

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

TARIMSAL KABUK KATKILI
POLYAMİD 6 KOMPOZİTLERİNİN
UV YAŞLANDIRMA SONRASI MEKANİK ÖZELLİKLERİ

FATİH AYDINLI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: DOÇ. DR. EMEL KURAM

ŞUBAT 2025

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

TARIMSAL KABUK KATKILI
POLYAMİD 6 KOMPOZİTLERİNİN
UV YAŞLANDIRMA SONRASI MEKANİK
ÖZELLİKLERİ

FATİH AYDINLI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: DOÇ. DR. EMEL KURAM

ŞUBAT 2025

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL

**MECHANICAL PROPERTIES OF AGRICULTURAL
SHELL FILLED POLYAMIDE 6 COMPOSITES
AFTER UV AGEING**

FATİH AYDINLI

A THESIS MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING

ADVISOR: ASSOC. PROF. EMEL KURAM

FEBRUARY 2025

YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun 03/02/2025 tarih ve 2025/08 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 25/2/2025 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Fatih AYDINLI'nın tez çalışması Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Doç. Dr. Emel KURAM

ÜYE

: Prof. Dr. Babür ÖZÇELİK

ÜYE

: Prof. Dr. Murat ÖZSOY

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun

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

İMZA/MÜHÜR



*Anneme, Babama, Kız Kardeşlerime
Biricik Eşime ve
Kızlarım Pera ve Bilge Nesin'e*

ÖZET

Bu tez çalışmasında, tarımsal kabuk katkılı polyamid 6 kompozitlerinin ultraviyole, morötesi (UV) ışını yaşlandırması sonrası mekanik özelliklerindeki değişiklikler incelenmiştir. Polimerik malzemeler kullanımları esnasında atmosferik etkilere maruz kalmaktadır. Güneş ışığı, sıcaklık, oksijen, nem ve diğer iklimatik etkiler gibi faktörler polimerik malzemelerin hem görünüşünü hem de mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu etkilerin bilinmesi hem ürünün ekonomisi hem de ürünün garanti edilen süre içindeki fiziksel ve mekanik özelliklerini koruması açısından önemlidir. Polimerler ve polimer kompozitler zor şartlar altında uzun ömür istenen uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Sonuç olarak, üreticilerden özellikle kolayca denetlenemeyen veya kullanma süresinde yıkıcı bir şekilde bozulan ürünlerinin ömür beklentisini garanti altına almak için artan talep vardır. Bu nedenle polimerik malzemelerin yaşlandırma sonrası özelliklerini daha iyi anlamak ve dış ortam şartlarında kullanımı konusunda fikir edinmek için bu tez çalışması yapılmıştır.

Polimerlerin özellikleri kullanım ortamı ve süresine bağlı olarak değişmektedir. Yaşlanma sonucunda özelliklerin kötüleşmesi, ürünün kullanım amacına uygunluğunu da sınırlandırmaktadır. Bu nedenle çevresel etkilere hassas olan termoplastik polimerlerin özelliklerinin incelenmesi önemli bir mühendislik problemidir.

UV ışığı polimer zincirlerini doğrudan parçalayabilir ve oksijen varlığında UV radyasyonu plastiğin oksidasyonuna neden olur. Uygulanan UV'nin şiddeti, dolayısıyla kullanılan UV kaynağı, kullanılan plastiğin türüne, katkılara, öngörülen kullanım alanına ve elde edilmeye çalışılan mekanik özelliklere göre değişecektir.

Öncelikle ceviz, ayçiçeği çekirdeği (Dakota tipi) ve Antep fıstığı kabukları elek kullanılarak öğütülmüştür. Polyamid 6 (PA6) granülleri ve öğütülmüş tarımsal kabuklar kurutulduktan sonra PA6 granüllerine belirli oranlarda öğütülmüş tarımsal kabuk katkıları ayrı ayrı karıştırılmıştır (PA6 kompozitleri). Ardından PA6 ve PA6 kompozitleri ekstrüderden geçirilmiş, soğutulmuş ve ardından enjeksiyona hazır hale gelmesi için kırılarak granül haline getirilmiştir.

PA6 granülleri ve PA6 kompozit granülleri enjeksiyon öncesi tekrar kurutulmuş ve ardından enjeksiyonda üretildikten sonra tüm numunelere çentik darbe, eğme, çekme ve eriyik akış testleri uygulanmış ve taramalı elektron mikroskopunda (SEM) görüntüleri alınmıştır.

PA6 ve PA6 kompozitlerinden üretilen tüm numuneler 24 saat, 72 saat, 120 saat ve 168 saat UV yaşlandırmaya maruz bırakılmıştır. Ardından çentik darbe, eğme, çekme ve eriyik akış testleri uygulanmış ve SEM görüntüleri alınmıştır.

UV yaşlandırma sonrası mekanik özelliklerde önemli değişikliklerin olmaması dış ortamda kullanım konusunda olumlu bir durumu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Polyamid 6, Ceviz Kabuğu, Ayçiçeği Çekirdeği Kabuğu, Antep Fıstığı Kabuğu, UV Yaşlandırma, Mekanik Özellikler.

ABSTRACT

In this thesis study, the changes in the mechanical properties of agricultural shell filled polyamide 6 composites after ultraviolet (UV) ageing were investigated. Polymeric materials are exposed to atmospheric effects during their use. Factors such as sunlight, temperature, oxygen, humidity and other climatic effects adversely affect both the appearance and mechanical properties of polymeric materials. Knowing these effects is important both for the economy of the product and for maintaining the physical and mechanical properties of the product within the guaranteed period. Polymers and polymer composites are widely used in applications where long life is required under harsh conditions. As a result, there is an increasing demand from manufacturers to guarantee the life expectancy of their products, especially those that are not easily inspected or that deteriorate catastrophically during the period of use. Therefore, this thesis was carried out to better understand the properties of polymeric materials after ageing and to gain insight into their use under outdoor conditions.

The properties of polymers vary depending on the environment and duration of use. Deterioration of properties as a result of ageing limits the suitability of the product for its intended use. Therefore, investigating the properties of thermoplastic polymers which are sensitive to environmental effects is an important engineering problem.

UV light can directly break down polymer chains and UV radiation in the presence of oxygen causes oxidation of the plastic. The intensity of the UV applied, hence the UV source used, will vary according to the type of plastic used, the additives, the intended use and the mechanical properties to be achieved.

Firstly, walnut, sunflower seed and pistachio shells were ground using a sieve. After drying the polyamide 6 (PA6) granules and the ground agricultural shells, ground agricultural shell additives were mixed into the PA6 granules in certain proportions separately (PA6 composites). The PA6 and PA6 composites were then extruded, cooled and then crushed into granules ready for injection.

The PA6 granules and PA6 composite granules were dried again before injection and then all samples were subjected to notch impact, bending, tensile and melt flow tests and images were taken in scanning electron microscope (SEM).

All specimens produced from PA6 and PA6 composites were subjected to UV ageing for 24 hours, 72 hours, 120 hours and 168 hours. Notch impact, bending, tensile and melt flow tests were then performed and SEM images were taken.

The absence of significant changes in mechanical properties after UV aging indicates a favourable situation for outdoor use.

Keywords: Polyamide 6, Walnut Shell, Sunflower Seed Shell, Pistachio Shell, UV Ageing, Mechanical Properties.

TEŞEKKÜR

Öncelikle hayatım boyunca desteklerini benden esirgemeyen ve bugünlere gelmemde en büyük paya sahip olan anneme ve babama, sevgileri ile bana destek olan kızlarım Pera, Bilge Nesin ve eşim Evrim'e teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim boyunca bilgileri ve tecrübeleri ile destek olan ve aynı zamanda sabrını esirgemeyen başta Doç. Dr. Emel KURAM ve bugünlere gelmemde eğitim ve öğretim hayatımda bana destek olan tüm hocalarıma teşekkür ederim. Laboratuvarlarının kapılarını açarak darbe test cihazının kullanımına izin vererek bana destek olan Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümü öğretim üyesi Prof. Dr. Murat ÖZSOY'a ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmalarında bana yardımcı olan başta Önder GEDİK olmak üzere Adem ŞEN ve Öğr. Gör. Ahmet NAZIM'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez TÜBİTAK'ın 1002 program kodlu Hızlı Destek Programı kapsamında yürütülen 123M800 proje numaralı projeyle gerçekleştirilmiştir.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Polimerik Malzeme	2
1.2. Doğal Kompozit Malzemeler	3
1.3. Literatür Özeti	4
2. MATERYAL ve YÖNTEM	14
2.1. Kullanılan Malzemeler	14
2.2. Metot	15
2.3. Tarımsal Katkıların Hazırlanması	18
2.4. Malzemelerin Kurutulması	19
2.5. Malzemelerin Karıştırılması ve Tartım	20
2.6. Ekstrüzyon	20
2.7. Kompozit Numunelerin Elde Edilmesi	22
2.8. UV Yaşlandırma	27
2.9. Mekanik Testler	28
2.9.1. Çekme Testi	28
2.9.2. Eğme Testi	30
2.9.3. Çentik Darbe Testi	31
2.10. Reolojik Test (Eriyik Akış Testi (MFI))	33
2.11. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi	34
2.12. Yüzey Pürüzlülüğü	36
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	37
3.1. Çekme Testi Sonuçları	37
3.2. Eğme Testi Sonuçları	41
3.3. Darbe Testi Sonuçları	44
3.4. Reolojik Test Sonuçları	45
3.5. Morfoloji Gözlemi Sonuçları	46
3.5.1. Yüzey pürüzlülüğü sonuçları	46
3.5.2. Yüzey morfolojisi sonuçları	47
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	58
KAYNAKLAR	52
ÖZGEÇMİŞ	56
EKLER	57
Ek-A	57
Ek-B	59

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

PA6	: Polyamid 6
PP	: Polipropilen
PLA	: Poliaktik asit
PMMA	: Polimetil metakrilat
ABS	: Akrilonitril butadien stiren
HDPE	: Yüksek yoğunluklu polietilen
g	: gram
mm	: milimetre
cm	: santimetre
m	: metre
ISO	: Uluslararası Standart Teşkilatı
MPa	: Megapascal
kJ	: kilojoule
N	: Newton
UV	: Morötesi
°C	: Derece Celsius
s	: saniye
°	: Derece
TS	: Türk Standardı
MFI	: Eriyik Akış İndeksi
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskopu

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1: Polimer zinciri (siyah renk karbon, kırmızı renk oksijen ve beyaz renk hidrojeni simgelemektedir.).	2
Şekil 1.2: Zincir yapılarına göre polimer türleri.	3
Şekil 2.1: Polyamid 6 (PA6) granülleri.	14
Şekil 2.2: Öğütülmüş ceviz kabuğu.	14
Şekil 2.3: Öğütülmüş ayçiçeği çekirdeği (Dakota tipi) kabuğu.	15
Şekil 2.4: Öğütülmüş Antep fıstığı kabuğu.	15
Şekil 2.5.1: İşlem Akış Şeması.	17
Şekil 2.5.2: İşlem Akış Şeması Devamı.	18
Şekil 2.6: MERTEST marka bıçaklı değirmen makinesi ve öğütme işlemi.	18
Şekil 2.7: Öğütme işlemi için kullanılan 400 µm elek.	19
Şekil 2.8: BINDER marka etüv.	19
Şekil 2.9: POLARTEK marka ekstrüzyon makinası.	20
Şekil 2.10: Tarımsal kabuk katkılı PA6 kompozitinin ekstrüzyon makinasından çıkışı.	21
Şekil 2.11: Tarımsal kabuk katkılı PA6 kompozitinin ekstrüzyon makinası çıkışında su ile soğutulması.	21
Şekil 2.12: Tarımsal kabuk katkılı PA6 kompozitinin soğutulması sonrası kırılarak granül haline getirilmesi.	22
Şekil 2.13: Ekstrüzyon makinasında tarımsal kabuk katkılı PA6 kompozitinin üretilmesi sırasında gerçek zamanlı değerler.	22
Şekil 2.14: YIZUMI marka UN90A2 model enjeksiyon kalıplama makinesi.	23
Şekil 2.15: Dört kaviteli enjeksiyon kalıbı.	23
Şekil 2.16: Çekme testi numunesi.	24
Şekil 2.17: Eğme testi numunesi.	25
Şekil 2.18: Çentik darbe testi numunesi.	25
Şekil 2.19: Enjeksiyonda üretilen PA6 test numuneleri.	26
Şekil 2.20: Enjeksiyonda üretilen PA6 kompoziti (Öğütülmüş ceviz kabuğu katkılı) test numuneleri.	26
Şekil 2.21: Enjeksiyonda üretilen PA6 kompoziti (Öğütülmüş ayçiçeği çekirdeği (Dakota tipi) kabuğu katkılı) test numuneleri.	26
Şekil 2.22: Enjeksiyonda üretilen PA6 kompoziti (Öğütülmüş Antep fıstığı kabuğu katkılı) test numuneleri.	27
Şekil 2.23: Q-LAB marka QUV/SE model UV yaşlandırma cihazı (Arka ve ön görünüş).	27
Şekil 2.24: Test numunelerinin plakalara ve plakaların UV yaşlandırma cihazına yerleştirilmesi.	27
Şekil 2.25: 50 kN kapasiteli INSTRON marka 5569 H1551 model çekme testi cihazı.	29
Şekil 2.26: Çekme testinin uygulandığı.	29
Şekil 2.27: Eğme testinin uygulandığı.	31
Şekil 2.28: 50 Joule kapasiteli alarge marka ALIMPACT model çentik darbe test cihazı.	32
Şekil 2.29: DEVOTRANS marka ea3 model eriyik akış testi cihazı.	33
Şekil 2.30: Eriyik akış testi için kullanılan ağırlık.	34

Şekil 2.31: SEM cihazı.	35
Şekil 2.32: SEM cihazında görüntü alınması için numunelerin hazırlanması.	36
Şekil 2.33: Pürüzlülük testi cihazı ve ölçüm bölgeleri.	36
Şekil 3.1: UV yaşlandırma süresinin bir fonksiyonu olarak PA6 polimeri ve öğütülmüş tarımsal kabuk katkılı PA6 kompozitlerinin tipik çekme gerilmesi-gerinimi grafikleri.	38
Şekil 3.2: UV yaşlandırma süresinin bir fonksiyonu olarak PA6 polimeri ve öğütülmüş tarımsal kabuk katkılı PA6 kompozitlerinin (a) çekme dayanımı ve (b) çekme gerinimi değerleri.	41
Şekil 3.3: UV yaşlandırma süresinin bir fonksiyonu olarak PA6 polimeri ve öğütülmüş tarımsal kabuk katkılı PA6 kompozitlerinin tipik eğme gerilmesi-gerinimi grafikleri.	42
Şekil 3.4: UV yaşlandırma süresinin bir fonksiyonu olarak PA6 polimeri ve öğütülmüş tarımsal kabuk katkılı PA6 kompozitlerinin (a) eğme dayanımı ve (b) eğme gerinimi değerleri.	44
Şekil 3.5: UV yaşlandırma süresinin bir fonksiyonu olarak PA6 polimeri ve öğütülmüş tarımsal kabuk katkılı PA6 kompozitlerinin darbe testleri sonrasında ölçülen enerji değerleri.	45
Şekil 3.6: UV yaşlandırma süresinin bir fonksiyonu olarak PA6 polimeri ve öğütülmüş tarımsal kabuk katkılı PA6 kompozitlerinin hesaplanan MFI değerleri.	46

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 1.1: Polimerlere tarımsal kabuk katılarak geliştirilen termoplastik kompozitler konusunda yapılan çalışmaların özetleri.	7
Tablo 1.2: Yaşlandırma konusunda yapılan çalışmaların özetleri.	11
Tablo 2.1: Kurutma şartları.	19
Tablo 2.2: Enjeksiyon kalıplama koşulları.	24
Tablo 2.3: Çekme testi numunesi boyutları.	25
Tablo 2.4: Eğme ve çentik darbe testi numunesi boyutları.	25
Tablo 2.5: UV yaşlandırma şartlarının değerleri.	28
Tablo 2.6: Çekme testi şartları.	30
Tablo 2.7: Eğme testleri şartları.	31
Tablo 2.8: Çentik darbe testleri şartları.	32
Tablo 2.9: Eriyik akış testleri şartları.	34
Tablo 3.1: UV yaşlandırma süresinin bir fonksiyonu olarak PA6 polimeri ve öğütülmüş tarımsal kabuk katkılı PA6 kompozitlerinin ölçülen Ra değerleri.	47
Tablo 4.1: Dış mekan kullanımlarında kullanılabilmeyi gösteren UV yaşlandırma sonrası çekme ve eğme mukavemetindeki değişimler ve en yüksek artış ve değeri gösteren ceviz kabuğu katkılı PA6 kompoziti.	50
Tablo 4.2: UV Yaşlandırma açısından en düşük değişim değerlerini gösteren ve dolayısıyla en iyi performansa sahip Antep fıstığı katkılı PA6 kompoziti değerleri.	51

1. GİRİŞ

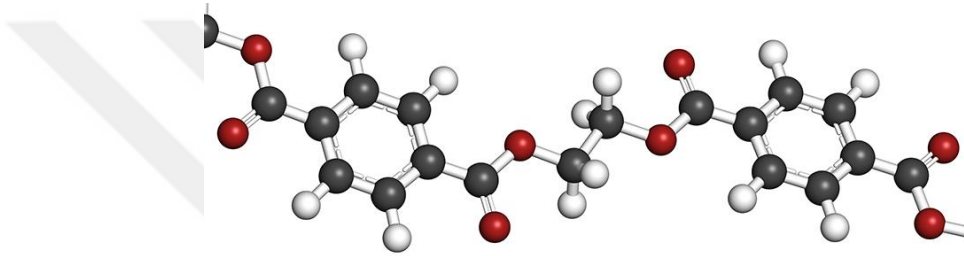
Günümüzün gelişen teknolojik ihtiyaçları, yaşamımızı kolaylaştırmak için talep ettiğimiz birçok ürün, daha uzun ömürlü ürünler talep etme, daha az yakıt harcanması için verilen uğraşlar, enerji verimliliği, çevre sorunları vb. birçok nedenden dolayı malzemelerin çok daha iyi özelliklere sahip olma ihtiyacını doğurdu. Kompozit malzemeler bu gereksinimler içerisinde araştırmalara konu oldu ve yerine aldı. Tek fazlı yapılara göre mekanik, elektriksel ve termal özelliklerinin daha iyi olması yaygın bir kullanım alanına sahip olmalarını ve tercih edilmelerini sağlamıştır. Kullanım için istenen şartları karşılayan polimeri üretmenin en bilenen yöntemi polimer kompoziti üretmek oldu. Tabi ki polimer kompozit malzemelerin üretilmesinde maliyetleri düşürmek ve özelliklerini geliştirmek için birçok farklı dolgu ve takviye malzemesi kullanılmıştır. Birçok endüstride sentetik dolgu malzemeleri ve polimerik matris birleşimi yolu oluşturulan malzemeler tercih edildi. Fakat tercih kullanım sonrası oluşan atıkların artmasıyla çevre için önemli bir sorun haline geldi. Dolayısıyla atıkların azaltılması için geri dönüşüm talepleri de beraberinde geldi. Bu nedenlerle zamanla sentetik dolgu malzemesi yerine selüloz, odun lifleri vb. organik maddeler kullanılmaya başlandı.

Genel olarak tarımsal atıklar (kuruyemiş kabukları, fındık kabuğu, çekirdek kabuğu, ceviz kabuğu, fıstık kabuğu vb.) insanlar tarafından çöpe atılmakta ve doğaya salınmaktadır. Ayrıca bazen mangal tutuşturmak için, bazen gübre olarak ve bazen de ısınma amaçlı yakıt olarak kullanılmaktadır. Tarımsal atıkların çevre üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılması için selülozik yapılarından yararlanılarak polimerlere dolgu malzemesi olarak katılabilmektedirler. Eğer istenilen özellikler karşılanıyorsa sadece polimerden oluşacak yapılar yerine dolgu malzemeleri ile polimer miktarını azaltan kompozitleri kullanmak bir yöntem olabilmektedir. Bu polimer kompozitlerinin özellikle dış mekân kullanımlarında mekanik özelliklerinin nasıl bir değişim gösterdiklerini incelemek için bu tez çalışmasında UV ışınlarının tarımsal kabuk katkılı polimer kompozitlerine etkisi araştırılmıştır. Sonuçlara göre doğaya salınarak ekonomik bir değer olmaktan çıkan tarımsal kabukların polimer kompozitlerinde dolgu malzemesi olarak kullanılması ile polimer miktarının azaltılması hem maliyeti düşürmeyi hem de tarımsal kabukların ekonomik bir değere

dönüştürülmesi hedeflenmektedir. Tabi ki dolaylı olarak geri dönüşüm sorunlarının da azalacağı düşünülmektedir.

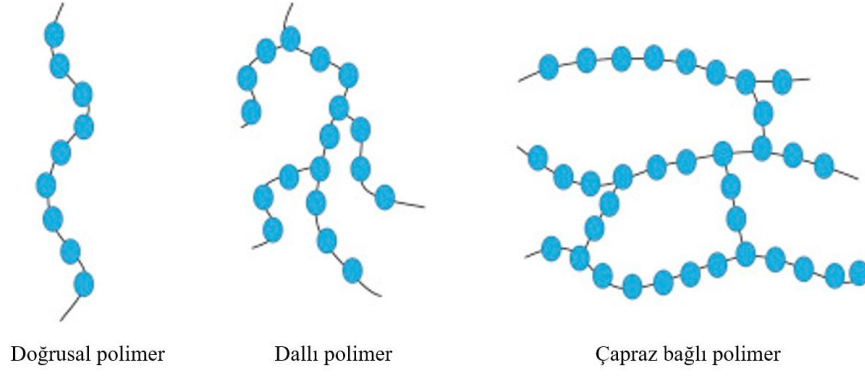
1.1. Polimerik Malzemeler

Yapısında karbon (C), hidrojen (H), oksijen (O), azot (N) ve organik veya inorganik bileşenler bulunduran monomer adı verilen iki veya daha fazla küçük molekülün tekrarlanan basit yapıli molekül gruplarının aralarında bulunan bağı kopararak birbirine bağlanarak oluşturdukları uzun ve zincirli yapıda yüksek kütleli moleküllere polimer adı verilir [1, 2]. Örneğın, bir polimer zinciri **Şekil 1.1**'de gösterilmiştir [3].



Şekil 1.1: Polimer zinciri (siyah renk karbon, kırmızı renk oksijen ve beyaz renk hidrojeni simgelemektedir.) [3].

Organik bileşiklerin uzun zincir yapılarının oluşturduğı plastikler düşük yoğunluğa sahiptir [1]. Polimerik zincir molekülleri, zincir yönünde kovalent olarak bağlanmış atomik gruplar içerir. Çoğu polimerde kovalent bağlar, doğadaki en güçlü malzeme olan elmastaki C-C bağı ile yaklaşık olarak aynı mukavemete sahiptir. Ancak zincir yönüne dik kuvvetler, Van der Waals kuvvetleri ve hidrojen bağı gibi nispeten zayıf moleüller arası kuvvetlerdir [4]. Polimerler **Şekil 1.2**'de gösterildiğı gibi doğrusal, dallı ya da çapraz bağı polimerler olmak üzere üçe ayrılırlar [5]. Doğrusal polimerler aynı monomer yapısının devamlı tekrar etmesi sonucu oluşurlar. Dallı polimerler ise ana polimer zincirinin üzerindeki çeşitli merkez noktalardan monomer gruplarının uzaması sonucu oluşurlar. Polimer molekülleri uçlarından bağlanmak yerine ortalarındaki noktalardan bağlanırlarsa bu durumda iç içe bağı polimerleri ortaya çıkarılırlar [1].



Şekil 1.2: Zincir yapılarına göre polimer türleri [5].

1.2. Doğal Kompozit Malzemeler

İki veya daha fazla farklı kimyasal, fiziksel ve biyolojik özelliklere sahip malzemelerin birleştirilmesi sonucu ortaya çıkan ürüne kompozit denir. Kompozit malzemede yapıyı oluşturan üç bileşen takviye elemanı, polimer matris ve katkı malzemeleridir. Kimyasal olarak bu bileşenler birbirinde çözülmez. Matris fazı bileşenleri genel olarak bir arada tutmayı hedefler. Takviye elemanı ise taşıyıcı bir görev üstlenir ve etrafında matris fazı bulunur. Ara yüzey yük iletiminin gerçekleştiği takviye ve matris fazlar arasındaki ara faza denilir. Katkı malzemeleri kompozit ürünün mekanik, kimyasal ve diğer özelliklerini geliştirmek, daha iyi yapmak için kullanılır. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması matris ve takviye fazına göre yapılır. Matris fazına uygun sınıflandırmada seramik, polimer, metal olarak 3 ana başlık altında toplanır. Takviye fazına göre ise parçacık takviyeli, elyaf takviyeli ve tabakalı olarak sınıflandırılır [6].

Doğal kompozitler hem hayvanlarda hem de bitkilerde doğal şekilde bulunur. Doğal lif bileşeni ahşap, kenevir, Hindistan cevizi, pamuk, keten, muz yaprağı lifleri, bambu, buğday samanı veya diğer lifli malzemeler olabilir ve matris bir polimerik malzeme olabilir. Ahşap kompozitler, tümü ahşap liflerini veya liflerin levhaların birbirine bağlanmasıyla oluşturulan bir dizi farklı türev ahşap ürünü içerir. Aynı zamanda suni ahşap, mühendislik ürünü ahşap ve ayrıca ahşap-plastik kompozit (WPC) olarak da bilinir. Ahşap kompozit genellikle kereste fabrikasının artıkları ve ahşap atıkları dışında kereste için kullanılan aynı sert ve yumuşak ağaçlardan yapılır ve öğütülmüş ahşap parçacıklarının ısıtılmış termoplastik reçine ile karıştırılmasıyla oluşturulur. Bazıları malzemeleri bir araya getirir ve yeniden eritilen ve nihai şekle getirilen topaklar halinde işlerken, diğerleri tek aşamalı bir karıştırma ve ekstrüzyon işlemi ile

nihai ürünü oluşturur. Lignin adı verilen çok daha zayıf bir madde tarafından bir arada tutulan uzun selüloz liflerinden (bir polimer) yapılır. Selüloz pamukta da bulunur, ancak onu birbirine bağlayacak lignin olmadan çok daha zayıftır. İki zayıf madde lignin ve selüloz birlikte çok daha güçlü bir madde oluşturur. Pamuk evde, hastanelerde tıp malzemesi gibi kullanılmaktadır. Kenevir ve kenaf her ikisi otomotiv gibi alanlarda kullanılmaktadır. Ayrıca, kenaf petrol kimyasında emici olarak, gıda ambalajlarında kullanılırken kenevir cam elyafların yerine üretilmeye başlanmıştır. Vücudunuzdaki kemik ve dişler de bir bileşiktir. Hidroksiapatit (esas olarak kalsiyum fosfat olan) adı verilen sert fakat kırılğan bir malzemeden ve kollajen adı verilen (bir protein olan) yumuşak ve esnek bir malzemeden yapılır. Kollajen saç ve tırnaklarda da bulunur. Tek başına iskelette pek kullanılmaz ama hidroksiapatit ile birleşerek kemiğe vücudu desteklemek için gereken özellikleri verebilir [6].

Doğal elyaflı kompozitler cam elyaflı kompozitlerden %25-30 daha güçlüdür aynı zamanda cam elyaflardan farklı olarak kalıplanmasında daha az enerji sarf edilir. Bu da takriben %9 üretimde maliyeti açısından kazanç demektir. Hidrofilik yapıları nedeniyle doğal lifler suyu kolayca emer, çekme mukavemetini ve Young modülünü kötü etkiler. Zayıf arayüzey bağlanması, matristen elyafa aktarılan yükü azaltır ve toplam kompozit mekanik mukavemetini azaltır. Genellikle elyaflar, kimyasal veya fiziksel işlemler vasıtasıyla daha az hidrofilik olacak şekilde değiştirilir, bu da matris ile ara yüzey bağını artırır ve su emilimini azaltır. Doğal elyafların bir diğer kritik sınırlaması, düşük derecede ısı kararlılıkları ve yangına dayanıklılıklarıdır. Darbe mukavemetleri ayrıca sentetik elyaf kompozitlerin altındadır ve bu da üzerlerine herhangi bir şey düşmesi gibi dinamik olaylara karşı onları savunmasız hale getirir. Bu nedenle matrislerle zayıf bağlantı kurduklarından ve neme karşı çok hassas olduklarından dolayı sanayi alanlarında üretilmesi kısıtlıdır. Teknolojiler bağlamında doğal elyaflı kompozit malzemeler piyasası enjeksiyon kalıplama, basınçlı kalıplama ve pultrüzyon gibi alt segmentlerden oluşmaktadır [6].

1.3. Literatür Özeti

Polimerler, monomer adı verilen kimyasal birimlerden oluşan, aynı ya da farklı tür monomer grupların benzer kovalent bağlarla bağlanarak meydana getirdiği, uzun zincirli ve yüksek molekül ağırlıklı malzemelerdir. Polimerler; hafif, ucuz, termal özellikleri iyi, kolay şekillendirilebilen, düşük sürtünme katsayısına sahip ve

koroziona direnci iyi olan malzemelerdir. Bu tür olumlu özelliklerinden dolayı polimerler, otomotiv, elektronik, beyaz eşya ve ev gereçleri gibi endüstriyel alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin; bir otomobilde, lastikler, lastik fiberleri, döşemeler ve boya hariç yaklaşık 150 kg polimer malzeme kullanılmaktadır. Polimerlerden mukavemet, esneklik, hafiflik ve çevre şartlarına (sıcaklık, güneş ışınları, nem vb.) dayanıklılık gibi özellikler istenmektedir. Fakat tüm bu özelliklere aynı anda sahip olan polimer yoktur. Polimerlerin kullanım alanlarını sınırlayan başlıca faktör mekanik özelliklerinin yüksek olmayışıdır. Bu özelliklerin kabul edilebilir bir seviyeye getirilmesi kompozit malzeme üretimiyle mümkündür. Bu nedenle günümüzde polimerler üzerindeki çalışmalar farklı bileşenleri polimer matrisi ile karıştırarak yeni malzeme geliştirme üzerine odaklanmıştır. Polimerlerden imal edilen nihai ürünlerin mekanik özelliklerini iyileştirmek için şekillendirme işlemi esnasında polimer matrisine bazı katkı ve/veya dolgu maddeleri eklenerek yeni polimer kompozitler elde edilmektedir. Polipropilen (PP) matrisli kompozitlerin dayanımını iyileştirmede organik elastomerlerin etkili olduğu ifade edilmiştir [7]. Çevresel farkındalığın artması, ekolojik kaygılar ve yasalar sebebiyle kompozit endüstrisi çevreye zararı daha az olan malzemeleri aramaya odaklanmıştır. Bu nedenle son zamanlarda termoplastiklere odun unu ve diğer tarımsal fiber katkısı ile yeni kompozitler geliştirilmeye başlanmıştır. Bu tip kompozitlerin en önemli avantajları düşük fiyatları, yenilenebilir kaynaklardan elde edilmesi ve mineral katkılı kompozitlere göre yoğunluğunun daha düşük olmasıdır [8]. Literatürde doğal fiber katkılı polimer kompozitlerin özelliklerinin incelendiği çalışmalar mevcuttur. Literatürdeki bu çalışmalar incelendiğinde bitkisel fiber katkısı olarak; araştırmanın yapıldığı yöreye özgü bitkisel fiberlerin polimerlere katılması ile ilgili araştırmaların yer aldığı görülmektedir. Literatürde kullanılan Hindistan cevizi, jüt, bambu, sisal, rami gibi fiberlerin genellikle Hindistan, Afrika ve Güney Amerika gibi bölgelerde yapılan çalışmalarda yoğunlaştığı görülmektedir [9].

Günümüzde hammadde problemi, atıkların kontrolü, geri dönüşüm, çevre kirliliği birçok endüstride olduğu gibi plastik endüstrisinde de çok önemli bir hal almıştır. Polimerlere atık olarak değerlendirilen tarımsal kabukların eklenmesi ile ihtiyaç duyulan polimer malzeme miktarı azalacaktır. Ayrıca tarımsal kabukların düşük maliyette olması, yüksek mekanik dirence sahip olması gibi avantajlarından dolayı polimerlere bu kabuklar farklı oranlarda karıştırılır. Termoplastik polimer

kompozitlerin geliştirilmesinde üretim maliyetinin düşürülmesi ve çevreye verilen zararın azaltılması amacıyla polimerler çeşitli lignoselülozik (örneğin tarımsal kabuk) katkı malzemeleri ile karıştırılmaktadır [10]. Polimerlerde lignoselülozik katkılarının kullanılması düşük ağırlıkta yüksek dayanım, düşük ısıl genleşme katsayısı ve düşük üretim maliyeti gibi birçok olumlu özelliği sağlamaktadır [11]. Ayrıca tarımsal kabuk katkılı polimer kompozitler ile doğal ahşap görünümünde ürünler imal edilerek orman varlığına az da olsa katkı sağlanabilir.

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü'ne [12] göre dünyada 1.217.974 ha alan Antep fıstığı (*Pistacia vera* L.) tarımı için kullanılmaktadır ve bu alanlardan 2022 yılında 1.026.802,86 ton Antep fıstığı üretilmiştir. Türkiye, 239.289 ton Antep fıstığı üretimi ile İran ve ABD'den sonra dünyanın üçüncü büyük Antep fıstığı üreticisi konumundadır (FAO, 2024). Antep fıstığının yaklaşık %45'i kabuğudur [13]. Bu, dünya çapında her yıl yaklaşık 462 bin ton Antep fıstığı kabuğu kalıntısı ile sonuçlanır. FAO'ya göre dünyada 29.257.983 ha alan ayçiçeği çekirdeği [14] tarımı için kullanılmaktadır ve bu alanlardan 2022 yılında 54.285.948,66 ton (54 milyon ton) ayçiçeği çekirdeği üretilmiştir. Türkiye, 2.550.000 ton ayçiçeği çekirdeği üretimi ile Rusya Federasyonu, Ukrayna, Arjantin ve Çin'den sonra dünyanın beşinci büyük ayçiçeği çekirdeği üreticisi konumundadır (FAO, 2024). Ayçiçeği çekirdeğinin yaklaşık %30'u kabuğudur [15]. Bu, dünya çapında her yıl yaklaşık 16,3 milyon ton ayçiçeği çekirdeği kabuğu kalıntısı ile sonuçlanır. FAO'ya göre 2022 yılında dünya genelindeki ceviz (*Juglans Regia* L.) üretimi 1.247.938 hektarlık toplam hasat alanından 3.874.024,7 ton olmuştur. Türkiye, 335.000 ton ceviz üretimi ile Çin, ABD ve İran'dan sonra dünyanın dördüncü büyük ceviz üreticisi konumundadır (FAO, 2024). Ceviz kabuğunun toplam ceviz mahsul ağırlığının %67'sini oluşturduğu belirtilmektedir [16]. Böylece dünya çapında her yıl yaklaşık 2,6 milyon ton ceviz kabuğu geride kalmaktadır ve bu miktar yıldan yıla artmaktadır.

Tarımsal kabuklar genellikle hiçbir işleme tabi tutulmadan sadece öğütülerek polimerlere katıldıkları ve atık malzemeler oldukları için ekonomik ve yeşil bir malzeme geliştirilmesini sağlamaktadır. Ayrıca odun katkılı polimer kompozitlerde olduğu gibi orman varlığını ve çevreyi olumsuz etkilemezler. Antep fıstığı, ayçiçeği çekirdeği ve ceviz kabukları endüstriyel atıktır, fakat bu kabuklar öğütülerek polimer kompozitlere odun görünümü sağlayabilmektedir. Tarımsal kabukların odun yerine polimer kompozitlerde kullanılması ile orman kaynaklarının korunmasına az da olsa

katkı sağlanabilecektir [17]. Bu nedenle bu tezde Antep fıstığı, ayçiçeği çekirdeği ve ceviz kabukları doğal katkı malzemeleri olarak seçilmiştir. Polimer malzemelere farklı çeşitlerde ve oranlarda organik (doğal) katkı malzemelerinin karıştırılarak yeni kompozit malzemelerin geliştirilmesi konusunda literatürde çalışmalar bulunmaktadır. Bunlardan bu tezde kullanılan Antep fıstığı, ayçiçeği çekirdeği ve ceviz kabuklarından elde edilen unlar ile geliştirilen polimer kompozit çalışmaları **Tablo 1.1**'de sunulmuştur. **Tablo 1.1**'de görüldüğü gibi çalışmaların hiçbirinde polimer matrisi olarak PA6 kullanılmamıştır.

Tablo 1.1'de literatürde polimerlere tarımsal kabuk katılarak geliştirilen polimer kompozitler konusunda yapılan çalışmaların özetleri sunulmuştur. **Tablo 1.1**'de görüldüğü gibi literatürde tarımsal kabuk katkılı polimer kompozitlerin geliştirildiği çalışmaların çoğu polimer matrisi olarak PP tercih etmişlerdir. Bu tezde kullanılan PA6 polimerine tarımsal kabuk katılması ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu nedenle bu tez sonucunda elde edilecek bilgilerin literatüre özgün olarak önemli katkılar sağladığı düşünülmektedir. Ayrıca her kaynakta genellikle yalnızca tek bir tarımsal kabuk tipi kullanılmıştır. Bu durum da çalışmalar arasında karşılaştırma yapılmasını sınırlandırmaktadır. Bu tezde ise 3 farklı tarımsal kabuk kullanılarak bu katkı malzemelerinin performans karşılaştırması yapılabilmektedir. Tarımsal kabuk katkılı polimer malzemeler üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde yüzey yapısının genellikle kalitatif olarak taramalı elektron mikroskobu ile incelendiği görülmüştür. Yüzey yapısı hakkında sayısal bilgi vermek amacıyla ortalama yüzey pürüzlülüğünün ölçüldüğü çalışmalar ise yok denecek kadar azdır. Bu tezde bu nedenle yüzey pürüzlülüğü sayısal olarak ölçülerek literatüre katkı sağlanmıştır.

Tablo 1.1: Polimerlere tarımsal kabuk katılarak geliştirilen termoplastik kompozitler konusunda yapılan çalışmaların özetleri.

Polimerik Malzeme	Tarımsal Katkı Tipi	Tarımsal Katkı Oranı (Ağırlıkça %)	Kompozit Ürün İmalat Yöntemi	Ölçülen Özellikler	Kaynak
Polilaktik asit (PLA)	Antep fıstığı kabuğu	10 20 30	Basınçlı kalıplama	Çekme Eğme Termal analiz Morfoloji gözlemi	Altun vd., 2022 [18]

Tablonun Devamı

Polimetil metakrilat (PMMA)	Antep fıstığı kabuğu	10 20 30	Elle yatırma	Çekme Darbe Eğme Basma	Mohammed ve Salman, 2023 [19]
Polyester	Antep fıstığı kabuğu	5 10 15 20 25	Elle yatırma	Çekme Darbe Eğme Morfoloji gözlemi	Alsaadi vd., 2018 [20]
PP	Antep fıstığı kabuğu Ayçiçeği çekirdeği kabuğu	5	Enjeksiyon	Çekme Eğme Darbe Eriyik akış indeksi	Kuram, 2020a [21]
PP	Antep fıstığı kabuğu	30	Basınçlı kalıplama	Çekme Darbe Termal analiz Morfoloji gözlemi	Celebi vd., 2022 [22]
Akrilonitril Butadien Stiren (ABS)	Ayçiçeği çekirdeği kabuğu	5 10 15 20	Enjeksiyon	Çekme Eğme Darbe Eriyik akış indeksi Morfoloji gözlemi	Kuram, 2020b [14]
PP	Ayçiçeği gövdesi	5	Basınçlı kalıplama	Erime sıcaklığı Kristalinite Eğme Depolama modülü Isıl iletkenlik Morfoloji gözlemi	Sui vd., 2009 [23]
PP	Ayçiçeği sapı	30 40 50 60	Enjeksiyon	Erime sıcaklığı Kristalinite Yoğunluk Su absorpsiyonu Kalınlık şişmesi Çekme Eğme	Kaymakci vd., 2013a [24]
PP	Ayçiçeği sapı	30 40 50 60	Enjeksiyon	Yoğunluk Çizilme sertliği Brinell sertliği Yüzey pürüzlülüğü	Kaymakci vd., 2013b [25]

Tablonun Devamı

PP	Ayçiçeği küspesi	30 40 50 60	Enjeksiyon	Erime sıcaklığı Kristalinite Yoğunluk Su absorpsiyonu Kalınlık şişmesi Çekme Eğme	Ayrılmış vd., 2013a [26]
ABS	Ceviz kabuğu	20	Enjeksiyon	Çekme Eğme Darbe Eriyik akış indeksi Morfoloji gözlemi	Kuram, 2020c [27]
Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) PP	Ceviz kabuğu	50	Basınçlı kalıplama	Erime sıcaklığı Çekme Darbe Eğme	Akbaş vd., 2013 [28]
PP	Ceviz kabuğu	40 50 60	Enjeksiyon	Yoğunluk Su absorpsiyonu Kalınlık şişmesi Çekme Eğme Kristalinite	Ayrılmış vd., 2013b [29]
PP	Ceviz kabuğu	50	Sıcak pres kalıplama	Su absorpsiyonu Kalınlık şişmesi Çekme Eğme Morfoloji gözlemi	Zahedi vd., 2013 [30]
PP	Ceviz kabuğu	5 10 15 20	Enjeksiyon	Su absorpsiyonu Çekme Eğme Shore D sertliği Alev yayılma oranı	Obidiegwu vd., 2014 [31]

Günümüzde polimerler ve polimer kompozitler pek çok mühendislik uygulamalarında kullanılmaktadır. Polimerlerden yapılan ürünler kullanım şartlarına bağlı olarak çok çeşitli dış etkilere (ısı, su, güneş ışığı, oksijen, UV ve kimyasallar ve bunların ortak etkileşimi vb. zor şartlara) maruz kalmaktadırlar. Bu maruz kalmaya yaşlandırma adı

verilmektedir. Bu zor şartların ise polimerler ve polimer kompozitlerin ömründe azalmaya neden olduğu bilinmektedir. Polimerler kullanımları sırasında bazı özelliklerini kaybetmektedir. Özellikle uzun süre kullanım esnasında, polimerlerin çoğunda makro moleküler zincir bozunması nedeniyle mekanik özellikler düşmektedir. Polimer ürün geliştirmede dikkate alınması gereken en önemli hususlardan biri ürün ömrünün tahmin edilebilmesidir. Bu nedenle bu tür malzemelerin zor şartlar altında performansının nasıl etkilendiği günümüzde önemli bir araştırma konusu olmuştur. Polimerlerin özellikleri kullanım ortamı ve süresine bağlı olarak değişmektedir. Yaşlanma sonucunda özelliklerin kötüleşmesi, ürünün kullanım amacına uygunluğunu da sınırlandırmaktadır. Bu nedenle çevresel etkilere hassas olan termoplastik polimerlerin özelliklerinin incelenmesi önemli bir mühendislik problemidir. Çok çeşitli yaşlandırma yöntemleri vardır. Doğal ortamda yaşlandırma, oda sıcaklığında havada ve suda yaşlandırma, yüksek sıcaklıkta havada (termal) ve suda (hidrotermal) yaşlandırma, UV ışını altında yaşlandırma bu yöntemlerden başlıcalarıdır. Bu tezde, gerçek ortamı simüle eden hızlandırılmış UV yaşlandırma yöntemi kullanılmıştır.

Hızlandırılmış yaşlandırma polimer ürünün farklı ışık kaynaklarına maruz bırakılarak uzun süreli bozunmasını gözlemlemek için kullanılan bir yöntemdir. Maruz bırakma işlemi yüksek sıcaklıkta ve nem ile yapılır. Hızlandırılmış yaşlandırma, güneş ışığı, yağmur ve çiyin neden olduğu hasarı oluşturmaktadır. UV ışınları polimer yapıya fotokimyasal olarak zarar vermektedir. UV ışınlarının görünür etkileri beyazlama ve renk kaymasıdır. Ayrıca yüzeyde kırılmalara neden olabilir.

Tablo 1.2'de literatürde PA6'nın UV yaşlandırması konusunda yapılan çalışmaların özetleri sunulmuştur. Literatür taraması sonucunda tarımsal kabuk katkılı PA6 kompozitlerin UV yaşlandırılması sonrasında mekanik özelliklerinin incelendiği çalışmalara rastlanılmamıştır. Tarımsal kabuk katkılı polimer kompozitlerin (bu tezdeki kompozitlerden farklı kompozitlerin) farklı ortamlara farklı sürelerde maruz kalması sonrasında özelliklerinin incelendiği çalışma sayısı çok sınırlıdır [14]. Bu tezde kullanılan tarımsal kabuk katkılı polimer kompozitlerin UV yaşlandırma sonrası özelliklerinin incelendiği çalışmaya ise literatürde rastlanılmamıştır. Polimerik malzemeler kullanımları sırasında güneş ışığı, sıcaklık, nem, su, kimyasal, rüzgar gibi etkilere maruz kalmaktadır ve bu etkiler malzeme özelliklerini ve ömrünü etkilemektedir. Bu nedenle bu tür ortamlarda tutulan polimerik malzemelerin

özelliklerinin nasıl etkilendiğini incelemek çok önemlidir. Özelliklerin nasıl etkilendiğini bilmek polimerik ürünlerin ömrünü tahmin etmede önemli bir parametredir. Bu sebeple günümüzde polimerik malzemelerin yaşlandırması üzerine yapılan bilimsel çalışmaların sayısı artmaya başlamıştır. Fakat hala literatürde konu ile ilgili önemli boşluklar bulunmaktadır.

Tablo 1.2: Yaşlandırma konusunda yapılan çalışmaların özetleri.

Polimerik Malzemeler	UV Yaşlandırma Şartları	Yaşlandırma Süresi	Ölçülen Özellikler	Kaynaklar
PA6	500 W, dalga boyu 300-450 nm	2, 4, 8, 16, 27 gün	Çekme Kristalinite Kimyasal yapı	Li vd., 2012 [32]
PA6	500 W, dalga boyu 300-450 nm	2, 4, 8, 16, 24 gün	Çekme Kristalinite Kimyasal yapı	Zhao vd., 2014 [33]

Özetle, bu tezin ana konusu farklı tarımsal kabuk katkılı polimer kompozitlerin hazırlanması, bu kompozitlerin zor kullanım şartları altında (UV ışını maruziyetinde) özelliklerinin belirlenmesi olarak özetlenebilir. Katkı malzemeleri olarak kullanılan Antep fıstığı, ayçiçeği çekirdeği ve ceviz kabukları ekonomik değeri olmayan veya çok az olan, çoğunlukla yakacak olarak kullanılan ya da çevreye bırakılan tarımsal atıklardır. Bu tarımsal kabukların polimere ilave edilmesi ile daha ekonomik ve çevreci polimer kompozitler geliştirilmiş olacaktır [32]. Literatürde yapılan çalışmalarda genellikle tek tip tarımsal kabuk kullanılarak polimer kompozitler geliştirilmiştir. Bu tezde ise, 3 farklı tarımsal kabuk katkılı polimer kompozitlerin geliştirilmesine bütüncül bir yaklaşım sunulmuştur. Böylece bu tez sonucunda tarımsal kabuk katkılı polimer kompozitlerin geliştirilmesi ve özelliklerinin belirlenmesi konularında literatüre daha fazla katkı sağlayacağı ve yeni bilgiler elde edileceği düşünülmektedir. Özetle, literatürdeki PA6 ve tarımsal kabuk katkılı polimer kompozitler üzerine yapılan çalışmalar aşağıda verilen başlıklarda yoğunlaşmaktadır:

- PA6'dan farklı polimer matrisine tarımsal kabuk katkıları ilave edilerek geliştirilen polimer kompozitlerin özelliklerinin incelenmesi,

- Katkısız PA6 malzemelerin UV yaşlandırma sonrasında özelliklerinin incelenmesi,

Literatür araştırmasına dayanarak bu tezin özgün değeri aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- Antep fıstığı kabuğunun, ceviz kabuğunun ve ayçiçeği çekirdeği gövdesinin veya kabuğunun un haline getirilerek PA6'dan farklı polimerlere katıldığı çalışmalar literatürde mevcuttur. Fakat, Antep fıstığı, ayçiçeği çekirdeği (Dakota tipi) ve ceviz kabuklarının PA6 polimerine katılarak özellikler üzerindeki etkisinin incelendiği herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu sebeple bu tez sonucunda Antep fıstığı, ayçiçeği çekirdeği (Dakota tipi) ve ceviz kabuklarının polimer kompozitlerin özellikleri üzerindeki etkisi belirlenerek literatüre yeni bilgi olarak katkı sunulmuştur. Bu çalışmada Antep fıstığı, ayçiçeği çekirdeği (Dakota tipi) ve ceviz kabuklarının PA6 polimerinde kullanılabilirliği incelenmiştir ve diğer bitkisel katkılara göre performans karşılaştırılması yapılmıştır. Bu konu ile ilgili yeni bilgilerin ve tecrübelerin elde edilmesi yine literatüre önemli katkılar sağlayacaktır. Bu kabuklar atıktır ve bu atıkların PA6'da kullanılabilirliğinin belirlenmesinden sonra çevreye ve ekonomiye az da olsa katkı sağlanacağı düşünülmektedir.

- Bu tezde 3 farklı tarımsal kabuk (Antep fıstığı, ayçiçeği çekirdeği (Dakota tip) ve ceviz) katkılı polimer kompozitler hazırlanmıştır ve hazırlanan bu kompozitlerin özellikleri incelenmiştir. Literatürde bu projede tercih edilen tarımsal kabuk katkılarının kullanılmadığı polimer matrisinin (PA6) seçilmesi bu tezin özgün değerlerinden biridir. Ayrıca her çalışmada sadece tek bir tarımsal kabuk çeşidi kullanılmıştır. Bu durum da çalışmalar arasında karşılaştırma yapılmasını güçleştirmektedir. Bu tezde ise 3 farklı tarımsal kabuk kullanılarak bu katkıların performans karşılaştırması yapılabilmektedir. Özetle, bu tez sonucunda tarımsal kabuk katkılı polimer kompozitlerin geliştirilmesi ve özelliklerinin belirlenmesi konularında literatüre daha fazla katkı sağlandığı ve yeni bilgiler elde edildiği düşünülmektedir.

- Tarımsal kabuk katkılı polimer kompozitlerin farklı ortamlarda yaşlandırılması sonrasında mekanik özelliklerinin incelendiği çalışmalar yok denecek kadar azdır. Tarımsal kabuk katkılı PA6 kompozitlerin UV ışınına maruziyeti sonrasında mekanik özelliklerinin nasıl değiştiği konusunda ise herhangi bir çalışma yapılmamıştır.

- Polimerik malzemeler UV ışınına maruz kaldığında görünüşlerinde, yüzeylerinde ve mekanik özelliklerinde değişim olduğu bilinmektedir. Polimer malzemeler üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde, yüzey görüntüsünün genellikle kalitatif olarak taramalı elektron mikroskobu ile incelendiği görülmüştür. Fakat yüzey hakkında sayısal bilgi veren parametrelerden yüzey pürüzlülüğünün ölçüldüğü çalışmalar ise yok denecek kadar azdır. Bu nedenle bu tezde yüzey pürüzlülüğü parametrelerinden

en yaygın olarak kullanılan ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) ölçülerek UV yaşlandırma sonrasında yüzeyde değişim olup olmadığı sayısal olarak da incelenmiştir.



2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Kullanılan Malzemeler

Ana malzeme olarak kullanılan Polyamid 6 (PA6) granülleri POLITEM firması tarafından üretilen RUGOPA® marka M serisi dolgunsuz doğal malzeme ve tarımsal kabuk katkıları olan ceviz, ayçiçeği çekirdeği (Dakota tipi) ve Antep fıstığı kabukları da içleri ayıklanarak hazırlanmış doğal ürünlerdir. Malzemelerin özellikleri ve görselleri Şekil 2.1, Şekil 2.2, Şekil 2.3, Şekil 2.4'te ve Ek-A'da belirtilmiştir.



Şekil 2.1: Polyamid 6 (PA6) granülleri.



Şekil 2.2: Öğütülmüş ceviz kabuğu.



Şekil 2.3: Öğütülmüş ayçiçeği çekirdeği (Dakota tipi) kabuğu.



Şekil 2.4: Öğütülmüş Antep fıstığı kabuğu.

2.2. Metot

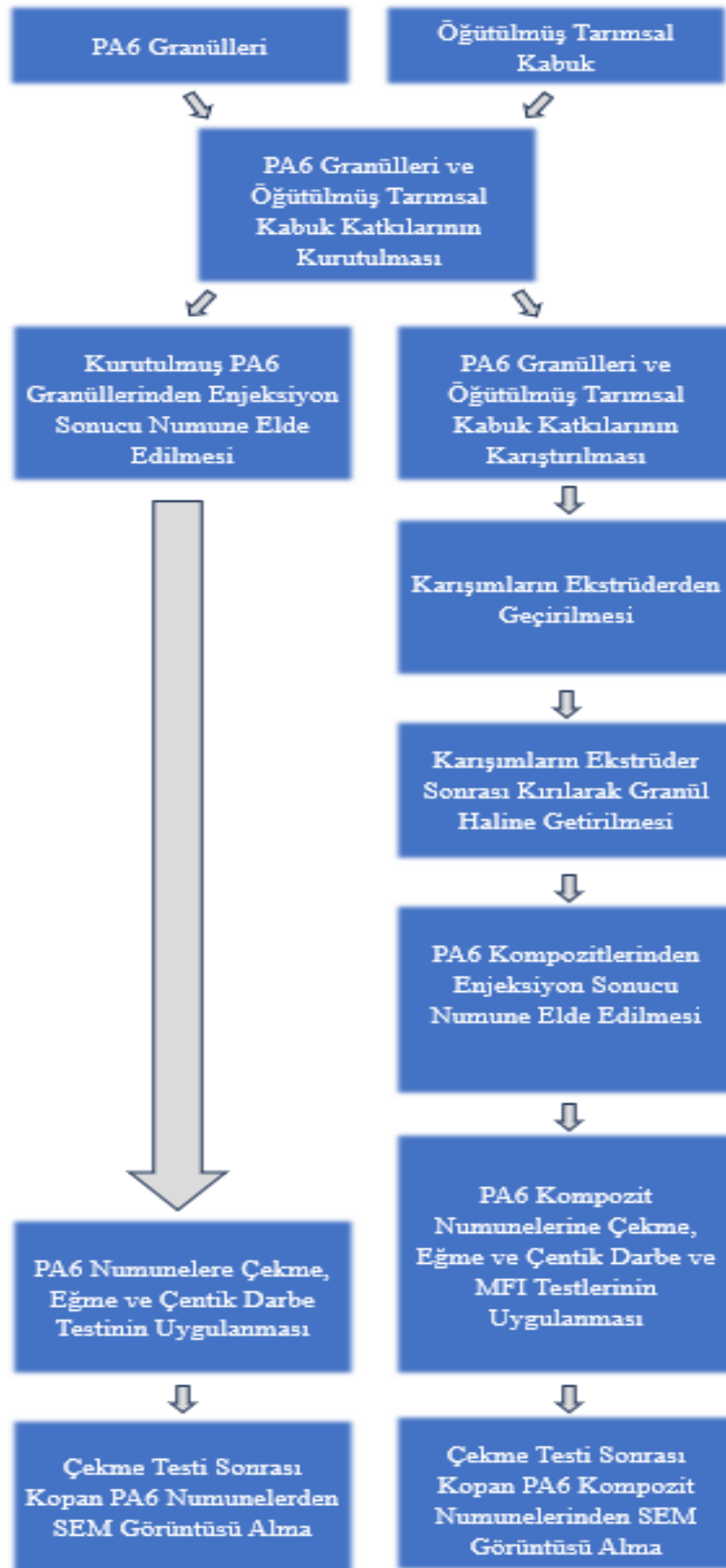
Bu tez kapsamında gerçekleştirilen işlemler sırasıyla **Şekil 2.5.1** ve **Şekil 2.5.2**'deki akış şemasında gösterilmiştir.

Tarımsal kabuk katkısı için öncelikle ceviz, ayçiçeği çekirdeği (Dakota tipi) ve Antep fıstığı kabukları öğütülmüştür. Hazır alınan PA6 granülleri ve öğütülmüş tarımsal kabuk katkıları ekstrüder öncesi etüvde kurutulmuştur. Kurutma sonrası belirli oranlarda PA6 granülleri ile ayrı ayrı öğütülmüş ceviz, ayçiçeği çekirdeği (Dakota tipi)

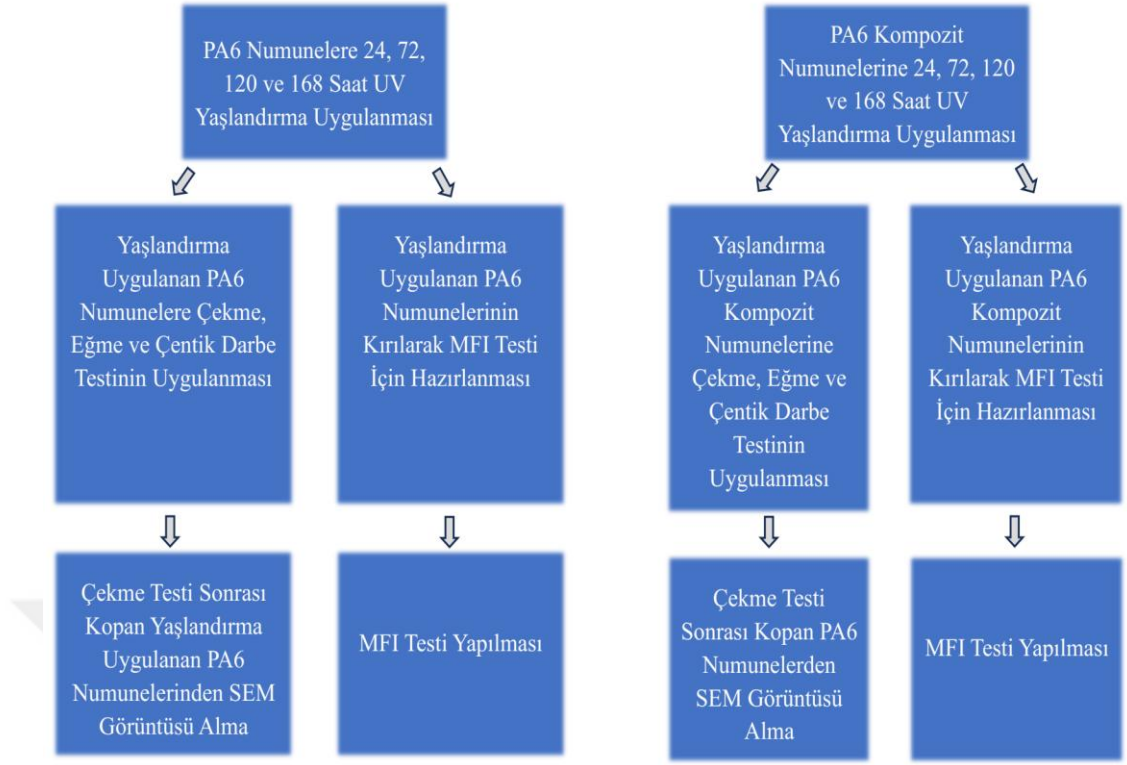
ve Antep fıstığı kabukları karıştırılmıştır. Karıştırılmış malzemeler ekstrüderden geçirilmiştir. Ardından enjeksiyon işlemi için kırılarak granül haline getirilmiştir.

Tekrar enjeksiyon öncesi PA6 granülleri ve tarımsal kabuk katkılı granüller kurutulmuş ve enjeksiyon öncesi hazır hale getirilmiştir. Enjeksiyon ile üretilen test numuneleri gözle kontrol edilmiş ve uygun olmayan numuneler ayıklanmış, gerekli olanlar temizlenmiştir. Hazır hale gelen numunelere çekme, eğme ve çentik darbe testleri uygulanmıştır. Çekme testi sonucu kopan numunelerden taramalı elektron mikroskopunda (SEM) görüntüleri alınmıştır. Enjeksiyonda üretilen numuneler tekrar kırılarak eriyik akış indeksi (MFI) testine tabi tutulmuştur.

Geri kalan numunelerden belirlenen sayılardaki numunelere 24, 72, 120 ve 168 saat UV yaşlandırma işlemi uygulanmıştır. Ardından UV yaşlandırma yapılan numunelere çekme, eğme ve çentik darbe testleri uygulanmıştır. Çekme testi sonucu kopan numunelerden SEM görüntüleri alınmıştır. UV yaşlandırma işlemi uygulanmış numuneler tekrar kırılarak MFI testine tabi tutulmuştur. Testler sonucu alınan tüm sonuçlar karşılaştırılarak incelenmiştir.



Şekil 2.5.1: İşlem Akış Şeması.



Şekil 2.5.2: İşlem Akış Şeması Devamı.

2.3. Tarımsal Katkıların Hazırlanması

Tarımsal katkıları Gebze Teknik Üniversitesi laboratuvarında Şekil 2.6’da gösterilen MERTEST marka bıçaklı değirmen makinesinde Şekil 2.7’de gösterilen 400 µm elek kullanılarak öğütülmüştür.



Şekil 2.6: MERTEST marka bıçaklı değirmen makinesi ve öğütme işlemi.



Şekil 2.7: Öğütme işlemi için kullanılan 400 µm elek.

2.4. Malzemelerin Kurutulması

Malzemeler **Tablo 2.1**'de belirtilen şartlarda **Şekil 2.8**'de belirtilen BINDER marka etüvde kurutularak karışım ve ekstrüder öncesi hazırlanmıştır.



Şekil 2.8: BINDER marka etüv.

Tablo 2.1: Kurutma şartları.

Şartlar	Değer	Birim
Sıcaklık	80	°C
Zaman	3	saat

2.5. Malzemelerin Karıştırılması ve Tartım

PA6 granüllerine ağırlıkça %5 öğütülmüş tarımsal kabuklar karıştırılmıştır. 1000 g PA6 granüllerine 50 g öğütülmüş tarımsal kabuklar katılarak tartımlar yapılmıştır.

2.6. Ekstrüzyon

Ekstrüzyon, bir malzemenin, genellikle pelet, kuru toz, kauçuk, plastik, metal çubuk stoku veya hatta gıdanın ısıtılması ve bir şekillendirici kafadan itilmesidir. Bu kafa, esasen, malzemeyi diğer tarafa küçük açıklıktan zorlarken şekillendiren bir yapıdadır.

Hazırlanmış olan PA6 granülleri ve öğütülmüş tarımsal kabuk karışımları 225 °C – 235 °C sıcaklık şartlarında **Şekil 2.9**'da gösterilen POLARTEK marka ekstrüzyon makinasından geçirilerek **Şekil 2.10**'da gösterildiği üzere üretilmiştir. Ardından **Şekil 2.11**'de gösterildiği şekilde ekstrüzyon makinası çıkışında su içinden geçirilerek soğutma işlemine tabi tutulmuştur. Soğuyan tarımsal kabuk katkılı PA6 kompozitleri hemen ardından **Şekil 2.12**'de gösterildiği gibi kırma işlemine tabi tutulmuştur. Ekstrüzyon işlemi sırasında gerçek zamanlı değerler **Şekil 2.13**'de gösterilmiştir.



Şekil 2.9: POLARTEK marka ekstrüzyon makinası.



Şekil 2.10: Tarımsal kabuk katkılı PA6 kompozitinin ekstrüzyon makinasından çıkışı.



Şekil 2.11: Tarımsal kabuk katkılı PA6 kompozitinin ekstrüzyon makinası çıkışında su ile soğutulması.



Şekil 2.12: Tarımsal kabuk katkılı PA6 kompozitinin soğutulması sonrası kırılarak granül haline getirilmesi.



Şekil 2.13: Ekstrüzyon makinasında tarımsal kabuk katkılı PA6 kompozitinin üretilmesi sırasında gerçek zamanlı değerler.

2.7. Kompozit Numunelerin Elde Edilmesi

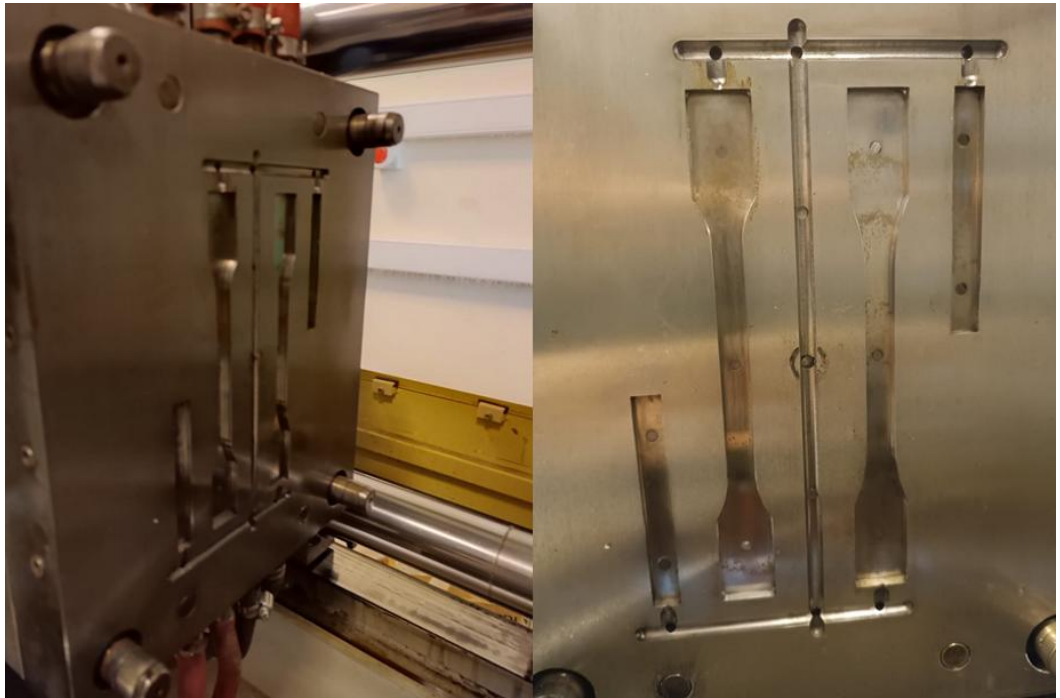
Enjeksiyonla kalıplama, parçaların büyük hacimlerde üretilmesine izin veren bir üretim sürecidir. Erimiş malzemeleri bir kalıba yüksek basınçla enjekte edip şekillendirerek çalışır.

Çekme, eğme ve çentik darbe testleri için kullanılacak numuneler, **Tablo 2.2**'de belirtilen şartlarda Gebze Teknik Üniversitesi plastik enjeksiyon laboratuvarında

kullanılan **Şekil 2.14**'te gösterilen YIZUMI marka UN90A2 model enjeksiyon kalıplama makinesi ile hazırlanmıştır. Kullanılan kalıp **Şekil 2.15**'te sunulmuştur.



Şekil 2.14: YIZUMI marka UN90A2 model enjeksiyon kalıplama makinesi.



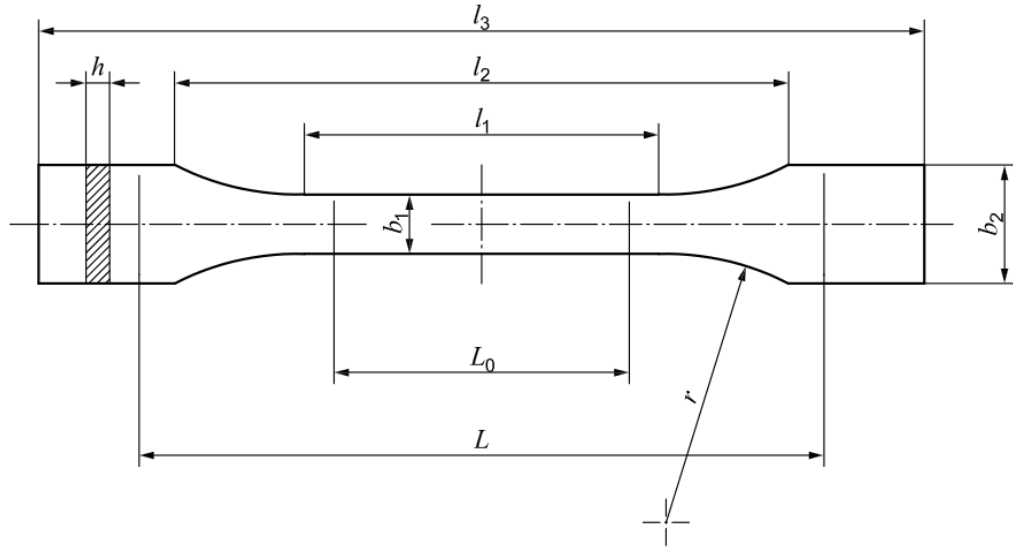
Şekil 2.15: Dört kaviteli enjeksiyon kalıbı.

Tablo 2.2: Enjeksiyon kalıplama koşulları.

Şartlar	Değer	Birim
Sıcaklık	235, 230, 225 ve 220	°C
Enjeksiyon basıncı	55	bar
Enjeksiyon hızı	60	%
Soğuma hızı	15	s
Ütüleme basıncı	55	bar
Ütüleme zamanı	5	s
Mal alma hızı	57	%
Kalıp sıcaklığı	60	°C
Chiller sıcaklığı	15	°C

Numunelerin enjeksiyonda üretilmesi sırasında çapaksız, boşluksuz ve uygun boyutlarda olması için kalıplama koşulları **Tablo 2.2**'deki değerler referans alınarak deneme yanılma yöntemiyle belirlenmiştir.

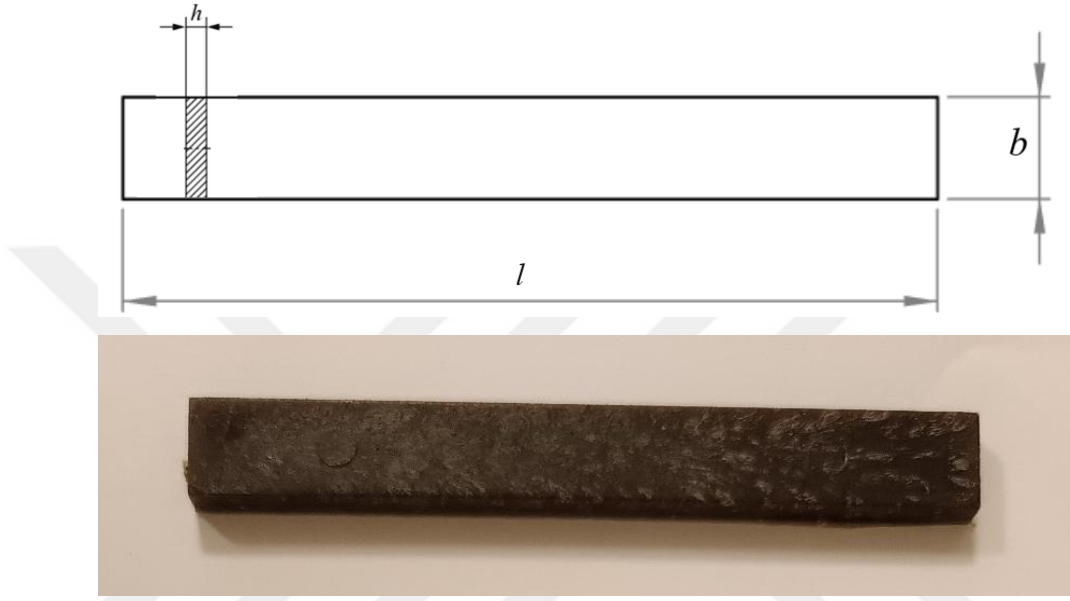
Şekil 2.16, **Şekil 2.17**, **Şekil 2.18**, **Şekil 2.19**, **Şekil 2.20**, **Şekil 2.21** ve **Şekil 2.22**'de belirtilen çekme, eğme ve çentik darbe testleri numuneleri ISO 178 [34], ISO 180 [35] ve ISO 527-2 [36] standartlarına göre **Tablo 2.3** ve **Tablo 2.4**'te belirtilen ölçülerde enjeksiyonda üretilmiştir.



Şekil 2.16: Çekme testi numunesi.

Tablo 2.3: Çekme testi numunesi boyutları.

Ölçü	Değer	Birim
l_3	175	mm
l_1	80 (± 2)	mm
r	25 (± 1)	mm
b_1	10 ($\pm 0,2$)	mm
b_2	20 ($\pm 0,2$)	mm
h	4 ($\pm 0,2$)	mm



Şekil 2.17: Eğme numunesi.



Kalınlık: 4 mm

Şekil 2.18 Çentik darbe testi numunesi.

Tablo 2.4: Eğme numunesi boyutları.

Ölçü	Değer	Birim
l	80 (± 2)	mm
h	4 ($\pm 0,2$)	mm
b	10 ($\pm 0,2$)	mm



Şekil 2.19: Enjeksiyonda üretilen PA6 test numuneleri.



Şekil 2.20: Enjeksiyonda üretilen PA6 kompoziti (Öğütülmüş ceviz kabuğu katkı) test numuneleri.



Şekil 2.21: Enjeksiyonda üretilen PA6 kompoziti (Öğütülmüş ayçiçeği çekirdeği (Dakota tipi) kabuğu katkı) test numuneleri.



Şekil 2.22: Enjeksiyonda üretilen PA6 kompoziti (Öğütülmüş Antep fıstığı kabuğu katkı) test numuneleri.

2.8. UV Yaşlandırma

Enjeksiyonda hazırlanan numunelerden bir kısmı **Şekil 2.23** ve **Şekil 2.24**'te gösterilen Q-LAB marka QUV/SE model UV yaşlandırma cihazında **Tablo 2.5**'te belirtilen değerlerde yaşlandırma işlemine tabi tutulmuştur.



Şekil 2.23: Q-LAB marka QUV/SE model UV yaşlandırma cihazı (Arka ve ön görünüş).



Şekil 2.24: Test numunelerinin plakalara ve plakaların UV yaşlandırma cihazına yerleştirilmesi.

Tablo 2.5: UV yaşlandırma şartlarının değerleri.

Test Numunesi	Sayısı	İşlem	Toplam Süre
PA6 çekme, eğme ve çentik darbe	20 + 20 + 20	4 saat 50 °C UV 4 saat 50 °C yoğuşma	24, 72, 120 ve 168 saat
PA6 kompoziti (Öğütülmüş ceviz kabuğu katkılı)	20 + 20 + 20	4 saat 50 °C UV 4 saat 50 °C yoğuşma	24, 72, 120 ve 168 saat
PA6 kompoziti (Öğütülmüş ayçiçeği çekirdeği (Dakota tipi) kabuğu katkılı)	20 + 20 + 20	4 saat 50 °C UV 4 saat 50 °C yoğuşma	24, 72, 120 ve 168 saat
PA6 kompoziti (Öğütülmüş Antep fıstığı kabuğu katkılı)	20 + 20 + 20	4 saat 50 °C UV 4 saat 50 °C yoğuşma	24, 72, 120 ve 168 saat

2.9. Mekanik Testler

2.9.1. Çekme Testi

Çekme testi, eksenel çekme yüklemesi altındaki malzemelerin davranışını belirlemek için bir yöntemdir. Enjeksiyonda üretilen çekme testi numuneleri Gebze Teknik Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği bölümü laboratuvarına ait **Şekil 2.25**'te gösterilen 50 kN kapasiteli INSTRON marka 5569 H1551 model test cihazında teste tabi tutulmuştur.

Testler, numunenin test aparatına sabitlenmesi ve ardından test makinesi kafalarının ayrılmasıyla numuneye **Şekil 2.26**'da belirtildiği şekilde bir kuvvet uygulanmasıyla gerçekleştirilir. Yaşlandırılmamış ve yaşlandırılmış (24, 72, 120 ve 168 saat) 5'er adet saf PA6 ve PA6 kompozitleri (Öğütülmüş ceviz kabuğu, ayçiçeği çekirdeği (Dakota tipi), Antep fıstığı katkılı) olmak üzere 100 adet numuneye çekme testi yapılmış ve ortalama değerler alınmıştır. Çekme testi şartları **Tablo 2.6**'da belirtilmiştir.



Şekil 2.25: 50 kN kapasiteli INSTRON marka 5569 H1551 model çekme testi cihazı.



Şekil 2.26: Çekme testinin uygulanışı.

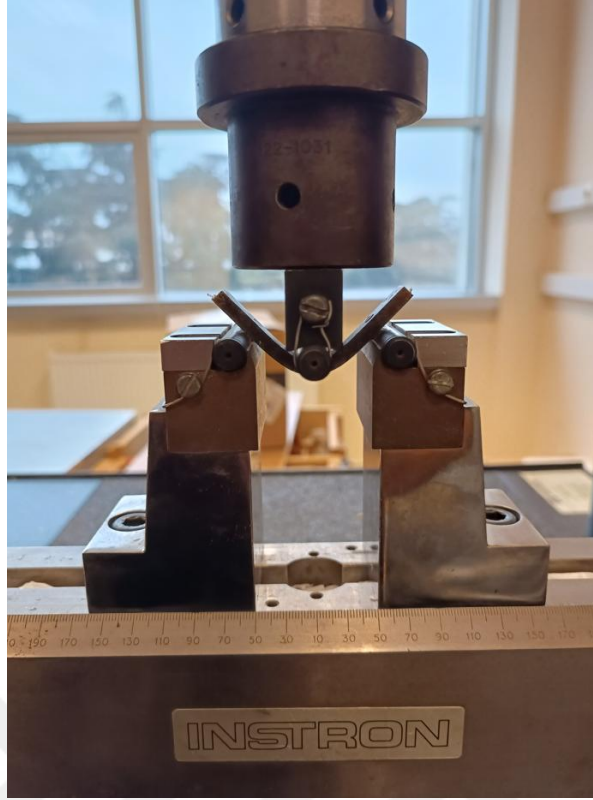
Tablo 2.6: Çekme testi şartları.

Test Numunesi	Değer	Birim
PA6	50	mm/dak
PA6 kompoziti (Öğütülmüş ceviz kabuğu katkılı)	50	mm/dak
PA6 kompoziti (Öğütülmüş ayçiçeği çekirdeği (Dakota tipi) kabuğu katkılı)	50	mm/dak
PA6 kompoziti (Öğütülmüş Antep fıstığı kabuğu katkılı)	50	mm/dak

2.9.2. Eğme Testi

Eğme testi genellikle iki desteğe (üç ve dört olabilmekte) serbest şekilde oturtulan, daire veya dörtgen kesitli düz bir test parçasının, yönünde bir değişme olmaksızın orta noktasına bir eğme kuvveti uygulandığında oluşan biçim değişmesidir. Malzemelerin eğme zorlanmalarına karşı gösterdiği davranışı tespit etmek ve tipik olarak malzemelerin sünekliği veya kırılmaya karşı direncini belirlemek amacı ile **Şekil 2.27**'de belirtildiği şekilde uygulanır.

Enjeksiyonda üretilen eğme testi numuneleri Gebze Teknik Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği bölümü laboratuvarına ait **Şekil 2.25**'te gösterilen 50 kN kapasiteli INSTRON marka 5569 H1551 model test cihazında teste tabi tutulmuştur. Yaşlandırılmamış ve yaşlandırılmış (24, 72, 120 ve 168 saat) 5'er adet saf PA6 ve PA6 kompozitleri (Öğütülmüş ceviz kabuğu, ayçiçeği çekirdeği (Dakota tipi), Antep fıstığı katkılı) olmak üzere 100 adet numuneye eğme testi yapılmış ve ortalama değerler alınmıştır. Eğme testi şartları **Tablo 2.7**'de belirtilmiştir.



Şekil 2.27: Eğme testinin uygulanışı.

Tablo 2.7: Eğme testleri şartları.

Test Numunesi	Değer	Birim
PA6	10	mm/dak
PA6 kompoziti (Öğütülmüş ceviz kabuğu katkılı)	10	mm/dak
PA6 kompoziti (Öğütülmüş ayçiçeği çekirdeği (Dakota tipi) kabuğu katkılı)	10	mm/dak
PA6 kompoziti (Öğütülmüş Antep fıstığı kabuğu katkılı)	10	mm/dak

2.9.3. Çentik Darbe Testi

Çentik darbe testi mesnete yaslanan numunenin ortasına bir sarkacın ucundaki çekiçle darbe yapılması ve çentik ucunda meydana gelen çok eksenli gerilmelerin etkisi ile numunenin kırılması için harcanan enerjiyi tayin işlemidir. Malzemelerin dinamik yüklemeler altında nasıl kırıldığını ve bu süreçte ne kadar enerji tükettiğini belirlemek için kullanılır. Özellikle metalik malzemelerin kırılma davranışını ve özellikle gevrek kırılmaya duyarlı oldukları koşulları incelemek amacıyla yapılır.

Enjeksiyonda üretilen ve çentiklerin açıldığı çentik darbe testi numuneleri Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümü Mekanik Laboratuvarına ait **Şekil 2.28**'de gösterilen 50 Joule kapasiteli Alarge marka ALIMPACT model çentik darbe test cihazında teste tabi tutulmuştur. Yaşlandırılmamış ve yaşlandırılmış (24, 72, 120 ve 168 saat) 5'er adet saf PA6 ve PA6 kompozitleri (Öğütülmüş ceviz kabuğu, ayçiçeği çekirdeği (Dakota tipi), Antep fıstığı katkılı) olmak üzere 100 adet 2 mm $\times$ 45° ölçülerinde çentik açılmış numuneye çentik darbe (Izod) testi yapılmış ve ortalama değerler alınmıştır. Çentik darbe (Izod) testi şartları **Tablo 2.8**'de belirtilmiştir.



Şekil 2.28: 50 Joule kapasiteli Alarge marka ALIMPACT model çentik darbe test cihazı.

Tablo 2.8: Çentik darbe testleri şartları.

Test Numunesi	Çekiç	Birim
PA6	5,5	Joule
PA6 kompoziti (Öğütülmüş ceviz kabuğu katkılı)	5,5	Joule
PA6 kompoziti (Öğütülmüş ayçiçeği çekirdeği (Dakota tipi) kabuğu katkılı)	5,5	Joule
PA6 kompoziti (Öğütülmüş Antep fıstığı kabuğu katkılı)	5,5	Joule

2.10. Reolojik Test (Eriyik Akış Testi (MFI))

Eriyik akış testi polimerlerin akışkanlığını belirlemek için bir yük ve sıcaklık altında malzemenin bir nozuldan belirli bir sürede ne kadar aktığını ölçerek yapılır.

Çekme, eğme ve çentik darbe testleri sonunda test numuneleri tekrar kırılarak eriyik akış testi için hazır hale getirilmiştir. Eriyik akış testi için hazır hale getirilen numuneler Gebze Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümü laboratuvarına ait **Şekil 2.29**'da gösterilen DEVOTRANS marka e_{a3} model eriyik akış testi cihazında **Şekil 2.30**'da belirtilen ağırlık ile teste tabi tutulmuştur. Enjeksiyon sonrası ve öncesi, yaşlandırılmamış ve yaşlandırılmış (24, 72, 120 ve 168 saat) 5'er adet saf PA6 ve PA6 kompoziti (Öğütülmüş ceviz kabuğu, ayçiçeği çekirdeği (Dakota tipi), Antep fıstığı katkılı) granüllerine eriyik akış testi yapılmış ve ortalama değerler alınmıştır. Eriyik akış testi şartları **Tablo 2.9**'da belirtilmiştir.



Şekil 2.29: DEVOTRANS marka e_{a3} model eriyik akış testi cihazı.



Şekil 2.30: Eriyik akış testi için kullanılan ağırlık.

Tablo 2.9: Eriyik akış testleri şartları.

Test Numunesi/Granülü	Sıcaklık	Birim	Ağırlık	Birim
PA6 numuneleri	260	°C	2,16	kg
PA6 kompoziti (Öğütülmüş ceviz kabuğu katkılı) numuneleri	260	°C	2,16	kg
PA6 kompoziti (Öğütülmüş ayçiçeği çekirdeği (Dakota tipi) kabuğu katkılı) numuneleri	260	°C	2,16	kg
PA6 kompoziti (Öğütülmüş Antep fıstığı kabuğu katkılı) numuneleri	260	°C	2,16	kg
PA6 granülleri	260	°C	2,16	kg
PA6 kompoziti (Öğütülmüş ceviz kabuğu katkılı) granülleri	260	°C	2,16	kg
PA6 kompoziti (Öğütülmüş ayçiçeği çekirdeği (Dakota tipi) kabuğu katkılı) granülleri	260	°C	2,16	kg
PA6 kompoziti (Öğütülmüş Antep fıstığı kabuğu katkılı) granülleri	260	°C	2,16	kg

2.11. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi

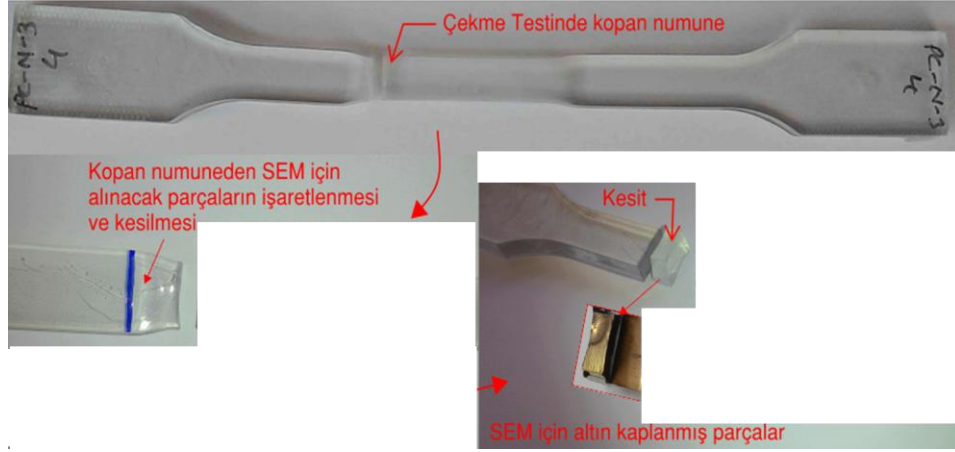
Taramalı elektron mikroskobu, odaklanmış bir elektron demeti ile numune yüzeyini tarayarak görüntü elde eden bir elektron mikroskobu türüdür. Elektronlar numunedeki atomlarla etkileşerek numune yüzeyindeki topografi ve kompozisyon hakkında bilgiler içeren farklı sinyaller üretir. Bu sinyaller ilgili dedektörlerce toplanarak bilgisayar ekranına aktarılır ve görüntü elde edilir. Bir malzemenin yüzeyinin taranarak yüksek çözünürlüklü bir görüntü oluşturularak ayrıntılı ve büyütülmüş görüntüler elde etmek hedeflenir [37].

Taramalı elektron mikroskobu incelemesi için çekme testinde kopan numuneler kullanılmıştır. Çekme testinde kopan numunelerin kopan kısımlarından testere ile kesilerek numuneler hazırlanmıştır. Taramalı elektron mikroskobu incelemesi için Gebze Teknik Üniversitesi laboratuvarında bulunan **Şekil 2.31**'de gösterilen Philips marka XL 30 SFEG model taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır.



Şekil 2.31: Taramalı elektron mikroskobu (SEM) cihazı.

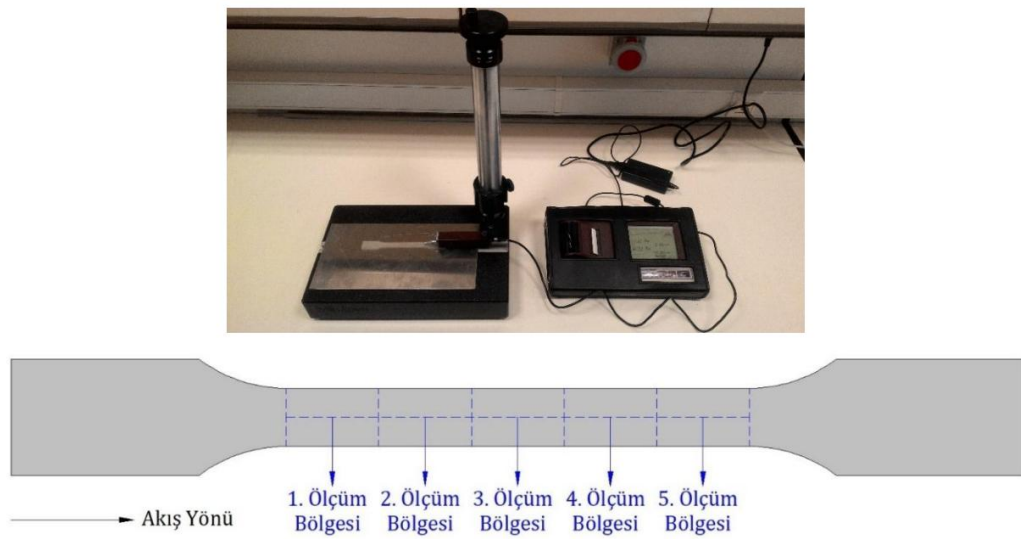
İletken olmayan numuneler elektron ışını tarafından taranırken şarj olmaya (yük birikmesi) eğilimlidirler. Yük birikmesi numunede tuhaf ve bozuk görüntülerin oluşmasına sebep olduğundan bu tür numuneler elektriksel olarak iletken bir malzeme ile kaplanırlar. Bu iletken malzeme altın ya da karbon olabilir. **Şekil 2.32**'de belirtildiği üzere incelemelerden önce numunelerin yüzeyi, inceleme sırasında elektrik yüklenmesini önlemek ve daha iletken ve görünür hale getirmek için Quorum SC7620 püskürtmeli kaplayıcı ile ince bir altın tabakası (yaklaşık 30 nm kalınlığında) ile kaplanmıştır. Numuneler yapışkan karbon bant aracılığıyla dairesel metal numune tutucuya sağlam bir şekilde yerleştirilmiştir. SEM mikrografları, ikincil elektronlar için yüksek vakumda $65\times$ büyütmede elde edilmiştir.



Şekil 2.32: Taramalı elektron mikroskobu (SEM) cihazında görüntü alınması için numunelerin hazırlanması.

2.12. Yüzey Pürüzlülüğü

Yüzey morfolojisi, doğal bazlı takviyeli kompozitler için önemli bir özelliktir. Morfoloji, makroskobik olan daha büyük geometrik alan yerine etkili yüzey alanıyla ilgilenen bir bilimdir. Yüzey ölçümlerinde ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) dikkate alınmıştır. Örnekleme uzunluğu 0,8 mm ve örnekleme sayısı 5 olarak seçilmiştir. Yüzey pürüzlülük testleri **Şekil 2.33**'te gösterilen Mitutoyo SJ- 301 marka cihazla yapılmış ve ölçümler yine **Şekil 2.33**'te belirtilen bölgelerden alınmıştır [38].

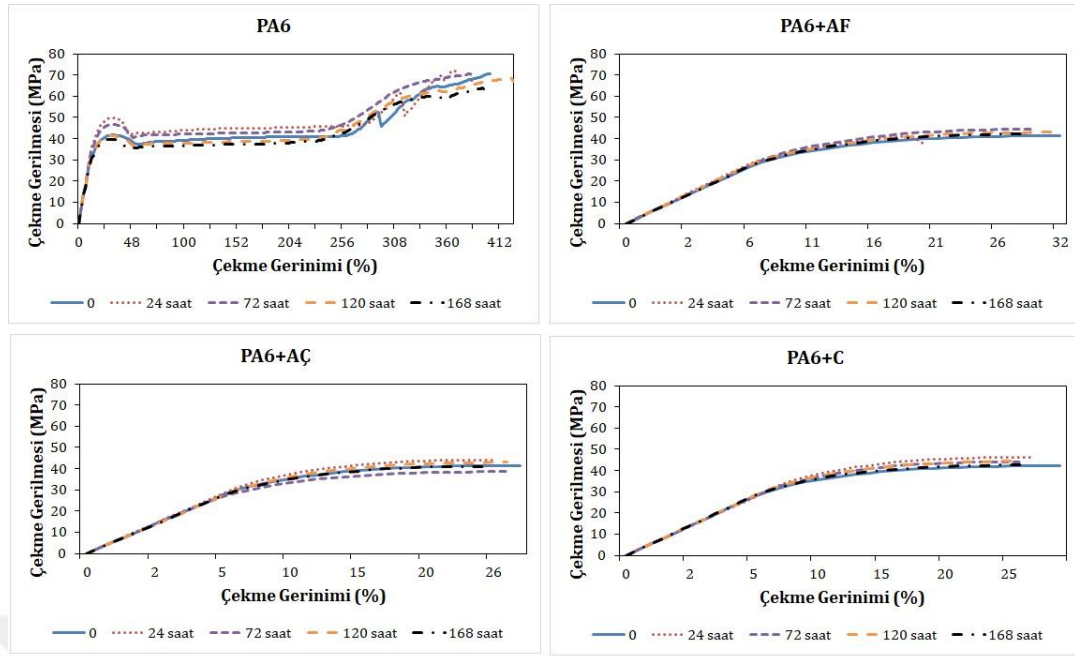


Şekil 2.33. Pürüzlülük testi cihazı ve ölçüm bölgeleri.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Çekme Testi Sonuçları

Şekil 3.1’de belirtildiği üzere PA6 polimeri (PA6) ve öğütülmüş Antep fıstığı (PA6+AF), ayçiçeği çekirdeği (PA6+AÇ) ve ceviz kabuğu (PA+C) katkılı PA6 kompozitleri için tipik çekme gerilimi-gerinimi eğrileri gösterilmiştir. Yaşlandırılmamış numuneler ile çeşitli yaşlandırma sürelerinde yaşlandırılmış UV numuneleri için değerler verilmiştir. PA6 polimerinin boyun verme davranışı gösterdiği görülmüştür. Boyun verme sonrasında gerilme değerinin azaldığı tespit edilmiştir. Sonrasında boyun yaklaşık olarak sabit gerilmede devam etmiştir ancak gerilme değeri kopmaya kadar tekrar artmıştır. UV yaşlandırma sürecinin ve süresinin, saf PA6’nın çekme gerilme-gerinim davranışını fazla etkilemediği görülmüştür, ancak daha sonra açıklanacağı gibi yalnızca çekme dayanımı ve gerinimi değerlerini değiştirdiği görülmüştür. Öğütülmüş tarımsal kabuk katkılı PA6 kompozitlerinin çekme gerilimi-gerinimi davranışı, PA6 polimerine kıyasla farklılık göstermiştir. Kırılma davranışı da gösterdiği görülmüştür. Öğütülmüş Antep fıstığı, ayçiçeği çekirdeği (Dakota tipi) ve ceviz kabuğu eklenmesi sonrasında PA6’nın çekme davranışının sünek durumdan gevrek duruma doğru değiştiği çok net görülmüştür. PA6 polimerinde olduğu gibi UV yaşlandırma işlemi ve süresi, öğütülmüş tarımsal kabuk katkılı PA6 kompozitlerinin çekme gerilme-gerinim davranışını çok fazla etkilememiştir. Sadece çekme dayanımı ve gerinimi değerlerini değiştirmiştir [47].



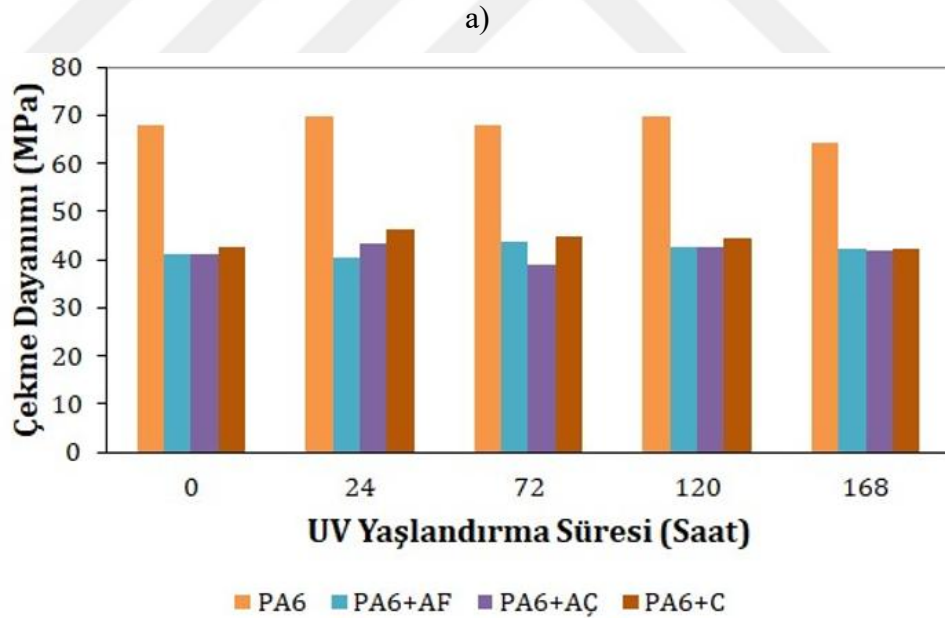
Şekil 3.1: UV yaşlandırma süresinin bir fonksiyonu olarak PA6 polimeri ve öğütülmüş tarımsal kabuk katkılı PA6 kompozitlerinin tipik çekme gerilmesi-gerinimi grafikleri.

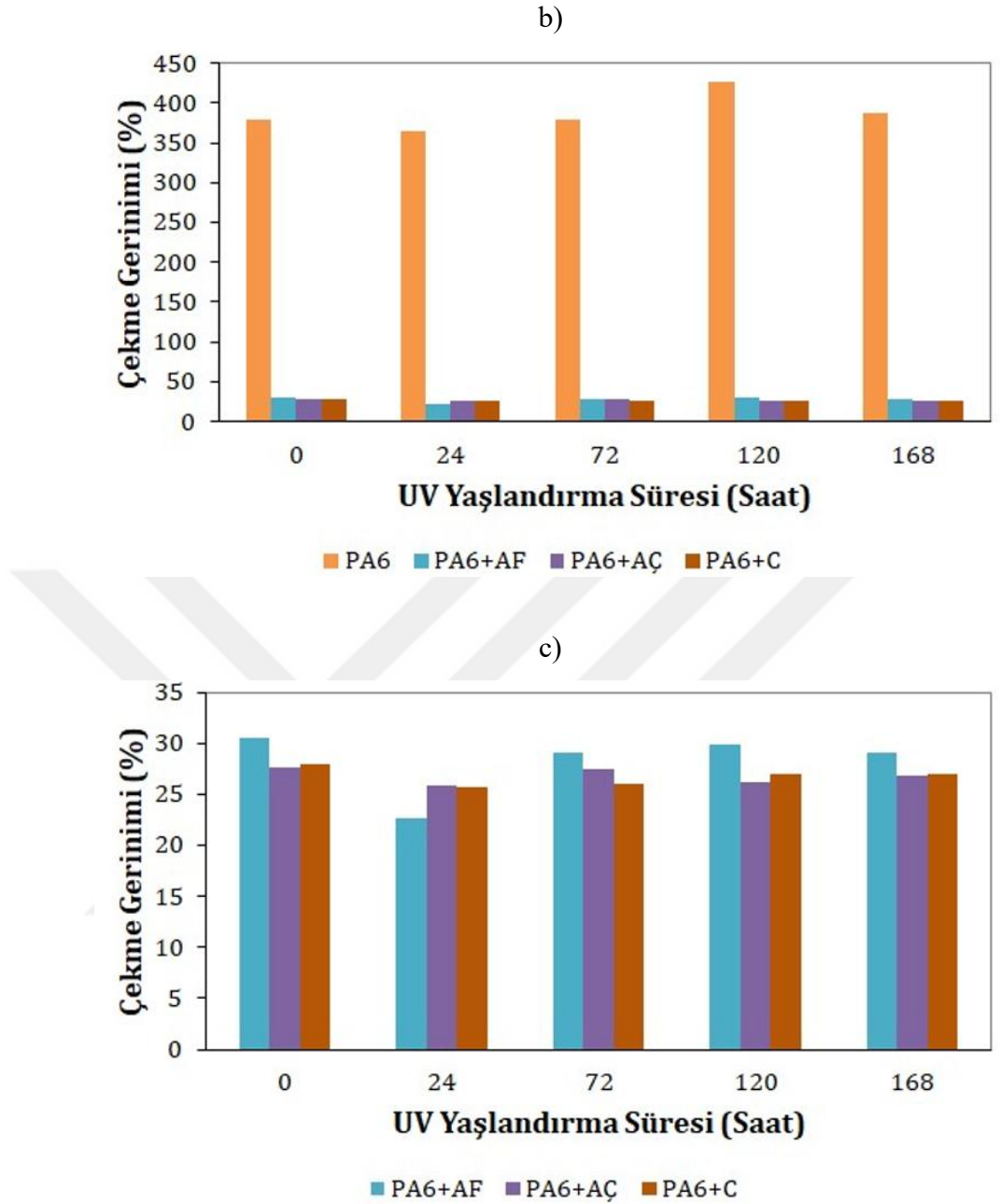
PA6 polimerinin ve öğütülmüş Antep fıstığı, ayçiçeği çekirdeği (Dakota tipi) ve ceviz kabuğu katkılı PA6 kompozitlerinin çekme dayanımı sonuçları Şekil 3.2a'da verilmiştir. Sonuçlar hem yaşlandırılmamış hem de yaşlandırılmış numuneler için belirtilmiştir. PA6 polimerinin çekme dayanımı değerleri yaşlandırılmamış, 24 saat, 72 saat ve 120 saat yaşlandırılmış numuneler için 68,02-69,87 MPa arasında bulunmuştur. Bunun yanı sıra 168 saatlik yaşlandırmış numune için bu değer %5,79'luk bir düşüşle 64,08 MPa değerine düşmüştür. Yaşlandırılmamış ve yaşlandırılmış numuneler için, PA6 polimerinin tarımsal kabuk katkısı ile harmanlanması, saf PA6 ile kıyaslandığında çekme dayanımının düştüğünü göstermektedir. Fıstık kabuğu katkısının PP'ye eklenmesiyle çekme dayanımında düşüşün olduğu literatürde de beyan edilmiştir [22]. Polimerik matristen iletilen gerilmeyi destekleme kapasitesi, doğal dolgu maddesi için oldukça zayıftır ve bu, doğal dolgu maddesinin polimere eklenmesiyle daha düşük çekme dayanımının nedenidir [38]. Lignoselülozik dolgu maddesi olan bu tarımsal kabukların yüksek polar gruplara sahip olması nedeniyle kompozitin fazlar arası yapışmasının olumsuz matris ve dolgu maddesi arasındaki uyumu azalttığından dolayı olumsuz etkilendiği varsayılmaktadır. Çekme dayanımının düşmesinin nedeni polimerik matris ve dolgu maddesinin polariteleri arasındaki farklılığın düzgün yük aktarımını engellemesidir [22]. Yaşlandırılmamış PA6+AF, PA6+AÇ ve PA6+C

kompozitlerinin çekme dayanımı, yaşlandırılmamış PA6'ya kıyasla sırasıyla %39,41, %39,70 ve %37,11 oranında azalmıştır. UV ile yaşlandırma koşullarından sonra tarımsal kabuk katkılı PA6 kompozitlerin çekme dayanımındaki değişim daha azalmıştır. PA6+AF, PA6+AÇ ve PA6+C kompozitlerinin çekme dayanımı değerleri yaşlandırılmamış ve yaşlandırılmış numuneler için sırasıyla 40,54-43,57 MPa, 38,85-43,42 MPa ve 42,28-46,18 MPa arasında bulunmuştur. Genel olarak öğütülmüş tarımsal kabuk katkısı içeren PA6 kompozitlerinde UV yaşlandırma sonrasında çekme dayanımı çok az bir artış göstermiştir. Çekme dayanımındaki en yüksek artış yaşlanmamış versiyona göre dayanımı %7,94 oranında artıran 24 saat UV yaşlandırılmış öğütülmüş ceviz kabuğu katkılı PA6 kompozitte (PA6+C) elde edilmiştir. Dış mekan kullanımları için öğütülmüş tarımsal kabuk ilavesi ile PA6 polimerinin miktarının azaltılması çekme dayanımında azalmaya neden olsa da bu kompozitlerin UV yaşlandırmaya maruz kaldıktan sonra, az da olsa bir artışa neden olmasından dolayı kullanılabilirliklerini göstermiştir. UV yaşlandırma öncesinde ve sonrasında tüm yeşil kompozitler arasında en yüksek çekme dayanımı öğütülmüş ceviz kabuğu katkılı PA6 (PA6+C) kompozitler ile elde edilmiştir. Çalışmamıza benzer şekilde literatürde ceviz kabuğu katkılı PP kompozitin fıstık kabuğu katkılı PP kompozite göre daha yüksek çekme dayanımı verdiği tespit edilmiştir [39]. UV yaşlandırmasından sonra tüm yeşil kompozitler arasında en yüksek çekme dayanımı değerleri PA6+C kompozitinde elde edilmiştir. Lignin miktarının artması yeşil kompozitlerde ısı yalıtımı ve fotostabilizatör görevi gösterdiği UV ve termal stabilite sağladığı belirtilmektedir [40]. Ceviz kabuğu, yüksek (%36,90) lignin içeriği sayesinde ısı yalıtım maddesi ve fotostabilizatör görevi gördüğünden en iyi UV ve termal stabiliteyi sağlamış ve böylece hem yaşlandırma öncesi hem de sonrası en yüksek çekme dayanımına ulaşılmıştır. [41, 47].

Şekil 3.2b'de saf PA6 polimeri ve öğütülmüş Antep fıstığı, ayçiçeği çekirdeği (Dakota tipi) ve ceviz kabuğu katkılı PA6 kompozitleri için UV yaşlanma süresinin bir fonksiyonu olarak çekme gerinimi sonuçları verilmiştir. Saf PA6 polimerinin çekme gerinimi, yaşlandırılmamış ve yaşlandırılmış durumlarda %364,62 ile %426,30 arasında değişmektedir (120 saatlik yaşlandırmada %12,68 artış). Tarımsal kabuk ilavesi, PA6'ın deformasyon yeteneğini kısıtlayarak gerinimde büyük azalmaya neden olmuştur. Literatürde de öğütülmüş ayçiçeği çekirdeği (Dakota tipi) kabuğu katkılı PP kompozitinde azalma tespit edilmiştir [42]. Bu sonuca, polimer matrise lignoselülozik

dolgu maddelerinin eklenmesiyle malzeme heterojenliğinde artış olarak nitelendirilen süreksizliklerin neden olduğu söylenebilir [43]. PA6 matrisinin deforme edilebilirliğini ve hareketliliğini kısıtlayarak saf PA6 ile karşılaştırsak daha küçük çekme gerinimine yol açtığı görülür. Yüksek lignin içeriği aynı zamanda lignoselülozik malzemenin kırılabilirliğinin artmasına neden olur. Yüksek selüloz içeriğinin ise tam tersi kırılabilirliği azalttığı belirtilmiştir [30]. Antep fıstığı kabuğunun en düşük lignin içeriğine sahip olması [44], öğütülmüş Antep fıstığı kabuğu katkılı PA6 kompozitinin tüm yeşil kompozitler içerisinde en büyük çekme gerinimini sunmasının nedeni olmuştur. Yaşlandırılmamış PA6+AF, PA6+AÇ ve PA6+C kompozitlerinin çekme gerinimi, yaşlandırılmamış PA6'ya göre sırasıyla %91,93, %92,69 ve %92,59 oranında azalmıştır. UV ile yaşlandırma koşullarından sonra öğütülmüş tarımsal kabuk katkılı PA6 kompozitlerin çekme gerinimindeki değişimin daha küçük olduğu bulunmuştur. PA6+AF, PA6+AÇ ve PA6+C kompozitlerinin çekme gerinimi değerleri yaşlandırılmamış ve yaşlandırılmış numuneler için sırasıyla %22,71-30,53, %25,80-27,64 ve %25,70-28,02 arasında bulunmuştur [47].



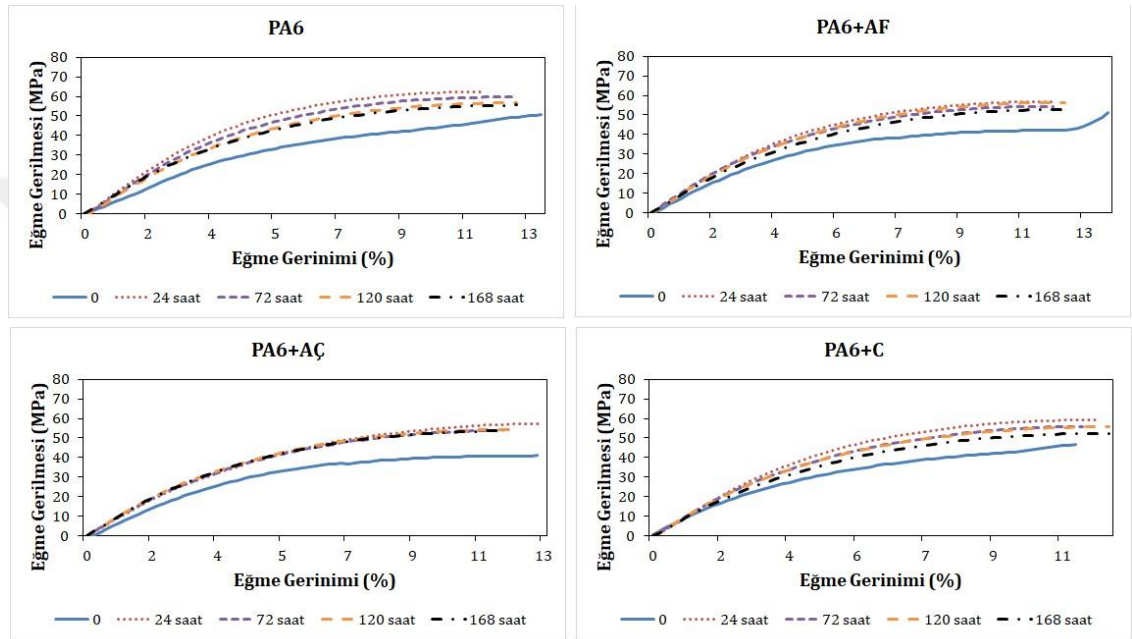


Şekil 3.2: UV yaşlandırma süresinin bir fonksiyonu olarak PA6 polimeri ve öğütülmüş tarımsal kabuk katkılı PA6 kompozitlerinin (a) çekme dayanımı ve (b ve c) çekme gerinimi değerleri.

3.2. Eğme Testi Sonuçları

Şekil 3.3'te saf PA6 polimeri ve öğütülmüş Antep fıstığı, ayçiçeği çekirdeği (Dakota tipi) ve ceviz kabuğu katkılı PA6 kompozitleri için UV yaşlanma süresinin bir fonksiyonu olarak tipik eğme gerilmesi-gerinimi grafikleri gösterilmiştir. Saf PA6 ve yeşil kompozitlerin eğme davranışları benzer olup, her ikisi de kırılmalık

sergilemektedir. UV yaşlandırma işlemi ve süresi, saf PA6 ile öğütülmüş tarımsal kabuk katkılı PA6 kompozitlerinin tipik eğme gerilmesi-gerinimi eğrisinin şeklini önemli ölçüde değiştirmemiştir. Ancak, eğme dayanımı ve gerinimi değerlerinde belirgin değişiklikler gözlemlenmiştir. Bu bulgular, malzemenin makroskobik mekanik davranışının (yani eğme eğrisinin genel formunun) UV yaşlanmadan bağımsız kaldığını, ancak dayanım ve deformasyon özelliklerinin UV etkisiyle değişebileceğini göstermektedir.



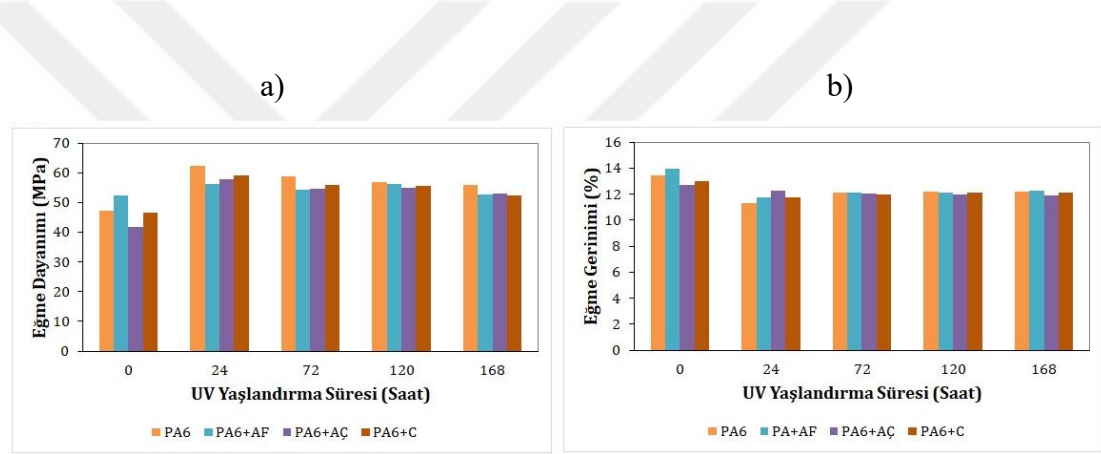
Şekil 3.3: UV yaşlandırma süresinin bir fonksiyonu olarak PA6 polimeri ve öğütülmüş tarımsal kabuk katkılı PA6 kompozitlerinin tipik eğme gerilmesi-gerinimi grafikleri.

Yaşlandırılmamış ve yaşlandırılmış saf PA6 polimeri ve öğütülmüş Antep fıstığı, ayçiçeği çekirdeği (Dakota tipi) ve ceviz kabuğu katkılı PA6 kompozitleri için eğme dayanımı sonuçları **Şekil 3.4a**'da gösterilmiştir. PA6 polimerinin eğme dayanımı değerlerinin yaşlandırılmamış ve yaşlandırılmış numuneler için 47,28-62,45 MPa arasında olduğu görülmüştür. UV yaşlandırmanın saf PA6 polimerinin eğme dayanımını arttırdığı görülmüştür. Eğme dayanımı 24 saatlik UV yaşlandırmanın ardından %32,09, 72 saatlik UV yaşlandırmanın ardından %24,21, 120 saatlik UV yaşlandırmanın ardından %20,44 ve 168 saat UV yaşlandırmanın ardından %18,31 artmıştır. Yani, saf PA6 polimeri için, UV yaşlandırmasının eğme dayanımındaki artışa etkisi yaşlandırma süresinin artışına göre daha azdır. Yaşlandırılmamış numuneler için

PA6 polimerinin öğütölmüş ayçiçeği çekirdeği (Dakota tipi) ve ceviz kabuğu karıştırılması, saf PA6'ya göre eğme dayanımında azalmaya yol açmıştır. Yaşlandırılmamış PA6+AÇ ve PA6+C kompozitlerinin eğme dayanımı, yaşlandırılmamış PA6'ya kıyasla sırasıyla %11,39 ve %1,61 oranında azalmıştır. Ancak PA6 polimerine öğütölmüş Antep fıstığı kabuğu karıştırılması, saf PA6'ya kıyasla eğme dayanımını arttırmıştır. Yaşlandırılmamış PA6+AF kompozitinin eğme dayanımı, yaşlandırılmamış PA6 polimerine göre %10,64 artmıştır. Lignoselülozik elyaf mukavemeti, kompozitin aynı matris ve üretim prosesi altındaki mekanik mukavemetini belirler. Selülozun öğütölmüş tarımsal kabuk katkılı polimer kompozitlerin özellikleri üzerinde önemli etkileri vardır ve yüksek selüloz içeriği bunların mekanik özelliklerini geliştirmiştir [45]. En yüksek selüloz içeriğine (%47,08) sahip kompozit Antep fıstığı olduğundan, en büyük eğme dayanımını göstermiştir. [44]. UV yaşlandırma altında tüm öğütölmüş tarımsal kabuk katkılı PA6 kompozitlerinin eğme dayanımı artmıştır. PA6+AF kompoziti için eğme dayanımı, 24 saatlik UV yaşlandırmanın ardından %7,55, 72 saatlik UV yaşlandırmanın ardından %3,85, 120 saatlik UV yaşlandırmanın ardından %7,60 ve 168 saat UV yaşlandırmanın ardından %0,72 artmıştır. Eğme dayanımındaki en yüksek artış PA6+AÇ kompoziti için UV yaşlandırma altında olmuştur. UV yaşlandırmanın ardından eğme dayanımı 24 saat için %38,11, 72 saat için %30,40, 120 saat için %31,07 ve 168 saat için %26,76 artmıştır. PA6+C kompoziti için eğme dayanımı, 24 saatlik UV yaşlandırmanın ardından %27,26, 72 saatlik UV yaşlandırmanın ardından %20,34, 120 saatlik UV yaşlandırmanın ardından %19,54 ve 168 saat UV yaşlandırmanın ardından %12,87 artmıştır. UV yaşlanmasına maruz kaldıktan sonra eğme dayanımındaki artış, öğütölmüş tarımsal kabuk katkılı kompozitlerin dış mekân koşullarında kullanılabileceğini göstermiştir. Yeşil kompozitler arasında en büyük eğme dayanımı, 24 saat UV ile yaşlandırılmış öğütölmüş ceviz kabuğu katkılı PA6 kompozit (PA6+C) ile elde edilmiştir. Genel olarak öğütölmüş Antep fıstığı, ayçiçeği çekirdeği (Dakota tipi) ve ceviz kabuğu katkılı PA6 kompozitlerinin eğme dayanımı dikkate alındığında saf PA6 ile rekabet edebileceği sonucuna varılmıştır. Bu sonuçlar, tarımsal atıkların polimer kompozitlerde kullanılarak çevreci ve mekanik olarak güçlü malzemeler üretilebileceğini göstermektedir. Özellikle UV yaşlandırma sonrası eğme dayanımının artması, bu kompozitlerin yine dış mekân uygulamalarında kullanılabilirliğini ortaya koymaktadır [47].

Şekil 3.4b'de saf PA6 polimeri ve öğütülmüş Antep fıstığı, ayçiçeği çekirdeği (Dakota tipi) ve ceviz kabuğu katkılı PA6 kompozitleri için UV yaşlandırma süresinin bir fonksiyonu olarak eğme gerinimi değerleri sunulmuştur. Yaşlandırılmamış ve yaşlandırılmış numuneler için PA6 polimerinin eğme gerinimi değerleri %11,34-13,44 arasındadır. Bu durum UV yaşlandırmasının, saf PA6 için eğme geriniminde bir azalmaya neden olduğunu göstermektedir [47].

Yaşlandırılmamış PA6+AÇ ve PA6+C kompozitleri için eğme gerinimi, yaşlandırılmamış PA6 polimerine göre kıyasla sırasıyla %5,66 ve %3,57 oranında azalma göstermiştir. PA6+AF, PA6+AÇ ve PA6+C kompozitlerinin eğme gerinimi değerleri yaşlandırılmamış ve yaşlandırılmış numuneler için sırasıyla %11,77-13,92, %11,87-12,68 ve %11,74-12,96 arasındadır. [47].

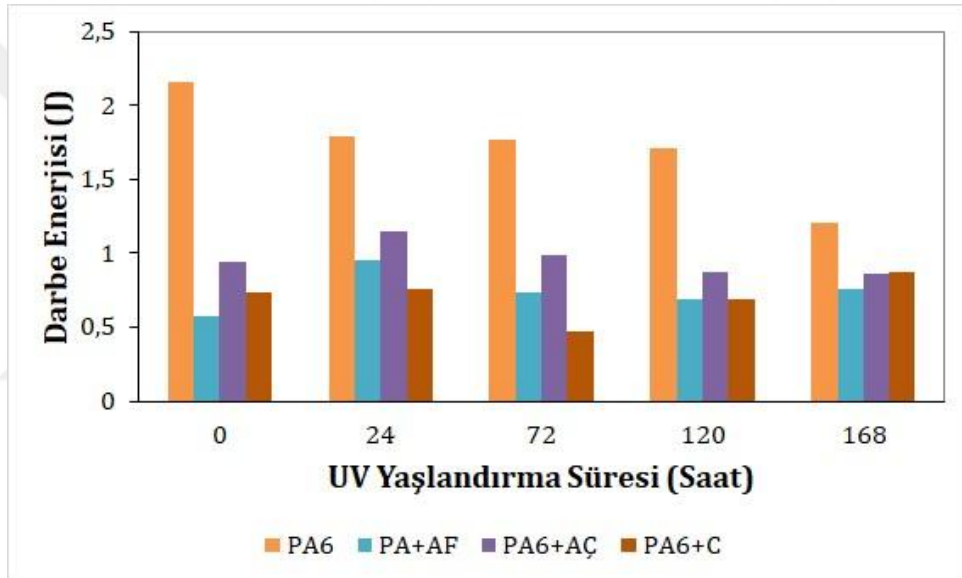


Şekil 3.4: UV yaşlandırma süresinin bir fonksiyonu olarak PA6 polimeri ve öğütülmüş tarımsal kabuk katkılı PA6 kompozitlerinin (a) eğme dayanımı ve (b) eğme gerinimi değerleri.

3.3. Darbe Testi Sonuçları

Şekil 3.5'te PA6 polimeri ve öğütülmüş Antep fıstığı, ayçiçeği çekirdeği (Dakota tipi) ve ceviz kabuğu katkılı PA6 kompozitleri için UV yaşlanma süresinin bir fonksiyonu olarak ölçülen darbe enerjisi değerleri sunulmuştur. Genel bir sonuç olarak darbe enerjisinin saf PA6 polimerinin UV yaşlandırma sonucunda önemli derecede azaldığı görülmüştür. Bu azalma 24 saatlik UV yaşlandırmanın ardından %16,98, 72 saatlik UV yaşlandırmanın ardından %18,53, 120 saatlik UV yaşlandırmanın ardından %20,96 ve 168 saat UV yaşlandırmanın ardından %44,41'dir. Yaşlandırılmamış ve yaşlandırılmış numuneler için, PA6 polimerinin öğütülmüş tarımsal kabukla

karıştırılması, saf PA6'ya kıyasla darbe enerjisinde azalmaya neden olmuştur. Yaşlandırılmamış durumda, öğütülmüş Antep fıstığı, ayçiçeği çekirdeği (Dakota tipi) ve ceviz kabuğu katkılı kompozitlerin sırasıyla %73,40, %56,47 ve %65,94 darbe enerjisinde azalma görülmüştür. Tarımsal kabuk katkıları darbe dayanımını azaltmış, ancak bazı katkıları (özellikle Antep fıstığı kabuğu) UV yaşlandırma sonrası dayanım kazanmıştır. Öğütülmüş ayçiçeği çekirdeği (Dakota tipi) ve ceviz kabuğu katkılı PA6 kompozitlerinde ise, 24 saat UV yaşlandırma sonrasında darbe enerjisinde artış, yaşlandırma süresinin artması ile düşüş elde edilmiştir [47]. Ayçiçeği çekirdeği ve ceviz kabuğu katkılı kompozitler için UV yaşlandırmanın başta olumlu, uzun vadede olumsuz etkisi olmuştur.

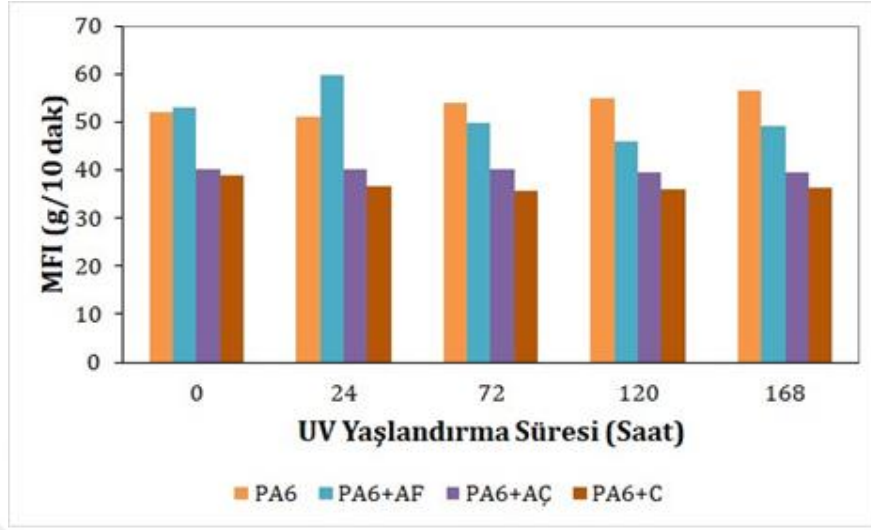


Şekil 3.5: UV yaşlandırma süresinin bir fonksiyonu olarak PA6 polimeri ve öğütülmüş tarımsal kabuk katkılı PA6 kompozitlerinin darbe testleri sonrasında ölçülen enerji değerleri.

3.4. Reolojik Test Sonuçları

PA6 polimeri ve öğütülmüş Antep fıstığı, ayçiçeği çekirdeği (Dakota tipi) ve ceviz kabuğu katkılı PA6 kompozitleri için UV yaşlandırma süresinin bir fonksiyonu olarak hesaplanan MFI değerleri Şekil 3.6'da verilmiştir. MFI testlerinden elde edilen verilerden yaşlandırmanın değerleri genel olarak arttırdığı görülmüştür. 168 saat UV yaşlandırmanın ardından bu değerdeki artış %8,51 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca MFI test değerlerinde yaşlandırılmamış ve yaşlandırılmış numunelere bakıldığında,

öğütölmüş tarımsal kabuk PA6 kompozitlerinin saf PA6'ya göre azalma olduğu görölmüşdür [47].



Şekil 3.6: UV yaşlandırma süresinin bir fonksiyonu olarak PA6 polimeri ve öğütölmüş tarımsal kabuk katkılı PA6 kompozitlerinin hesaplanan MFI değeri.

3.5. Morfoloji Gözlemi Sonuçları

3.5.1. Yüzey pürüzlölüğü sonuçları

PA6 polimeri ve öğütölmüş Antep fıstığı, ayçiçeğı çekirdeğı (Dakota tipi) ve ceviz kabuğı katkılı PA6 kompozitleri için UV yaşlanma süresinin bir fonksiyonu olarak ölçölen Ra değeri **Tablo 3.1**'de verilmiştir. Saf PA6 polimerlerinin, genel olarak en düşük yüzey pürüzlölüğüne sahip olduğu görölmüşdür. Öğütölmüş tarımsal kabuk katkısının yüzey pürüzlölüğüne arttırdığı görölmüşdür. Bunun yanı sıra en düşük ortalama Ra değeri 168 saat UV yaşlandırılmış saf PA6 numunesi için 0,382 μm olarak ölçölmüşdür. En yüksek Ra değeri de 120 saat UV yaşlandırılmış PA6+C kompozitinde (3,740 μm) ölçöldüğü görölmüşdür [47]. Ceviz kabuğı katkılı kompozitlerin UV yaşlandırma ile en fazla yüzey bozulmasına uğramış olduğu görölmektedir.

Tablo 3.1: UV yaşlandırma süresinin bir fonksiyonu olarak PA6 polimeri ve öğütülmüş tarımsal kabuk katkılı PA6 kompozitlerinin ölçülen Ra değerleri.

Polimerik Malzemeler	UV Yaşlandırma Süresi (saat)	Ra (μm)					
		1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge	5. Bölge	Ortalama
PA6	0	0,40	0,41	1,03	3,48	0,34	1,132
	24	1,08	0,50	0,99	0,70	0,39	0,732
	72	0,36	0,40	0,47	0,37	0,40	0,400
	120	0,62	0,50	0,40	0,42	0,39	0,466
	168	0,40	0,39	0,36	0,41	0,35	0,382
PA6+AF	0	0,64	0,69	0,34	0,46	0,46	0,518
	24	1,17	0,57	0,91	0,77	1,22	0,928
	72	2,22	1,15	1,43	2,29	0,84	1,586
	120	2,11	5,41	2,46	2,74	1,20	2,784
	168	3,16	1,77	2,77	2,31	0,77	2,156
PA6+AÇ	0	1,00	0,38	0,36	0,43	0,59	0,552
	24	0,50	0,42	0,56	0,62	1,12	0,644
	72	1,34	1,13	2,66	0,78	0,90	1,362
	120	1,79	2,03	3,48	1,33	1,07	1,940
	168	0,86	0,74	1,84	1,43	0,86	1,146
PA6+C	0	0,47	0,40	1,27	0,80	0,38	0,664
	24	2,08	4,32	4,38	4,25	1,31	3,268
	72	1,26	1,67	1,30	1,34	0,56	1,226
	120	1,96	1,55	5,70	3,57	5,92	3,740
	168	1,12	0,65	0,92	1,64	0,68	1,002

3.5.2. Yüzey morfolojisi sonuçları

PA6, PA6+AF, PA6+AÇ ve PA6+C kompozitlerinin çekme testleri sonrasında kopan yüzey morfolojisi, UV yaşlandırma süresinin bir fonksiyonu olarak **Ek-B'**'de gösterilmiştir. Yeşil kompozitlerin kopma yüzeyinde öğütülmüş Antep fıstığı, ayçiçeği çekirdeği (Dakota tipi) ve ceviz kabuklarının sıyrıldığı görülmüştür. Ayrıca öğütülmüş tarımsal kabuk katkılı PA6 kompozitlerin kopma yüzeyinde matris ile öğütülmüş tarımsal kabuklar arasında boşluklar görülmüştür. Bu gibi durumların yeşil kompozitlerin mekanik özelliklerini olumsuz etkileyeceği düşünülmektedir [46]. PA6 polimeri ve öğütülmüş tarımsal kabuk katkılı PA6 kompozitleri için UV yaşlandırma ile kopma yüzeylerinde önemli bir değişiklik bulunmamıştır [47].

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Antep fıstığı kabuğu, ayçiçeği çekirdeği kabuğu (Dakota tipi) ve ceviz kabuğu ucuzdur, kolayca temin edilebilir ve tarımsal atık olarak çeşitli polimerik matrislerle işlenme eğilimindedir. Bu nedenle, bu araştırmada, öğütülerek toz haline getirilmiş Antep fıstığı kabuğu, ayçiçeği çekirdeği kabuğu (Dakota tipi) ve ceviz kabuğu, yeşil kompozitler üretmek için PA6 ile doğal dolgu maddeleri olarak kullanılmıştır. PA6 ve yeşil olarak adlandırdığımız öğütülmüş tarımsal kabuk katkılı kompozitler için çekme gerinimi, çekme mukavemeti, eğme gerinimi ve eğme mukavemeti değerleri belirlenmiştir. Ayrıca, PA6 ve üretilen yeşil kompozitler için belirli zaman aralıkları için UV yaşlandırma süreci incelenmiştir. Öğütülmüş Antep fıstığı kabuğu, ayçiçeği çekirdeği (Dakota tipi) kabuğu ve ceviz kabuğu katıldıktan sonra PA6'nın çekme davranışının süneklikten kırılganlığa doğru değiştiği sonucu oluşmuştur. UV yaşlandırma işlemi ve süresi, PA6 ve öğütülmüş tarımsal kabuk katkılı PA6 kompozitlerinin bu tipik çekme gerilimi-gerinim davranışını çok fazla etkilememiş, sadece çekme mukavemeti ve gerinim değerlerini değiştirmiştir. Yaşlandırılmamış ve yaşlandırılmış numuneler için, PA6 polimerinin öğütülmüş tarımsal kabuk katkısı ile karıştırılması, PA6'ya kıyasla çekme mukavemetinde düşüşe neden olmuştur. Yaşlandırılmamış PA6+AF, PA6+AÇ ve PA6+C kompozitleri için çekme mukavemeti, yaşlandırılmamış PA6'ya kıyasla sırasıyla %39,41, 39,70 ve 37,11 oranında azalmıştır. UV yaşlandırma sonrasında, öğütülmüş tarımsal kabuk katkılı PA6 kompozitlerinin çekme mukavemetindeki değişim daha küçük olmuştur. Genel olarak, öğütülmüş tarımsal kabuk katkılı PA6 kompozitlerinde UV yaşlandırmadan sonra çekme mukavemeti hafifçe artmıştır. En yüksek artış, yaşlandırılmamış olana kıyasla %7,94 oranında artıran 24 saatlik UV yaşlandırılmalı öğütülmüş ceviz kabuğu katkılı PA6 kompozitinde gözlemlenmiştir (**Tablo 4.1**). Öğütülmüş tarımsal kabuk katkısı PA6 polimerinin çekme mukavemetinde azalmaya yol açsa da bu kompozitlerin UV yaşlandırmasına maruz kaldıktan sonra çekme mukavemetinde çok az artışa neden olması, öğütülmüş tarımsal kabuk katkılı kompozitlerin dış ortam koşullarında kullanılabileceğini göstermiştir. PA6 polimerinin öğütülmüş tarımsal kabuk katkısı ile karıştırılması, çekme gerilmesini büyük ölçüde düşürmüştür. Yaşlandırılmamış PA6+AF, PA6+AÇ ve PA6+C kompozitlerinin çekme gerinimi, yaşlandırılmamış PA6'ya kıyasla sırasıyla %91,93, 92,69 ve 92,59 oranında azalmıştır. UV yaşlandırma

sonrasında, öğütülmüş tarımsal kabuk katkılı PA6 kompozitlerinin çekme gerinimindeki değişimin daha küçük olduğu görülmüştür. PA6 ve yeşil kompozitlerin eğme davranışı kırılmalık göstermiştir. UV yaşlandırma süreci ve süresi, PA6 ve öğütülmüş tarımsal kabuk katkılı PA6 kompozitlerinin tipik eğme gerilme-gerinim davranışını çok fazla etkilememiş, sadece eğme mukavemeti ve gerinim değerlerini değiştirmiştir. UV yaşlandırma eğme mukavemeti PA6 polimeri için 24 saatlik UV yaşlandırmadan sonra %32,09, 72 saatlik UV yaşlandırmadan sonra %24,21, 120 saatlik UV yaşlandırmadan sonra %20,44 ve 168 saatlik UV yaşlandırmadan sonra %18,31 oranında artırmıştır. Yaşlandırılmamış numuneler için, PA6 polimerinin öğütülmüş ayçiçeği çekirdeği (Dakota tipi) kabuğu ve ceviz kabuğu ile karıştırılması PA6'ya göre eğme mukavemetinde azalmaya neden olurken, PA6 polimerinin öğütülmüş Antep fıstığı kabuğu ile karıştırılması PA6'ya göre eğme mukavemetini artırmıştır. UV yaşlandırması tüm öğütülmüş tarımsal kabuk katkılı PA6 kompozitlerinin eğme mukavemetini artırmış ve bu sonuç öğütülmüş tarımsal kabuk katkılı kompozitlerin dış ortam koşullarında kullanılabileceğini göstermiştir. Yeşil kompozitler arasında en yüksek eğme dayanımına 24 saat UV yaşlandırmalı öğütülmüş ceviz kabuğu katkılı PA6 kompozit ulaşmıştır (**Tablo 4.1**). UV yaşlandırma, PA6 polimeri için eğme gerilmesinde azalmaya neden olmuştur. Darbe enerjisi ile ilgili yapılan ölçümlerde darbe enerjisinin saf PA6 polimerinin UV yaşlandırma sonucunda önemli derecede azaldığı görülmüştür. Bu azalma 24 saatlik UV yaşlandırmanın ardından %16,98, 72 saatlik UV yaşlandırmanın ardından %18,53, 120 saatlik UV yaşlandırmanın ardından %20,96 ve 168 saat UV yaşlandırmanın ardından %44,41'dir.

Özetle öğütülmüş tarımsal kabuk katkılı PA6 kompozitleri çevre dostu alternatifler sunmaktadır. Çekme mukavemeti tarımsal dolgu katkısıyla azalmış ancak UV yaşlandırma ile hafif bir iyileşme sağlanmıştır. Eğme mukavemeti PA6+AF için artarken, PA6+AÇ ve PA6+C için azalmıştır. UV yaşlandırma eğme mukavemetini artırmış, bu da kompozitlerin dış ortam kullanımına uygun olabileceğini göstermiştir. Antep fıstığı kabuğu katkılı kompozit, çekme ve eğme davranışı açısından en iyi performansı göstermiştir (**Tablo 4.2**).

Bu tezde araştırılmayan ve araştırılması önerilen konular aşağıda maddeler halinde sunulmuştur [47].

- Farklı tip polimer ve polimer kompozitlerin yaşlandırılması üzerine çalışılabilir.

- Kullanım sonrasında her bir polimer ve polimer kompozit için ömür tahmini yapılabilir.
- Yaşlandırılmış polimerlerin dinamik mekanik özellikleri incelenebilir.
- Yaşlandırılma sonrası geri dönüşüm yapılabilir ve geri dönüştürülmüş polimerlerin mekanik özelliklerinin farklı oranda inorganik (titanyum dioksit, çinko oksit, barit vb.), doğal (Antep fıstığı, ayçekirdeği, ceviz, kayısı çekirdeği, badem, kestane, fındık kabuğu unu vb.) malzemeler ve/veya bunların hibrit karışımı katkısı ile iyileştirilmesi üzerine çalışmalar yapılabilir. Böylece sinerji etkisi oluşturularak literatüre önemli katkılar sağlanabilir. Ayrıca yaşlandırılmış ve geri dönüştürülmüş polimerler için en uygun katkı malzemesi tipi ve oranı belirlenerek literatüre özgün olarak önemli katkılar sunulabilir.
- İnorganik, doğal katkılı polimer kompozitlerin ve hibrit kompozitlerin farklı çalışma şartları ve ortamları (termal, hidrotermal, suda yaşlandırma) altında özelliklerinin nasıl değiştiği belirlenebilir.

Tablo 4.1: Dış mekan kullanımlarında kullanılabilmeyi gösteren UV yaşlandırma sonrası çekme ve eğme mukavemetindeki değişimler ve en yüksek artış ve değeri gösteren ceviz kabuğu katkılı PA6 kompoziti.

Mekanik Testler ve Değerler	PA+AF	PA+AÇ	PA+C
Çekme mukavemetindeki artış (%)	5,72	5,85	7,94
Eğme mukavemeti değeri (MPa)	56,28999	57,86501	59,20447

Tablo 4.2: UV Yaşlandırma açısından en düşük değişim değerlerini gösteren ve dolayısıyla en iyi performansa sahip Antep fıstığı katkılı PA6 kompoziti değerleri.

			UV Yaşlandırma Süresi (saat)				
	Kompozit	Yaşlandırılmamış	24	72	120	168	Değişim (%)
Eğme Mukavemeti (MPa)	PA6+AF	52,313	56,261	54,325	56,289	52,688	7,60
	PA6+AÇ	41,898	57,865	54,633	54,914	53,109	38,10
	PA6+C	46,521	59,204	55,984	55,612	52,509	27,26
Çekme Mukavemeti (MPa)	PA6+AF	41,216	40,545	43,575	42,617	42,053	5,72
	PA6+AÇ	41,021	43,420	38,847	42,512	41,868	5,85
	PA6+C	42,783	46,181	44,957	44,297	42,280	7,94

KAYNAKLAR

- [1] Şen, Elif G., (2022), “Polipropilen/Üzüm Sapı/Çeltik Polimer Kompozitinin Özelliklerinin Atık Cam Elyaf ile Geliştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi.
- [2] Young Robert J., Lovell Peter A., (2017), “Introduction To Polymers”, 3rd Edition, CRC Press.
- [3] Sid Perkins, <https://www.snexplores.org/article/explainer-what-are-polymers>, Erişim Tarihi: 28.01.2025
- [4] Shunji Nomura, <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/polymeric-chain>, Erişim Tarihi: 28.1.2025
- [5] Anshuman Shrivastava, <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/polymeric-chain>, Erişim Tarihi: 28.1.2025
- [6] Safarov P., (2023), “Enjeksiyonla Kalıplama İçin Polipropilen – Fındık Kabuğu Kompozitlerinin Eriyik Harmanlama ile Hazırlanması”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
- [7] Zhou, Z., Zhang, Y., Zeng, Z., Zhang, Y. 2008. “Properties of POSS-filled polypropylene: comparison of physical blending and reactive blending”, Journal of Applied Polymer Science, 110, 3745-3751.
- [8] Panthapulakkal, S., Sain, M. 2006. “Injection molded wheat straw and corn stem filled polypropylene composites”, Journal of Polymers and the Environment, 14, 265-272.
- [9] Boopalan, M., Umapathy, M. J., Jenyfer, P. 2012. “A comparative study on the mechanical properties of jute and sisal fiber reinforced polymer composites”, Silicon, 4, 145-149.
- [10] Küçükdoğan Öztürk, N., Sever, K., Sütçü, M., Seki, Y., Seydibeyoğlu, Ö., Sarıkanat, M. 2015. “Tarımsal atık ile katkılanmış yüksek yoğunluklu polietilen kompozitlerin fiziksel, mekanik ve termal özelliklerinin belirlenmesi”, XIX. Ulusal Mekanik Kongresi, 780-786.
- [11] Mattos, B. D., Miss, A. L., Cademartori, P. H., Lima, E. A., Magalhaes, W. L., Gatto, D. A. 2014. “Properties of polypropylene composites filled with a mixture of household waste of mate-tea and wood particles”, Construction and Building Materials, 61, 60-68.
- [12] Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO). <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Son erişim tarihi: 29 Ağustos 2024

- [13] Ildar, G. S., Kraysman, N. V., Sverguzova, S. V. 2023. "Review of pistachio (pistacia) shell use to remove pollutants from aqua media", *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 13, 389.
- [14] Kuram, E. 2020b. "Rheological, mechanical and morphological properties of acrylonitrile butadiene styrene composite filled with sunflower seed (*Helianthus annuus* L.) husk flour", *Journal of Polymer Research*, 27, 219.
- [15] Demir, G., Nemlioglu, S., Yazgic, U., Dogan, E.E., Bayat, C. 2005. "Determination of some important emissions of sunflower oil production industrial wastes incineration", *Journal of Scientific & Industrial Research*, 64, 226-228.
- [16] Martinez, M. L., Moiraghi, L., Agnese, M., Guzman, C. 2003. "Making and some properties of activated carbon produced from agricultural industrial residues from Argentina", *The Journal of the Argentine Chemical Society*, 91, 103-108.
- [17] Balart, J. F., Fombuena, V., Fenollar, O., Boronat, T., Sanchez-Nacher, L. 2016. "Processing and characterization of high environmental efficiency composites based on PLA and hazelnut shell flour (HSF) with biobased plasticizers derived from epoxidized linseed oil (ELO)", *Composites Part B*, 86, 168-177.
- [18] Altun, M., Celebi, M., Ovali, S. 2022. "Preparation of the pistachio shell reinforced PLA biocomposites: Effect of filler treatment and PLA maleation", *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 35, 1342-1357.
- [19] Mohammed, Z. H., Salman, S. D. 2023. "The influence of pistachio shell addition on the mechanical behavior of self-curing PMMA composites", *Innovative Infrastructure Solutions*, 8, 159.
- [20] Alsaadi, M., Erklığ, A., Albu-Khaleefah, K. 2018. "Effect of pistachio shell particle content on the mechanical properties of polymer composite", *Arabian Journal for Science and Engineering*, 43, 4689-4696.
- [21] Kuram, E. 2020a. "UV and thermal weathering of green composites: Comparing the effect of different agricultural waste as fillers", *Journal of Composite Materials*, 54, 3683-3697.
- [22] Celebi, M., Altun, M., Ovali, S. 2022. "The effect of UV additives on thermos-oxidative and color stability of pistachio shell reinforced polypropylene composites", *Polymers and Polymer Composites*, 30, 1-10.
- [23] Sui, G., Fuqua, M. A., Ulven, C. A., Zhong, W. H. 2009. "A plant fiber reinforced polymer composite prepared by a twin-screw extruder", *Bioresource Technology*, 100, 1246-1251.
- [24] Kaymakci, A., Ayrimis, N., Ozdemir, F., Gulec, T. 2013a. "Utilization of sunflower stalk in manufacture of thermoplastic composite", *Journal of Polymer Environment*, 21, 1135-1142.

- [25] Kaymakci, A., Ayrimis, N., Gulec, T. 2013b. "Surface properties and hardness of polypropylene composites filled with sunflower stalk flour", *BioResources*, 8, 592-602.
- [26] Ayrimis, N., Kaymakci, A., Ozdemir, F. 2013a. "Sunflower seed cake as reinforcing filler in thermoplastic composites", *Journal of Applied Polymer Science*, 129, 1170-1178.
- [27] Kuram, E. 2020c. "Rheological, mechanical and morphological properties of hybrid hazelnut (*Corylus avellana* L.)/walnut (*Juglans regia* L.) shell flour-filled acrylonitrile butadiene styrene composite", *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 22, 2107-2117.
- [28] Akbaş, S., Tufan, M., Güleç, T., Temiz, A. 2013. "Utilization of walnut shells as filler in polymer composites", *International Caucasian Forestry Symposium*, 947-953.
- [29] Ayrimis, N., Kaymakci, A., Ozdemir, F. 2013b. "Physical, mechanical, and thermal properties of polypropylene composites filled with walnut shell flour", *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 19, 908-914.
- [30] Zahedi, M., Pirayesh, H., Khanjanzadeh, H., Tabar, M. M. 2013. "Organo-modified montmorillonite reinforced walnut shell/polypropylene composites", *Materials and Design*, 51, 803-809.
- [31] Obidiegwu, M. U., Nwanonenyi, S. C., Eze, I. O., Egbuna, I. C. 2014. "The effect of walnut shell powder on the properties of polypropylene filled composite", *The International Asian Research Journal*, 02, 22-29.
- [32] Li, X., Zhao, X., Ye, L. 2012. "Stress photo-oxidative aging behaviour of polyamide 6", *Polymer International*, 61, 118-123.
- [33] Zhao, X., Li, X., Ye, L., Li, G. 2014. "Stress-accelerated photothermal oxidative aging behavior of polyamide 6", *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 27, 1573-1586.
- [34] ISO 178, (2019), "Plastics — Determination of flexural properties" International Organization for Standardization
- [35] ISO 180, (2023), "Plastics — Determination of Izod impact strength" International Organization for Standardization.
- [36] ISO 527 – 2, (2012), "Plastics — Determination of tensile properties — Part 2: Test conditions for moulding and extrusion plastics" International Organization for Standardization.
- [37] <https://arum.ogu.edu.tr/Sayfa/Index/65/taramali-elektron-mikroskobu-sem>, Erişim Tarihi: 28.1.2025

- [38] Ismail, H., Nizam, J. M., Abdul Khalil, H. P. S. 2001. "The effect of a compatibilizer on the mechanical properties and mass swell of white rice husk ash filled natural rubber/linear low density polyethylene blends", *Polymer Testing*, 20, 125-133.
- [39] Şahin, A. E., Fidan, S., Çetin, B., Sınmazçelik, T. 2024. "Comparison of the usage of nut shell, walnut shell, and pistachio shell as a reinforcement particle on the mechanical and wear performance of polypropylene", *Journal of Applied Polymer Science*, 141, e55248.
- [40] Peng, Y., Nair, S. S., Chen, H., Farnood, R., Yan, N., Cao, J. 2020. "Application of different bark fractions in polypropylene composites: UV and thermal stability", *Polymer Composites*, 41, 2198-2209.
- [41] Gungor, A., Akbay, I. K., Ozdemir, T. 2019. "Waste walnut shell as an alternative bio-based filler for the EPDM: mechanical, thermal, and kinetic studies", *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 21, 145-155.
- [42] Irez, A. B., 2024. "Development of sunflower husk reinforced polypropylene based sustainable composites: An experimental investigation of mechanical and thermal performance", *Journal of Polymer Science*, 62, 3471-3484.
- [43] Pantyukhov, P., Kolesnikova, N., Popov, A. 2016. "Preparation, structure, and properties of biocomposites based on low-density polyethylene and lignocellulosic fillers", *Polymer Composites*, 37, 1461-1472.
- [44] Balasundar, P., Narayanasamy, P., Senthil, S., Al-Dhabi, N. A., Prithivirajan, R., Kumar, R. S., Ramkumar, T., Bhat, K. S. 2019. "Physico-chemical study of pistachio (*Pistacia vera*) nutshell particles as a bio-filler for eco-friendly composites", *Materials Research Express*, 6, 105339.
- [45] Zhu, S., Guo, Y., Tu, D., Chen, Y., Liu, S., Li, W., Wang, L. 2018. "Water absorption, mechanical, and crystallization properties of high-density polyethylene filled with corn cob powder", *BioResources*, 13, 3778-3792.
- [46] Çelik, Y. H., Yalcin, R., Topkaya, T., Başaran, E., Kilickap, E. 2021. "Characterization of hazelnut, pistachio, and apricot kernel shell particles and analysis of their composite properties", *Journal of Natural Fibers*, 18, 1054-1068.
- [47] Özçelik, B., Kuram, E., (2024) "Antep Fıstığı, Ayçiçeği Çekirdeği ve Ceviz Kabuğu Katkılı Polyamid 6 (PA6) Kompozitlerinin UV Işını Maruziyetinde Mekanik, Reolojik ve Morfolojik Özellikleri", 123M800 Numaralı Proje Bitirme Raporu, TÜBİTAK.
- [48] POLITEM DYNAMIC PLASTIC Teknik Bilgi Formu, PA6/008.R4.281216 / FR018.R1.201115

ÖZGEÇMİŞ

Fatih AYDINLI 1999 yılında başladığı Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünü 2005 yılında bitirdi. 2006 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü'nde (Daha sonra adı Gebze Teknik Üniversitesi olarak değişti.) lisansüstü eğitimine başladı. Meslek hayatına Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği Makina Mühendisleri Odası'nda başlamış, LPG yakıtlı araç muayenesi, mekanik tesisat mesleki denetimi, iş ekipmanlarının ve asansörlerin periyodik kontrolleri ve tahribatsız muayene alanlarında çalışmıştır. Halen özel bir kuruluştaki teknik müdür olarak görevine devam etmektedir. Aynı zamanda 2017 yılında Türk Akreditasyon Kurumu'nda (TÜRKAK) iş ekipmanlarının ve asansörlerin periyodik kontrolleri alanında Teknik Uzman olarak başladığı görevine 2023 yılından itibaren Denetçi olarak devam etmektedir. 2023 – 2024 yılları arasında Doç. Dr. Emel KURAM'ın proje yürütücüsü olarak görev aldığı “Antep Fıstığı, Ayçiçeği Çekirdeği ve Ceviz Kabuğu Katkılı Polyamid 6 (PA6) Kompozitlerinin UV Işını Maruziyetinde Mekanik, Reolojik ve Morfolojik Özellikleri” konulu TÜBİTAK projesinde görev almıştır.

EKLER

Ek-A: POLITEM RUGOPA® M60 100 NC00 malzemenin özellikleri [48].

Tablo Ek-A.1: POLITEM RUGOPA® M60 100 NC00 malzemenin genel özellikleri.

POLITEM RUGOPA® M60 100 NC00				
Test	Şartlar	Değer	Birim	Test Metodu
Yoğunluk	-	1,13	g/cm ³	ISO 1183
VN-Viskozite	%0,5(m/v) in %96 (m/m) H2SO4	135 - 155	ml/g	ISO 307
Su İçindeki Doygunluk	23 °C	8,5	%	ISO 62
Denge Nemi	50% RH, 23 °C	2,8	%	ISO 62

Tablo Ek-A.2: POLITEM RUGOPA® M60 100 NC00 malzemenin mekanik özellikleri.

POLITEM RUGOPA® M60 100 NC00				
Test	Şartlar	Değer	Birim	Test Metodu
Çekme Modülü	23 °C	3200	MPa	ISO 527-2
Kopmadaki Çekme Mukavemeti	23 °C	80	MPa	ISO 527-2
Akmadaki Çekme Mukavemeti	23 °C	75	MPa	ISO 527-2
Kopmadaki Uzama	23 °C	> 50	%	ISO 527-2
Akmadaki Uzama	23 °C	5	%	ISO 527-2
Eğme Modülü	23 °C	2500	MPa	ISO 178
Eğme Mukavemeti	23 °C	95	MPa	ISO 178
Darbe Mukavemeti, Çentikli (Charpy)	23 °C	8	kJ/m ²	ISO 179
Darbe Mukavemeti, Çentikli (Charpy)	- 30 °C	7	kJ/m ²	ISO 179
Darbe Mukavemeti, Çentikli (Izod)	23 °C	6	kJ/m ²	ISO 180/A
Darbe Mukavemeti, Çentikli (Izod)	- 30 °C	5	kJ/m ²	ISO 180/A

Tablo Ek-A.3: POLITEM RUGOPA® M60 100 NC00 malzemenin termal özellikleri.

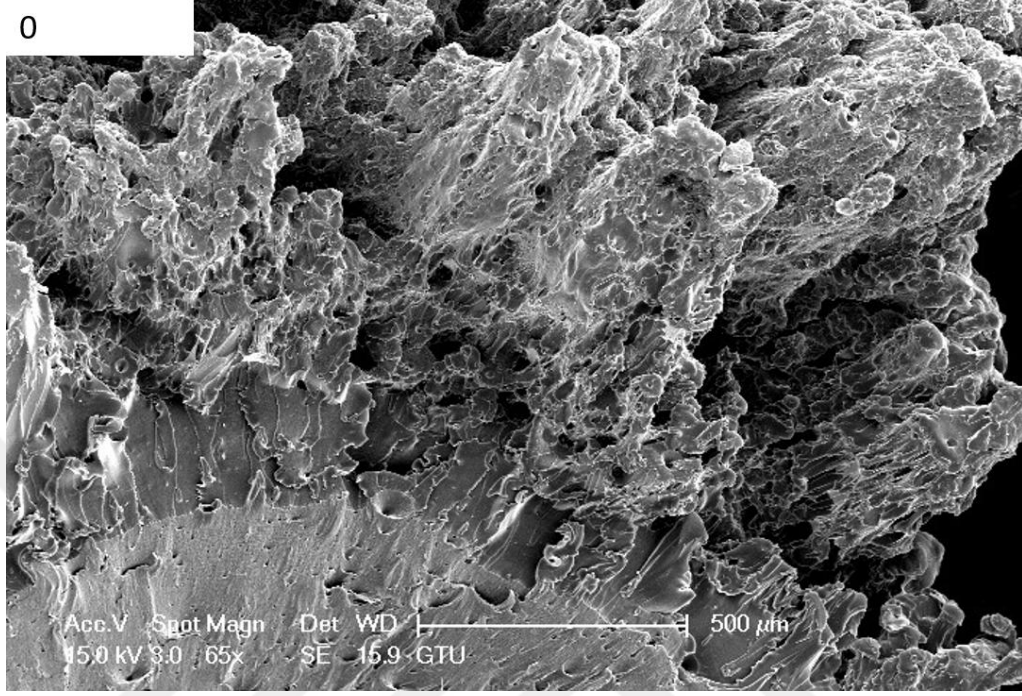
POLITEM RUGOPA® M60 100 NC00				
Test	Şartlar	Değer	Birim	Test Metodu
Yük Altında Yumuşama Sıcaklığı	50 N - 50 °C/h	195	°C	ISO 306
Yük Altında Deformasyon Sıcaklığı	1,80 MPa	65	°C	ISO 75-2
Yük Altında Deformasyon Sıcaklığı	0,45 MPa	170	°C	ISO 75-2

Tablo Ek-A.4: POLITEM RUGOPA® M60 100 NC00 malzemenin işleme özellikleri.

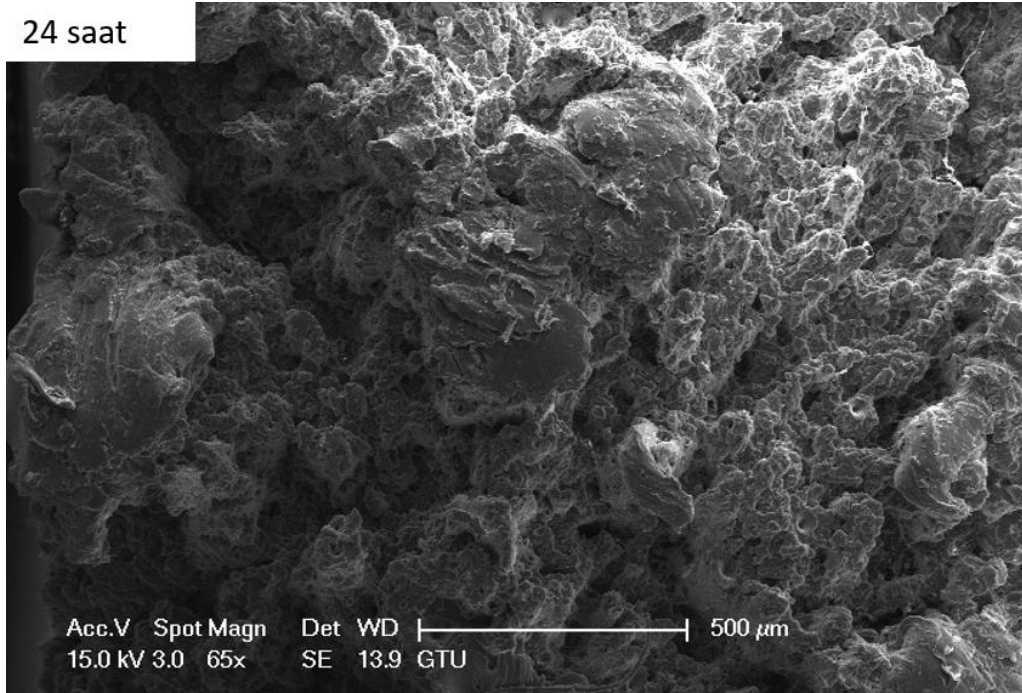
POLITEM RUGOPA® M60 100 NC00				
Test	Şartlar	Değer	Birim	Test Metodu
Erime Sıcaklığı	-	220	°C	ISO 11357-1/-3
Erime Sıcaklığı, üretim için	-	220 - 240	°C	-
Silindir Ayarları	-	230 - 260	°C	-
Kalıp Sıcaklığı	-	40 - 80	°C	-
Kalıp Çekmesi (Paralel)	2 mm	1,2	%	ISO 294-4
Kalıp Çekmesi (Normal)	4 mm	1,2	%	ISO 294-4

Ek-B: PA6, PA6+AF, PA6+AÇ ve PA6+C Kompozitlerinin Çekme Testleri Sonrasında Kopan Yüzey Morfolojisi

a1)

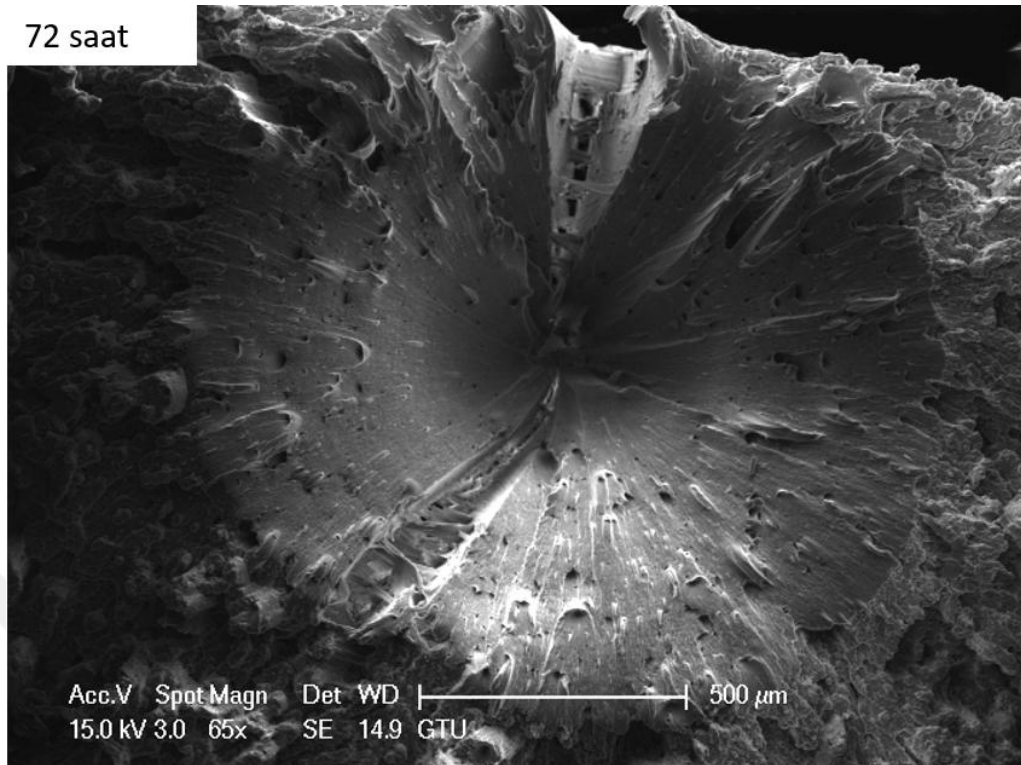


a2)



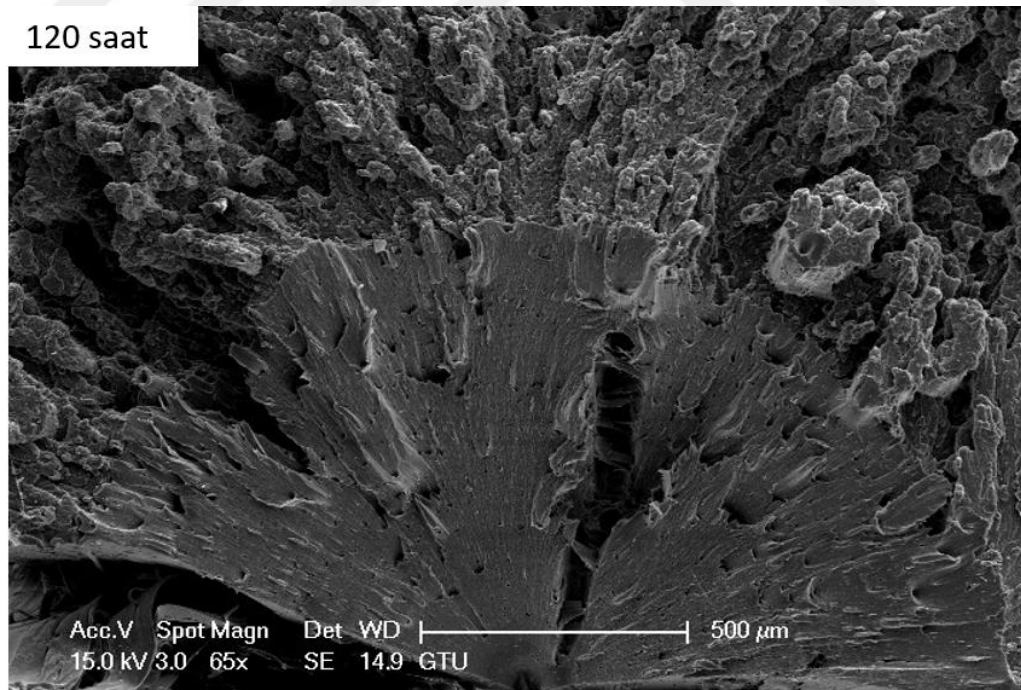
a3)

72 saat



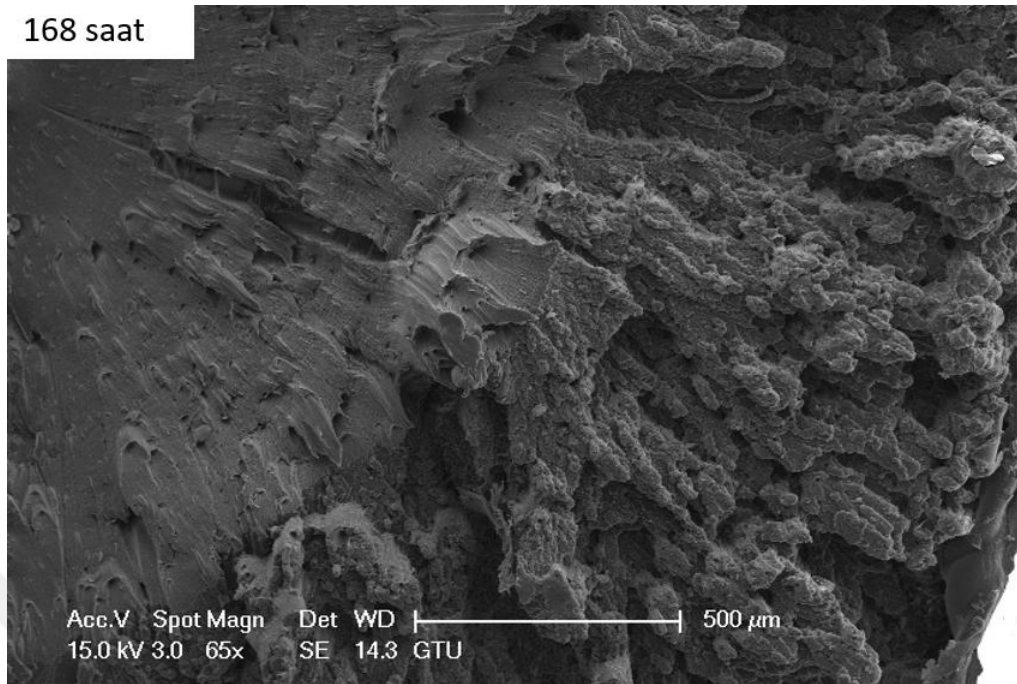
a4)

120 saat



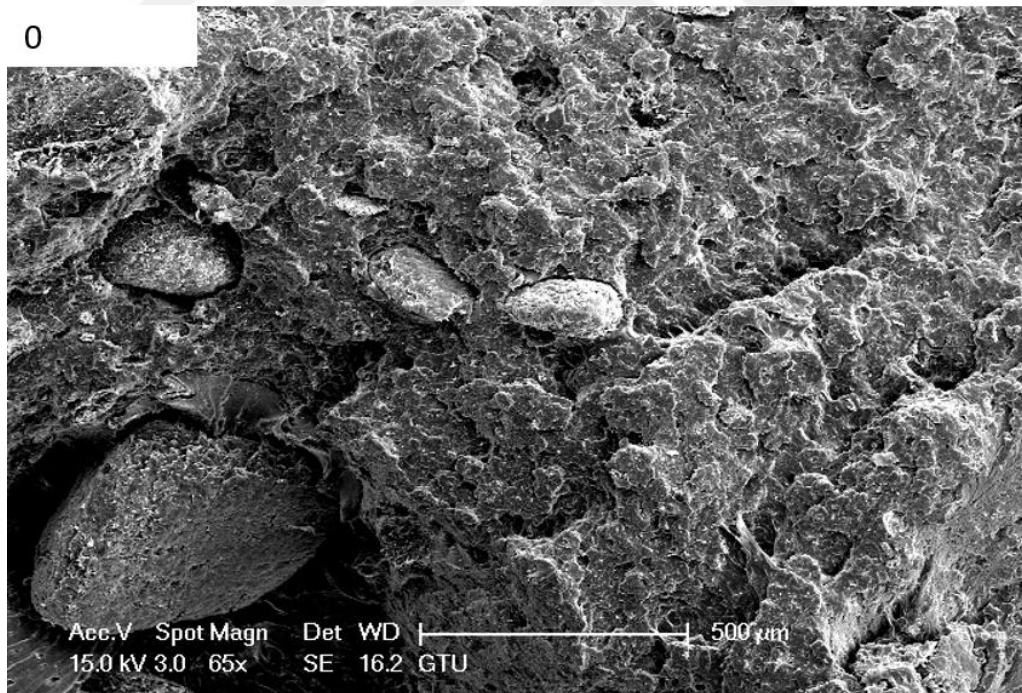
a5)

168 saat



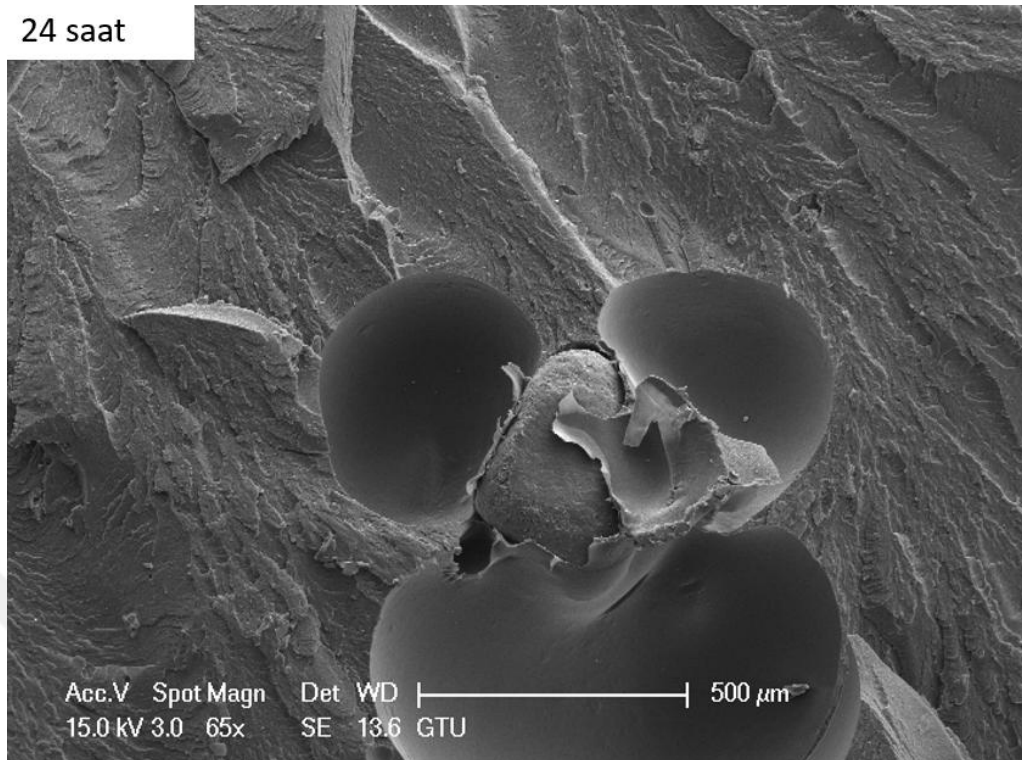
b1)

0



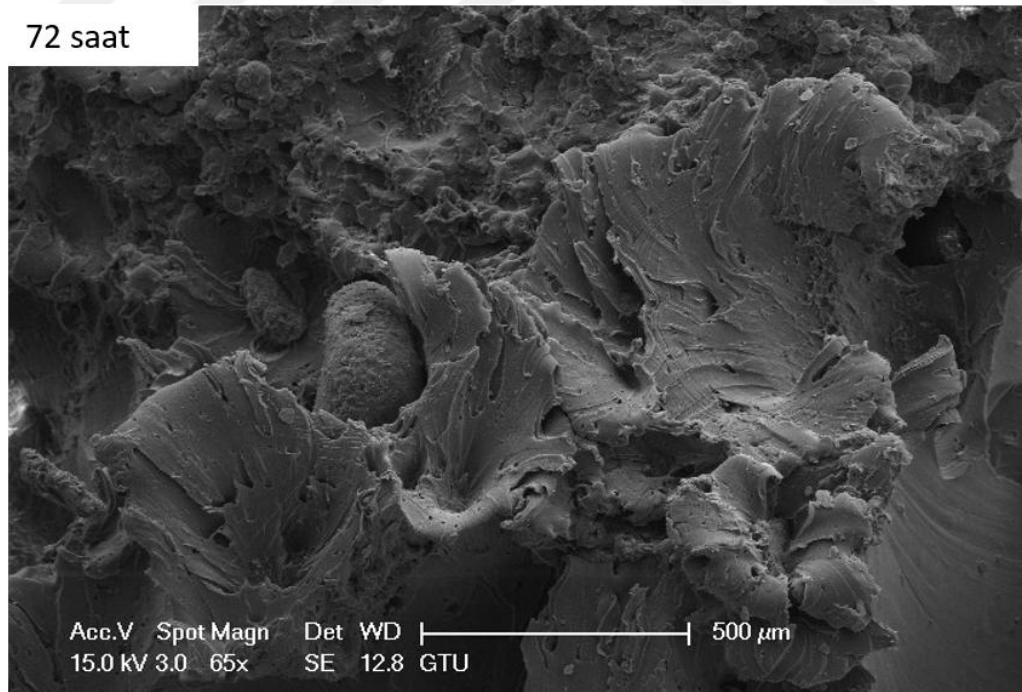
b2)

24 saat



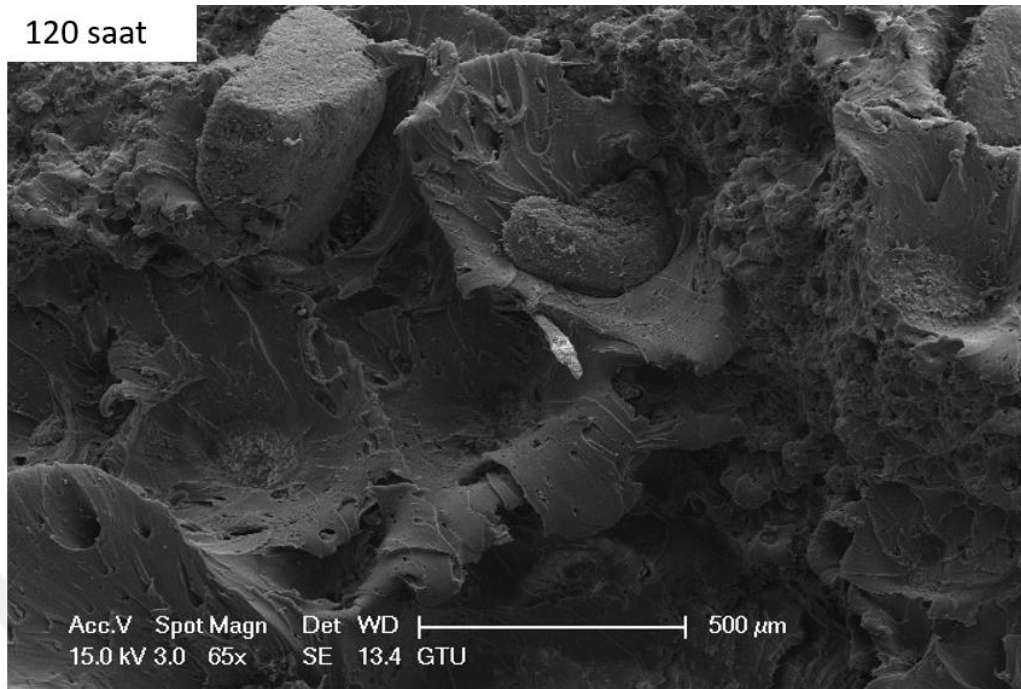
b3)

72 saat



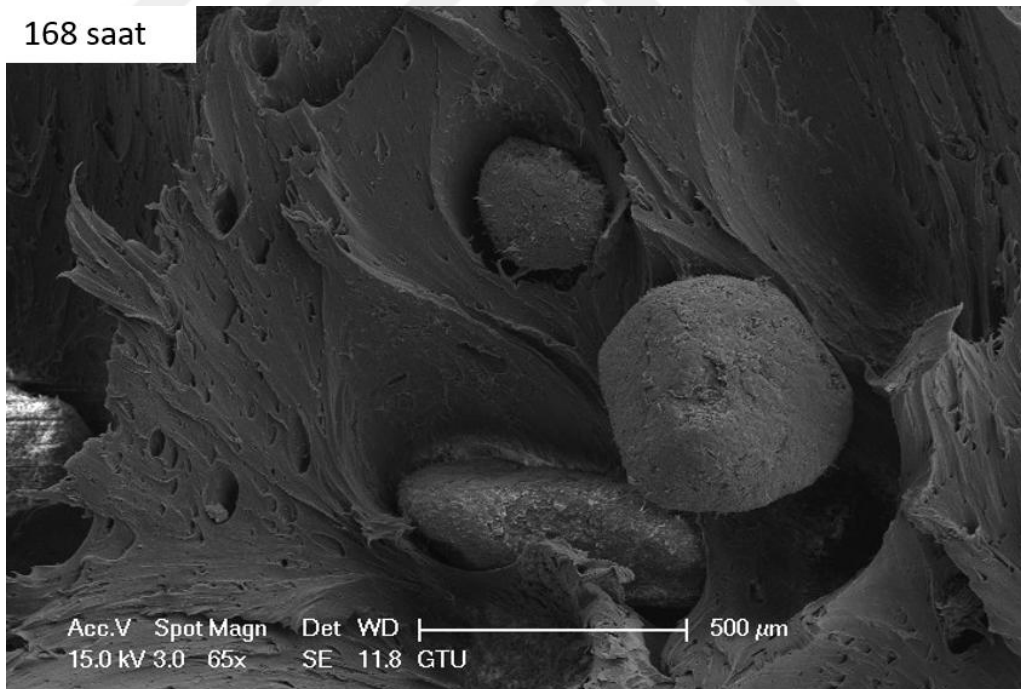
b4)

120 saat



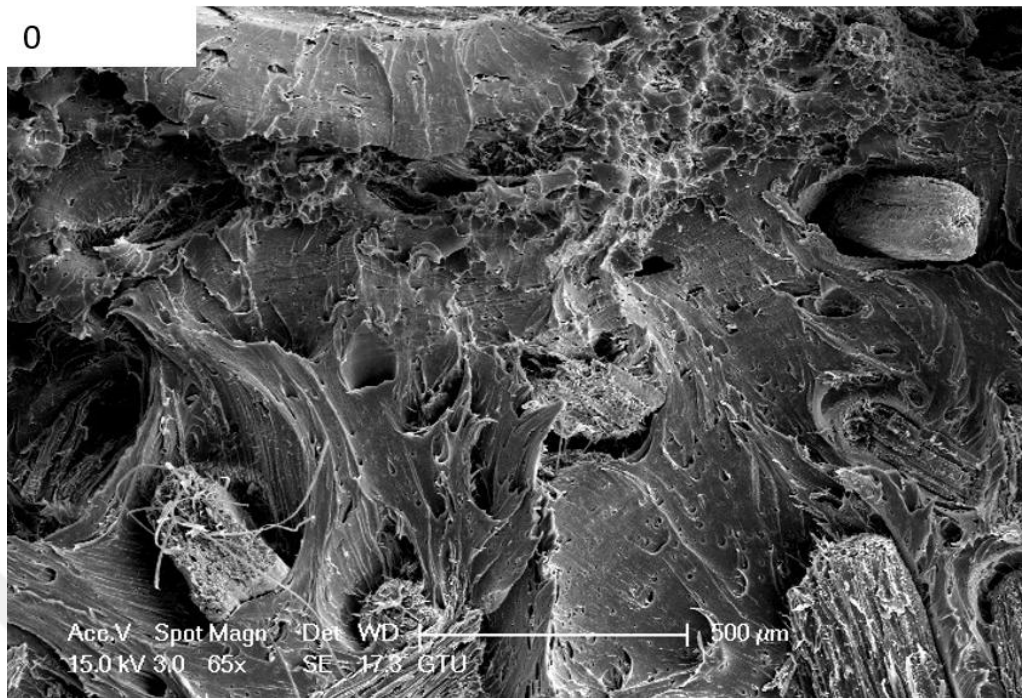
b5)

168 saat



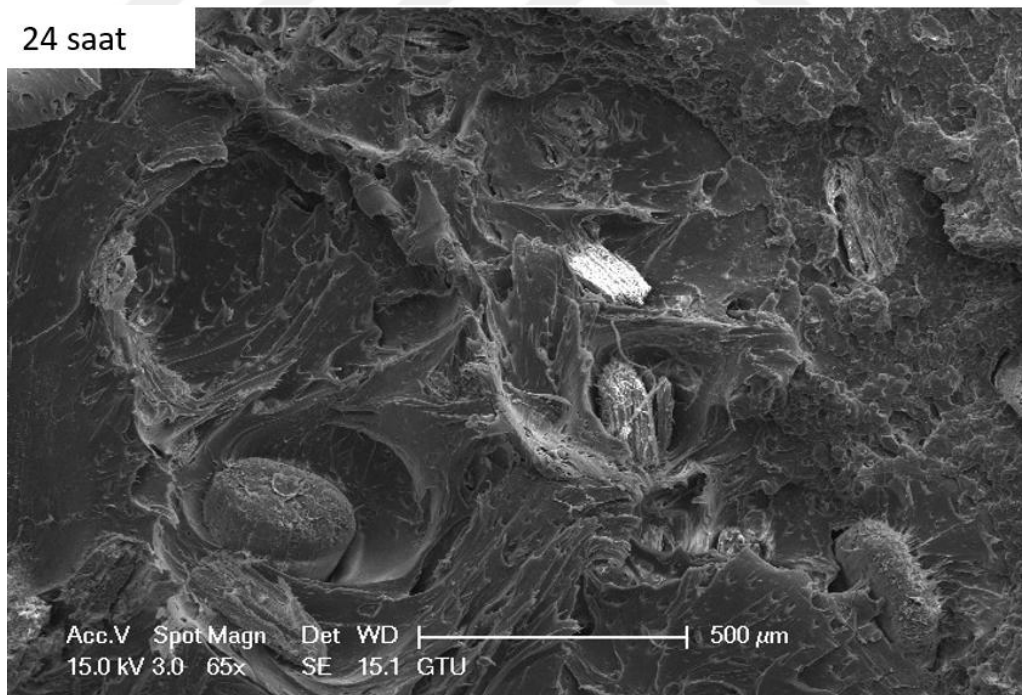
c1)

0



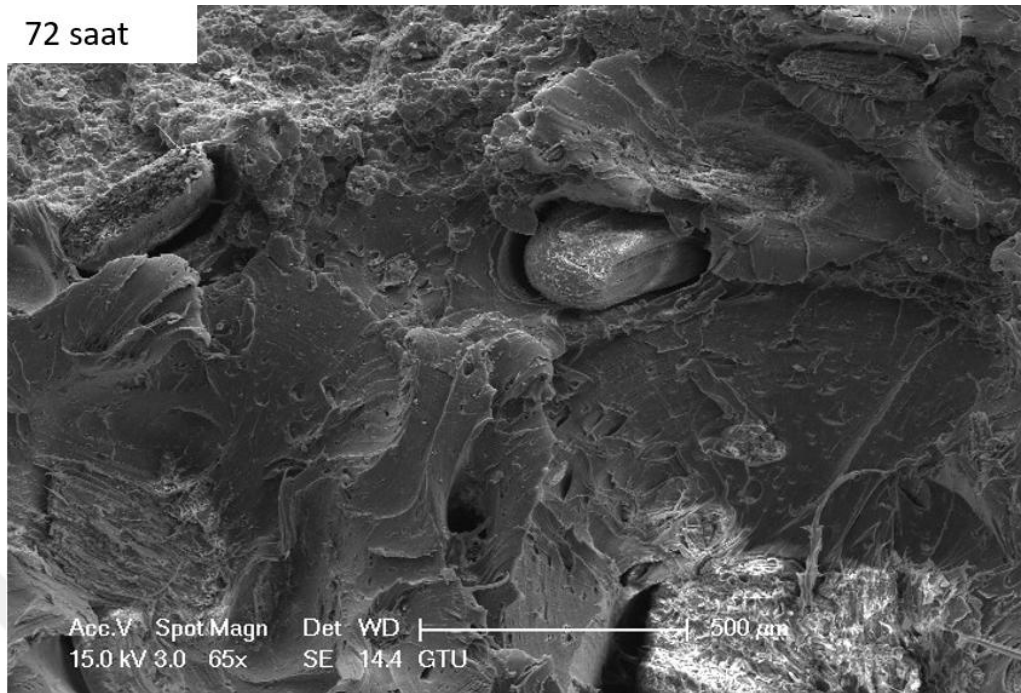
c2)

24 saat



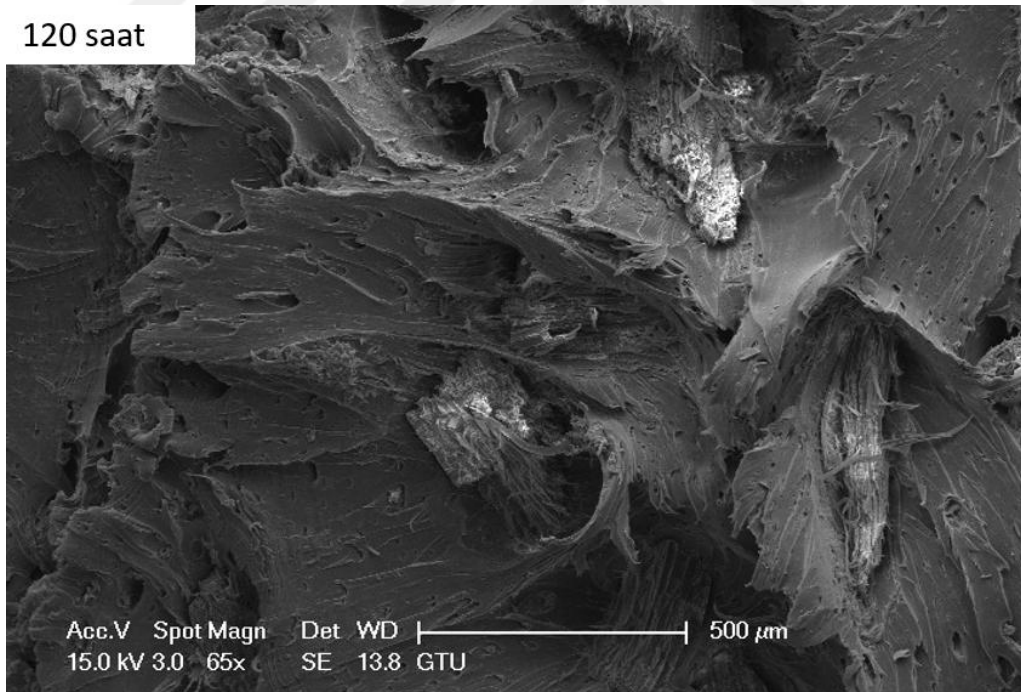
c3)

72 saat



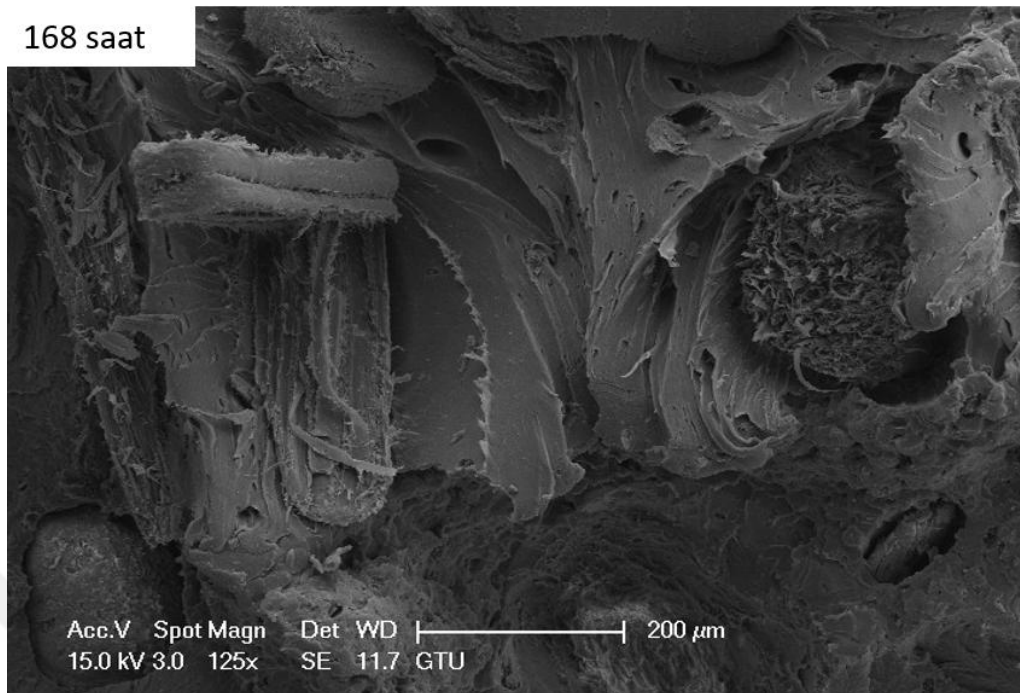
c4)

120 saat



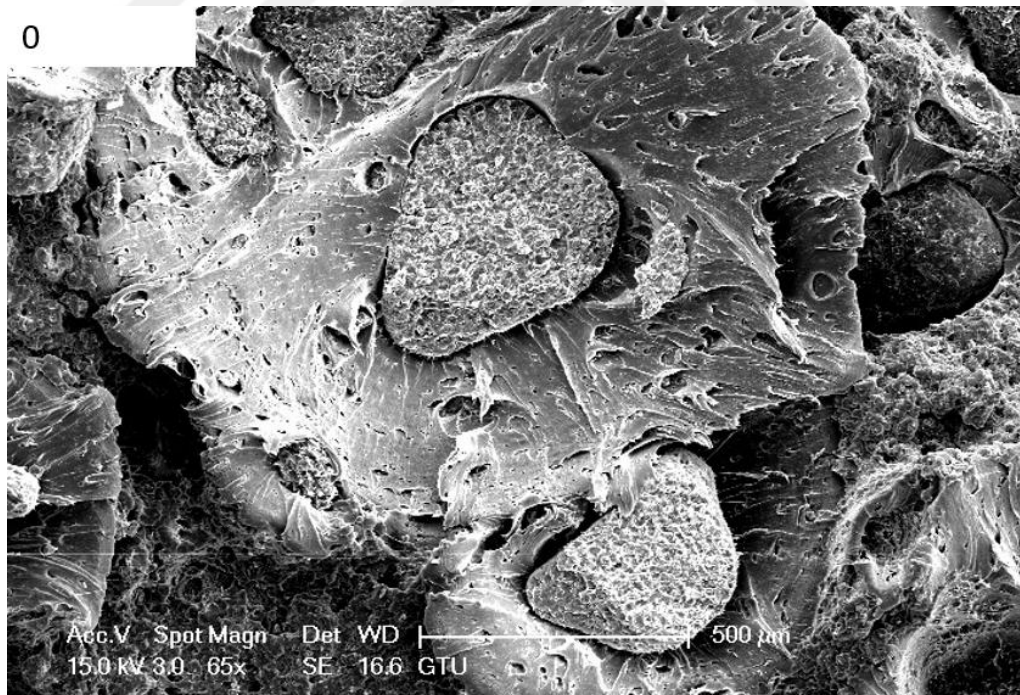
c5)

168 saat



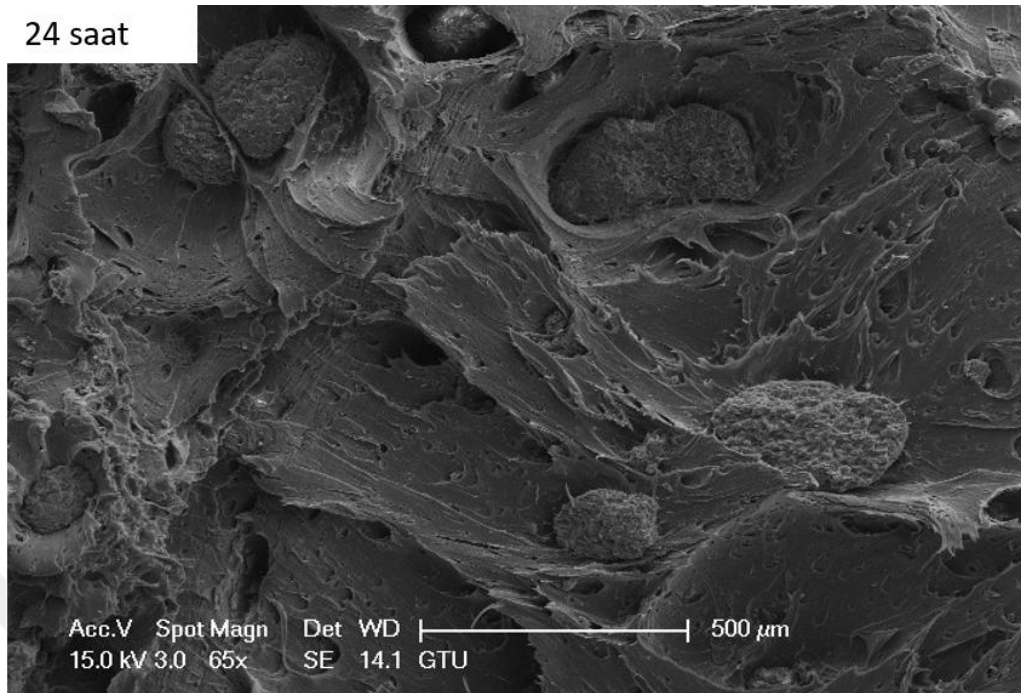
d1)

0



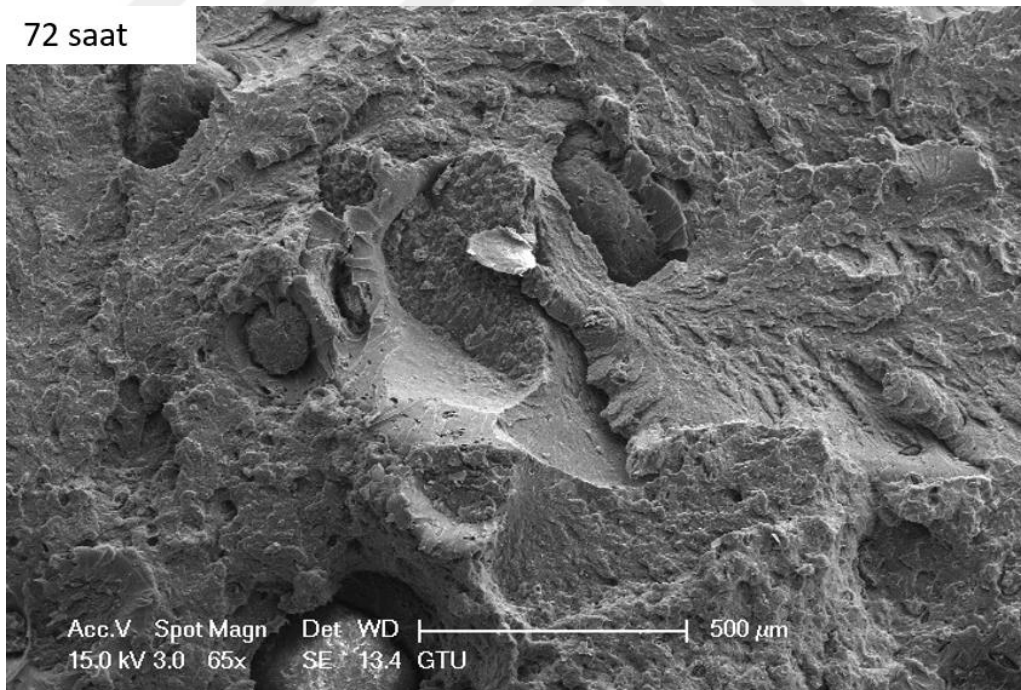
d2)

24 saat



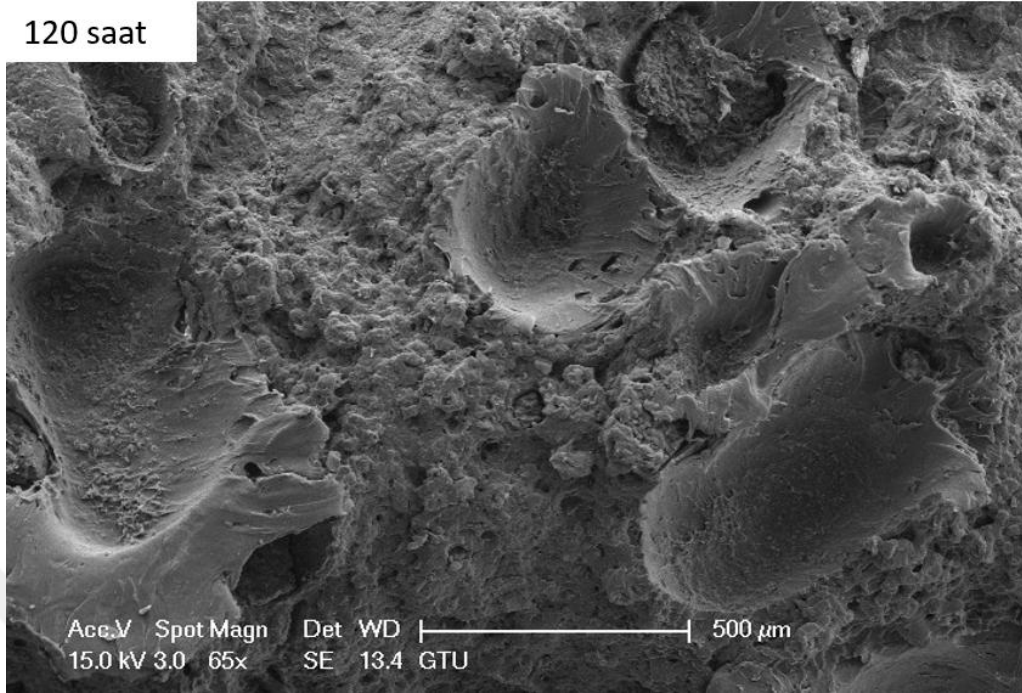
d3)

72 saat



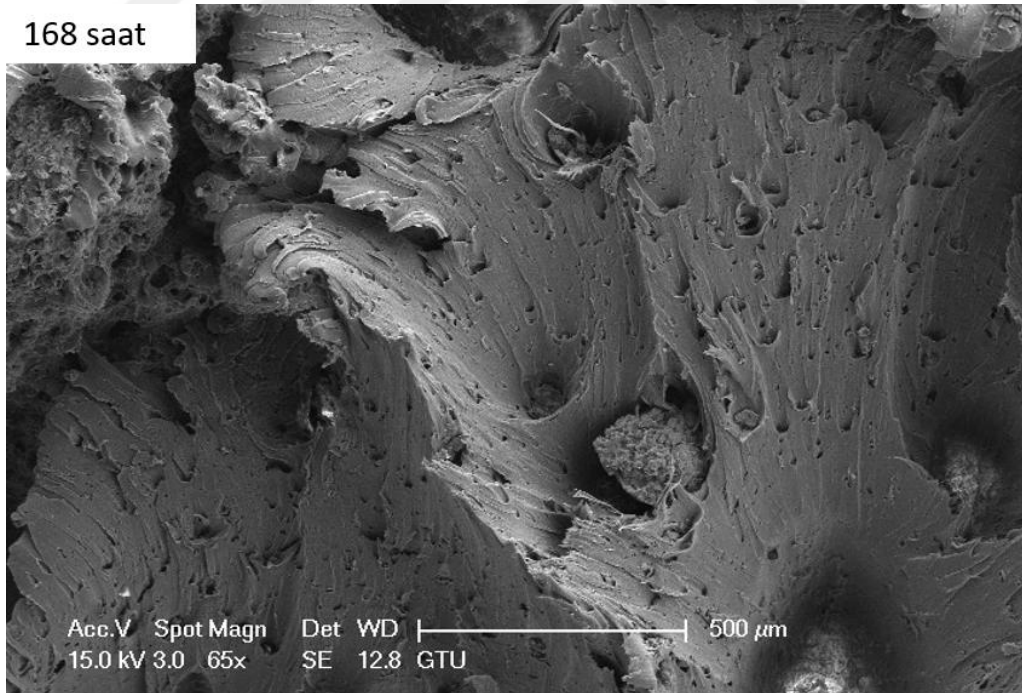
d4)

120 saat



d5)

168 saat



Şekil Ek-B: UV yaşlandırma süresinin bir fonksiyonu olarak (a1, a2, a3, a4, a5) PA6, (b1, b2, b3, b4, b5) PA6+AF, (c1, c2, c3, c4, c5) PA6+AÇ ve (d1, d2, d3, d4, d5) PA6+C için SEM görüntüleri.