T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

CAM FİBER TAKVİYELİ VE TAKVİYESİZ POLİKARBONAT MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE DOĞAL VE HIZLANDIRILMIŞ YAŞLANDIRMA VE GERİDÖNÜŞÜMÜN ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

MEHMET DOĞAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2019

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

CAM FİBER TAKVİYELİ VE TAKVİYESİZ POLİKARBONAT MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE DOĞAL VE HIZLANDIRILMIŞ YAŞLANDIRMA VE GERİDÖNÜŞÜMÜN ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

MEHMET DOĞAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE 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 AND RECYCLING ON MECHANICAL PROPERTIES OF GLASS FIBER REINFORCED AND NON REINFORCED POLYCARBONATE MATERIALS

MEHMET DOĞAN

A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE

DEPARTMENT OF MECHANİCAL ENGINEERING

THESIS SUPERVISOR

PROF. DR. BABÜR ÖZÇELİK

GEBZE

2019

GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ	**YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU**

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 26.../06.../2019. tarih ve 2019.../29..... sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 19/07/2019 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Mehmet DOĞAN'ın tez çalışması Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE
(TEZ DANIŞMANI) : Prof. Dr. Babür ÖZÇELİK

ÜYE : Prof. Dr. Fevzi BEDİR

ÜYE : Dr. Öğretim Üyesi Murat KIYAK

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

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

ÖZET

Bu çalışmada, mühendislik termoplastiği olarak bilinen Polikarbonat (PC) ve %10, 20, 30 kısa cam elyaf katkılı PC polimer malzemesi, sıcaklık, ışık, nem ve yağmur gibi zorlayıcı etkiler altında kaldığında mekanik, morfolojik ve reolojik özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Bu şartlar, deneysel olarak doğal yaşlandırma düzeneği ve hızlandırılmış yaşlandırma cihazı (QV-LAB) ile gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda yaşlanmış numunelere belirli oranlarda saf granüller katıldı.

Numuneler, plastik enjeksiyon makinesinde üretildikten 24 saat sonra çekme, darbe, eğme, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve eriyik akış testlerine tabi tutulmuştur. Üretilen numunelerin bir kısmı 3, 6, 9 ve 12 ay tutulmak üzere deney rafında doğal yaşlandırmaya maruz bırakılmıştır. Geriye kalan numuneler ise hızlandırılmış yaşlandırma kabininde 48, 144 ve 336 saatlik hızlı yaşlandırmaya bırakılmıştır. 12 ay doğal ve 336 saat hızlandırılmış yaşlandırılan numunelerin ağırlıkça %25-%50-%75 oranlarında saf haldeki kendi polimeri, ekstrüder cihazı ile karıştırılmıştır. Tekrar öğütülüp, numune basılarak mekanik testler uygulanmıştır.

Yapılan testler sonucunda PC numunelerinin darbe dayanımları doğal yaşlandırma süresi boyunca azalış göstermiş, saf PC katkısının 12 ay yaşlanmış değerlerinin 174.90%, 213.55% ve 235.46%, üzerine çıkmıştır. PC ve %10 cam elyaf katkılı PC numuneleri UV yaşlandırmadan neredeyse etkilenmemiştir. %20 ve %30 cam elyaf katkılı PC numunelerinin çekme, eğme ve darbe dayanımlarında doğal ve hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında düşüş gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Doğal Yaşlandırma, UV Yaşlandırma, Geridönüşüm, Polikarbonat, Çekme, Darbe, Eğme ve Morfolojik Özellikler.

SUMMARY

In study, Polycarbonate (PC) known as engineering thermoplastics and 10%, 20%, %30 short glass fiber reinforced PC polymer material, its mechanical, morphological and rheological properties were investigated, under harsh effects such as temperature, light, humidity and rain. This conditions was carried out experimentally with natural aging rack and accelerated aging device(QV-LAB). At the same time, pure granules in certain proportions were added to the aged samples.

Samples were subjected to tensile, impact, bending, scanning electron microscopy (SEM) and melt flow tests 24 hours after they were produced in plastic injection machine. Some of the produced samples were subjected to natural aging in the natural aging shelf for 3, 6, 9 and 12 months. The remaining samples were subjected to age at 48, 144 and 336 hours in the accelerated aging chamber. 12 months of natural and 336 hours of accelerated aging samples were mixed with 25% - 50% - 75% by weight of their own pure polymer in the extruder device. Mechanical tests were performed by re-grinding and pressing the sample.

As a result of the tests, the impact strength of PC samples decreased during natural aging period. With the contribution of pure PC, 12 months of aging impact values increased to 174.90%, 213.55% and 235.46%, respectively. The PC and PC samples with 10% glass fiber reinforced samples were nearly unaffected by UV aging. A reduce trend was observed in the tensile, bending and impact strengths of 20% and 30% glass fiber reinforced PCs after natural and accelerated aging.

Keywords: Natural Ageing, UV Ageing, Reprocessing, Policarbonate, Tensile, Impact, Flexural and Morfological Properties.

TEŞEKKÜR

Tüm hayatım boyunca yanımda olan ve emekleriyle bugünlere gelmemi sağlayan aileme sonsuz teşekkür ederim.

Projenin yürütücüsü Sayın Dr. Emel KURAM'a, projenin araştırmacısı olarak görev yapan danışmanım Sayın Prof. Dr. Babür ÖZÇELİK'e ve proje asistanı olarak görev alan hem proje çalışma arkadaşım hem de tez çalışmamda teşvikleriyle yol kat etmemi sağlayan Arş. Gör. Hürol KOÇOĞLU'na tez çalışmalarım boyunca desteklerini esirgemeden bana yardımcı oldukları için ayrı ayrı teşekkür ederim.

Bu tez TÜBİTAK 1001 Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Projelerini Destekleme Programı kapsamında yürütülen 116M257 no'lu projeyle gerçekleştirilmiştir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLOLAR DİZİNİ	xiv
1.GİRİŞ	1
1.1. Amaç ve Kapsam	4
2.TERMOPLASTİKLER	5
2.1. Termoplastik Malzemelerin Tarihçesi ve Gelişimi	7
2.2. Polikarbonat ve Özellikleri	8
2.2.1. PC'ye Kısa Cam Elyaf Katkısının Etkisi	9
2.3. Polikarbonatın Geridönüşüm İşlemleri	10
2.4. Polikarbonatın Yaşlandırılması ve Bozunması	11
3.DENEYSEL ÇALIŞMALAR	13
3.1. Malzeme ve Metod	13
3.1.1. Malzeme	13
3.1.2. Metod	14
3.1.3. Numune Hazırlama	16
3.1.4. Yaşlandırma İşlemleri	18
3.1.4.1. Doğal Yaşlandırma	18
3.1.4.2. Hızlandırılmış Yaşlandırma	21
3.1.5. Geridönüşüm İşlemleri	22
3.1.6. Uygulanan Testler	24
3.1.6.1. Çekme Testi	24
3.1.6.2. Eğme Testi	25
3.1.6.3. Darbe Testi	26
3.1.6.4. Eriyik Akış Testi (MFI)	27
3.1.6.5. Ağırlık Ölçüm Testi	28

3.1.6.6. Taramalı Elektron Mikroskop(SEM) Görüntülerinin İncelenmesi 29
4.DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA 31
4.1. PC Malzeme Test Sonuçları 31
4.1.1. Doğal Yaşlandırma 31
4.1.2. Hızlandırılmış Yaşlandırma 41
4.2. PC/%10GF Malzeme Test Sonuçları 50
4.2.1. Doğal Yaşlandırma 50
4.2.2. Hızlandırılmış Yaşlandırma 61
4.3. PC/%20GF Malzeme Test Sonuçları 71
4.3.1. Doğal Yaşlandırma 71
4.3.2. Hızlandırılmış Yaşlandırma 81
4.4. PC/%30GF Malzeme Test Sonuçları 91
4.4.1. Doğal Yaşlandırma 91
4.4.2. Hızlandırılmış Yaşlandırma 101
5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER 111

KAYNAKLAR 115
ÖZGEÇMİŞ 118

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler ve Kısaltmalar		**Açıklamalar**
kJ/m^2	:	Kilojul/metrekare
mm	:	Milimetre
%	:	% uzama
Mpa	:	Megapaskal
GTÜ	:	Gebze Teknik Üniversitesi
ρ	:	Yoğunluk
m	:	l mesafesinin hareketini sağlayacak kütle
s	:	Saniye
A	:	Kesit alanı
l	:	Silindirin hareket mesafesi
t	:	l mesafesi için pistonun hareket zamanı
TS	:	Türk Standartı
EN	:	Europeane Norm(Avrupa Normu)
ISO	:	International Organization for Standardization(Uluslararası Standart Organizasyonu)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No:		Sayfa
2.1:	Polimer zincirlerinin (a) doğrusal, (b) dallanmış, (c) çaprazbağlı, (d) ağ yapılı molekül yapıları.	6
2.2:	Termoplastiklerin özelliklerine göre sınıflandırılması.	8
2.3:	Polikarbonatın kimyasal formülü.	9
2.4:	PC ‘nin radyasyon ışınları sonrası kimyasal yapısındaki tepkimeler.	12
2.5:	Örnek doğal yaşlandırma dizilimi.	12
3.1:	Deneysel çalışma akış şeması.	15
3.2:	Plastik enjeksiyon cihazı.	16
3.3:	Dört kaviteli kalıp.	16
3.4:	Basılan numunelerin örnek görüntüsü.	17
3.5:	Doğal yaşlandırmada kullanılan raf.	18
3.6:	Aylara göre ortalama sıcaklık grafiği (Tmax : en yüksek sıcaklık, Tort : ortalama sıcaklık, Tmin : en düşük sıcaklık).	19
3.7:	Aylara göre ortalama nem grafiği (Hmax : en yüksek nem miktarı, Hort : ortalama nem miktarı, Hmin : en düşük nem miktarı).	19
3.8:	Hızlandırılmış yaşlandırmada kullanılan cihaz.	21
3.9:	Mekanik kırıcı.	22
3.10:	Karışımların Plastik Ekstrüder cihazı.	23
3.11:	Çekme çeneleri takılmış universal test cihazı.	25
3.12:	Eğme çeneleri takılmış universal test cihazı.	26
3.13:	Darbe testi cihazı.	27
3.14:	MFI testi cihazı.	28
3.15:	Hassas terazi.	29
3.16:	SEM görüntüleri için numune hazırlanması.	29
3.17:	SEM cihazı.	30
4.1:	Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC numunelerinin gerilme - gerinim grafiği.	32
4.2:	Çekme dayanımı değişimi grafiği.	33
4.3:	Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC numunelerinin gerilme - sehim grafiği.	34

4.4: Eğme dayanımı değişim grafiği. 35
4.5: Darbe dayanımı değişim grafiği. 36
4.6: MFI değişim grafiği. 37
4.7: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC numunelerinin gerilme - gerinim grafiği. 42
4.8: Çekme dayanımı değişim grafiği. 43
4.9: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC numunelerinin gerilme - sehim grafiği. 44
4.10: Eğme dayanımı değişim grafiği. 44
4.11: Darbe dayanımı değişimi grafiği. 45
4.12: MFI değişim grafiği. 46
4.13: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%10GF numunelerinin gerilme - gerinim grafiği. 52
4.14: Çekme dayanımı değişimi grafiği. 52
4.15: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%10GF numunelerinin gerilme - sehim grafiği. 54
4.16: Eğme dayanımı değişim grafiği. 54
4.17: Darbe dayanımı değişim grafiği. 56
4.18: MFI değişim grafiği. 57
4.19: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%10GF numunelerinin gerilme - gerinim grafiği. 62
4.20: Çekme dayanımı değişim grafiği. 63
4.21: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%10GF numunelerinin gerilme - sehim grafiği. 64
4.22: Eğme dayanımı değişim grafiği. 64
4.23: Darbe dayanımı değişimi grafiği. 66
4.24: MFI değişim grafiği. 67
4.25: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%20GF numunelerinin gerilme - gerinim grafiği. 72
4.26: Çekme dayanımı değişimi grafiği. 73
4.27: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%20GF numunelerinin gerilme - sehim grafiği. 74
4.28: Eğme dayanımı değişim grafiği. 75
4.29: Darbe dayanımı değişim grafiği. 76

4.30: MFI değişim grafiği. 77
4.31: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%20GF numunelerinin gerilme - gerinim grafiği. 82
4.32: Çekme dayanımı değişim grafiği. 83
4.33: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%20GF numunelerinin gerilme - sehim grafiği. 84
4.34: Eğme dayanımı değişim grafiği. 85
4.35: Darbe dayanımı değişimi grafiği. 86
4.36: MFI değişim grafiği. 87
4.37: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%30GF numunelerinin gerilme - gerinim grafiği. 92
4.38: Çekme dayanımı değişimi grafiği. 93
4.39: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%30GF numunelerinin gerilme - sehim grafiği. 94
4.40: Eğme dayanımı değişim grafiği. 95
4.41: Darbe dayanımı değişim grafiği. 96
4.42: MFI değişim grafiği. 97
4.43: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%30GF numunelerinin gerilme - gerinim grafiği. 102
4.44: Çekme dayanımı değişim grafiği. 103
4.45: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%30GF numunelerinin gerilme - sehim grafiği. 104
4.46: Eğme dayanımı değişim grafiği. 104
4.47: Darbe dayanımı değişimi grafiği. 105
4.48: MFI değişim grafiği. 107

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo No:		Sayfa
3.1:	Kullanılan malzemenin teknik özellikleri.	13
3.2:	Plastik enjeksiyon üretim parametreleri.	17
3.3:	Polimerik malzemeler için kurutma sıcaklıkları ve süreleri.	18
3.4:	Doğal ortamda yaşlandırmaya maruz bırakma süreleri ve ortalama sıcaklık değerleri.	20
3.5:	Doğal ortamda yaşlandırılan numunelerin isimlendirmesi.	20
3.6:	Hızlandırılmış yaşlandırma yapılan numunelerin isimlendirilmesi.	22
3.7:	Plastik Ekstrüder üretim parametreleri.	23
3.8:	Geridönüşüm işlemleri uygulanan numunelerin isimlendirilmesi.	24
3.9:	Çekme testi için parametreler.	25
3.10:	Eğme testi için parametreler.	26
3.11:	Darbe testi için parametreler.	27
3.12:	MFI testi için parametreler.	28
4.1:	Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC numunelerinin üretim sonrası örnek resimleri.	31
4.2:	Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC numunelerinin çekme testi sonuçları.	33
4.3:	Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC numunelerinin eğme testi sonuçları.	35
4.4:	Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC numunelerinin darbe testi sonuçları.	36
4.5:	Doğal ortamda yaşlandırılan PC numunelerinin MFI testi sonuçları.	37
4.6:	Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC numunelerinin SEM görüntüleri.	38
4.7:	Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC numunelerinin örnek resimleri.	41
4.8:	Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC numunelerinin çekme testi sonuçları.	43
4.9:	Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC numunelerinin eğme testi sonuçları.	45

4.10: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC numunelerinin darbe testi sonuçları. 46
4.11: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC numunelerinin MFI testi sonuçları. 47
4.12: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan PC numunelerinin SEM görüntüleri. 47
4.13: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%10GF numunelerinin örnek resimleri. 51
4.14: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%10GF numunelerinin çekme testi sonuçları. 53
4.15: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%10GF numunelerinin eğme testi sonuçları. 54
4.16: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%10GF numunelerinin darbe testi sonuçları., 56
4.17: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%10GF numunelerinin MFI testi sonuçları. 57
4.18: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%10GF numunelerinin SEM görüntüleri. 58
4.19: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%10GF numunelerinin örnek resimleri. 61
4.20: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%10GF numunelerinin çekme testi sonuçları. 63
4.21: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%10GF numunelerinin eğme testi sonuçları. 65
4.22: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%10GF numunelerinin darbe testi sonuçları. 66
4.23: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%10GF numunelerinin MFI testi sonuçları. 67
4.24: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan PC/%10GF numunelerinin SEM görüntüleri. 68
4.25: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%20GF numunelerinin örnek resimleri. 71
4.26: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%20GF numunelerinin çekme testi sonuçları. 73

4.27: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%20GF numunelerinin eğme testi sonuçları. 75
4.28: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%20GF numunelerinin darbe testi sonuçları. 76
4.29: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%20GF numunelerinin MFI testi sonuçları. 77
4.30: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%20GF numunelerinin SEM görüntüleri. 78
4.31: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%20GF numunelerinin örnek resimleri. 81
4.32: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%20GF numunelerinin çekme testi sonuçları. 83
4.33: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%20GF numunelerinin eğme testi sonuçları. 85
4.34: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%20GF numunelerinin darbe testi sonuçları. 86
4.35: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%20GF numunelerinin MFI testi sonuçları. 87
4.36: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan PC/%20GF numunelerinin SEM görüntüleri. 88
4.37: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%30GF numunelerinin örnek resimleri. 91
4.38: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%30GF numunelerinin çekme testi sonuçları. 93
4.39: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%30GF numunelerinin eğme testi sonuçları. 95
4.40: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%30GF numunelerinin darbe testi sonuçları. 96
4.41: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%30GF numunelerinin MFI testi sonuçları. 97
4.42: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%30GF numunelerinin SEM görüntüleri. 98
4.43: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%30GF numunelerinin örnek resimleri. 101

4.44: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%30GF numunelerinin çekme testi sonuçları. 103
4.45: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%30GF numunelerinin eğme testi sonuçları. 105
4.46: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%30GF numunelerinin darbe testi sonuçları. 106
4.47: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%30GF numunelerinin MFI testi sonuçları. 107
4.48: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan PC/%30GF numunelerinin SEM görüntüleri. 108

1. GİRİŞ

Termoplastik malzemeler, teknolojik gelişmelerle birlikte beyaz eşya, elektronik, otomotiv, yapı-inşaat, gıda, savunma ve havacılık gibi pek çok sanayi alanlarında kullanılmaktadır. Termoplastik malzemeler, kullanım yerlerindeki ortam şartlarına (nem, oksijen, sıcaklık, ultraviyole (UV) ışık radyasyonu v.b.) ve bu ortam şartlarındaki kullanım sürelerine bağlı olarak yapılarını olumsuz yönde etkileyebilecek mekanik, fiziksel ve kimyasal yapılarında çeşitli tepkimelere yol açarak sararma, gevrekleşme, dayanımlarında azalma gibi istenmeyen sonuçların doğmasına sebep olan yaşlanma mekanizmalarının aktifleşmesini tetikler [1], [2], [3]. Bu durum malzemelerin kullanım ömrünü etkileyebilmekte, görsel ve estetik özelliklerini ciddi ölçüde değiştirmektedir. Dolayısıyla termoplastik malzemelerin belirli şartlar altında yaşlandırıldıktan sonra farklı test yöntemleriyle mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin nasıl değiştiği hakkında fikir edinmek için farklı polimer ve polimer karışımları üzerine araştırma yapmak önem kazanmaktadır.

Bu tezin ana konusu olarak seçilen polikarbonat yada bifenol A polikarbonat (BP-A) olarak bilinen mühendislik plastiği mükemmel şeffaflık, çok iyi termal kararlılık, yüksek mekanik dayanım ve yüksek ısıl çarpılma sıcaklıklığı gibi pek çok fiziksel ve kimyasal özelliklere sahiptir [4]. PC'ın mekanik ve optik özelliklerini bir arada bulundurması onun iyi darbe dayanımından dolayı cep telefonları, bilgisayarlar gibi elektronik endüstrisinde, şeffaflığından dolayı led ve lens teknolojilerinde, otomotiv sanayisinde özellikle far komponentleri için kullanılmasını sağlamıştır [5]. PC'nin üstünlüklerinin yanısıra pek çok termoplastikler gibi güneş ışığı, yağmur, nem, oksijen, sıcaklık yada bunların birleşiminden etkilenmektedir [6]. UV ışığı altında malzemenin gevrekleşmesi, sararması ve dayanımının azalması gibi istenmeyen sonuçlara karşı hassastır [7].

Tez konusuyla ilişkili çalışmaların genel özeti aşağıda verilmiştir.

Rivaton A., (1995), Stabilize edilmemiş PC film numuneleri farklı uv dalga boylarına sahip lambalar kullanarak, numuneler üzerinde oluşan fotokimyasal tepkimeleri FTIR ve UV teknikleriyle incelemiştir. PC numunelerinde kısa dalga boyları altında foto oksidasyonla sararma görülmüştür [8].

Yonghao vd. (2012), Çin'in batı bölgelerinde bulunan üç farklı alanda dış ortam koşullarında yaşlandırılan PC numunelerinin yapısal değişimi ve özelliklerini, intrinsic viscosity (IV), termogravimetrik analiz (TGA), Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC), UV–vis spectra, fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopi (FTIR) ve mekanik testler uygulayarak analiz etmişlerdir [9].

Diepens ve Gijsman (2011), stabilizer katkısız PC film numunelerinin doğal ve hızlandırılmış yaşlandırmaya maruz bırakılması sonucunda numunelerin absorbe ettikleri ışık radyasyonunu spektroskopi analizleri yaparak her iki yaşlandırma arasında bir ilişki kurmaya çalışmışlardır. Hızlandırılarak yaşlandırılan numunelerin aynı dozajda doğal yaşlandırılan numunelerden daha yüksek değerde ışık absorbe ettiğini gözlemlemişlerdir. Bu farkın, dış ortamdaki sıcaklık ve dalgaboyu dağılımının zamanla değişkenlik gösterdiğinden kaynaklandığını ifade etmişlerdir [10].

Hareesh vd. (2013), PC film numunelerini 7 saatlik hızlandırılmış radyasyona maruz bırakarak numunelerin UV spektroskopi, termogravimetrik analiz (TGA), fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopi (FTIR) ve atomik kuvvet mikroskopu (AFM) gibi yöntemlerle özelliklerindeki değişiklikleri incelemişlerdir. Analiz sonuçlarında, bozunma sıcaklığında artış, karbonat bağlarının kopmasından dolayı C=O bağ yoğunluğunda azalma ve pürüzlülük değerlerinde yaklaşık %35 artış gözlemişlerdir [11].

Collin vd. (2012) stabilizer katılmamış PC numunelerinin hızlandırılmış yaşlandırılması sonrası numunelerin mekanik özellikleri ve kimyasal yapısındaki değişiklikleri spektroskopik analiz ve sertlik ölçümleriyle incelemişlerdir. Yaşlanma zamanıyla birlikte numuneler gevrek haline geldiklerinden sertlik değerlerinde artış ve iz yüzeylerinde çatlaklar gözlemişlerdir. Spektroskopik analizlerinde, UV radyasyonun malzeme yüzeyinde foto oksidasyon ve fotokızarma tepkime ürünlerini oluşturduğunu ve bu nedenle absorbsiyonun yüzeyden derinlere indikçe azaldığını gözlemlemişlerdir [12].

Perez vd. (2010), PC numunelerine 10 kez geridönüşüm işlemleri uygulayarak özelliklerindeki değişimleri çekme dayanımı, darbe dayanımı, eriyik akış ve moleküler ağırlığı ölçümleri ile incelemişlerdir. Ardından saf PC ve 5. kez geridönüşüm yapılmış

numuneleri 600 saatlik hızlandırılmış yaşlandırmaya maruz bırakmışlardır. 10 defa geridönüşüm sonucunda darbe dayanımlarında yaklaşık %84 azalma, moleküler ağırlıklarında yaklaşık %35 azalma, eriyik akış değerlerinde yaklaşık %77 artma ve çekme dayanımlarında ise 5. geridönüşümden sonra yaklaşık %36 azalma gözlenmiştir. Hızlandırılmış yaşlanma sonrası saf PC'nin çekme dayanımlarında değişme olmazken, 5. geridönüşüm sonrasında yaklaşık %56 azalma gözlenmiştir [13].

Pires vd. (2015), polietilen tereftalat (PET)/PC polimer malzemesini doğal ve hızlandırılmış yaşlandırmaya maruz bırakarak UV radyasyonunun malzeme üzerinde kimyasal, termal ve mekanik özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Hızlandırılmış yaşlanma uygulaması ile birlikte kopma uzamalarında yaklaşık %96, doğal yaşlandırmada ise %70 azalma gözlenmiş ve elastisite modülünde her iki yaşlandırmada da neredeyse değişme olmamıştır [14].

Sanchez (2007), PC/PBT polimer malzemesini doğal ve hızlandırılmış yaşlandırmaya maruz bırakarak, numunelerin yaşlanma öncesi ve sonrasında mekanik özelliklerini incelemiştir. Ardından belirli süre aralığında yaşlanan numunelere geridönüşüm işlemleri uygulayarak malzemenin mekanik özelliklerindeki değişikliği incelemiştir. Doğal yaşlandırma 2 yıl, hızlı yaşlandırma ise 123 gün boyunca devam etmiştir. Başlangıç değerine göre, doğal ve hızlandırılmış yaşlanan numunelerin kopma uzamalarının yaşlanmayla birlikte yaklaşık %94 azaldığı bulunmuştur. Çekme modülleri ve dayanımlarının her iki yaşlanmadan ve geridönüşümden pek etkilenmediği görülmüştür. Darbe dayanımlarının artan yaşlanma zamanıyla başlangıca göre doğal yaşlandırmada %41, hızlı yaşlandırmada ise %48 azaldığı gözlenmiştir. Eriyik akış indeksi (MFI) ise başlangıca göre doğal yaşlandırmada yaklaşık %39 ve hızlı yaşlandırmada ise %46 artmıştır [15].

Literatürde PC ve cam elyaf katkılı PC malzeme üzerine yapılan çalışma sayısı az olmakla birlikte, yapılan çalışmalar genellikle kimyasal özelliklerindeki değişimleri incelemektedir. Bu tez mekanik özellikler üzerine yoğunlaşarak literatürdeki boşluğu tamamlayıcı bir görevi de üstlenecektir.

1.1. Amaç ve Kapsam

Tez kapsamında Polikarbonat (PC) ve %10, 20, 30 kısa cam elyaf katkılı PC malzemelerin doğal ortam şartlarının içerdiği sıcaklık, yağmur, nem, ışık gibi parametrelerin etkisi altında doğal yaşlandırma rafında ve benzer etkileri daha kısa sürede sağlayabilen ultraviyole (uv) ışık kaynağı, nem ve sıcaklık gibi parametreler içeren hızlandırılmış yaşlandırma cihazı kullanılarak yaşlandırma işlemlerinin gerçekleştirilmesi sonucunda malzemelerde oluşabilecek mekanik ve fiziksel özelliklerindeki değişimleri eğme, çekme, darbe, eriyik akış ve taramalı elektron mikroskobu gibi testler kullanılarak araştırılması ve yaşlanmış numunelerin belli oranlarda saf halleriyle karıştırılarak ekstrüzyon ve tekrar enjeksiyonu sonucu yukarıda belirtilen testlerle mekanik özelliklerinde, yaşlanmış malzemelere kıyasla iyileştirmeler amaçlanmaktadır.

Tezin birinci bölümünde yaşlanma sorunundan bahsederek problemin kaynağına vurgu yaplmıştır. Ardındam tezin amacı anlatılmıştır. İkinci bölümde termoplastik malzemeler hakkında genel özet bilgiler verilmiştir. Tezin ana konusu olan PC ve cam elyaf katkılı PC'ye değinilmiştir. Üçüncü bölümde tez konusunu oluşturan malzemeler ile ilgili deneysel çalışmalar anlatılmış, uygulanan yaşlandırma işlemleri ve sonrasında gerçekleştirilen mekanik testlerin sonuçları verilmiştir. Dördüncü bölümde daha iyi irdelenmesi açısından genel sonuçların karşılaştırmalı grafik ve tabloları verilmiş ve literatürde benzer çalışmalara değinilmiştir. Beşinci bölümde tezin ortaya koyduğu veriler özet olarak tespit edilmiş ve gerekli öneriler sunulmuştur.

2. TERMOPLASTİKLER

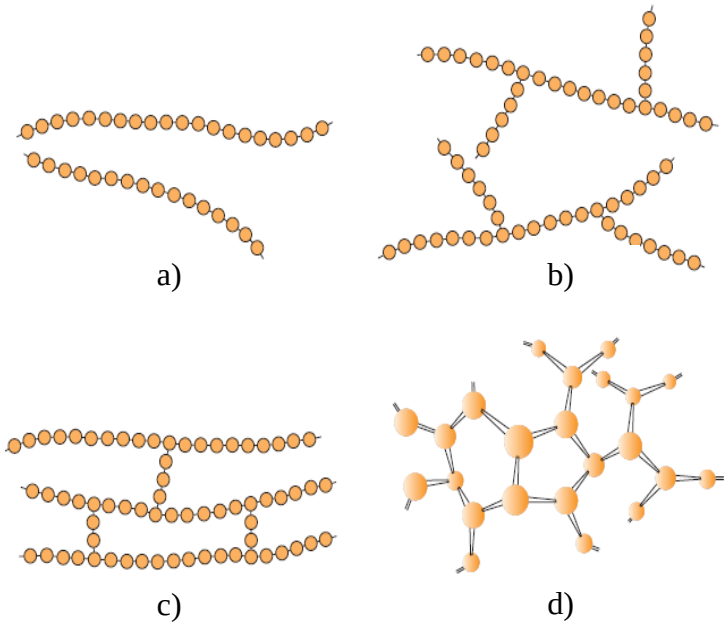
Plastikler, ticari olarak hammadde olan polimerlerin işlenmesi sonrası meydana gelirler. Plastik terimi yunanca da kolayca şekil verilebilir, işlenebilir anlamına gelen "plastein: şekil vermek" kelimesinden gelmektedir. Ayrıca plastik ve polimer kelimeleri aynı anlama gelmemekle birlikte "macro: büyük" kelimesiyle bağlantılı olan makromoleküller olarak nitelendirilirler. Polimerlerin özellikleri, moleküler yapıları ve formülleri farklı malzemelerle birleştirilerek çok fazlı sistemlerle değiştirilebilir [16]. Plastikler, malzemeler arasında benzerlikleri yada farklılıkları bakımından farklı şekilde sınıflandırılmaktadırlar. Bunlardan en yaygını, termal davranışlarına göre termoplastikler ve termosetler olarak iki ana gruba ayrmaktır. Termoplastikler, ısı ve basınç altında pres edildiklerinde yumuşar ve şekil değiştirebilir veya soğutulduklarında tekrar katı hale geçebilirler. Yani tamamen yeniden şekil verilebilme özellikleri vardır. Termoplastikler lineer yada dallanmış zincir yapılarına sahip ve genellikle yumuşaktırlar. Termosetler ise ısıtıldıklarında yumuşamazlar, aşırı ısıtıldıklarında yapısında bozulmalar meydana gelir. Yani tekrar şekil değiştirme özellikleri barındırmazlar. Termosetler çapraz bağlı zincir yapılarına sahip ve sert yapıdadırlar [17]. Şekil 2.1'de polimerlerin zincir yapıları incelendiğinde;

Doğrusal zincir yapısı, tekrarlı birimler uç uca eklenerek tek bir zinciri oluşturması şeklindedir. Zincirler arasında yoğun bir van der waals ve hidrojen bağları bulunur. Esnek bir yapıya sahiptir. Örneğin; polyethylene, poly(vinyl chloride), polystyrene, poly(methyl methacrylate), nylon, and the fluorocarbons.

Dallanmış zincir yapısı, polimerin sentezlenmesi sırasında meydana gelen ana zincir moleküllerine yan dal zincirlerin eklenmesiyle oluşurlar. Örneğin; low-density polyethylene (LDPE).

Çapraz bağlı zincir yapısı, bitişik doğrusal zincir, kovalent bağlarla farklı pozisyonlardaki birimleri birbirine bağlar. Çapraz bağ yapısı, ya sentez sırasında yada geridönüşümü olmayan bir kimyasal reaksiyon sonucu oluşur. Örneğin; Kauçuk, lastik gibi elastik malzemeler.

Ağ zincir yapısı, üç veya daha fazla aktif kovalent bağ oluşturan çok fonksiyonlu monomerlerin üç boyutlu ağları oluşturmasıdır. Genellikle çapraz bağlı polimerler ağ yapılı olarak sınıflandırılırlar. Örneğin; epoxies, polyurethanes, and phenol-formaldehyde.



Şekil 2.1: Polimer zincirlerinin a) doğrusal, b) dallanmış, c) çaprazbağlı, d) ağ yapılı molekül yapıları.

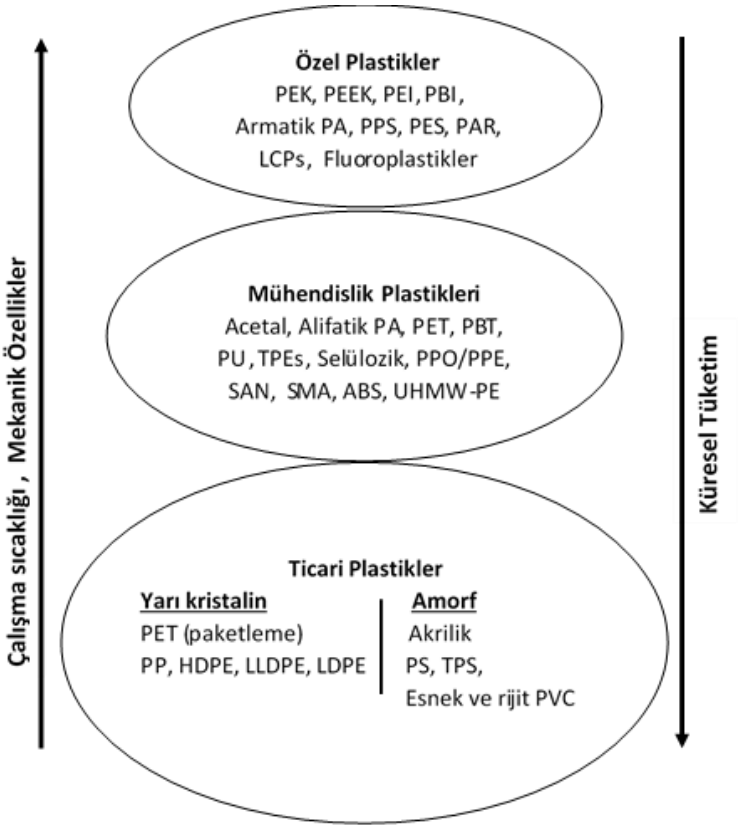
Termoplastikler kendi içerisinde amorf ve yarı kristal şeklinde ayrılırlar. Amorf polimerler, sert, rijit ve keskin bir camsı geçiş sıcaklığına(Tg) sahiptirler. Amorf polimerler camsı geçiş sıcaklıklarının üzerinde yumuşak, esnek şekil değiştirebilir hale gelirler. Yarıkristal polimerler camsı geçiş sıcaklıklarının üzerinde bir kristal erime sıcaklığına(Tm) sahiptirler. Kristalin polimerler, Tg'nin üzerinde daha az rijittirler ve Tm'nin üzerindeki sıcaklığa kadar akma göstermezler.

Plastiklerin mekanik ve fiziksel özellikleri onların yapılarıyla yakından ilişkilidir. Genellikle amorf yapıdaki plastikler yüksek sıcaklılarda bile daha fazla boyutsal kararlılık ve daha şeffaf bir görünüme sahiptirler. Yarı kristal plastikler, daha fazla doğal kayganlığa ve kimyasal dirence sahiptir. Kalıplama sırasında amorf yapılardan daha fazla çekme ve çarpılma eğilimi gösterirler [18].

2.1. Termoplastik Malzemelerin Tarihçesi ve Gelişimi

İnsan yapımı ilk polymer Leo Baekeland tarafından 1907 yılında kendi garajında sentezlediği bakalit'ti ve telefon gövdelerinde kullanılmaya başlandı. Bu tarihten itibaren polimer malzemeye olan ilgi katlanarak arttı. Günümüzde kullanılan pek çok yaygın termoplastikler 1930'lu yıllardan sonra geliştirildi. İlk sentezlenen plastik malzeme etilenden türetilen vinil plastiği oldu ve Dupont firması tarafından almanyada 1928 yılında patenti alınarak poly(vinyl chloride) (PVC) olarak pek çok uygulamada kullanıldı. 1933 yılında Imperial Chemical Industries (ICI) firması tarafından keşfedilen polietilen 1936 yılında patentlendi ve dünya çapında kullanımı yaygınlaştı. Aynı firma tarafından Poly(methylmethacrylate) (PMMA) geliştirildi. 1939 yılında Carother'in keşfettiği Naylon tanıtıldı. Özellikle savaş ekipmanlarında teker ve paraşüt için takviye malzemesi olarak kullanıldı. Polipropilenin üretimine 1950'lerin sonlarında başlandı ve yoğun miktarda kullanım alanı buldu. 1954 yılına kadar düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) ve yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) geliştirildi. 1958 yılında General Electric firması tarafından polikarbonatın üretimine başlandı [19].

Günümüzde yaygın olarak kullanılan termoplastik malzemeler maliyet ve özelliklerine göre 3 farklı bölüme ayrılmaktadır (Şekil.2.2). Ticari plastikler, nispeten düşük maliyetli olduklarından onların mühendislik özelliklerinin dışında yüksek miktarda tüketim oranıda sahiptirler. Bu tür plastikler yarı kristal ve amorf olarak iki gruba ayrılırlar. Yarı kristal plastiklerin camsı geçiş sıcaklıkları düşüktür ve çalışma sıcaklıklarına neredeyse yakındır. Mühendislik plastiklerinin maliyeti daha yüksek ve düşük tüketim oranına sahiptirler. Genellikle ticari plastiklerden daha yüksek camsı geçiş sıcaklıkları vardır. Özel gruptakiler ise yüksek maliyetli ve daha az tüketim oranına sahip yüksek sıcaklıklarda çalışabilme ve yüksek dayanım özelliklerine sahiptirler [20].

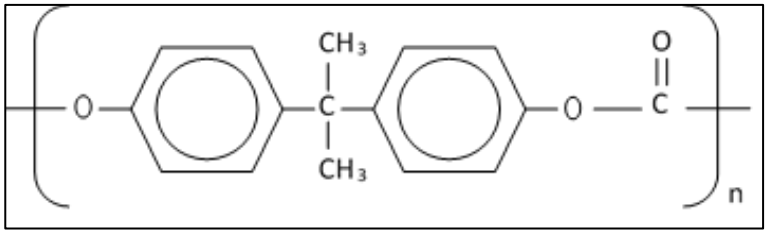


Şekil 2.2: Termoplastiklerin özelliklerine göre sınıflandırılması.

2.2. Polikarbonat ve Özellikleri

Polimer, küçük molekül ağırlıklı monomer(mer) denilen birimlerin tekrarlı bir şekilde oluşturdukları büyük moleküllü yapıların genel adıdır. Polimerlerin termoplastik sınıfına giren Polikarbonatlar, amorf bir yapıya ve dallanmış zincire sahiptir. Bu özelliğinden dolayı transparan görünümünde, yüksek net görünüş özelliğine sahip ve ışığın yaklaşık %90'ı nı geçirir. PC, 145-150°C arasında camsı geçiş sıcaklığına sahiptir. PC'nin makromolekül yapısından dolayı mekanik özellikleri üstünlükler kazanmıştır. PC'nin omurgasını metil gruplarıyla benzen(aril ve fenil) halkaları oluşturur. Onun omurgasında bulunan aromatik benzen ve aril halkaları arasındaki metil grupları yapıya sertlik sağlar ve zincir kaymalarını önler. Polikarbonatın sıradışı tokluğu en büyük avantajıdır. Çentiksiz darbe dayanımı çok yüksek ve kırılmaz bir yapı sergiler. İyi kimyasal ve çözücü direnci vardır. Mineral yağlara, alkollere ve seyreltilmiş asitlere karşı dayanıklıdır fakat alkalilere, esterlere, fenol ve ketonlara karşı direnci sınırlıdır. PC'nin genel olarak hava koşullarına dayanıklı olduğu kabul edilir, ancak ultraviole(UV) ışığına maruz kaldığında sarıya

dönebilir. Uzun süreli dış ortam şartlarında kullanımı için UV ışığına karşı stabilizer katkıları gerektirir. Şekil 2.3'te Polikarbonat(PC) malzemesinin kimyasal formülü verilmiştir[21].



Şekil 2.3: Polikarbonatın kimyasal formülü.

Genel özellikleri:

- Yüksek boyutsal kararlılık (yüksek sıcaklıklarda bile)
- Yüksek darbe dayanımı (baret, güvenlik kalkanı vb.)
- İyi optik özellik (gözlük, lens, otomotiv vb.)
- İyi termal kararlılık ve iyi yanma direnci
- İyi yalıtım özelliği (elektronik konnektörler, beyaz eşya)

Polikarbonat, Bayer ve GE firmasından iki kimyacı tarafından 1948' de geliştirilip 1960 yılında piyasada satılmaya başlanmıştır [21]. Bugüne kadar da pek çok türevi geliştirilip çeşitli sektörlerde kullanılmaya devam edilmektedir.

Polikarbonat, şeffaflık, dayanıklılık, termal ve boyutsal kararlılık, yüksek sürünme direnci gibi eşsiz özelliklere sahip önemli bir mühendislik termoplastiğidir. Bu özellikler onu, güvenlik kalkanları ve kaskları, su ve biberon şişeleri, kompakt diskler, elektronik komponentler, otomobil far ve lensler gibi pek çok uygulama alanlarında kullanılmasını sağlamıştır [22].

2.2.1. PC'ye Kısa Cam Elyaf Katkısının Etkisi

Antik çağlardan beri pek çok denemeleri yapılmış olan cam fiber ürünlerinin seri üretimine 1893 yılında ipek ve cam elyaf birleşiminden oluşan bir elbise üretmiş olan Edward Drummond Libbey tarafından yapıldı. Russell Games Slayter'e 1938 yılında cam yünü üretimiyle ilk patent verildi. Üretilen elyaf, iyi elektriksel yalıtım özellikleri

gösterdi ve bu nedenle cam elyaf ürünleri, elektrikli cam (E-cam) olarak adlandırıldı. 1939 yıllarında II. Dünya Savaşında ABD donanma gemilerinde cam elyaflar izolatör olarak kullanıldı ve savaş yıllarında doymamış polyester reçinenin gelişimi ve cam elyafın üretimi, el yatırma tekniği kullanılarak radar kubbelerinin (Radom's) ve uçakların yapısal parçalarının üretilmesi için itici güç olmuştur. 1953 yılında General Motors firması tarafından üretilen Chevrolet Corvette spor aracının tüm gövdesi cam elyaf katkısıyla, sıcak pres kalıplama tekniği (SMC) kullanılarak seri üretime başlandı.

Teknolojideki gelişmeler, tüketici farkındalığı, devlet düzenlemeleriyle cam elyaf üreticileri, atıkların azaltılması için milyonlarca dolar para harcadılar. Toz, kükürt dioksit ve nitrojen oksit gibi maddelerini içeren bacagazı emisyonunu azaltmak, cam elyaf üreticileri için büyük bir mücadele olmuştur. Hava krililiğini azaltmak ve florin kirliliğini ortadan kaldırmak için bor ve florin içermeyen cam elyaf üretimi önem kazanmıştır. Endüstriyel talepler her zaman yüksek mekanik dayanım ve korozyon direncine sahip yeni elyafların üretilmesini tetiklemiştir [23]. Elyaf takviyeleri polimerik, karbonik, metalik, camsı ve seramik olarak kullanılabilir. Bunlardan cam elyaflar yaygın bir şekilde kısa ve sürekli elyaf takviyeleri olarak hem termosetlerde hemde termoplastiklerde dayanım, boyutsal ve termal kararlılık, korozyon direnci ve izolatör gibi önemli özellikleri geliştirmek için kullanılırlar [24].

Genel olarak özelliklerine göre kullanılan farklı tip cam elyaf türleri vardır. Bunlardan E-cam diğerlerine göre daha düşük maliyetli ve yüksek dayanımlı olduğundan en yaygın kullanılan elyaf takviyesi türüdür. Elektrik yalıtkanlığı yüksek olduğundan E-cam elyaf ismini almıştır. S- cam, diğer elyaf türlerinden daha yüksek çekme dayanımına ve daha yüksek üretim maliyetlerine sahiptir. Hava araçlarının yapısal bileşenlerinde kullanılmakadır. C-camı, yüksek kimyasal korozyon dirençlerinden dolayı kimyasal uygulamalarda kullanılmaktadır. Kimyasal direncinden dolayı C- cam elyaf adını almıştır [25].

2.3. Polikarbonatın Geridönüşüm İşlemleri

Her geçen yıl dünya nüfusunun hızla artması ve insanların gelişen yaşam koşullarını benimseme ihtiyaçları, polimer tabanlı malzemlerin tüketiminde artışa yol açmaktadır. Ev aletleri, ambalaj, inşaat, tıp, elektronik, otomotiv ve havacılık gibi sayısız alanlarda kullanım alanı bulan plastikler, tüketim toplumuyla iç içe geçmiş

olduğundan onlarsız bir yaşam düşünülemez hale gelmiştir. Plastiklerin kullanımındaki azalmayan artış, atık olarak ortaya çıkan plastiklerin tekrar kullanılmasına ve geridönüşümüne olan yoğun ilgiyi artırmıştır. Dünya çapında plastik üretimi 1999 yılında 168 milyon ton olurken, 2010 yılında bu değer 210 milyon tona ulaşmıştır.

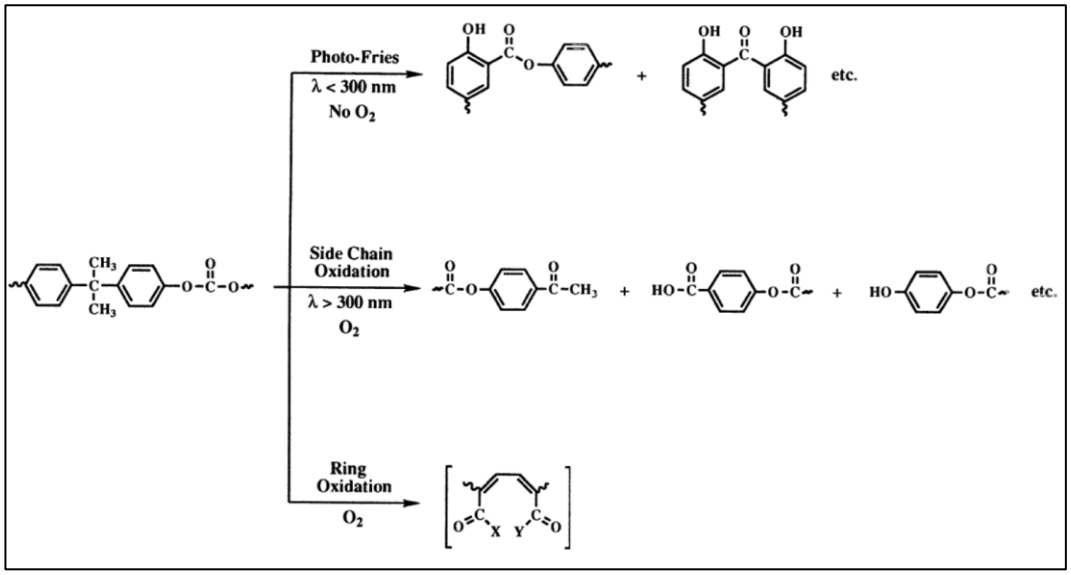
Plastiklerin geridönüşümü, çevresel etkileri ve kaynakların tüketimini azaltmak için bir yöntemdir. Geridönüşüm bu sayede enerji ve malzeme tüketimini düşürebilir ve ekolojik verimliliği artırabilir. İnşaat ve paketlemede kullanılan polimerik malzemelerin günlük uygulamalarından kaynaklanan atık birikiminin neden olduğu çevresel problemleri önlemenin tek yolu geridönüşüm uygulamasıdır. Çoğu polimerik malzeme petrol ve türevlerinden oluştuğu için geridönüşüm, doğal kaynakların korunmasına yardımcı olur [26].

2.4. Polikarbonatın Yaşlandırılması ve Bozunması

Polimerler kullanım alanlarında bulundukları iklim şartlarına bağlı olarak ışık radyasyonu, oksijen, kirlilik, yağmur, nem, sıcaklık vb. parametrelerden etkilenerek bozulmaya maruz kalırlar. Doğal ortamda kullanılan malzemelerin öncelikli bozulmaya uğrama sebebi UV radyasyonudur ve güneş ışığının fotokimyasal etkisi, plastiklerin absorbe etme özelliklerine ve bağ enerjilerine bağlıdır [27]. Güneş ışığına maruz kalan malzemeler; yüksek enerjili uv, düşük enerjili görünür ışık ve daha düşük enerjili kızılötesi radyasyonuna maruz kalırlar [28]. Gelen radyasyonun enejisinin, malzeme tarafından emilmesi yada reddedilmesine bağlı olarak emilen radyasyonun dalga boyu belirlenir. Emilen radyasyonun enerjisi malzemenin bağ enerjisini aştığı durumda bozulmalar meydana gelir.

Uv ışığına maruz kalan malzemenin yüzeyinde(yaklaşık 25 μm kalınlığında) genellikle sararma ve aşınmalar, daha uzun sürelerde çatlaklar oluşur. Kimyasal yapılarında ise foto-kızarma ve foto-oksidasyon (yan zincir ve halka oksidasyonu) tepkimeleri gerçekleşir (Şekil 2.4). Foto-kızarma reaksiyonları 300nm ‘den kısa dalgaboylarında gerçekleşir, foto-oksidasyon ise daha yüksek dalga boylarında meydana gelmektedir [2].

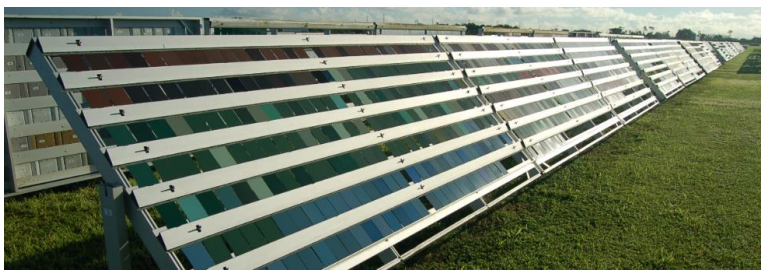
Polikarbonatın bozulma reaksiyonları genel olarak aşağıdaki üç mekanizmayla gerçekleşir [29].



Şekil 2.4: PC ‘nin radyasyon ışınları sonrası kimyasal yapısındaki tepkimeler.

Foto-kızarma reaksiyonları oksijenin varlığıyla kesilir dolayısıyla doğal yaşlanma durumunda bu reaksiyon daha az etkilidir, Foto-oksidasyon reaksiyonları ise oksijen varlığında etkin rol oynar [6].

Doğal yaşlandırma işlemi, dış ortamda kullanılacak olan malzemeden örnekler hazırlanarak uzun süreli doğal çevreye maruziyeti sonrası malzemenin performansını değerlendirmek için yapılmaktadır. Doğal yaşlandırma işlemleri ilgili standartlarda 45° açıyla güneye bakan yönde aşağıdaki resimdeki gibi numunelerin maruz bırakılması şeklinde belirtilmiştir (Şekil 2.5) [30]. Hızlandırılmış yaşlandırma ise yaşlandırma kabini içerisinde doğal ortamda bulunan ısı, ışık, hava, yağmur gibi etkileri daha hızlı bir şekilde gerçekleştirmeyi sağlayan içerisinde nemlendirme ve sisleme ünitesi, ışık radyasyonu ve sıcaklık kaynağı bulunan bir test sistemidir.



Şekil 2.5: Örnek doğal yaşlandırma dizilimi.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Malzeme ve Metod

3.1.1. Malzeme

Deneysel çalışma kapsamında plastik hammadde olarak Tecotek firmasından temin edilen polikarbonat (PC40 NL CA), %10 cam elyaf katkılı polikarbonat (PC40 GR10 NL CA), %20 cam elyaf katkılı polikarbonat (PC40 GR20 NL CA) ve %30 cam elyaf katkılı polikarbonat (PC40 GR30 NL CA) malzeme kullanılmıştır. Bu malzemelerin tezdeki kullanımı sırasıyla PC, PC/%10GF, PC/%20GF ve PC/%30GF olarak isimlendirilmiştir. Firmadan alınan teknik dökümanlara göre malzemelerin özellikleri Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1: Kullanılan malzemenin teknik özellikleri.

Tecotek® PC40						
Test	**Birim**	**NL CA**	**GR10 NL CA**	**GR20 NL CA**	**GR30 NL CA**	**Test Metodu**
Fiziksel						
Eriyik Akış İndeksi (300 °C/1,2 kg)	g/10dak	25	18	13	12	ISO 1133
Yoğunluk	g/cm^3	1,19	1,25	1,33	1,41	ISO 1183
Mekanik						
Kopma Dayanımı (23 ºC)	MPa	65	95	120	140	ISO 527
Kopma Uzaması (23 ºC)	%	>50	5	4	3	ISO 527
Izod Darbe Testi (23 ºC, çentikli)	KJ/m^2	10	7	12	14	ISO 180/1A

3.1.2. Metod

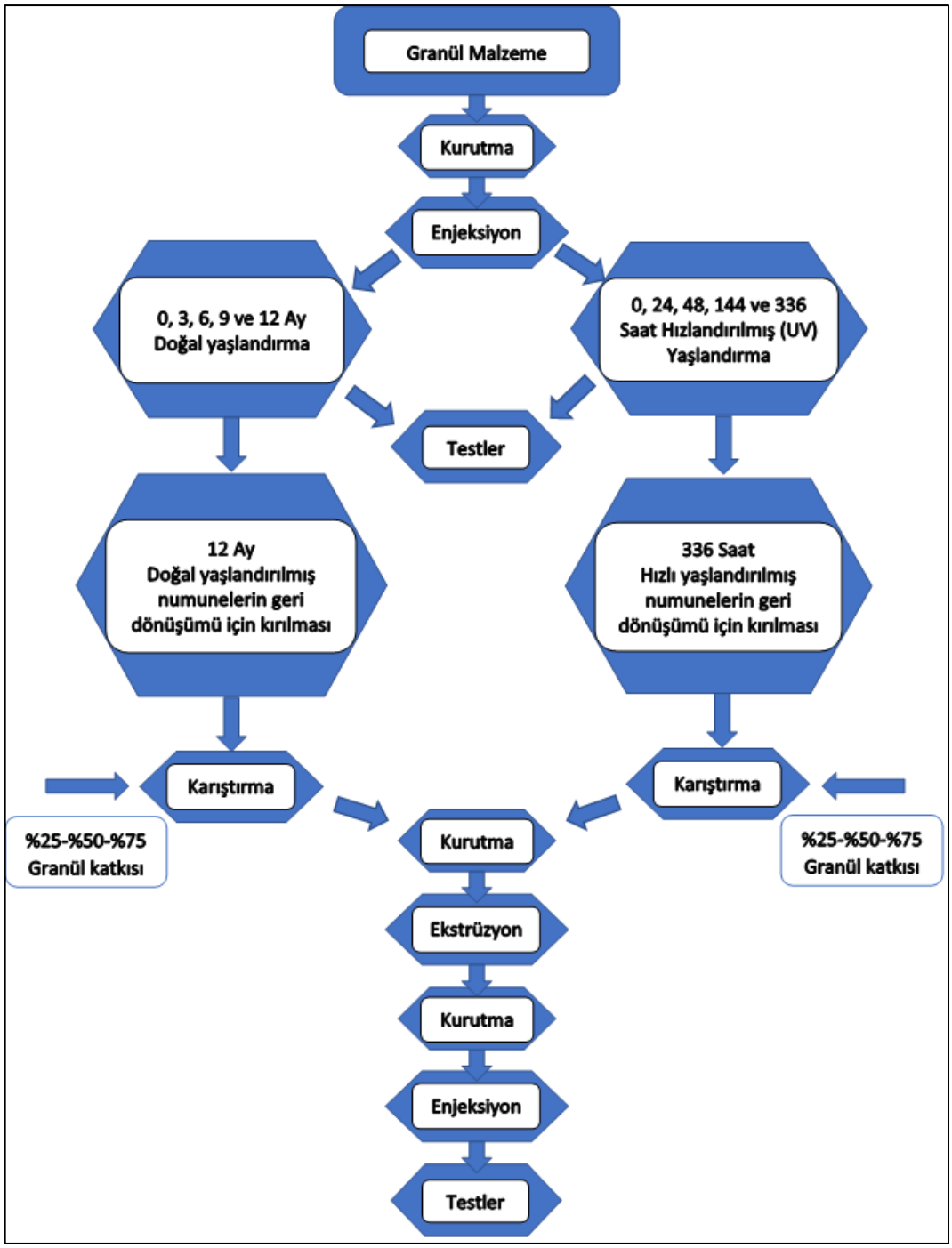
Bu projede gerçeleştirilen deneysel çalışma Şekil 3.1'de akış şeması verilen metodoloji uygulanarak gerçekleştirilmiştir.

İlk olarak tedarik edilen hammaddenin teknik özelliklerine göre belirli süre ve sıcaklıkta ön kurutma işlemi uygulanmıştır. Ardından plastik enjeksiyon cihazıyla standartlara uygun olarak üretilmiş kalıpta test numuneleri basılmıştır. Üretilen numunelerin ilk hallerinin (yaşlanmamış) testleri gerçekleştirilmiştir. Toplamda 12 ay doğal yaşlandırılacak numuneler, yaşlandırma rafına dizilerek 3 ayda bir yeterli sayıda numuneler alınıp sırasıyla 0, 3, 6, 9 ve 12. ayların testleri gerçekleştirilmiştir. Hızlandırılmış yaşlandırma (UV) için numuneler UV cihazına dizilmiş ve sırasıyla 0, 24, 48, 144 ve 336. saatlerinde numuneler cihazdan alınarak tetleri gerçekleştirilmiştir.

Geridönüşüm işlemleri için 12 ay doğal yaşlandırılmış numuneler yeterli sayıda alınarak kırma işlemi ve ardından belirli oranlarda (%25-%50-%75) saf granül katkısı ile mekanik olarak karıştırılıp ekstrüzyon işlemi ile karışımın granül hale gelmesi sağlanmıştır. Ardından tekrar kurutma işlemi yapılarak plastik enjeksiyon cihazında test numunelerinin üretimi gerçekleştirilmiş ve son olarak testleri yapılmıştır.

Hızlandırılmış yaşlandırma işlemindeki geridönüşüm işlemleri için 336 saat sonunda yaşlandırılmış numuneler, yine doğal yaşlandırmadaki gibi aynı işlemlerden geçirilerek, numunelerin son testleri gerçekleştirilmiştir. Burada hızlandırılmış yaşlandırma cihazının kapasitesi yeterli malzeme barındıramadığından geridönüşüm için gerekli numuneler, yeniden üretilip 336 saat yaşlandırılarak işlemlere devam edilmiştir. Her kontrol zamanı geldiğinde ağırlık numuneleri ölçülerek bir sonraki ölçüm için tekrar doğal yaşlandırma rafına ve UV cihazına koyulmuştur.

Mekanik testler kapsamında çekme, eğme, darbe, eriyik akış (MFI) testleri, ağırlık kontrolü ve taramalı elektron mikroskobuyla (SEM) görüntü alma işlemleri gerçekleştirilmiştir.

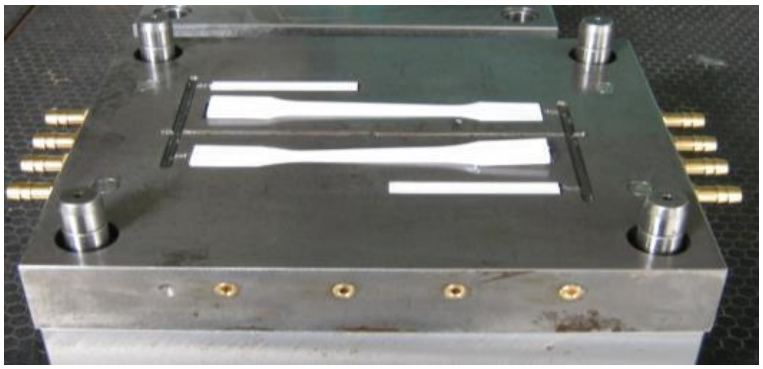


Şekil 3.1: Deneysel çalışma akış şeması.

3.1.3. Numune Hazırlama

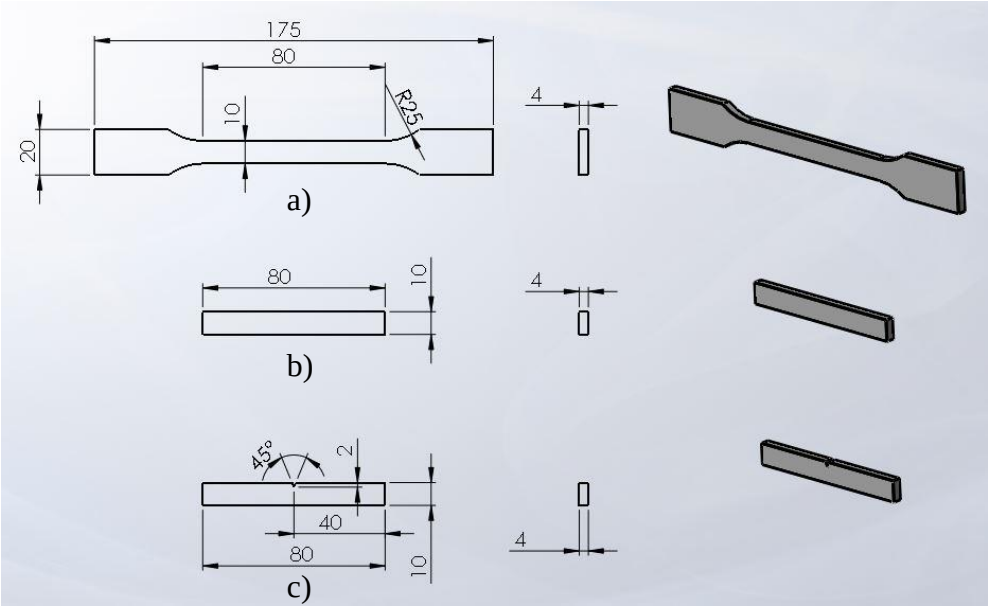
Çalışmada kullanılacak numuneler, GTÜ plastik enjeksiyon labaratuvarında bulunan YUZUMİ marka plastik enjeksiyon cihazı (şekil 3.2) kullanılarak 4 gözlü kalıpta (Şekil 3.3) basılmıştır.

Şekil 3.2: Plastik enjeksiyon cihazı.



Şekil 3.3: Dört kaviteli kalıp.

Çekme numunesi (Şekil 3.4.a); ISO 527 standardına göre, eğme ve darbe numunesi (Şekil 3.4.b ve Şekil 3.4.c); ISO 178 ve ISO 180 standartlarına göre hazırlanmıştır.



Şekil 3.4: Basılan numunelerin örnek görüntüsü.

Herbir malzeme için numunelerin üretimi hammadde teknik verilerinden alınan Tablo 3.2'deki parametrelere göre üretilmiştir.

Tablo 3.2: Plastik enjeksiyon üretim parametreleri.

Malzemeler	Isıtıcılar (°C)				Enjeksiyon Basıncı (bar)	Enjeksiyon Hızı (%)	Soğuma Zamanı (s)	Ütüleme Basıncı (bar)	Ütüleme Zamanı (s)	Mal Alma Hızı (%)	Kalıp Sıcaklığı (°C)	Chiller Soğutma Ünitesi Sıcaklığı (°C)
	1 (Nozul)	2	3	4								
PC	280	275	270	260	100	65	25	75	3	60	70	15
PC/%10GF	300	295	290	285	120	65	15	90	3	55	90	15
PC/%20GF	300	295	290	285	120	65	15	90	3	55	90	15
PC/%30GF	300	295	290	285	120	75	15	90	3	59	90	15

Numuneler enjeksiyonda üretilmeden önce içerisinde bulunana nem ve bozucu etkileri azaltmak için Tablo 3.3' te verilen değerlerde kurutma işlemine tabi tutulmuştur.

Tablo 3.3: Polimerik malzemeler için kurutma sıcaklıkları ve süreleri.

Malzemeler		Kurutma Sıcaklığı (°C)	Kurutma Süresi (saat)
1.	PC	100	3
2.	PC/%10GF	120	3
3.	PC/%20GF	120	3
4.	PC/%30GF	120	3

3.1.4. Yaşlandırma İşlemleri

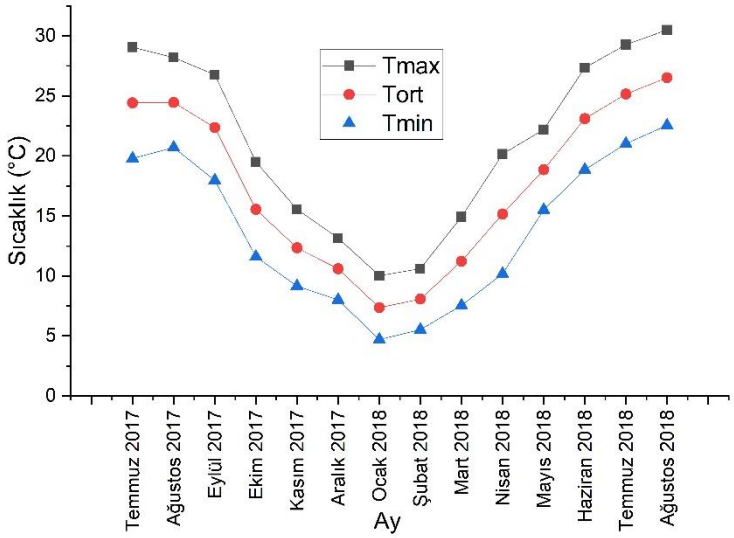
3.1.4.1. Doğal Yaşlandırma

Raf üzerine yerleştirilmiş numunelerin maksimum gün ışığına maruz kalmasını sağlamak için (TS EN ISO 877-1, 2011) [31] standarta uygun olarak 45° açıyla güneye bakacak şekilde GTÜ Makine Mühendisiği Bölümü binasının çatısına kurulmuştur. Doğal yaşlandırma işlemi, 3, 6, 9 ve 12 aylık maruz kalma süreleri boyunca doğal şartlar altında bırakılarak yapılmıştır. Doğal yaşlandırma işlemi için kullanılan raf Şekil 3.5'te gösterilmiştir.

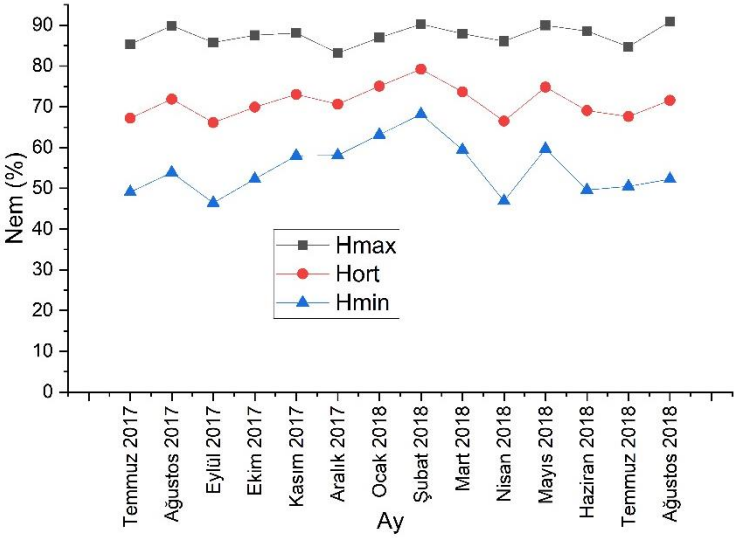
Şekil 3.5: Doğal yaşlandırmada kullanılan raf.

Doğal ortamda yaşlandırma işlemine tabi tutulan malzemelerin, test raflarına yerleştirilme tarihlerinden itibaren 3'er aylık dönemlerde en yüksek ve en düşük sıcaklık değerleri Tablo 3.4'te verilmiştir. Bu bilgiye ek olarak doğal yaşlandırma işleminin gerçekleştirildiği Gebze/KOCAELİ bölgesine ait iklim değerleri tez dönemi

süresince aylık ortalama sıcaklık değerleri Şekil 3.6'da, ortalama nem miktarları ise Şekil 3.7'deki grafiklerde verilmiştir [32].



Şekil 3.6: Aylara göre ortalama sıcaklık grafiği (Tmax : en yüksek sıcaklık, Tort : ortalama sıcaklık, Tmin : en düşük sıcaklık).



Şekil 3.7: Aylara göre ortalama nem grafiği (Hmax : en yüksek nem miktarı, Hort : ortalama nem miktarı, Hmin : en düşük nem miktarı).

Tablo 3.4: Doğal ortamda yaşlandırmaya maruz bırakma süreleri ve ortalama sıcaklık değerleri.

Polimerik Malzemeler	**Doğal Ortamda Tutulma Tarihleri**	Sıcaklık Ortalaması (°C)							
		0 – 3. Ay		3. – 6. Ay		6. – 9. Ay		9. – 12. Ay	
		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
PC	17.07.2017 18.07.2018	26,38	18,09	14,41	8,53	13,39	6,59	25,28	16,98
PC/%10 GF	1.08.2017 1.08.2018	24,65	16,61	12,95	7,27	15,36	7,83	26,30	18,51
PC/%20 GF	2.08.2017 2.08.2018	24,50	16,44	12,93	7,28	15,36	7,83	26,43	18,63
PC/%30 GF	7.08.2017 7.08.2018	23,63	15,72	12,84	7,19	15,78	8,37	27,16	19,23

Proje süresince 4 farklı malzeme, iki farklı yaşlandırma yöntemi ve bir çok karakterizasyon işlemi yapılacağından numunelerin birbirleri ile karışmaması önem arz etmektedir. Bu sebeple doğal ortamda yaşlandırılan malzemelere uygulanan numune adlandırması Tablo 3.5'te verilmiştir.

Tablo 3.5: Doğal ortamda yaşlandırılan numunelerin isimlendirmesi.

İşlem	Numune Adı
3 ay doğal yaşlandırma	Polimer adı-N-3 (Örnek: PC-N-3)
6 ay doğal yaşlandırma	Polimer adı-N-6 (Örnek: PC-N-6)
9 ay doğal yaşlandırma	Polimer adı-N-9 (Örnek: PC-N-9)
12 ay doğal yaşlandırma	Polimer adı-N-12 (Örnek: PC-N-12)

3.1.4.2. Hızlandırılmış Yaşlandırma

Hızlandırılmış yaşlandırma test prosedürü, malzemelerin kontrollü yükseltilmiş sıcaklıklardaki nem ve UV-A ya da UV-B tipi floresan lambaların değişken çevrimlerine maruz bırakılmasıyla numunelerin gün ışığı, yağmur ve nem gibi uzun süreli dış ortam şartlarında simüle edilmesini sağlar. UV ışığı güneş ışınlarının sadece %5'ini oluşturmasına rağmen UV ışınlarına maruz kalan malzemelerin zarar görmesine neden olur. UV ışınlarının malzemeler üzerindeki zararlı etkilerini taklit etmek için kısa dalgaboylarına sahip UV floresanlarını kullanmak yeterlidir. UVA-340 (ASTM G 154, 2006) [33] tipi lambalar diğer tipleriyle kıyaslandığında gün ışığını en iyi simüle eden lambalardır [34].

Hızlandırılmış yaşlandırma işlemi, QV-LAB Accelerated Weathering Tester cihazıyla (Şekil 3.8), UV-A tipi 340 nm dalgaboyuna sahip lambalar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu dalgaboyuna sahip lambanın tercih edilmesinin nedeni bu lambanın doğal ortamda gün ışığının yaydığı en uygun dalgaboyunu vermesidir. Hızlandırılmış yaşlandırma şartları, 0,68 W/m^2 ışık şiddeti ile 4 saat 50°C'de UV ışınlarına ardından 4 saat 50°C'de yoğuşmaya (ışıksız ortamda) maruz bırakılacak şekilde, toplamda 48, 144 ve 336 saatlik çevrimler şeklinde uygulanmıştır. Işık şiddetinin kontrolü ve kalibrasyonu her bir yaşlandırma işlemi öncesinde (336 saatlik toplam işlem süresi), cihazın kalibrasyon aparatı ile gerçekleştirilmiştir.

Şekil 3.8: Hızlandırılmış yaşlandırmada kullanılan cihaz.

Hızlandırılmış yaşlandırma işlemine tabi tutulan numuneler Tablo 3.6'da verildiği gibi isimlendirilmiştir.

Tablo 3.6: Hızlandırılmış yaşlandırma yapılan numunelerin isimlendirilmesi.

İşlem	Numune Adı
48 saat hızlandırılmış yaşlandırma	Polimer adı-UV-48 (Örnek: PC-UV-48)
144 saat hızlandırılmış yaşlandırma	Polimer adı-UV-144 (Örnek: PC-UV-144)
336 saat hızlandırılmış yaşlandırma	Polimer adı-UV-336 (Örnek: PC-UV-336)

3.1.5. Geridönüşüm İşlemleri

12 Ay yaşlanmış numuneler mekanik kırıcıda(Şekil 3.9.) kırıldıktan sonra sırasıyla %25, %50 ve %75 oranlarında yaşlanmamış PC polimeriyle karıştırılmıştır. Ardından bu karışım 40 L/D oranına sahip çift vidalı laboratuvar tipi plastik ekstrüder cihazında (Şekil 3.10) ekstrüzyon işlemleri gerçekleştirilmiştir. Ardından filement halinde çıkan polimer karışımı mekanik kırıcı yardımıyla kırılmıştır.

Şekil 3.9: Mekanik kırıcı.

Şekil 3.10: Karışımların Plastik Ekstrüder cihazı.

Granül halindeki polimerden enjeksiyonla numune üretmeden önce nem ve kalıntıların giderilmesi için kurutma işlemi her ekstrüzyon işlemi öncesi aynı değerlerde tekrarlanmıştır. Karışım ekstrüze edilmeden önce enjeksiyon öncesi kurutma parametrelerinde verilen tabloya göre kurutma işlemleri gerçekleştirildi. Ekstrüzyonu yapılan granüllerden numune üretmek için tekrar enjeksiyon işlemine tabi tutulmuştur. Karışımların homejen karışması için kullanılan ekstrüzyon cihazına ait üretim parametreleri Tablo 3.7'de verilmiştir.

Tablo 3.7: Plastik Ekstrüder üretim parametreleri.

Malzemeler	**Isıtıcılar (°C)**					**Ekstrüder hızı(d/dak.)**	**Besleme hızı (d/dak.)**	**Chiller Soğutma Ünitesi Sıcaklığı (°C)**
	Kalıp	**Gövde**	**Giriş2**	**Giriş1**	**Boğaz**			
PC	300	300	250	175	90	60	7	10
PC/%10GF	280	300	250	175	90	50	7	10
PC/%20GF	285	300	250	175	90	50	7	10
PC/%30GF	285	300	250	175	90	60	10	10

Geridönüşüm işlemleri uygulanan numunelerin kodlanması Tablo 3.8'de verilmiştir.

Tablo 3.8: Geridönüşüm işlemleri uygulanan numunelerin isimlendirilmesi.

İşlem	Numune Adı
Hızlandırılmış yaşlandırma	Polimer adı-saf oran+UV+yaşlanmış oran-GD (Örnek: PC-25UV75-GD) : %25 saf PC ve %75 hızlı yaşlandırılmış PC geridönüşümü
Doğal Yaşlandırma	Polimer adı-saf oran+N+yaşlanmış oran-GD (Örnek: PC-25N75-GD): %25 saf PC ve %75 doğal yaşlandırılmış PC geridönüşümü
Not: N: Doğal Yaşlandırma, UV: Hızlandırılmış Yaşlandırma, GD: Geri Dönüşüm	

3.1.6. Uygulanan Testler

3.1.6.1. Çekme Testi

Enjeksiyon makinesinde üretilen numunelerin çekme testleri, GTÜ Malzeme Bilimi ve Mühendisliği bölümüne ait Instron 5569 çekme test cihazında (Şekil 3.11) yapılmıştır (TS EN ISO 527-1, 2012) [35]. Çekme testleri 5 adet numune üzerinde gerçekleştirilmiş ve ortalama değerleri alınmıştır. Çekme testi parametreleri Tablo 3.9'da verilmiştir. Çekme dayanımı ve çekme modülü, malzemelerin mekanik özellikleri hakkında bilgi edinmede kullanılan en önemli göstergeler arasındadırlar. Çekme testi, iki ucundan çekilen bir malzemenin çekme kuvvetlerine dayanma kabiliyetinin ve malzemenin kırılmadan ne kadar uzayacağının ölçümüdür. Sürekli olarak iki ucundan çekilen numunelerden elde edilen gerilme-uzama eğrisinden malzemeye ait elastisite modülü hesaplanır.

Şekil 3.11: Çekme çeneleri takılmış universal test cihazı.

Tablo 3.9: Çekme testi için parametreler.

No	Malzeme	Çekme Hızı (mm/dak)
1.	PC	50
2.	PC/%10GF	5
3.	PC/%20GF	5
4.	PC/%30GF	5

3.1.6.2. Eğme Testi

Eğme dayanımı testleri Instron 5569 markalı cihaz (Şekil 3.12) kullanılarak yapılmıştır (TS EN ISO 178, 2011) [36]. Eğme testleri 5 adet numune üzerinde gerçekleştirilmiş ve ortalama değerleri alınmıştır. Eğme testi parametreleri Tablo 3.10'da verilmiştir. Eğme testi, basit kiriş yüküne maruz kalan malzemelerin davranışını ölçer. Numune her iki uçlarından desteklenir ve merkezden sürekli bir yük ile eğmeye zorlanır. Numunenin başlangıç pozisyonu ile eğme sonrası pozisyonu arasındaki fark çökme olarak adlandırılır. Bu durumda maksimum çökme uzunluk boyunca merkezde meydana gelir. Yük artışıyla birlikte maksimum gerilme ve çökme eğrisi çizilir. Buradan da eğme elastisite modülü hesaplanır.

Şekil 3.12: Eğme çeneleri takılmış universal test cihazı.

Tablo 3.10: Eğme testi için parametreler.

No	Malzeme	Eğme Hızı (mm/dak)	Destek Mesafesi (mm)
1.	PC	10	60
2.	PC/%10GF	5	60
3.	PC/%20GF	5	60
4.	PC/%30GF	5	60

3.1.6.3. Darbe Testi

Testler CEAST 9050 model test cihazında (Şekil 3.13) ISO 180 standardına göre yapılmıştır (TS EN ISO 180, 2006) [37]. Darbe testleri 5 adet numune üzerinde gerçekleştirilmiş ve ortalama değerleri alınmıştır. Darbe testi parametreleri Tablo 3.11'de verilmiştir. Darbe testi, mühendislik malzemelerinin darbe dayanımını ve çentik hassasiyetini ölçmek için kullanılan bir metottur. Döner bir çekiç kol belirli bir yüksekliğe çıkarılır ve sabit potansiyel enerjiyle serbest bırakılır. Numuneye açılan V profilli çentiğin olduğu yüze vuran çekicin etkisiyle numune kırılır. Numune tarafından emilen enerji, çekicin numuneye çarptıktan sonra çıktığı yüksekliğe göre hesaplanır.

Şekil 3.13: Darbe testi cihazı.

Tablo 3.11: Darbe testi için parametreler.

No	Malzeme	Çekiç (J)	Çentik
1.	PC	2,75	var
2.	PC/%10GF	2,75	var
3.	PC/%20GF	2,75	var
4.	PC/%30GF	2,75	var

3.1.6.4. Eriyik Akış Testi (MFI)

Eriyik akış testleri, DEVOTRANS EA3 test cihazında (Şekil 3.14) ISO 1133 standardı dikkate alınarak yapılmıştır. Eriyik akış indeksi (melt flow index, MFI) testinde, malzeme sıcaklık ile eritilerek üzerine belirli bir yük uygulanır ve bu yük altında kılcal bir borudan 10 dakika içerisinde ne kadar malzemenin aktığı belirlenir. MFI testleri 5 adet numune üzerinde gerçekleştirilmiş ve ortalama değerleri alınmıştır. Kullanılan malzeme çeşitlerine göre standartlardaki ağırlık ve sıcaklık tablosu Tablo 3.12'de verilmiştir. MFI değeri teorik olarak aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır (TS EN ISO 1133-1, 2012) [38].

$$MFI = \frac{600\ x\ m}{t}, \qquad m = \rho \text{ x A x l} \tag{3.1}$$

Şekil 3.14: MFI testi cihazı.

Tablo 3.12: MFI testi için parametreler.

No	Malzeme	Ağırlık (kg)	Sıcaklık (°C)
1.	PC	1,2	300
2.	PC/%10GF	1,2	300
3.	PC/%20GF	5,2	260
4.	PC/%30GF	1,2	300

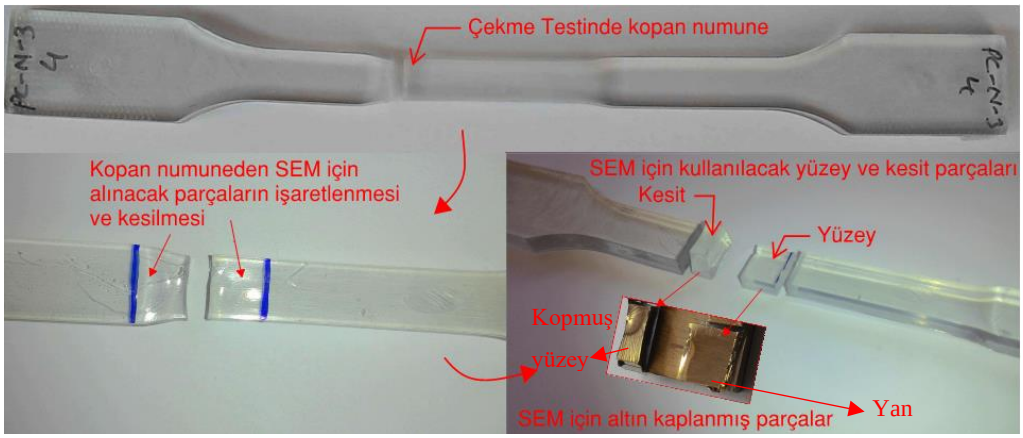
3.1.6.5. Ağırlık Ölçüm Testi

Üretilen numuneler belirtilen test süreleri sonunda ağırlıkları tartılarak kontrol edilmektedir. Numunelerin ağırlık ölçümleri hassas teraziyle (Şekil 3.15) yapılmıştır.

Şekil 3.15: Hassas terazi.

3.1.6.6. Taramalı Elektron Mikroskop(SEM) Görüntülerinin İncelenmesi

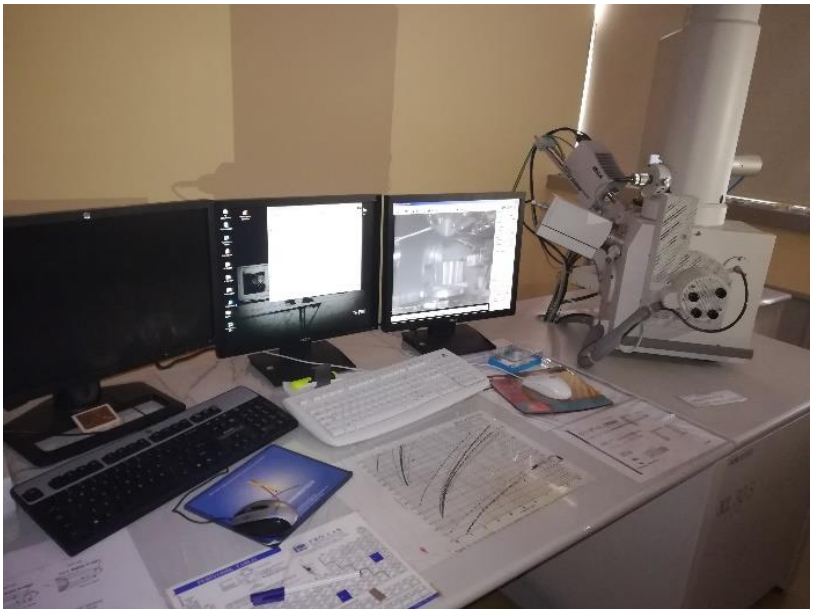
SEM testi için kullanılan numuneler çekme testinde kopan numunelerden alınarak yapılmıştır. Kopan numunelerin kopma yüzeyine yakın yerlerinden 1 adet kopma yüzeyi ve 1 adet bu yüzeye dik yan yüzeyden (UV ve doğal yaşlandırmaya maruz kalan yüzey) kesilerek alınmıştır. Örnek numuneye ait SEM parçalarının hazırlanması Şekil 3.16'da gösterilmiştir.



Şekil 3.16: SEM görüntüleri için numune hazırlanması.

SEM analizleri Philips XL 30 SFEG marka taramalı elektron mikroskobu kullanılarak yapılmıştır (Şekil 3.17). İletken olmayan numuneler elektron ışını

tarafından taranırken şarj olmaya (yük birikmesi) eğilimlidirler. Yük birikmesi numunede tuhaf ve bozuk görüntülerin oluşmasına sebep olduğundan bu tür numuneler elektriksel olarak iletken bir malzeme ile kaplanırlar. Bu iletken malzeme altın ya da karbon olabilir. Altın kaplama işlemi, püskürtmeyle altın kaplama cihazıyla yapılmıştır.



Şekil 3.17: SEM cihazı.

4. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

4.1. PC Malzeme Test Sonuçları

4.1.1. Doğal Yaşlandırma

PC test numunelerinin doğal yaşlandırma öncesi, sonrası ve geridönüşüm sonrasında çekilen görüntüleri Tablo 4.1'de verilmiştir. Görüntülerden anlaşılacağı üzere numunelerde doğal yaşlandırma işlemi ile belirgin bir renk değişimine rastlanmamıştır. Geridönüşüm işlemleri sonrasında yaşlanmamış saf granül oranının artmasıyla renk koyudan açık renge doğru değişmiştir. Yaşlanmış granül oranının artması, renkte koyulaşma meydana getirmiştir.

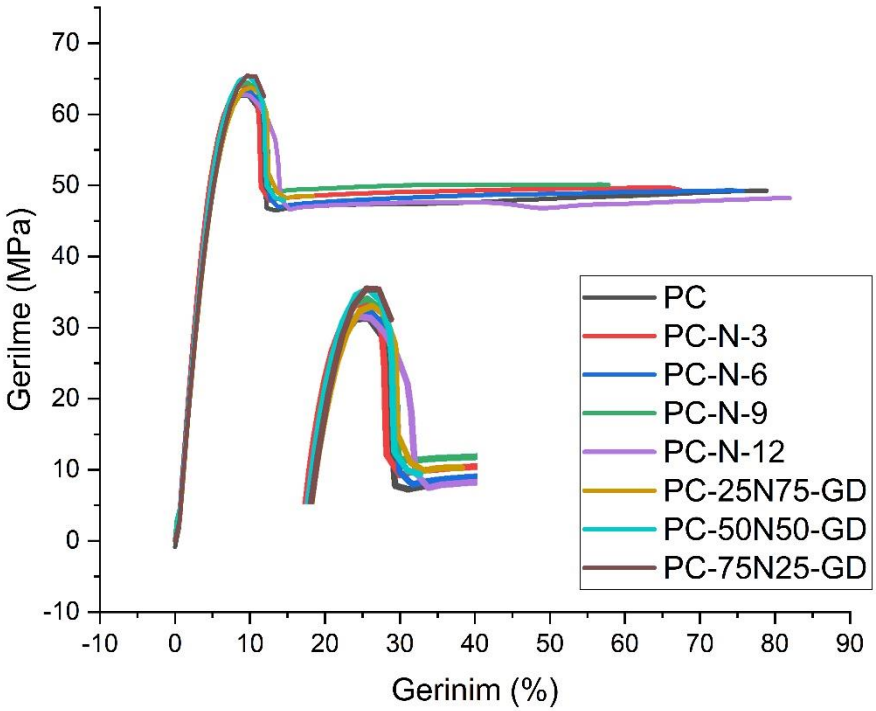
Tablo 4.1: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC numunelerinin üretim sonrası örnek resimleri.

Doğal Yaşlandırma Numuneleri	**0***	**3**	**6**	**9**	**12**	**PC-25N75-GD**	**PC-50N50-GD**	**PC-75N25-GD**
PC								

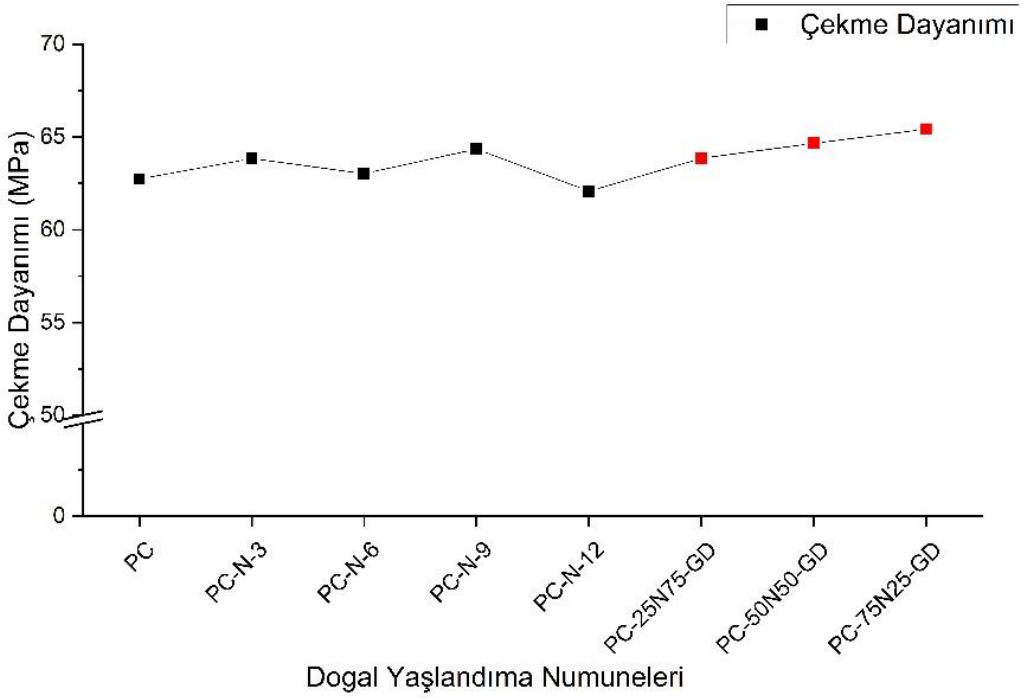
* Yaşlandırılmamış PC polimerini ifade etmektedir.

Üretildikten 24 saat sonra (yaşlandırılmamış) ve 3, 6, 9, 12 ay doğal yaşlandırmaya maruz bırakılan PC ve 12 ay doğal yaşlandırılan PC numunelerine, geridönüşüm sonrası uygulanan çekme testlerinin sonuçları Şekil 4.1'deki gerilme -

gerinim grafiği ile verilmiştir. Tipik gerilme - gerinim eğrisinden elde edilen çekme dayanımı değerlerinin yaşlandırma süresi ile ilişkisi ise Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Çekme dayanımı ve kopma uzaması ortalama değerleri ve testler sırasında elde edilen sapmalar Tablo 4.2'de verilmiştir. PC numunelerinin çekme testlerinden elde edilen verilere göre yaşlanma süresi ve geridönüşümün, çekme dayanımlarında önemli bir değişiklik meydana getirmemiştir. Benzer sonuçlar literatürde de gözlenmiştir [13], [15]. 12 ay doğal yaşlanmış PC numunelerinin ortalama değeri 62,08MPa olarak ölçülmüş ve 12 ay yaşlanmış numunelere sırasıyla %25, %50 ve %75 oranlarında saf katkıların katılması çekme dayanımlarında sırasıyla %2,85, %4,16 ve %5,38 oranlarında çok az artışlara sebep olmuştur. Kopma uzmalarında ise yaşlanma süresiyle birlikte sürekli düşüş gözlenmiştir. Numunelerin dış ortam şartlarında yaşlanma zamanıyla gevrek hale geldiği görülmüştür. 12 Ay yaşlandırılmış numunelere sırasıyla %25, %50 ve %75 saf PC polimerinin katılması, kopma uzamalarını düşürmeye devam etmiştir. Kopma uzamalarında görülen düşüşler literatürde de gözlenmiştir [9], [14], [15].



Şekil 4.1: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC numunelerinin gerilme - gerinim grafiği.



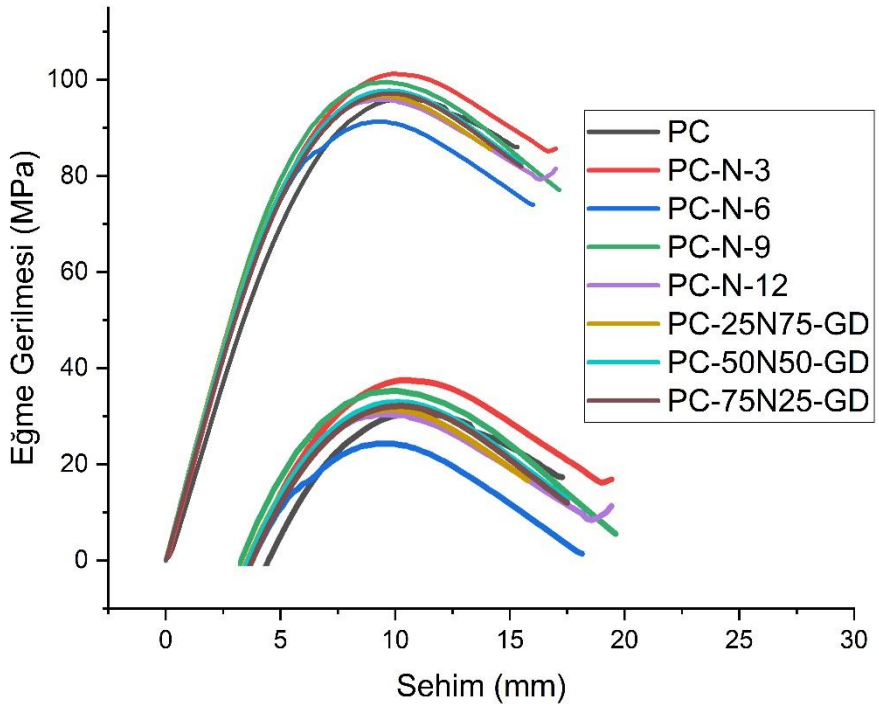
Şekil 4.2: Çekme dayanımı değişimi grafiği.

Tablo 4.2: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC numunelerinin çekme testi sonuçları.

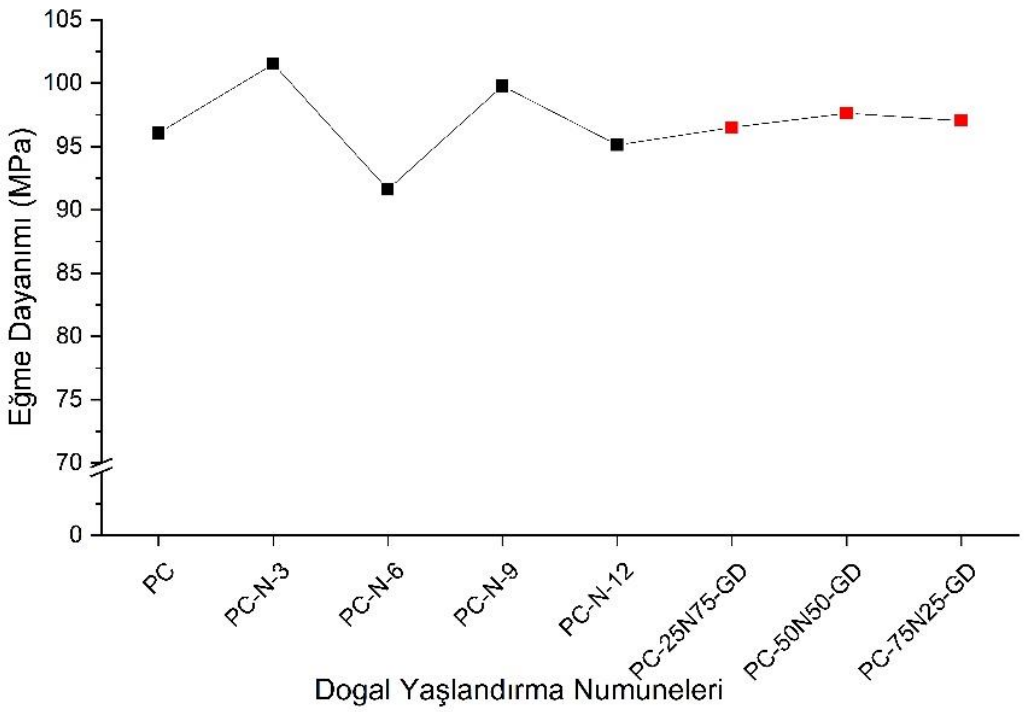
Polimerik Malzemeler	**Kopma Uzaması (%)**	**Çekme Dayanımı (MPa)**
PC	91,58±38.00	62,73±0,50
PC-N-3	61,72±30.00	63,84±0,80
PC-N-6	81,35±20.00	63,02±0,20
PC-N-9	64,35±16.00	64,35±0,23
PC-N-12	52,84±42,28	62,08±2,08
PC-25N75-GD	25,23±9,50	63,85±0,35
PC-50N50-GD	19,11±11,05	64,66±0,87
PC-75N25-GD	14,84±4,70	65,42±0,30

Doğal yaşlandırmaya maruz bırakılan ve geridönüşüm uygulanan PC numunelerinin eğme gerilmesi - sehim grafiği Şekil 4.3'te verilmiştir. Eğme dayanımı değerlerinin yaşlandırma süresi ile ilişkisi Şekil 4.4'te gösterilmiştir. Eğme testi sonuçlarının ortalama değer ve sapmaları Tablo 4.3'te verilmiştir. PC numunelerinin eğme dayanımları yaşlanma süresiyle ve geridönüşüm uygulanmasından pek etkilenmemiştir. 3, 6, 9 ve 12 aylık doğal yaşlandırma süreleri boyunca PC numunelerindeki değişim sırasıyla %5 artış, %5 azalış, %3 ve % 1 artış şeklinde gerçekleşmiştir. 3. ve 9. Aylarda gözlenen eğme dayanımlarındaki artışın PC

numunelerinin yüzey sertliğinin yaşlanma zamanıyla birlikte artığı için gerçekleştiği literatürde değinilmiştir [39]. Literatürde, doğal ortamda yaşlandırılan numunelerin ışık ve oksijenin etkisiyle gerçekleşen fotooksidasyon mekanizması, numune yüzeyinde sert bir oksit tabakasının oluşturduğunu ve bu durumun da eğme dayanımında bir artışa sebep olduğuna değinilmiştir [9]. Geridönüşümün etkisiyle gerçekleşen değişimler ise 12 ay doğal yaşlanmış numunelere göre sırasıyla %1, %2 ve %1,5 artış şeklindedir.



Şekil 4.3: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC numunelerinin gerilme - sehim grafiği.

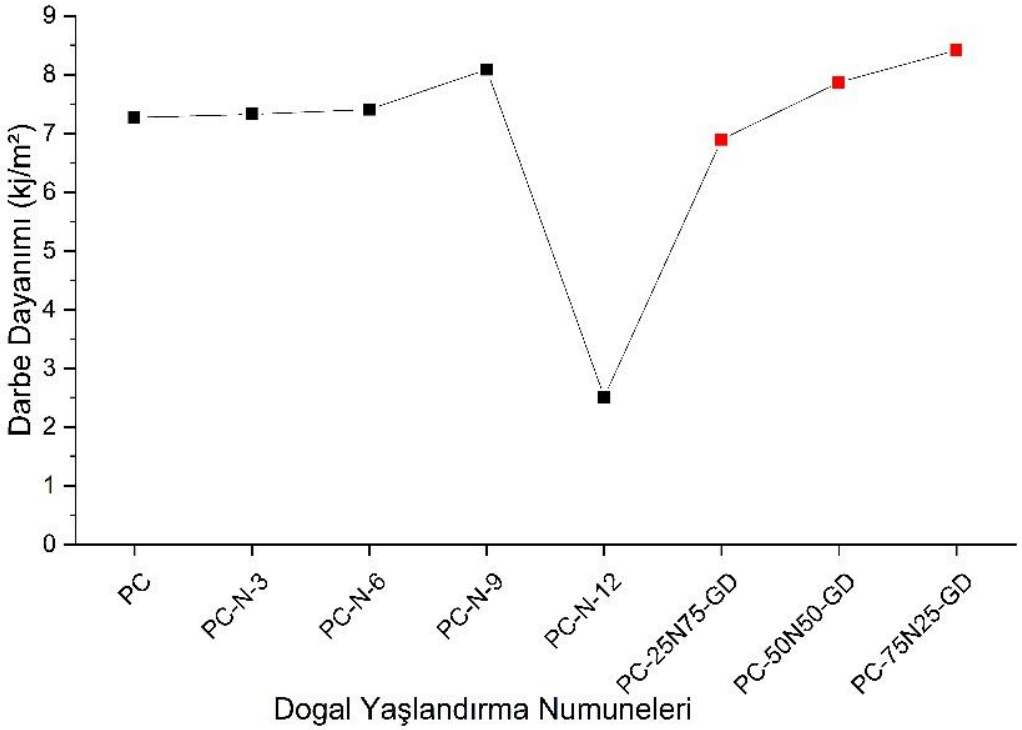


Şekil 4.4: Eğme dayanımı değişim grafiği.

Tablo 4.3: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC numunelerinin eğme testi sonuçları.

Polimerik Malzemeler	**Toplam Sehim (mm)**	**Eğme Dayanımı (MPa)**
PC	15,22±0,30	96,06±2,60
PC-N-3	17,02±0,20	101,52±1,00
PC-N-6	16,49±0,50	91,61±2,60
PC-N-9	25,02±1,20	99,78±0,70
PC-N-12	16,96±0,31	95,51±0,84
PC-25N75-GD	14,69±0,72	96,50±62,00
PC-50N50-GD	15,19±0,34	97,65±0,35
PC-75N25-GD	14,56±1,18	97,04±0,67

Doğal yaşlandırmaya maruz bırakılan ve geridönüşüm uygulanan PC numunelerinin darbe dayanımı grafiği Şekil 4.5'te verilmiştir. Darbe testi sonuçlarının ortalama değer ve sapmaları Tablo 4.4'te verilmiştir. İlk 9 ay boyunca darbe dayanımlarında önemli bir değişiklik görülmezken 12 Ay sonunda yaşlanmamış PC numunelerine göre %65 düşüş gözlenmiştir. Bu düşüş yaşlanan numunelerinin giderek sünek yapıdan gevrek bir yapıya döndüğünün göstergesidir [9]. Geridönüşüm, 12 ay yaşlanmış PC numunelerinin darbe dayanımlarında sırasıyla %174, %213 ve %235 ciddi ölçüde artış sağlamıştır.



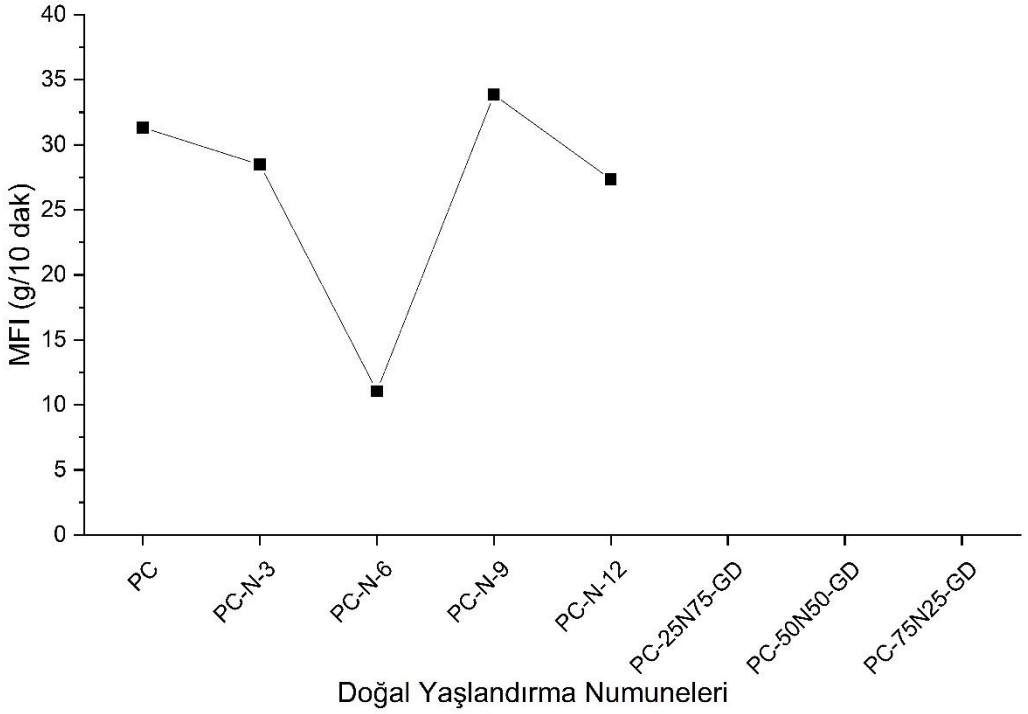
Şekil 4.5: Darbe dayanımı değişim grafiği.

Tablo 4.4: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC numunelerinin darbe testi sonuçları.

Polimerik Malzemeler	Darbe Dayanımı (kJ/m^2)
PC	7,27±0,40
PC-N-3	7,33±0,60
PC-N-6	7,41±0,40
PC-N-9	8,09±0,45
PC-N-12	2,51±0,16
PC-25N75-GD	6,90±1,25
PC-50N50-GD	7,87±0,23
PC-75N25-GD	8,42±0,28

Doğal yaşlandırmaya maruz bırakılan ve geridönüşüm uygulanan PC numunelerinin MFI değişim grafiği Şekil 4.6'da verilmiştir. MFI testi sonuçlarının ortalama değer ve sapmaları Tablo 4.5'te verilmiştir. PC numunelerinin eriyik akış testi sonuçları incelendiğinde, numunelerin MFI değerlerinin başlangıç değerlerine göre 3. ay sonunda %10, 6. ay sonunda ise %65 oranında düştüğü görülmüştür. 9. ay sonunda MFI değeri %8 artmıştır ve 12. Ay sonunda ise yaklaşık %12 azalış görülmüştür. Görüldüğü üzere PC numunelerinin doğal yaşlandırılması sonrasında MFI testlerinden çok değişken değerler elde edilmiştir. Geridönüşüm uygulanan PC

numunelerinde ise, standart sıcaklık değerlerinde sağlıklı ölçüm alınamamış olmasından dolayı grafiklere yansıtılmamıştır. Tablolarda "*" işareti ile gösterilmiştir.



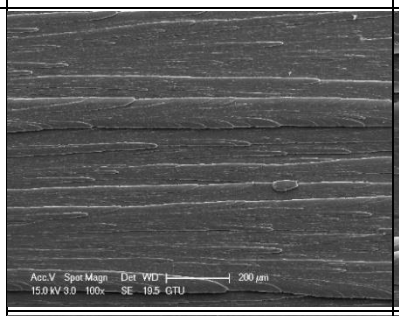
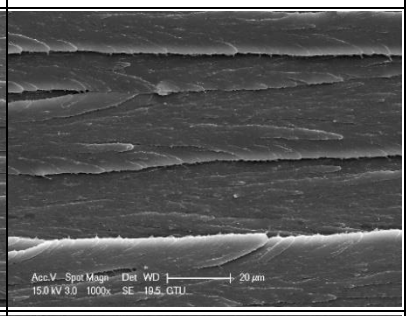
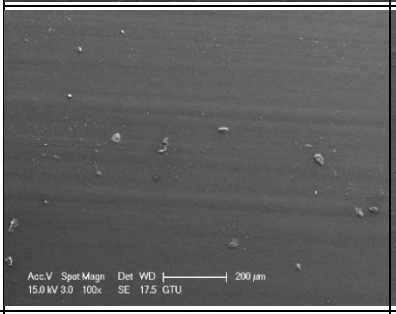
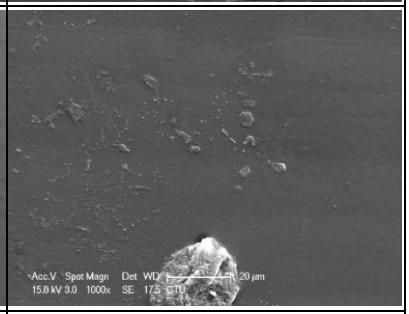
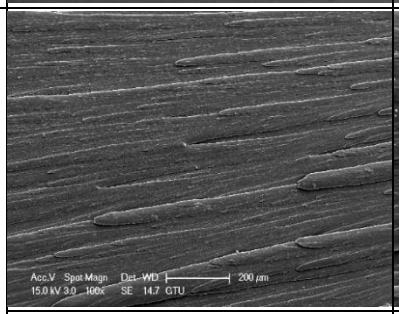
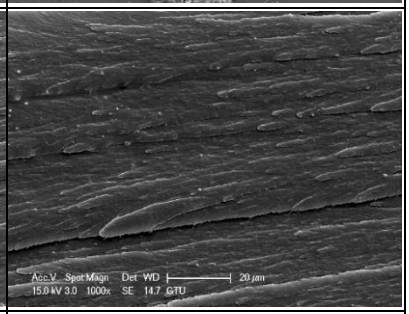
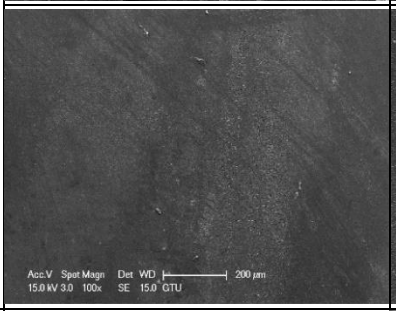
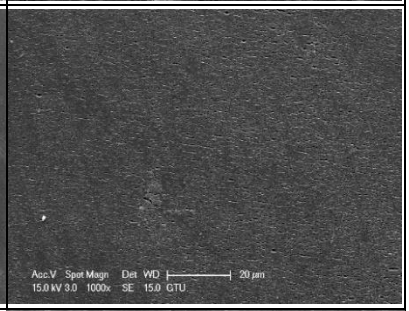
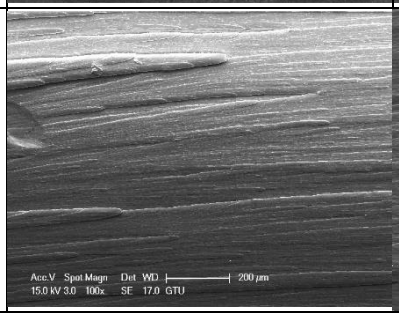
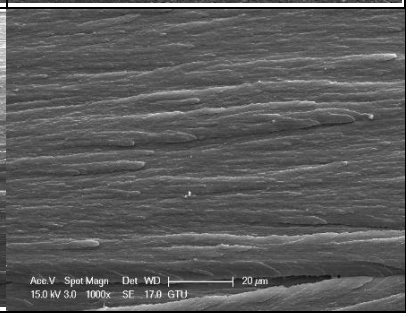
Şekil 4.6: MFI değişim grafiği.

Tablo 4.5: Doğal ortamda yaşlandırılan PC numunelerinin MFI testi sonuçları.

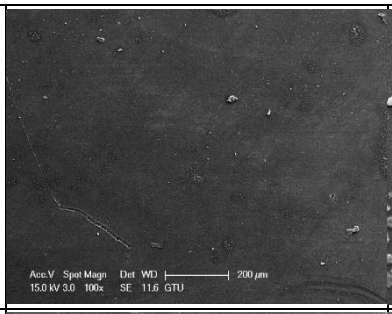
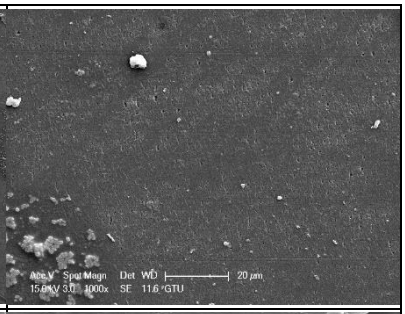
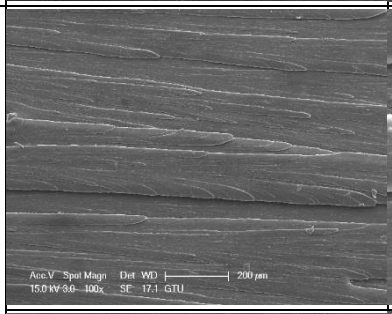
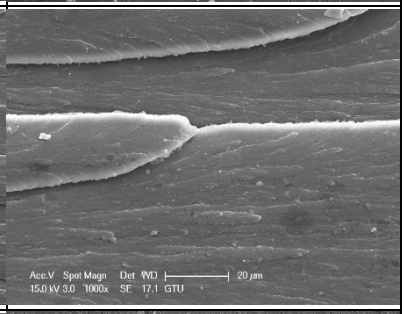
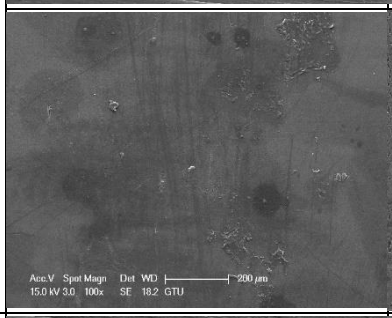
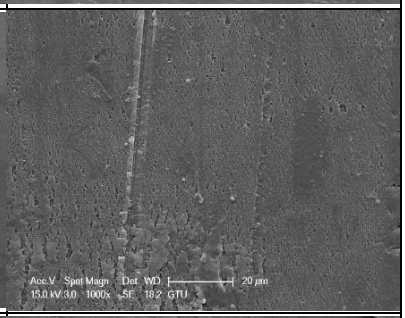
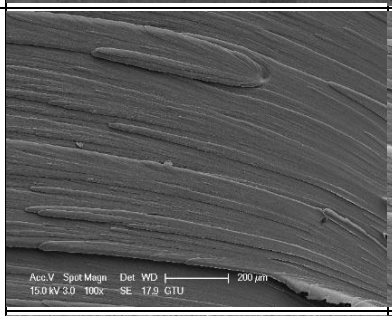
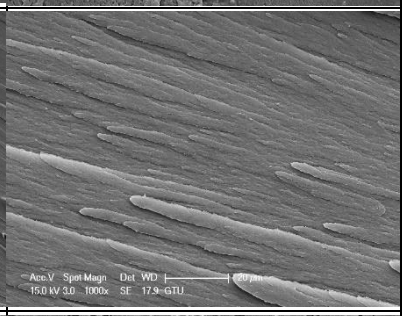
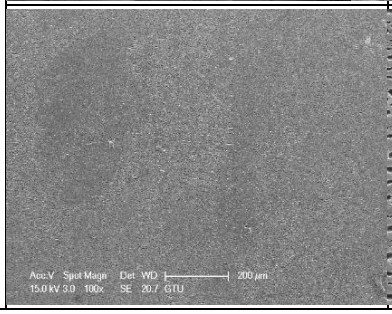
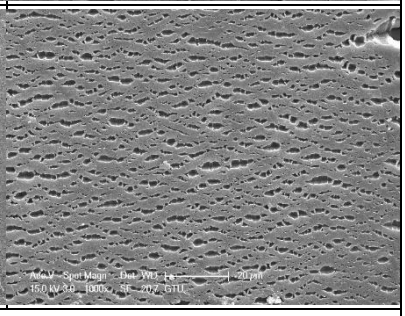
Polimerik Malzemeler	MFI (g/10 dak)
PC	31,32±1,70
PC-N-3	28,47±3,30
PC-N-6	11,04±0,80
PC-N-9	33,85±2,40
PC-N-12	27,34±2,52
PC-25N75-GD	*
PC-50N50-GD	*
PC-75N25-GD	*

Doğal yaşlandırmaya maruz bırakılan ve geridönüşüm uygulanan PC numunelerinin çekme testleri sonrasında kopan yüzeylerinden alınan SEM görüntüleri Tablo 4.6'da verilmiştir. PC malzemelerin SEM görüntüleri incelendiğinde, 3 ve 6 aylık doğal yaşlanmanın etkisi ile kopma yüzeylerinde ve yan yüzeylerde belirgin bir değişim görülmemiştir. Fakat, 9 ve 12 ay doğal yaşlandırma sonrasında numunelerin yaşlanan yan yüzeylerinde belirgin bir şekilde çatlakların oluştuğu ve bu çatlakların 12 ay sonunda genişlediği görülmüştür.

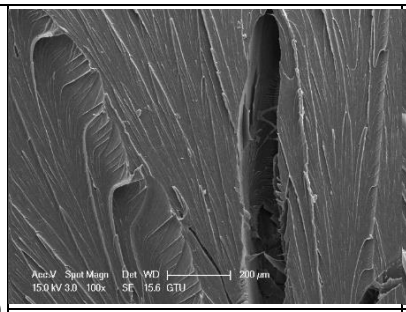
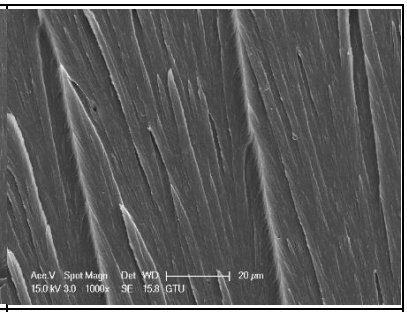
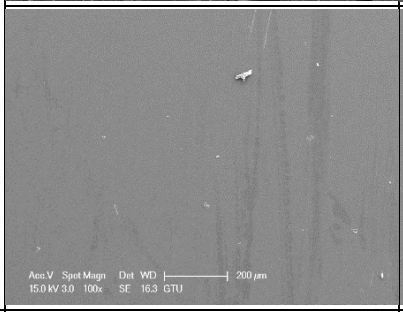
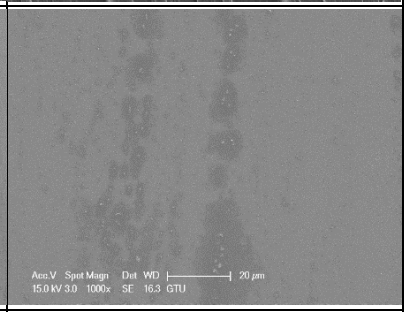
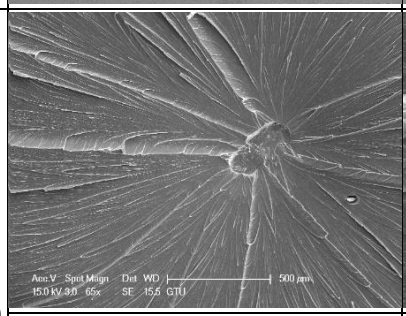
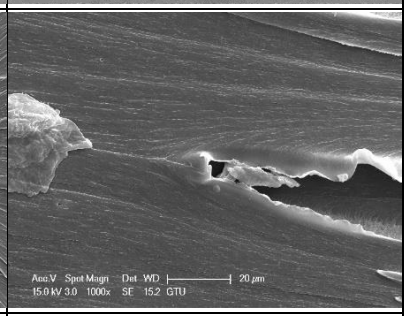
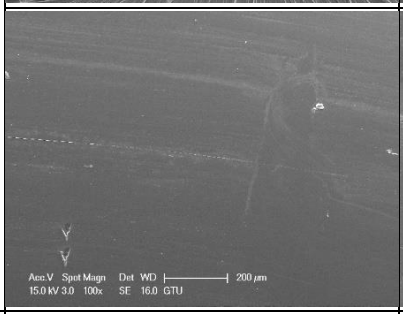
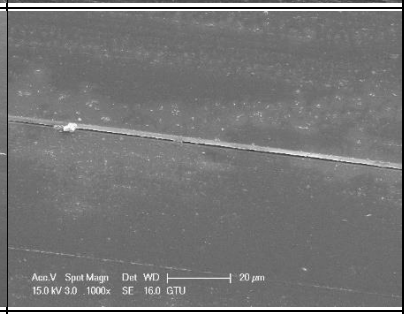
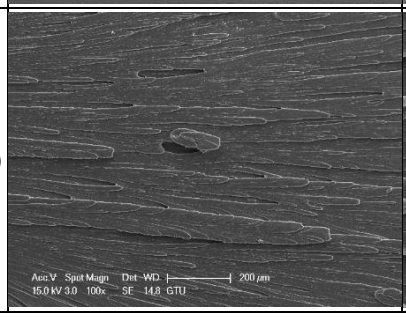
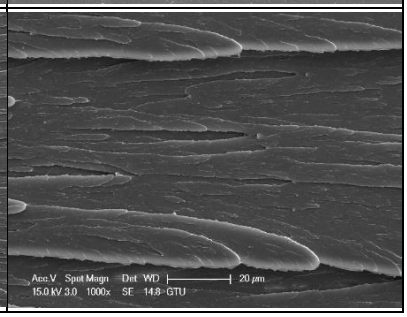
Tablo 4.6: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC numunelerinin SEM görüntüleri.

	Doğal Yaşlandırma Numuneleri	**100x**	**1000x**
Kopmuş yüzey	**0***		
Yan Yüzey			
Kopmuş yüzey	**3**		
Yan Yüzey			
Kopmuş yüzey	**6**		

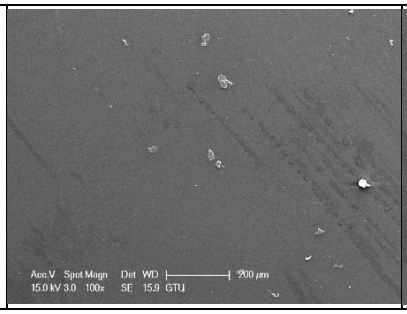
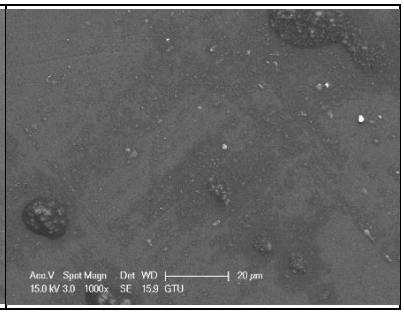
Tablo 4.6: Devam.

Yan Yüzey			
Kopmuş yüzey	**9**		
Yan Yüzey			
Kopmuş yüzey	**12**		
Yan Yüzey			
	* Yaşlandırılmamış PC polimerini ifade etmektedir.		
	Geridönüşüm Numuneleri	**100x**	**1000x**

Tablo 4.6: Devam.

Kopmuş yüzey	**PC-25N75-GD**		
Yan Yüzey			
Kopmuş yüzey	**PC-50N50-GD**		
Yan Yüzey			
Kopmuş yüzey	**PC-75N25-GD**		

Tablo 4.6: Devam.

Yan Yüzey			

4.1.2. Hızlandırılmış Yaşlandırma

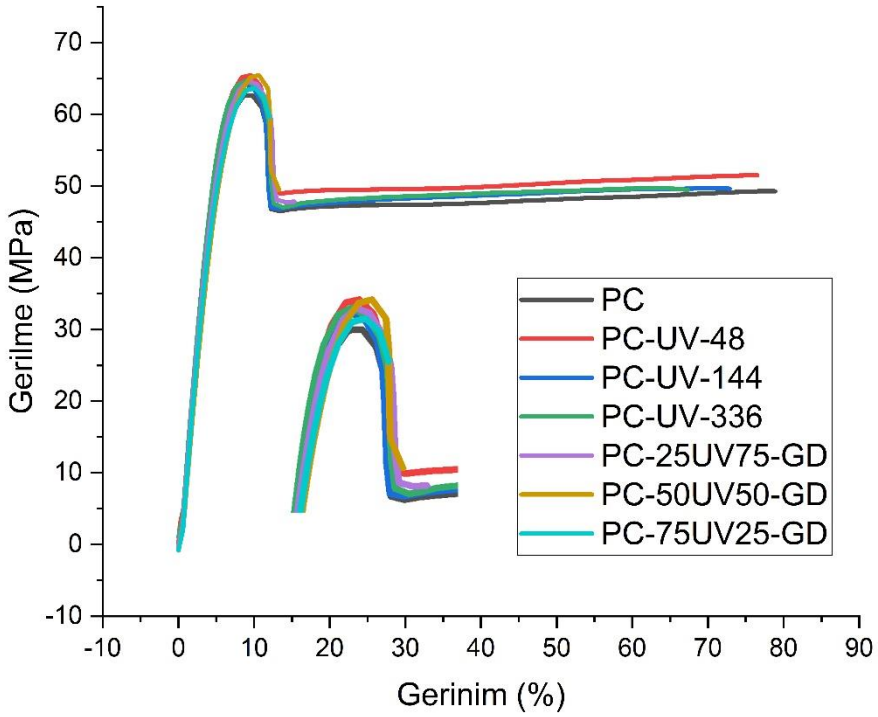
PC malzemelerin hızlandırılmış yaşlandırma öncesi ve sonrası ve geridönüşüm sonrasında alınan görüntüleri Tablo 4.7'de gösterilmiştir. Görüntülerden anlaşılacağı üzere numunelerde hızlandırılmış yaşlandırma işlemi ile renk değişimine rastlanmamıştır. Yaşlanmış numune granüllerine saf halleri katılması sonucu renklerde koyulaşma oluşmuştur. Saf granül katkısının artmasıyla renk koyudan açık renge doğru bir miktar değişmiştir.

Tablo 4.7: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC numunelerinin örnek resimleri.

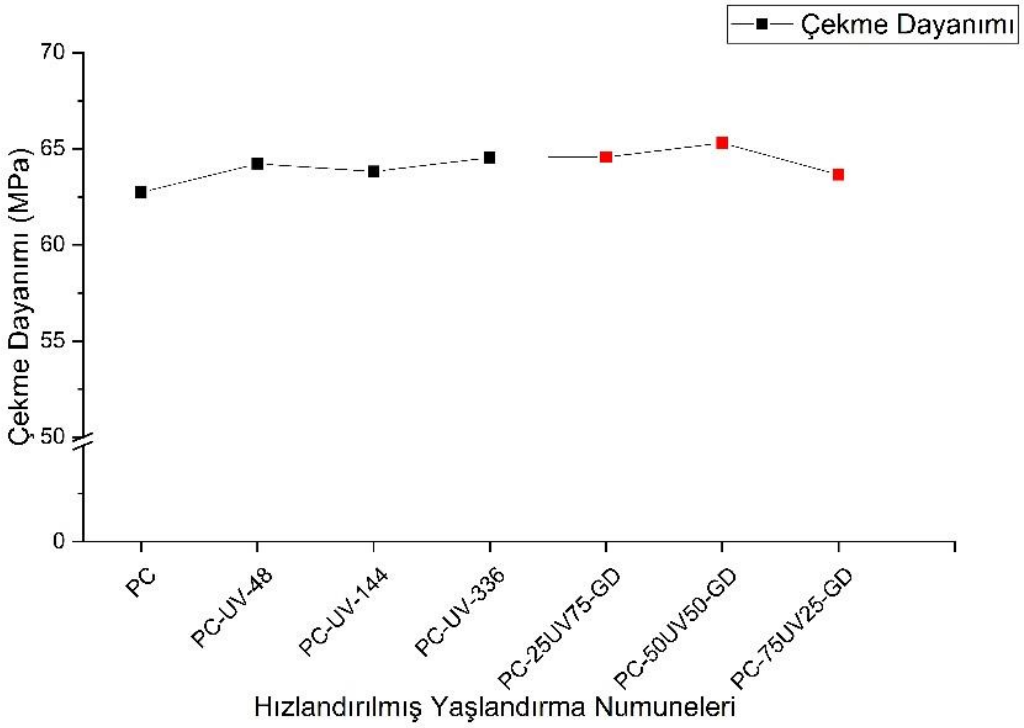
Hızlandırılmış Yaşlandırma Numuneleri	**0***	**48**	**144**	**336**	**PC-25UV 75-GD**	**PC-50UV 50-GD**	**PC-75UV 25-GD**
PC							

***** Yaşlandırılmamış PC polimerini ifade etmektedir.

Hızlandırılmış yaşlandırmaya maruz bırakılan ve bırakılmayan PC numunelerine ve 336 saat hızlı yaşalandırılan PC numunelerine uygulanan geridönüşüm sonunda gerçekleştirilen çekme testinden elde edilen gerilme - gerinim grafiği Şekil 4.7'de verilmiştir. Maruz kalma sürelerine göre çekme dayanımı grafiği Şekil 4.8'de verilmiştir. Çekme testi sonuçlarının ortalama değer ve sapmaları ise Tablo 4.8'de verilmiştir. Hızlandırılmış yaşlanma sonucunda elde edilen çekme testi sonuçları incelendiğinde, PC numunelerinin çekme dayanımlarında, yaşlandırma ve geridönüşümün etkisiyle önemli bir değişiklik görülmemiştir. PC numunelerinin UV yaşlandırılması sonrasında çekme dayanımlarında değişimin olmaması literatürde de gözlenmiştir [13, 15, 40]. Kopma uzamalarında ise 48 saat sonunda %17,5, 144 saat sonunda %23 ve 336 saat sonunda ise %31 oranında azaldığı görülmüştür [13, 15, 40]. Yaşlanma zamanıyla meydana gelen sünek - gevrek geçişin, oksijen ve nemin varlığında termal ve ışık radyasyonunun birleşik etkisiyle tetiklenen çapraz bağlanma ve zincir ayrılması arasındaki rekabetten kaynaklandığı düşünülmektedir. PC numunelerine geridönüşüm uygulanmasıyla başlangıç değerlerine göre kopma uzamalarında sırasıyla %65, %76 ve %78 oranında azalış görülmüştür.



Şekil 4.7: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC numunelerinin gerilme - gerinim grafiği.

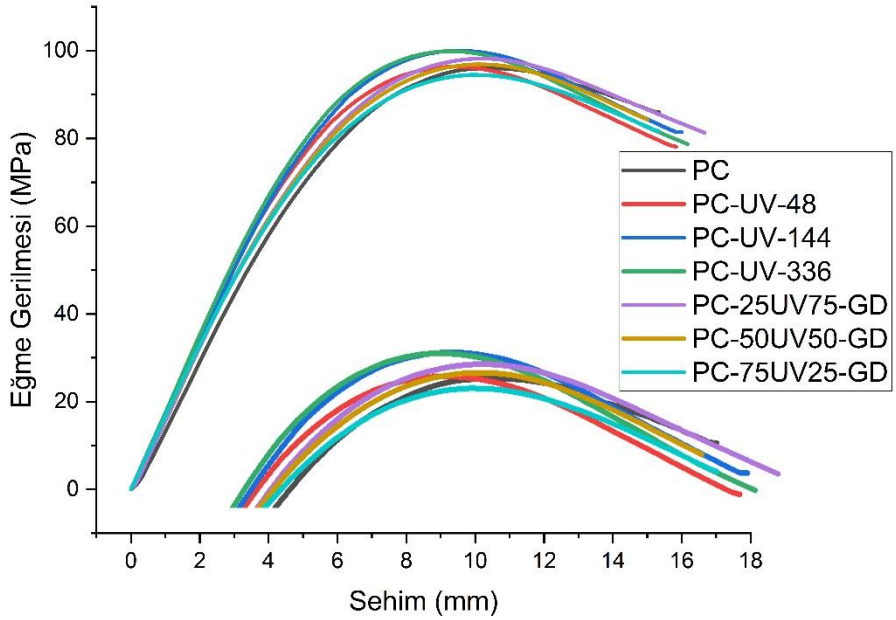


Şekil 4.8: Çekme dayanımı değişim grafiği.

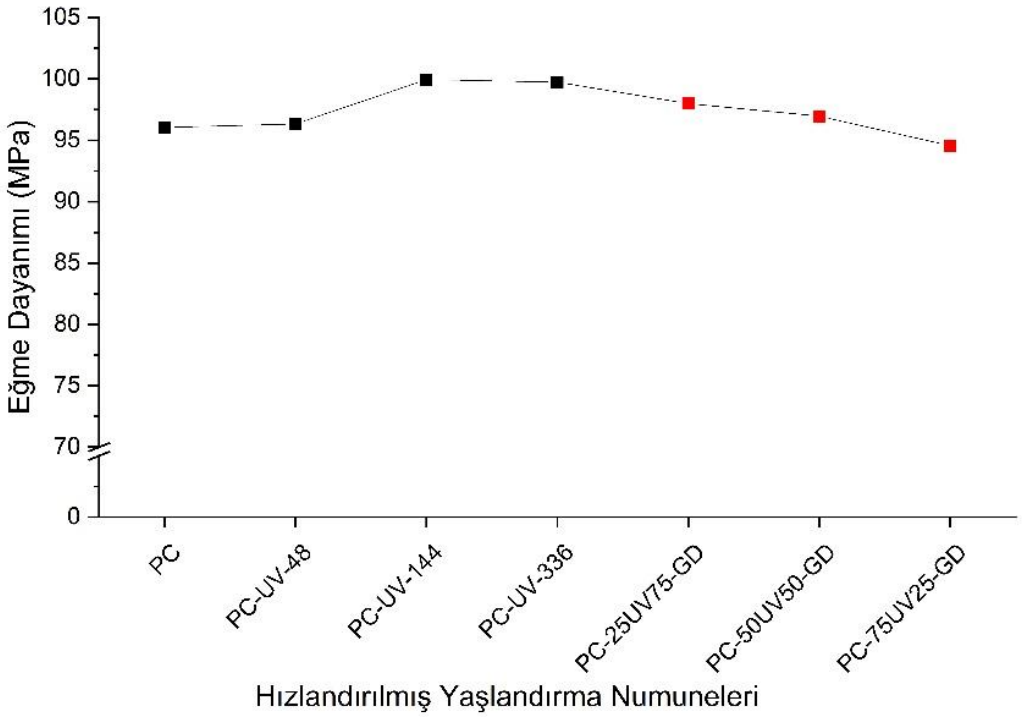
Tablo 4.8: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC numunelerinin çekme testi sonuçları.

Polimerik Malzemeler	Kopma Uzaması (%)	Çekme Dayanımı (MPa)
PC	91,58±38,00	62,73±0,50
PC-UV-48	75,48±13,00	64,21±1,50
PC-UV-144	69,85±30,00	63,81±0,80
PC-UV-336	62,46±43,00	64,53±0,30
PC-25UV75-GD	21,76±12,93	64,56±0,10
PC-50UV50-GD	14,59±2,06	65,30±0,42
PC-75UV25-GD	13,31±2,10	63,64±0,20

Hızlandırılmış yaşlanmaya maruz bırakılan ve geridönüşüm uygulanan PC numunelerinin gerilme - sehim grafiği Şekil 4.9'da, maruz kalma sürelerine göre eğme dayanımı grafiği Şekil 4.10'da verilmiştir. Eğme testi sonuçlarının ortalama değer ve sapmaları ise Tablo 4.9'da verilmiştir. Hızlandırılmış yaşlandırma işlemine tabi tutulan PC malzemelerin eğme testi sonuçları incelendiğinde, eğme dayanımın 48 saat sonunda neredeyse değişmediği, 144 ve 336 saat sonunda yaklaşık %4 oranında arttığı gözlemlenmiştir. Geridönüşüm uygulanması sonucunda ise numunelerin eğme dayanım değerlerinde önemli bir değikliğin olmadığı görülmüştür.



Şekil 4.9: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC numunelerinin gerilme - sehim grafiği.

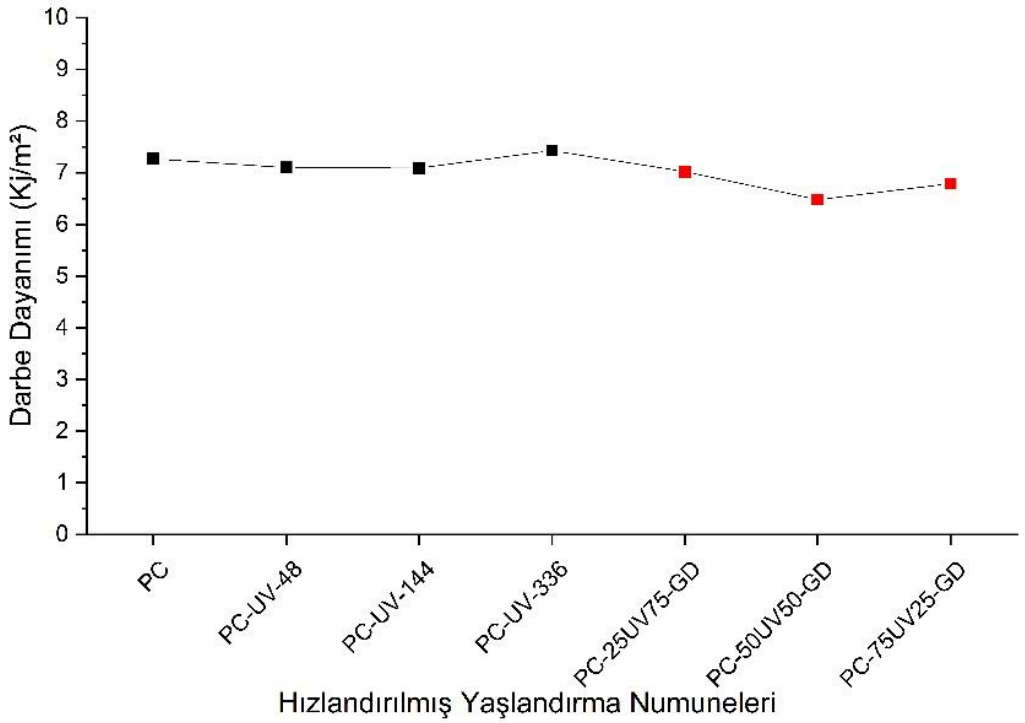


Şekil 4.10: Eğme dayanımı değişim grafiği.

Tablo 4.9: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC numunelerinin eğme testi sonuçları.

Polimerik Malzemeler	Toplam Sehim (mm)	Eğme Dayanımı (MPa)
PC	15,22±0,30	96,06±2,60
PC-UV-48	15,79±0,25	96,33±0,70
PC-UV-144	16,03±0,20	99,95±1,00
PC-UV-336	16,22±0,15	99,73±1,00
PC-25UV75-GD	16,72±0,10	98,00±0,41
PC-50UV50-GD	15,26±0,19	96,96±1,20
PC-75UV25-GD	15,19±0,18	94,56±0,98

Hızlandırılmış yaşlandırmaya maruz bırakılan ve geridönüşüm uygulanan PC numunelerinin darbe dayanımı grafiği Şekil 4.11'de verilmiştir. Darbe testi sonuçlarının ortalama değer ve sapmaları ise Tablo 4.10'da verilmiştir. Darbe testi sonucunda PC numunelerinin 336 saatlik hızlandırılmış yaşlandırma işlemi ile darbe dayanımının neredeyse değişmediği görülmüş ve geridönüşüm ile bu değerler başlangıca göre sırasıyla %3, %10 ve %6 oranında azalmıştır.

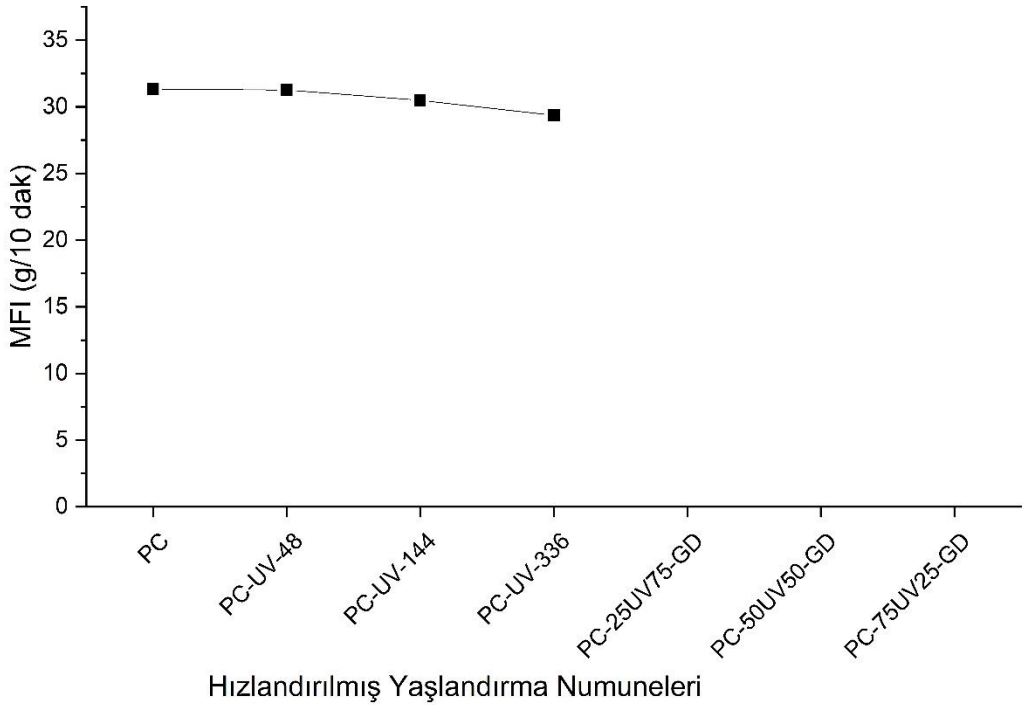


Şekil 4.11: Darbe dayanımı değişimi grafiği.

Tablo 4.10: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC numunelerinin darbe testi sonuçları.

Polimerik Malzemeler	**Darbe Dayanımı (kJ/m^2)**
PC	7,27±0,40
PC-UV-48	7,10±0,20
PC-UV-144	7,09±0,10
PC-UV-336	7,43±0,80
PC-25N75-GD	7,02±0,21
PC-50N50-GD	6,48±0,72
PC-75N25-GD	6,79±0,17

Hızlandırılmış yaşlandırmaya maruz bırakılan ve geridönüşüm uygulanan PC numunelerinin MFI grafiği Şekil 4.12'de verilmiştir. MFI testi sonuçlarının ortalama değer ve sapmaları ise Tablo 4.11'de verilmiştir. Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan numunelerin MFI testi sonuçları, sürekli olarak düşüş göstermiş. Geridönüşüm uygulanan PC numunelerinde ise, standart sıcaklık değerlerinde sağlıklı ölçüm alınamamış olmasından dolayı grafiklere yansıtılmamıştır. Tablolarda "*" işareti ile gösterilmiştir.



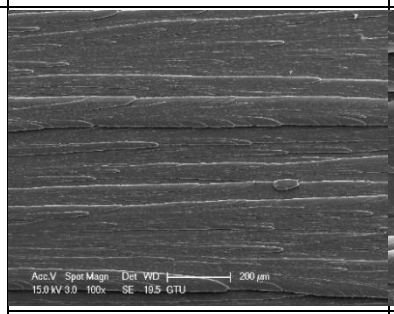
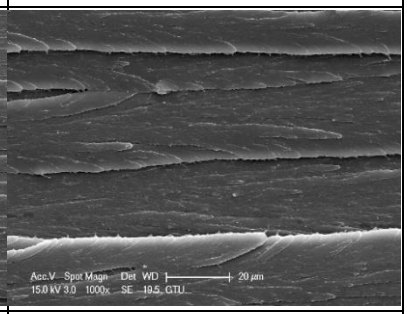
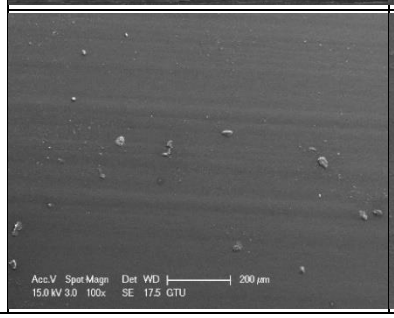
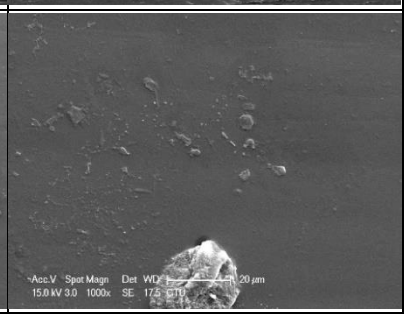
Şekil 4.12: MFI değişim grafiği.

Tablo 4.11: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC numunelerinin MFI testi sonuçları.

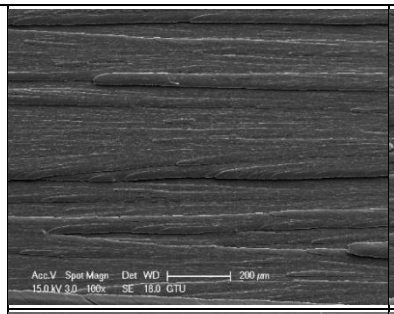
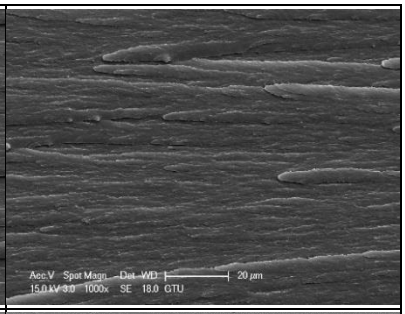
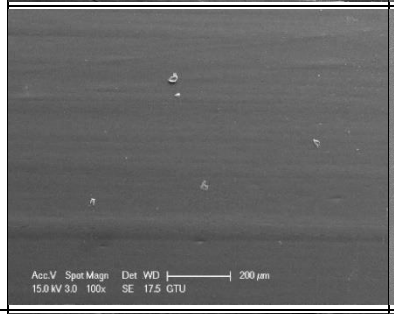
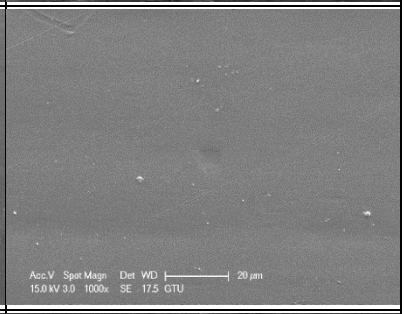
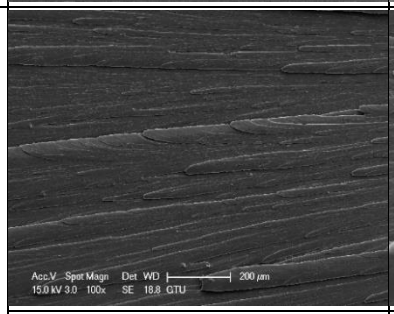
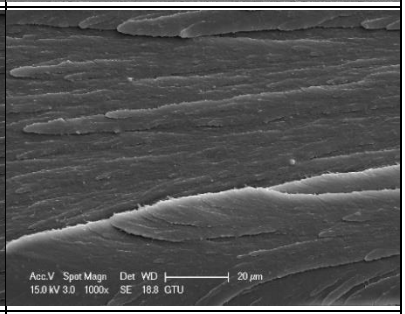
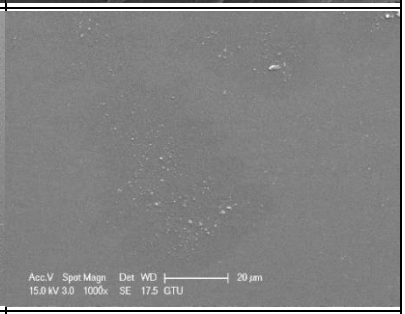
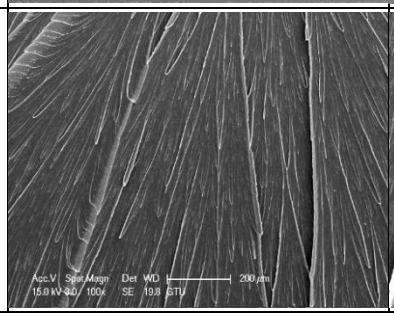
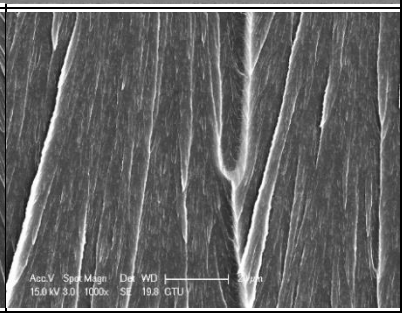
Polimerik Malzemeler	**MFI (g/10 dak)**
PC	31,32±1,70
PC-UV-48	31,26±1,30
PC-UV-144	30,48±3,00
PC-UV-336	29,36±1,80
PC-25UV75-GD	*
PC-50UV50-GD	*
PC-75UV25-GD	*

Hızlandırılmış yaşlandırmaya maruz bırakılan ve geridönüşüm uygulanan PC numunelerinin SEM görüntüleri Tablo 4.12'de verilmiştir. PC numunelerinin SEM incelemeri sonrasında, hızlandırılmış yaşlandırma boyunca hem kesit yüzeyi(kopmuş) hem de yaşlanan(yan) yüzeylerinde herhangi bir çatlak oluşumuna rastlanmamıştır. Bu morfolojik gözlem geridönüşüm uygulamasında da devam etmiştir.

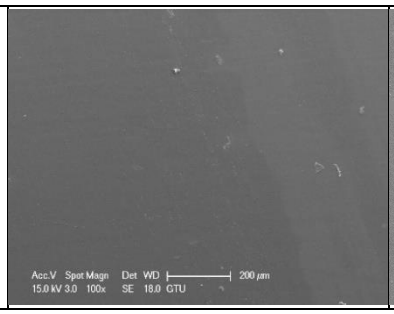
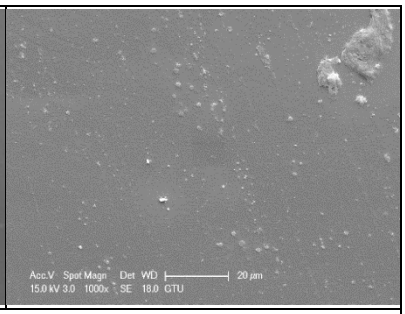
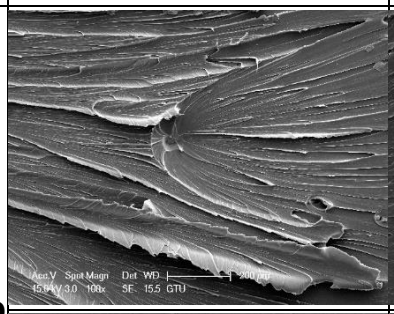
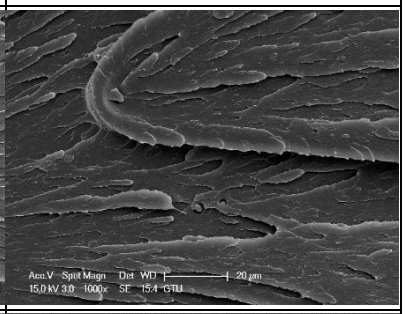
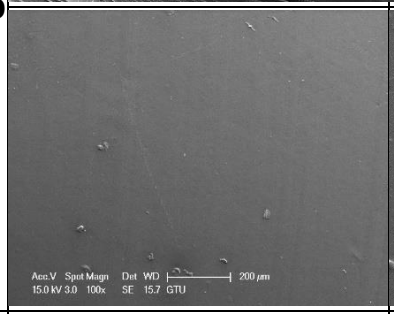
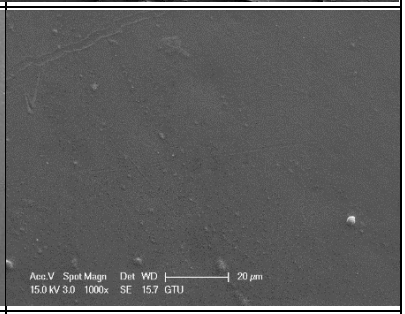
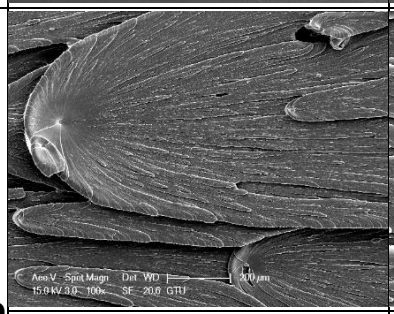
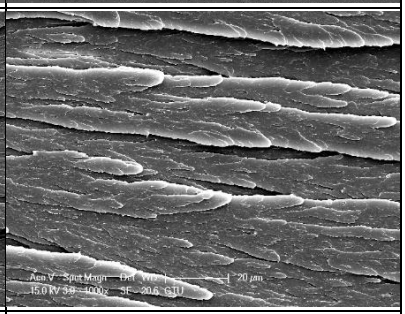
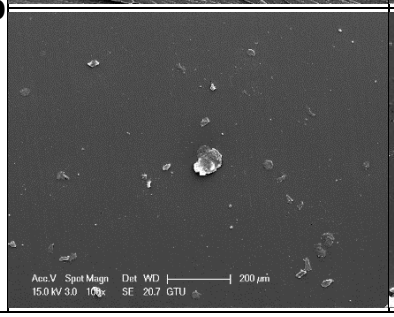
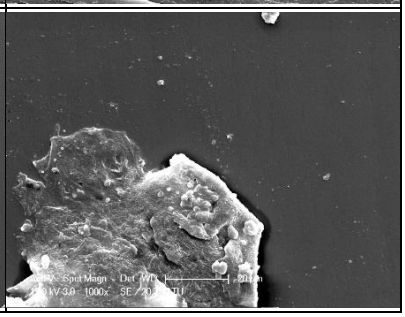
Tablo 4.12: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan PC numunelerinin SEM görüntüleri.

	Hızlandırılmış Yaşlandırma Numuneleri	**100x**	**1000x**
Kopmuş yüzey	**0***		
Yan Yüzey			

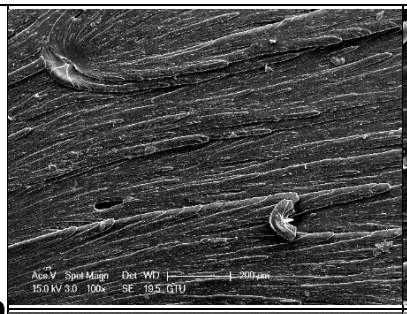
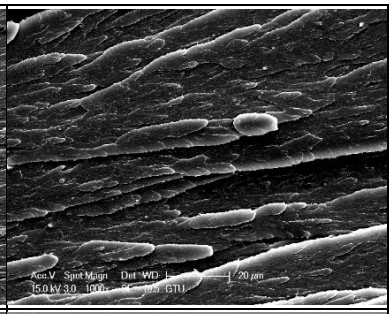
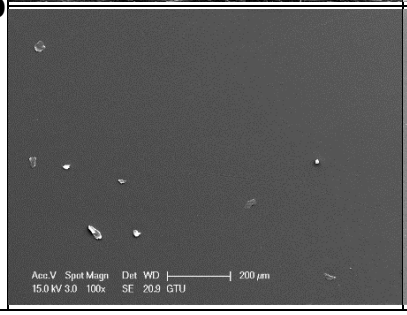
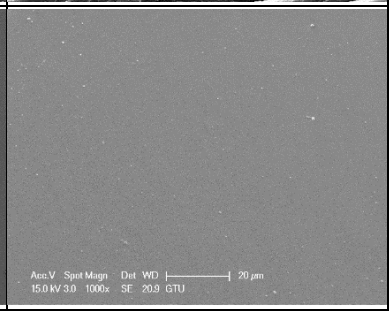
Tablo 4.12: Devam.

Kopmuş yüzey	**48**		
Yan Yüzey			
Kopmuş yüzey	**144**		
Yan Yüzey			
Kopmuş yüzey	**336**		

Tablo 4.12: Devam.

Yan Yüzey			
	* Yaşlandırılmamış PC polimerini ifade etmektedir.		
	Geridönüşüm Numuneleri	**100x**	**1000x**
Kopmuş yüzey	**PC-25UV75-GD**		
Yan Yüzey			
Kopmuş yüzey	**PC-50UV50-GD**		
Yan Yüzey			

Tablo 4.12: Devam.

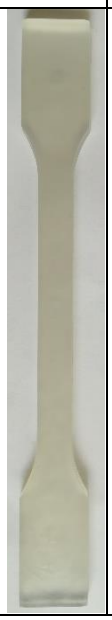
Kopmuş yüzey	**PC-75UV25-GD**		
Yan Yüzey			

4.2. PC/%10GF Malzeme Test Sonuçları

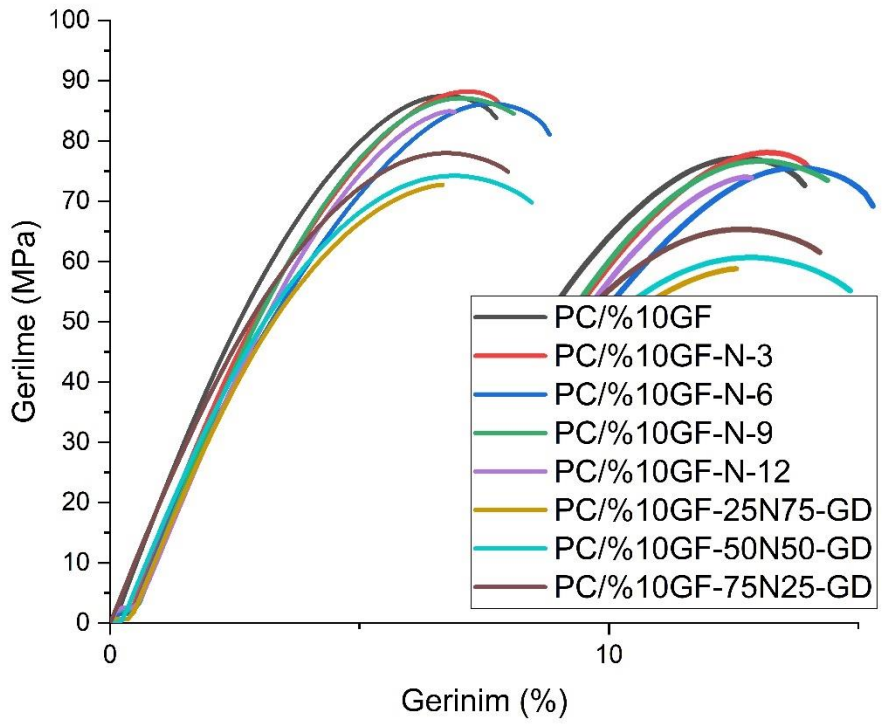
4.2.1. Doğal Yaşlandırma

PC/%10GF test numunelerinin doğal yaşlandırma öncesi, sonrası ve geridönüşüm sonrasında çekilen görüntüleri Tablo 4.13'te verilmiştir. Görüntülerden anlaşılacağı üzere numunelerde doğal yaşlandırma işlemi ile renk değişimine rastlanmamıştır. Geridönüşüm işlemleri sonrasında yaşlanmamış saf granül oranının artmasıyla renk koyudan açık renge doğru değişmiştir. Yaşlanmış granül oranının artması, renkte koyulaşma meydana getirmiştir.

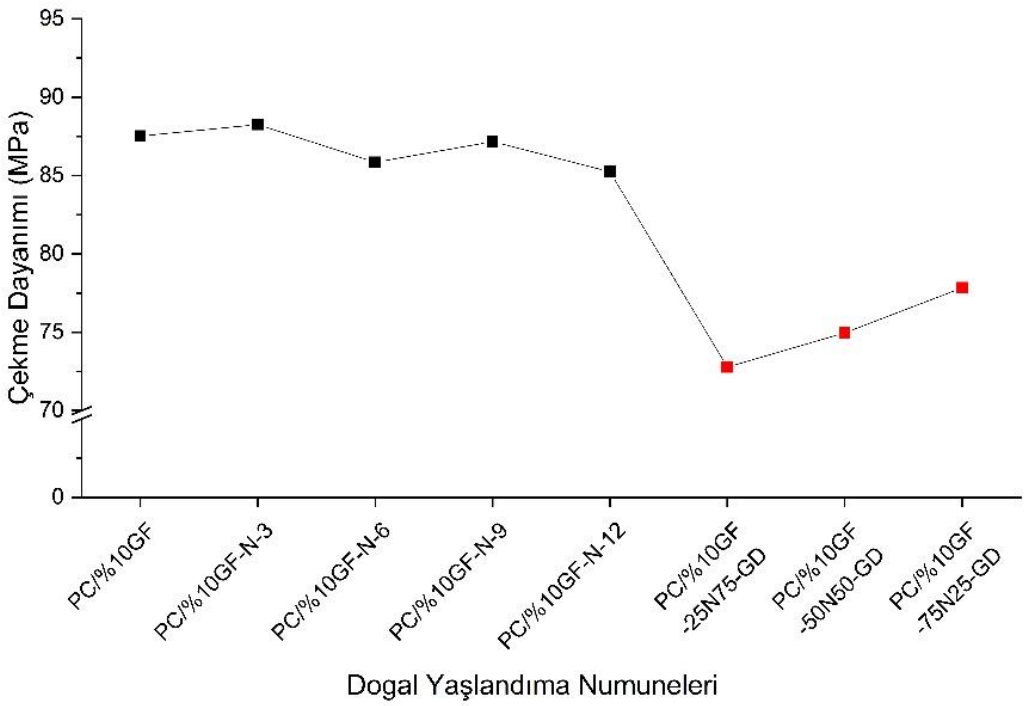
Tablo 4.13: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%10GF numunelerinin örnek resimleri.

Doğal Yaşlandırma Numuneleri	**0***	**3**	**6**	**9**	**12**	**PC/%10GF - 25N75-GD**	**PC/%10GF - 50N50-GD**	**PC/%10GF - 75N25-GD**
PC/%10GF								
***** Yaşlandırılmamış PC/%10GF polimerini ifade etmektedir.								

Üretildikten 24 saat sonra (yaşlandırılmamış) ve 3, 6, 9, 12 ay doğal yaşlandırmaya maruz bırakıldıktan sonra ve 12 ay yaşlanmış PC/%10GF numunelere uygulanan geridönüşüm sonrasında gerçekleştirilen çekme testlerinin sonuçları Şekil 4.13'teki gerilme - gerinim grafiği ile verilmiştir. Tipik gerilme - gerinim eğrisinden elde edilen çekme dayanımı değerlerinin yaşlandırma süresi ile ilişkisi ise Şekil 4.14'te gösterilmiştir. Çekme dayanımı ve kopma uzaması ortalama değerleri ve testler sırasında elde edilen sapmalar Tablo 4.14'te verilmiştir. %10 cam elyaf katkılı PC numunelerinin çekme testi sonuçları incelendiğinde, çekme dayanımında 3, 6, 9 ve 12 ay sonunda dikkate değer bir değişim gözlemlenmezken, kopma uzaması sonuçlarında artış elde edilmiştir. Geridönüşüm uygulanması sonunda, saf PC/%10GF polimerinin katılmasıyla çekme deyanımları, PC/%10GF numunelerinin başlangıç değerinin altında kalmıştır ve kopma uzamalarında ise sırasıyla %12 azalma, %15 ve % 8 artma görülmüştür.



Şekil 4.13: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%10GF numunelerinin gerilme - gerinim grafiği.

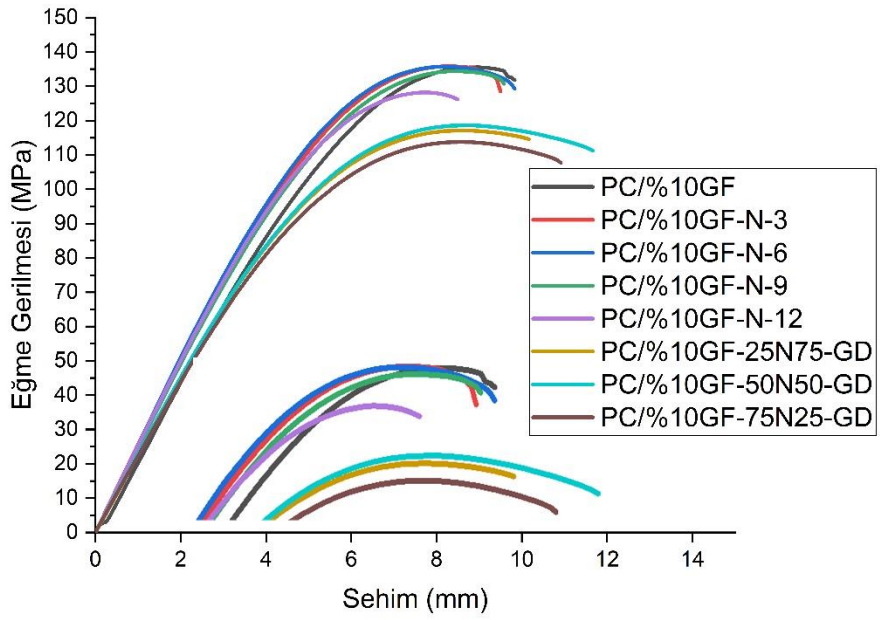


Şekil 4.14: Çekme dayanımı değişimi grafiği.

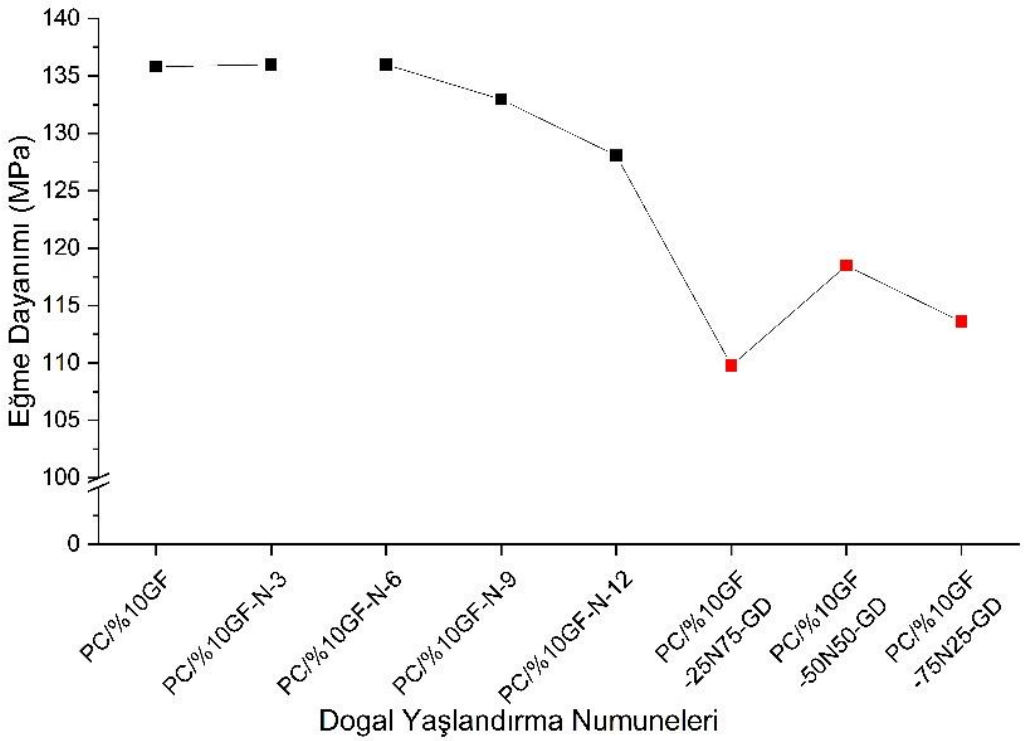
Tablo 4.14: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%10GF numunelerinin çekme testi sonuçları.

Polimerik Malzemeler	**Kopma Uzaması (%)**	**Çekme Dayanımı (MPa)**
PC/%10GF	7,54±0,10	87,52±0,60
PC/%10GF-N-3	7,92±0,40	88,25±0,70
PC/%10GF-N-6	8,51±0,50	85,84±1,00
PC/%10GF-N-9	8,13±0,20	87,17±0,20
PC/%10GF-N-12	7,66±0,55	85,24±2,16
PC/%10GF - 25N75-GD	6,61±0,65	72,78±1,24
PC/%10GF - 50N50-GD	8,72±0,47	74,96±0,52
PC/%10GF - 75N25-GD	8,14±0,30	77,84±0,20

Doğal yaşlandırmaya maruz bırakılan, bırakılmayan ve geridönüşüm uygulanan PC/%10GF numunelerinin eğme gerilmesi - sehim grafiği Şekil 4.15'te verilmiştir. Eğme dayanımı değerlerinin yaşlandırma süresi ile ilişkisi Şekil 4.16'da gösterilmiştir. Eğme testi sonuçlarının ortalama değer ve sapmaları Tablo 4.15'te verilmiştir. %10 cam elyaf katlılı PC malzemenin doğal yaşlandırma sonucunda eğme testi sonuçları incelendiğinde, eğme dayanımlarında 3, 6 ve 9 ay sonunda değişim gözlenmezken 12 ay sonunda eğme dayanımında %5 azalma gözlenmiştir. Geridönüşüm uygulanması sonunda, saf PC/%10GF polimerinin katılmasıyla eğme deyanımları, PC/%10GF numunelerinin başlangıç değerinin altında kalmıştır.



Şekil 4.15: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%10GF numunelerinin gerilme - sehim grafiği.

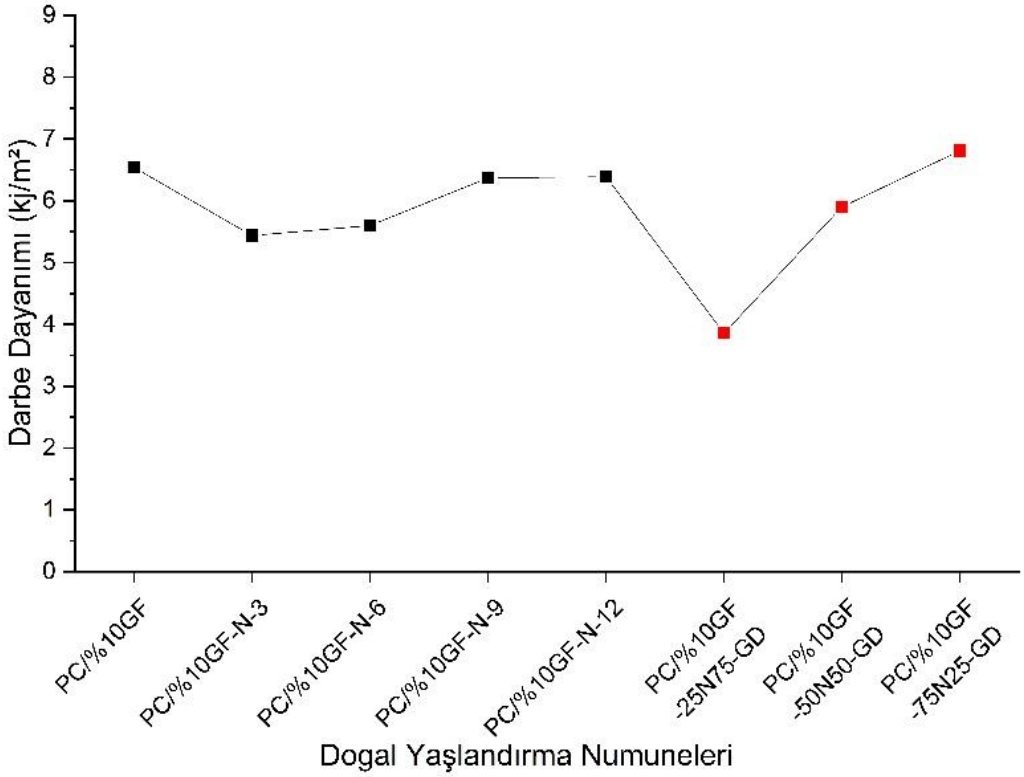


Şekil 4.16: Eğme dayanımı değişim grafiği.

Tablo 4.15: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%10GF numunelerinin eğme testi sonuçları.

Polimerik Malzemeler	Toplam Sehim (mm)	Eğme Dayanımı (MPa)
PC/%10GF	9,96±0,13	135,80±2,00
PC/%10GF-N-3	9,57±0,25	136,00±1,60
PC/%10GF-N-6	9,57±0,40	136,00±3,10
PC/%10GF-N-9	9,24±0,20	132,95±1,90
PC/%10GF-N-12	8,52±0,31	128,06±1,15
PC/%10GF - 25N75-GD	7,92±2,70	109,78±10,84
PC/%10GF - 50N50-GD	10,66±0,55	118,49±0,36
PC/%10GF - 75N25-GD	9,76±1,32	113,60±1,47

Doğal yaşlandırmaya maruz bırakılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%10GF numunelerinin darbe dayanımı grafiği Şekil 4.17'de verilmiştir. Darbe testi sonuçlarının ortalama değer ve sapmaları Tablo 4.16'da verilmiştir. Darbe dayanımı değerleri incelendiğinde, 3 ve 6 ay sonunda darbe dayanımının yaklaşık %15 oranında düştüğü, 9 ve 12 ay sonunda bu değişimin %2 seviyelerinde kaldığı görülmüştür. Geridönüşüm uydulanması sonrasında PC/%10GF numunelerinin başlangıç değerine göre sırasıyla %40, %9 azalma ve %75 saf polimer katkı oranının artmasıyla %4 artış gözlenmiştir.

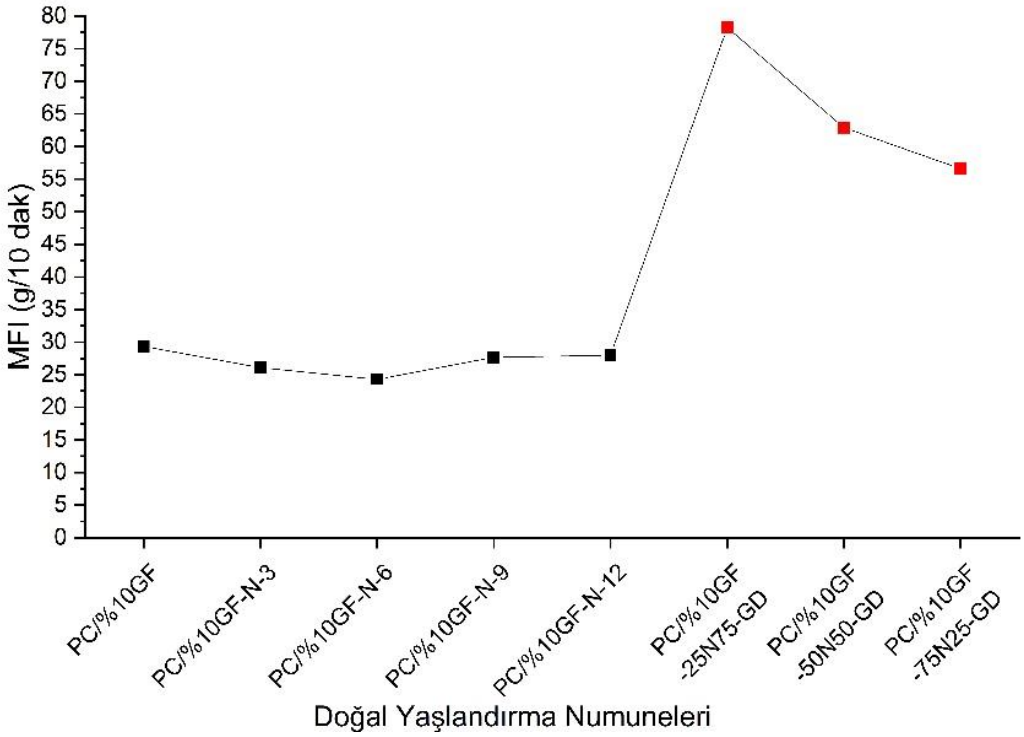


Şekil 4.17: Darbe dayanımı değişim grafiği.

Tablo 4.16: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%10GF numunelerinin darbe testi sonuçları.,

Polimerik Malzemeler	Darbe Dayanımı (kJ/m^2)
PC/%10GF	6,54±0,60
PC/%10GF-N-3	5,44±0,50
PC/%10GF-N-6	5,60±1,10
PC/%10GF-N-9	6,37±0,60
PC/%10GF-N-12	6,39±0,40
PC/%10GF -25N75-GD	3,86±1,16
PC/%10GF -50N50-GD	5,90±1,49
PC/%10GF -75N25-GD	6,81±0,96

Doğal yaşlandırmaya maruz bırakılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%10GF numunelerinin MFI değişim grafiği Şekil 4.18'de verilmiştir. MFI testi sonuçlarının ortalama değer ve sapmaları Tablo 4.17'de verilmiştir. %10 cam elyaf katkılı PC malzemenin doğal yaşlanma ile eriyik akış özelliklerindeki değişimi incelendiğinde, doğal yaşlanma süresi artışına bağlı olarak MFI değerinin düşüş gösterdiği görülmüştür. 3 ay sonunda MFI değeri %11, 6 ay sonunda %17, 9 ve 12 ay sonunda ise % 5 oranında düşüş göstermiştir. Geridönüşüm uygulanan PC/%10GF numunelerinin MFI testi sonuçlarında artış gözlenmiştir.



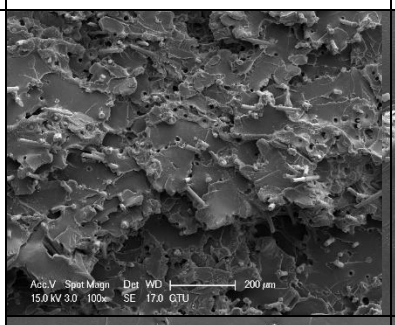
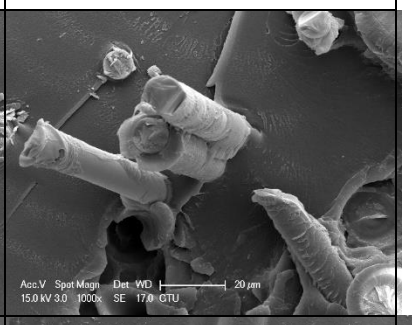
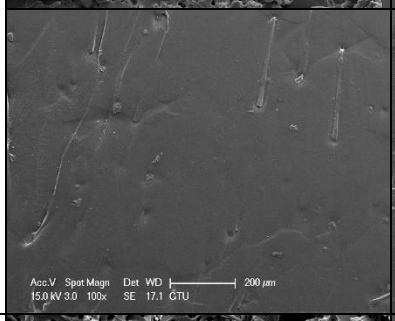
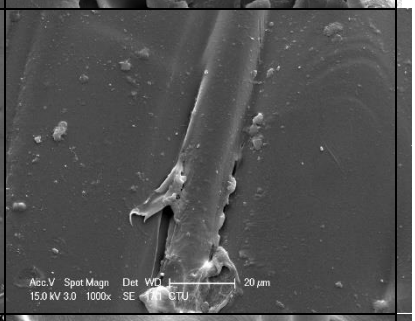
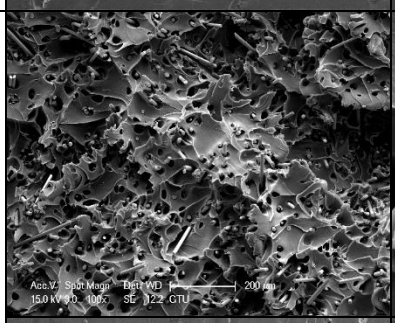
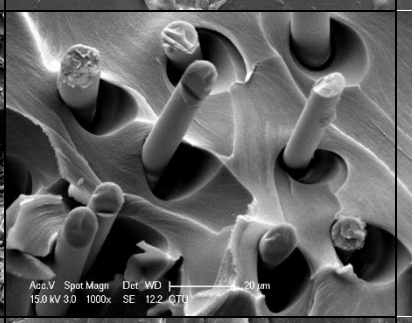
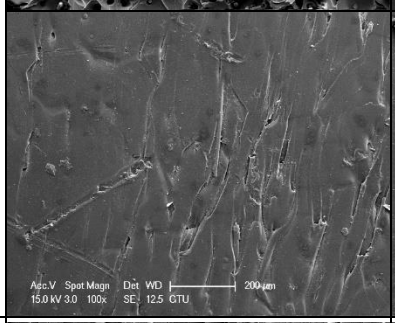
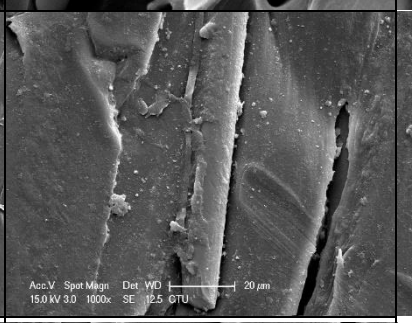
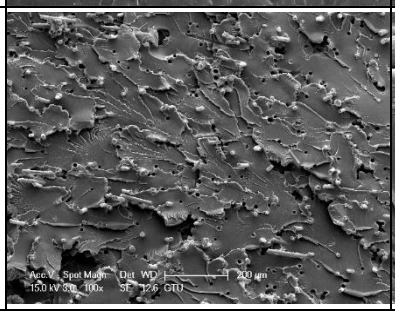
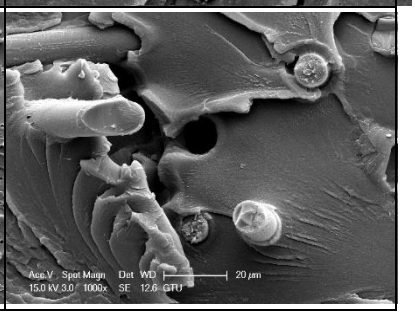
Şekil 4.18: MFI değişim grafiği.

Tablo 4.17: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%10GF numunelerinin MFI testi sonuçları.

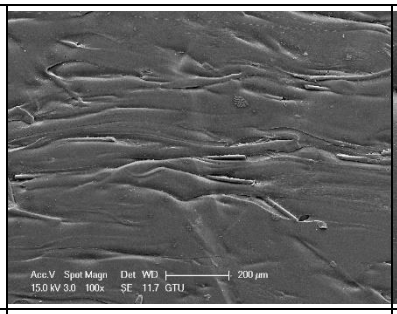
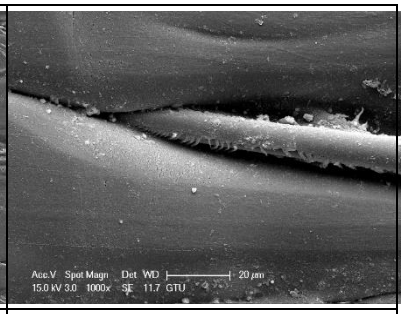
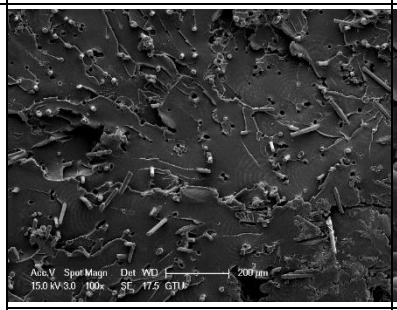
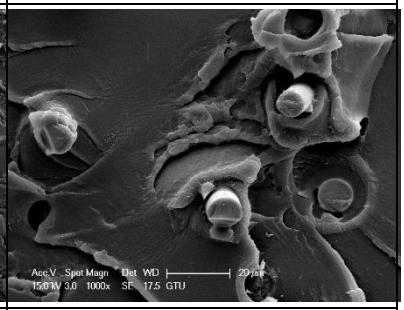
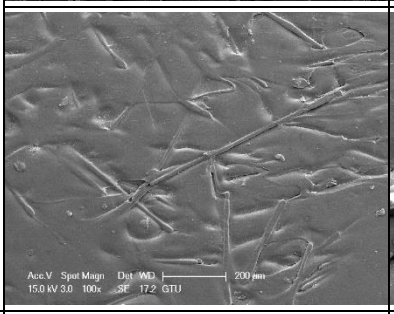
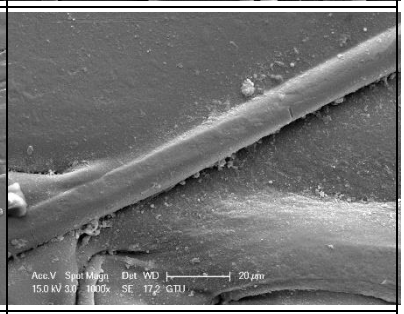
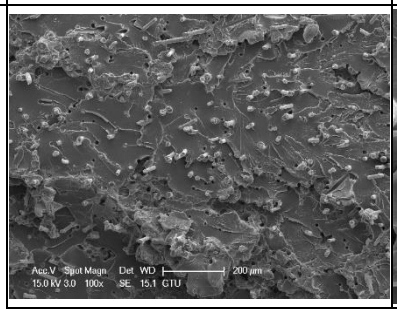
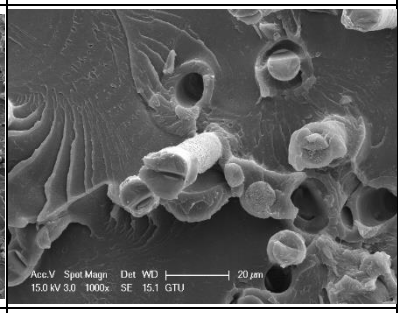
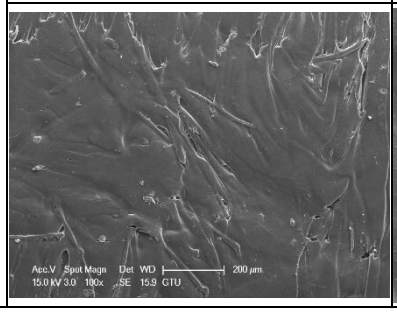
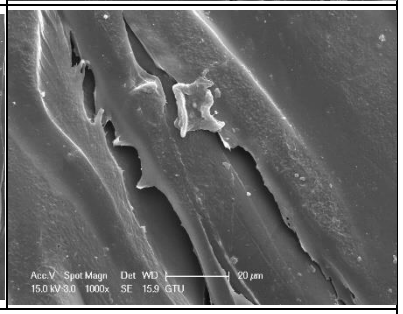
Polimerik Malzemeler	MFI (g/10 dak)
PC/%10GF	29,35±1,70
PC/%10GF-N-3	26,11±0,77
PC/%10GF-N-6	24,31±1,10
PC/%10GF-N-9	27,68±1,70
PC/%10GF-N-12	27,99±0,94
PC/%10GF -25N75-GD	78,24±40,50
PC/%10GF -50N50-GD	62,89±4,30
PC/%10GF -75N25-GD	56,61±4,22

Doğal yaşlandırmaya maruz bırakılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%10GF numunelerinin çekme testleri sonrasında kopan yüzeylerinden alınan SEM görüntüleri Tablo 4.18'de verilmiştir. 3, 6 ve 9 aylık doğal yaşlanma sonucunda alınan SEM görüntülerinde fiber yüzeylerinde matris malzemesinin sıyrılmaya başladığı, fiberlerin matris içerisinde tutunma ara yüzeyinin zayıfladığı ve 12. ay sonunda ise bu fiber boşlukları belirgin hale gelmiş ve fiberler kopmaya başlamıştır.

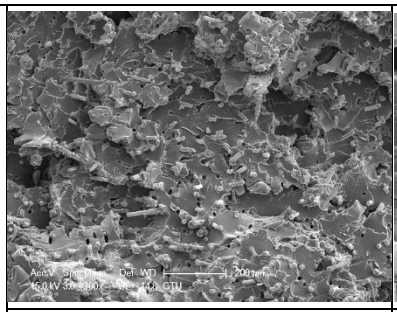
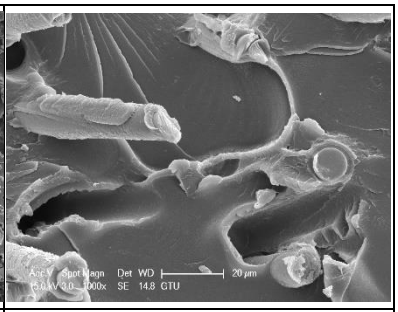
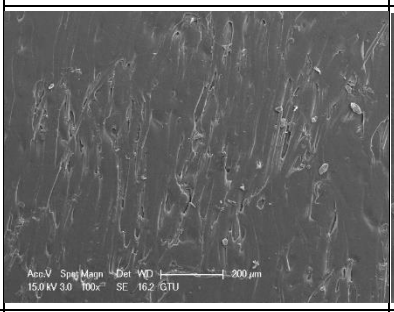
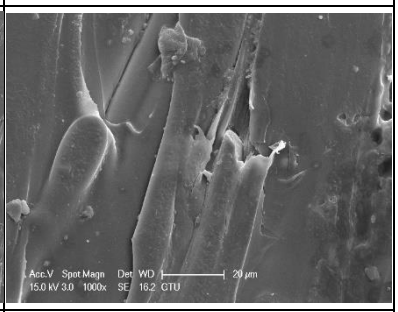
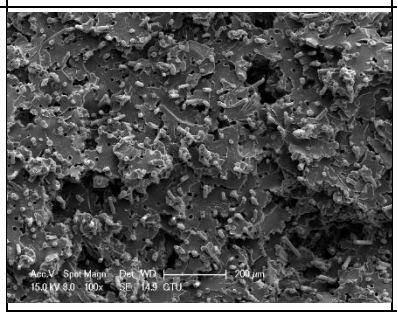
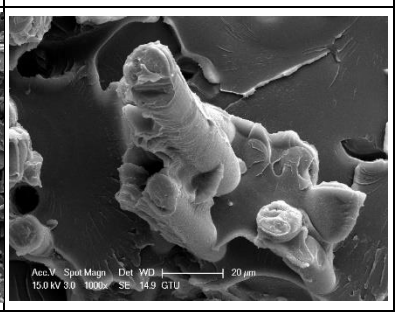
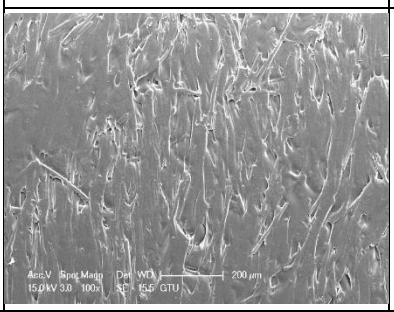
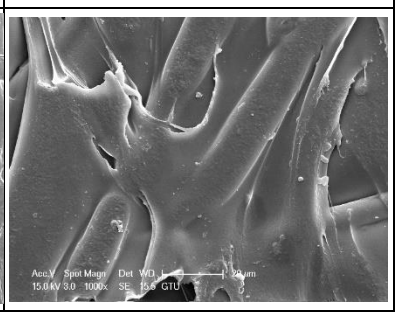
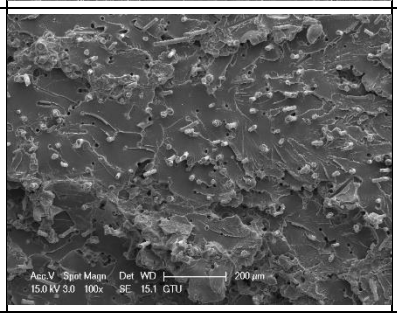
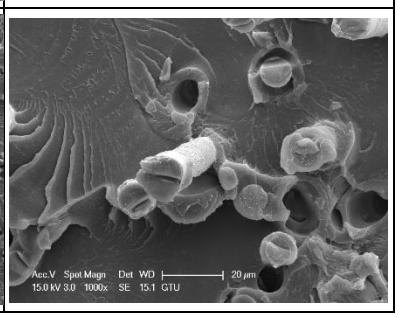
Tablo 4.18: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%10GF numunelerinin SEM görüntüleri.

	Doğal Yaşlandırma Numuneleri	100x	1000x
Kopmuş yüzey	**0***		
Yan Yüzey			
Kopmuş yüzey	**3**		
Yan Yüzey			
Kopmuş yüzey	**6**		

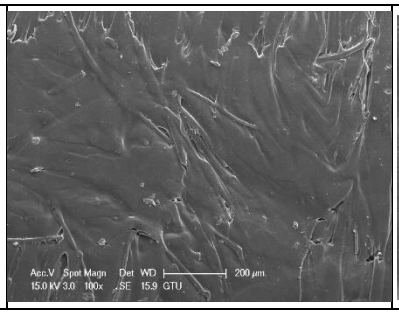
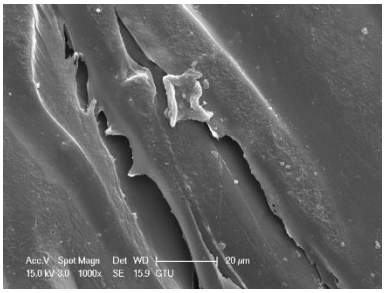
Tablo 4.18: Devam.

Yan Yüzey			
Kopmuş yüzey	**9**		
Yan Yüzey			
Kopmuş yüzey	**12**		
Yan Yüzey			
	* Yaşlandırılmamış PC/%10GF polimerini ifade etmektedir.		
	Geridönüşüm Numuneleri	**100x**	**1000x**

Tablo 4.18: Devam.

Kopmuş yüzey	**PC/%10GF -25N75-GD**		
Yan Yüzey			
Kopmuş yüzey	**PC/%10GF -50N50-GD**		
Yan Yüzey			
Kopmuş yüzey	**PC/%10GF -75N25-GD**		

Tablo 4.18: Devam.

Yan Yüzey			

4.2.2. Hızlandırılmış Yaşlandırma

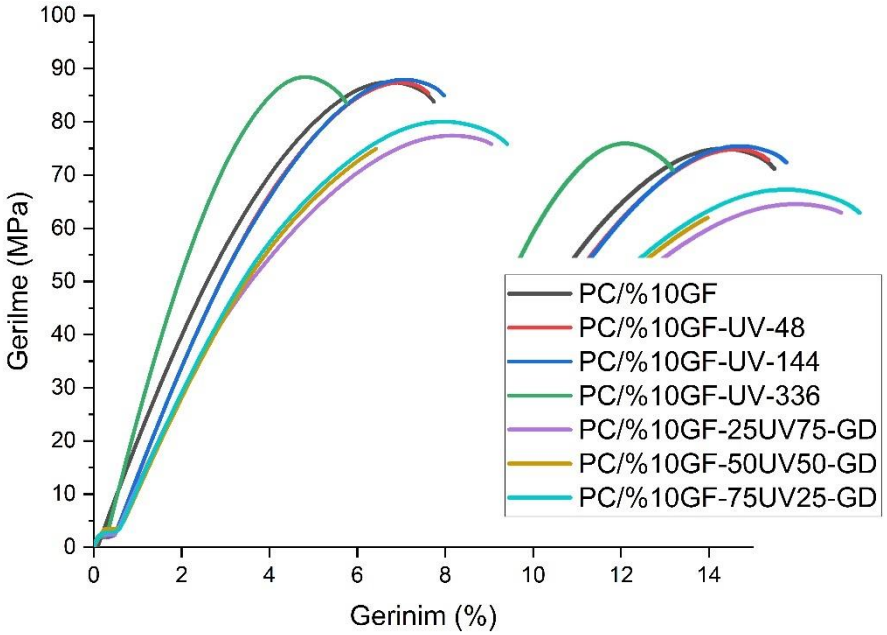
PC/%10GF malzemelerin hızlandırılmış yaşlandırma öncesi ve sonrası ve geridönüşüm sonrasında alınan görüntüleri Tablo 4.19'da gösterilmiştir. Görüntülerden anlaşılacağı üzere numunelerde hızlandırılmış yaşlandırma işlemi ile renk değişimine rastlanmamıştır. Yaşlanmış numune granüllerine saf halleri katılması sonucu renklerde koyulaşma oluşmuştur. Saf granül katkısının artmasıyla renk koyudan açık renge doğru bir miktar değişmiştir.

Tablo 4.19: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%10GF numunelerinin örnek resimleri.

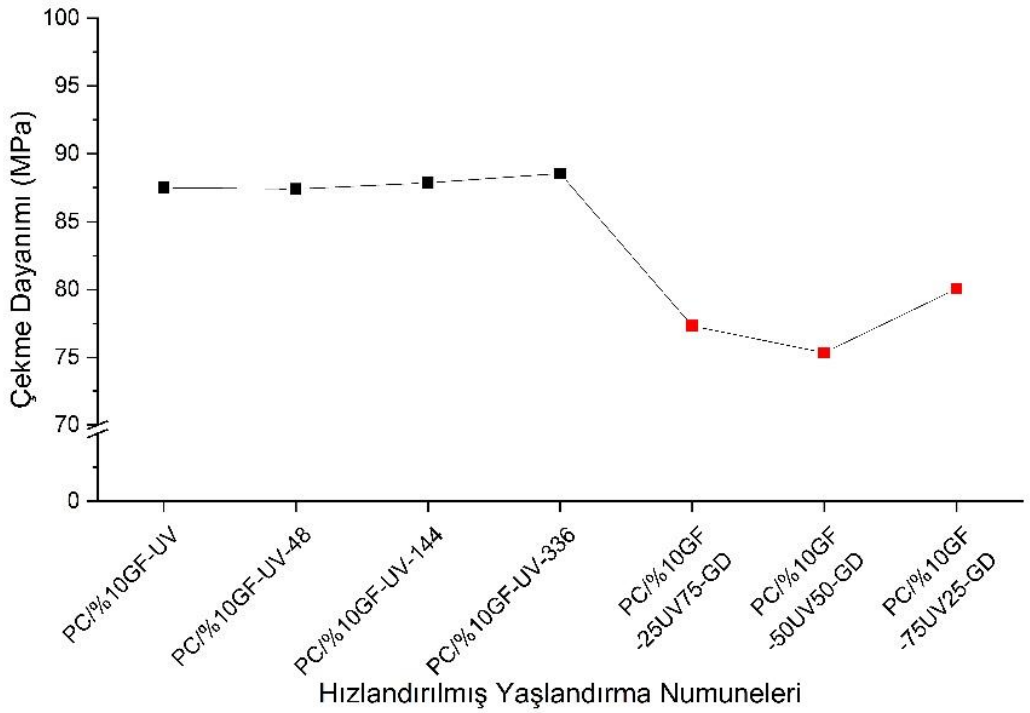
Hızlandırılmış Yaşlandırma Numuneleri	**0***	**48**	**144**	**336**	**PC/%10GF -25UV 75 -GD**	**PC/%10GF -50UV 50 -GD**	**PC/%10GF -75UV 25 -GD**
PC/%10GF							

* Yaşlandırılmamış PC/%10GF polimerini ifade etmektedir.

Hızlandırılmış yaşlandırmaya maruz bırakılan ve bırakılmayan PC/%10GF numunelerine ve 336 saat hızlı yaşalandırılan PC/%10GF numunelerine uygulanan geridönüşüm sonunda gerçekleştirilen çekme testinden elde edilen gerilme - gerinim grafiği Şekil 4.19'da verilmiştir. Maruz kalma sürelerine göre çekme dayanımı grafiği Şekil 4.20'de verilmiştir. Çekme testi sonuçlarının ortalama değer ve sapmaları ise Tablo 4.20'de verilmiştir. %10 cam elyaf katkılı PC malzemenin çekme testi sonuçları incelendiğinde, malzemenin çekme dayanımının 336 saatlik yaşlandırma ile değişmediği, kopma uzamasının ise ilk 48 saat sonunda %11 arttığı, 336 saat sonunda ise %23 oranında azaldığı görülmüştür. Geridönüşüm işlemleri sonrasında PC/%10GF numunelerinin çekme dayanım değerleri bağlangıç değerlerinin altında kalmıştır, kopma uzamalarında ise artış görülmüştür.



Şekil 4.19: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%10GF numunelerinin gerilme - gerinim grafiği.



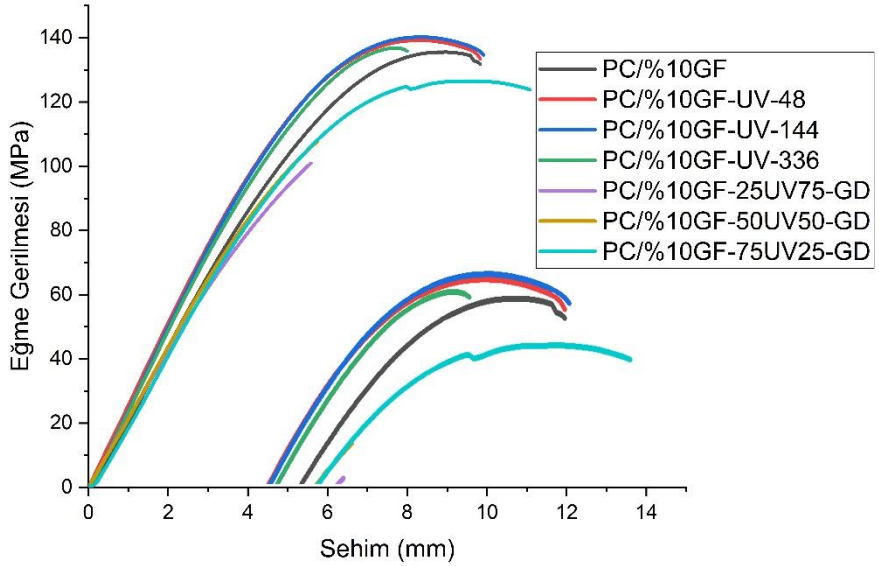
Şekil 4.20: Çekme dayanımı değişim grafiği.

Tablo 4.20: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%10GF numunelerinin çekme testi sonuçları.

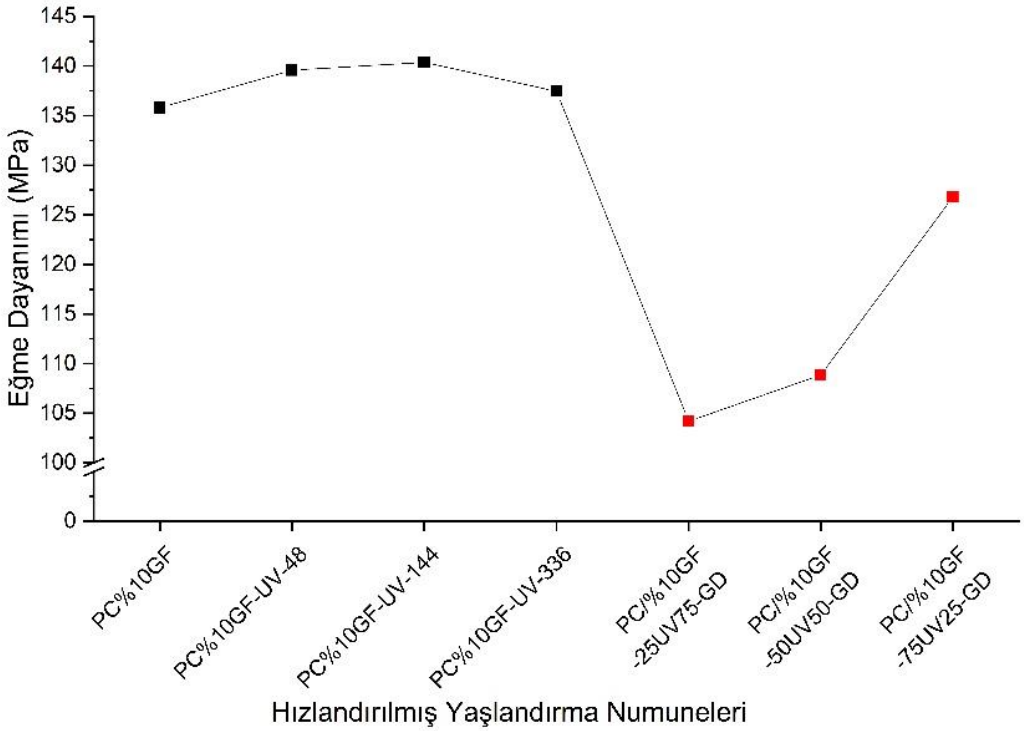
Polimerik Malzemeler	**Kopma Uzaması (%)**	**Çekme Dayanımı (MPa)**
PC/%10GF	7,54±0,10	87,52±0,60
PC/%10GF -UV-48	8,40±0,80	87,41±0,30
PC/%10GF -UV-144	7,93±0,40	87,87±0,40
PC/%10GF -UV-336	5,76±0,40	88,55±0,70
PC/%10GF -25UV75-GD	9,56±0,63	77,32±0,72
PC/%10GF -50UV50-GD	7,28±1,75	75,34±3,87
PC/%10GF -75UV25-GD	9,30±0,70	80,06±0,58

Hızlandırılmış yaşlanmaya maruz bırakılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%10GF numunelerinin gerilme - sehim grafiği Şekil 4.21'de, maruz kalma sürelerine göre eğme dayanımı grafiği Şekil 4.22'de verilmiştir. Eğme testi sonuçlarının ortalama değer ve sapmaları ise Tablo 4.21'de verilmiştir. %10 cam elyaf katkılı PC malzemenin sonuçları incelendiğinde, eğme dayanımının her üç maruz kalma süresinde de yaşlanmamış numunelere göre artış gösterdiği, ancak bu artışın maruz kalma süresi ile orantılı değişmediği görülmüştür. Elde edilen artışlar ise 48 saat sonunda %3, 144 saat sonunda %3,5 ve 336 saat sonunda ise %1 seviyelerindedir.

Geridönüşüm işlemleri sonrasında PC/%10GF numunelerinin eğme dayanımları , başlangıç değerinin altında kalmış, %75 saf PC/%10GF katkısı diğer katkı oranları arasında dayanımda artış sağlamıştır.



Şekil 4.21: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%10GF numunelerinin gerilme - sehim grafiği.

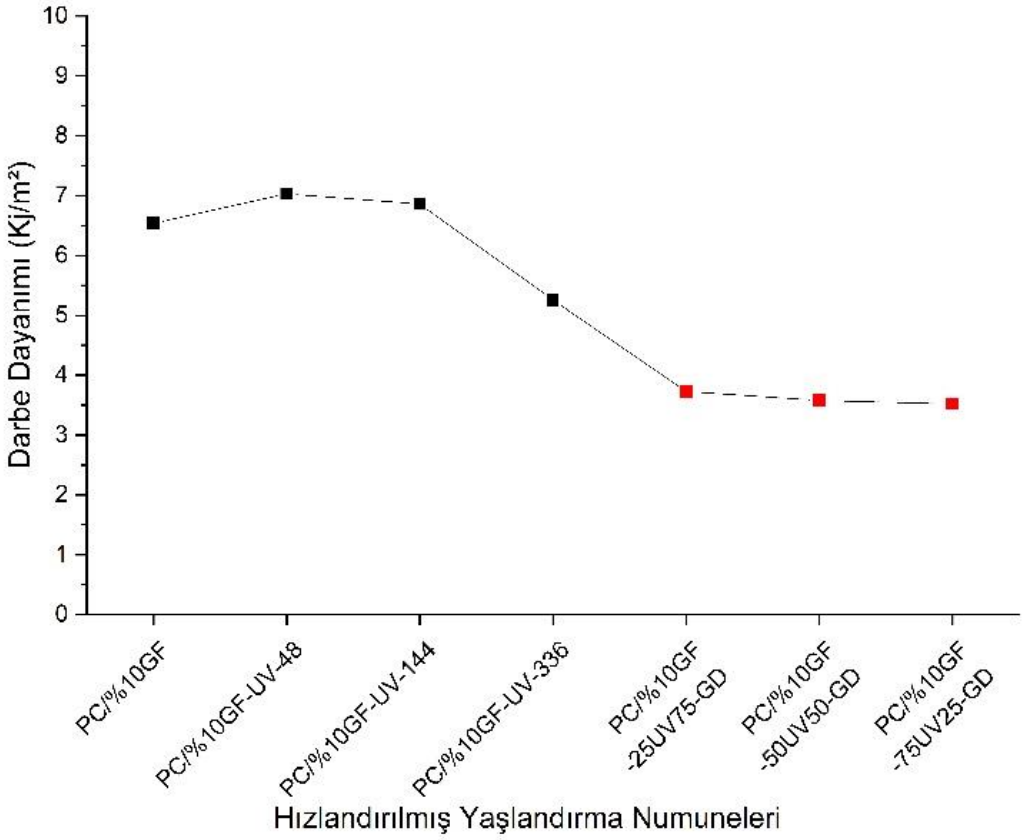


Şekil 4.22: Eğme dayanımı değişim grafiği.

Tablo 4.21: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%10GF numunelerinin eğme testi sonuçları.

Polimerik Malzemeler	**Toplam Sehim (mm)**	**Eğme Dayanımı (MPa)**
PC/%10GF	9,96±0,13	135,80±2,00
PC/%10GF -UV-48	9,63±0,30	139,58±1,00
PC/%10GF -UV-144	9,59±0,70	140,37±2,00
PC/%10GF -UV-336	8,49±1,30	137,46±5,00
PC/%10GF -25UV75-GD	6,54±1,80	104,18±11,50
PC/%10GF -50UV50-GD	6,49±2,19	108,85±9,95
PC/%10GF -75UV25-GD	10,38±0,91	126,81±1,35

Hızlandırılmış yaşlandırmaya maruz bırakılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%10GF numunelerinin darbe dayanımı grafiği Şekil 4.23'te verilmiştir. Darbe testi sonuçlarının ortalama değer ve sapmaları ise Tablo 4.22'de verilmiştir. Darbe dayanımı sonuçları incelendiğinde PC/%10GF malzemenin ilk 48 saatte %8 lik bir artış, ardından 336 saat sonunda %20 oranına varan bir düşüş gösterdiği görülmüştür. Geridönüşüm işlemleri sonrasında PC/%10GF numunelerinin darbe dayanımları başlangıç değerlerinin yaklaşık %45 altında kalmıştır.



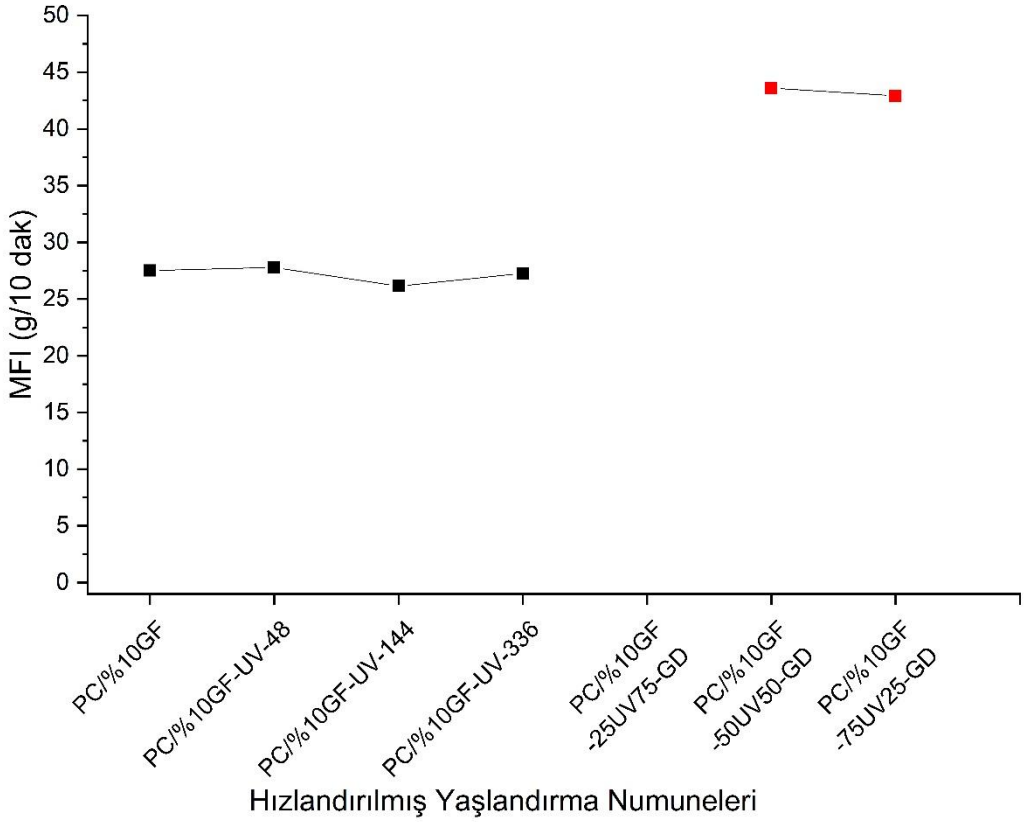
Şekil 4.23: Darbe dayanımı değişimi grafiği.

Tablo 4.22: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%10GF numunelerinin darbe testi sonuçları.

Polimerik Malzemeler	**Darbe Dayanımı (kJ/m^2)**
PC/%10GF	6,54±0,60
PC/%10GF-UV-48	7,03±0,30
PC/%10GF-UV-144	6,86±0,60
PC/%10GF-UV-336	5,26±0,50
PC/%10GF -25UV75-GD	3,73±0,78
PC/%10GF -50UV50-GD	3,58±0,57
PC/%10GF -75UV25-GD	3,52±0,84

Hızlandırılmış yaşlandırmaya maruz bırakılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%10GF numunelerinin MFI grafiği Şekil 4.24'te verilmiştir. MFI testi sonuçlarının ortalama değer ve sapmaları ise Tablo 4.23'te verilmiştir. MFI testleri sonucunda hızlandırılmış yaşlanma süresine bağlı olarak bir değişim elde edilmediği görülmüştür. Geridönüşüm sonrasında ise PC/%10GF numunelerinin başlangıç değerlerinin yaklaşık %55 üstünde kalmıştır. Saf katkı oranının artması MFI değerlerini arttırmıştır.

%25 saf katkısı eklenen PC/%10GF test numunelerinden değer alınamadığı için grafiğe eklenmemiştir Tabloda ise "*" işareti ile gösterilmiştir.



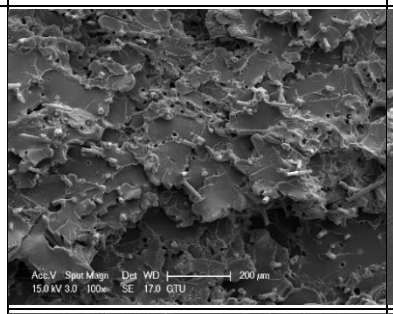
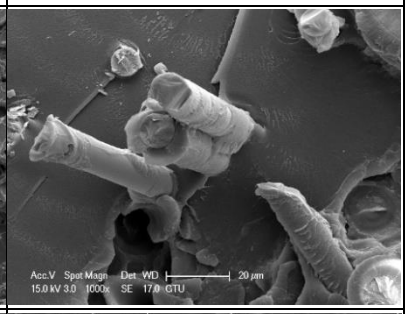
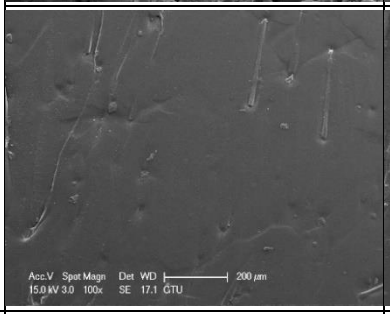
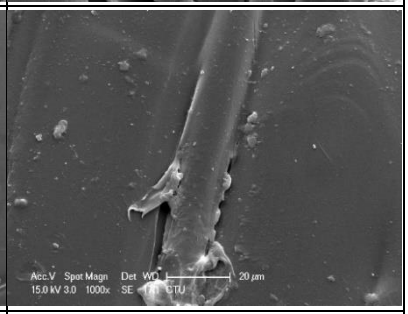
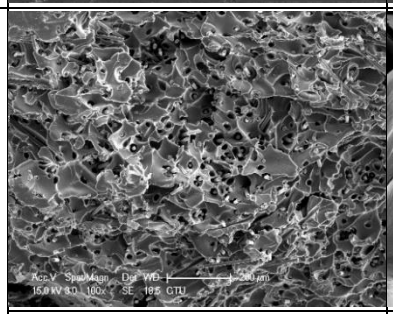
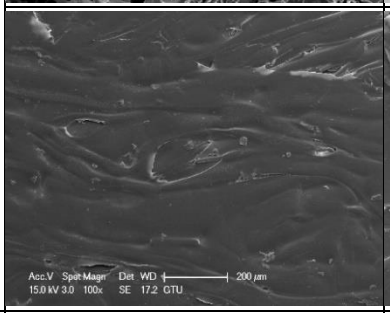
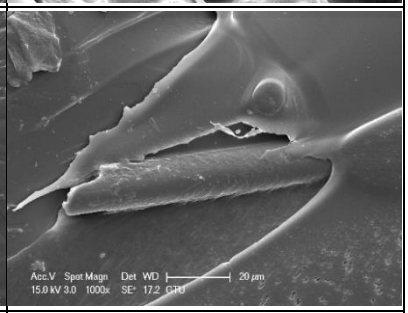
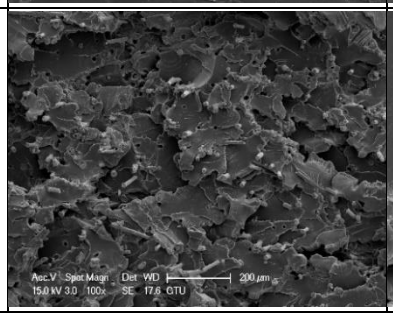
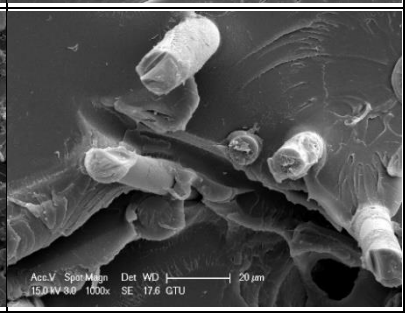
Şekil 4.24: MFI değişim grafiği.

Tablo 4.23: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%10GF numunelerinin MFI testi sonuçları.

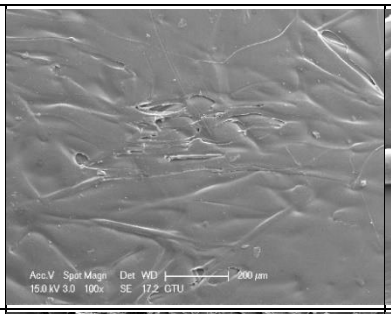
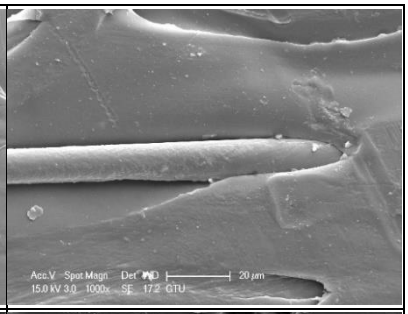
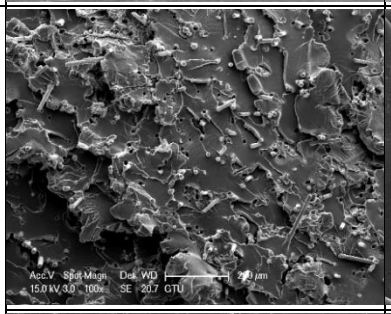
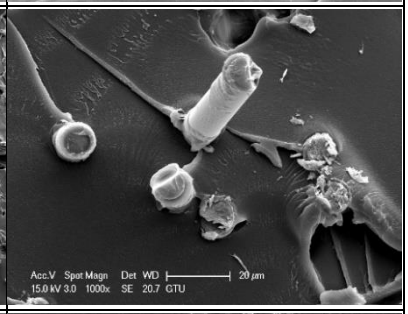
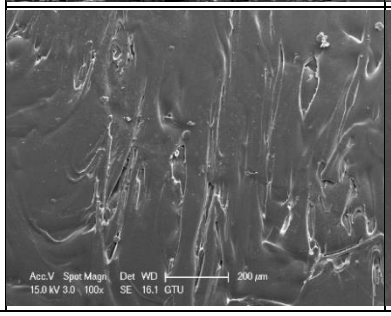
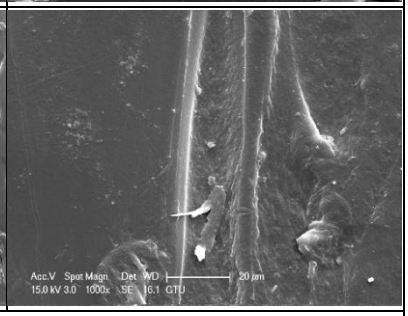
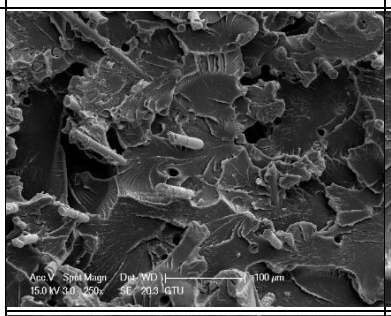
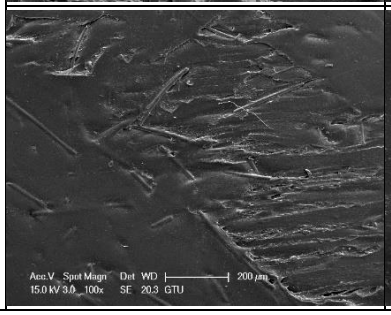
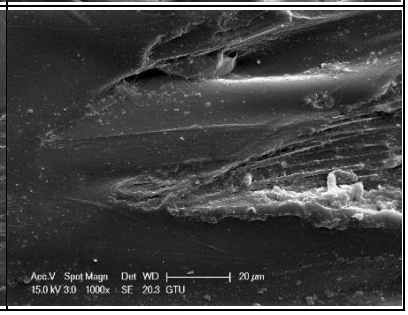
Polimerik Malzemeler	MFI (g/10 dak)
PC/%10GF	27,52±2,50
PC/%10GF-UV-48	27,79±1,00
PC/%10GF-UV-144	26,14±2,80
PC/%10GF-UV-336	27,27±2,20
PC/%10GF -25UV75-GD	*
PC/%10GF -50UV50-GD	43,60±16,73
PC/%10GF -75UV25-GD	42,91±9,72

Hızlandırılmış yaşlandırmaya maruz bırakılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%10GF numunelerinin SEM görüntüleri Tablo 4.24'te verilmiştir. SEM görüntüleri incelendiğinde numune yan ve kesit resimlerinde genel olarak herhangi bir çatlak veya boşluk oluşumu gözlenmemiştir. 48 saat sonunda fiberlerin matrislerden ayrıldığı görülmüştür.

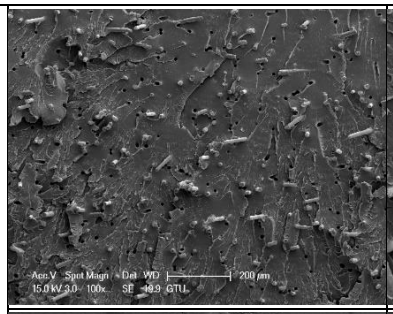
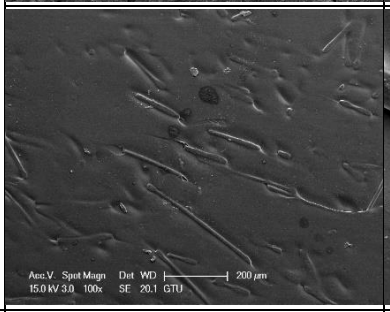
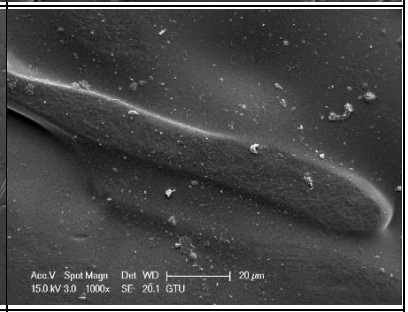
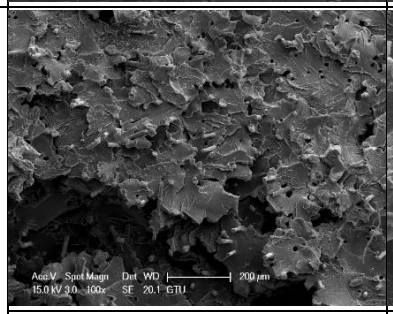
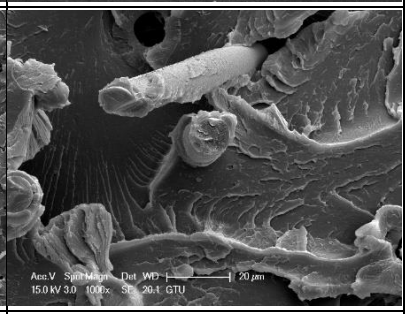
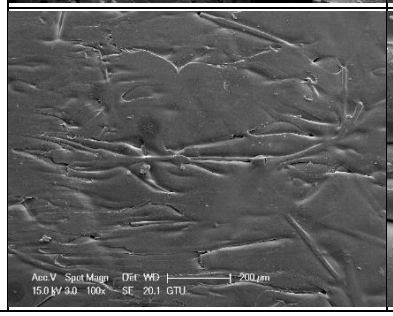
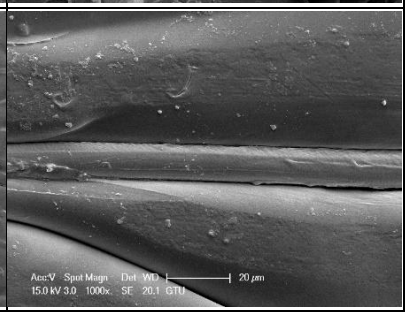
Tablo 4.24: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan PC/%10GF numunelerinin SEM görüntüleri.

	Hızlandırılmış Yaşlandırma Numuneleri	**100x**	**1000x**
Kopmuş yüzey	**0***		
Yan Yüzey			
Kopmuş yüzey	**48**		
Yan Yüzey			
Kopmuş yüzey	**144**		

Tablo 4.24: Devam.

Yan Yüzey			
Kopmuş yüzey	**336**		
Yan Yüzey			
	* Yaşlandırılmamış PC/%10GF polimerini ifade etmektedir.		
	Geridönüşüm Numuneleri	**100x**	**1000x**
Kopmuş yüzey	**PC/%10GF - 25UV75-GD**		
Yan Yüzey			

Tablo 4.24: Devam.

Kopmuş yüzey	**PC/%10GF - 50UV50-GD**		
Yan Yüzey			
Kopmuş yüzey	**PC/%10GF - 75UV25-GD**		
Yan Yüzey			

4.3. PC/%20GF Malzeme Test Sonuçları

4.3.1. Doğal Yaşlandırma

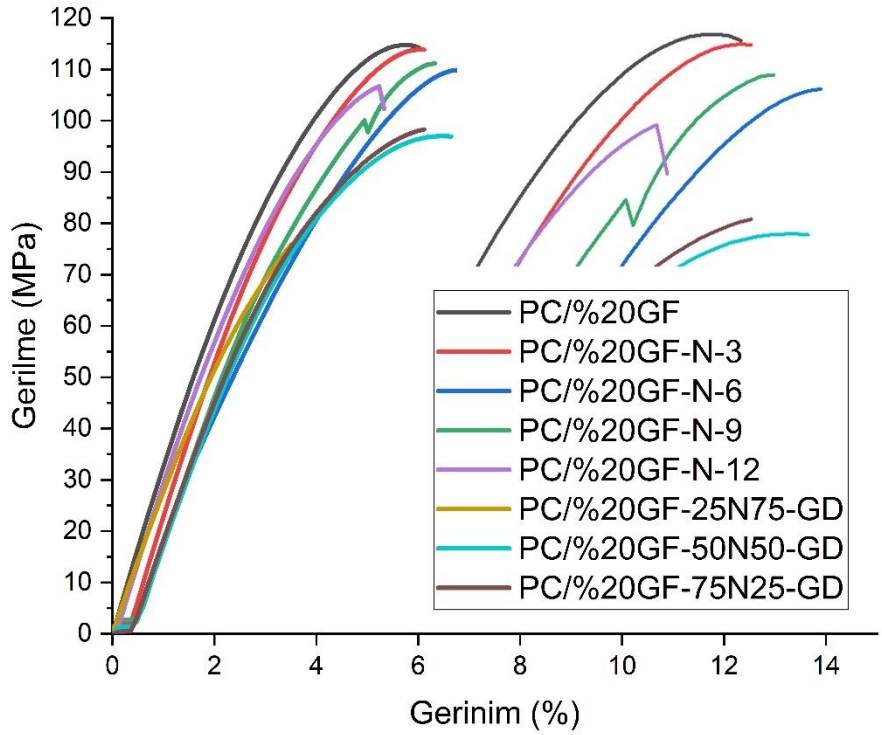
PC/%20GF test numunelerinin doğal yaşlandırma öncesi, sonrası ve geridönüşüm sonrasında çekilen görüntüleri Tablo 4.25'te verilmiştir. Görüntülerden anlaşılacağı üzere numunelerde doğal yaşlandırma işlemi ile renk değişimine rastlanmamıştır. Geridönüşüm işlemleri sonrasında yaşlanmamış saf granül oranının artmasıyla renk koyudan açık renge doğru değişmiştir. Yaşlanmış granül oranının artması, renkte koyulaşma meydana getirmiştir.

Tablo 4.25: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%20GF numunelerinin örnek resimleri.

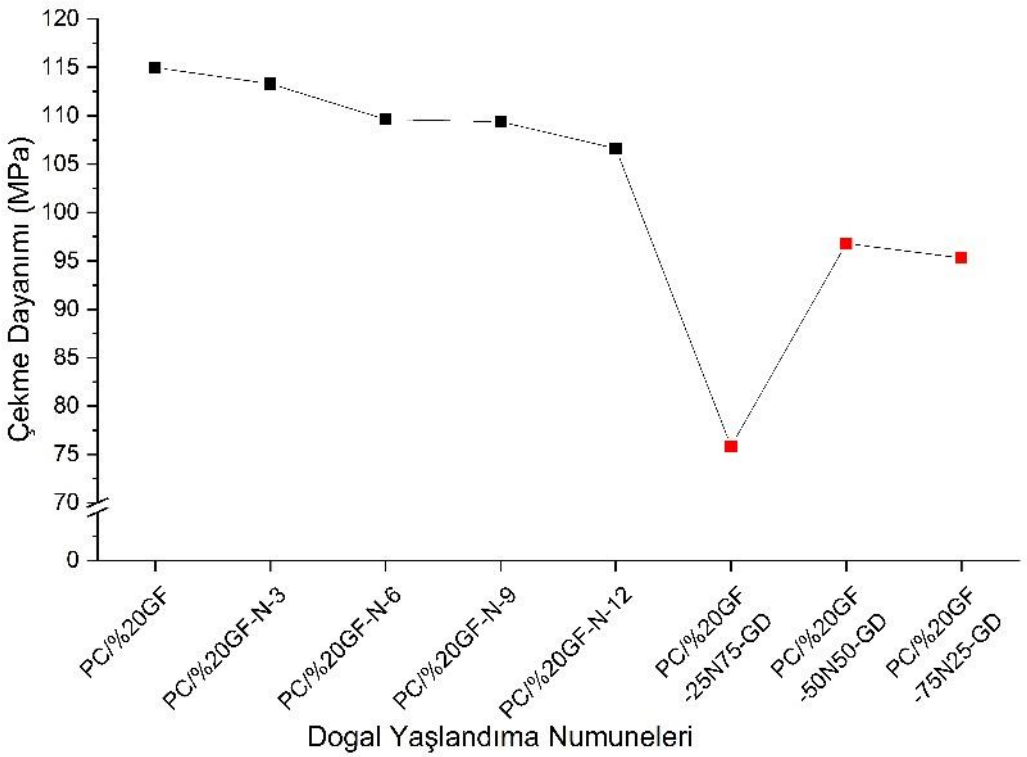
Doğal Yaşlandırma Numuneleri	**0***	**3**	**6**	**9**	**12**	**PC/ %20 GF - 25N 75- GD**	**PC/ %20 GF - 50N 50 -GD**	**PC/% 20GF -75N 25 -GD**
PC/%20GF								
***** Yaşlandırılmamış PC/%20GF polimerini ifade etmektedir.								

Üretildikten 24 saat sonra (yaşlandırılmamış) ve 3, 6, 9, 12 ay doğal yaşlandırmaya maruz bırakıldıktan sonra ve 12 ay yaşlanmış PC/%20GF numunelere uygulanan geridönüşüm sonrasında gerçekleştirilen çekme testlerinin sonuçları Şekil

4.25'teki gerilme - gerinim grafiği ile verilmiştir. Tipik gerilme - gerinim eğrisinden elde edilen çekme dayanımı değerlerinin yaşlandırma süresi ile ilişkisi ise Şekil 4.26'da gösterilmiştir. Çekme dayanımı ve kopma uzaması ortalama değerleri ve testler sırasında elde edilen sapmalar Tablo 4.26'da verilmiştir. %20 cam elyaf katkılı PC numunelerinin doğal yaşlandırma sonrası çekme testi sonuçları incelendiğinde, ilk 3 aylık süre sonunda çekme dayanımının değişmediği, 6 ve 9 aylık süre sonunda ise yaklaşık %5 oranında düştüğü gözlemlenmiştir. 12 aylık doğal yaşlandırma sonrasında çekme dayanımında %7,29 azalma meydana gelmiştir. Kopma uzamalarında ise 6 ay sonunda %13 oranında artış meydana gelmiştir. 12 ay sonunda kopma uzamasında düşüş eğilimi görülmüştür. Geridönüşüm uygulanan 12 ay doğal yaşlandırılmış PC/20GF numunelerine sırasıyla %25, %50 ve %75 saf oran katılmasıyla çekme dayanımları, hem saf hemde 12 doğal yaşlanmış numunelerin altında kalmıştır. Kopma uzamalarında ise hem saf hemde 12 ay doğal yaşlanmış numunelere göre %50 ve %75 saf katkısıyla artış görülmüştür.



Şekil 4.25: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%20GF numunelerinin gerilme - gerinim grafiği.



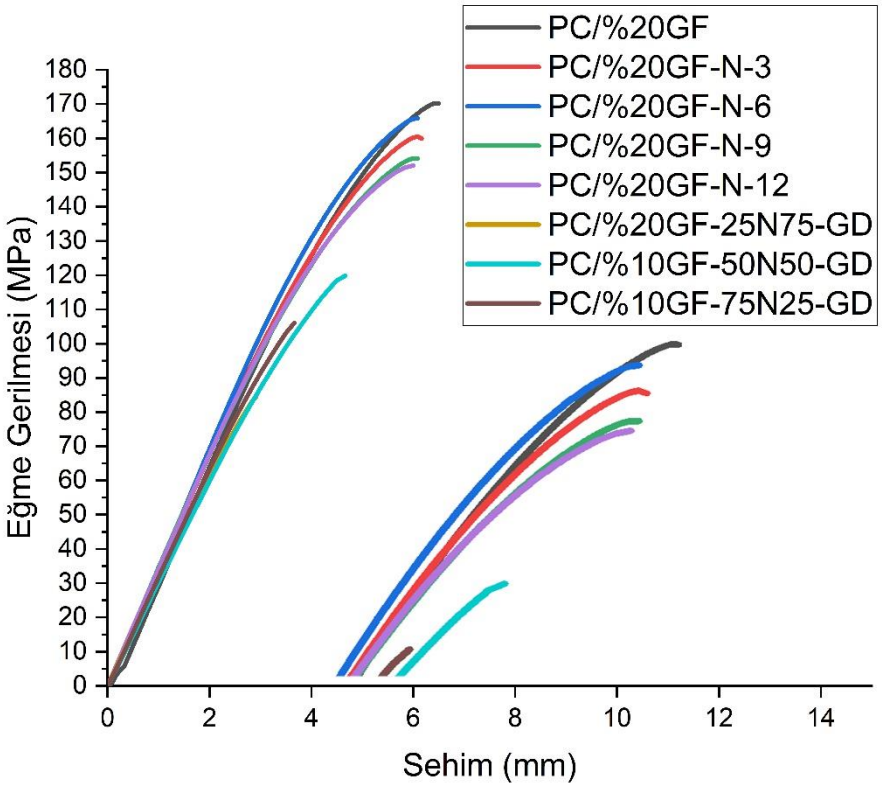
Şekil 4.26: Çekme dayanımı değişimi grafiği.

Tablo 4.26: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%20GF numunelerinin çekme testi sonuçları.

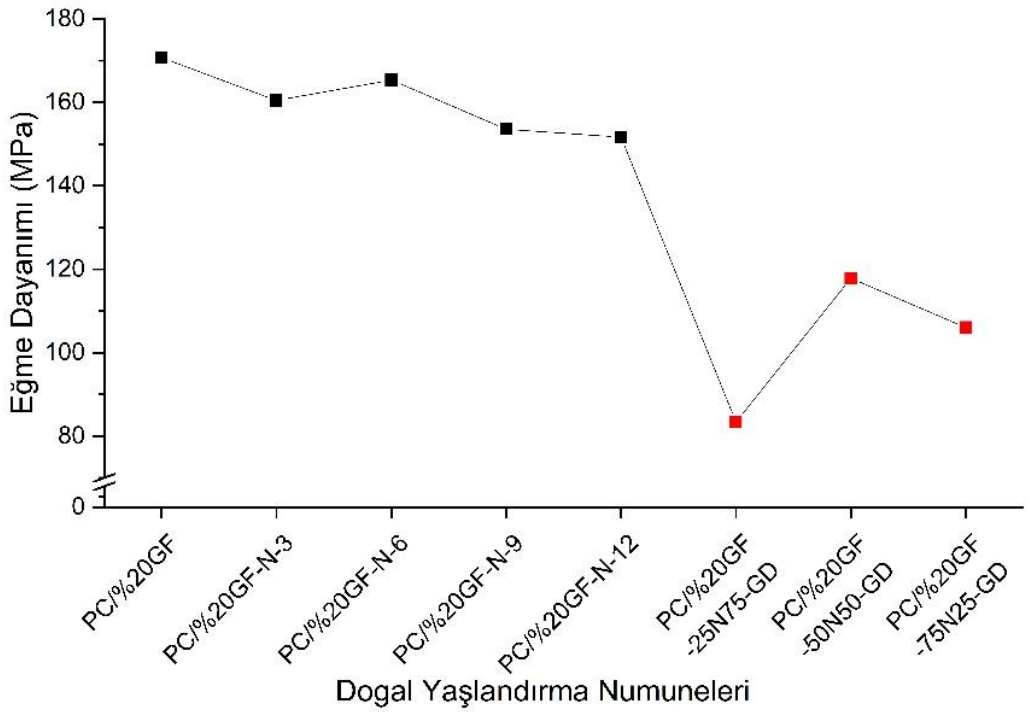
Polimerik Malzemeler	**Kopma Uzaması (%)**	**Çekme Dayanımı (MPa)**
PC/%20GF	5,91±0,20	114,98±1,00
PC/%20GF-N-3	6,07±0,50	113,30±0,85
PC/%20GF-N-6	6,71±0,20	109,63±1,10
PC/%20GF-N-9	6,16±0,40	109,38±3,50
PC/%20GF-N-12	5,49±0,25	106,60±1,35
PC/%20GF - 25N75-GD	3,75±0,93	75,82±7,50
PC/%20GF - 50N50-GD	6,64±0,32	96,81±0,74
PC/%20GF - 75N25-GD	6,49±0,69	98,30±1,26

Doğal yaşlandırmaya maruz bırakılan, bırakılmayan ve geridönüşüm uygulanan PC/%20GF numunelerinin eğme gerilmesi - sehim grafiği Şekil 4.27'de verilmiştir. Eğme dayanımı değerlerinin yaşlandırma süresi ile ilişkisi Şekil 4.28'de gösterilmiştir. Eğme testi sonuçlarının ortalama değer ve sapmaları Tablo 4.27'de verilmiştir. %20 cam elyaf takviyeli PC malzemenin doğal yaşlanma sonrası eğme testi sonuçları

incelendiğinde, ilk 3 ay sonunda dayanımın %6 oranında düştüğü, 6 ay sonunda ise düşüşün %3 seviyelerine gerilediği gözlemlenmiştir. 9 ve 12 ay yaşlandırma sonrasında eğme dayanımı sırasıyla %10,05 ve %11,18 oranında azalmıştır. Sehim değerlerinde ise yaşlanma zamanıyla birlikte azalma eğilimi görülmüştür. Geridönüşüm uygulanan 12 ay doğal yaşlandırılmış PC/20GF numunelerine sırasıyla %25, %50 ve %75 saf oran katılmasıyla hem eğme dayanımları hemde sehim miktarları, saf ve 12 ay doğal yaşlanmış numunelerin altında kalmıştır. Fakat kendi içerisinde saf oranın artması, dayanım değerlerinde artışa sebep olmuştur.



Şekil 4.27: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%20GF numunelerinin gerilme - sehim grafiği.



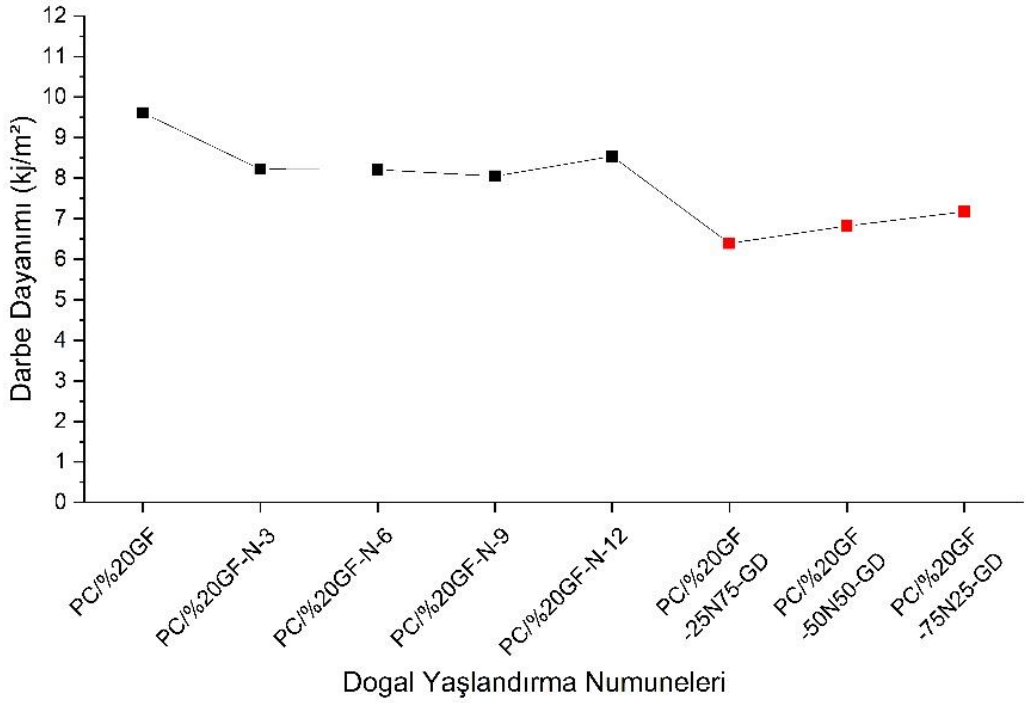
Şekil 4.28: Eğme dayanımı değişim grafiği.

Tablo 4.27: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%20GF numunelerinin eğme testi sonuçları.

Polimerik Malzemeler	**Toplam Sehim (mm)**	**Eğme Dayanımı (MPa)**
PC/%20GF	6,55±0,10	170,71±3,00
PC/%20GF-N-3	6,19±0,11	160,46±1,10
PC/%20GF-N-6	6,09±0,20	165,37±1,30
PC/%20GF-N-9	6,19±0,26	153,55±2,70
PC/%20GF-N-12	5,71±0,30	151,63±2,50
PC/%20GF - 25N75-GD	2,85±0,21	83,36±5,10
PC/%20GF - 50N50-GD	4,39±0,53	117,81±8,08
PC/%20GF - 75N25-GD	3,66±0,31	106,07±6,64

Doğal yaşlandırmaya maruz bırakılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%20GF numunelerinin darbe dayanımı grafiği Şekil 4.29'da verilmiştir. Darbe testi sonuçlarının ortalama değer ve sapmaları Tablo 4.28'de verilmiştir. %20 cam elyaf takviyeli PC malzemenin doğal yaşlanma sonrasındaki darbe testi sonuçları incelendiğinde, darbe dayanımının 3 ay sonrasında %15 oranında düştüğü ve 6 ay sonunda da yine bu seviyelerde kaldığı görülmüştür. 9 ay doğal yaşlandırma

sonrasında darbe dayanımında %16,23 azalış olurken, 12 ay sonunda darbe dayanımında %11 oaranında düşüşle bir miktar geri kazanım gözlemlenmiştir. 12 ay doğal yaşlandırılmış PC/20GF numunelerine geridönüşüm uygulanması darbe dayanımlarında hem saf hemde 12 ay doğal yaşlanmış numunelere göre düşüş görülmüştür. Fakat kendi içerisinde saf oranın artması, dayanım değerlerini artırmıştır.



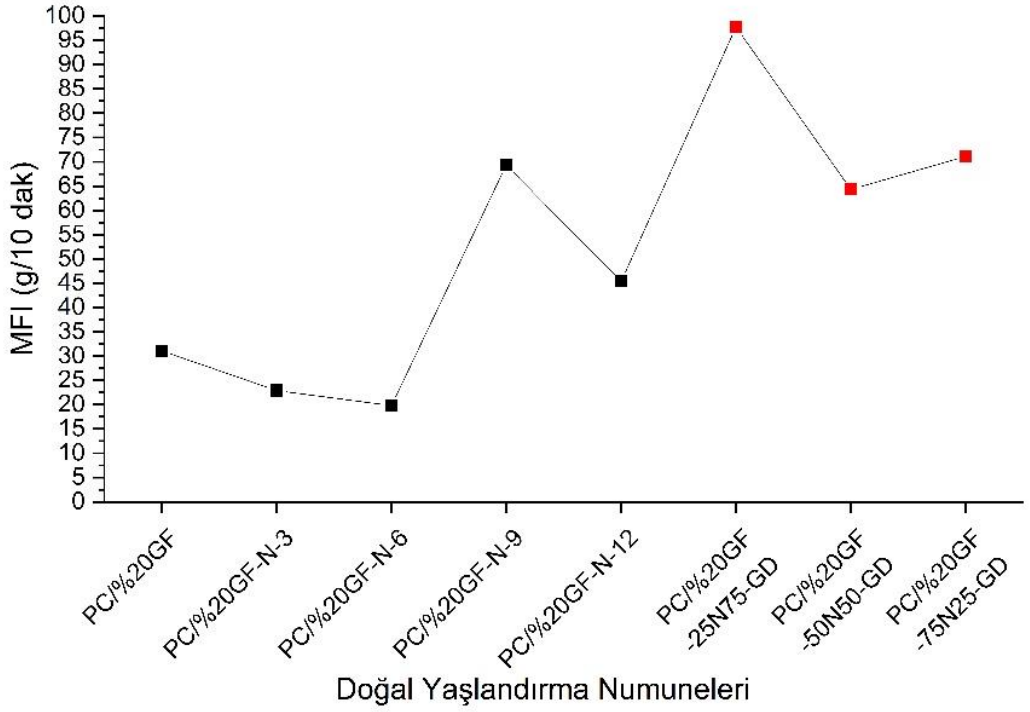
Şekil 4.29: Darbe dayanımı değişim grafiği.

Tablo 4.28: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%20GF numunelerinin darbe testi sonuçları.

Polimerik Malzemeler	Darbe Dayanımı (kJ/m^2)
PC/%20GF	9,61±0,60
PC/%20GF-N-3	8,22±0,30
PC/%20GF-N-6	8,21±0,30
PC/%20GF-N-9	8,05±0,25
PC/%20GF-N-12	8,54±0,58
PC/%20GF -25N75-GD	6,39±0,29
PC/%20GF -50N50-GD	6,82±0,32
PC/%20GF -75N25-GD	7,17±1,29

Doğal yaşlandırmaya maruz bırakılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%20GF numunelerinin MFI değişim grafiği Şekil 4.30'da verilmiştir. MFI testi sonuçlarının ortalama değer ve sapmaları Tablo 4.29'da verilmiştir. PC/20GF numunelerinin ilk 3

ay sonunda MFI değeri %26, 6 ay sonunda ise %36 düştüğü gözlemlenmiştir. 9 ay doğal yaşlandırma sonrasında MFI değerinde %122,82, 12 ay sonunda ise yaklaşık %45 artış olmuştur. Geridönüşüm uygulanan PC/20GF numunelerinin MFI değerlerinde artış meydana gelmiştir.



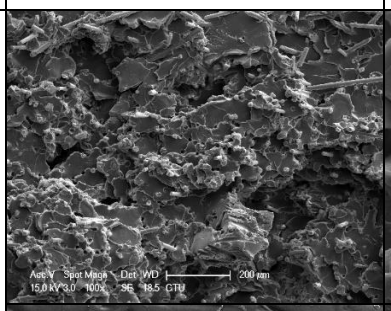
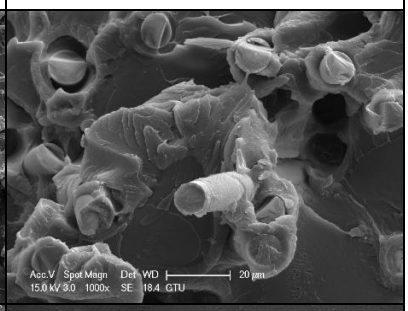
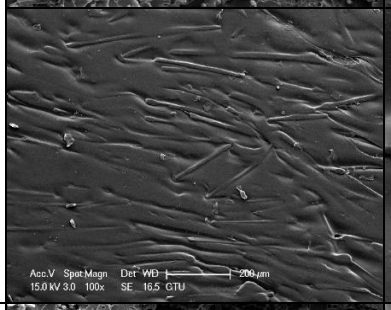
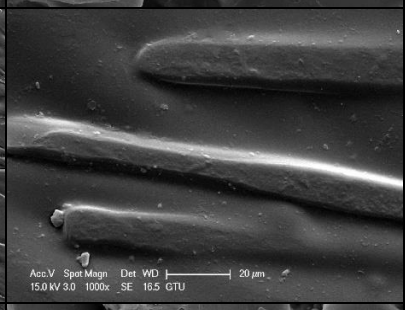
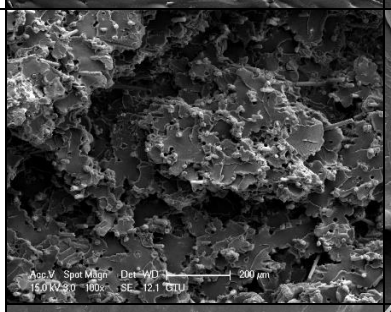
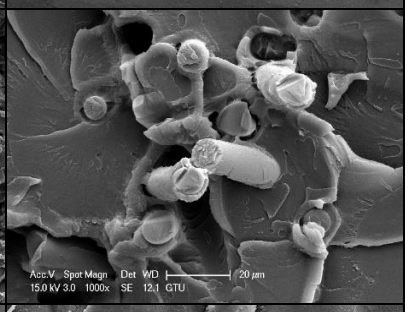
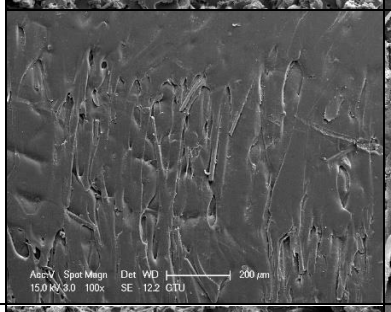
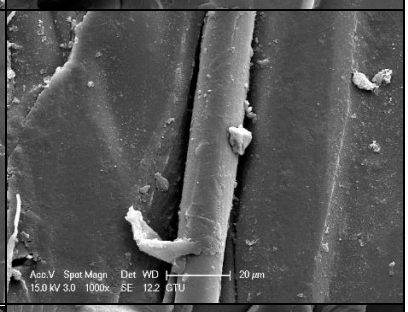
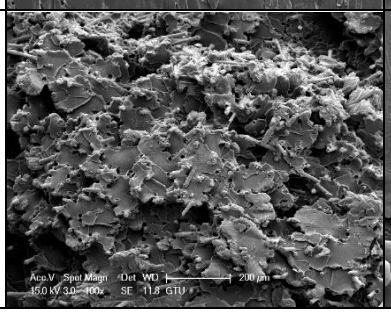
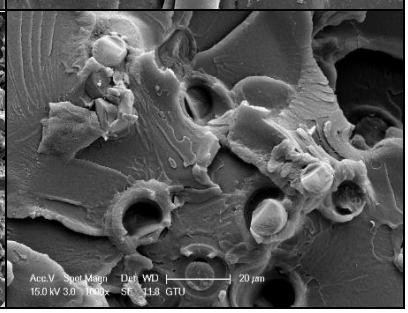
Şekil 4.30: MFI değişim grafiği.

Tablo 4.29: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%20GF numunelerinin MFI testi sonuçları.

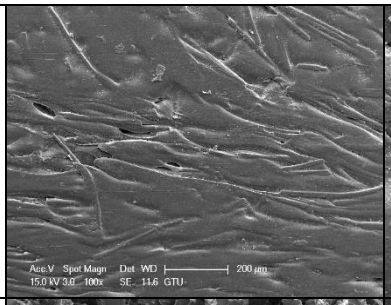
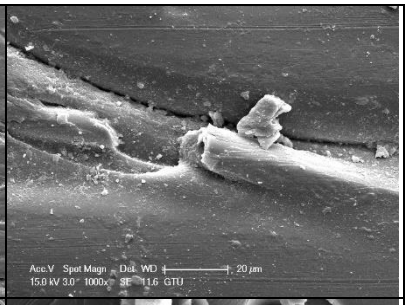
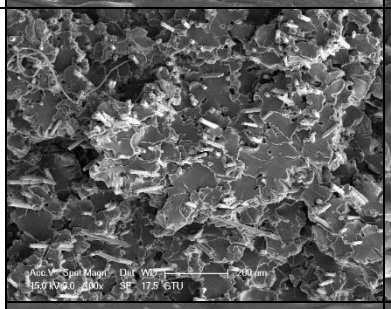
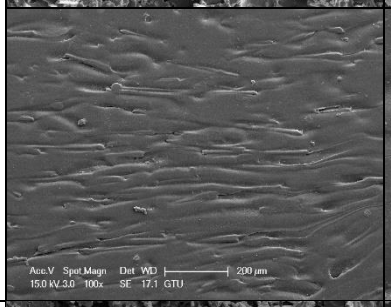
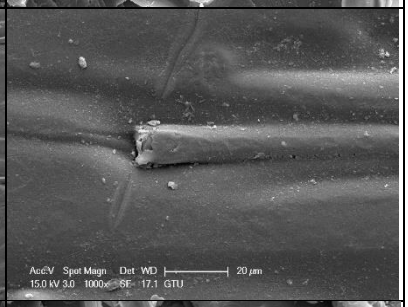
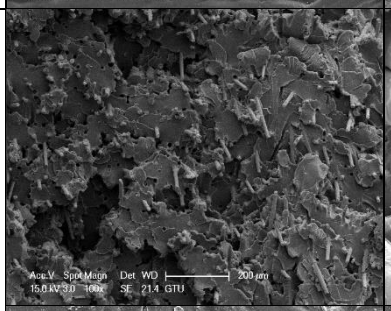
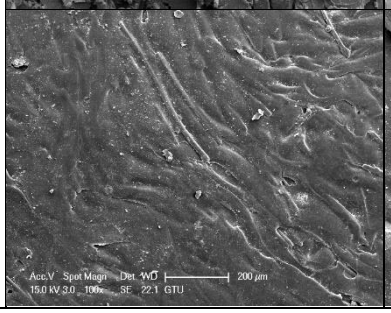
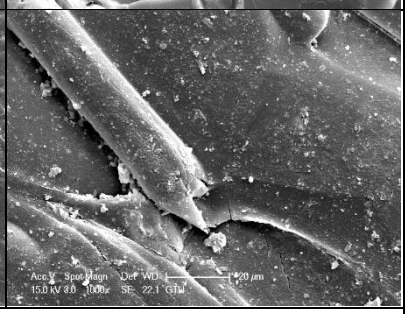
Polimerik Malzemeler	MFI (g/10 dak)
PC/%20GF	31,11±3,00
PC/%20GF-N-3	22,91±2,50
PC/%20GF-N-6	19,80±1,14
PC/%20GF-N-9	69,32±1,30
PC/%20GF-N-12	45,37±1,99
PC/%20GF -25N75-GD	97,72±16,48
PC/%20GF -50N50-GD	64,31±4,03
PC/%20GF -75N25-GD	71,09±5,61

Doğal yaşlandırmaya maruz bırakılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%20GF numunelerinin çekme testleri sonrasında kopan yüzeylerinden alınan SEM görüntüleri Tablo 4.30'da verilmiştir.

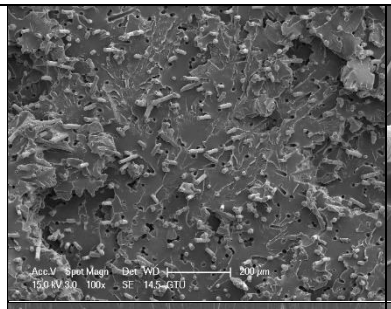
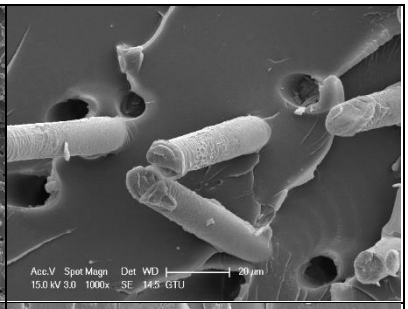
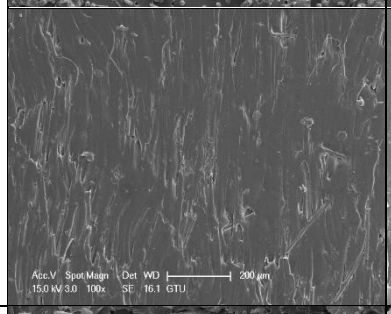
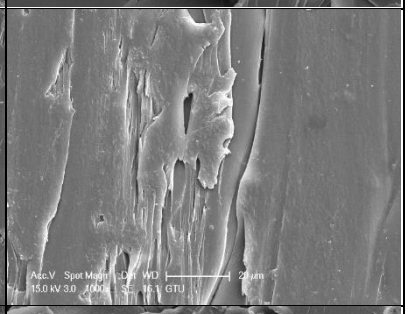
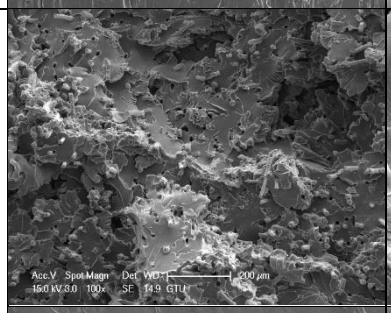
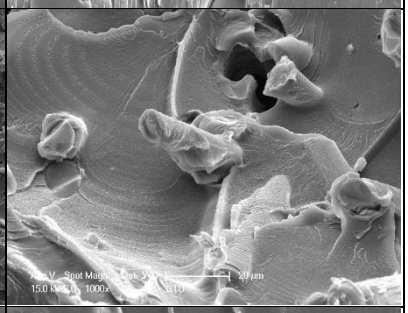
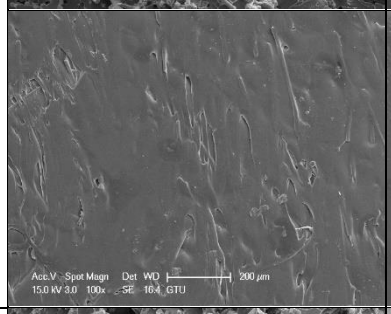
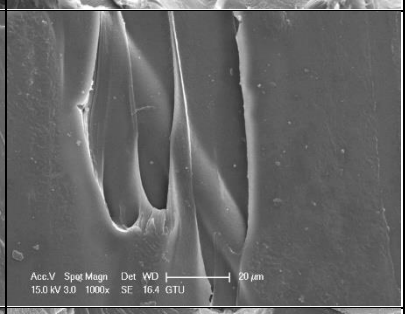
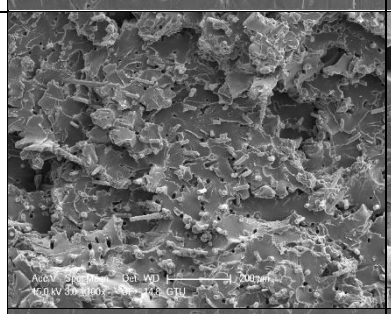
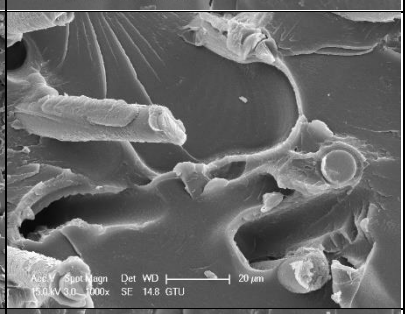
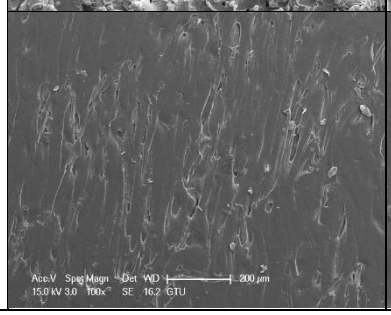
Tablo 4.30: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%20GF numunelerinin SEM görüntüleri.

	Doğal Yaşlandırma Numuneleri	**100x**	**1000x**
Kopmuş yüzey	**0***		
Yan Yüzey			
Kopmuş yüzey	**3**		
Yan Yüzey			
Kopmuş yüzey	**6**		

Tablo 4.30: Devam.

Yan Yüzey			
Kopmuş yüzey	**9**		
Yan Yüzey			
Kopmuş yüzey	**12**		
Yan Yüzey			
	* Yaşlandırılmamış PC/%20GF polimerini ifade etmektedir.		
	Geridönüşüm Numuneleri	**100x**	**1000x**

Tablo 4.30: Devam.

Kopmuş yüzey	**PC/%20GF -25N75-GD**		
Yan Yüzey			
Kopmuş yüzey	**PC/%20GF -50N50-GD**		
Yan Yüzey			
Kopmuş yüzey	**PC/%20GF -75N25-GD**		
Yan Yüzey			

4.3.2. Hızlandırılmış Yaşlandırma

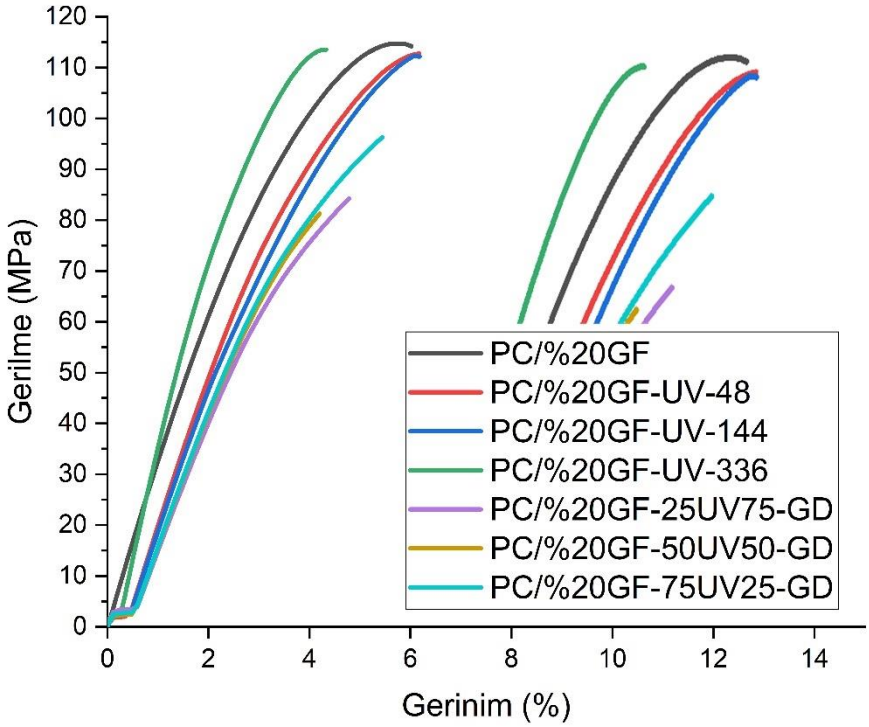
PC/%20GF malzemelerin hızlandırılmış yaşlandırma öncesi ve sonrası ve geridönüşüm sonrasında alınan görüntüleri Tablo 4.31'de gösterilmiştir. Görüntülerden anlaşılacağı üzere numunelerde hızlandırılmış yaşlandırma işlemi ile renk değişimine rastlanmamıştır. Yaşlanmış numune granüllerine saf halleri katılması sonucu renklerde koyulaşma oluşmuştur. Saf granül katkısının artmasıyla renk koyudan açık renge doğru bir miktar değişmiştir.

Tablo 4.31: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%20GF numunelerinin örnek resimleri.

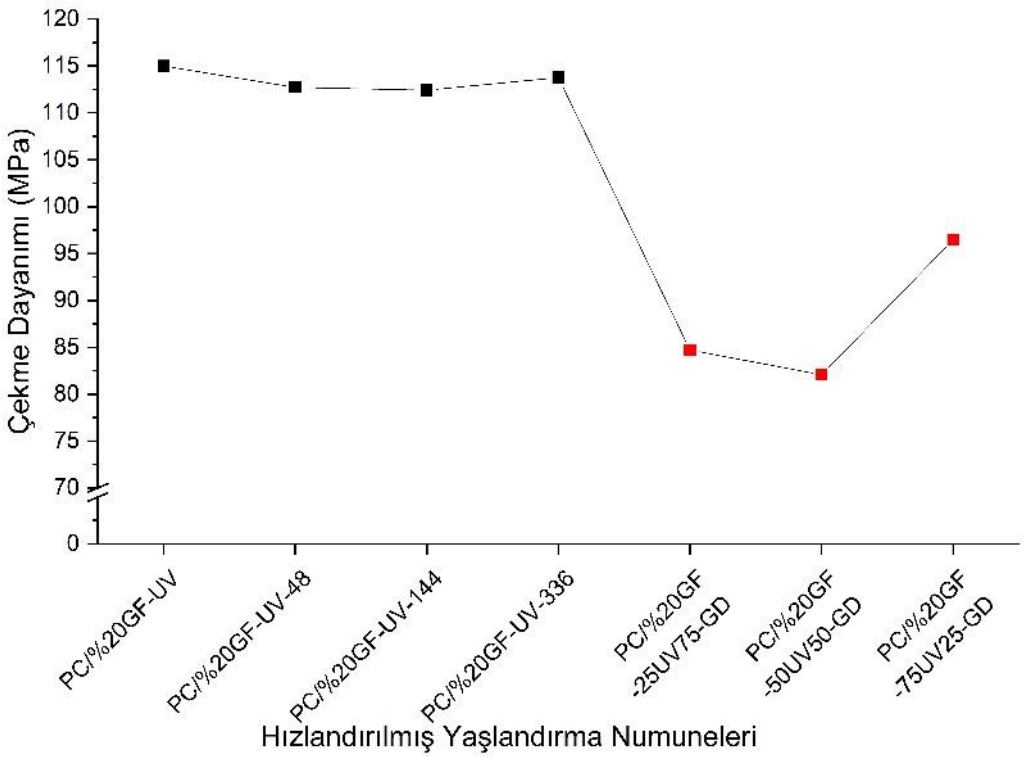
Hızlandırılmış Yaşlandırma Numuneleri	**0***	**48**	**144**	**336**	**PC/%20GF -25UV 75 -GD**	**PC/%20GF -50UV 50 -GD**	**PC/%20GF -75UV 25 -GD**
PC/%20GF							
* Yaşlandırılmamış PC/%20GF polimerini ifade etmektedir.							

Hızlandırılmış yaşlandırmaya maruz bırakılan ve bırakılmayan PC/%20GF numunelerine ve 336 saat hızlı yaşalandırılan PC/%20GF numunelerine uygulanan geridönüşüm sonunda gerçekleştirilen çekme testinden elde edilen gerilme - gerinim grafiği Şekil 4.31'de verilmiştir. Maruz kalma sürelerine göre çekme dayanımı grafiği Şekil 4.32'de verilmiştir. Çekme testi sonuçlarının ortalama değer ve sapmaları ise Tablo 4.32'de verilmiştir. %20 cam elyaf takviyeli PC malzemenin çekme testleri

incelendiğinde, çekme dayanımı değerlerinin hızlandırılmış yaşlanma ile değişmediği görülmüştür. Bu sonuçlar içerisinde yalnızca 336 saat sonrasındaki kopma uzaması değerinde %27 oranında düşüş gözlenmiştir. 336 saat hızlı yaşlandırılan PC/20GF numunelerine uygulanan geridönüşüm işlemleri sonrasında hem çekme dayanımları hemde kopma uzamaları, saf ve 336 saat yaşlanmış numunelerin altında kalmıştır.



Şekil 4.31: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%20GF numunelerinin gerilme - gerinim grafiği.



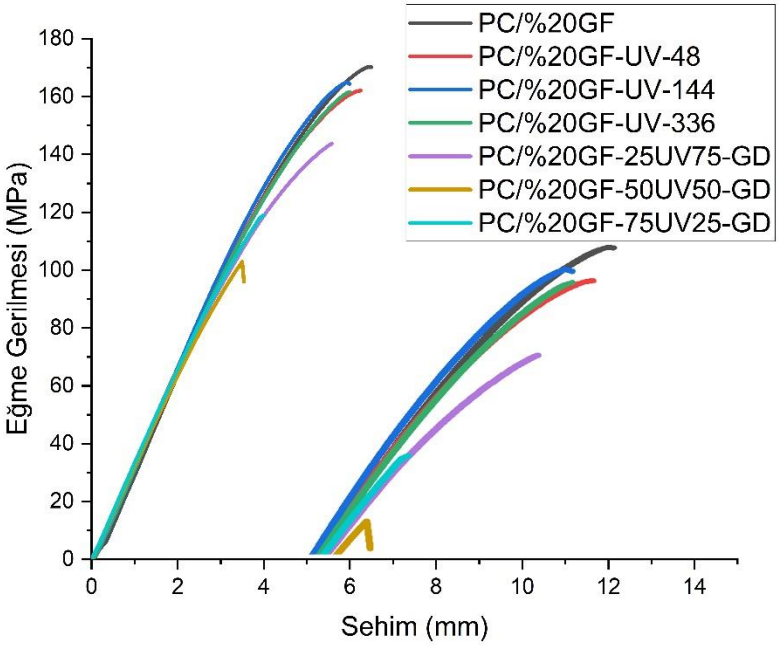
Şekil 4.32: Çekme dayanımı değişim grafiği.

Tablo 4.32: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%20GF numunelerinin çekme testi sonuçları.

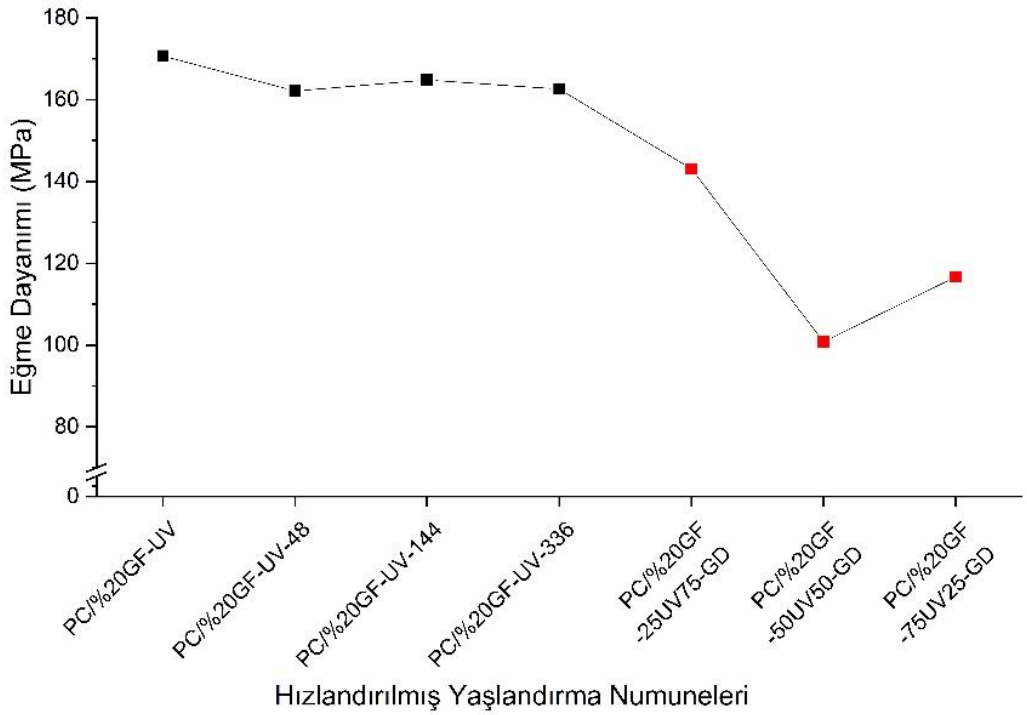
Polimerik Malzemeler	**Kopma Uzaması (%)**	**Çekme Dayanımı (MPa)**
PC/%20GF	5,91±0,2	114,98±1,0
PC/%20GF -UV-48	6,29±0,2	112,71±1,0
PC/%20GF -UV-144	6,08±0,3	112,41±2,0
PC/%20GF -UV-336	4,30±0,2	113,76±0,5
PC/%20GF -25UV75-GD	4,90±0,18	84,71±1,02
PC/%20GF -50UV50-GD	4,53±0,22	82,08±2,52
PC/%20GF -75UV25-GD	5,41±0,31	96,46±2,54

Hızlandırılmış yaşlanmaya maruz bırakılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%20GF numunelerinin gerilme - sehim grafiği Şekil 4.33'te, maruz kalma sürelerine göre eğme dayanımı grafiği Şekil 4.34'te verilmiştir. Eğme testi sonuçlarının ortalama değer ve sapmaları ise Tablo 4.33'te verilmiştir. . %20 cam elyaf takviyeli PC malzemenin hızlandırılmış yaşlanmaya maruz bırakılması sonrasında yapılan eğme testi sonuçları incelendiğinde, eğme dayanımının 48 saat sonunda %5, 144 saat sonunda yaklaşık %3 ve 336 saat sonunda ise tekrar %5 oranında düştüğü görülmüştür.

Sehim değerlerinde ise yaklaşık %7 oranında azalma görülmüştür. 336 saat hızlı yaşlandırılan PC/20GF numunelerine uygulanan geridönüşüm işlemleri sonrasında hem eğme dayanımları hemde sehim miktarları, saf ve 336 saat yaşlanmış numunelerin altında kalmıştır.



Şekil 4.33: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%20GF numunelerinin gerilme - sehim grafiği.

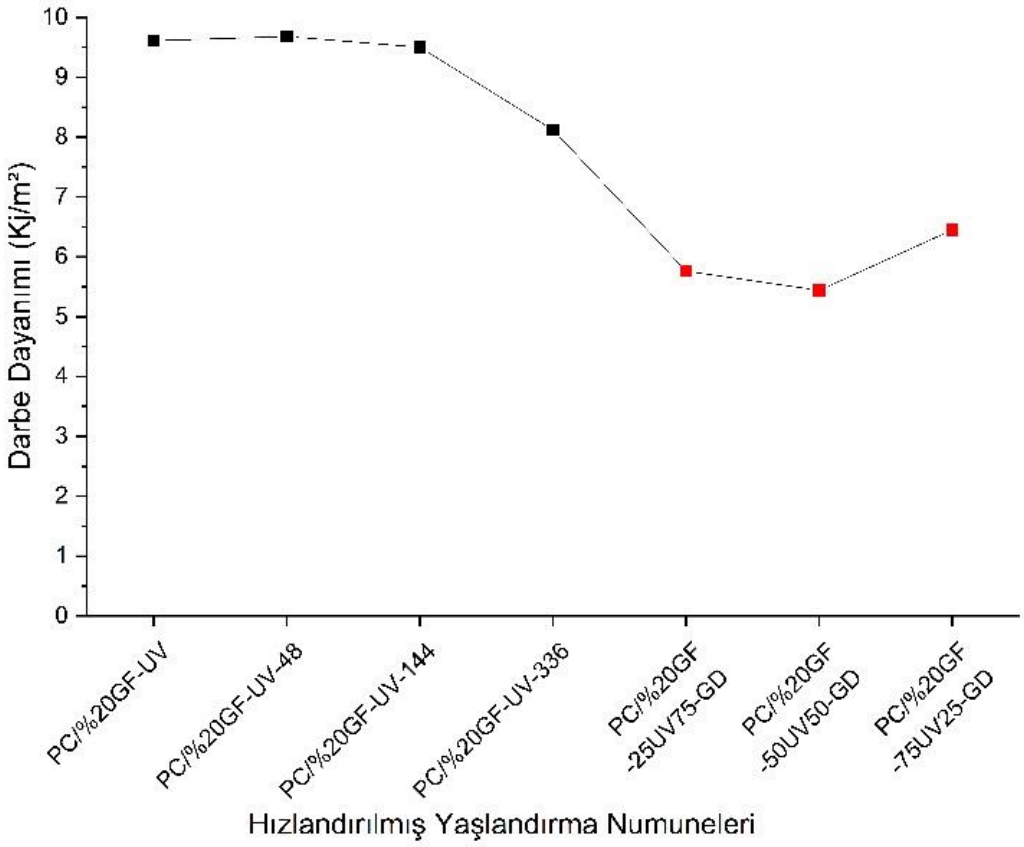


Şekil 4.34: Eğme dayanımı değişim grafiği.

Tablo 4.33: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%20GF numunelerinin eğme testi sonuçları.

Polimerik Malzemeler	**Toplam Sehim (mm)**	**Eğme Dayanımı (MPa)**
PC/%20GF	6,55±0,10	170,71±3,00
PC/%20GF -UV-48	6,14±0,20	162,10±0,30
PC/%20GF -UV-144	6,14±0,60	164,82±2,50
PC/%20GF -UV-336	6,07±0,10	162,58±3,00
PC/%20GF -25UV75-GD	5,70±0,22	143,04±2,40
PC/%20GF -50UV50-GD	3,59±0,50	100,79±12,05
PC/%20GF -75UV25-GD	3,89±0,23	116,70±3,77

Hızlandırılmış yaşlandırmaya maruz bırakılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%20GF numunelerinin darbe dayanımı grafiği Şekil 4.35'te verilmiştir. Darbe testi sonuçlarının ortalama değer ve sapmaları ise Tablo 4.34'te verilmiştir. %20 cam elyaf takviyeli PC malzemenin hızlandırılmış yaşlanmaya maruz bırakılması sonrasında yapılan darbe testi sonuçları incelendiğinde 336 saat sonunda %15 seviyelerinde bir düşüş gözlemlenirken 48 ve 144 saat sonunda önemli bir değişim görülmemiştir. Geridönüşüm uygulanması sonrasında numunelerin darbe dayanımı, saf ve 336 saat hızlı yaşlanmış PC/20GF değerlerinin altında kalmıştır.



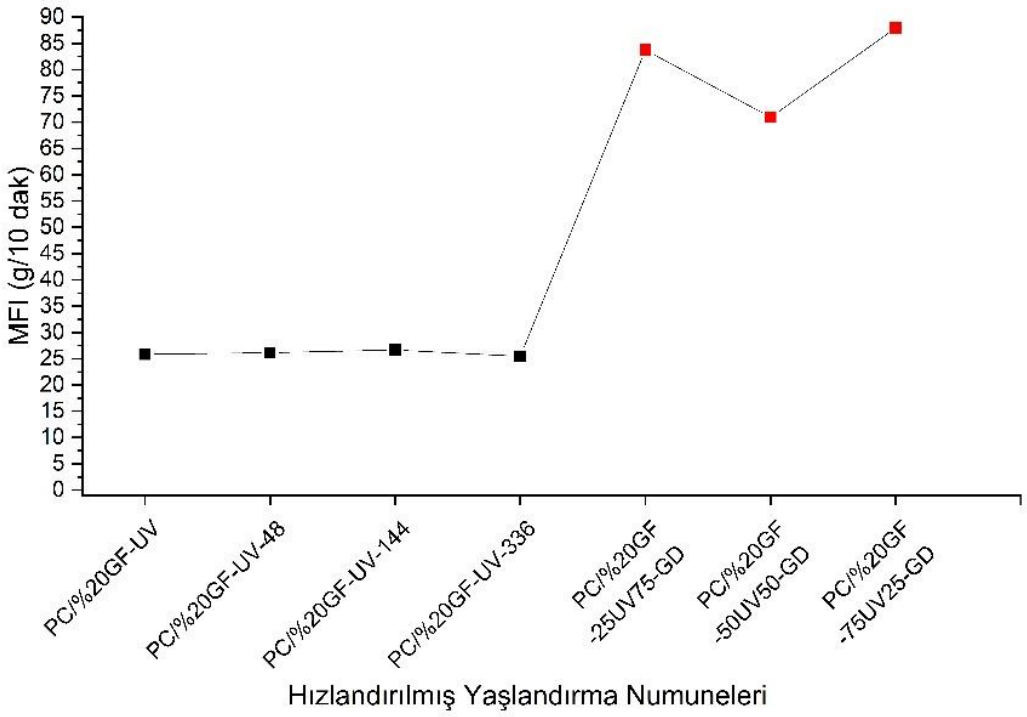
Şekil 4.35: Darbe dayanımı değişimi grafiği.

Tablo 4.34: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%20GF numunelerinin darbe testi sonuçları.

Polimerik Malzemeler	**Darbe Dayanımı (kJ/m^2)**
PC/%20GF	9,61±0,60
PC/%20GF-UV-48	9,68±0,70
PC/%20GF-UV-144	9,50±0,50
PC/%20GF-UV-336	8,12±0,70
PC/%20GF -25UV75-GD	5,76±0,12
PC/%20GF -50UV50-GD	5,44±0,08
PC/%20GF -75UV25-GD	6,45±0,39

Hızlandırılmış yaşlandırmaya maruz bırakılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%20GF numunelerinin MFI grafiği Şekil 4.36'da verilmiştir. MFI testi sonuçlarının ortalama değer ve sapmaları ise Tablo 4.35'te verilmiştir. Hızlandırılmış yaşlandırılmaya maruz bırakılan PC/20GF numunelerinin MFI değerlerinde önemli bir

değişim gözlenmemiştir. Geridönüşüm uygulanmasıyla bu değerlerde %240'a kadar artış görülmüştür.



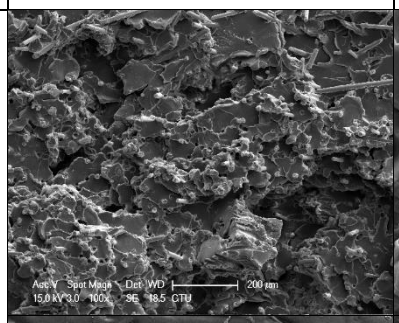
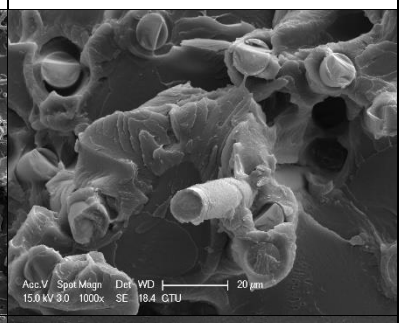
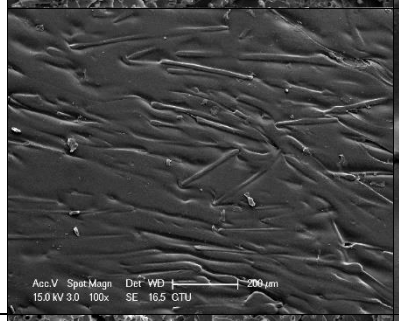
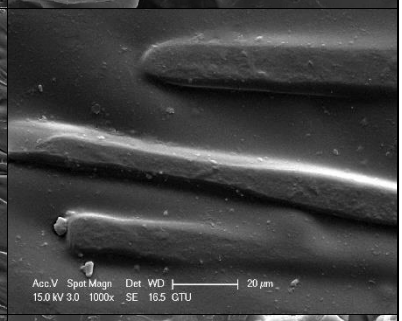
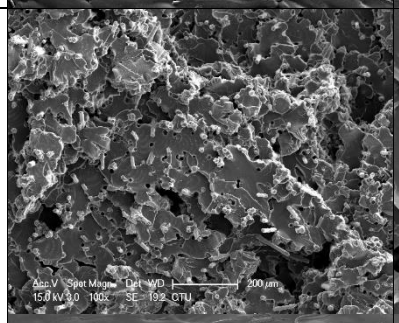
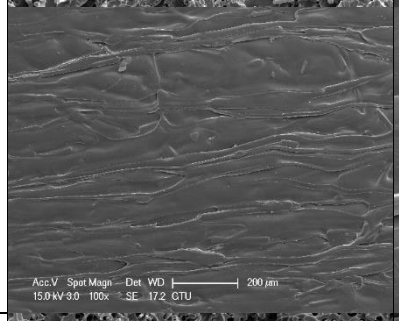
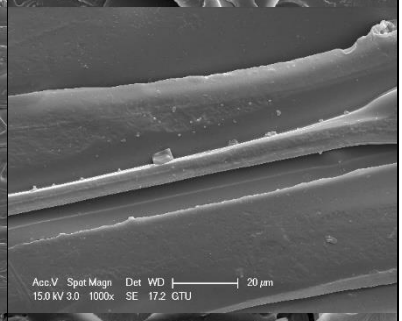
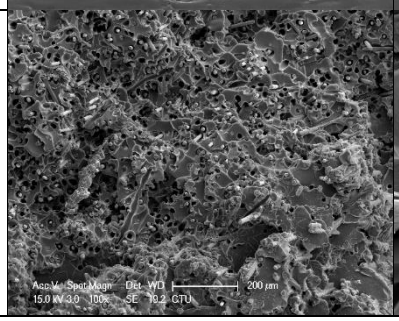
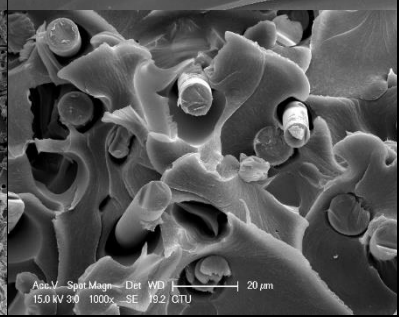
Şekil 4.36: MFI değişim grafiği.

Tablo 4.35: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%20GF numunelerinin MFI testi sonuçları.

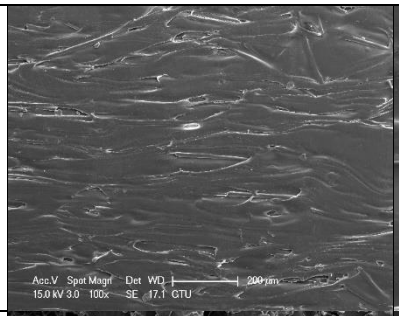
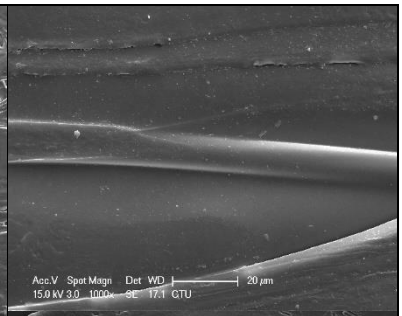
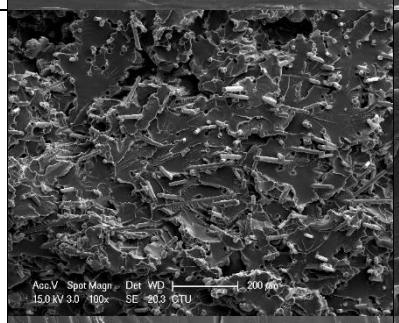
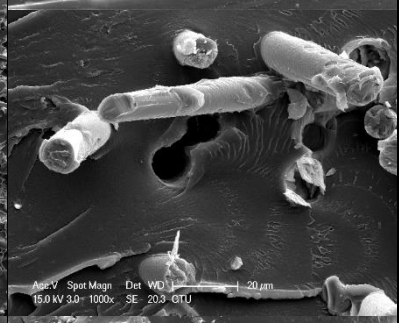
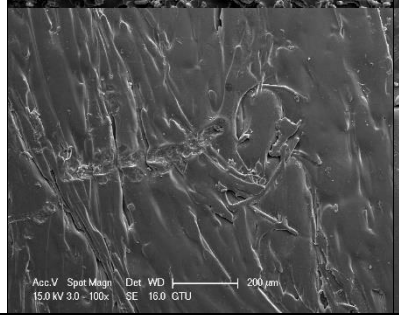
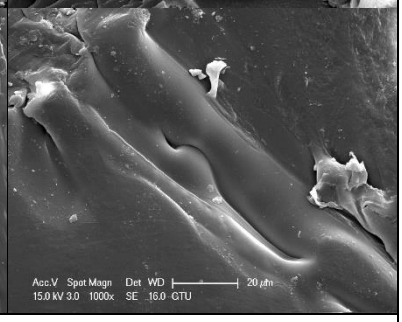
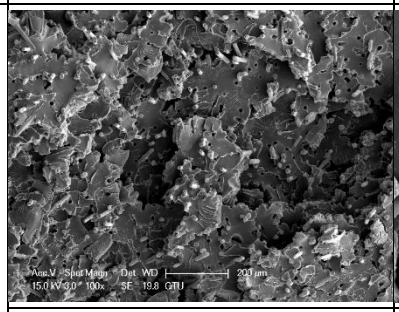
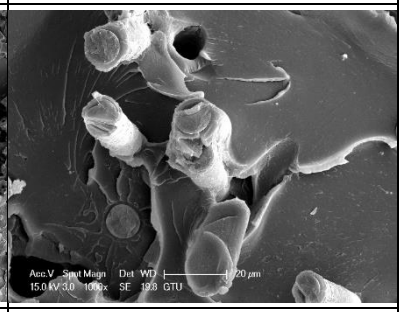
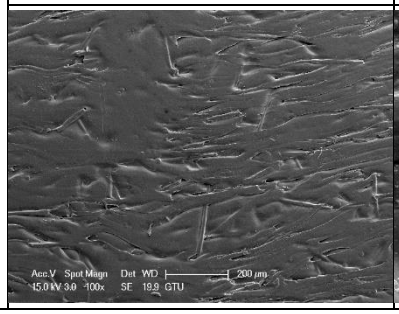
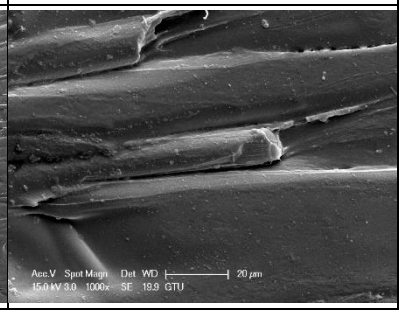
Polimerik Malzemeler	MFI (g/10 dak)
PC/%20GF	25,83±1,10
PC/%20GF-UV-48	26,14±1,20
PC/%20GF-UV-144	26,67±1,00
PC/%20GF-UV-336	25,47±1,00
PC/%20GF -25UV75-GD	83,73±16,88
PC/%20GF -50UV50-GD	70,94±24,00
PC/%20GF -75UV25-GD	87,90±0,23

Hızlandırılmış yaşlandırmaya maruz bırakılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%20GF numunelerinin SEM görüntüleri Tablo 4.36'da verilmiştir.

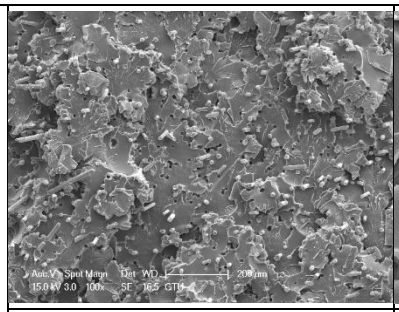
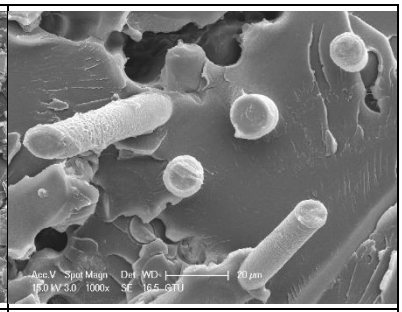
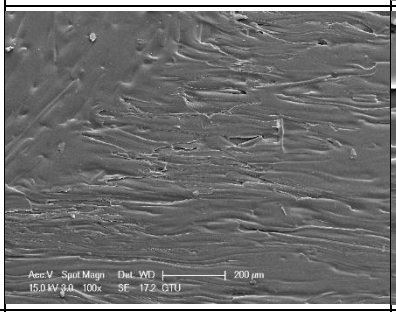
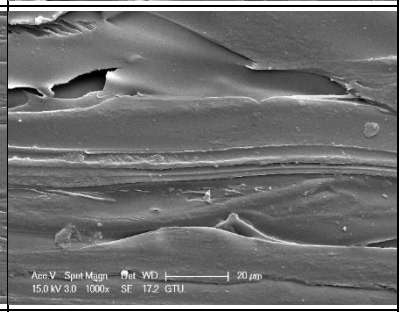
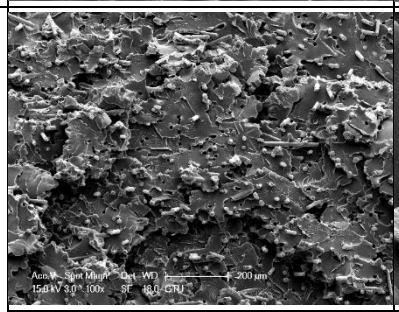
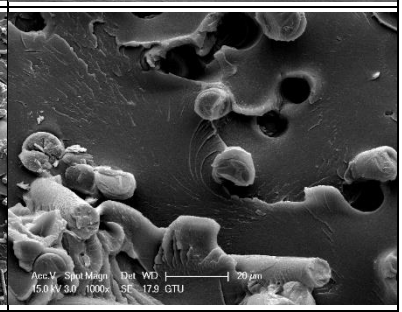
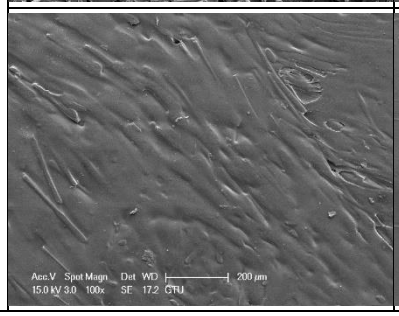
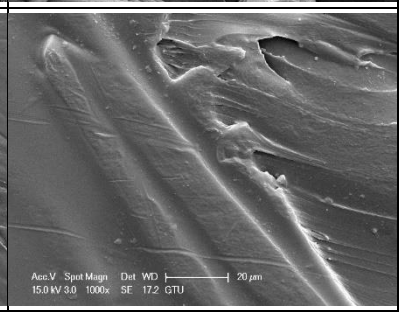
Tablo 4.36: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan PC/%20GF numunelerinin SEM görüntüleri.

	Hızlandırılmış Yaşlandırma Numuneleri	**100x**	**1000x**
Kopmuş yüzey	**0***		
Yan Yüzey			
Kopmuş yüzey	**48**		
Yan Yüzey			
Kopmuş yüzey	**144**		

Tablo 4.36: Devam.

Yan Yüzey			
Kopmuş yüzey	**336**		
Yan Yüzey			
	* Yaşlandırılmamış PC/%20GF polimerini ifade etmektedir.		
	Geridönüşüm Numuneleri	**100x**	**1000x**
Kopmuş yüzey	**PC/%20GF - 25UV75-GD**		
Yan Yüzey			

Tablo 4.36: Devam.

Kopmuş yüzey	**PC/%20GF - 50UV50-GD**		
Yan Yüzey			
Kopmuş yüzey	**PC/%20GF - 75UV25-GD**		
Yan Yüzey			

4.4. PC/%30GF Malzeme Test Sonuçları

4.4.1. Doğal Yaşlandırma

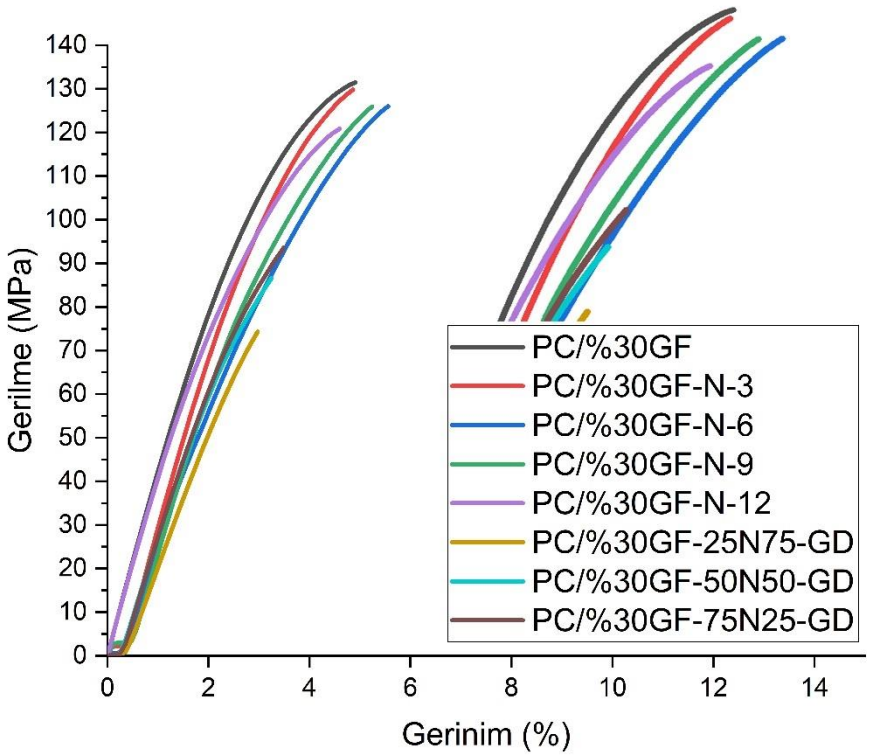
PC/%30GF test numunelerinin doğal yaşlandırma öncesi, sonrası ve geridönüşüm sonrasında çekilen görüntüleri Tablo 4.37'de verilmiştir. Görüntülerden anlaşılacağı üzere numunelerde doğal yaşlandırma işlemi ile renk değişimine rastlanmamıştır. Geridönüşüm işlemleri sonrasında yaşlanmamış saf granül oranının artmasıyla renk koyudan açık renge doğru değişmiştir. Yaşlanmış granül oranının artması, renkte koyulaşma meydana getirmiştir.

Tablo 4.37: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%30GF numunelerinin örnek resimleri.

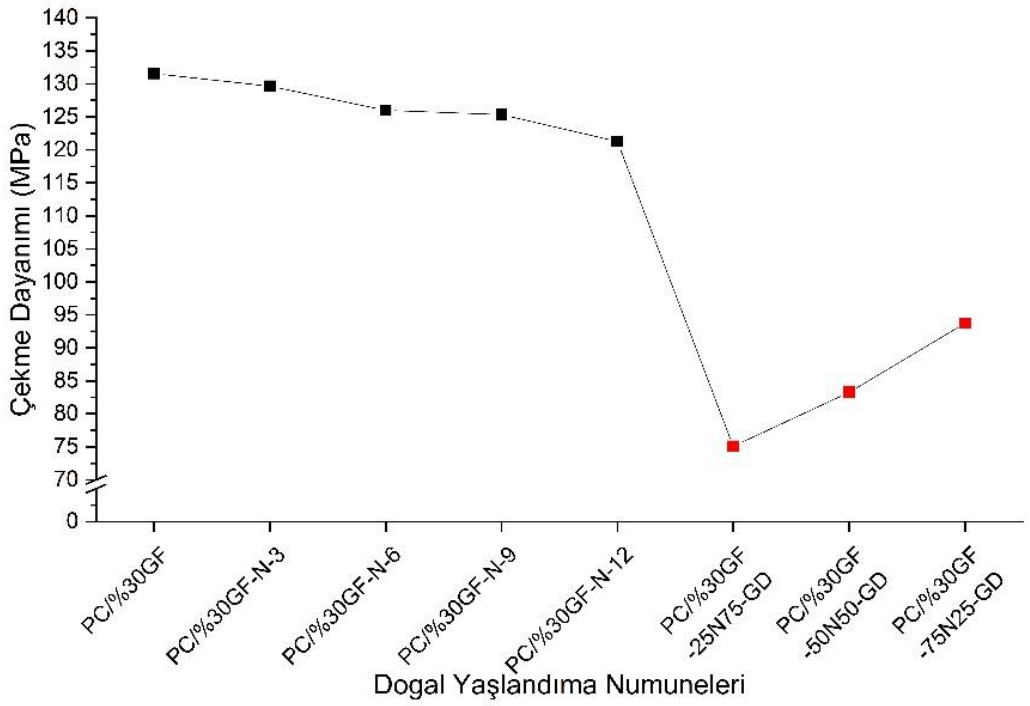
Doğal Yaşlandırma Numuneleri	**0***	**3**	**6**	**9**	**12**	**PC/%30GF-25N50-GD**	**PC/%30GF-50N50-GD**	**PC/%30GF-75N75-GD**
PC/%30GF								
* Yaşlandırılmamış PC/%30GF polimerini ifade etmektedir.								

Üretildikten 24 saat sonra (yaşlandırılmamış) ve 3, 6, 9, 12 ay doğal yaşlandırmaya maruz bırakıldıktan sonra ve 12 ay yaşlanmış PC/%30GF numunelere uygulanan geridönüşüm sonrasında gerçekleştirilen çekme testlerinin sonuçları Şekil

4.37'deki gerilme - gerinim grafiği ile verilmiştir. Tipik gerilme - gerinim eğrisinden elde edilen çekme dayanımı değerlerinin yaşlandırma süresi ile ilişkisi ise Şekil 4.38'de gösterilmiştir. Çekme dayanımı ve kopma uzaması ortalama değerleri ve testler sırasında elde edilen sapmalar Tablo 4.38'de verilmiştir. %30 cam elyaf takviyeli PC numunelerin doğal yaşlandırılması sonrasında yapılan çekme testi sonuçları incelendiğinde, 3. ay sonunda çekme dayanımı ve kopma uzaması değerlerinde bir değişim olmadığı gözlemlenirken 6. ve 9. ay sonunda ise çekme dayanımında %4 oranında bir düşüş elde edilmiştir. 12 aylık doğal yaşlandırma sonrasında çekme dayanımında %8 azalma kopma uzamasında ise %9 azalma meydana gelmiştir. Geridönüşüm uygulanan 12 ay doğal yaşlandırılmış PC/30GF numunelerine sırasıyla %25, %50 ve %75 saf oran katılmasıyla hem çekme dayanımları hemde kopma uzamaları, saf ve 12 ay doğal yaşlanmış numunelerin altında kalmıştır. Fakat kendi içerisinde saf oranın artması, dayanım ve kopma uzama değerlerinde artışa sebep olmuştur.



Şekil 4.37: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%30GF numunelerinin gerilme - gerinim grafiği.



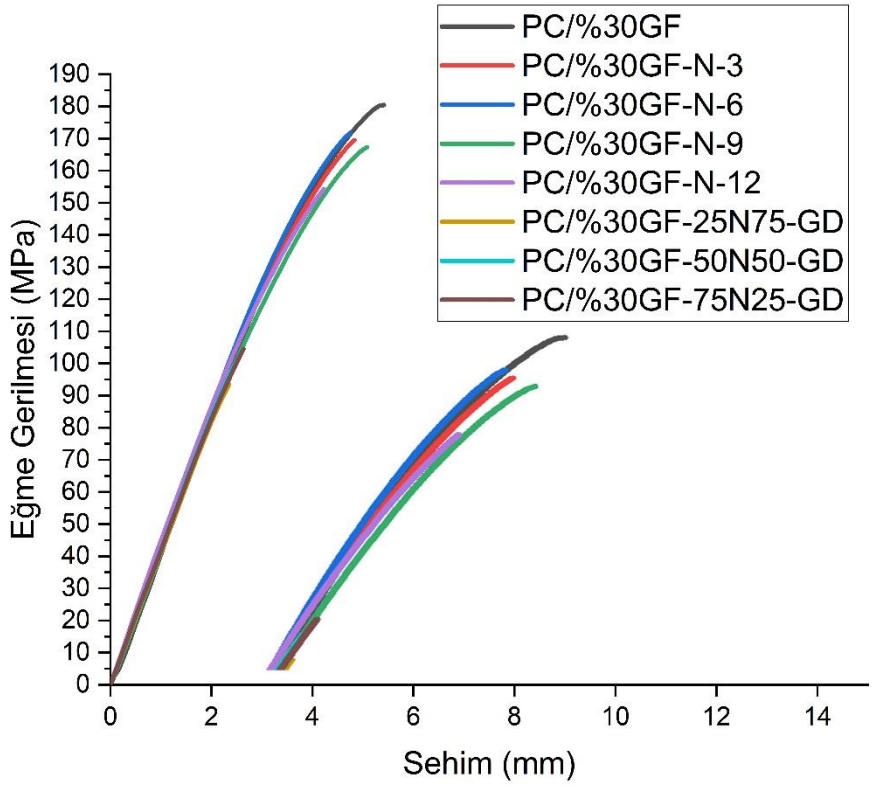
Şekil 4.38: Çekme dayanımı değişimi grafiği.

Tablo 4.38: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%30GF numunelerinin çekme testi sonuçları.

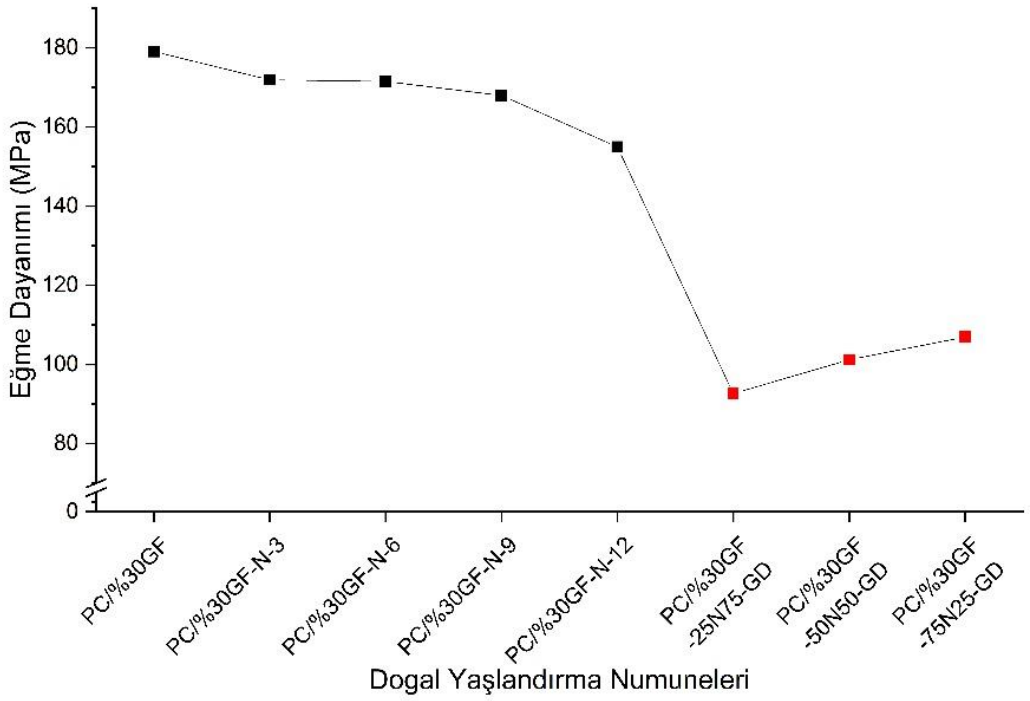
Polimerik Malzemeler	**Kopma Uzaması (%)**	**Çekme Dayanımı (MPa)**
PC/%30GF	4,90±0,05	131,56±0,70
PC/%30GF-N-3	4,90±0,21	129,63±1,30
PC/%30GF-N-6	5,64±0,10	125,99±1,50
PC/%30GF-N-9	5,22±0,20	125,34±1,50
PC/%30GF-N-12	4,46±0,23	121,27±1,80
PC/%30GF - 25N75-GD	2,73±0,23	75,07±5,95
PC/%30GF - 50N50-GD	3,00±0,45	83,27±8,85
PC/%30GF - 75N25-GD	3,48±0,33	93,72±3,97

Doğal yaşlandırmaya maruz bırakılan, bırakılmayan ve geridönüşüm uygulanan PC/%30GF numunelerinin eğme gerilmesi - sehim grafiği Şekil 4.39'da verilmiştir. Eğme dayanımı değerlerinin yaşlandırma süresi ile ilişkisi Şekil 4.40'ta gösterilmiştir. Eğme testi sonuçlarının ortalama değer ve sapmaları Tablo 4.39'da verilmiştir. %30 cam elyaf takviyeli PC numunelerin doğal ortam şartlarında yaşlandırılması sonrasında yapılan eğme testi sonuçları incelendiğinde eğme dayanımında 3 ve 6 ay

sonunda %4 gibi bir düşüş, sehimde ise 3, 6, 9 ve 12 ay sonunda yaklaşık %9 oranında bir düşüş gözlemlenmiştir. 9 ve 12 ay yaşlandırma sonrasında eğme dayanımı sırasıyla %6,33 ve %13,60 oranında azalmıştır. Geridönüşüm uygulanan 12 ay doğal yaşlandırılmış PC/30GF numunelerine sırasıyla %25, %50 ve %75 saf oran katılmasıyla hem eğme dayanımları hemde sehim miktarları, saf ve 12 ay doğal yaşlanmış numunelerin altında kalmıştır. Fakat kendi içerisinde saf oranın artması, dayanım ve sehim değerlerinde artışa sebep olmuştur.



Şekil 4.39: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%30GF numunelerinin gerilme - sehim grafiği.



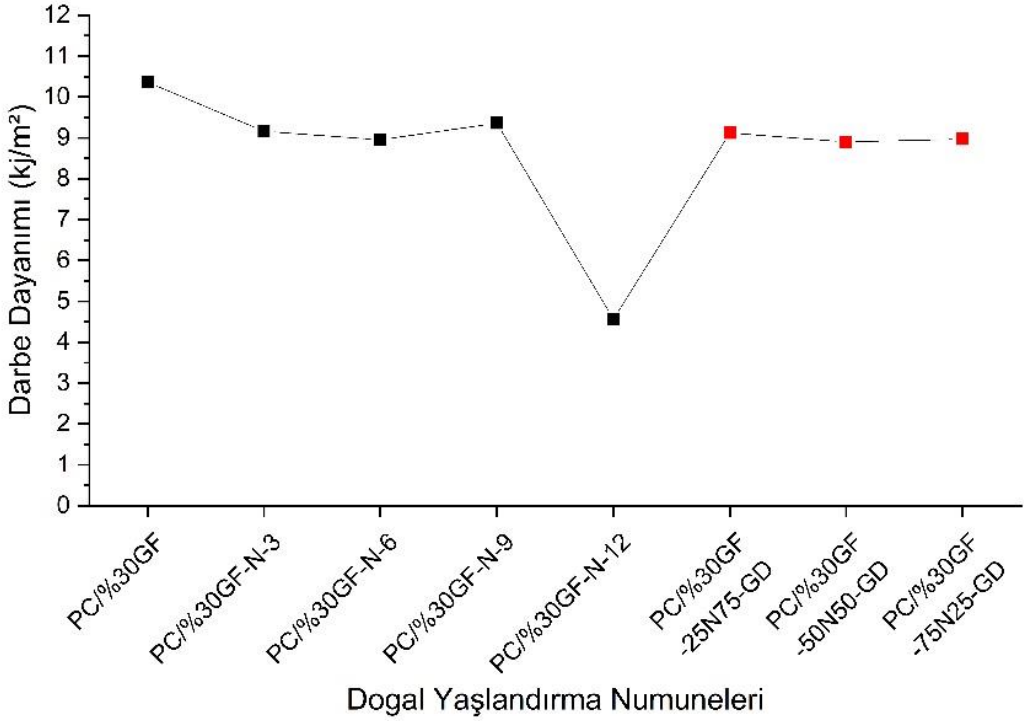
Şekil 4.40: Eğme dayanımı değişim grafiği.

Tablo 4.39: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%30GF numunelerinin eğme testi sonuçları.

Polimerik Malzemeler	**Toplam Sehim (mm)**	**Eğme Dayanımı (MPa)**
PC/%30GF	5,42±0,10	179,34±2,17
PC/%30GF-N-3	4,89±0,23	171,90±5,03
PC/%30GF-N-6	4,66±0,08	171,51±1,03
PC/%30GF-N-9	4,82±0,17	167,98±3,37
PC/%30GF-N-12	4,56±0,15	154,95±2,87
PC/%30GF - 25N75-GD	2,33±0,15	92,65±5,25
PC/%30GF - 50N50-GD	2,49±0,14	101,19±4,14
PC/%30GF - 75N25-GD	2,66±0,18	106,95±6,32

Doğal yaşlandırmaya maruz bırakılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%30GF numunelerinin darbe dayanımı grafiği Şekil 4.41'de verilmiştir. Darbe testi sonuçlarının ortalama değer ve sapmaları Tablo 4.40'ta verilmiştir. %30 cam elyaf takviyeli PC malzemenin doğal ortam şartlarında yaşlandırılması sonrasında yapılan darbe testi sonuçları incelendiğinde, 3 ay sonunda %11 oranına yakın bir değerde dayanım düşüşü elde edildiği, 6 ay sonunda ise düşüşün yaklaşık %14 değerlerine

geldiği görülmüştür. 9 ay doğal yaşlandırma sonrasında darbe dayanımında %9,65 azalış olurken, 12 ay sonunda darbe dayanımı %55 oranında düşmüştür. Geridönüşüm uygulanmasıyla darbe dayanım değerleri, 12 ay doğal yaşlanmış numunelerin yaklaşık %96 oranında üzerine çıkmış fakat saf PC/30GF numune değerlerinin çok az altında kalmıştır.



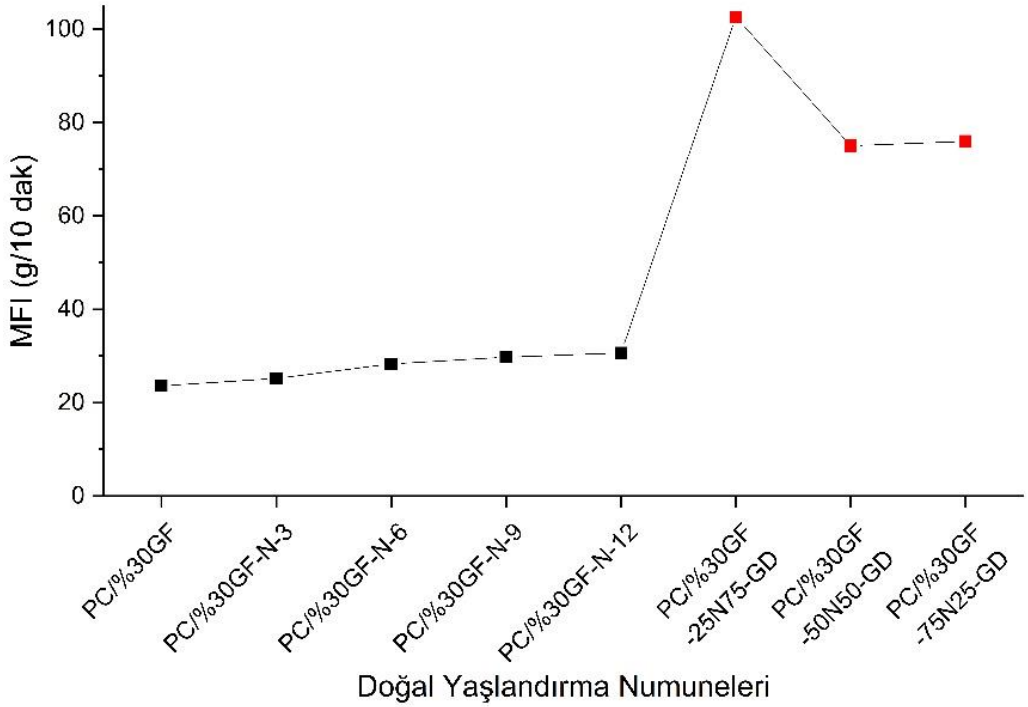
Şekil 4.41: Darbe dayanımı değişim grafiği.

Tablo 4.40: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%30GF numunelerinin darbe testi sonuçları.

Polimerik Malzemeler	Darbe Dayanımı (kJ/m^2)
PC/%30GF	10,36±0,40
PC/%30GF-N-3	9,16±0,35
PC/%30GF-N-6	8,95±0,55
PC/%30GF-N-9	9,36±0,32
PC/%30GF-N-12	4,56±0,14
PC/%30GF -25N75-GD	9,12±2,32
PC/%30GF -50N50-GD	8,90±1,56
PC/%30GF -75N25-GD	8,97±2,15

Doğal yaşlandırmaya maruz bırakılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%10GF numunelerinin MFI değişim grafiği Şekil 4.42'de verilmiştir. MFI testi sonuçlarının ortalama değer ve sapmaları Tablo 4.41'de verilmiştir. %30 cam elyaf takviyeli PC

numunelerinin doğal yaşlandırılması sonrasında yapılan eriyik akış testi sonuçları incelendiğinde, 3 ay sonunda MFI değerinin %13 oranında arttığı, 6 ay sonunda ise %27 oranında arttığı gözlemlenmiştir. 9 ay doğal yaşlandırma sonrasında MFI değerinde %30,31 artış olmuştur. 12 sonunda ise %36'ya çıkmıştır. Yaşlanma zamanıyla MFI değerlerinde sürekli artış gözlenmiştir. Geridönüşüm uygulanan PC/30GF numunelerinin MFI değerlerinde artış meydana gelmiştir.



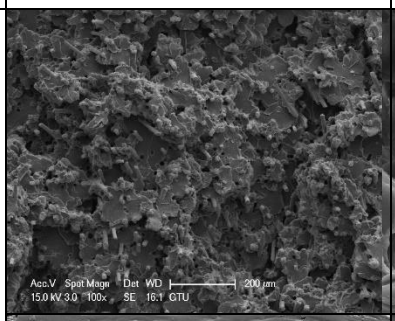
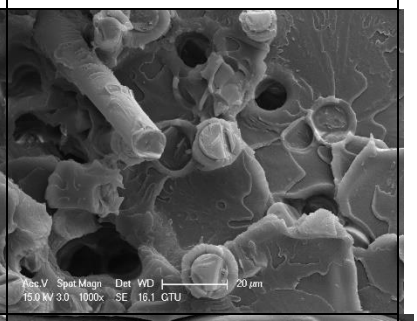
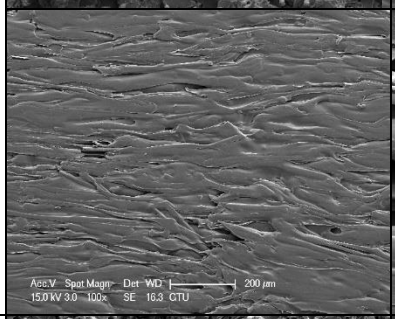
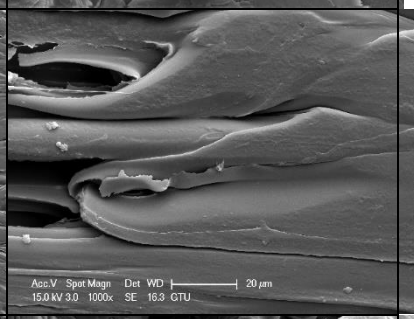
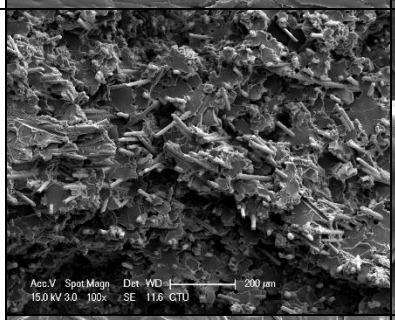
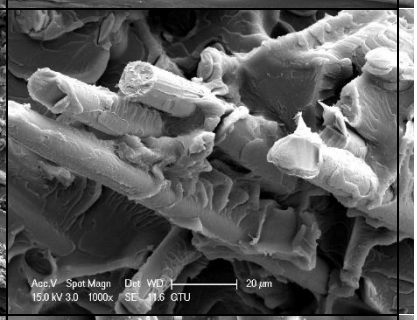
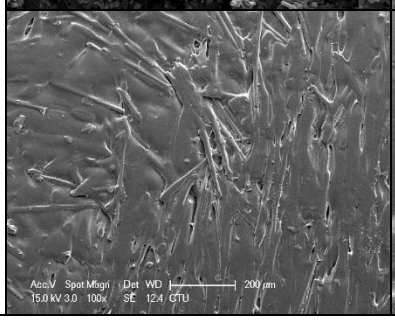
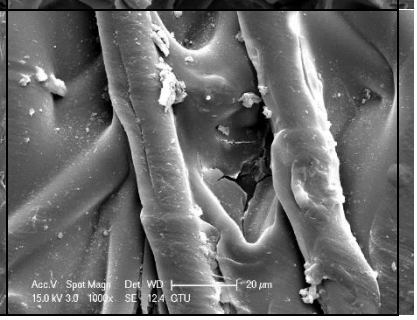
Şekil 4.42: MFI değişim grafiği.

Tablo 4.41: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%30GF numunelerinin MFI testi sonuçları.

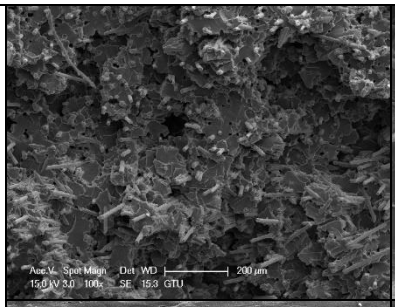
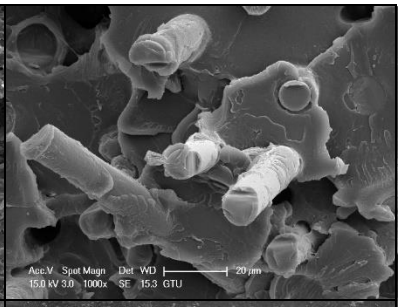
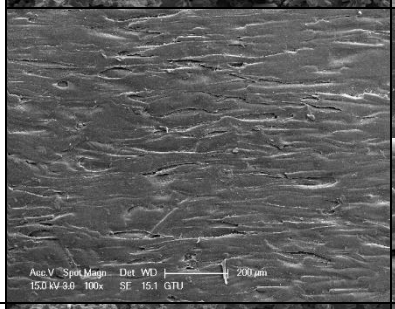
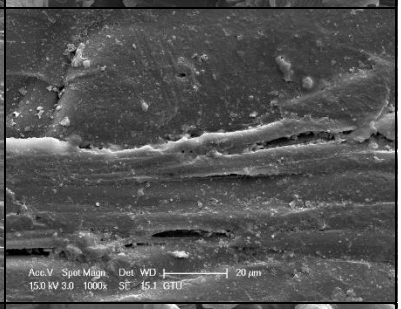
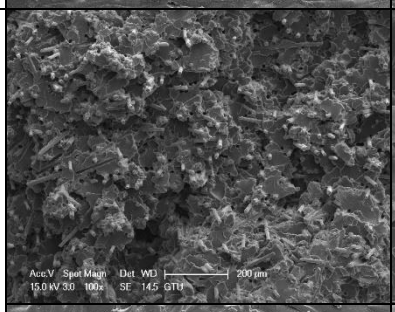
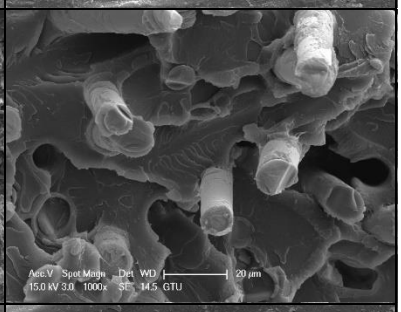
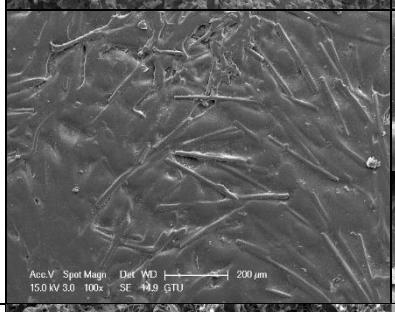
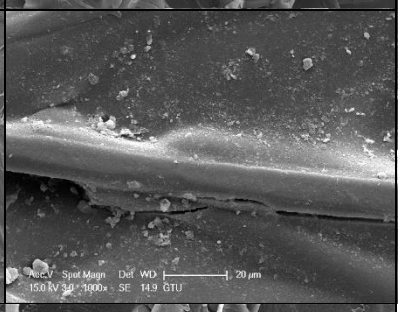
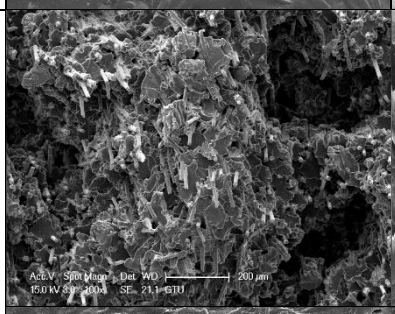
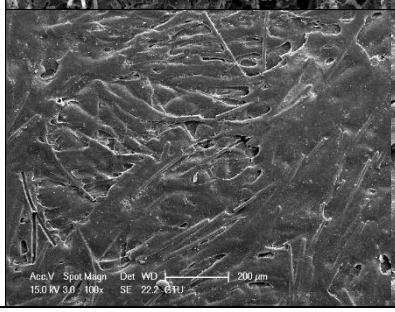
Polimerik Malzemeler	MFI (g/10 dak)
PC/%30GF	22,86±0,46
PC/%30GF-N-3	25,23±1,91
PC/%30GF-N-6	28,34±1,20
PC/%30GF-N-9	29,79±1,70
PC/%30GF-N-12	30,68±0,80
PC/%30GF -25N75-GD	102,7±3,34
PC/%30GF -50N50-GD	75,05±17,12
PC/%30GF -75N25-GD	76,05±5,12

Doğal yaşlandırmaya maruz bırakılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%30GF numunelerinin çekme testleri sonrasında kopan yüzeylerinden alınan SEM görüntüleri Tablo 4.42'da verilmiştir.

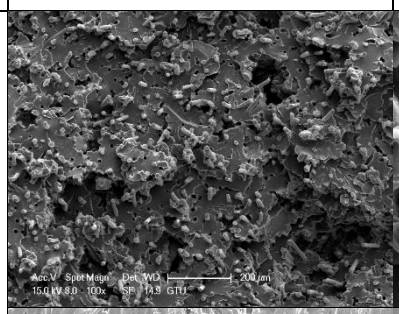
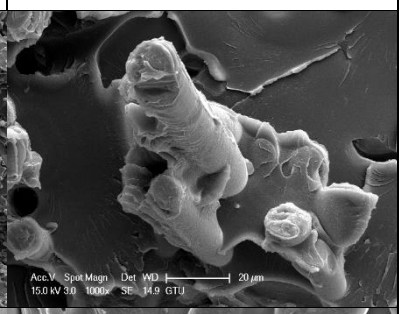
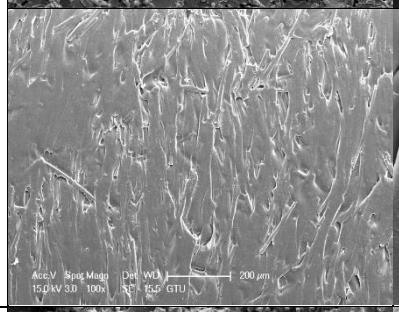
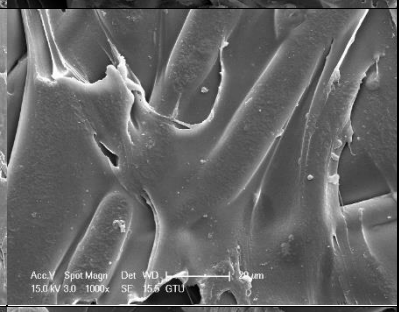
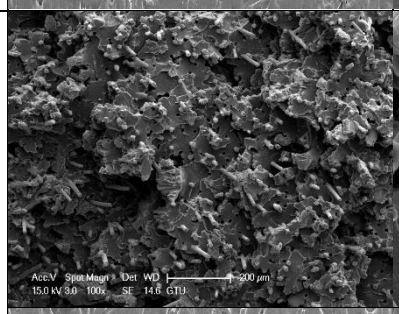
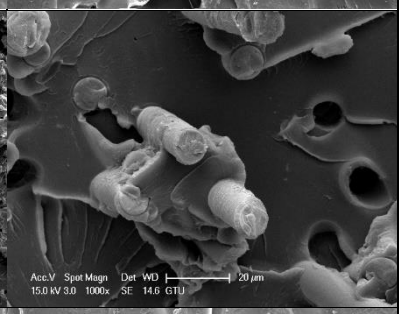
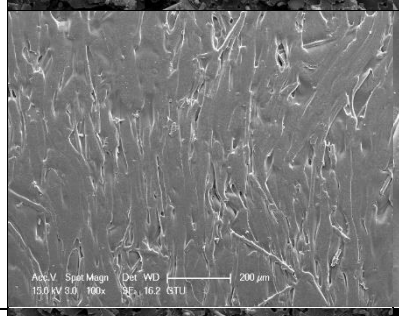
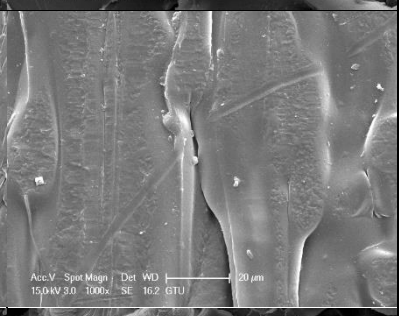
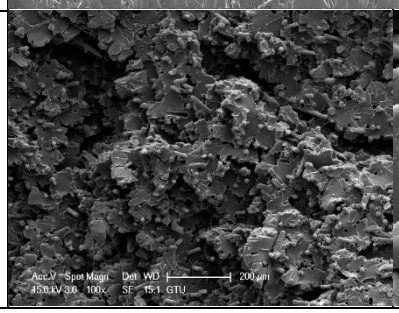
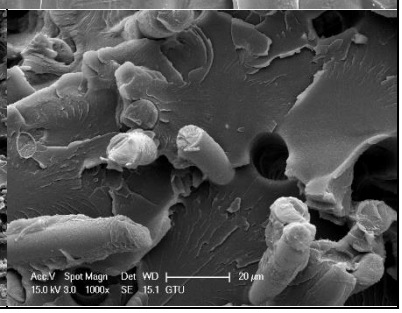
Tablo 4.42: Doğal ortamda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%30GF numunelerinin SEM görüntüleri.

	Doğal Yaşlandırma Numuneleri	**100x**	**1000x**
Kopmuş yüzey	**0***		
Yan Yüzey			
Kopmuş yüzey	**3**		
Yan Yüzey			

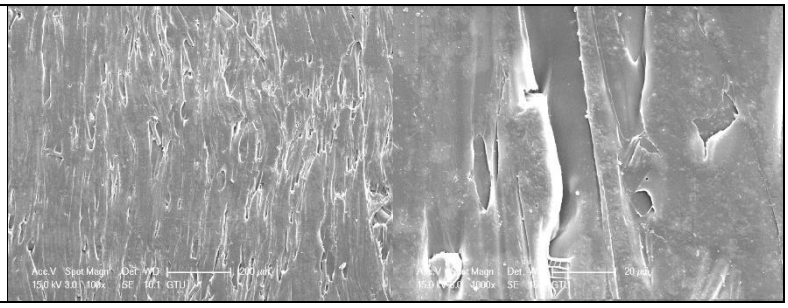
Tablo 4.42: Devam.

Kopmuş yüzey	**6**		
Yan Yüzey			
Kopmuş yüzey	**9**		
Yan Yüzey			
Kopmuş yüzey	**12**		
Yan Yüzey			

Tablo 4.42: Devam.

	* Yaşlandırılmamış PC/%30GF polimerini ifade etmektedir.		
	Geridönüşüm Numuneleri	**100x**	**1000x**
Kopmuş yüzey	**PC/%30GF -25N75-GD**		
Yan Yüzey			
Kopmuş yüzey	**PC/%30GF -50N50-GD**		
Yan Yüzey			
Kopmuş yüzey	**PC/%30GF -75N25-GD**		

Tablo 4.42: Devam.

Yan Yüzey		

4.4.2. Hızlandırılmış Yaşlandırma

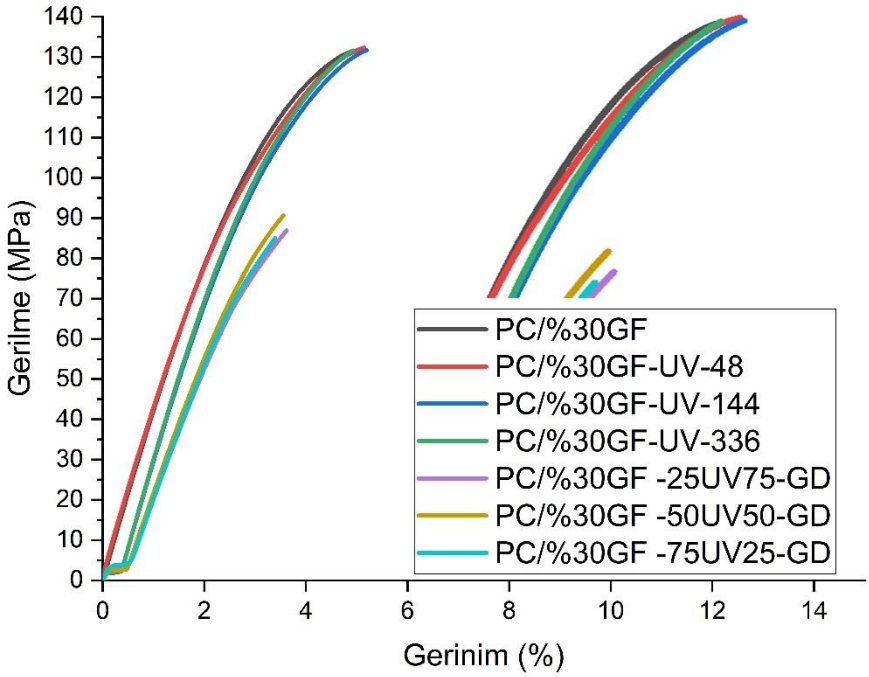
PC/%30GF malzemelerin hızlandırılmış yaşlandırma öncesi ve sonrası ve geridönüşüm sonrasında alınan görüntüleri Tablo 4.43'te gösterilmiştir. Görüntülerden anlaşılacağı üzere numunelerde hızlandırılmış yaşlandırma işlemi ile renk değişimine rastlanmamıştır. Yaşlanmış numune granüllerine saf halleri katılması sonucu renklerde koyulaşma oluşmuştur. Saf granül katkısının artmasıyla renk koyudan açık renge doğru bir miktar değişmiştir.

Tablo 4.43: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%30GF numunelerinin örnek resimleri.

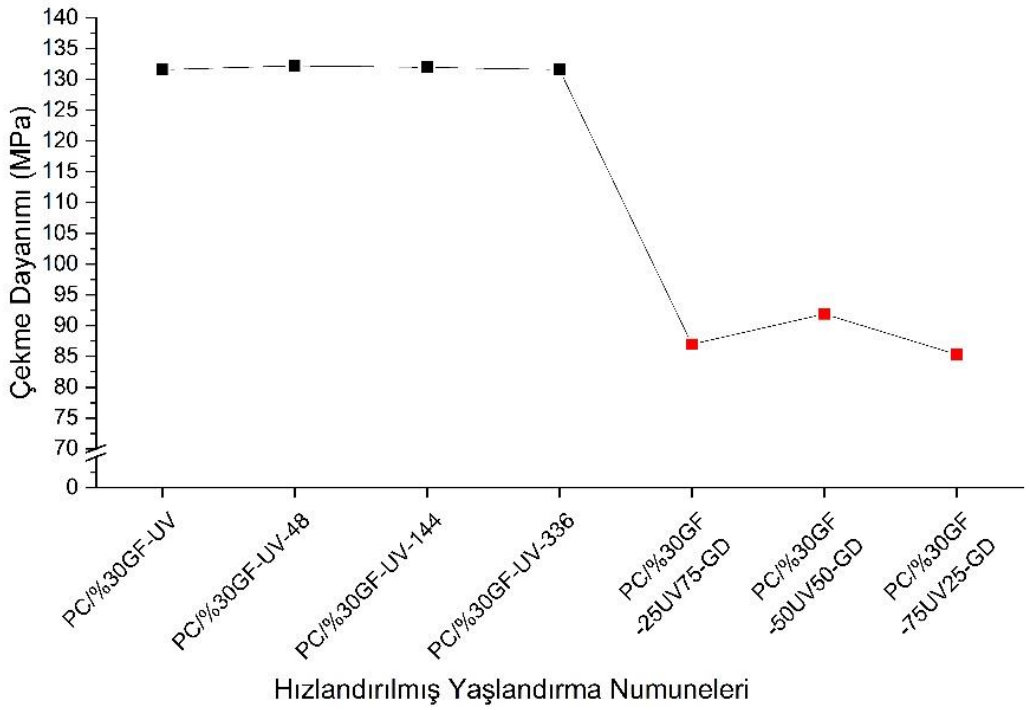
Hızlandırılmış Yaşlandırma Numuneleri	**0***	**48**	**144**	**336**	**PC/%30GF-25UV75-GD**	**PC/%30GF-50UV50-GD**	**PC/%30GF-75UV25-GD**
PC/%30GF							

* Yaşlandırılmamış PC/%30GF polimerini ifade etmektedir.

Hızlandırılmış yaşlandırmaya maruz bırakılan ve bırakılmayan PC/%30GF numunelerine ve 336 saat hızlı yaşalandırılan PC/%30GF numunelerine uygulanan geridönüşüm sonunda gerçekleştirilen çekme testinden elde edilen gerilme - gerinim grafiği Şekil 4.43'te verilmiştir. Maruz kalma sürelerine göre çekme dayanımı grafiği Şekil 4.44'te verilmiştir. Çekme testi sonuçlarının ortalama değer ve sapmaları ise Tablo 4.44'te verilmiştir. %30 cam elyaf takviyeli PC numunelerin hızlandırılmış yaşlandırılması sonrasında yapılan çekme testleri sonucunda, çekme dayanımı ve kopma uzaması değerlerinin 336 saat sonunda bile değişim göstermediği görülmüştür. Geridönüşüm işlemleri sonrasında ise kopma uzamaları ve çekme dayanım değerleri, hem saf hemde 336 saat hızlı yaşlanmış numune değerlerinin yaklaşık uzamaların %26, dayanımlarının %34 altında kalmıştır.



Şekil 4.43: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%30GF numunelerinin gerilme - gerinim grafiği.



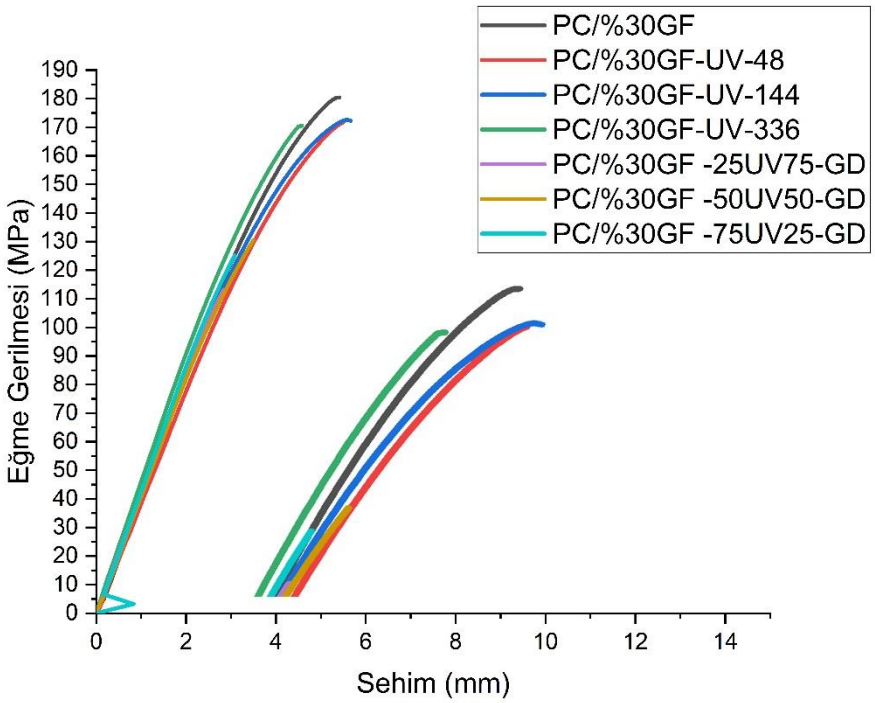
Şekil 4.44: Çekme dayanımı değişim grafiği.

Tablo 4.44: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%30GF numunelerinin çekme testi sonuçları.

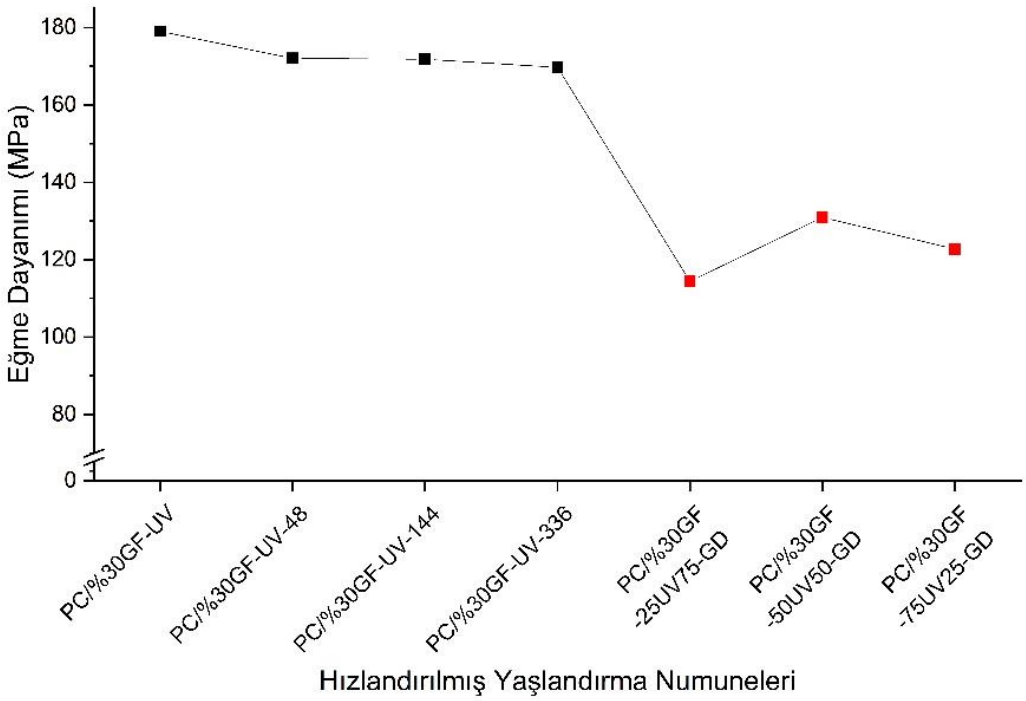
Polimerik Malzemeler	**Kopma Uzaması (%)**	**Çekme Dayanımı (MPa)**
PC/%30GF	4,90±0,05	131,56±0,70
PC/%30GF -UV-48	5,14±0,20	132,21±0,50
PC/%30GF -UV-144	5,16±0,16	131,94±1,70
PC/%30GF -UV-336	4,97±0,40	131,11±4,40
PC/%30GF -25UV75-GD	3,61±0,12	86,96±1,05
PC/%30GF -50UV50-GD	3,79±0,33	91,89±3,41
PC/%30GF -75UV25-GD	3,45±0,13	85,31±2,15

Hızlandırılmış yaşlanmaya maruz bırakılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%30GF numunelerinin gerilme - sehim grafiği Şekil 4.45'te, maruz kalma sürelerine göre eğme dayanımı grafiği Şekil 4.46'da verilmiştir. Eğme testi sonuçlarının ortalama değer ve sapmaları ise Tablo 4.45'te verilmiştir. %30 cam elyaf takviyeli PC malzemenin hızlandırılmış yaşlandırılması sonrasında yapılan eğme testi sonuçları incelendiğinde, yaşlanma zamanıyla beraber hem eğme dayanımları hemde sehim değerlerinde sırayla %5 ve %11 'e kadar sürekli azalma gözlenmiştir. Geridönüşüm işlemleri sonrasında ise sehim ve eğme dayanım değerleri, hem saf

hemde 336 saat hızlı yaşlanmış numune değerlerinin altında kalmıştır. Fakat kopma uzama değerleri kendi içerisinde bir artış göstermiştir.



Şekil 4.45: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%30GF numunelerinin gerilme - sehim grafiği.

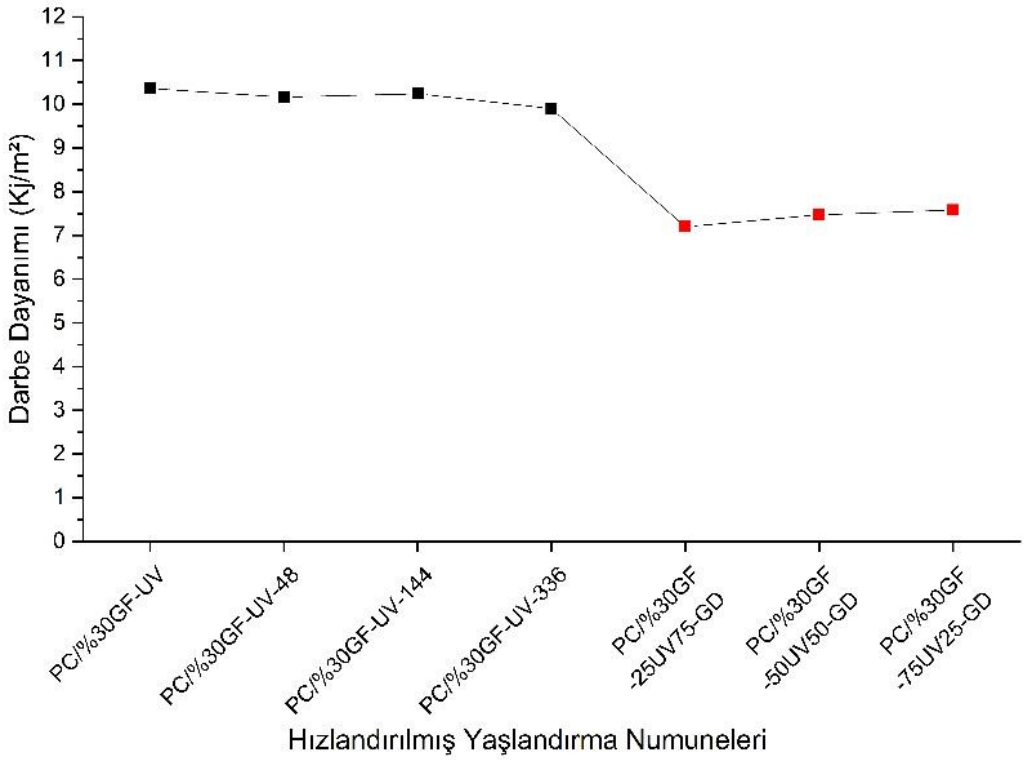


Şekil 4.46: Eğme dayanımı değişim grafiği.

Tablo 4.45: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%30GF numunelerinin eğme testi sonuçları.

Polimerik Malzemeler	**Toplam Sehim (mm)**	**Eğme Dayanımı (MPa)**
PC/%30GF	5,42±0,10	179,03±3,00
PC/%30GF -UV-48	5,37±0,20	172,06±0,30
PC/%30GF -UV-144	5,11±0,35	171,81±7,13
PC/%30GF -UV-336	4,82±0,30	169,72±4,78
PC/%30GF -25UV75-GD	2,89±0,27	114,38±8,59
PC/%30GF -50UV50-GD	3,41±0,15	130,94±1,77
PC/%30GF -75UV25-GD	4,32±0,11	122,78±4,32

Hızlandırılmış yaşlandırmaya maruz bırakılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%30GF numunelerinin darbe dayanımı grafiği Şekil 4.47'de verilmiştir. Darbe testi sonuçlarının ortalama değer ve sapmaları ise Tablo 4.46'da verilmiştir. Hızlandırılmış yaşlandırmaya maruz bırakılma süresiyle darbe dayanımlaında önemli bir değişiklik görülmemiştir. Geridönüşüm işlemleriyle darbe dayanımları saf ve 336 saat yaşlanmış numune değerlerinin altında kalmıştır. Fakat kendi içerisinde saf oran katjkısının artmasıyla dayanım değerlerinde çok az artışlar görülmüştür.

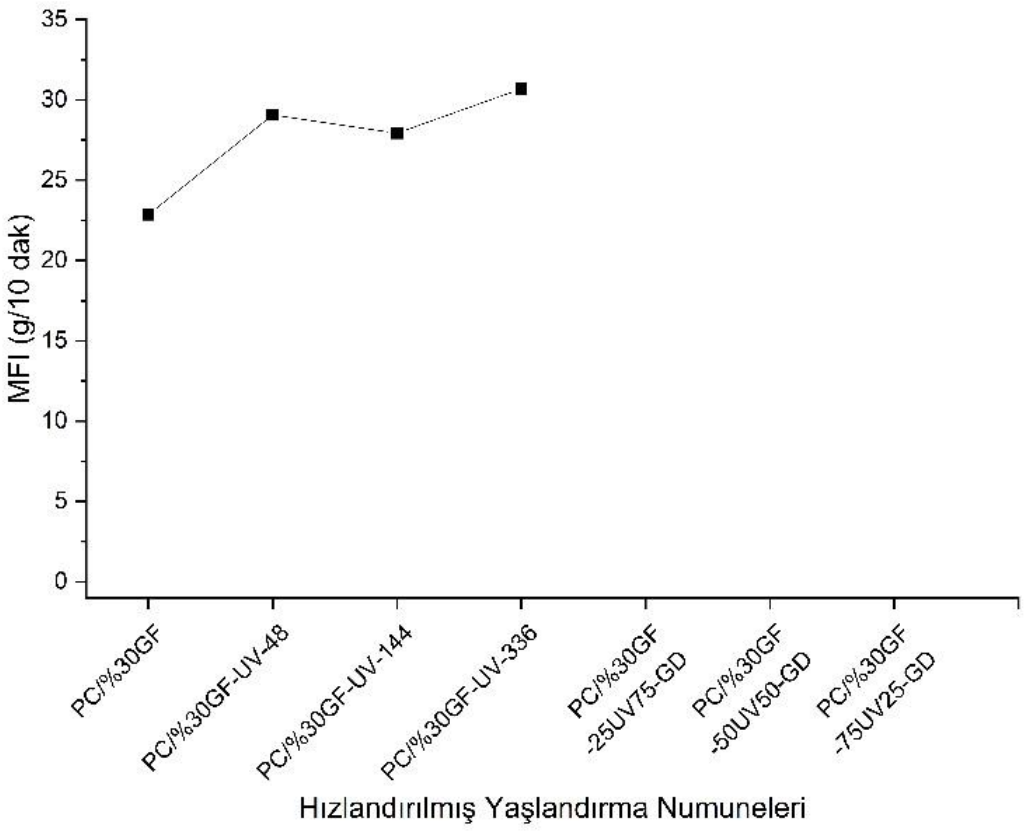


Şekil 4.47: Darbe dayanımı değişimi grafiği.

Tablo 4.46: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%30GF numunelerinin darbe testi sonuçları.

Polimerik Malzemeler	**Darbe Dayanımı (kJ/m^2)**
PC/%30GF	10,36±0,40
PC/%30GF-UV-48	10,16±0,40
PC/%30GF-UV-144	10,24±0,50
PC/%30GF-UV-336	9,90±0,20
PC/%30GF -25UV75-GD	7,20±0,17
PC/%30GF -50UV50-GD	7,47±0,19
PC/%30GF -75UV25-GD	7,58±0,14

Hızlandırılmış yaşlandırmaya maruz bırakılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%30GF numunelerinin MFI grafiği Şekil 4.48'de verilmiştir. MFI testi sonuçlarının ortalama değer ve sapmaları ise Tablo 4.47'de verilmiştir. MFI testleri sonucunda MFI değerleri, yaşlanma zamanıyla saf PC/30GF değerlerinin üzerinde seyretmiştir. 336 saat sonunda %36 oranında artış gözlemlenmiştir. Geridönüşüm uygulanan PC/%30GF numunelerinde ise, standart sıcaklık değerlerinde sağlıklı ölçüm alınamamış olmasından dolayı grafiklere yansıtılmamıştır. Tablolarda "*" işareti ile gösterilmiştir.



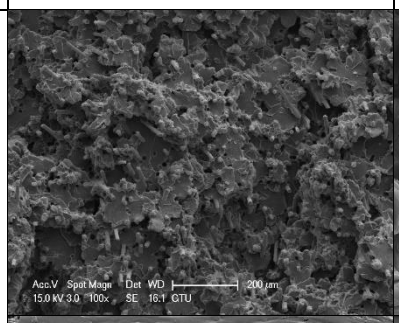
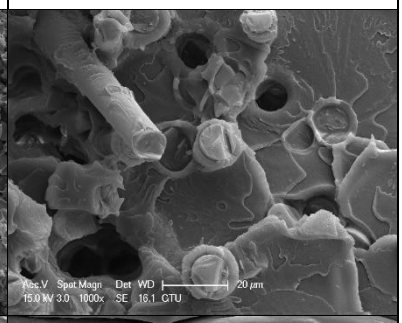
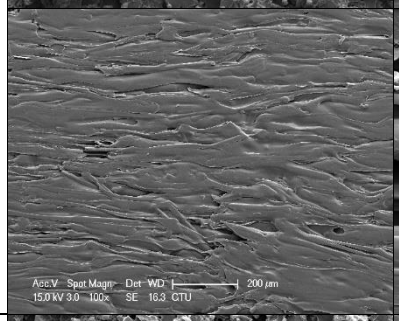
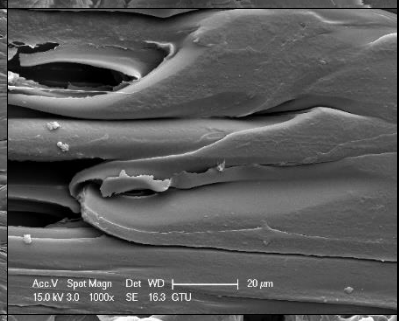
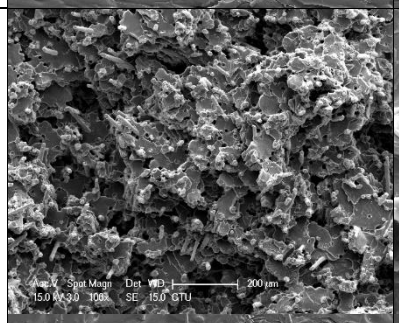
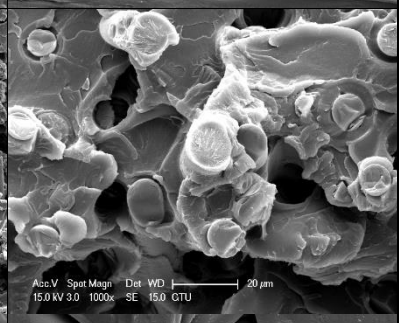
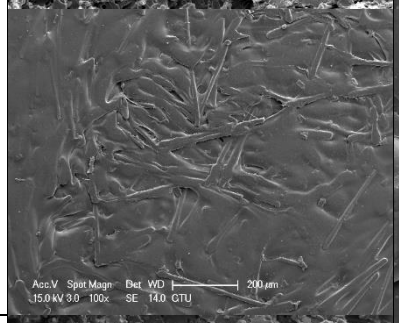
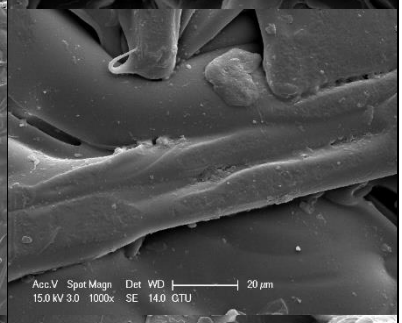
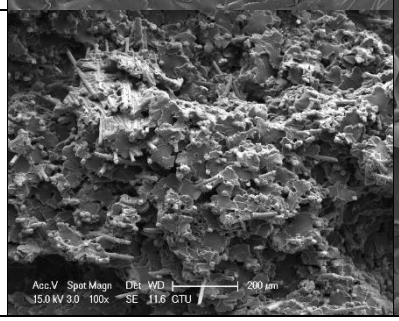
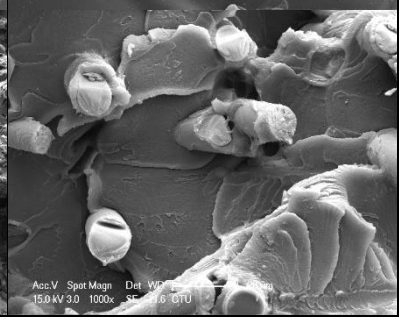
Şekil 4.48: MFI değişim grafiği.

Tablo 4.47: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%30GF numunelerinin MFI testi sonuçları.

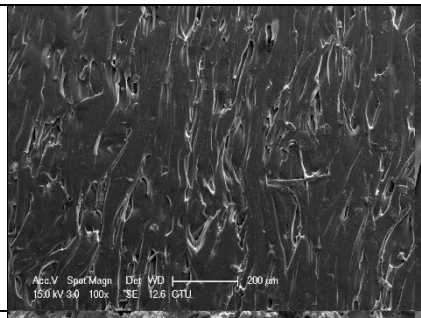
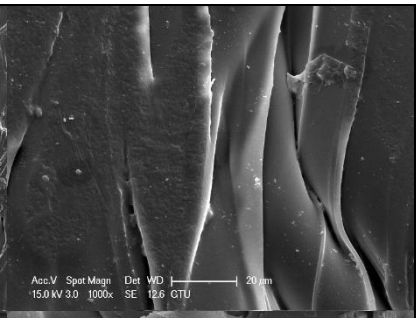
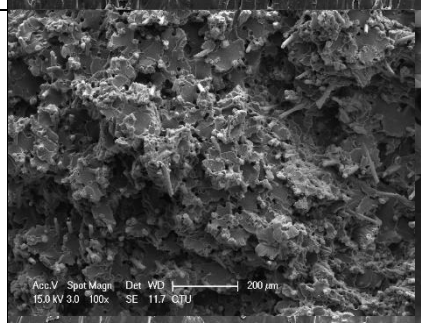
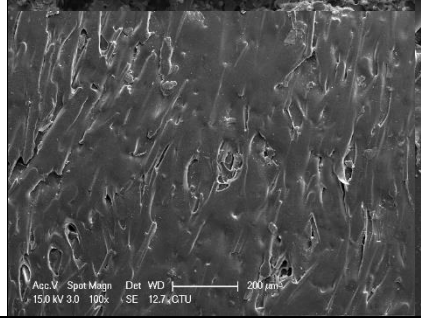
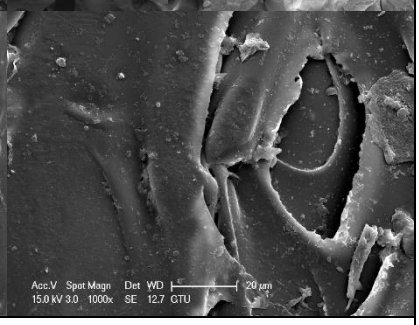
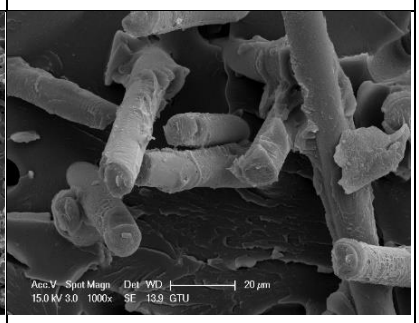
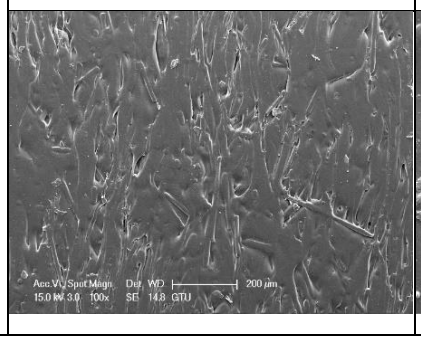
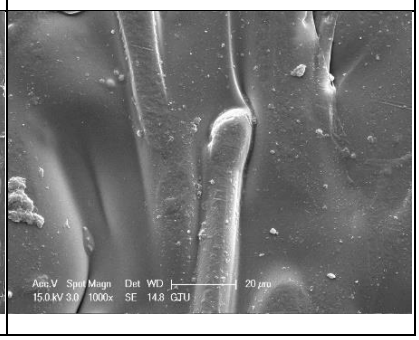
Polimerik Malzemeler	MFI (g/10 dak)
PC/%30GF	22,86±0,60
PC/%30GF-UV-48	29,07±2,40
PC/%30GF-UV-144	27,93±1,30
PC/%30GF-UV-336	30,70±2,00
PC/%30GF -25UV75-GD	*
PC/%30GF -50UV50-GD	*
PC/%30GF -75UV25-GD	*

Hızlandırılmış yaşlandırmaya maruz bırakılan ve geridönüşüm uygulanan PC/%30GF numunelerinin SEM görüntüleri Tablo 4.48'de verilmiştir.

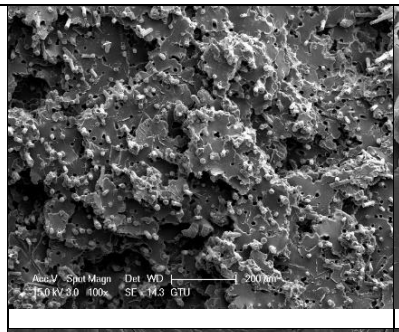
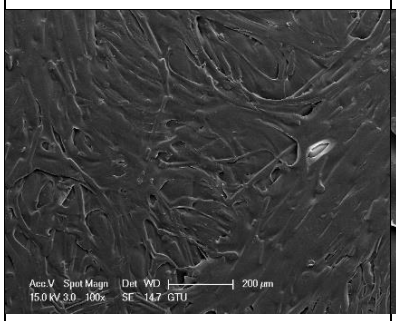
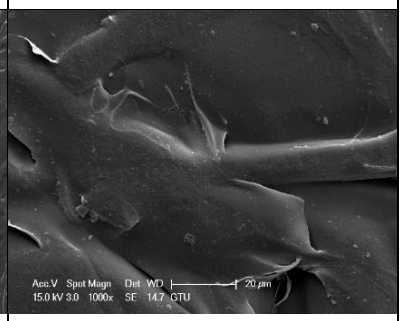
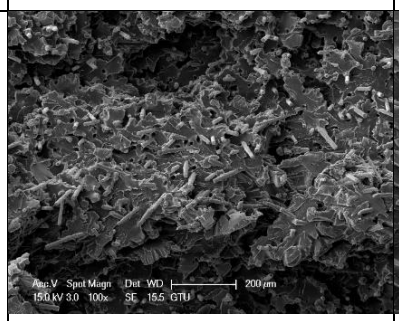
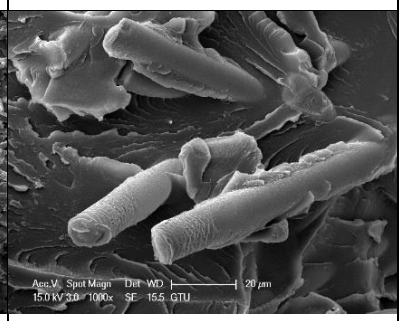
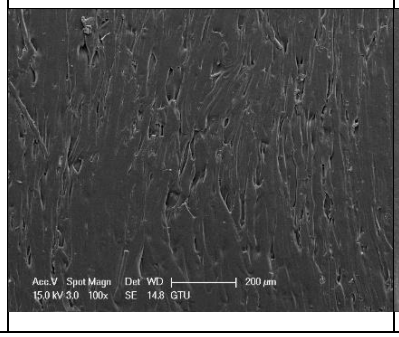
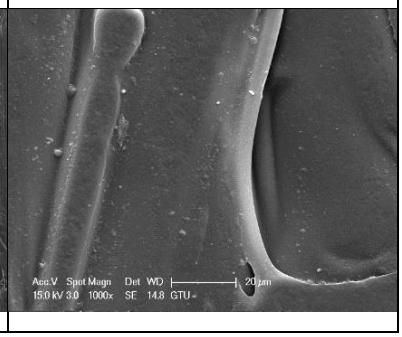
Tablo 4.48: Hızlandırılmış şartlarda yaşlandırılan PC/%30GF numunelerinin SEM görüntüleri.

	Hızlandırılmış Yaşlandırma Numuneleri	**100x**	**1000x**
Kopmuş yüzey	**0***		
Yan Yüzey			
Kopmuş yüzey	**48**		
Yan Yüzey			
Kopmuş yüzey	**144**		

Tablo 4.48: Devam.

Yan Yüzey			
Kopmuş yüzey	**336**		
Yan Yüzey			
	* Yaşlandırılmamış PC/%30GF polimerini ifade etmektedir.		
	Geridönüşüm Numuneleri	**100x**	**1000x**
Kopmuş yüzey	**PC/%30GF - 25UV75-GD**		
Yan Yüzey			

Tablo 4.48: Devam.

Kopmuş yüzey	**PC/%30GF - 50UV50-GD**		
Yan Yüzey			
Kopmuş yüzey	**PC/%30GF - 75UV25-GD**		
Yan Yüzey			

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Doğal yaşlandırma sonrasında PC numunelerinin çekme ve eğme dayanımlarında önemli bir değişim gözlenmemiştir. Kopma uzamalarında ise azalış meydana gelmiştir. Darbe dayanımlarında ise 9. Aya kadar önemli bir değişiklik olmazken, 12. Ay sonunda önemli ölçüde azalış görülmüştür. MFI değerlerinde ise 12. Aya kadar stabil bir artış yada azalıştan ziyade değişik değerler ölçülmüştür. Numunelerin SEM resimlerinde yaşlanma süresiyle birlikte 9. ve 12. ayda numune yüzeyinden alınan görüntülerden çatlakların oluştuğu ve giderek genişlediği görülmüştür.

Doğal yaşlandırma geridönüşümü sonrasında PC numunelerinin çekme ve eğme dayanımları, neredeyse değişmemiş, kopma uzamalarında ise düşüş görülmüştür. Darbe dayanımlarında ise 12. Aya nazaran sürekli bir artış gözlenmiştir. MFI sonuçlarında, numunelerin aşırı akıcılığından dolayı meydana gelen sıvama ve dolayısı ile kesememe problemlerinden dolayı sağlıklı değerler alınamamıştır.

Hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında PC numunelerinin çekme ve darbe dayanımında değişiklik olmazken eğme dayanımında bir miktar artış görülmüş, kopma uzamalarında ise önemli miktarda azalma meydana gelmiştir. MFI değerlerinde ise çok az miktarda azalış meydana gelmiştir. Hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında numunelerin SEM resimlerinde herhangi bir çatlak oluşumuna rastlanmamıştır.

Hızlandırılmış yaşlandırma geridönüşümü sonrasında PC numunelerinin çekme ve eğme dayanımlarında önemli bir değişiklik görülmemiş, kopma uzamalarında ise düşüş görülmüştür. Darbe dayanımlarında ise 336 saatlik yaşlanmaya göre azalış olmuştur. MFI sonuçlarında, numunelerin aşırı akıcılığından dolayı meydana gelen sıvama ve dolayısı ile kesememe problemlerinden dolayı sağlıklı değerler alınamamıştır.

Doğal yaşlandırma sonrasında PC/%10GF numunelerinin çekme ve eğme dayanımlarında önemli bir değişim gözlenmemiştir. Kopma uzamalarında ise kısmen artış meydana gelmiştir. Darbe dayanımlarında 3. ve 6. ayda %15 azalırken 9. ve 12. aylarda önemli bir değişiklik görülmemiştir. MFI değerlerinde ise düşüş meydana gelmiştir. Numunelerin SEM resimlerinde yaşlanma süresiyle birlikte 3. 6. ve 9. aylarda numune kesitinden alınan görüntülerden fiberlerin matrislerden ayrılmaya başladığı ve 12. ayın sonunda ise kopmaların oluşturğu görülmüştür.

Doğal yaşlandırma geridönüşümü sonrasında PC/%10GF numunelerinin çekme dayanımlarında kendi içerisinde artış gözlenmiş fakat bu artış 12 ay yaşlanmış numunelerin altında kalmıştır. Kopma uzamalarında ise artışın olduğu gözlenmiştir. Eğme dayanımları, 12 ay yaşlanmış numune değerlerinin altında kalmıştır. Darbe dayanımlarında kendi içerisinde sürekli bir artış olmuştur, %75 saf katkısı ile bu artış, 12 ay yaşlanmış ve yaşlanmamış numune değerlerinin üstüne çıkmıştır. MFI sonuçlarında kendi içerisinde azalışın olduğu fakat bu azalışın 12 ay yaşlanmış ve yaşlanmamış numune değerlerinin üstünde kaldığı görülmüştür.

Hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında PC/%10GF numunelerinin çekme ve eğme dayanımında önemli bir değişiklik olmazken darbe dayanımında artış görülmüş, kopma uzamalarında ise önce artış sonra başlangıca göre azalış şeklinde olmuştur. MFI değerlerinde önemli bir değişikliğin olmadığı görülmüştür. Hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında numunelerin SEM resimlerinde herhangi bir çatlak oluşumuna rastlanmamıştır.

Hızlandırılmış yaşlandırma geridönüşümü sonrasında PC/%10GF numunelerinin çekme,eğme ve darbe dayanımları 336 saat yaşlanmış ve yaşlanmamış numune değerlerinin altında kalmıştır, kopma uzamalarında ise artış görülmüştür. MFI değerlerinde genel olarak artışın olduğu görülmüştür.

Doğal yaşlandırma sonrasında PC/%20GF numunelerinin çekme ve eğme dayanımlarında azalma, Kopma uzamalarında ise artış ve sonra azalış meydana gelmiştir. Darbe dayanımlarında 9. aya kadar azalma gözlenirken 12. Ayda artış olmuş fakat bu artış yaşlanmamış değerin altında kalmıştır. MFI değerlerinde ise genel olarak artış meydana gelmiştir. Numunelerin SEM resimlerinde herhangi bir çatlak oluşumuna rastlanmamıştır.

Doğal yaşlandırma geridönüşümü sonrasında PC/%20GF numunelerinin çekme dayanımlarında kendi içerisinde artış gözlenmiş fakat bu artış 12 ay yaşlanmış ve yaşlanmamış numunelerin altında kalmıştır. Kopma uzamalarında ise artışın olduğu gözlenmiştir. Eğme dayanımları, 12 ay yaşlanmış ve yaşlanmamış numune değerlerinin altında kalmıştır. Darbe dayanımlarında kendi içerisinde sürekli bir artış olmuştur fakat 12 ay yaşlanmış ve yaşlanmamış numune değerlerinin altında kalmıştır. MFI sonuçlarında kendi içerisinde önce azalışın sonra artışın olduğu fakat bu değişimler 12 ay yaşlanmış ve yaşlanmamış numune değerlerinin üstünde kaldığı görülmüştür.

Hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında PC/%20GF numunelerinin çekme dayanımında önemli bir değişiklik olmazken, eğme ve darbe dayanımında azalış görülmüştür. Kopma uzamalarında ise önce artış sonra başlangıca göre azalış şeklinde olmuştur. MFI değerlerinde önemli bir değişikliğin olmadığı görülmüştür. Hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında numunelerin SEM resimlerinde herhangi bir çatlak oluşumuna rastlanmamıştır.

Hızlandırılmış yaşlandırma geridönüşümü sonrasında PC/%20GF numunelerinin çekme,eğme, darbe dayanımları ve kopma uzamaları 336 saat yaşlanmış ve yaşlanmamış numune değerlerinin altında kalmıştır. MFI değerlerinde 336 saat ve yaşlanmamış numune değerlerine göre genel olarak artışın olduğu görülmüştür.

Doğal yaşlandırma sonrasında PC/%30GF numunelerinin çekme ve eğme dayanımlarında azalma, Kopma uzamalarında ise artış ve sonra azalış meydana gelmiştir. Darbe dayanımlarında genel olarak azalma gözlenmiştir. MFI değerlerinde ise genel olarak artış meydana gelmiştir. Numunelerin SEM resimlerinde herhangi bir çatlak oluşumuna rastlanmamıştır.

Doğal yaşlandırma geridönüşümü sonrasında PC/%30GF numunelerinin çekme, eğme dayanımlarında ve kopma uzamalarında kendi içerisinde artış gözlenmiş fakat bu artış 12 ay yaşlanmış ve yaşlanmamış numunelerin altında kalmıştır. Darbe dayanımları 12 ay yaşlanmış numune değerlerinin %96 üzerine çıkmıştır fakat yaşlanmamış numunelerin altında kalmıştır. MFI sonuçlarında kendi içerisinde önce azalışın sonra artışın olduğu fakat bu değişimler 12 ay yaşlanmış ve yaşlanmamış numune değerlerinin üstünde kaldığı görülmüştür.

Hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında PC/%30GF numunelerinin çekme dayanımı ve kopma uzamalarında önemli bir değişiklik olmazken, eğme ve darbe dayanımında azalış görülmüştür. MFI değerlerinde artışın olduğu görülmüştür. Hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında numunelerin SEM resimlerinde herhangi bir çatlak oluşumuna rastlanmamıştır.

Hızlandırılmış yaşlandırma geridönüşümü sonrasında PC/%30GF numunelerinin çekme,eğme, darbe dayanımları ve kopma uzamaları 336 saat yaşlanmış ve yaşlanmamış numune değerlerinin altında kalmıştır. MFI sonuçlarında, numunelerin aşırı akıcılığından dolayı meydana gelen sıvama ve dolayısı ile kesememe problemlerinden dolayı sağlıklı değerler alınamamıştır.

Genel olarak doğal ve hızlı yaşlandırılmış numunelerin yaşlandırma süreleri sonunda görsel olarak sararma meydana gelmemiştir. Fakat numunelerin özellikle doğal yaşlanma sonucunda gevrek hale geldiği gözlenmiştir. Sararmanın olmaması nedeni olarak numunelerin UV stabilizer katkılı hammaddeler kullanılarak basılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. PC numunelerinin yaşlandırma işlemleri sonucunda yapısında oluşan değişiklikleri ve yaşlandırma sırasında meydana gelen mekanizmaları daha iyi anlamak için moleküler yapısının incelenmesi, dolayısı ile kimyasal testlerinde bu konuya dahil edilmesi olayları yorumlamak anlamında bizlere daha iyi bir ışık tutacaktır.

KAYNAKLAR

[1] Rabek J. F., (1995), "Polymer Photodegradation: Mechanisms and experimental methods", 1st Edition, Springer Netherlands.

[2] Factor A. (1996), "Mechanisms of Thermal and Photodegradations of Bisphenol A Polycarbonate". "Polymer Durability", American Chemical Society.

[3] White J. R., Turnbull A., (1994), "Weathering of polymers: mechanisms of degradation and stabilization, testing strategies and modelling", Journal of Materials Science, 29 (3), 584-613.

[4] Huang J., He C., Li X., Pan G., Tong H., (2018), "Theoretical studies on thermal degradation reaction mechanism of model compound of bisphenol A polycarbonate", Waste Management, 71, 181-191.

[5] de Brouwer H., van den Bogerd J., Hoover J., (2015), "Color stability of polycarbonate for optical applications", European Polymer Journal, 71, 558-566.

[6] Diepens M., Gijsman P., (2008), "Photo-oxidative degradation of bisphenol A polycarbonate and its possible initiation processes", Polymer Degradation and Stability, 93 (7), 1383-1388.

[7] Tjandraatmadja G. F., Burn L. S., Jollands M. J., (1999). "The Effects Of Ultravıolet Radıatıon On Polycarbonate Glazıng Effects Of UV On Polycarbonate Glazing", CIB W078 Workshop On Informatıon Technology In Constructıon İn Conjunction With The 8th Internatıonal Conference On Durabılıty Of Buıldıng Materıals And Components. Volume 4Rotterdam (Netherlands).

[8] Rivaton A., (1995), "Recent advances in bisphenol-A polycarbonate photodegradation", Polymer Degradation and Stability, 49 (1), 163-179.

[9] Yonghao P., Mingjiao Y., Shimin H., Weibin G., Yi D., (2012), "Study on the changing regularity of structure and properties of PC aged outdoor in western areas of China", 125 (3), 2128-2136.

[10] Diepens M., Gijsman P., (2011), "Outdoor and accelerated weathering studies of bisphenol A polycarbonate", Polymer Degradation and Stability, 96 (4), 649-652.

[11] Hareesh K., Pandey A. K., Sangappa Y., Bhat R., Venkataraman A., Sanjeev G., (2013), "Changes in the properties of Lexan polycarbonate by UV irradiation", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 295 (Supplement C), 61-68.

[12] Collin S., Bussière P. O., Thérias S., Lambert J. M., Perdereau J., Gardette J. L., (2012), "Physicochemical and mechanical impacts of photo-ageing on bisphenol a polycarbonate", Polymer Degradation and Stability, 97 (11), 2284-2293.

[13] Pérez J. M., Vilas J. L., Laza J. M., Arnáiz S., Mijangos F., Bilbao E., Rodríguez M., León L. M., (2010), "Effect of reprocessing and accelerated ageing on thermal and mechanical polycarbonate properties", Journal of Materials Processing Technology, 210 (5), 727-733.

[14] Pires H. M., Mendes L. C., Cestari S. P., Pita V. J. R. R., (2015), "Effect of Weathering and Accelerated Photoaging on PET/PC (80/20 wt/wt%) Melt Extruded Blend", Materials Research, 18, 763-768.

[15] Sanchez E. M. S., (2007), "Ageing of PC/PBT blend: Mechanical properties and recycling possibility", Polymer Testing, 26 (3), 378-387.

[16] Wiley-VCH, (2016), "Ullmann's Polymers and Plastics, 4 Volume Set: Products and Processes", 1st Edition, Wiley.

[17] Callister W. D., Rethwisch D. G., (2010), "Materials Science and Engineering: An Introduction", 8th Edition, Wiley.

[18] Kutz M., (2015), "Mechanical Engineers' Handbook, Volume 1: Materials and Engineering Mechanics", 4th Edition, Wiley.

[19] Andrady A. L., (2003), "Plastics and the environment", 1st Edition, Wiley-Interscience.

[20] Gilbert M., (2016), "Brydson's Plastics Materials", 8th Edition, Elsevier Science.

[21] Ibeh C. C., (2011), "Thermoplastic Materials: Properties, Manufacturing Methods, and Applications", 1st Edition, Taylor & Francis.

[22] Subramanian M. N., (2013), "Plastics Additives and Testing", 1st Edition, Wiley.

[23] Seydibeyoglu M. O., Mohanty A. K., Misra M., (2017), "Fiber Technology for Fiber-Reinforced Composites", 1st Edition, Elsevier Science.

[24] Bart J. C. J., (2005), "Additives in Polymers: Industrial Analysis and Applications", 1st Edition, Wiley.

[25] Mallick P. K., (2007), "Fiber-Reinforced Composites: Materials, Manufacturing, and Design, Third Edition", 3rd Edition, CRC Press.

[26] Francis R., (2016), "Recycling of Polymers: Methods, Characterization and Applications", 1st Edition, Wiley.

[27] International A., Lampman S., (2003), "Characterization and Failure Analysis of Plastics", 1st Edition, ASM International.

[28] Wypych G., (2015), "Handbook of UV Degradation and Stabilization", 2nd Edition, Elsevier Science.

[29] Bendler J. T., (1999), "Handbook of Polycarbonate Science and Technology", 1st Edition, Taylor & Francis.

[30] Web 1, (2019), http://www.drb-mattech.co.uk/images/qpanel%20outdoor, (Erişim Tarihi: 25/05/2019).

[31] TS EN ISO 877-1, (2011), Plastikler - gün ışığına maruz bırakma metotları - Bölüm 1: Genel kurallar.

[32] Web 2, (2017-2018), http://rp5.ua/Sabiha_G%C3%B6k%C3%A7en_hava_alan%C4%B1nda_hava_durumu_ar%C5%9Fivi, (Erişim Tarihi: 07/08/2018).

[33] ASTM G 154, (2006), Standard practice for operating fluorescent light apparatus for UV exposure of nonmetallic materials.

[34] Massey L. K., (2007), "The Effects of UV Light and Weather on Plastics and Elastomers", 2nd Edition, William Andrew Pub.

[35] TS EN ISO 527-1, (2012), Plastikler - çekme özelliklerinin tayini - Bölüm 1: Genel prensipler.

[36] TS EN ISO 178, (2011), Plastikler - eğilme özelliklerinin tayini.

[37] TS EN ISO 180, (2006), Plastikler - Izod darbe mukavemetinin tayini.

[38] TS EN ISO 1133-1, (2012), Plastikler - erimiş termoplastiklerin kütlesel akış hızının (mfr) ve hacimsel akış hızının (mvr) tayini - Bölüm1: Standard yöntem.

[39] Weibin G., Shimin H., Minjiao Y., long J., Yi D., (2009), "The effects of hydrothermal aging on properties and structure of bisphenol A polycarbonate", Polymer Degradation and Stability, 94 (1), 13-17.

[40] Jiang L., Zhou M., Ding Y., Zhou Y., Dan Y. J. J. o. P. R., (2018), "Aging induced ductile-brittle-ductile transition in bisphenol A polycarbonate", 25 (2), 39.

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet DOĞAN 1988 yılında TOKAT'ta doğdu. 2008 yılında başladığı Süleyman Demirel Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nü 2012 yılında başarıyla tamamlayarak, 2016 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2017-2018 yılları arasında Prof. Dr. Babür ÖÇELİK'in araştırmacı olarak, Dr. Emel KURAM'ın proje yürütücüsü olarak görev aldığı "Polimerik Malzemelerin Hızlandırılmış Yaşlandırma ve Atmosferik Etkiler Altında Özelliklerinin İncelenmesi ve Yaşlandırılmış Polimerik Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin İyileştirilmesi" konulu TÜBİTAK Projesinde çalıştı.