahip bir termoplastiktir. Düşük nem alma, çok iyi boyutsal kararlılık, yüksek ısı dayanımı, mükemmel sertlik ve mukavemet, kimyasal dayanım, kolay işlenebilirlik ve mükemmel yüzey görünümü gibi özelliklere sahiptir. PBT, bu özellikleri geniş bir sıcaklık ve nem aralığında muhafaza edebilmekle beraber, nemlendirme sonrası PBT’nin mekanik özelliklerinde herhangi bir değişim olmamaktadır. PBT; 1,4-bütandiolün ve tereftalik asitin transesterifikasyonu ile üretilir ve yoğunlaşma polimerizasyonu ile elde edilmesinde dolayı, aynı zamanda yan ürün olarak su açığa çıkar [Web-4, 2019]. Şekil 2.7’de PBT’nin zincir yapısı verilmiştir [Scheirs et al., 2005].



Şekil 2.7: PBT'nin zincir yapısı.

PBT'nin kristalleşme oranı yüksek olduğundan enjeksiyonla kalıplama da özellikle tercih edilir. Ayrıca malzemede bazı özelliklerin iyileştirilmesi gerektiği durumda diğer termoplastikler ile karışım yapılabilir. Daha sert, parlak ve yüksek sıcaklık dayanımı istendiğinde PBT/PET karışımı, daha esnek, darbeye dayanıklı ve boyutsal kararlılığa sahip özellikler istendiğinde PBT/PC karışımı, güneş ışınlarına yüksek dayanım ve boyutsal kararlılık istendiğinde ise PBT/ASA karışımları kullanılmaktadır [Web-4, 2019].

PBT, kristalinite oranı %35 ile %40 arasında değişim gösteren, yarı kristalin bir termoplastiktir. T_g değeri 55-65°C arasında, T_m değeri ise 222-232°C arasındadır. Kristalinite derecesi, camsı geçiş sıcaklığı ve erime sıcaklığı malzemenin termal geçmişine bağlıdır. PBT'nin kristalinite oranı tavlama ile % 60'a çıkartılabilir [Antic et al., 2011]. PBT malzemenin çekme mukavemet dayanımı 52 Mpa, yoğunluğu ise 1,31 g/cm³'dür.

PBT üstün özellikleri sayesinde çok geniş uygulama alanına sahiptir. Otomotivde; ayna, kapı kolu, silecek gövdesi ve yağ deposu kapağında, elektrik-elektronikte; sigorta kutusu, kablo bağlantı elemanları ve motor kutularında, endüstriyel uygulamalarda; dişliler ve bantlı taşıyıcılarda; günlük kullanımda ise ütü tabanlarında, klavye parçalarında, saç kurutma makinası parçalarında ve çim biçme makinası parçalarında kullanılmaktadır.

2.2.3. Polikarbonat/Polibütlen Tereftalat (PC/PBT) Karışım

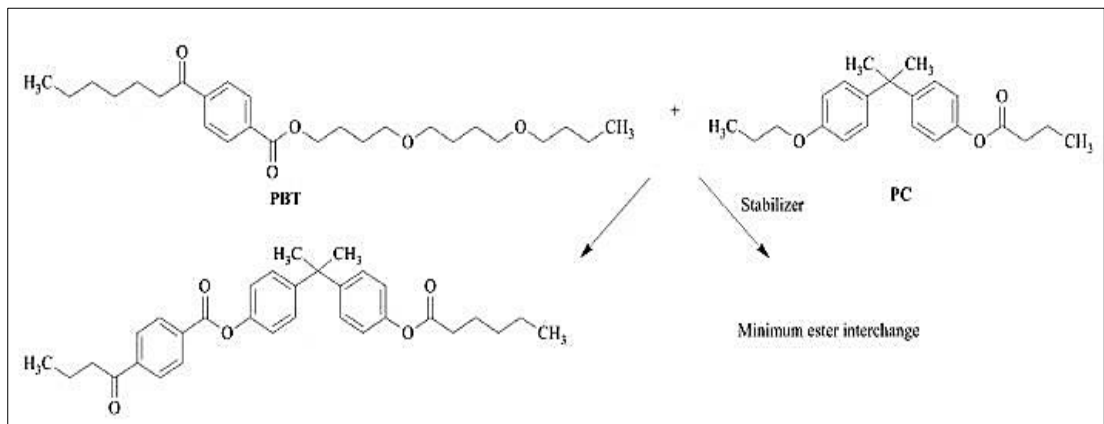
Polimer karışımlar; istenilen özelliklerin en az iki polimer bileşeninden elde edildiği malzemelerdir. Bir polimerin diğer bir polimer ile karışım oluşturulmasının ana nedeni; gerçek uygulamalarda karşılaşılan maliyet verimliliği ve malzeme performans değerlerinin iyileştirilmesi ile yeni bir malzemenin geliştirilmesidir.

Polikarbonat (PC) ve polibütilen tereftalat (PBT) kullanım alanlarının çeşitliliği ve sundukları ileri performans özellikleri ile önemli ticari mühendislik polimerleridir.

Polikarbonat (PC) sahip olduğu teknolojik uygunluk özelliklerinden dolayı en önemli mühendislik plastiklerinden biridir. PC düşük sıcaklıklarda (100°C'nin altında) bile yüksek darbe dayanımı, süneklik, çok iyi tokluk, geçirgenlik ve iyi yanma dayanımı gibi istisnai özelliklere sahiptir. Cam gibi şeffaftır, toksin değildir. Elektrik iletkenliği yoktur. PC sahip olduğu doğal amorf yapısından dolayı; yağlara, yakıtlara, seyreltilmiş asitlere ve alkollere dayanıklı ancak güçlü asitlere, alkaline çözeltilerine ve benzene dayanıksızdır ve düşük yorulma dayanımına sahiptir.

PBT ise; yarı kristalize yapısıyla, mükemmel çekme dayanımı, aşınma dayanımı, kimyasal dayanım, ultraviyole ışınlarına karşı dayanım, elektriksel yalıtkanlık ve kolay işlenebilirlik özelliklerine sahiptir [Zhang, 2005].

PC/PBT malzeme; yarı kristalize PBT malzemenin sağladığı kimyasal dayanımı, ultraviyole ışınlarına karşı dayanımı, yüksek ısıl dayanımı özellikleri ile amorf PC malzemenin boyutsal kararlılık, iyi darbe dayanımını ve diğer mekanik özelliklerini kombine etmek için geliştirilmiştir. Karışımdaki her iki polimerde yüksek performans plastikleri olarak kullanılır ve bu iki polimer birbirlerinin özelliklerini çok iyi tamamlamaktadır. Bu nedenle; PC/PBT , hem akademik hem de endüstriyel olarak araştırılan, ilgi duyulan bir malzemedir ve otomotiv sektöründe dış parçaların üretiminde sıklıkla kullanılmaktadır. Karışımın özellikleri; PC ve PBT 'nin karışım oranları değiştirilerek ayarlanabilir [Tareque, 2009]. PC/PBT'nin kimyasal yapısı Şekil 2.8'de gösterilmiştir [Elvers, 2016].



Şekil 2.8: PC/PBT kimyasal yapısı.

PC/PBT karışımında kompleks bir morfoloji ve PC-PBT'nin kısmi karışa bilirliliği görölür. Morfolojik yapısının stabil olması ve sürekli bağlar arası değişimin olmaması en önemli karakteristik özelliklerinden bir kaçıdır [Shih, 2002].

PC/PBT karışımlar genel olarak otomotiv endüstrisinde gövde panellerinde, düşük sıcaklıklarda tokluk, kimyasal direnç, ısı direnci ve boyutsal kararlılığın istendiği yerlerde kullanılır [Thomas et al., 2011].

Bu karışımların kullanım yerlerini; otomobil tamponu, yan aynalar ve mekanizmaları, araç kapı kolları ve mekanizmaları, araç ön ızgaraları, jant kapakları, cam silecek tertibatları, far sistemleri, su pompası, yakıt deposu, ateşleme bileşenleri, fren sistemleri, elektrikli ev aletleri gövdeleri, elektrik bağlantı soketleri, bobin gövdeleri, sigorta kutuları, konveyör zincir bağlantıları, dişli çarklar, valf bileşenleri olarak sıralayabiliriz.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1. Deneylerde Kullanılan Malzeme ve Özellikleri

3.1.1. Polikarbonat/Polibütlen Tereftalat (PC/PBT) Karışım

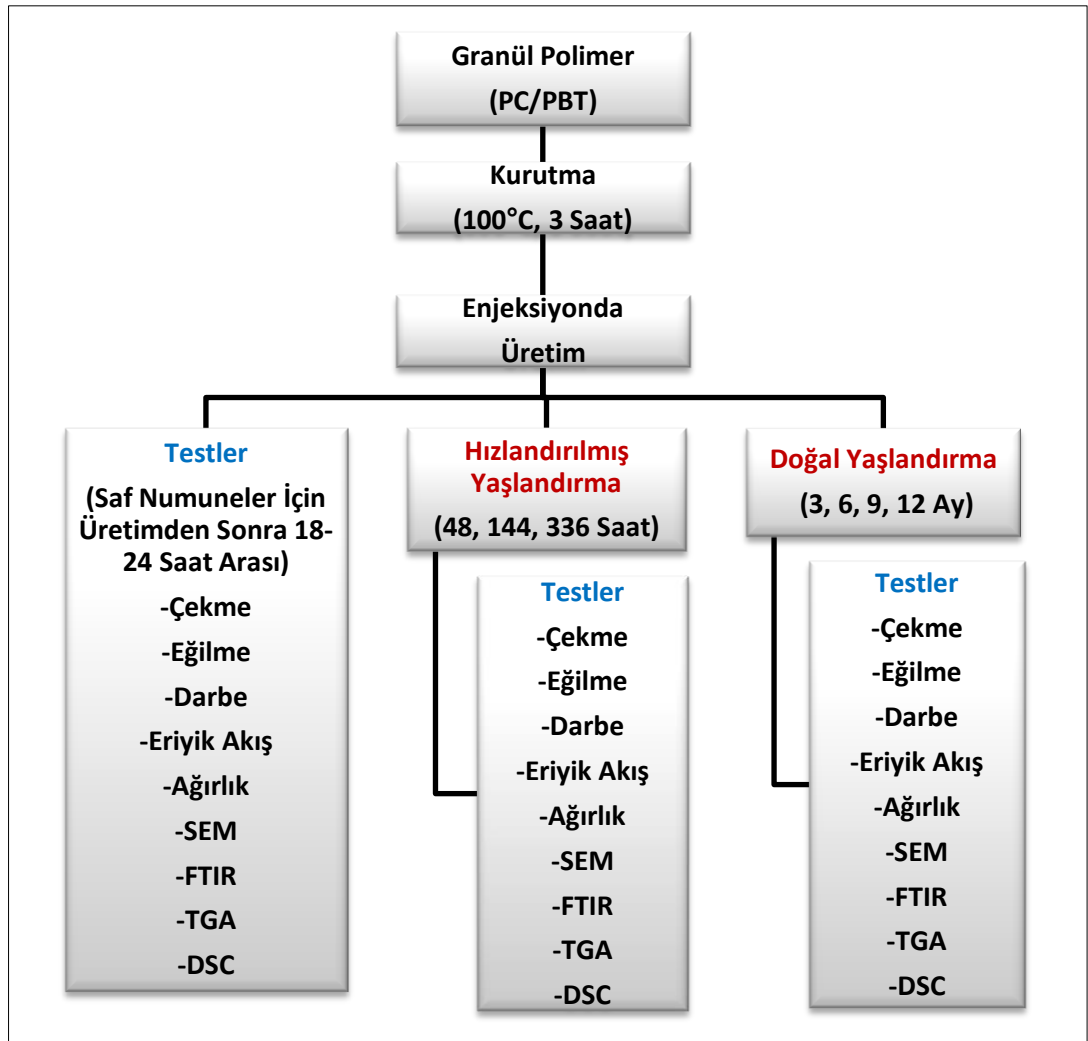
Tez çalışmasında PC/PBT malzemesi olarak, Tecotek® PC40 NL VC02 kullanılmıştır. PC/PBT malzemeye ait mekanik, fiziksel ve ısıl özellikler Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1: PC/PBT karışımın özellikleri.

Marka: TECOTEK PC40NLVB02		Test Şartları	Birim	Değer	Standart
FİZİKSEL ÖZELLİKLER	Yoğunluk	-	g/cm ³	1,2	ISO 1183
	Eriyik Akış Değeri	1,2 kg, 300°C	g/10 dk	40	ISO 1183
MEKANİK ÖZELLİKLER	Çekme Dayanımı	23°C	Mpa	60	ISO 527
	Çekme Modülü	23°C	Mpa	2550	ISO 527
	Kopmadaki Uzama	23°C	%	>50	ISO 527
	İzod Darbe Dayanımı	23°C, Çentikli	kJ/m ²	55	ISO 180/1A
	Akma Mukavemeti	23°C	Mpa	55	ISO 527
ISIL ÖZELLİKLER	Erime Sıcaklığı	-	°C	230- 300	ISO 11357
	Yük Altında Deformasyon Sıcaklığı	0,45 Mpa	°C	110	ISO 75
	Yük Altında Deformasyon Sıcaklığı	1,80 Mpa	°C	90	ISO 75

3.2. Deney ve Test Aşamaları

PC/PBT karışım granül hammadde olarak tedarik edildikten sonra, numune üretimi için ilk önce 100°C’de 3 saat boyunca kurutma işlemi yapılmış daha sonra belirlenen enjeksiyon şartları altında yeterli miktarda numune üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretimden sonra saf numunelerin testleri 24 saat içinde yapılmıştır. Geri kalan numunelerin bir kısmı doğal yaşlandırma için doğal ortamda bulunan yaşlandırma raflarına, diğer bir kısmı ise hızlandırılmış yaşlandırma için hızlandırılmış yaşlandırma cihazına dizilmiştir. Doğal ortamdaki numunelerin testleri 3, 6, 9 ve 12 ay sonra, yaşlandırma cihazında bulunan numunelerin testleri ise 48, 144 ve 336 saat sonra yapılmıştır ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Bu süreçte ait deney ve test akış şeması Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1: Deney ve test aşamaları şeması.

3.3. Kullanılan Deney Araç-Gereçleri ve Özellikleri

Bu bölümde; deneylerde ve üretimde kullanılan makineler, test ve ölçüm cihazları ile teknik özellikleri hakkında bilgiler verilmiştir.

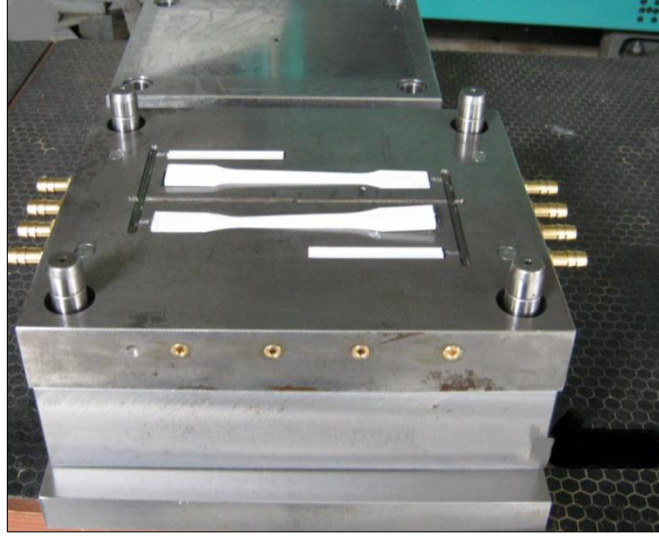
3.3.1. Enjeksiyon Makinası ve Numune Kalıbı

Tez çalışmasında kullanılan çekme, darbe ve eğme test numuneleri plastik enjeksiyon kalıplama yöntemi ile üretilmiştir. Deneylerde kullanılacak malzemelere ait olan deney numunelerinin üretiminde; 125 g basma kapasiteli, 900 kN kapama kuvvetine sahip, WENSUI marka 5 HP gücünde soğutma sistemi ve maksimum 95°C'ye ayarlanabilen kalıp şartlandırıcısına sahip Şekil 3.2'deki YIZUMI-UN90A2 marka plastik enjeksiyon makinesi kullanılmıştır.



Şekil 3.2: Plastik enjeksiyon makinası.

Standart çekme, darbe ve eğme test çubuklarını üretmek için Şekil 3.3'deki kalıp kullanılmıştır.



Şekil 3.3: Numune kalıbı.

3.3.2. Kalıp Şartlandırıcısı

Plastik enjeksiyon kalıplarında oluşan sıcaklık ayarsızlığından dolayı ürün hassasiyeti ve kalitesi düşmektedir. Kalıp şartlandırıcısı kalıbı sürekli uygun sıcaklıkta tutarak üretim kalitesini artırmaya yardımcı olur. Kalıp şartlandırıcısına ait resim Şekil 3.4’de verilmiştir.



Şekil 3.4: Kalıp şartlandırıcısı.

3.3.3. Kalıp Soğutma Ünitesi

Kalıp sıcaklığı, baskı süresini ve parça kalitesini etkilediğinden önemlidir. Yüksek sıcaklıkta bulunan kalıpta plastiğin akması çok kolay iken, bu durum kalıptaki parçanın soğuyup dışarı atılma süresini artıracaktır. Ayrıca tam bir soğuma gerçekleşmediği durumlarda parçanın özelliğine göre parçada çarpılmalar meydana gelebilmektedir. Bu tür istenmeyen üretim hatalarının giderilmesi açısından kalıp soğutma ünitesi, enjeksiyonla plastik üretim proseslerinde olmazsa olmazdır. Kalıp soğutucusuna ait resim Şekil 3.5’de verilmiştir.



Şekil 3.5: Kalıp soğutma ünitesi.

3.3.4. Doğal Yaşlandırma Rafları

Tez çalışması kapsamında tasarımı yapılan doğal yaşlandırma rafları GTÜ Makine Mühendisliği binası çatısına kurulmuştur. Rafların montajı güneş ışığından en iyi şekilde faydalanabilmek amacıyla TS EN ISO 877-1-2011 standartlarına göre 45 derece ile güney yönüne doğru yapılmıştır. Doğal yaşlandırmaya maruz kalacak numuneler Şekil 4.6’da görüldüğü gibi bu raflara sabitlenerek dizilmiştir. Testi

yapılacak numuneler sırasıyla 3, 6, 9, 12 aylık periyotlarla alınarak testlere tabi tutulmuştur.



Şekil 3.6: Doğal yaşlandırma rafları ve dizilmiş numuneler.

3.3.5. Hızlandırılmış Yaşlandırma Kabini

Hızlandırılmış yaşlandırma işlemi; GTÜ Makine Mühendisliği laboratuvarında bulunan QUV-LAB Accelerated Weathering Tester cihazıyla yapılmıştır. Cihaza ait resim Şekil 3.7’de, teknik özellikleri Ek-A’da verilmiştir [Web-5, 2019].



Şekil 3.7: Hızlandırılmış yaşlandırma cihazı.

Test yapılacak numuneler dönüşümlü olarak 4 saat UV ışınlarına ardından 4 saat yoğunlaşmaya maruz bırakılmıştır. Bu çevrim boyunca kabin sıcaklığı 50°C’de sabit tutulmuştur. Numuneler ASTM G154 standartlarına uygun olarak; sırasıyla 48, 144 ve 336 saat yaşlandırma işlemlerinden sonra mekanik testlere tabi tutulmuştur.

3.3.6. Çekme ve Eğilme Test Cihazı

İlk üretim ve yaşlandırma işlemlerinden sonra test numunelerinin çekme testleri; bilgisayar yazılımı ile kontrol edilen INSTRON 5569 marka cihaz ile yapılmıştır. Eğilme testleri de; uygun kafa ve aparat değişimleri yapıldıktan sonra bu cihaz ile yapılmıştır. Şekil 3.8’de cihaza ait resim verilmiştir.



Şekil 3.8: Çekme ve eğilme test cihazı.

3.3.7. Eriyik Akış Test Cihazı

Test numunelerinin eriyik akış indeksi; zaman ayarlı, maksimum 300°C çalışma sıcaklığına sahip Şekil 3.9’ da gösterilen DEVOTRANS EA3 marka cihazla ölçülmüştür.



Şekil 3.9: Eriyak akış test cihazı.

3.3.8. Darbe Test Cihazı

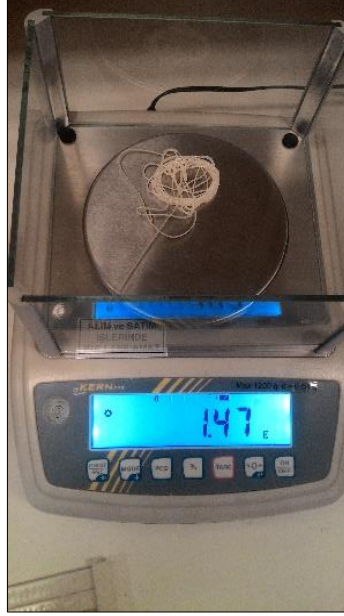
Darbe testi Şekil 3.10'daki INSTRON Ceast 9050 marka cihaz ile yapılmıştır. Bu cihaz dokunmatik kontrol ekranına ve otomatik çekiç tanıma özelliğine sahip olup, darbe çekicinin test esnasında serbest bırakılması manuel olarak yapılmaktadır.



Şekil 3.10: Darbe test cihazı.

3.3.9. Hassas Terazi

Test numunelerinin ağırlık ölçümleri Şekil 3.11'deki hassas terazi ile yapılmıştır.



Şekil 3.11: Hassas terazi.

3.3.10. Taramalı Elektron Mikroskop (SEM)

Numunelerin SEM analizleri Şekil 3.12'de gösterilen Philips XL30 SFEG marka taramalı elektron mikroskobu cihazı kullanılarak yapılmıştır.

Elektron ışını ile tarama işlemi yapılırken; iletken olmayan malzemeler üzerinde oluşan yük birikmesi, iyi bir görüntü alınmasına engel olmaktadır. Bu sebepten dolayı Şekil 3.13'de görüldüğü gibi numunelerin dış yüzeyleri püskürtme yöntemi ile altın kaplama yapılmıştır.



Şekil 3.12: Taramalı elektron mikroskopi.



Şekil 3.13: Kaplama işlemi yapılmış numuneler.

3.3.11. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometresi (FTIR)

Kızılötesi spektrometresi analizleri GTÜ Kimya bölümünde bulunan Şekil 3.14’de gösterilmiş Perkin Elmer Spectrum 100 markalı cihaz ile gerçekleştirilmiştir.

Kızıl ötesi spektrometresi moleküllerin çeşitli bağlarındaki titreşim frekansını ölçerek; moleküldeki fonksiyonel gruplar hakkında bilgi verir. Katı, sıvı ve çözelti halindeki organik bileşiklerin yapılarındaki fonksiyonel gruplar, iki bileşiğin aynı olup olmadığı, yapıdaki bağların durumu, bağlanma yerleri ve yapının aromatik ya

da alifatik olup olmadığı belirlenebilir. Ayrıca biyokimyasal olarak; karbonhidrat, fosfolipit, aminoasit ve proteinlerin yapı analizlerinde belirleyicidir. FTIR spektroskopisi, gaz veya sıvı kromatografisi, kütle spektroskopisi gibi diğer analitik yöntemlere kıyasla daha başarılı olduğu ve endüstride çok iyi bir tanımlama aracı olarak kullanılabilir [Web-6, 2019].



Şekil 3.14: Kızılötesi spektrometre cihazı.

3.3.12. Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC)

Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizleri GTÜ Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Karakterizasyon Analiz Laboratuvarında bulunan Şekil 3.15’de gösterilen Netzsch DSC 404 C Pegasus marka cihaz ile yapılmıştır.

DSC cihazında 2 adet numune potası bulunmaktadır, bu potalar alumina, platin gibi olası reaksiyonlara karşı kimyasal tepki vermeyen malzemelerden yapılmıştır. DSC de 25°C’den 1400°C’ye kadar çıkılarak ısı analiz yapılmaktadır. Böylelikle yapıda görülebilecek cam geçiş sıcaklığı, kristalleşme, faz dönüşümü, erime, oksitlenme kararlılığı aralığı, yeniden kristalleşme sıcaklığı, ısı sığası, ısı kapasitesi vb. gibi özellikler saptanabilmektedir [Web-7, 2019].



Şekil 3.15: Diferansiyel taramalı kalorimetri cihazı.

3.3.13. Termal Gravimetrik Analiz (TGA) Cihazı

Termal gravimetri analizi (TGA) GTÜ Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Laboratuvarında bulunan Şekil 3.16’da gösterilen Mettler–Toledo TGA/SDTA 851 marka cihaz ile yapılmıştır [Web-8, 2019].

Termal gravimetri, genel olarak malzemelerde sıcaklığın veya zamanın bir fonksiyonu olarak meydana gelen kütle kaybı ve/veya kazanımlarının belirlenmesinde kullanılır. Sıcaklığın fonksiyonu olarak malzemenin kütlesindeki değişim ve bu değişimin yayıldığı aralık, malzemenin termal kararlılığının göstergesidir. Genel olarak, deney numunesinin kütlesinin değişmesine neden olan reaksiyonlar; bozunma veya yükseltgenme reaksiyonları veya bir bileşenin buharlaşmasıdır. Aynı deney şartları altında elde edilen ölçümler kullanılmak kaydıyla, aynı monomerden elde edilmiş polimerler ailesinin bağıl termal kararlılıklarının değerlendirilmesinde ve polimer-polimer veya polimer-katkı maddesi etkileşimlerinin irdelenmesinde kullanılabilir [Web-9, 2019].

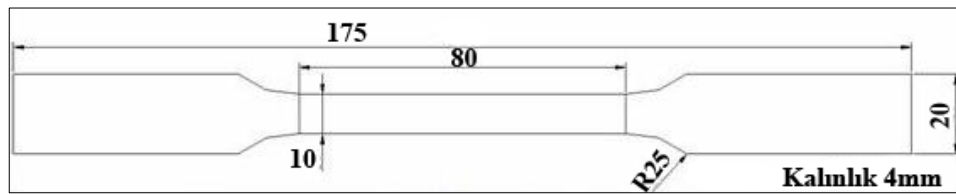


Şekil 3.16: Termal gravimetri analiz cihazı.

3.4. Deney Numuneleri

3.4.1. Çekme Test Numunesi

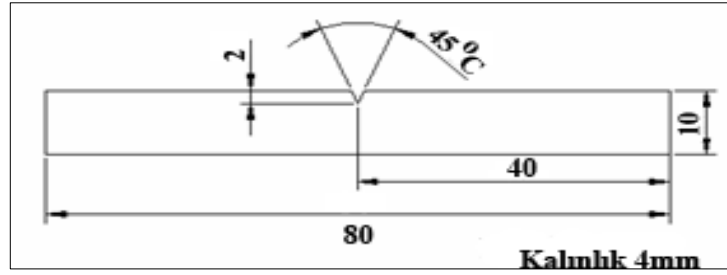
Şekil 3.17’de ölçüleri verilen çekme test numunelerinin üretimi ISO 527 standardına göre yapılmıştır.



Şekil 3.17: Çekme test numunesinin şekil ve boyutları.

3.4.2. Darbe Test Numunesi (Çentikli)

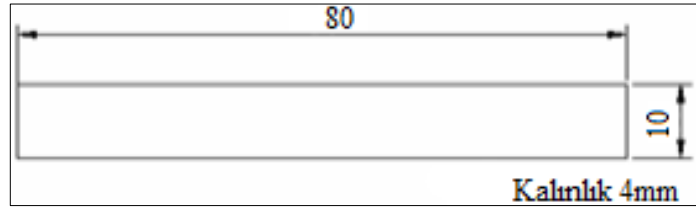
Şekil 3.18’de ölçüleri verilen darbe test numunelerinin üretimi ISO180 standardına göre yapılmıştır.



Şekil 3.18: Çentikli darbe test numunesinin şekil ve boyutları.

3.4.3. Eğilme Test Numunesi

Şekil 3.19’da ölçüleri verilen eğilme test numunelerinin üretimi ISO178 standardına göre yapılmıştır.



Şekil 3.19: Eğilme test numunesinin şekil ve boyutları.

3.5. Deney Numunelerinin Plastik Enjeksiyonda Üretilmesi

Deney numuneleri GTÜ Makine Mühendisliği Bölümü’nde bulunan YIZUMI-UN90A2 marka/model plastik enjeksiyon makinası ile üretilmiştir.

Numunelerin istenilen kalite ve özellikte çıkması için, parametreler değiştirilerek uygun görülen şartlarda üretimler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca numunelerde kabarcık oluşumunu engellemek için granül halde bulunan PC/PBT karışımına; 3 saat boyunca 100°C’de kurutma işlemi uygulanmıştır. Çekme, eğilme, darbe, ağırlık, eriyik akış, ağırlık testleri için yeterli sayıda numuneler üretilmiştir.

Üretim sonrasında saf numunelere testler 18-24 saat sonra uygulanmış ve veriler kayıt altına alınmıştır. Diğer numuneler ise; hazırlıkları yapılmış olan hızlandırılmış yaşlandırma kabine ve doğal ortamda kurulumu yapılmış olan raflara dizilmiştir. Yaşlandırma prosesinden sonra her test için 5’er numune kullanılmış olup, değerlendirme yapılırken ortalama değerler kullanılmıştır.

Numunelerin plastik enjeksiyonda üretim parametreleri Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2: Plastik enjeksiyonda PC/PBT numunelerin üretim parametreleri.

Parametre	Değer	Birim
KURUTMA		
Kurutma Sıcaklığı	100	°C
Kurutma Süresi	3	Saat
ENJEKSİYON		
Eriyik Sıcaklığı	260	°C
Kalıp Sıcaklığı	70	°C
Enjeksiyon Basıncı	100	Mpa
Tutma Basıncı	75	Mpa
Enjeksiyon Hızı	65	mm/s
Tutma Zamanı	3	s
Soğutma Zamanı	30	s
Chiller Soğutma Ünitesi Sıcaklığı	15	°C

3.5.1. Deney Numunelerinin Adlandırılması

Üretimi gerçekleştirilen test numunelerin raflara dizilmeden önce adlandırılması Tablo 3.3’deki gibi yapılmıştır.

Tablo 3.3: Deney numunelerinin adlandırılması.

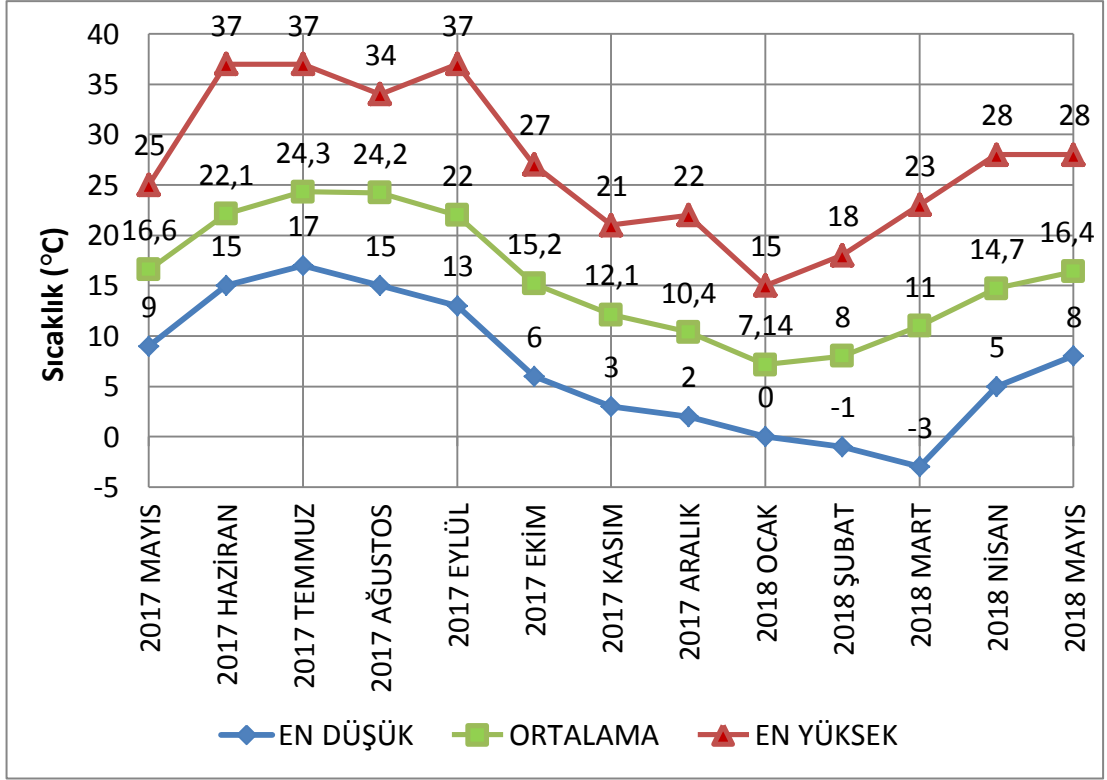
PC/PBT-I	Saf Numuneler
PC/PBT-UV48	48 Saat Hızlandırılmış Yaşlandırılan Numuneler
PC/PBT-UV144	144 Saat Hızlandırılmış Yaşlandırılan Numuneler
PC/PBT-UV336	336 Saat Hızlandırılmış Yaşlandırılan Numuneler
PC/PBT-N3	3 Ay Doğal Yaşlandırılan Numuneler
PC/PBT-N6	6 Ay Doğal Yaşlandırılan Numuneler
PC/PBT-N9	9 Ay Doğal Yaşlandırılan Numuneler
PC/PBT-N12	12 Ay Doğal Yaşlandırılan Numuneler

3.6. Yaşlandırma Ortam Koşulları

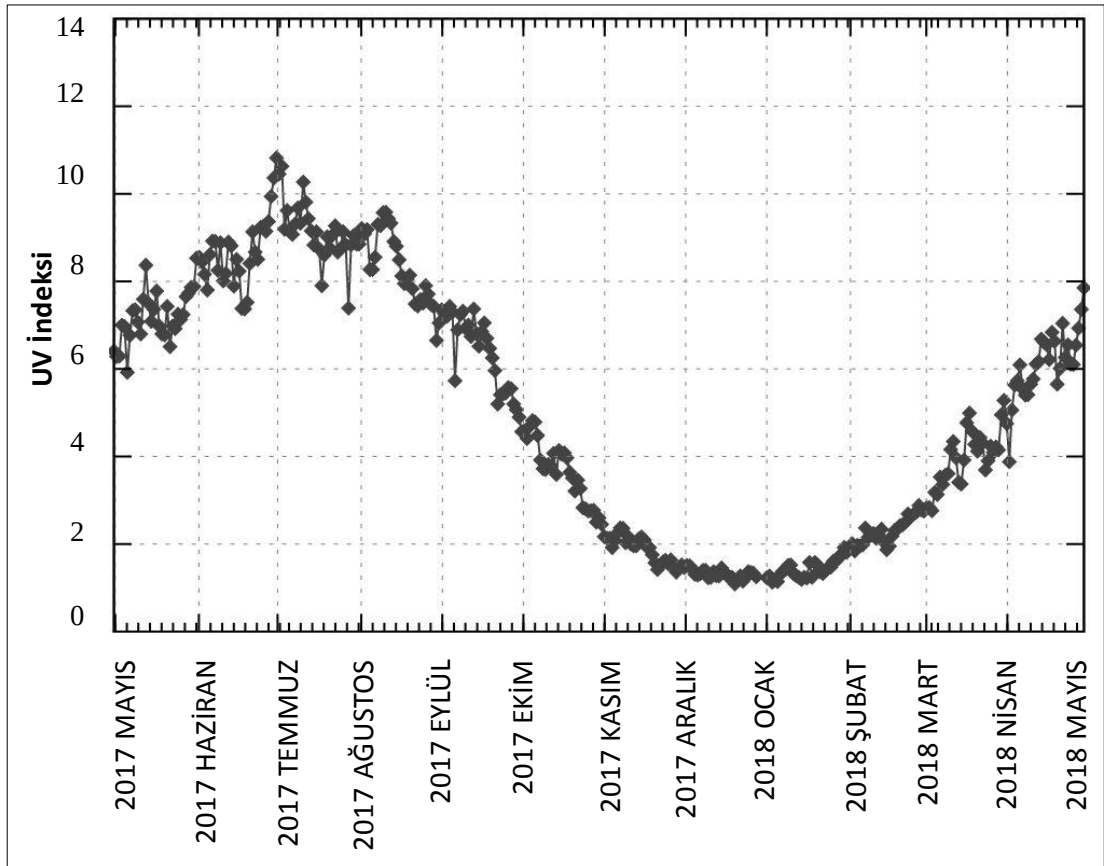
Yaşlandırma prosesi hem doğal ortamda hem de yapay simüle edilmiş ortamda yapılmıştır. Doğal yaşlandırma da malzemenin maruz kaldığı ortam koşulları kontrol edilemezken, hızlandırılmış yaşlandırma da ortam koşul parametreleri kontrol edilebilmektedir.

3.6.1. Doğal Yaşlandırma Ortam Koşulları

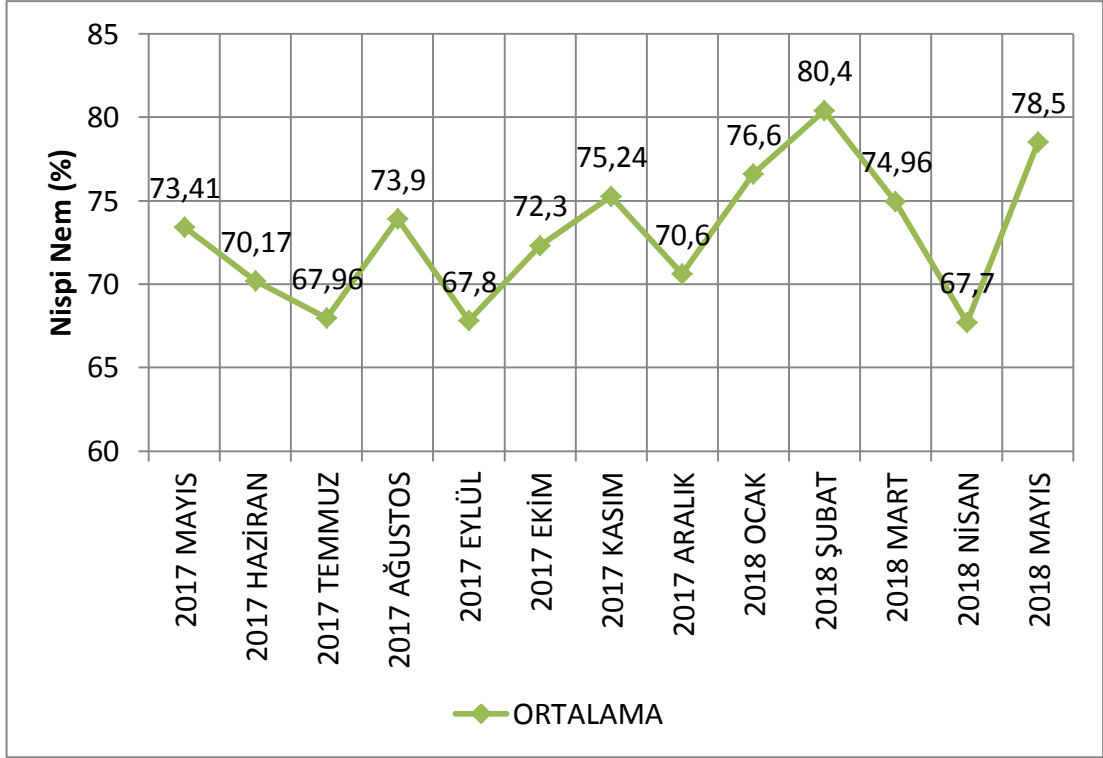
Doğal yaşlandırma prosesi Gebze/KOCAELİ bölgesinde 2017 Mayıs–2018 Mayıs tarihleri arasında yapılmıştır. Bu tarihler arasındaki hava sıcaklık değerleri Şekil 3.20’de, UV indeks değerleri Şekil 3.21’de, nispi nem değerleri Şekil 3.22’de verilmiştir [Web-10, 2019], [Web-11, 2019].



Şekil 3.20: Sıcaklık değerlerinin aylara göre değişimi.



Şekil 3.21: UV indeks değerlerinin aylara göre değişimi.



Şekil 3.22: Ortalama nispi nem değerlerinin aylara göre değişimi.

Yukarıdaki grafikler incelendiğinde; ortalama en yüksek hava sıcaklığı 24,3°C olarak Temmuz ayında, ortalama en düşük hava sıcaklığı 7,14°C olarak Ocak ayında, en yüksek hava sıcaklığı 37°C olarak Haziran, Temmuz, Eylül aylarında, en düşük hava sıcaklığı ise -3°C olarak Mart ayında ölçülmüştür.

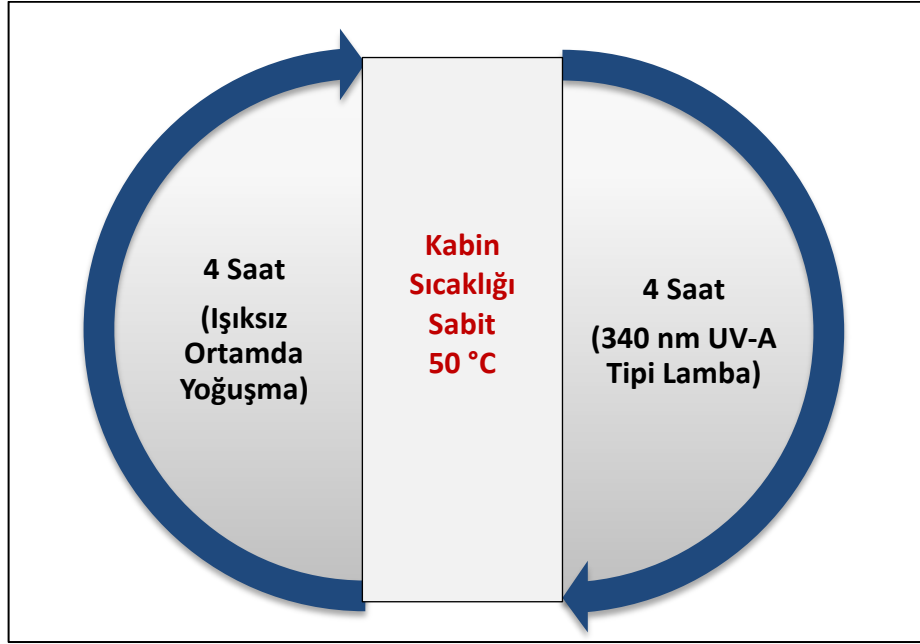
UV indeks değerlerinin Temmuz ayında en yüksek, Ocak ayında en düşük olduğu görülmüştür.

Nispi nem grafiği incelendiğinde en yüksek nispi nem oranı %80,4 ile Şubat ayında, en düşük nispi nem oranı %67,7 ile Nisan ayında olduğu görülmüştür. Genel olarak nispi nem oranı %67,7 ile %80,4 arasında dağılım göstermiştir.

3.6.2. Hızlandırılmış Yaşlandırma Ortam Koşulları

Hızlandırılmış yaşlandırma işlemi; QV-LAB Accelerated Weathering Tester cihazıyla yapılmıştır. Cihazda 340 nm dalga boyu ve 0,68 W/m² ışık şiddetine sahip UV-A tipi floresan bulunmaktadır. Yaşlandırma işlemi; 50°C sabit sıcaklık altında, 4 saat UV maruziyeti, 4 saat ışısız ortamda yoğunlaşma şeklinde 48 saat, 144 saat ve

336 saat olmak üzere ASTM G154 standartlarına uygun olarak uygulanmıştır. Bu çevrime ait şema Şekil 3.23’de verilmiştir.



Şekil 3.23: Hızlandırılmış yaşlandırma çevrimlerine ait şema.

Kabin içindeki numunelerin toplam UV ve yoğuşma maruziyet süreleri ve çevrim sayıları Tablo 3.4’de verilmiştir.

Tablo 3.4: Hızlandırılmış yaşlandırma çevrim sayıları ile UV ve yoğuşma maruziyet süreleri.

	UV Süresi	Yoğuşma Süresi	Çevrim Sayısı
48 Saat Yaşlandırılan Numuneler	24 Saat	24 Saat	6
144 Saat Yaşlandırılan Numuneler	72 Saat	72 Saat	18
336 Saat Yaşlandırılan Numuneler	168 Saat	168 Saat	42

3.7. Test Parametreleri

Enjeksiyon ile üretimden sonra ve yaşlandırma prosesleri tamamlandıktan sonra numunelere çekme, eğme, darbe, eriyik akış testleri uygulanmış olup, ağırlık ölçümü için ayrılan numunelerin ağırlık ölçümleri yapılmıştır. Bu testler uygulanırken ortam sıcaklığının $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ olmasına dikkat edilmiştir. SEM testi ise çekme testlerinde kopan parçalardan alınan kesitler ile yapılmıştır. Mekanik testlerin ardından FTIR, DSC ve TGA analizleri yapılmıştır. Uygulanan testlere ait parametre değerleri Tablo 3.5’de verilmiştir.

Tablo 3.5: Test parametre değerleri.

	Parametre	Değer	Birim
ÇEKME TESTİ	Çekme Hızı	50	mm/dk
EĞİLME TESTİ	Eğme Hızı	10	mm/dk
	Destek Mesafesi	60	mm
DARBE TESTİ	Çekiç Enerjisi	2,75	joule
	Çentik	Var	
ERİYİK AKIŞ TESTİ	Ağırlık	1,2	kg
	Sıcaklık	300	$^{\circ}\text{C}$

4. DENEYSEL SONUÇLAR

Saf numunelere, doğal ve hızlandırılmış yaşlandırmaya maruz bırakılmış numunelere uygulanan testlere ait sonuçlar bu bölümde değerlendirilmiştir. Her bir başlık altında hem doğal yaşlandırma hem de hızlandırılmış yaşlandırma sonuçları verilmiştir.

4.1. Çekme Testi Sonuçları

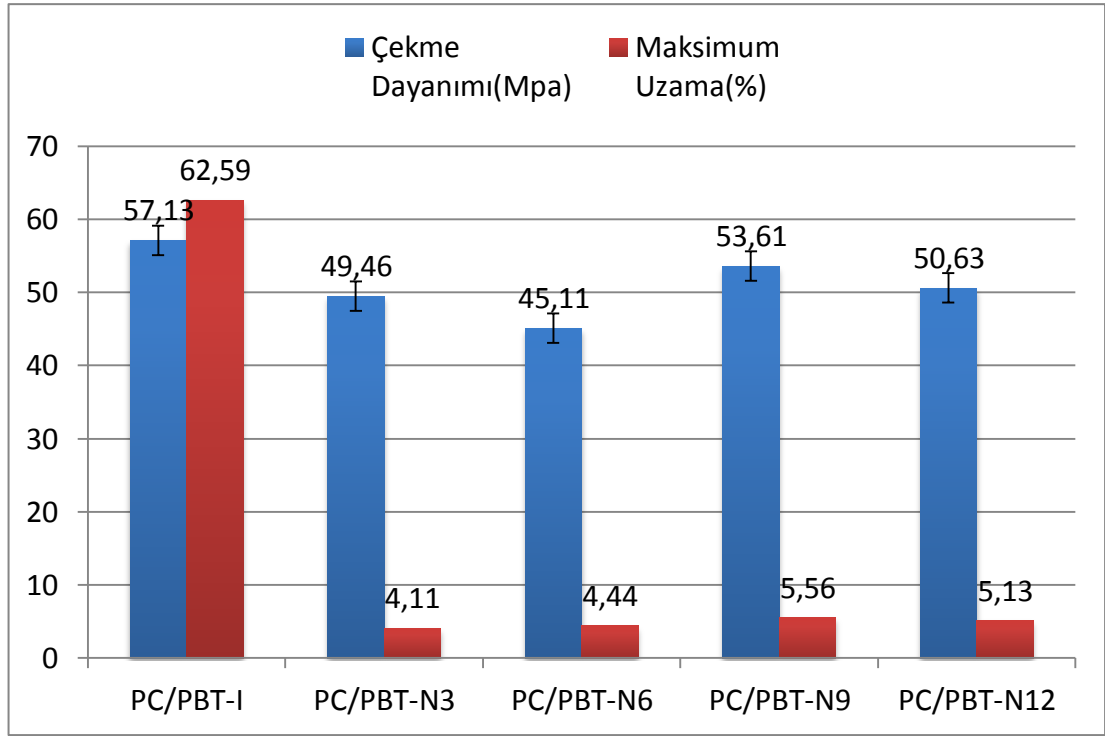
Çekme testleri ISO 527 standardına göre uygulanmış olup, çekme hızı 50 mm/dk olarak ayarlanmıştır.

Tablo 4.1’de; PC/PBT-I ve doğal yaşlandırılan PC/PBT-N3, PC/PBT-N6, PC/PBT-N9, PC/PBT-N12 numunelerine ait ortalama çekme dayanımı ve maksimum uzama değerleri verilmiştir.

Tablo 4.1: Doğal yaşlandırma çekme testi sonuç değerleri.

Numune	Çekme Dayanımı(Mpa)	Maksimum Uzama(%)
PC/PBT-I	57,13	62,59
PC/PBT-N3	49,46	4,11
PC/PBT-N6	45,11	4,44
PC/PBT-N9	53,61	5,56
PC/PBT-N12	50,63	5,13

Doğal yaşlandırılan numuneler ait çekme dayanımı ve çekmedeki maksimum uzama değerlerinin değişim grafiği Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1: Doğal yaşlandırılmış numunelerin çekme dayanımı ve maksimum uzama değişim grafiği.

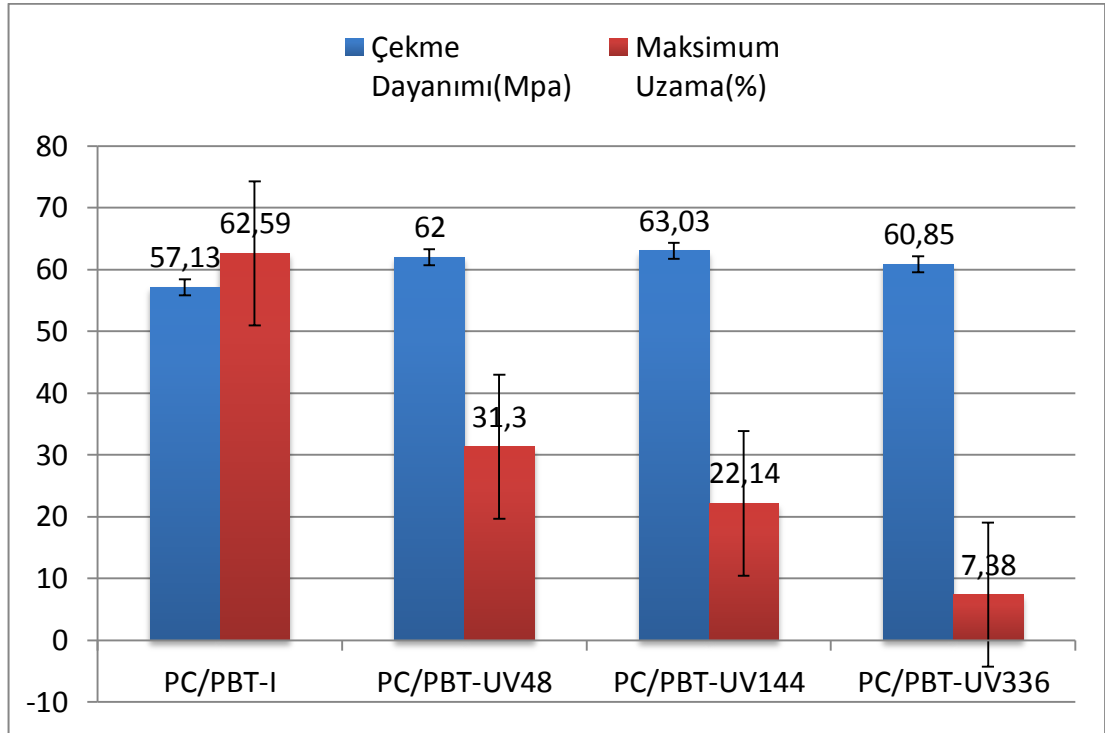
Şekil 4.1’de çekmedeki maksimum uzama değerlerinin değişimlerine bakıldığında 3 ay, 6 ay, 9 ay ve 12 ay doğal yaşlandırılan numunelerde saf numunelere göre maksimum uzama değerinde ortalama % 92 düşüş görülmüştür. İlk ciddi düşüş 3 ay doğal yaşlandırılmış numunelerde görülmüş olup, diğer geri kalan numunelerde de yaklaşık aynı oranda düşüşlerin tekrar ettiği görülmüştür. Çekme dayanımlarında ise; ciddi oranda değişimler görülmemiştir.

Tablo 4.2’de; PC/PBT-I ve hızlandırılmış yaşlandırılan numunelerine ait ortalama çekme dayanımı ve maksimum uzama değerleri verilmiştir.

Tablo 4.2: Hızlandırılmış yaşlandırma çekme testi sonuç değerleri.

Numune	Çekme Dayanımı(Mpa)	Maksimum Uzama(%)
PC/PBT-I	57,13	62,59
PC/PBT-UV48	62	31,3
PC/PBT-UV144	63,03	22,14
PC/PBT-UV336	60,85	7,38

Hızlandırılmış yaşlandırmaya maruz kalan numunelere ait çekme dayanımı ve maksimum uzama değerlerinin değişim grafiği Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2: Hızlandırılmış yaşlandırılmış numunelerin çekme dayanımı ve maksimum uzama değişim grafiği.

Hızlandırılmış yaşlandırmaya maruz kalan numunelerin çekme dayanımlarında da kayda değer bir değişme olmadığı görülmüştür. Ancak çekmedeki maksimum uzama değerlerine bakıldığında; 48 saat, 144 saat ve 336 saat hızlandırılmış yaşlandırmaya maruz kalan numunelerin değerlerinde, saf numunelere göre sırasıyla %50, %65 ve %88 düşüş olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda; uzayan hızlandırılmış yaşlandırma süresi ile çekmedeki maksimum uzama değerlerinde düşüş olduğu sonucu elde edilmiştir.

Literatürde ise; PC/PBT karışımının doğal ve hızlandırılmış yaşlandırma sonucu, çekme dayanımı değerlerinin önemli derecede değişime uğramadığı bulunmuştur. Çekmedeki maksimum uzama değerlerinin en hassas davranışa sahip olduğu, 240 günlük doğal yaşlandırma sonucunda maksimum uzama değerinde %94’lük bir düşüş olduğu bu düşüş oranının otuz gün hızlandırılmış yaşlandırılan numunelerde de aynı olduğu bulunmuştur. Ayrıca, çekmedeki maksimum uzama değerlerinin; yüzeydeki bozunmanın çok önemli olduğunu gösterdiği, bozunmuş

yüzeylerin ise malzemede gerginlik artırıcı ve maksimum çekme değerini düşürücü role sahip olduğu ifade edilmiştir [Sanchez, 2007].

4.2. Eğilme Testi Sonuçları

PC/PBT numunelere üç nokta eğilme dayanımı testi uygulanırken eğme hızı 10 mm/dk, destek aralığı 60 mm olarak ayarlanmıştır.

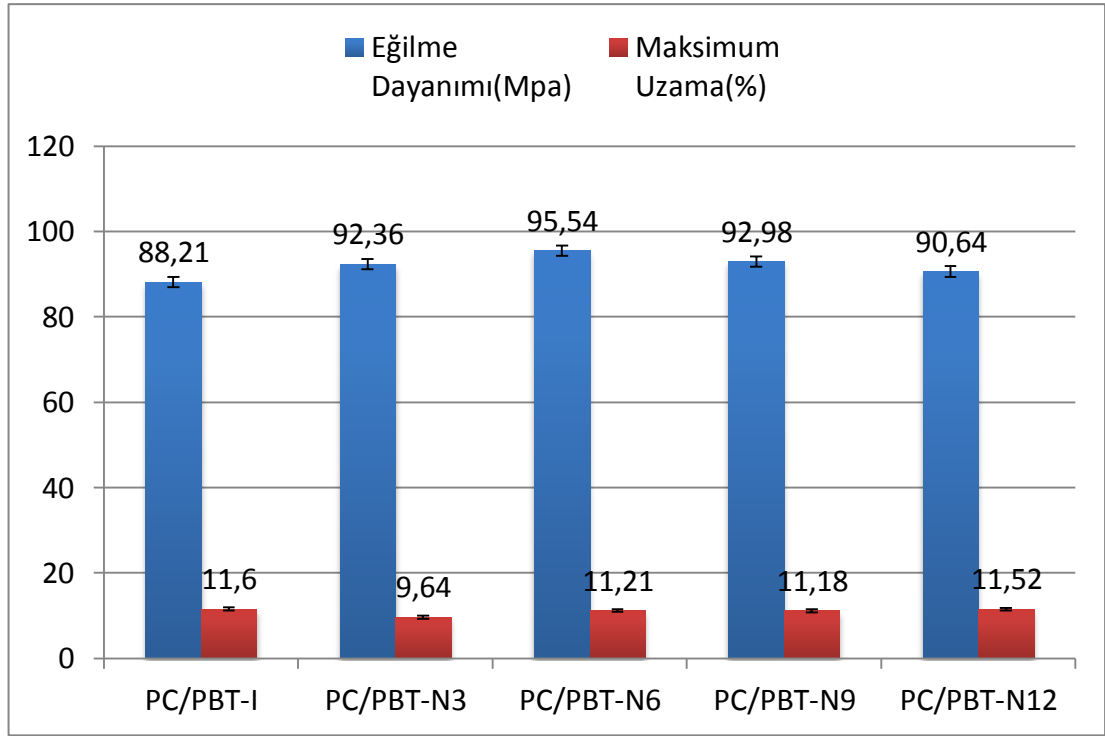
Tablo 4.3’de; PC/PBT-I, PC/PBT-N3, PC/PBT-N6, PC/PBT-N9, PC/PBT-N12 numunelerine ait ortalama eğilme dayanımı ve ortalama maksimum uzama değerleri verilmiştir.

Tablo 4.3: Doğal yaşlandırma eğilme testi sonuç değerleri.

Numune	Eğilme Dayanımı(Mpa)	Maksimum Uzama(%)
PC/PBT-I	88,21	11,6
PC/PBT-N3	92,36	9,64
PC/PBT-N6	95,54	11,21
PC/PBT-N9	92,98	11,18
PC/PBT-N12	90,64	11,52

Doğal yaşlandırmaya maruz kalan numunelere ait eğilme dayanımı ve maksimum uzama değerlerinin değişim grafiği Şekil 4.3’de verilmiştir. 3 ay, 6 ay, 9 ay ve 12 ay doğal yaşlandırılan numunelerin eğilme dayanımlarında saf numunelere göre sırasıyla % 4,7, % 8,3, % 5,4 ve % 2, 7 artışlar görülmüştür.

Doğal yaşlandırma sonucu hem eğilme dayanımlarında hem de eğilmedeki maksimum uzama değerlerinde çok büyük artış veya azalışlar görülmemiştir.



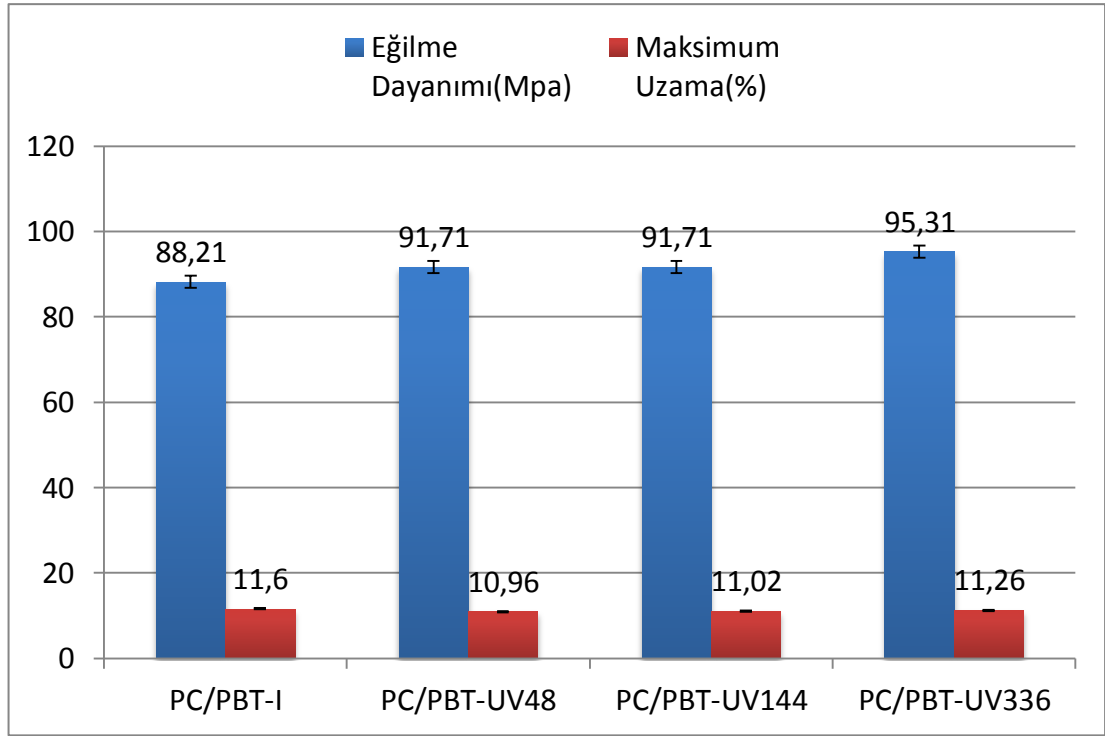
Şekil 4.3: Doğal yaşlandırılmış numunelerin eğilme dayanımı ve maksimum uzama değişim grafiği.

Tablo 4.4’de; PC/PBT-I, PC/PBT-UV48, PC/PBT-UV144, PC/PBT-UV336 numunelerine ait ortalama eğilme dayanımı ve ortalama maksimum uzama değerleri verilmiştir.

Tablo 4.4: Hızlandırılmış yaşlandırma eğilme testi sonuç değerleri.

Numune	Eğilme Dayanımı(Mpa)	Maksimum Uzama(%)
PC/PBT-I	88,21	11,6
PC/PBT-UV48	91,71	10,96
PC/PBT-UV144	91,71	11,02
PC/PBT-UV336	95,31	11,26

Hızlandırılmış yaşlandırmaya maruz kalan numunelere ait eğilme dayanımı ve maksimum uzama değerlerinin değişim grafiği de Şekil 4.4’de verilmiştir.



Şekil 4.4: Hızlandırılmış yaşlandırılmış numunelerin eğilme dayanımı ve maksimum uzama değişim grafiği.

Şekil 4.4’de bu değişimler incelendiğinde; 48 saat, 144 saat ve 336 saat hızlandırılmış yaşlandırılan numunelerin eğilme dayanımlarında saf numunelere göre sırasıyla %4, %4 ve %8 artış olduğu görülmüştür. Eğilmedeki maksimum uzama değerlerinde ise neredeyse hiç değişim olmadığı görülmüştür.

4.3. Darbe Testi Sonuçları

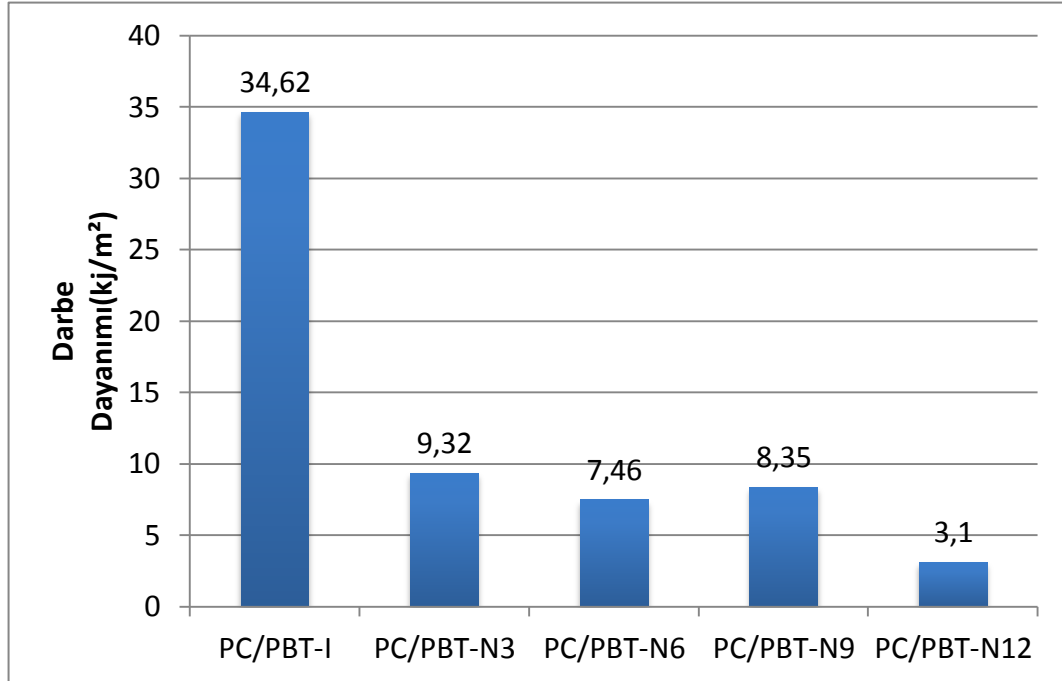
PC/PBT karışımı izod darbe testi çentikli çubuklar ile 2,75 joule’luk çekiç kullanılarak ISO 180 standartlarına göre yapılmıştır.

Tablo 4.5’de; PC/PBT-I, PC/PBT-N3, PC/PBT-N6, PC/PBT-N9, PC/PBT-N12 numunelerine ait ortalama darbe dayanımı değerleri verilmiştir.

Doğal yaşlandırılmış numunelere ait darbe dayanımı değerlerinin değişim grafiği Şekil 4.5’de verilmiştir.

Tablo 4.5: Doğal yaşlandırma darbe testi sonuç değerleri.

Numune	Darbe Dayanımı(kj/m ²)
PC/PBT-I	34,62
PC/PBT-N3	9,32
PC/PBT-N6	7,46
PC/PBT-N9	8,35
PC/PBT-N12	3,1



Şekil 4.5: Doğal yaşlandırılmış numunelerin darbe dayanımı değişim grafiği.

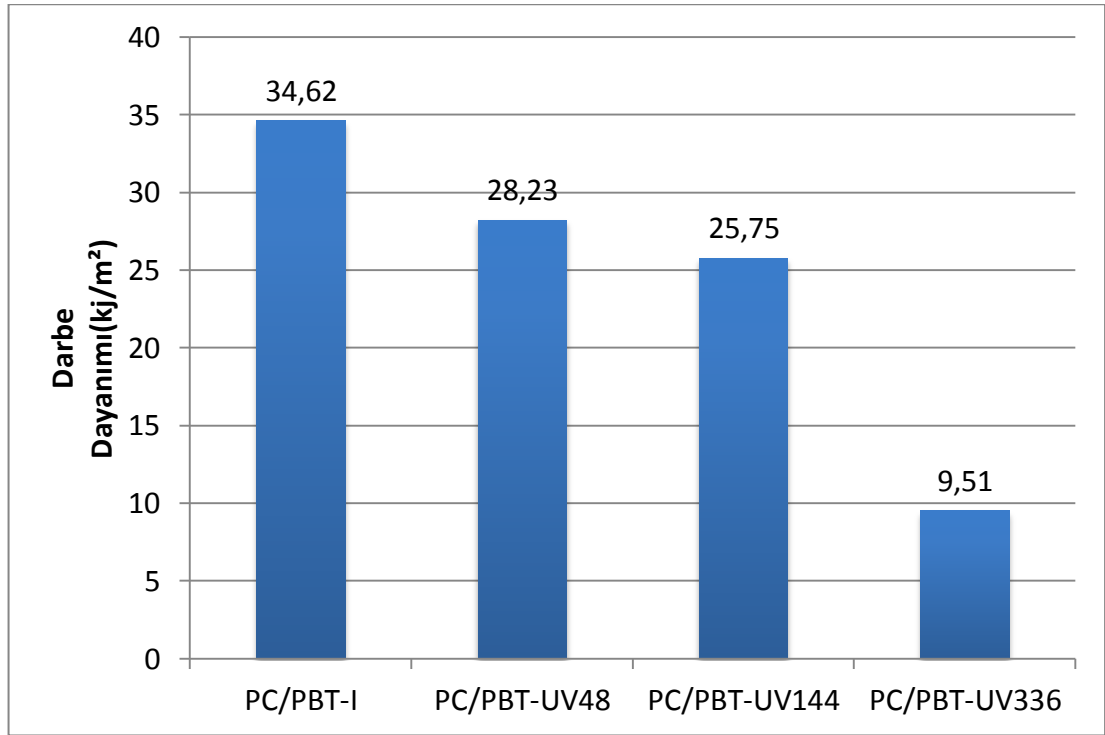
Darbe dayanım değerlerinin 3 ay doğal yaşlandırılmış numunelerde, saf numunelere göre %73 düştüğü görülmüştür. 6 ay ve 9 ay doğal yaşlandırılan numunelerde 3 ay doğal yaşlandırılan numunelere göre çok fazla iniş çıkışlar görülmeyip, 12 ay doğal yaşlandırılan numunelerde saf numunelere göre % 91 düşüş görülmüştür.

Tablo 4.6’de; PC/PBT-I, PC/PBT-UV48, PC/PBT-UV144, PC/PBT-UV336 numunelerine ait ortalama darbe dayanımı değerleri verilmiştir.

Tablo 4.6: Hızlandırılmış yaşlandırma darbe testi sonuç değerleri.

Numune	Darbe Dayanımı(kj/m ²)
PC/PBT-I	34,62
PC/PBT-UV48	28,23
PC/PBT-UV144	25,75
PC/PBT-UV336	9,51

Hızlandırılmış yaşlandırmaya maruz kalan numunelere ait darbe dayanımı değerlerinin değişim grafiği de Şekil 4.6’de verilmiştir. Darbe dayanım değerlerinin; 48 saat, 144 saat ve 336 saat hızlandırılmış numunelerde saf numunelere göre sırasıyla; %18,5, %25,6 ve %72,5 oranlarında düştüğü görülmüştür.



Şekil 4.6: Hızlandırılmış yaşlandırılmış numunelerin darbe dayanımı değişim grafiği.

Bu sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda; darbe dayanım değerlerinin artan doğal ve hızlandırılmış yaşlandırma süreleriyle birlikte ciddi oranda düşüş gösterdiği görülmüştür. Ayrıca artan yaşlandırma süresi ile darbe dayanımlarındaki bu düşüş; bozunan yüzeylerin, malzeme yapısında gerginlik artırıcı rol oynadığının da bir

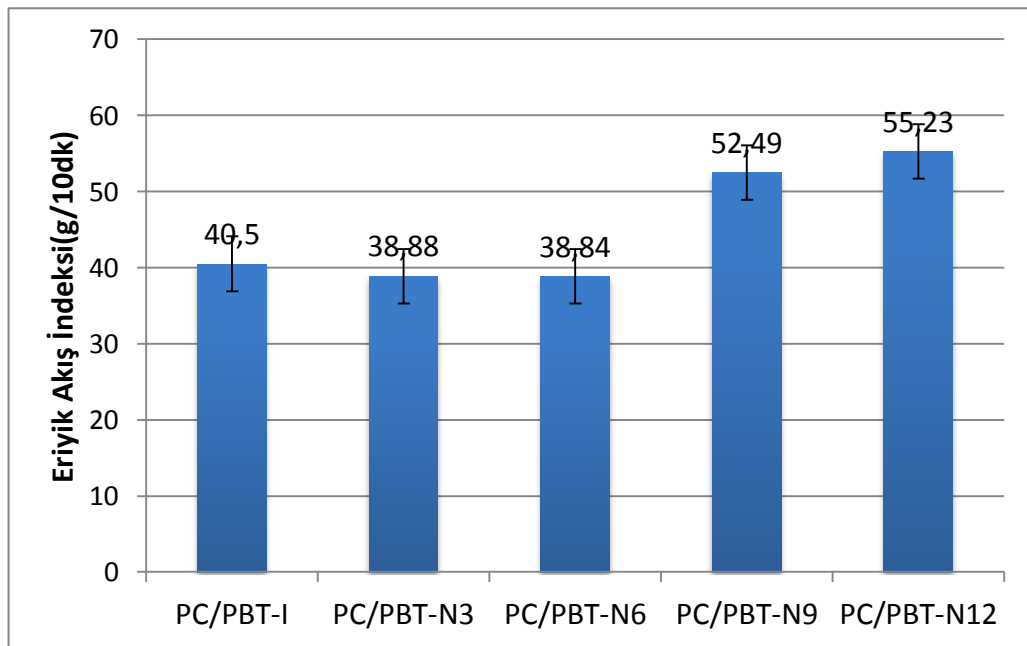
göstergesidir. Literatürde ise; artan doğal ve hızlandırılmış yaşlandırma süresi ile birlikte darbe dayanım değerlerinin düştüğü bulunmuştur [Sanchez, 2007].

4.4. Eriyik Akış Testi Sonuçları

PC/PBT karışımının eriyik akış testi 300°C sıcaklıkta 1,2 kg ağırlık ile ISO 1133 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Tablo 4.7’de; PC/PBT-I, PC/PBT-N3, PC/PBT-N6, PC/PBT-N9, PC/PBT-N12 numunelerine ait ortalama eriyik akış indeksi değerleri verilmiştir.

Tablo 4.7: Doğal yaşlandırma eriyik akış indeksi sonuç değerleri.

Numune	Eriyik Akış İndeksi(g/10dk)
PC/PBT-I	40,5
PC/PBT-N3	38,88
PC/PBT-N6	38,84
PC/PBT-N9	52,49
PC/PBT-N12	55,23



Şekil 4.7: Doğal yaşlandırılmış numunelerin eriyik akış indeksi değişim grafiği.

Doğal yaşlandırılan numunelere ait eriyik akış indeksleri değerlerinin değişim grafiği de Şekil 4.7’de verilmiştir. 3 ay ve 6 ay doğal yaşlandırılmış numunelerde saf numunelere göre çok fazla bir değişim görülmemiştir. Ancak 9 ay doğal yaşlandırılmış numunelerde, eriyik akış indeksinde yaklaşık olarak %25 bir artış görülmüş ve bu artış doğal yaşlandırma süresinin artması ile birlikte artmaya devam etmiştir.

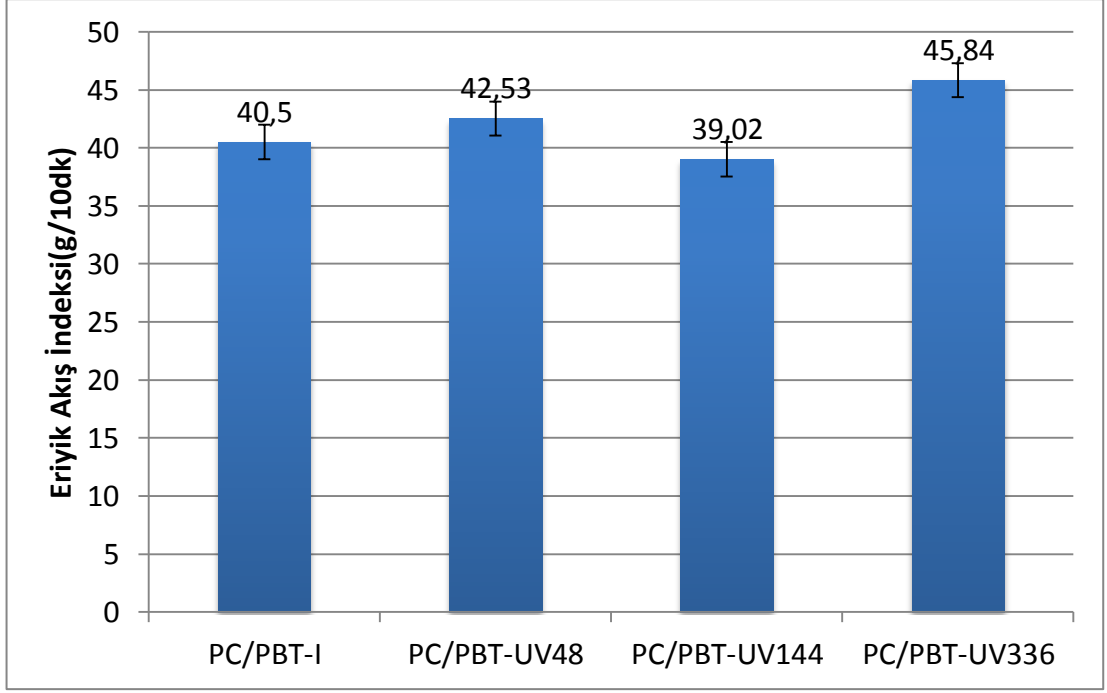
Tablo 4.8’de; PC/PBT-I, PC/PBT-UV48, PC/PBT-UV144, PC/PBT-UV336 numunelerine ait ortalama eriyik akış indeksi değerleri verilmiştir.

Tablo 4.8: Hızlandırılmış yaşlandırma eriyik akış indeksi sonuç değerleri.

Numune	Eriyik Akış İndeksi(g/10dk)
PC/PBT-I	40,5
PC/PBT-UV48	42,53
PC/PBT-UV144	39,02
PC/PBT-UV336	45,84

Eriyik akış indeks değerlerinin değişim grafiği de Şekil 4.8’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde; 48 saat ve 144 saat hızlandırılmış yaşlandırmaya maruz kalan numunelerin eriyik akış değerlerinde çok fazla değişimler görülmemiştir. Ancak 336 saat hızlandırılmış yaşlandırmaya maruz kalan numunelerin eriyik akış değerlerinde %11 artış göstermiştir.

Literatürde ise; artan doğal ve hızlandırılmış yaşlandırma süresi ile birlikte eriyik akış değerinde artış olduğu, bu artışın geri dönüşümü yapılan numunelerde de devam ettiği görülmüştür [Sanchez, 2007].



Şekil 4.8: Hızlandırılmış yaşlandırılmış numunelerin eriyik akış indeks değişim grafiği.

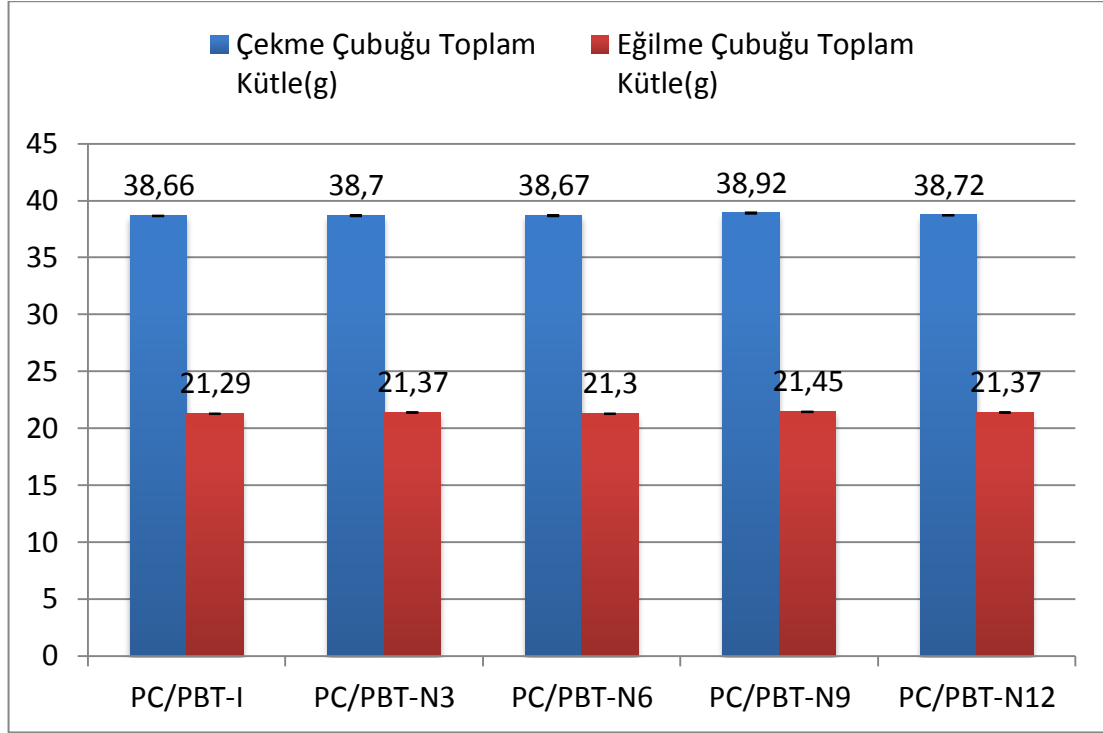
4.5. Ağırlık Testi Sonuçları

PC/PBT numunelerin doğal yaşlandırma sonrası kütle değişimlerinin tespit edilebilmesi için her periyottan sonra ağırlık ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler 3 adet çekme çubuğu, 5 adet eğilme test çubuğu kullanılarak yapılmıştır. Değerlendirme yapılırken numunelerin toplam ağırlıkları dikkate alınmıştır.

Tablo 4.9: Doğal yaşlandırma kütle ölçüm değerleri.

Numune	Çekme Çubuğu Toplam Kütle(g)	Eğilme Çubuğu Toplam Kütle(g)
PC/PBT-I	38,66	21,29
PC/PBT-N3	38,7	21,37
PC/PBT-N6	38,67	21,3
PC/PBT-N9	38,92	21,45
PC/PBT-N12	38,72	21,37

Tablo 4.9’da; PC/PBT-I, PC/PBT-N3, PC/PBT-N6, PC/PBT-N9, PC/PBT-N12 numunelerine ait kütle ölçüm değerleri verilmiştir. Kütle değerlerinin değişim grafiği de Şekil 4.9’da verilmiştir. Grafik incelendiğinde doğal yaşlandırma sonucu numunelerin kütlelerinde neredeyse hiç değişim olmadığı görülmüştür.



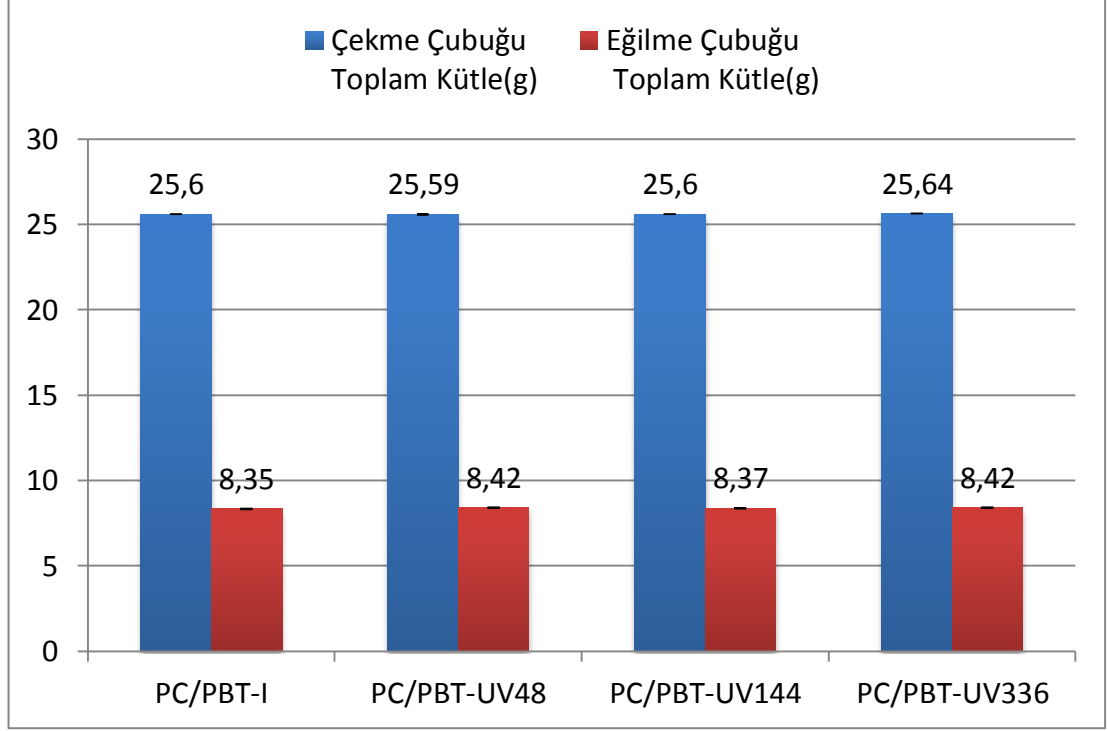
Şekil 4.9: Doğal yaşlandırılmış numunelerin kütle değişim grafiği.

Tablo 4.10’da PC/PBT-I, PC/PBT-UV48, PC/PBT-UV144, PC/PBT-UV336 numunelerine ait kütle ölçüm değerleri verilmiştir.

Tablo 4.10: Hızlandırılmış yaşlandırma kütle ölçüm değerleri.

Numune	Çekme Çubuğu Toplam Kütle(g)	Eğilme Çubuğu Toplam Kütle(g)
PC/PBT-I	25,6	8,35
PC/PBT-UV48	25,59	8,42
PC/PBT-UV144	25,6	8,37
PC/PBT-UV336	25,64	8,42

Ölçümler 2 adet çekme çubuğu, 2 adet eğilme test çubuğu kullanılarak yapılmıştır. Değerlendirme yapılırken numunelerin toplam ağırlıkları dikkate alınmıştır. Kütle değerlerinin değişim grafiği de Şekil 4.10'da verilmiştir.

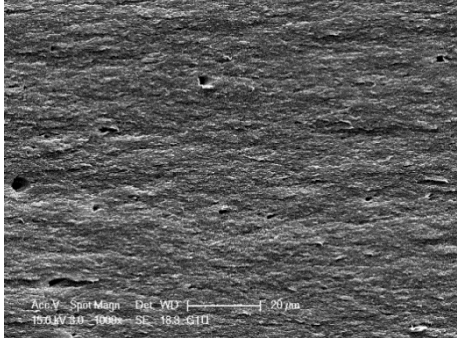
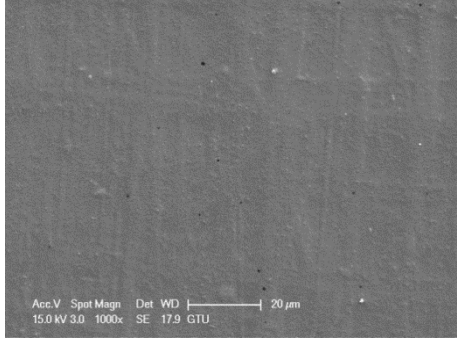
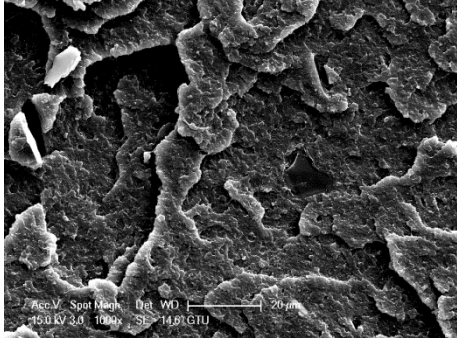
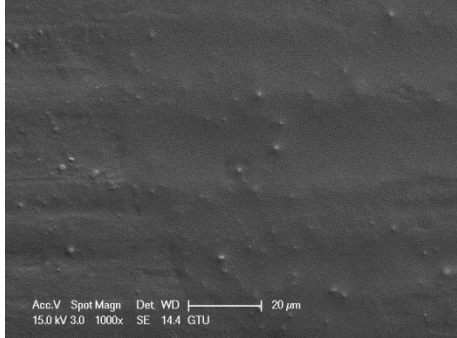
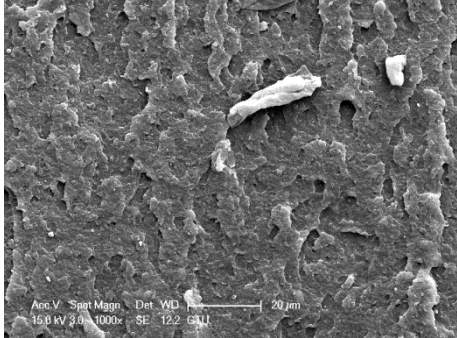
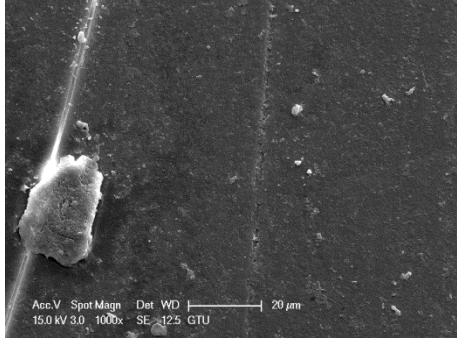
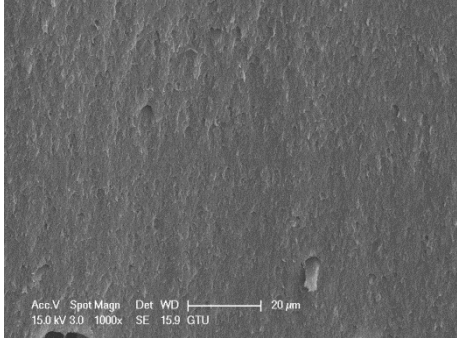
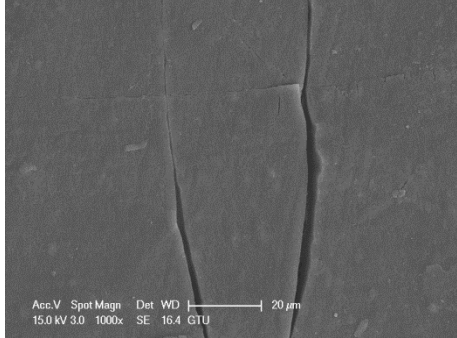
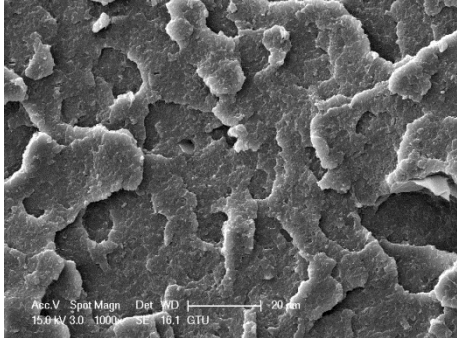
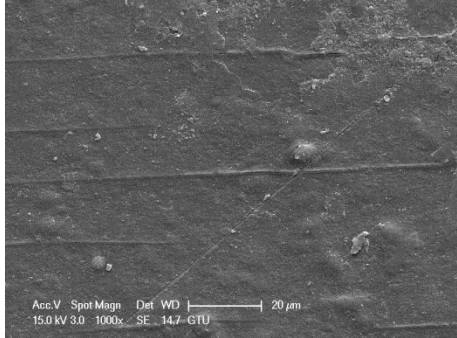


Şekil 4.10: Hızlandırılmış yaşlandırılmış numunelerin kütle değişim grafiği.

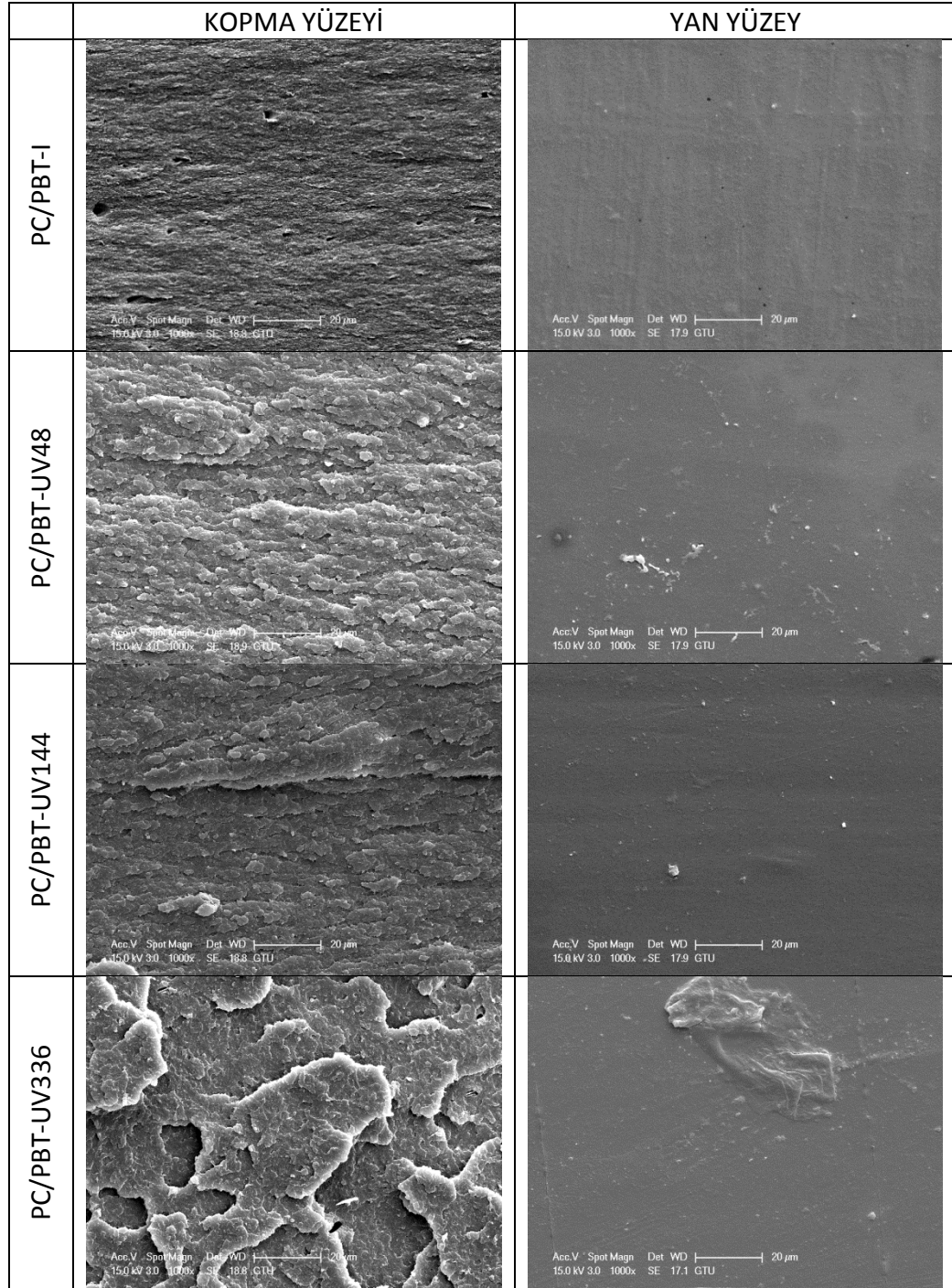
Şekil 4.10'da grafik incelendiğinde hızlandırılmış yaşlandırma sonucu numunelerin kütlelerinde neredeyse hiç değişim olmadığı görülmüştür.

4.6. Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) Analiz Sonuçları

SEM analizi için kullanılan numuneler çekme testinde kopan numunelerden alınarak yapılmıştır. Kopan numunelerin kopma yüzeyine yakın yerlerinden 1 adet kopma yüzeyi ve 1 adet bu yüzeye dik yan yüzeyden kesilerek alınmıştır. Bu bölgelerde görüntülemeler 1000x büyütme ile yapılmıştır. Şekil 4.11'de doğal yaşlandırmaya maruz kalan numunelere, Şekil 4.12'de ise hızlandırılmış yaşlandırmaya maruz kalan numunelere ait SEM görüntüleri verilmiştir.

	KOPMA YÜZEYİ	YAN YÜZEY
PC/PBT-I		
PC/PBT-N3		
PC/PBT-N6		
PC/PBT-N9		
PC/PBT-N12		

Şekil 4.11: Doğal yaşlandırılan numunelere ait SEM görüntüleri.



Şekil 4.12: Hızlandırılmış yaşlandırılan numunelere ait SEM görüntüleri.

Şekil 4.12 ve Şekil 4.13’de özellikle kopma yüzeyleri incelendiğinde; 12 ay doğal yaşlandırma ve 336 saat hızlandırılmış yaşlandırma sonucu yapıda ayrılmalar ve topaklanmalar görülmektedir. Yapıdaki bu durum, çekmedeki uzama miktarının düşmesine ve özellikle de yapıdaki topaklanma, eriyik akış miktarında artışa sebep olmuştur.

4.7. Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) Analiz Sonuçları

FTIR analizi; doğal ve hızlandırılmış yaşlandırma sonucu PC/PBT karışımının molekül zincir yapısında bir değişiklik olup olmadığının tespiti için yapılmıştır.

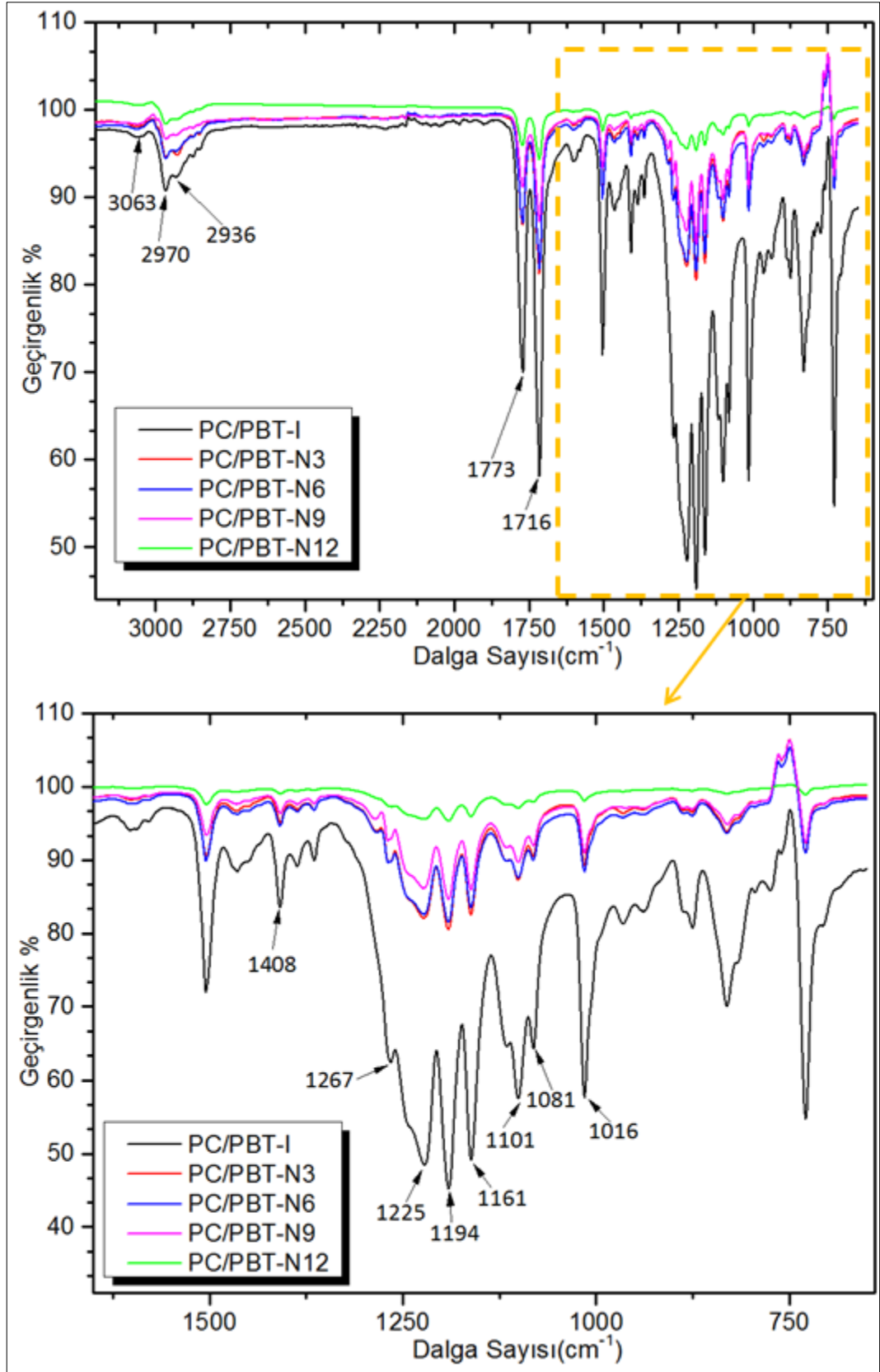
Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’de sırasıyla doğal yaşlandırmaya ve hızlandırılmış yaşlandırmaya maruz kalan numunelere ait FTIR spektrum grafiği verilmiştir.

Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’de PC/PBT-I’ya ait FTIR spektrumu incelendiğinde; 3063 cm^{-1} ’de aromatik halkadaki C-H piki, 2970 cm^{-1} ’de PC’den gelen asimetrik C-H ve 2936 cm^{-1} ’de PBT’den gelen asimetrik C-H piki; 1773 cm^{-1} ’de PC’den gelen C=O piki ve 1716 cm^{-1} ’de PBT’den gelen C=O piki; 1408 cm^{-1} ’de PBT’den gelen asimetrik C(O)-O piki; 1101 cm^{-1} ’de ve 1267 cm^{-1} ’de PC ve PBT’nin farklı lokasyonlarından gelen C-O piki; 1225 cm^{-1} ’de ve 1161 cm^{-1} ’de PC’den gelen asimetrik O-C(O)-O piki; 1194 cm^{-1} ’de PC’den gelen $\text{CH}_3\text{-C-CH}_3$ iskelet titreşim piki; 1081 cm^{-1} ’de PC’den gelen asimetrik O-C-O piki ve 1016 cm^{-1} ’de PC’den gelen simetrik O-C-O piki görülmüştür. Literatürde de PC/PBT için benzer sonuçlar yer almaktadır [Hopfe et.al., 1997].

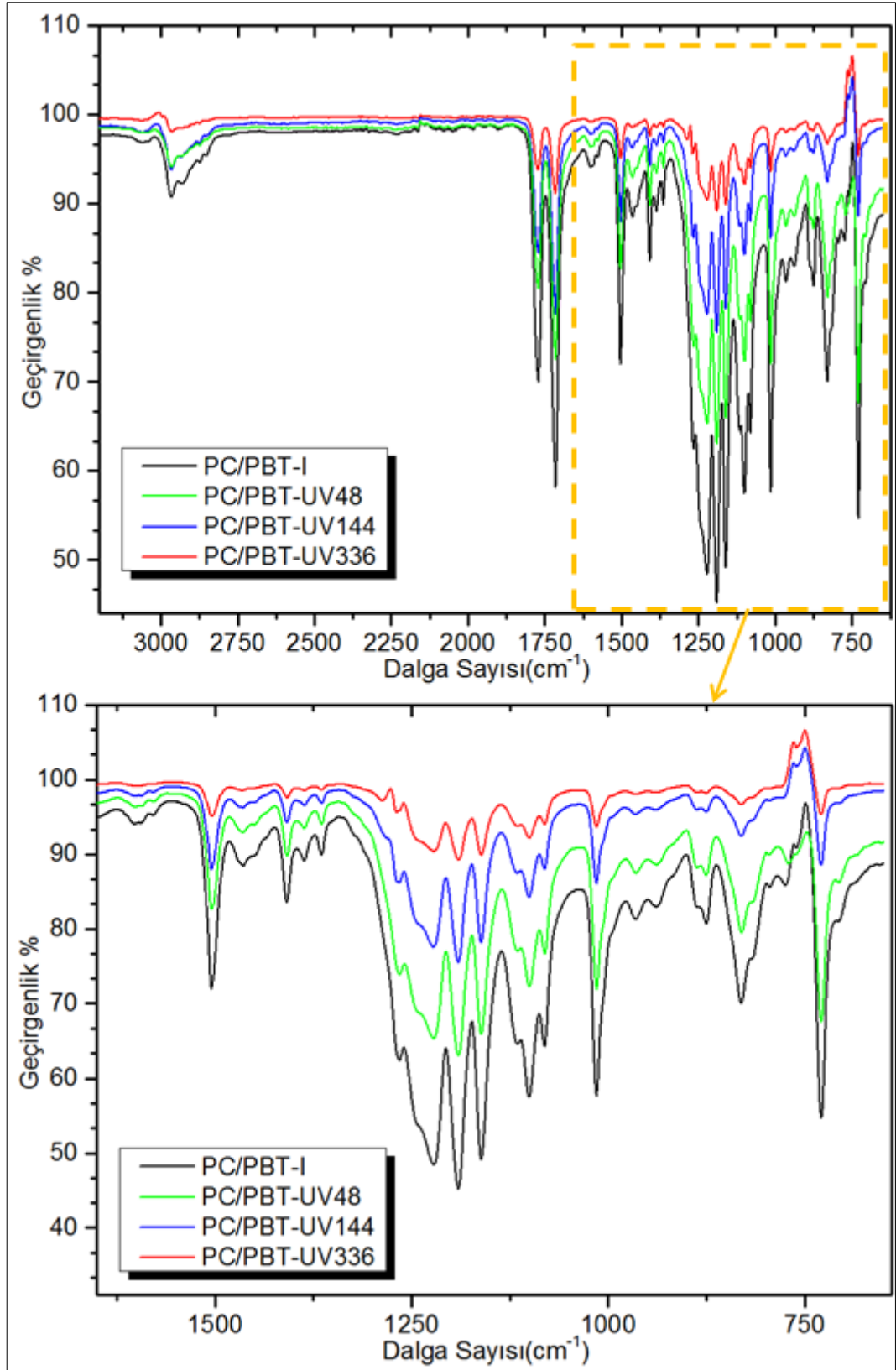
Şekil 4.13’de geçirgenlik ve karakteristik piklerdeki değişimler incelendiğinde; doğal yaşlandırma ile PC/PBT polimerinin karakteristik piklerinin azaldığı belirlenmiştir. Özellikle 12. ayda piklerde ciddi derecede azalmalar görülmüştür. Doğal yaşlandırılmış numunelerde piklerin şiddetinin artan doğal yaşlandırma süresi ile azalması PC/PBT molekül zincirinin hızlı oksidasyon reaksiyonuna maruz kaldığını göstermiştir.

Şekil 4.14’de geçirgenlik ve karakteristik piklerdeki değişimler incelendiğinde; hızlandırılmış yaşlandırma ile PC/PBT polimerinin bazı karakteristik piklerinin azaldığı görülmüştür. Özellikle UV ışınlarının aromatik yapıdaki bağları kolayca bozundurabilmesinden dolayı 3063 cm^{-1} ve 2936 cm^{-1} ’deki C-H pikleri; artan hızlandırılmış yaşlandırma süresi ile zayıflamış ve 336 saatin sonunda kaybolma eğilimi göstermiştir. Bu sonuçlar; artan hızlandırılmış yaşlandırma süresinin PC/PBT molekül zincirinde bozunmalara neden olduğunu göstermiştir.

Literatürde ise; sıcaklık ve UV ile desteklenen oksijenin; polimerin yapısına bağlı olarak, karbon grupları ile bağ oluşturabileceği veya çapraz bağlar kurabileceği ifade edilmiştir [Campo, 2006].



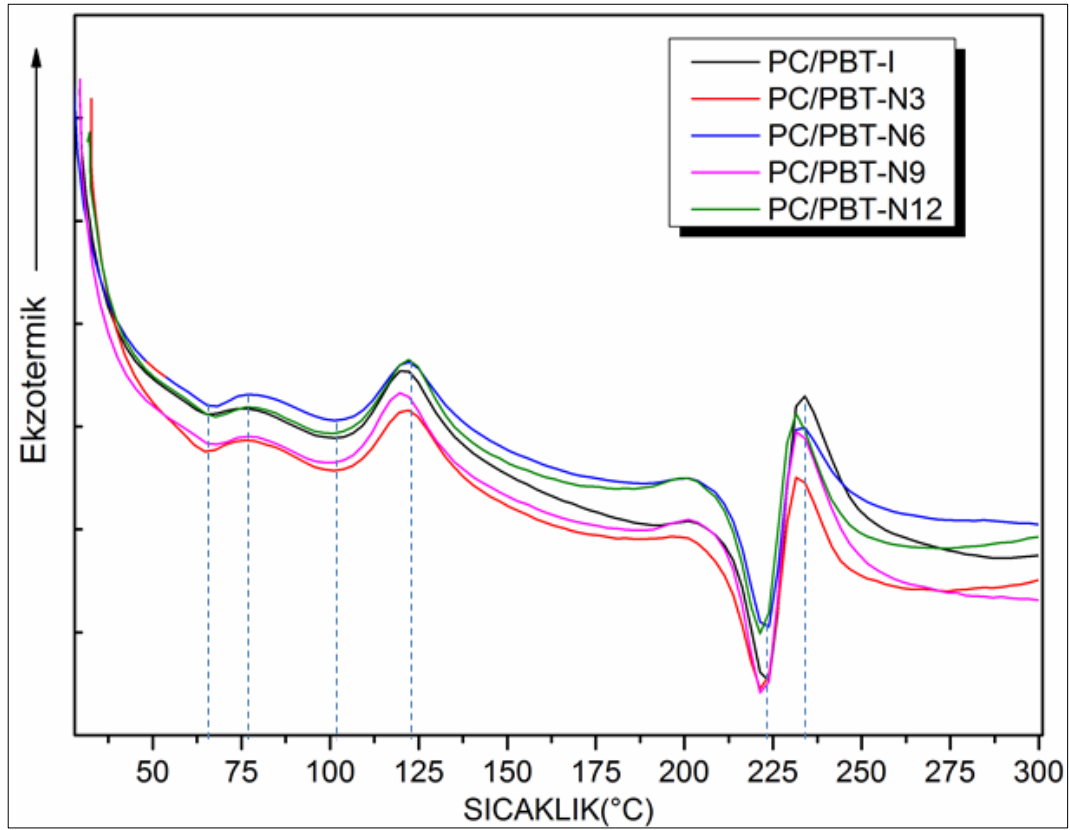
Şekil 4.13: Doğal yaşlandırılan numunelere ait FTIR spektrumları.



Şekil 4.14: Hızlandırılmış yaşlandırılan numunelere ait FTIR spektrumları.

4.8. Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC) Analizi Sonuçları

DSC analizi oda sıcaklığından 300°C'ye 10°C/dk hızında yapılmıştır. Şekil 4.15'de doğal yaşlandırmaya maruz kalan PC/PBT karışımının diferansiyel taramalı kalorimetri eğrileri verilmiştir.



Şekil 4.15: Doğal yaşlandırılan numunelere ait DSC eğrileri.

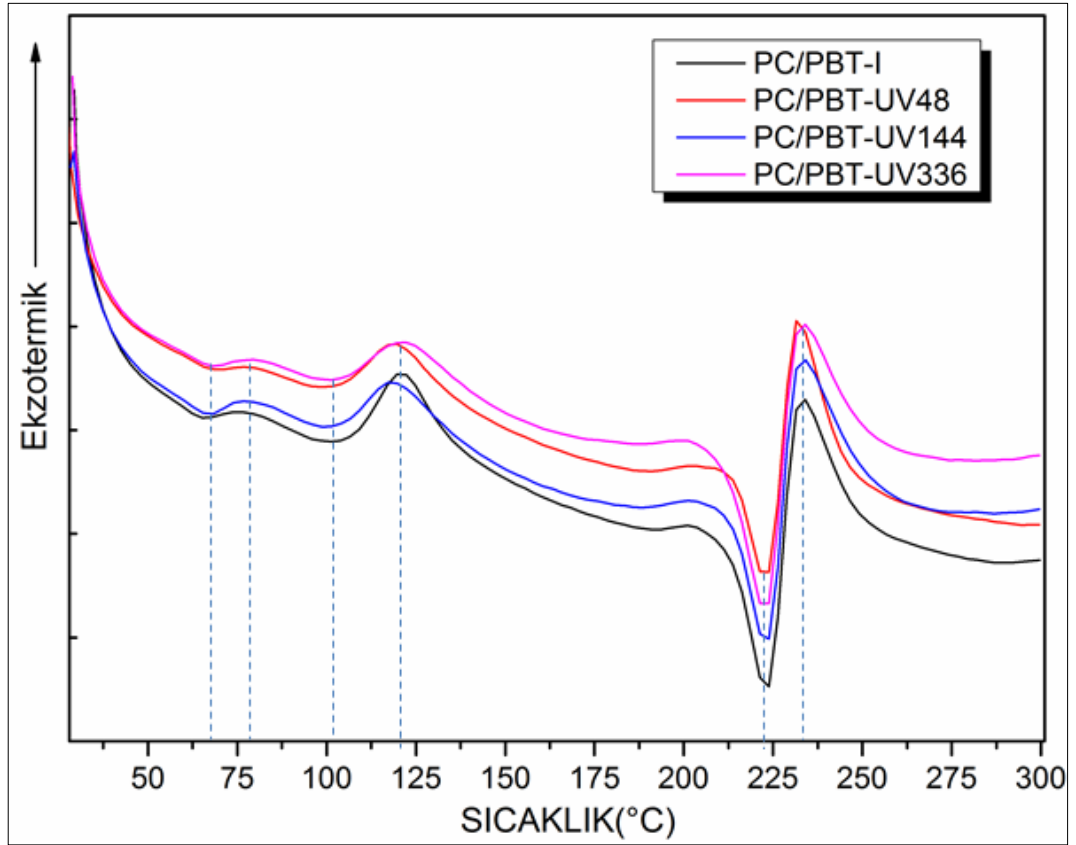
Şekil 4.16 hızlandırılmış yaşlandırmaya maruz kalan PC/PBT karışımının diferansiyel taramalı kalorimetri eğrileri verilmiştir.

Şekil 4.15 ve Şekil 4.16 incelendiğinde; 76°C'de PBT'nin amorf fazından gelen camsı geçiş sıcaklığı, 121°C'de amorf yapıya sahip olan PC'ye ait camsı geçiş sıcaklığı görülmektedir. 223°C'de ise karışımda kristalin yapıya sahip olan PBT'ye ait erime sıcaklığı görülmektedir. PC amorf yapıda olduğu için erime sıcaklığı bulunmamaktadır.

Literatürde PC/PBT karışım için yapılan bir çalışmada PC ve PBT için iki ayrı camsı geçiş sıcaklığı ve PBT için tek bir tane erime sıcaklığı bulunmuştur. Ayrıca bu

çalışmada malzemelerin karışım oranlarının; karışımın kristalinite oranını etkilediğinden dolayı camsı geçiş sıcaklıklarının, saf malzemedekine göre farklılık gösterdiği de tespit edilmiş ve belirtilmiştir [Hopfe et.al., 1997]. Yine bir başka çalışma da PC ve stiren akrilonitril (SAN) karışımı incelenmiş ve PC'nin camsı geçiş sıcaklığının normalde 150°C olması gerekirken, 137°C'ye düştüğü görülmüş ve bazı polimer karışımlarında birden fazla camsı geçiş sıcaklığı görülebileceği ifade edilmiştir [Bair et al., 1981].

Ayrıca doğal ve hızlandırılmış yaşlandırılmış numunelerin DSC eğrilerine bakıldığında; yaşlandırma sonucu malzemenin T_g ve T_m sıcaklıklarının pek fazla değişmeyip yakın değerde olduğu görülmüştür.

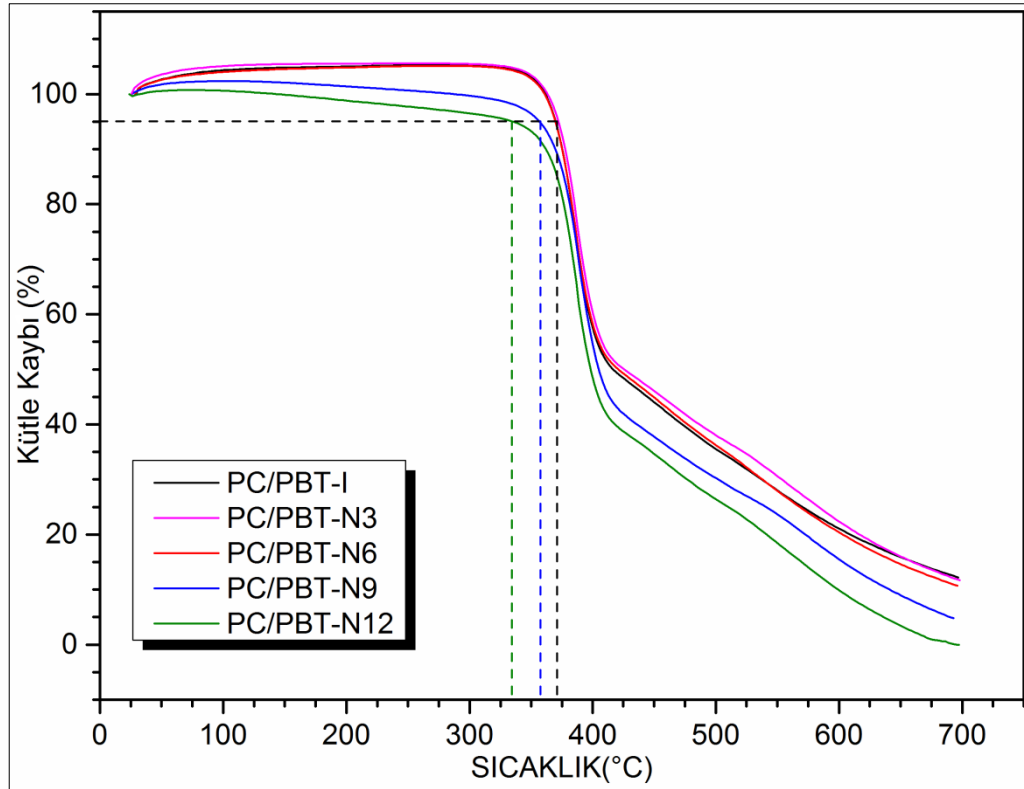


Şekil 4.16: Hızlandırılmış yaşlandırılan numunelere ait DSC eğrileri.

4.9. Termal Gravimetrik Analiz (TGA) Sonuçları

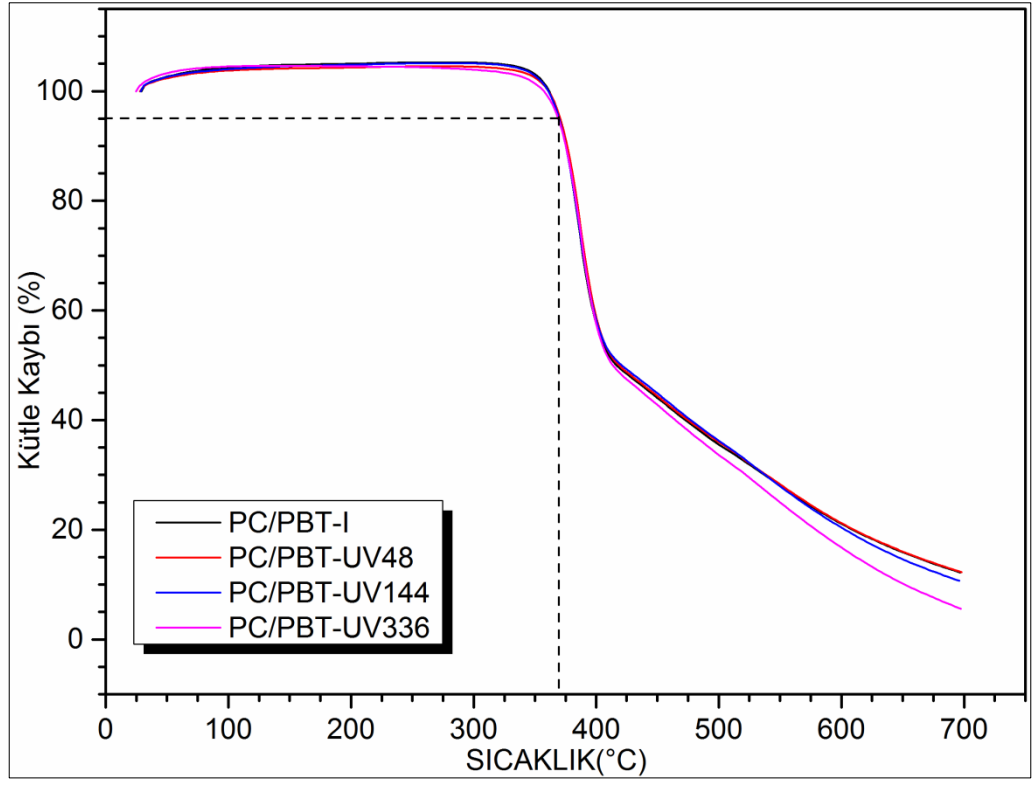
PC/PBT karışım malzemesi oda sıcaklığından 700°C'ye kadar 10°C/dk hızında TGA analizine tabi tutulmuştur. Şekil 4.17'de doğal yaşlandırılan, Şekil 4.18'de hızlandırılmış yaşlandırmaya tabi tutulan numunelere ait TGA eğrileri verilmiştir.

Şekil 4.17 incelendiğinde; numune kütlesinin %5'inin bozunmaya başladığı yıpranma sıcaklığı (T_d) PC/PBT-I için 370°C, yanma sonucu kalan kütle oranı ise %12'dir. T_d değeri 3. ve 6. aylarda bir değişime uğramamış olup, 9. ve 12. aylarda azalma göstermiştir. Aynı şekilde yanma sonucu kalan kütle oranlarında da düşüş olmuştur. 12 ay doğal yaşlandırma sonucu malzemenin T_d değeri 334°C'ye, kalan kütle oranı ise %0,5'e düşmüştür. Özellikle yıpranma sıcaklığındaki değişimler ve yanma sonucu kalan kütle oranının düşmesi; doğal yaşlandırma sonucu malzemenin molekül yapısında bozunma meydana geldiğini göstermektedir.



Şekil 4.17: Doğal yaşlandırılan numunelere ait TGA eğrileri.

Şekil 4.18 incelendiğinde; hızlandırılmış yaşlandırma sonucu; başlangıçta 370°C olan yıpranma sıcaklığının artan hızlandırılmış yaşlandırma süresi ile değişmediği görülmüştür. Başlangıçta %12 olan yanma sonucu kalan kütle miktarı ise; 48 saat sonra değişmemiş ancak 144 saat sonra %10,5'e, 336 saat sonra ise %5,7'ye düşmüştür. Sonuçlar değerlendirildiğinde; hızlandırılmış yaşlandırmaya maruz kalan numunelerde, doğal yaşlandırmaya maruz kalan numuneler kadar bozunma olmadığı görülmüştür.



Şekil 4.18: Hızlandırılmış yaşlandırılan numunelere ait TGA eğrileri.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında; PC/PBT karışım malzemenin mekanik ve kimyasal özelliklerine doğal ve hızlandırılmış yaşlandırmalarının etkisi incelenmiştir. Yaşlandırılan PC/PBT numunelere; çekme testi(maksimum uzama(%), çekme dayanımı), eğilme testi, izod darbe testi ve eriyik akış testi uygulanmıştır. Ayrıca hassas terazi ile kütle ölçümü de yapılmıştır. Kimyasal testler olarak SEM analizi, kızılötesi spektroskopisi (FTIR), termal gravimetrik analiz (TGA) ve diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar maddeler halinde sıralanmıştır.

Doğal yaşlandırılan PC/PBT numuneler için;

- Çekme dayanımı değerlerinde ciddi bir değişim olmamıştır ancak çekmedeki maksimum uzama değerinde 12 ayın sonunda %92 gibi oranla ciddi bir düşüş olmuştur. Doğal yaşlandırma sonucu en fazla etkilenen değer, çekmedeki maksimum uzama miktarı olmuştur.
- Eğilme dayanımı değerlerinde çok ciddi artışlar veya düşüşler olmamıştır. Eğilmedeki maksimum uzama değerlerinde ise fazla bir değişim olmamıştır.
- Darbe dayanımı değerlerinde 3 ayın sonunda %73, 12 ayın sonunda ise %91 düşüş olmuştur.
- Eriyik akış indeks değerlerinde 3 ve 6 ay sonra ciddi bir değişim görülmemiştir. Ancak 9 ay sonra %25, 12 ay sonra %36'lık bir artış görülmüştür.
- Doğal yaşlandırma sonucu numunelerin ağırlıklarında bir değişim olmamıştır.
- SEM görüntülerine bakıldığında 12 ay sonra malzeme yapısında net şekilde ayrılmalara ve topaklanmalar görülmektedir. Bu görüntüler, çekmedeki maksimum uzama değerlerindeki düşüşü ve eriyik akış indeksindeki artışı desteklemektedir.
- FTIR spektrumları, PC/PBT polimerinin yapısındaki karakteristik piklerinin azaldığını göstermiştir. Özellikle 12. ayda piklerde ciddi derecede azalmalar olmuştur ve PC/PBT molekül zincirlerinin hızlı oksidasyon reaksiyonuna maruz kaldığı belirlenmiştir.
- DSC analizi, PC/PBT malzemenin T_m ve T_g değerlerinin doğal yaşlandırmadan etkilenmediğini ve çok yakın değerlere sahip olduğu görülmüştür.

- TGA grafikleri incelendiğinde, yaşlandırma sonucu malzemede bozunma olduğu görülmüştür. 12 ay doğal yaşlandırma sonucunda PC/PBT malzemenin T_d değerinin 370°C 'den 334°C 'ye düştüğü, yanma sonrası kalan kütle oranının ise %12'den %0,5'e düştüğü görülmüştür. TGA sonuçları ile FTIR sonuçları birbirini desteklemektedir.

Hızlandırılmış yaşlandırılan PC/PBT numuneler için;

- Çekme dayanımı değerlerinde ciddi bir değişim olmamıştır ancak çekmedeki maksimum uzama değerinde 336 saat sonra %88'lik bir düşüş olmuştur. Hızlandırılmış yaşlandırma sonucu en fazla etkilenen değer, çekmedeki maksimum uzama miktarı olmuştur.
- Eğilme dayanımı değerinde 336 saat hızlandırılmış yaşlandırma sonucu %8'lik artış olmuştur. Eğilmedeki maksimum uzama değerlerinde ise neredeyse hiç değişim olmamıştır.
- Darbe dayanımı değerlerinde 336 saatin sonunda %72,5'lik bir düşüş olmuştur.
- Eriyik akış indeks değerlerinde, 48 saat ve 144 saat sonra çok fazla değişimler görülmemiştir. Ancak 336 saat sonra numunelerin eriyik akış değerlerinde %11 artış olmuştur.
- Hızlandırılmış yaşlandırma sonucu numunelerin ağırlıklarında bir değişim olmamıştır.
- SEM görüntülerine bakıldığında 336 sonra malzeme yapısında net şekilde ayrılmalara ve topaklanmalara görülmektedir. Bu görüntüler, çekmedeki maksimum uzama değerlerindeki düşüşü ve eriyik akış indeksindeki artışı desteklemektedir.
- FTIR spektrumları, malzemedeki PC/PBT polimerinin karakteristik piklerinin azaldığını göstermiştir. Özellikle 3063 cm^{-1} ve 2936 cm^{-1} 'deki C-H pikleri; artan hızlandırılmış yaşlandırma süresi ile zayıflamış ve 336 saatin sonunda kaybolma eğilimi göstermiştir. Bu sonuçlar; artan hızlandırılmış yaşlandırma süresinin PC/PBT molekül zincirinde bozunmalara neden olduğunu göstermiştir.
- DSC analizi, PC/PBT malzemenin T_m ve T_g değerlerinin hızlandırılmış yaşlandırmadan etkilenmediğini ve çok yakın değerlere sahip olduğu görülmüştür.

- TGA grafikleri incelendiğinde, hızlandırılmış yaşlandırma sonucu T_d değerlerinde bir değişiklik olmamış ancak 336 saat sonra yanma sonrası kalan kütle oranı %12'den %5,7'ye düşmüştür.

Bir sonraki çalışmalarda, farklı oranlardaki PC ve PBT karışımlarının yaşlandırılması yapılabilir. Ayrıca farklı oranlarda cam elyaf katkısı yapılarak da yaşlandırmanın etkileri incelenebilir. Test numunelerinin enjeksiyonla üretimi sabit proses şartları altında yapılmıştır. Proses şartları değiştirilerek mekanik özelliklerdeki değişimler incelenebilir. Malzemenin bazı özelliklerini iyileştirmek için; ısı stabilizatörü, UV stabilizatörü, darbe dayanımı arttırıcı, antioksidant gibi katkı malzemeleri katılarak yaşlandırmaya karşı olan dirençleri ölçülebilir. Malzeme hakkında daha fazla bilgi edinmek amaçlı; yaşlandırma maruziyet süreleri arttırılabilir veya farklı iklim koşullarında da doğal yaşlandırma yapılabilir. PC/PBT karışıma üçüncü bir polimer eklenerek üçlü karışımın yaşlandırma sonucu mekanik ve kimyasal özelliklerindeki değişimler incelenebilir.

KAYNAKLAR

- Akkurt S., (1991), "Plastik Malzeme Bilgisi", Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Antic V.V., Pergal M.V., (2011), "Poly(butylene terephthalate)-Synthesis, Properties, Application", Handbook of Engineering and Speciality Thermoplastics, 127-171.
- Bair H.E., Shepherd L., Boyle D.J., (1981), "Thermal Analysis in Polymer Characterization", Edited by Turi E.A., Heyden & Son, Inc., Philadelphia.
- Bal H., (2009), "Thermal and Mechanical Properties of Continuous Reinforced Thermoplastics", Thesis of Master Degree, Dokuz Eylül University.
- Baysal B., (1994), "Polimer Kimyası", Genişletilmiş 2. Baskı, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
- Bitirgiç Ç., (2010), "Plastik Enjeksiyon Kalıpcılığında PP Malzemeye Katılan ABS ve Cam Elyafın Mekanik Özelliklerine Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü.
- Braun D., (2010), "Simple Methods for Identification of Plastics", 5th Edition, Hanser Publishers, Munich.
- Campo E.A., (2006), "The Complete Part Design Handbook For Injection Molding of Thermoplastics", Hanser Publishers, Munich.
- Çelik A., (2000), "Plastik Kökenli Yer Döşeme Kaplamaları", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Derudder J. L., LeGrand D. G., Dekker M., (2000), "Handbook of Polycarbonate Science and Technology", 303–316, New York, N.Y., USA.
- Elvers Dr.B., (2016), "Ullmann's Polymers and Plastics: Products and Processes", Wiley-VCH Publishing.
- Halder R. S., Joshi M., Misra A., (1990), "Morphological studies on the blends of poly (butylenes terephthalate) and bisphenol-A polycarbonate", J. Appl. Polym. Sci., 39, 1251-1264.
- Hopfe I., Pompe G. K., Eichhorn J., (1997), "Ordered structures and progressive transesterification in PC/PBT melt blends studied by FTi.r. spectroscopy combined with d.s.c, and n.m.r.", Polymer, 38, 2321-2327.
- Kutz M., (2002), "Handbook of Materials Selection", John Wiley & Sons, New York.

MEB, (2014), ‘‘Plastik Teknolojisi Termal Analiz Uygulamaları’’, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara.

Mendes L.C., Junior A.C.T., Filipe O.C., Passos A.C., (1999), ‘‘Weathering of HDPE in Rio de Janeiro City’’, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia, Rio de Janeiro.

Öztürk M., (2005), ‘‘Plastikler ve Geri Kazanımı’’, 1. Baskı, Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Yayınları, İstanbul.

Pickett J. E., Ryntz R., (2001), ‘‘Durability of Coatings and Plastics’’, Hanser Publishers.

Qayyum M. M., White J. R., (1991), ‘‘Effect of water absorption and temperature gradients on polycarbonate injection moldings’’, J. Appl. Polym. Sci. 43, 129.

Sanchez E.M.S., (2007), ‘‘Ageing of PC/PBT blend: mechanical properties and recycling possibility’’, Polymer Testing, 26, 378–387.

Saylan T., (2010), ‘‘PA 6 Kompozitlerinin Termal, Mekanik ve Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi’’, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi.

Scheirs J., Long T.E., (2005), ‘‘Modern Polyesters: Chemistry and Technology of Polyesters and Copolyesters’’, John Wiley & Sons.

Shah V., (2007), Handbook of Plastic Testing and Failure Analysis, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.

Shi K., Gao L., Tao Y., Ye L., Li G., Jie G., (2016), ‘‘ Outdoor weathering behavior of polyamide 6 under various climates in China’’, J. Appl. Polym. Sci.

Shih C.K., (2002), ‘‘Innovations in Selected Commercially Significant Polymer Blend and Blending Process’’, SPE ANTEC Technical Papers.

Tareque H., (2009), ‘‘A Study of Polycarbonate/Poly (butylene terephthalate) Compounding in a Twin Screw Extruder’’, Thesis of Master Degree, University of Waterloo, Ontario, Canada.

Thomas S., Visakh P.M., (2011), ‘‘Polyethers and Polyesters’’, Handbook of Engineering and Specialty Thermoplastics, Volume 3, Scrivener Publishing.

Tjandraatmadja G.F., Burn L.S., Jollands M.J., (1999), ‘‘The Effects of UV on polycarbonate glazing’’, Durability of Building Materials and Components 8, 884-898, Institute for Research in Construction, Ottawa, Canada.

Wahrmund D.C., Paul D.R., Barlow J.W., (1978), ‘‘Polyester-polycarbonate blends. I. Poly(butylene terephthalate)’’, J. Appl. Polym. Sci., 22, 2155-2164.

Web-1, (2019), <https://www.atlas-mts.com/> (Erişim Tarihi: 18/05/2019).

Web-2, (2019), <https://www.q-lab.com/documents/public/8a69559b-1c1b-4485-8c1d-ebc067bdda6c.pdf?ReturnUrl=/tr-tr/resources/brochures.aspx>, (Erişim Tarihi: 18/05/2019).

Web-3, (2019), <https://www.pagev.org/pc>, (Erişim Tarihi: 15/05/2019).

Web-4, (2019), <https://www.eurotec-ep.com/brosurler/#>, (Erişim Tarihi: 15/05/2019).

Web-5, (2019), <https://www.q-lab.com/tr-tr/products/quv-weathering-tester/quv/>, (Erişim Tarihi: 21/05/2019).

Web-6, (2019), <https://potkam.arel.edu.tr/cihazlar/fouirer-transform-infrared-spektrofotometre-ftir>, (Erişim Tarihi: 21/05/2019).

Web-7, (2019), <http://web.gtu.edu.tr/aluminyum/diferansiyel-tarama-kalorimetre/>, (Erişim Tarihi: 21/05/2019).

Web-8, (2019), [https://www.mt.com/ca/en/home/phasedoutproducts/Phase OutAna/TGA SDTA851e Thermogravimetric Analyzer.html](https://www.mt.com/ca/en/home/phasedoutproducts/Phase%20OutAna/TGA%20SDTA851e%20Thermogravimetric%20Analyzer.html), (Erişim Tarihi: 02/06/2019).

Web-9, (2019), <http://merlab.metu.edu.tr/tr/termogravimetrik-analiz-cihazı>, (Erişim Tarihi: 21/05/2019).

Web-10, (2019), <https://rp5.ru/>, (Erişim Tarihi: 21/05/2019).

Web-11, (2019), <https://www.weatheronline.co.uk/Turkey.htm>, (Erişim Tarihi: 21/05/2019).

Zhang M., (2005), ‘‘Miscibility Studies of Engineering Thermoplastic Polymer Blends’’ Thesis Degree of Doctor, University of Alberta, Edmonton, Canada.

ÖZGEÇMİŞ

Ömer Faruk SARMAN 1989 yılında Üsküdar'da doğdu. İlköğretim ve ortaöğretimini Gebze'de tamamlayarak, 2010 yılında Dumlupınar Üniversitesi Makine Mühendisliği, 2012 yılında çift anadal programı ile Dumlupınar Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümünü başarıyla tamamlayıp, 2013 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans programına başladı. Yüksek lisans tezini Tübitak 116M257 numaralı proje kapsamında 2019 yılında tamamlayarak mezun olmuştur. Farplas Otomotiv şirketinde Ürün Geliştirme Mühendisi olarak görevini sürdürmektedir.

EKLER

Ek A: Hızlandırılmış Yaşlandırma Cihazı Teknik Özellikleri

Tablo A.1.1’de hızlandırılmış yaşlandırma cihazına ait teknik özellikler verilmiştir.

Tablo A.1.1: Hızlandırılmış Yaşlandırma Cihazı Teknik Özellikleri.

Marka/Model: QUV/Basic	Birim	Değer
Kabin İç Sıcaklığı	°C	40-80
Numune Kapasitesi	adet	50 (75x150mm)
Giriş Suyu Tipi		Musluk Suyu
Giriş Suyu Basıncı	bar	0,2-5,5
Su Tüketimi	L/Gün	8
Kabin Dış Ölçüleri	cm	137x135x53
Cihaz Ağırlığı	kg	136