

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**NADİR TOPRAK ELEMENTLERİ VE KARBON ELYAF TOZU İLE
GELİŞTİRİLEN DOLGU MADDELERİNİN POLİPROPİLENİN MEKANİK,
TERMAL VE MORFOLOJİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

Serhat GÜRAY

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

I. DANIŞMAN
Doç. Dr. Akar DOĞAN

II. DANIŞMAN
Doç. Dr. Yılmaz KISMET

TUNCELİ-2025

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**NADİR TOPRAK ELEMENTLERİ VE KARBON ELYAF TOZU İLE
GELİŞTİRİLEN DOLGU MADDELERİNİN POLİPROPİLENİN MEKANİK,
TERMAL VE MORFOLOJİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

Serhat GÜRAY
(220077120)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

I. DANIŞMAN
Doç. Dr. Akar DOĞAN

II. DANIŞMAN
Doç. Dr. Yılmaz KİSMET

TUNCELİ-2025

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**NADİR TOPRAK ELEMENTLERİ VE KARBON ELYAF TOZU İLE
GELİŞTİRİLEN DOLGU MADDELERİNİN POLİPROPİLENİN MEKANİK,
TERMAL VE MORFOLOJİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

Serhat GÜRAY
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez, 06.01.2025 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

İmza

Prof. Dr. Mustafa ÖZEN
(Harran Üniversitesi)

BAŞKAN

İmza

Doç. Dr. Volkan ARIKAN
(Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi)

ÜYE

İmza

Doç. Dr. Akar DOĞAN
(Munzur Üniversitesi)

I. DANIŞMAN

İmza

Doç. Dr. Yılmaz KISMET
(Munzur Üniversitesi)

II. DANIŞMAN

İmza

Dr. Öğr. Üyesi Aybars MAHMAT
(Munzur Üniversitesi)

ÜYE

Bu Tez, Enstitümüz Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda hazırlanmıştır.

Prof. Dr. Altuğ KAZAR
Enstitü Müdürü

NOT: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı “Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu”ndaki hükümlere tabidir.

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tez çalışmasının bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Serhat GÜRAY

Danışman
Doç. Dr. Akar DOĞAN

TEŐEKKÖR

Bu çalıřmamın yűrűtmesi esnasında desteęini esirgemeyen, gűsterdięi sabır ve emekleri için deęerli danıřmanım Doç. Dr. Akar DOęAN'a yardımlarından dolayı deęerli ikinci danıřmanım Doç. Dr. Yılmaz KİSMET'e katkılarından dolayı Munzur Ŭniversitesi Makine Műhendislięi Ana Bilim Dalı'na ve Hamburg Teknik Ŭniversitesi Polimer ve Kompozit Enstitűsű'ne her tűrlű maddi ve manevi desteęi esirgemeyen deęerli aileme teőekkűr ederim.

Serhat GŬRAY
TUNCELİ-2025

İÇİNDEKİLER

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	I
TEŞEKKÜR	II
İÇİNDEKİLER	III
ŞEKİLLER LİSTESİ	IV
TABLolar LİSTESİ	V
RESİMLER LİSTESİ	VI
SEMBOLLER LİSTESİ	VII
KISALTMALAR LİSTESİ	VIII
ÖZET	IX
ABSTRACT	X
1. GİRİŞ	1
2. KOMPOZİT MALZEMELER	3
2.1. Polimer Matrisler	4
2.1.1. Termoplastik matrisler	5
2.1.2. Termoset matrisler	6
2.1.3. Elastomerler	6
2.2. Takviye Malzemeleri	7
2.3. Dolgu Malzemeleri	7
3. LİTERATÜR TARAMASI	9
4. KAPSAM VE AMAÇ	14
5. MALZEME VE YÖNTEM	16
5.1. Malzeme Üretimi	16
5.2. Malzeme Karakterizasyonu	20
5.2.1. Çekme testi	21
5.2.2. Üç-nokta eğilme testi	21
5.2.3. Charpy darbe dayanımı	22
5.2.4. Termogravimetrik analiz yöntemi (TGA)	23
5.2.5. Taramalı elektron mikroskopu (SEM) – (EDS) analizi	24
5.2.6. Diferansiyel tarama kalorimetresi (DSC) analizi	24
6. BULGULAR	25
6.1. Eriyik Akış İndeksi (MFI) Test Sonuçları	25
6.2. Çekme Testi Sonuçları	28
6.3. Üç Nokta Eğilme Testi Sonuçları	35
6.4. Charpy Darbe Testi Sonuçları	38
6.5. Termogravimetrik Analiz (TGA) Sonuçları	39
6.6. SEM-EDS Analizi	41
6.7. Diferansiyel Tarama Kalorimetresi (DSC) Analizi	44
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	47
8. KAYNAKLAR	49
EKLER	54

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Polimer matrisli bir kompozit malzemeyi oluşturan ana bileşenler	4
Şekil 2.2. Polimer matrisli kompozitlerde kullanılan takviye malzemeleri	7
Şekil 5.1. TİP 1A DIN ISO 527 standartlarına göre numune boyutları (mm)	20
Şekil 6.1. Saf PP ve farklı oranlarda A-1 dolgu malzemesinin (%15 KET+AYPE) MFI ve yoğunluk değişimleri	26
Şekil 6.2. Saf PP ve farklı oranlarda A-2 dolgu malzemesinin (%15 KET+%1 Lantan Oksit+AYPE) MFI ve yoğunluk değişimleri	27
Şekil 6.3. Saf PP ve farklı oranlarda A-3 dolgu malzemesinin (%15 KET+%1 Seryum Oksit+AYPE) MFI ve yoğunluk değişimleri	28
Şekil 6.4. Ağırlıkça farklı oranlarda A-1 dolgu malzemesi takviyeli PP kompozit malzemelerinin çekme kuvvet-uzama eğrileri	29
Şekil 6.5. Ağırlıkça farklı oranlarda A-2 dolgu malzemesi takviyeli PP kompozit malzemelerini çekme kuvvet-uzama eğrileri	30
Şekil 6.6. Ağırlıkça farklı oranlarda A-3 dolgu malzemesi takviyeli PP kompozit malzemelerinin çekme kuvvet-uzama eğrileri	31
Şekil 6.7. Numunelerin çekme mukavemeti değerlerinin ortalaması ve standart sapmaları	32
Şekil 6.8. Numunelerin elastisite modülü değerlerinin ortalaması ve standart sapmaları	33
Şekil 6.9. Ağırlıkça farklı oranlarda A-1 dolgu malzemesi takviyeli PP kompozit malzemelerinin üç nokta eğilme kuvvet-uzama eğrileri	35
Şekil 6.10. Ağırlıkça farklı oranlarda A-2 dolgu malzemesi takviyeli PP kompozit malzemelerinin üç nokta eğilme kuvvet-uzama eğrileri	36
Şekil 6.11. Ağırlıkça farklı oranlarda A-3 dolgu malzemesi takviyeli PP kompozit malzemelerinin üç nokta eğilme kuvvet-uzama eğrileri	37
Şekil 6.12. Numunelerin eğilme mukavemeti değerlerinin ortalaması ve standart sapmaları ..	38
Şekil 6.13. NM3 numunesine ait TGA eğrisi	40
Şekil 6.14. NM6 numunesine ait TGA eğrisi	40
Şekil 6.15. NM9 numunesine ait TGA eğrisi	41
Şekil 6.16. Çekme testi sonrası NM1 numunesine ait hasarlı kesitin SEM görüntüsü	42
Şekil 6.17. Çekme testi sonrası NM4 numunesine ait hasarlı kesitin SEM görüntüsü	42
Şekil 6.18. Çekme testi sonrası NM7 numunesine ait hasarlı kesitin SEM görüntüsü	43
Şekil 6.19. Çekme testi sonrası NM1 numunesine ait hasarlı kesitin EDS görüntüsü	43
Şekil 6.20. Çekme testi sonrası NM4 numunesine ait hasarlı kesitin EDS görüntüsü	44
EK Şekil 1. NM3, NM6, NM9 numunelerine ait TGA eğrileri	54

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 5.1. Hazırlanan Dolgu malzemelerini ağırlıkça oranları.....	16
Tablo 5.2. Üretilen kompozit malzemelerin içeriği (ağırlıkça %)	18
Tablo 5.3. Ekstrüzyon makinesi bölge sıcaklıkları ve vida devri, dolgu maddesi (DM).....	19
Tablo 6.1. Saf PP ve A-1, A-2 VE A-3 dolgu malzemesinin ağırlıkça farklı oranları ile MFI ve yoğunluk değerlerinin değişimi	25
Tablo 6.2. Numunelerin çekme testi sonuçları.....	34
Tablo 6.3. Charpy darbe test sonuçları.....	39



RESİMLER LİSTESİ

Resim 5.1. JPT EQUIPMANT marka XRL-400A model” Melt Flow Index eriyik akış cihazı.	17
Resim 5.2. BES35 LD-tek vida ekstrüder makinası.....	18
Resim 5.3. Kırıcı makine ile elde edilen granüller	19
Resim 5.4. Ekin 100 plastik enjeksiyon makinesi.....	20
Resim 5.5. Shimadzu AG-IC ile gerçekleştirilen çekme deneyi.....	21
Resim 5.6. Shimadzu AG-IC test cihazı ile gerçekleştirilen üç nokta eğilme deneyi.....	22
Resim 5.7. Inston Wolpert P30 Charpy darbe cihazı	23
EK Resim 1. NM1 numunesine ait SEM görüntüsü	55
EK Resim 2. NM4 numunesine ait SEM görüntüsü	55
EK Resim 3. NM7 numunesine ait SEM görüntüsü	56

SEMBOLLER LİSTESİ

°C	:Santigrat Derece
J	:Joule
g	:Gram
K	:Kelvin
dak	:Dakika
kj	:Kilojoule
m ²	:Metrekare
cm ³	:Santimetreküp



KISALTMALAR LİSTESİ

DTA	:Diferansiyel Termal Analiz
TGA	:Termogravimetrik analiz
SEM	:Elektron Taramalı Mikroskop
SEM	:Enerji Dağıtıcı Spektroskopi
XRD	:X-Işını Difraktometresi
mm	:Milimetre
KET	:Karbon Elyaf Tozu
NTE	:Nadir Toprak Elementi
AYPE	:Alçak Yoğunluklu Polietilen
PP	:Polipropilen
kg	:Kilogram
MFI	:Erime Akış İndeksi
DM	:Dolgu Maddesi
TGA	:Termogravimetrik Analiz
DSC	:Diferansiyel Tarama Kalorimetresi
SEM	:Taramalı Elektron Mikroskobu
EDS	:Enerji Dağılım Spektroskopisi
MPa	:Mega Pascal

ÖZET

Bu çalışmada, termoplastikler bir polimer olan polipropilenin mekanik, termal ve morfolojik özelliklerine karbon elyaf tozu ve nadir toprak elementlerinden lantan oksit ve seryum oksit ile hazırlanmış dolgu maddelerinin etkisi incelenmiştir. Lantan oksit ve seryum oksit suda ayrı ayrı çözüldükten sonra bu çözeltilere karbon elyaf tozu ilave edildi. Çözeltiler içerisindeki su buharlaşana kadar 90 ila 100 oC arasında manyetik karıştırıcıda karıştırılarak bekletildi. Daha sonra alçak yoğunluklu polietilen çözeltilisine eklenen bu karışım yeni bir form alacak şekilde hazırlandı. Hazırlanan dolgu malzemeleri kurutulduktan sonra ve bir öğütücü makinesinde partikül haline getirildi. Öğütülen partiküller ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranlarında polipropilen ile karıştırılarak eriyik akış analizi yapıldı. Daha sonra PP ve üretilen dolgu malzemeleri yine ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranlarında önce mekanik olarak daha sonra da ekstrüzyonda homojen olarak karıştırıldı. Ekstrüzyondan çıkan şerit malzeme su içinden geçirilerek soğutuldu ve kırıcıda 2 ila 3 mm büyüklüğünde granüller haline getirildi. Elde edilen granüller plastik enjeksiyon makinasında basılarak standart test numuneleri elde edildi. Üretilen bu kompozit test numuneleri ile çekme, eğilme ve Charpy darbe analizleri yapıldı. Ayrıca kompozit malzemelerin termal özelliklerindeki değişimi incelemek için termogravimetrik analiz (TGA) ve diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizleri yapıldı. Bunlara ek olarak, dolgu malzemesi ve matris malzemenin bağlanma mekanizmalarının belirlenmesi için elektron mikroskobu ile kesit görüntüleri incelendi. Yapılan çekme testi sonuçlarında dolgu malzemesi artışı ile kompozit malzemelerin çekme mukavemetlerinde düşüş gözlenmiştir. Saf PP numunelerinin çekme mukavemeti ortalama 31,23 MPa iken ağırlıkça %10 karbon elyaf tozu takviyeli seryum içerikli (NM7) numunelerin çekme mukavemeti 32,05 MPa olarak bulunmuştur. NM7 numaralı kompozit malzemenin hem çekme hem de üç-nokta eğilme mukavemetleri saf PP ye göre yüksek çıkan tek malzeme olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Polietilen, Polipropilen, Lantan, Seryum, Termal ve Mekanik Özellik, Plastik enjeksiyon, Ekstrüzyon, Eriyik Akış Analizi

ABSTRACT

Effect of Fillers Developed with Rare Earth Elements and Carbon Fiber Powder on Mechanical, Thermal and Morphological Properties of Polypropylene

In this study, the effects of fillers prepared with carbon fiber powder and the rare earth elements lanthanum oxide and cerium oxide on the mechanical, thermal, and morphological properties of polypropylene, a thermoplastic polymer, were investigated. Lanthanum oxide and cerium oxide were separately dissolved in water, and carbon fiber powder was added to these solutions. The solutions were stirred on a magnetic stirrer at 90 to 100°C until the water in the solutions evaporated. This mixture was then added to a low-density polyethylene solution, forming a new composition. After drying, the prepared filler materials were ground into particles using a milling machine. The ground particles were then mixed with polypropylene at weight ratios of 10%, 20%, and 30%, and a melt flow analysis was performed. Subsequently, the PP and the produced filler materials were mechanically mixed at weight ratios of 10%, 20%, and 30% and then homogeneously blended in an extruder. The extruded strip material was cooled by passing through water and then crushed into granules of 2 to 3 mm in size. The obtained granules were molded into standard test specimens using an injection molding machine. Tensile, bending, and Charpy impact tests were conducted on the produced composite test specimens. Additionally, thermogravimetric analysis (TGA) and differential scanning calorimetry (DSC) analyses were performed to examine the changes in the thermal properties of the composite materials. Furthermore, scanning electron microscopy was used to investigate the bonding mechanisms between the filler material and the matrix material. Tensile test results showed that increasing the filler content led to a decrease in the tensile strength of the composite materials. While the tensile strength of pure PP samples was found to be an average of 31.23 MPa, the tensile strength of NM7 samples, which contained 10% carbon fiber powder reinforced with cerium, was determined to be 32.05 MPa. It was found that the NM7 composite material was the only material with higher tensile and three-point bending strength compared to pure PP.

Key words: Polyethylene, Polypropylene, Lanthanum, Cerium, Thermal and Mechanical Properties, Plastic injection, Extrusion, Melt Flow Analysis

1. GİRİŞ

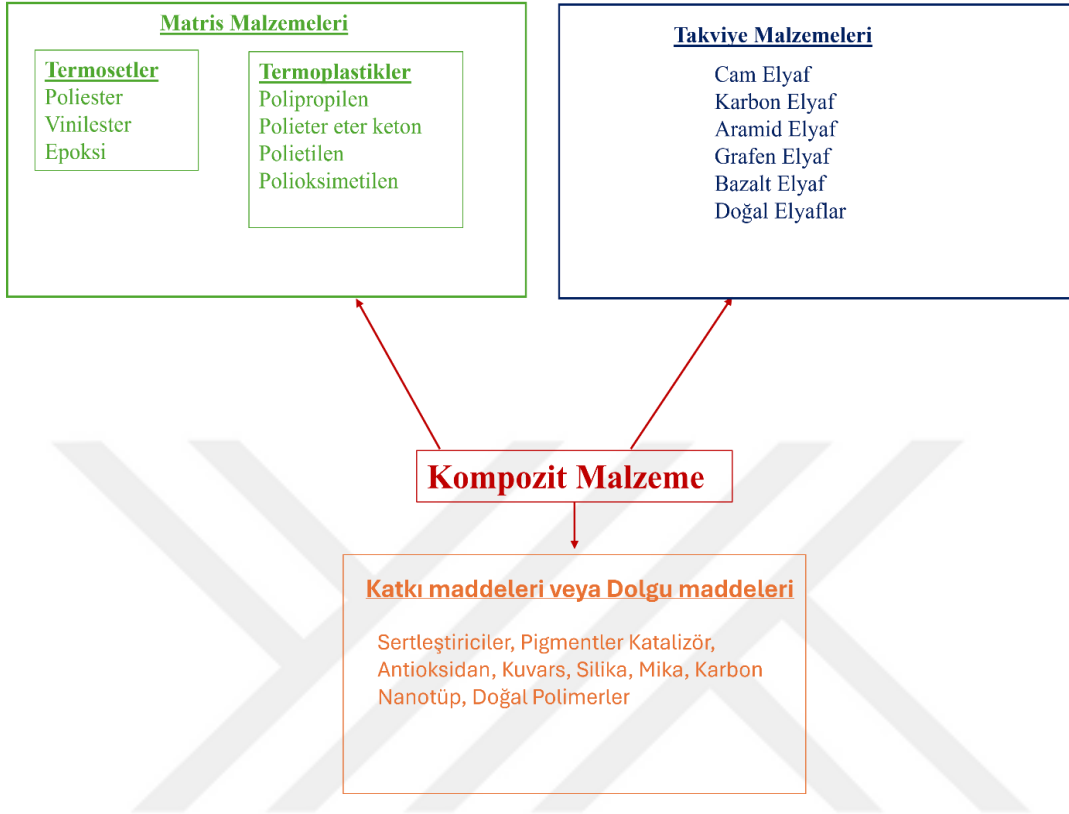
İmalat endüstrilerindeki hızlı büyüme, malzemelerin mukavemet, sertlik, yoğunluk ve daha düşük maliyet ile daha iyi sürdürülebilirlik açısından iyileştirilmesi ihtiyacını doğurmuştur. Kompozit malzemeler, çeşitli uygulamalardaki bu ihtiyaçlardan dolayı malzemelerin özelliklerinde iyileştirme amacıyla ortaya çıkmıştır (Rajak ve ark., 2019). Kompozit malzemeler, yüksek mukavemet/ağırlık oranları nedeniyle son yıllarda otomotiv ve havacılık endüstrilerinde sıklıkla kullanılmaktadır (Doğan ve Güneş, 2024). Formülasyon kavramı, çeşitli hammaddeleri karıştırarak ara ürün veya bitmiş ürün geliştiren tüm endüstrileri ilgilendirdiği için çok geniştir. Özellikle makine mühendisliği, havacılık, otomotiv endüstrileri gibi geniş bir potansiyel uygulama yelpazesi için karbon elyaf, yüksek özgül mukavemet ve sertlik, ağırlık oranına göre performans, yüksek termal kararlılık, yüksek iletkenlik, kendi kendini yağlama ve korozyon direnci gibi mükemmel özellikleri nedeniyle öncelikle kompozit malzeme kullanımı için tercih edilmektedir (Sharma ve ark, 2014) Daha açık bir ifadeyle, formülasyon, kullanım işlevi ve önceden belirlenmiş bir spesifikasyonu karşılama kabiliyeti ile karakterize edilen ticari bir ürün elde etmek amacıyla, genellikle birbiriyle uyumsuz olan doğal veya sentetik kökenli bileşenleri karıştırırken, birleştirirken veya şekillendirirken uygulanan tüm bilgi ve işlemler olarak tanımlanabilir (Hsissou ve ark., 2021). Kompozit malzeme, iki veya daha fazla malzemenin makroskobik ölçülerde bir araya getirilmesi ile meydana gelen yeni malzeme olarak tanımlanabilir. Nihai ürün, kendisini oluşturan malzemelerin her birinin özelliklerinden daha üstün özelliklere sahiptir. Kompozit malzemeler artık yaygın olarak bir matris içine gömülmüş takviye malzemeleri (dolgu maddeleri olarak da adlandırılır) olarak adlandırılmaktadır (Khalil ve ark., 2013; Zagho ve ark., 2018). Son yıllarda yapılan araştırmalar, fiber takviyeli kompozit malzemenin yapısal, mekanik ve tribolojik özelliklerinde önemli bir iyileşme olduğu için kompozit malzemeler birçok geleneksel malzemeye göre bir alternatif olarak hızla yükselmektedir (Scaffaro ve ark., 2018). Birden fazla elyaf türünden oluşan kompozit yapılar hibrit kompozitler olarak tanımlanmaktadır. Son araştırmalar, doğal ve sentetik elyafların kombinasyonu ile hibrit kompozitlerin geliştirilmesine katkıda bulunmaktadır. Bu elyafları birleştirmek için elyaf katmanlarının istiflenmesini, elyafların birbirine karışmasını, iki tür elyafın aynı katmanda karıştırılarak etkileşimli hibrit hale getirilmesini, elyafın daha yüksek kuvvet taşıması için

ihitiyaç duyulan yere seçici olarak yerleştirilmesini ve her bir elyafın belirli bir yöneline göre yerleştirilmesini içeren yöntemler vardır (Pegoretti ve ark., 2004). Bunlara ek olarak, son yıllarda, partikül takviyeli polimer matrisli kompozitlerde önemli gelişmeler olmuştur. Partikül takviyesi ile kompozit malzemenin mukavemet, sertlik ve tokluk gibi mekanik özelliklerini geliştirilirken, aynı zamanda düşük ağırlık da korunabilmektedir (Eldressi ve ark., 2024).



2. KOMPOZİT MALZEMELER

Kompozit malzemenin tanımına erişmek için, bileşenlerin doğası ve özellikleri, takviyenin geometrisi ve dağılımı ve matris-takviye arayüzünün davranışı gibi üç unsurun belirtilmesi gerekecektir. Bu nedenle kompozit malzeme, nispeten çok sayıda bileşenden oluşan bir sistemdir (Hsissou ve Elharfi, 2020). Sonuç olarak, bu temel unsurlar ışığında olası gerçekleştirmelerin sayısı pratikte sonsuzdur. Matrisin doğası, takviye türleri katkı maddeleri ve formülasyona giren bu unsurların göreceli miktarları ve uygulama süreci, bitmiş ürünün özellikleri üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir (Zindani ve Kumar, 2019). Bu nedenle, kusurları önleyecek ve istenen uygulama alanı için uygun, kendi kendini idame ettiren, dayanıklı kompozit malzeme sağlayacak optimize edilmiş teknikler uygulamak için farklı kompozit üretim tekniklerini anlamaya ve incelemeye ihtiyaç vardır. Kompozit malzemeler, ilk ortaya çıktıkları günden bu yana önemli bir evrim süreci geçirmiştir. Ancak, bu malzemelerin sürdürülebilir bir çevre hedefi doğrultusunda geleneksel malzemelere gerçek bir alternatif oluşturabilmesi için hâlâ bazı eksikliklerin giderilmesi gerekmektedir (Masuelli, 2013). Bir kompozit malzemenin üretimi için son birkaç on yıldır uygulamada olan birçok geleneksel üretim tekniği vardır ve son zamanlarda geliştirilen otomatik kompozit üretim tekniklerinden bazılarını işlemek için robotların yardımı kullanır, bu da tam otomasyona ve üretkenlikte muazzam bir artışa yol açar (Dickson ve ark., 2018) Bir kompozit malzemeyi oluşturan ana bileşenler Şekil 2.1’de gösterilen matrisler, elyaflar ve katkı maddeleri veya dolgu maddeleri olarak sıralanabilir.



Şekil 2.1. Polimer matrisli bir kompozit malzemeyi oluşturan ana bileşenler

2.1. Polimer Matrisler

Bir kompozit malzemede kullanılan polimer matrisler termoplastik, termoset ve/veya elastomer tipinde olabilir. Matrisin rolü, takviye edici elyafları bir arada tutmak, yükü dağıtmak, yapının çevresel etkilere karşı korumak ve nihai ürüne istenen şekli vermektir (Arabpour ve ark., 2020). Matris seçimi, kompozit malzemenin amaçlandığı kullanıma bağlıdır. Bir matris malzemesinin en genel anlamda görevleri, kuvvetleri elyafa iletmek, kullanılan takviye malzemesini ortamın etkisi ve darbelerden korumak, malzemenin tokluğunu artırmak, çatlak oluşmasını veya oluşan çatlağın ilerlemesini engellemektir. Polimer ve diğer matris sistemlerinin tek ve çok duvarlı nanotüplerin yanı sıra nano karbon fiberlerle güçlendirilmesinin, matris malzemelerinin fiziksel özelliklerini arttırdığı daha önce gösterilmiştir (Kumar ve ark, 2002).

2.1.1. Termoplastik matrisler

Termoplastik matrisler, ısıtıldığında yumuşar ve yeniden şekillendirilebilir, soğutulduğunda ise sertleşirler. Çoğu imalat sürecinde termoplastik matrisler ısıtılarak eritilir ve kalıplama, enjeksiyon, ekstrüzyon veya termoform ile şekillendirilir ve soğutularak istenen bitmiş ürünün şekli elde edilir. Termoplastik malzemelerde bu işlem tersine çevrilebilir. Günümüzde çok çeşitli değişik özelliklere sahip birçok termoplastik türü bulunmaktadır. Bu termoplastikler farklı üründe kullanılmak üzere oldukça esnek, cam kadar şeffaf hale getirilebilirler. Genellikle oksitlenmezler ve mükemmel termal ve elektrik yalıtkanlığına sahiptirler. Bu malzemeler hafif olmaları ve çevre etkilerine karşı dirençleri nedeniyle birçok uygulama kullanılmaktadır (Hsissou ve ark., 2021). En yaygın kullanılan termoplastik malzemeler Polipropilen (PP), Poliamid (PA, Nylon), Polietilen tereftalat (PET), Polieteterketon (PEEK), Akrilonitril bütadien stiren (ABS) olarak söylenebilir. Bu tez çalışmasında matris malzemesi olarak Polipropilen kullanılmıştır. Termoplastik bir ailesine ait olan Polipropilen, molekülleri polimerize ederek elde edilir. Birçok uygulamada, düşük üretim döngüsü, daha düşük işleme maliyeti ve termoplastiklerin geri dönüştürülebilir olmaları nedeniyle termosetlerden ziyade termoplastik matrisleri tercih etmektedir. PP, ısı bozulma sıcaklığı, şeffaflık, alev geciktirici ve boyutsal kararlılık gibi çeşitli özelliklere sahiptir (Amir ve ark, 2017).

Son yıllarda PP, olağanüstü özellikleri, maliyet etkinliği ve işleme kolaylığı nedeniyle en yaygın kullanılan ticari termoplastik polimerlerden biri olarak ortaya çıkmıştır. Yıllar içinde, PP'nin geliştirilmesi ve kullanılmasında önemli ilerlemeler kaydedilmiş ve birçok endüstri alanında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Hossain ve ark., 2024). PP'nin çok yönlülüğü, bükülmemiş bir zincirde bir araya getirilmiş propilen monomerlerinden oluşan benzersiz moleküler düzenlemesinden kaynaklanmaktadır. Bu doğrusal konfigürasyon, artan kristallik, üstün kimyasal direnç, düşük yoğunluk ve tatmin edici mekanik mukavemet dahil olmak üzere çeşitli avantajlar sunar. Bu özellikler PP'yi otomotiv elemanları ve tıbbi cihazlara kadar çeşitli uygulamalarda popüler hale getirmiştir (Maurya ve Manik, 2023; Guezzout ve ark., 2023). Polipropilen genelde granül olarak temin edilir. Enjeksiyon ve ekstrüzyon yöntemleri ile ısı ve basınç uygulanarak şekillendirilebilir. Ekstrüzyonda 180-230°C erime sıcaklığına sahiptirler. Enjeksiyon ile kalıplamada ise işleme sıcaklığı 180-220°C değerleri

arasındadır. Enjeksiyon kalıplama basıncı 10-30 MPa'dır. Kalıp sıcaklığı da 80-90°C arasındadır.

2.1.2. Termoset matrisler

Oda sıcaklığında genellikle sıvı olan bu ürünler, uygulama sırasında bir sertleştirici karıştırılıp daha sonra ısı verilerek belirli bir sıcaklık altında katılaşmaları sağlanır. Böylece moleküller arasında üç boyutta çok güçlü bir çapraz bağ oluşur. Bu işlem geri döndürülemez ve bu şekilde işlem gören malzeme çoğu çözücüde (alkoller, ketonlar ve hidrokarbonlar) infüze edilebilir ve çözünmez hale gelir. Genel olarak, termoplastik matrislerden daha serttirler, sürünmeye daha iyi direnç gösterirler ve kısa, uzun veya dokuma liflerle büyük parçaların kalıplanması için uygundur. En sık kullanılan termoset matrisler polyesterler, epoksi reçineler, poliüretanlardır. Termoplastik malzemelere göre en büyük dezavantajları, termoplastik malzemeler gibi yeniden ısıtıldıklarına yumuşamamalarıdır (Saba ve Jawaide, 2018).

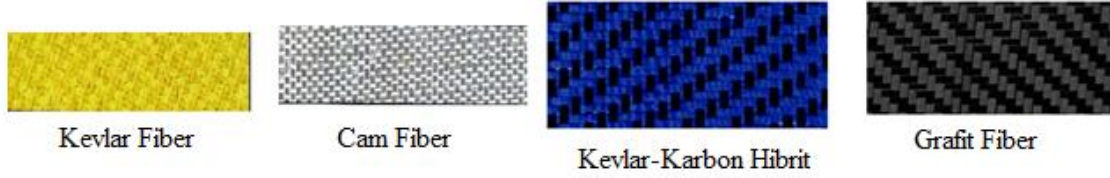
2.1.3. Elastomerler

Elastomerler, büyük deformasyonlara dayanabilen ve dış kuvvet kaldırıldığında orijinal şekline dönebilen esnek polimer malzemelerdir. "Elastik polimer" teriminden türemiştir. Zincir yapılarının esnekliği ve moleküler düzeydeki çapraz bağların varlığı, bu malzemelerin elastikiyetini sağlar. Elastomerler, genellikle mukavemet ve sertlikte önemli iyileştirmeler sağlamak amacıyla mineral dolgu maddeleriyle takviye edilir (Bokobza, L. 2007).

Elastomerler, genellikle esnek ve lastik benzeri özelliklere sahip polimerlerdir. Bu malzemeler, uygulandıklarında deformasyona uğrayabilirler ancak kaldırıldıklarında orijinal şekillerine geri dönerler. Elastomerlerin en belirgin özelliği, yüksek esneklikleri ve geri dönme kapasiteleridir. Bu özellikleri, lastikler, contalar, kauçuk yüzeyler ve çeşitli medikal ürünlerde kullanılmalarını sağlar.

2.2. Takviye Malzemeleri

Takviye malzemesinin bir kompozit malzemedeki ana görevi çekme ve eğilme gibi mekanik mukavemeti sağlamak ve iskeleti oluşturmaktır. Tanım olarak, partikülden sürekli life giden bir yapıdadır. Takviye malzemeleri organik ve inorganik yapıda olabilmektedir (Ahmadijokani ve ark., 2020). Günümüzde, uygulamaların %95'inden fazlasında kullanılan cam elyaf en yaygın takviye malzemesidir. Ayrıca, Aramid elyaf (Kevlar) ve karbon elyaf da çeşitli uygulamalarda büyük ilgi görmektedir (Yuan ve ark., 2013). Genel olarak, kompozit bir yapıda (anizotropik), sürekli elyaflar çekme yükü altında yükü iyi taşırlar, ancak bası performansı çekmeye göre daha az iyidir ve kayma direnci zayıf kalır. Sentetik liflerin yanında günümüzde bir çok farklı doğal elyaf da takviye malzemesi olarak kullanılmaktadır (Chee ve ark., 2019). Şekil 2.2'de polimer matrisli kompozit malzemelerde kullanılan bazı elyaf türleri verilmiştir.



Şekil 2.2. Polimer matrisli kompozitlerde kullanılan takviye malzemeleri

2.3. Dolgu Malzemeleri

Dolgu malzemesi terimi, genellikle bir polimer matrise eklendiğinde mekanik, elektriksel veya termal özellikleri belirgin şekilde değiştiren, yüzey görünümünü iyileştiren ya da maliyeti azaltan herhangi bir inert maddeyi ifade eder. Belirli bir polimer için dolgu maddesi seçimi, bitmiş malzeme için aranan modifikasyonlara göre belirlenir. Bununla birlikte, plastik dolgu maddesi olarak kullanılabilecek maddeler öncelikle, baz reçine ile uyumluluk, toksik olmama, renk vermeme, kimyasal inertlik ve nötrlük, ısı ve ışık stabilitesi, düşük su emilimi, iyi ıslana bilirlilik, polimer matrisindeki tozların iyi dağılımı veya elyafların temel polimere yapışması, kalite ve tane boyutunda tekdüzellik, düşük aşındırıcı etki gibi belirli sayıda gereksinimi karşılamalıdır (Sauer ve ark., 2013; Sijercic ve Leung 2016).

Polimer matrisli kompozit malzemelerde kullanılan organik dolgu malzemeleri, odun tozu, meyve kabuğu tozu ve bitkisel lifler olarak sıralanabilir. Selüloz dolgu maddelerinin termoset ve termoplastik reçinelerde dolgu maddesi olarak kullanılmasındaki en büyük avantajları, bu selülozik malzemelerin düşük maliyetli ve düşük yoğunluklu olmalarıdır (Scaffaro ve ark., 2018). Kompozit malzemelerde kullanılan bir diğer önemli dolgu malzemesi ise karbon nanotüplerdir. Karbon nanotüpler karbonun özel bir yapısını sunar. Karbon nanotüpler birkaç nanometre çapında tüpler şeklindedir. Sahip oldukları olağanüstü özellikler nedeniyle karbon nanotüpler araştırma dünyasında ilgi uyandırmaktadır. Günümüzde, Karbon nanotüp takviyeli polimer matrisli kompozitler ile ilgi oldukça fazla çalışma yapılmaktadır. Bu ilginin nedeni, nanotüplerin sahip olduğu elektriksel, termal ve mekanik özelliklerdir. Mekanik özellikleri iyileştirmek, ağırlığı azaltmak ve ısı iletkenleri olarak hareket etmek için polimerlere karbon bazlı dolgu maddeleri eklemek yeni bir fikir değildir. Karbon siyahı, kauçuk ve plastikleri güçlendirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır; örneğin, termal hasarı azaltmak için yarış lastiklerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Byrne and Gun'ko 2010). Bunların yanında kalsiyum karbonatlar, titanyum dioksit, silika ve alümina gibi birçok mineral polimer matrislerde dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır (Hsissou ve ark., 2021; Liu ve ark., 2020; Thuong ve ark., 2020).

3. LİTERATÜR TARAMASI

İnsanlık tarihi boyunca kompozit malzemeler topluluklar için önemli bir rol oynamıştır. Kompozit malzemeler, biri matris fazında bulunan ve diğeri parçacık veya elyaf formunda olabilen iki veya daha fazla bileşenin birleşmesidir (Rajak ve ark 2019). Metal malzemeler ile karşılaştırıldığında kompozitler malzemeler, yüksek mukavemet-hafiflik oranı, mükemmel titreşim sönümleme özelliği, tasarım esnekliği, korozyon ve aşınma direnci gibi birçok avantaj sunmaktadır. Kompozit içerisinde yer alan matris malzeme kompozite uygulanan yükü fiberlere iletir ve bu sayede yüksek mukavemete sahip fiberlerin kullanılması ile yükün büyük bölümünü fiberler taşıyabilmektedir (Ayikurt, 2023). Bu özelliklerinden dolayı kompozit malzemeler günlük hayatımızda sıradan ev eşyalarından başlayarak biyomedikal, spor, denizcilik ve inşaat endüstrileri gibi karmaşık alanlara kadar yayılmıştır. Kompozit malzemenin tanımına erişmek için, bileşenlerin doğası ve özellikleri, takviyenin geometrisi ve dağılımı, matris-takviye arayüzünün doğası gibi üç durumu belirtmek gerekecektir. Kompozit malzeme bu nedenle nispeten çok sayıda bileşenden oluşan bir sistemdir. (Hsissou R ve ark., 2021). Günümüzde kompozit endüstrisi gelişmeye devam etmekte ve büyümenin büyük bir kısmı yenilenebilir enerjiye odaklanmaktadır. Özellikle rüzgâr türbini kanatları sürekli olarak boyut sınırlarını aşmakta ve yüksek performanslı gelişmiş kompozit malzemeler gerektirmektedir (Upton ve ark., 2021) .

Yıllar boyunca, gelişmiş elyaf takviyeli polimer (ETP) kompozitlerin üretimi için cam, Aramid, karbon ve bazalt elyaf gibi birçok elyaf türü tanımlanmış veya geliştirilmiştir. Bununla birlikte, ETP üretimi için en yaygın lifler cam lifleri ve karbon lifleridir. Cam lifler yüksek çekme gerilimi altında çalışma konusunda harikadır, ancak kırılkan karakterleri nedeniyle bası yükü açısından yetersizdir. Öte yandan, plastik malzemeler yüksek gerilime dayanamaz, ancak basma yükünü çok iyi tolere edebilirler. Farklı malzeme türlerini bir araya getiren cam elyaf takviyeli polimerler hem çekme hem de basma yüklerini üstlenen kompozit bir malzeme haline gelir. Öte yandan, karbon elyaflar esas olarak karbon atomlarından oluşan liflerdir ve yüksek sertlik, düşük ağırlık, yüksek gerilme mukavemeti, yüksek sıcaklık toleransı, yüksek kimyasal direnç ve düşük termal genleşme gibi olağan üstü özelliklere sahiptir. Karbon elyaf bu avantajlarından ötürü birçok ileri polimer matrisli kompozitte en çok kullanılan yüksek performanslı elyaf malzemesidir (Kısmet ve ark., 2023). Karbon elyafların

esnekliği herhangi bir forma, daha hızlı onarıma, mükemmel yorulma davranışına, hazırlık veya kurulum sırasında en az düzensizliğe ve gürültüye karşılık gelir. Diğer elyaf türlerinin aksine, Karbon elyaflar daha iyi bir başarı oranı kaydetmiştir ve doğası gereği hafiftir (Rajak ve ark., 2021). Ayrıca, cam ve karbon elyaflardan elde edilen hibrit kompozit malzemeler sayesinde malzeme fiyatını düşürme ve uzun vadeli dayanıklılığı artırma gibi avantajları vardır. Yukarıda açıklanan avantajlarından dolayı literatürde cam ve karbon elyaf takviyeli kompozit malzemeler üzerine birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Örneğin, Yavas ve ark. (2021) 3D baskılı kısa karbon elyaf takviyeli polimer kompozitlerin katmanlar arası ve çapraz katman kırılma davranışını hem deneysel hem de sayısal yöntemler kullanarak incelemişlerdir. Doğan ve Arman (2018) farklı istifleme dizilimine sahip cam ve karbon elyaf takviyeli hibrit epoksi kompozit malzemelerin yaşlandırma şartları altında malzemelerin mekanik özellikleri üzerindeki etkisini incelemiştir. Bir diğer çalışmada ise, karbon ve cam elyafların maliyet performansını dengelemek amacıyla, pultrüzyon teknolojisi kullanılarak tek yönlü karbon/cam hibrit elyaf takviyeli polimer kompozit çubuklar geliştirilmiştir. İplik içi hibrit ve tabakalar arası hibrit olmak üzere iki çeşit elyaf hibritleşme tipi önerilmiştir. Ayrıca, elyaf hibridizasyon tiplerinin mekanik özellikler üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırılmıştır (Guo ve ark., 2022). Xian ve ark. (2022) iki çeşit karbon/cam fiber hibrit plaka geliştirilmiştir. Elyaf hibrit modunun ve eğilme yüklemesinin mekanik özellikler üzerindeki etkisini araştırmak için 360 güne kadar sürekli eğilme yüklemesine ve suya daldırmaya maruz bırakılmıştır. Karbon ve cam elyaflar arasındaki sinerjik etkilerin rastgele elyaf hibrit modu aracılığıyla tamamen geliştirilebileceğini göstermiştir. Ayrıca, karbon/cam elyaf/reçine arayüzündeki uyumsuz yatak davranışı ve gerilim yoğunlaşması büyük ölçüde giderilmiş ve bu da daha yüksek mekanik özelliklere katkıda bulunmuştur. Bir kompozit yapının mekanik açıdan dayanıklılığı önemli olup bu noktada takviye elemanın seçimi önemlidir. Çünkü takviye elemanı kompozite gelen yükü taşımakta ve matrisin mukavemetini ve aynı zamanda rijitliğini arttırmaktadır (Ayıkurt, 2023). Diğer elyaf türlerinden biri olan grafen elyaflar, karbon elyaflara kıyasla gelişmiş elektrik iletkenliği ile yüksek gerilme mukavemetini yansıtan yeni bir yüksek performanslı karbonlu elyaf türüdür. Grafen liflerinin çeşitli gelişmiş özellikleri, hafif iletken kablolar ve teller, örülebilir süper kapasitörler, mikro motorlar, güneş pili tekstilleri, aktüatörler vb. gibi çeşitli uygulamalardaki potansiyellerini göstermektedir (Sreenivasulu ve ark., 2018)

İmalat endüstrilerindeki hızlı büyüme, malzemelerin mukavemet, sağlamlık, yoğunluk ve daha düşük maliyet ile daha iyi sürdürülebilirlik açısından iyileştirilmesi ihtiyacını doğurmuştur (Linul ve ark., 2019; Sherif ve ark., 2019). Bu nedenle, birçok araştırmacı selülozik liflerin doğada bol miktarda bulunması, toksik olmaması, yenilenebilir olması, maliyetin düşük olması gibi nedenlerden dolayı kompozit malzemelerde sentetik elyafların yerine takviye malzemesi olarak kullanılması potansiyelini araştırmıştır (Pickering ve ark., 2016). Ayrıca, doğal elyaf takviyeli polimer kompozitlerin önemli özellikleri modern endüstride potansiyel uygulamalara sahiptir, çünkü araştırmacılar şu anda sıkı çevre yasaları nedeniyle çevre dostu malzemeler geliştirmeye zorlanmaktadır. Uzun ve kısa doğal elyafların termoset matrislere dahil edilmesi, yüksek performanslı uygulamalar ortaya koymuştur. En yaygın kullanılan doğal lifler sisal, kenevir, kenaf, keten ve jüt olmakla birlikte gün geçtikçe bu sayı artmaktadır (Doğan ve Güneş 2024).

Polimer nano kompozitler ise seçilen matris içinde homojen bir şekilde dağılmış nano ölçekte, 10-100 nm boyutlarından en az birine sahip dolgu maddeleri olarak organik veya inorganik nanopartiküller ile güçlendirilmiş polimerik matrislerden oluşan ve mekanik karıştırma ve/veya ko-polimerizasyon teknikleri ile işlenen yeni bir yüksek performanslı malzeme sınıfıdır (Hiremath ve ark., 2021). Nano ölçekli dolgu maddelerinin kullanımının arkasındaki temel fikir, sabit bir hacim için geniş yüzey alanları nedeniyle bu tür nano malzemelerin yüksek perspektif oranı özelliğini elde etmektir (Fan ve ark., 2015). Polimer nano kompozitler, içerdikleri nano partiküllerin geometrik boyutlarına göre sınıflandırılmaktadır (Fu ve ark., 2019). Katmanlı polimer nano kompozitlerden oluşan ilk kategori, 1 ila birkaç nm arasında değişen kalınlığa ve birkaç 100 ila 1000 nm arasında değişen uzunluğa sahip tabaka formundaki iki boyutlu nanopartiküllerin dolgu maddesi olarak kullanıldığı polimer nano kompozitlerden oluşur. Bu kategori altında, genellikle polimer nano kompozitler nano kil (Uddin 2008), grafen (Pandey et al. 2008) veya titanyum karbür levhalarla (Zhang ve ark., 2016) doldurulur. Diğer kategori, nanopartiküllerin nano ölçek aralığında herhangi iki boyuta ve nispeten büyük bir üçüncü boyuta sahip olduğu bu tür polimer nano kompozitlerden oluşur. Bu boyutlar dolgu maddelerine hafifçe uzatılmış bir şekil verir ve böylece nm uzunluğundaki lifler ve tüpler esasen ikinci kategorideki polimer nano kompozitler için dolgu maddelerini oluşturur. Karbon nanotüpler ise nano dolgu malzemelerin en önemli örneğidir (Naz ve ark., 2016). Bir diğer polimer nano kompozitler kategorisi, üç

boyutunun tamamı nm cinsinden olan nano dolgu maddelerini içeren polimer nano kompozitlerden oluşur (Hiremath ve ark., 2021). Shanmugam ve Meenakshisundaram (2023), grafenin hibrit fiber takviyeli polimer kompozitlerin mikrosertlik ve aşınma özellikleri üzerindeki etkisini pin-on-disk testleri kullanarak araştırmıştır. Grafenin kompozitlere dahil edilmesi, grafen ve epoksi matrisi arasında sağlam kovalent bağların oluşması ile kompozit malzemelerde termal stabilite, mikro sertlik ve tribolojik performansta kayda değer iyileşmelerle sonuçlanmıştır.

Kompozit bir yapının özellikleri dolgu malzemeleri kullanılarak istenen şekilde değiştirilebilir. Kompozitin özellikleri, kullanılan dolgu malzemesi, kullanılan dolgu malzemesi miktarı vb. gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişir. Belirli uygulamalarda, matrisin baskın özellikleri polimere dolgu malzemeleri eklenerek değiştirilebilir (Sriraman ve ark., 2022). Yukarıda bahsedilen takviye dolgu malzemelerinin yanı sıra, günümüzde birçok teknolojik araçlarda ve modern tasarımlı malzemelerde kullanılan nadir toprak elementleri de polimer kompozit malzemelerde dolgu malzemesi olarak kullanılmaya adaydır. Ancak literatürde oldukça kısıtlı çalışma mevcuttur. Nano itriyum oksit'in polimer bazlı kompozitlerin mekanik davranışı üzerindeki etkisi Bdaawi (2017) tarafından araştırılmıştır. Nano itriyum oksit oranı arttıkça mekanik özelliklerin değerinin yükseldiğini ve optimum değer %1,5 itriyum oksitte kaydedildiğini sunmuştur. Bir diğer araştırmada, cam-epoksi kompozitlerde dolgu malzemesi olarak itriyum tozunun etkisini anlamak için deneysel çalışmalar yapılmıştır. Başlangıçta değişen konsantrasyonlarda itriyum tozu (epoksinin ağırlığına göre %0 ve %5) ile doldurulmuş E-cam/epoksi kompozit plakalar hazırlanmıştır. Numuneler çekme testi için test edilmiş ve %5 itriyum içeren numunenin itriyum içermeyen numuneye göre daha yüksek nihai gerilme ve uzama yüzdesine sahip olduğu görülmüştür (Sriraman ve ark., 2022). Yu ve ark. (2020), karbon nanotüpler ve grafen oksit bazlı farklı nadir toprak oksitleri ile doldurulmuş bir tür poliimid nanokompozit tasarlayarak seryum oksit ile doldurmanın sürtünme katsayısını ve aşınma oranını önemli ölçüde azaltabileceğini bulmuşlardır. Pan ve ark. (2017), tribolojik özellikleri iyileştirmek amacıyla nadir toprak lantan oksit mikropartikülleri ile güçlendirilmiş poliimid kompozitler üretmişlerdir. Deneysel sonuçlar, lantan oksit mikropartikülleri eklendikten sonra sürtünme katsayısının önemli bir düşüş gösterdiğini ve aşınma önleme özelliğinin önemli ölçüde arttığını göstermiştir. Bir diğer çalışmada, nadir toprak oksitleri ve nano-silika ilavesinin fenolik bazlı hibrit

nanokompozitlerin mekanik ve tribolojik özelliklerini önemli ölçüde artırdığı bulunmuştur. Seryum oksit ve itriyum oksit katkısı darbe dayanımı, kesme dayanımı, sürtünme katsayısı ve aşınma oranındaki değişiklikleri etkileyen başlıca faktörler olduğunu ortaya koyulmuştur. Ek olarak, nano-silika içeriği numunelerin sertliği ve basınç dayanımı üzerinde en önemli etkiyi göstermiştir (Wang ve ark.,2023).



4. KAPSAM VE AMAÇ

Polimer matrisli kompozitler, sahip oldukları yüksek mukavemet/ağırlık oranı, iyi aşınma ve korozyon direnci sayesinde otomotiv, havacılık ve savunma gibi çeşitli endüstrilerde hafif mühendislik uygulamaları için mükemmel adaylardır (Dogan ve Atas, 2016). Termoplastik matrisli kompozit malzemelerde, elyaf takviyelerinin özellikle termoplastiklerin mekanik ve termal özelliklerini iyileştirmesi beklenmektedir. Araştırmacılar, termoplastik matrisli kompozitlerde elyaf hacim oranının artmasının kompozitin çekme mukavemetinde artışa, kopma uzamasında azalmaya ve daha rijit bir yapıya yol açtığını belirlemişlerdir. En yaygın kullanılan elyaflardan biri karbon elyaftır. Diğer elyaf türleriyle karşılaştırıldığında, karbon elyaflar ağırlıklarına göre yüksek mukavemet ve elastik modül sergilerler. Sadece elyaf olarak değil, bu elyafların tozları da termoplastiklerde partikül formunda dolgu malzemesi olarak kullanılabilir.

Günümüzde nadir toprak elementleri otomotiv, enerji ve mıknatıs üretimi gibi birçok endüstriyel alanda oldukça sık kullanılmaktadır. Ayrıca, nadir toprak elementleri (NTE), polimer endüstrisinde de giderek daha sık kullanılmaktadır. Genellikle sentez sırasında bağlayıcı madde veya katalizör olarak kullanılan NTE'ler yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır ve malzemeleri korozyona karşı korur.

Yukarıda belirtilen bilgiler ışığında, bu çalışmanın temel amacı, karbon elyaf tozu ve nadir toprak elementleri kullanarak mekanik ve termal olarak daha dayanıklı kompozit malzemeler üretmektir. Bu amaçla, seryum oksit ve lantan oksit gibi nadir toprak elementleri ile karbon elyaf tozu içerikli dolgu maddeleri hazırlanmıştır. Bu hazırlanan dolgu maddelerinin homojen karışması ve matris ile etkileşiminin verimli olabilmesi için depolimerize edilmiş alçak yoğunluklu polietilen jel kullanılmıştır. Hazırlanan bu dolgu malzemeleri ağırlıkça farklı oranlarda polipropilen (PP) ile önce mekanik olarak sonra da ekstrüzyonda homojen olarak karıştırılmış ve daha sonra kırıcıdan geçirilerek kompozit granüller elde edildi. Bu granüller belirli sıcaklık ve basınç altında enjeksiyon kalıplama ile basılarak test numuneleri üretildi. Elde edilen kompozit malzemelerin, eriyik akış indeks analizleri, çekme, üç-nokta eğilme, Charpy darbe dayanımı testleri gerçekleştirilerek mekanik özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Ayrıca, termogravimetrik analiz (TGA) ve diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) kullanılarak kompozit malzemelerin kütle kayıpları ve

termal özelliklerindeki değişim incelenmiştir. Kompozit malzemelerin mikroyapısal özellikleri enerji dağılımlı x-ışını spektrometresi ile donatılmış bir taramalı elektron mikroskobu kullanılarak incelenmiştir.



5. MALZEME VE YÖNTEM

5.1. Malzeme Üretimi

Bu çalışmada kompozit malzemesi üretimi için, ticari bir termoplastik olan EH-102 kodlu polipropilen (PP) matris malzeme olarak kullanılmıştır. Dolgu malzemesi olarak ise, 100 ile 400 mikron arasında tane büyüklüğüne sahip karbon elyaf tozu (KET) ve nadir toprak elementlerinden (NTE) lantan oksit ve seryum oksit kullanılmıştır. Bu dolgu maddesinin homojen yapıda olabilmesi için ise sentetik tiner ile çözülerek jel hale getirilmiş I22-19T kodlu alçak yoğunluklu polietilen (AYPE) kullanılmıştır. Nadir toprak elementi olarak kullanılan lantan oksit %99 saflığa sahip BLDpharm marka ve seryum oksit ise %99,9 saflığa sahip Carl Roth markadır.

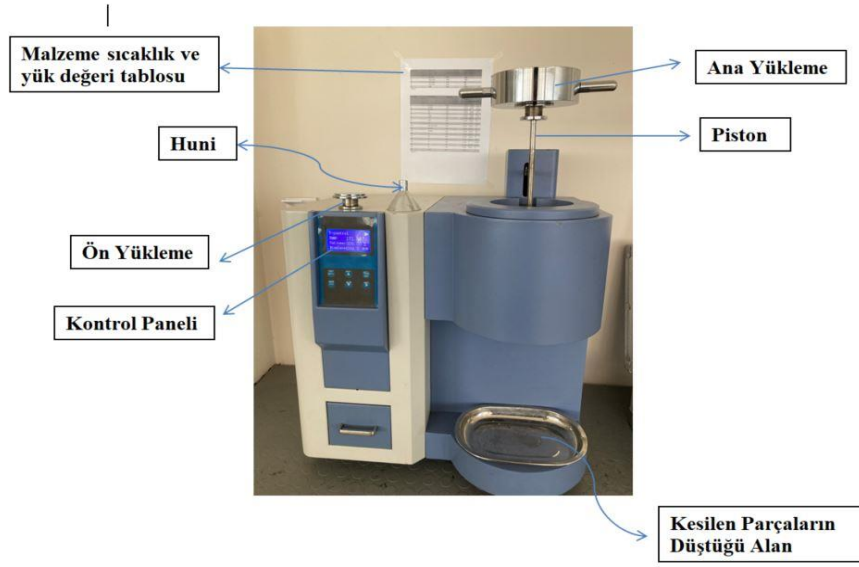
Öncelikle üretilecek dolgu malzemeleri için AYPE tiner ile karıştırılıp yaklaşık 150oC sıcaklıkta 20 dakika bekletilerek jel haline gelmesi sağlanmıştır. Aynı zamanda Tablo 5.1’de belirtilen oranlarda lantan oksit ve seryum oksit ayrı ayrı su da çözüldü ve bunlara ağırlıkça %15 karbon elyaf tozu (KET), eklendi. Daha sonra karbon elyaf tozu ve nadir toprak elementi karışımları AYPE tiner çözeltisi ile karıştırılarak ve dolgu malzemeleri elde edildi. Üretilen dolgu malzemelerindeki tinerin ve varsa suyun uzaklaştırılması için, dolgu malzemeleri 48 saat boyunca oda sıcaklığında bekletilmiştir. Daha sonra bu malzemeler bir kırıcı yardımı ile granül hale getirilmiştir.

Tablo 5.1. Hazırlanan Dolgu malzemelerini ağırlıkça oranları

	Dolgu malzemesinin içeriği		
Kullanılan dolgu maddesi	AYPE	KET	NTE
A-1	%85 AYPE	%15 KET	
A-2	%84 AYPE	%15 KET	%1 LANTAN
A-3	%84 AYPE	%15 KET	%1 SERYUM

Hazırlanan bu dolgu malzemeleri bir sonraki aşama olan eriyik akış analizi işlemi için uygun hale getirildi. Elde edilen malzemeler polipropilen (PP) ile ağırlıkça %10, %20, %30,

%40 ve %50 oranlarında ayrı ayrı mekanik olarak karıştırıldı. Her bir karışım 8 ila 10 g olarak hazırlandı. Üretilen malzemelerin eriyik akış indeksini belirlemek için Resim 5.1’de gösterilen “JPT EQUIPMANT marka XRL-400A model” Melt Flow Index eriyik akış cihazı kullanılmıştır. Hazırlanan karışımlar cihazın üst kısmında bir huni yardımıyla 210 oC sıcaklıktaki cihazın silindirik haznesinin içerisine döküldü ve erime işleminin gerçekleşmesi minimum 5 dakika bekletildi.



Resim 5.1. JPT EQUIPMANT marka XRL-400A model” Melt Flow Index eriyik akış cihazı.

Malzeme eriyik hale geldikten sonra bir piston vasıtasıyla silindirik boşluğa 0,325 gram ön yükleme yapıldı. Sonra piston üzerine 4,675 kg ağırlığında yük bindirildi ve akış işleminin gerçekleşmesi aşamasına geçildi. Akış işlemi piston üzerindeki seviye ölçüm aralığına geldiğinde otomatik olarak cihaz her 20 saniyede bir parça keserek toplamda 30 mm’lik bir parça uzunluğu elde edecek şekilde işlemi tamamladı. Bu parçaların hassas terazi yardımıyla toplam ağırlıkları bulundu. Toplam ağırlık elde ettiğimiz parça sayısına bölünerek ortalama bir ağırlık elde edildi. Elde edilen bu ortalama ağırlık cihazın dijital ekranında ilgili yere girilerek kütsel ve hacimsel akış indeksi ile yoğunluk sonuçları elde edildi.

Ekstrüderde kompozit malzeme eldesi için, hazırlanan dolgu malzemeleri ile polipropilen ağırlıkça Tablo 5.2’de gösterilen oranlarda mekanik olarak karıştırılmıştır. Bu karışımlar toplamda 500 g olacak şekilde hazırlanmıştır. Daha sonra bu karışımlar Munzur

Üniversitesi Makine Mühendisliği Polimer Bilimi ve Teknolojileri Laboratuvarında bulunan ve Resim 5.2’de gösterilen “BES35 LD” tek vida ekstrüder cihazı ile homojen hale getirilmiştir.

Tablo 5.2. Üretilen kompozit malzemelerin içeriği (ağırlıkça %)

Kod	PP(%)	A1 (%)	A2 (%)	A3 (%)
NM1	90	10		
NM2	80	20		
NM3	70	30		
NM4	90		10	
NM5	80		20	
NM6	70		30	
NM7	90			10
NM8	80			20
NM9	70			30



Resim 5.2. BES35 LD-tek vida ekstrüder makinası

Üç bölge ısıtma ve bir kalıp ısıtma özelliğine sahip bu makinenin sıcak değerleri daha önceden yapılan MFI sonuçlarına göre ayarlanmıştır. Önceden hazırlanan 500 gramlık karışımlar ekstrüder makinenin besleme kısmından dökülmüş ve 3 mm çapındaki kalıptan şerit halinde çıkması sağlanmıştır. Daha sonra cihazın kalıp kısmındaki silindirik alandan çıkan bu şeritler bir su havuzundan geçirilerek soğutulmuştur. Tablo 5,3'te Ekstrüzyon makinesinin üretim esnasında bölge sıcaklıkları ve vida devirleri verilmiştir. Polipropilen içerisinde artan dolgu miktarına (DM) bağlı olarak akışkanlığın artması nedeniyle ekstrüzyonda karışım için uygulanan sıcaklık değerleri de azalmış ve enerji tasarrufu sağlanmıştır. Dolgu maddesi olarak (DM) Tablo 5.1'de verilen A-1, A-2 ve A-3 kullanılmıştır.

Tablo 5.3. Ekstrüzyon makinesi bölge sıcaklıkları ve vida devri, dolgu maddesi (DM)

Malzemeler	1.Bölge (°C)	2.Bölge (°C)	3.Bölge (°C)	Kalıp (°C)	Vida Devri (Rpm)
PP+%10 DM	190-180	200-190	200-190	190-180	7
PP+%20 DM	180-170	190-180	190-180	180-170	7
PP+%30 DM	170-160	180-170	180-170	170-160	7

Tabloda görülen değerler doğrultusunda yapılan işlemlerden sonra elde edilen şerit malzeme bir kırıcı makinesi ile granül hale getirilmiş, daha sonra oda sıcaklığında 48 saat bekletilerek kurutulmuştur. Resim 5.3'te granül hale getirilen kompozit malzeme verilmiştir.

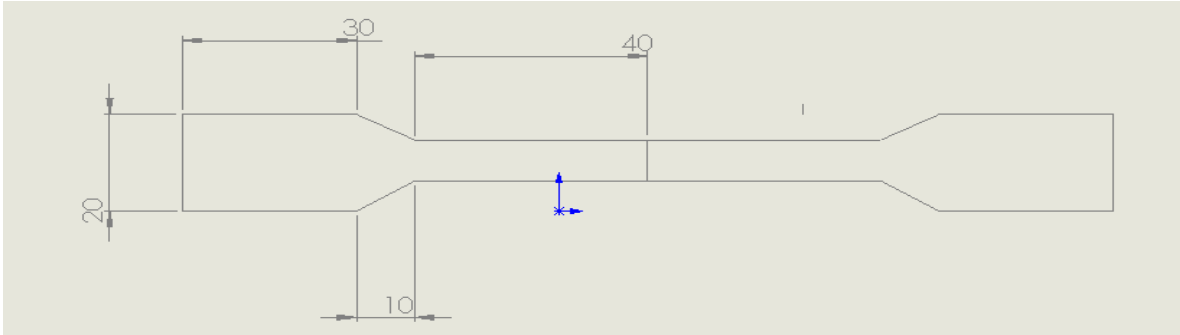


Resim 5.3. Kırıcı makine ile elde edilen granüller

Granül hale getirilen bu malzemeler daha sonra Resim 5.4'te gösterilen Ekin 100 marka plastik enjeksiyon cihazında kalıplara basılarak Şekil 5.1'de gösterilen Tip 1A DIN ISO 527 boyutlara sahip standart test numuneleri elde edilmiştir.



Resim 5.4. Ekin 100 plastik enjeksiyon makinesi



Şekil 5.1. TİP 1A DIN ISO 527 standartlarına göre numune boyutları (mm)

5.2. Malzeme Karakterizasyonu

Bu tez çalışmasında yukarıda verilen ağırlıkça farklı oranlarda dolgu malzemesi ile takviyelendirilmiş polipropilen malzemelerin, çekme, üç-nokta eğilme, Charpy darbe testleri gerçekleştirilerek mekanik özellikleri, Termogravimetrik analiz (TGA) ve diferansiyel taramalı

kalorimetre (DSC) ile termal özellikleri ve Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile malzemelerin içyapısı incelenerek morfolojik özellikleri incelenmiştir.

5.2.1. Çekme testi

Çekme testi ile malzemelerin çekme mukavemeti, elastisite modülü ve yüzde şekil değiştirme gibi mekanik özellikleri elde edilmektedir. Bu testler Munzur Üniversitesi Makine Mühendisliği Laboratuvarında bulunan 100 kN yük kapasitesine sahip Shimadzu marka AG-IC test cihazında ASTM D 638 standardına uygun olarak yapılmıştır.

Resim 5.5'te çekme testi aparatları ve test numunesi gösterilmektedir. Çekme testi 50mm/dak çekme hızı ile gerçekleştirilmiş olup, çekme dayanımı, elastisite modülü ve şekil değiştirme miktarı elde edilerek sonuçlar kısmında tablo ve şekil olarak verilmiştir.



Resim 5.5. Shimadzu AG-IC ile gerçekleştirilen çekme deneyi

5.2.2. Üç-nokta eğilme testi

Üç-nokta eğilme testi, malzemelerin eğilme dayanımını ve elastik özelliklerini değerlendirmek için yapılan bir testtir. Bu test, bir malzeme numunesinin iki noktadan desteklendiği ve üzerine merkezden bir kuvvet uygulandığı deneysel bir düzencele yapılır.

Test sırasında numune, iki destek noktasının arasına yerleştirilir ve ortasına bir kuvvet uygulanır. Bu kuvvet, numuneyi eğmeye çalışırken, numune üzerindeki gerilme ve deformasyonları gözlemlenir. Bu testler Munzur Üniversitesi Makine Mühendisliği Laboratuvarında bulunan 100 kN yük kapasitesine sahip Shimadzu marka AG-IC test cihazında ASTM D 790 standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Destekler arası mesafe 64 mm, destek çapları 10 mm ve test hızı 10 mm/dak olacak şekilde ayarlanmıştır. Resim 5.6’da üç nokta eğilme testi sırasında çekilmiş test aparatı ile test numunesi verilmiştir.

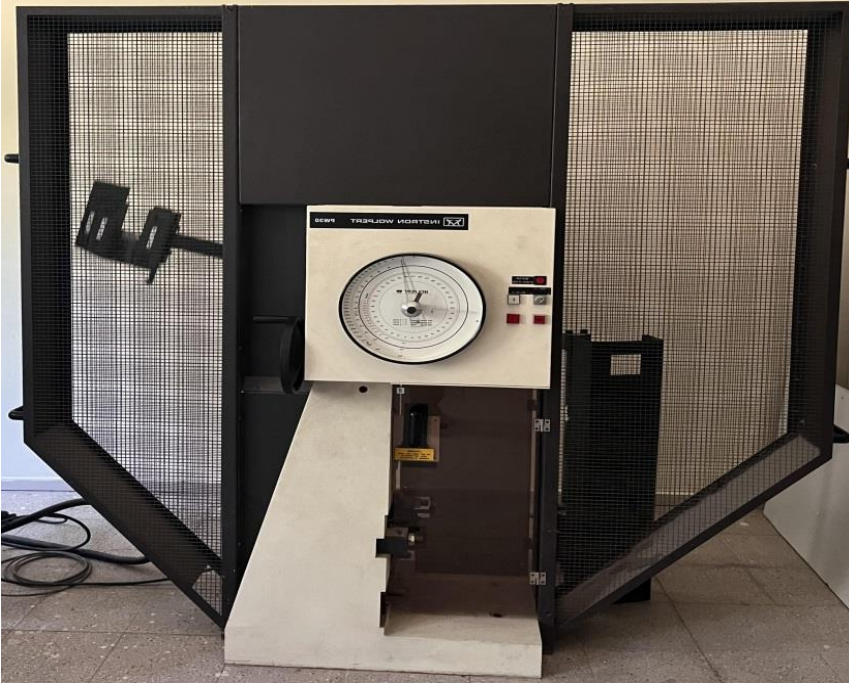


Resim 5.6. Shimadzu AG-IC test cihazı ile gerçekleştirilen üç nokta eğilme deneyi

5.2.3. Charpy darbe dayanımı

Charpy Darbe deneyleri DIN ISO 180 standartlarına uygun olarak Fırat Üniversitesi Malzeme ve Metalurji laboratuvarında “Inston Wolpert P30” marka model cihazında gerçekleştirilmiştir. Bu deney aşamasında serbest düşme ile bırakılan çekiç salınım yapmaktadır. Çekiç tekrar döndüğünde ise ilk yüksekliği ve numuneye çarptıktan sonraki çıktığı yükseklik arasındaki mesafe ölçülerek numunenin absorbe ettiği enerji miktarı elde edilir. Resim 5.7’de Inston Wolpert P30 Izod darbe cihazının görüntüsü verilmiştir. Charpy darbe testi sırasında

kalınlığı 4mm, genişliği 10mm ve uzunluğu 80mmolan deney numuneleri kullanılmıştır. Charpy darbe testi cihazı 150 Joule değere ayarlanıp testler yapıldı ve cihazın ölçtüğu absorbe edilen enerji değeri kaydedilip ortalama değeri tabloda verilmiştir.



Resim 5.7. Inston Wolpert P30 Charpy darbe cihazı

5.2.4. Termogravimetrik analiz yöntemi (TGA)

TGA analizi malzemede sıcaklığa bağlı olarak meydana gelen kütle kayıplarını belirlemek amacı ile gerçekleştirilen bir testtir. Termogravimetrik analiz, genellikle diferansiyel termal analiz (DTA) veya diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) gibi tekniklerle birlikte kullanılarak, bir malzemenin ısıl davranışının daha kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesini sağlar.

Bu Tez çalışmamızda elde edilen A-1, A-2 ve A-3 numunelerinden %30'luk olanlarında takviye edilmiş polipropilen malzemelerinin TGA analizleri yapılmıştır. Örneklerin TGA analizlerini ölçmek için Shimadzu marka “DTG 60” model cihaz kullanılmıştır. Ölçüm sırasında cihaz oda sıcaklığından 500 oC'ye kadar 10 oC/dk.'lık bir

sıcaklık gradyanı ile ısıtılmıştır. Ölçümler azot atmosferi altında gerçekleştirilmiştir. Artan sıcaklık ile kütle değişimleri grafiklerde gösterilmiştir.

5.2.5. Taramalı elektron mikroskopu (SEM) – (EDS) analizi

Numunelerin mikroyapısal özellikleri, enerji dağılımlı x-ışını spektrometresi (EDS, Oxford AZtech) ile donatılmış bir taramalı elektron mikroskobu (SEM, HITACHI SU3500) kullanılarak incelenmiştir. Çekme testlerinden sonra elde edilen kompozitlerin kırılma yüzeyleri analiz edilmiştir. Ayrıca kompozit malzemelerin EDS görüntüleri alınmış ve malzemelerin kesit yüzeyindeki dağılımları belirlenmiştir. Örnekler iletkenliklerini artırmak için ince bir altın film tabakası ile kaplanmıştır.

5.2.6. Diferansiyel tarama kalorimetresi (DSC) analizi

Bir malzemenin sıcaklığa bağlı olarak geçirdiği fiziksel veya kimyasal değişimlerde saldığı veya absorbe ettiğı ısı miktarını ölçen bir analiz yöntemidir. Bu yöntem, malzemelerin termal özelliklerini anlamak için kullanılan en yaygın tekniklerden biridir.

DSC cihazı, bir test numunesi ile bir referans malzemenin sıcaklığını kontrol altında tutar ve her iki malzemenin sıcaklığını eşit seviyede tutmak için gereken enerji farkını ölçer. Bu enerji farkı, malzemenin endotermik veya ekzotermik olaylarını belirler.

Numunelerin camlaşma ve erime sıcaklıkları, DSC analizi kullanılarak tespit edilmiştir. Bu analizler, Hamburg Teknik Üniversitesi Polimer ve Kompozit Enstitüsü'nde gerçekleştirilmiş olup, "Netzsch" marka "DSC 204F1 Phoenix" model cihaz kullanılmıştır. DSC analizleri sırasında, numuneler -160 °C ile 180 °C arasında iki kez ısıtılıp soğutulmuştur. Camlaşma sıcaklığının daha net anlaşılabilmesi için ısıtma hızı 40 K/dak olarak, soğutma hızı ise 10 K/dak olarak ayarlanmıştır.

6. BULGULAR

6.1. Eriyik Akış İndeksi (MFI) Test Sonuçları

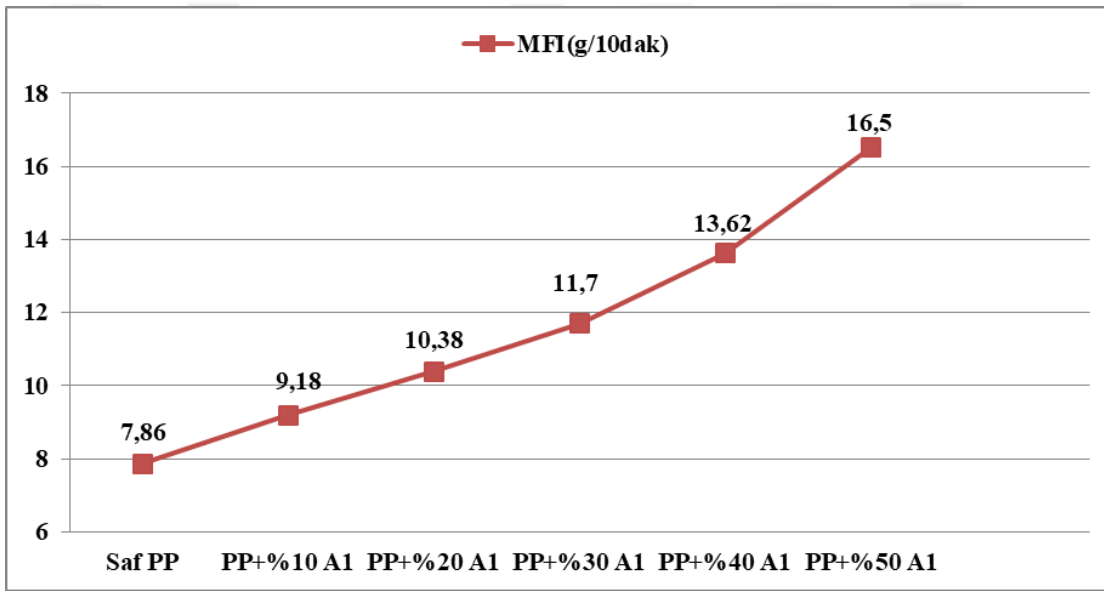
Hazırlanan dolgu malzemeleri ile saf PP'nin eriyik akış indeksi sonuçları Tablo 6.1'de verilmiştir. Ayrıca, dolgu malzemesinin oransal değişime bağlı olarak oluşan değerlerin parametreleri grafiklerde verilmiştir. Artan dolgu malzemesine bağlı olarak karışımların eriyik akış indeksi (MFI) ve yoğunluk değişimleri aşağıdaki tablolar ve şekiller yardımı ile değerlendirilmiştir.

Tablo 6.1. Saf PP ve A-1, A-2 VE A-3 dolgu malzemesinin ağırlıkça farklı oranları ile MFI ve yoğunluk değerlerinin değişimi

	Saf PP	%90 PP+%10	%80 PP+%20	%70 PP+%30	%60 PP+%40	%50 PP+%50
MFI (gr/10dak)						
A-1	7,86	9,18	10,38	11,7	13,62	16,5
A-2	7,86	9,60	13,20	17,06	18,35	19,68
A-3	7,86	9,42	10,20	11,52	14,10	19,08
YOĞUNLUK (gr/cm³)						
A-1	0,707	0,716	0,694	0,721	0,725	0,665
A-2	0,707	0,725	0,720	0,740	0,767	0,781
A-3	0,707	0,687	0,702	0,729	0,733	0,745

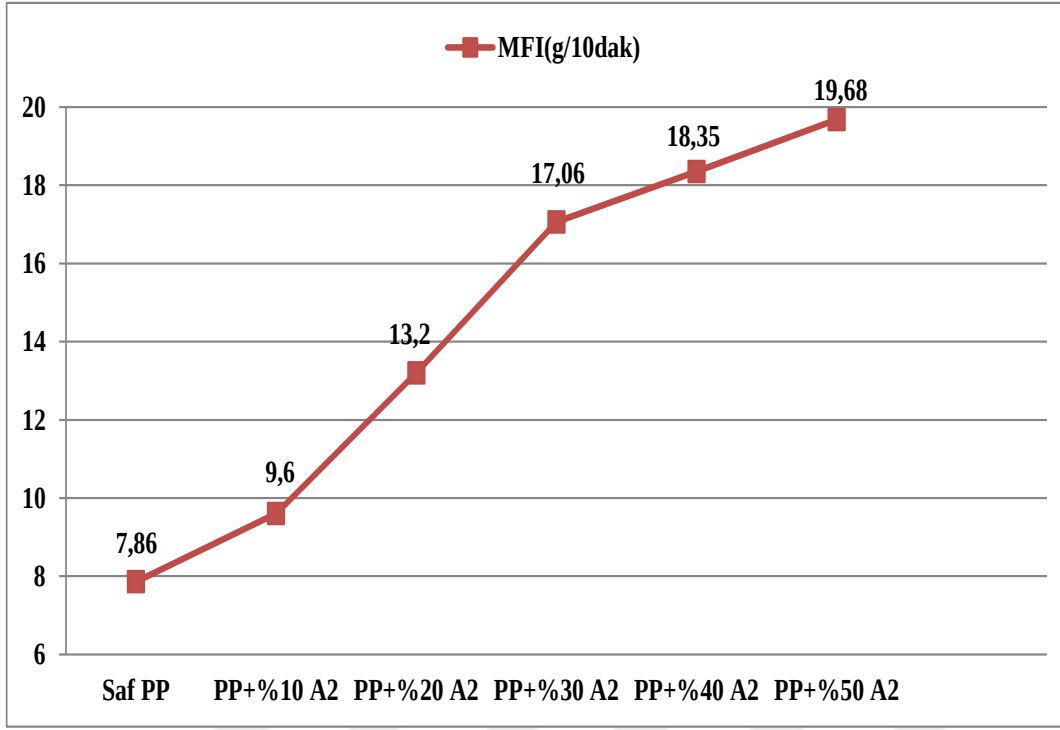
Tablo 6.1'de ağırlıkça %15 KET, %85 AYPE ve %1 NTE karışımı ile elde edilen dolgu malzemesinin ağırlıkça farklı oranda PP karışımı ile MFI ve yoğunluk değerlerindeki değişim Şekil 6.1'de verilmiştir. Ağırlıkça artan dolgu maddesine göre MFI değerlerinde artış olduğu gözlenmiştir. Saf PP malzemesinin MFI değeri 7,86 gr/10dak iken bu değer %50 A-1 dolgu malzemesi takviyeli PP karışımında yaklaşık 16,5 gr/10dak olarak ölçülmüştür. Bu da

MFI değerinin yaklaşık olarak %109 oranında arttığı göstermektedir. Ayrıca, %10, %20, %30 ve %40 dolgu malzemeli takviyeli PP karışımlarının MFI değerleri ise sırasıyla 9,18; 10,38; 11,7; ve 13,62 gr/10dak olarak elde edilmiştir. MFI değerindeki bu artışın nedeni dolgu malzemesinde bulunan AYPE malzemesinin MFI değerinin PP malzemesinden daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Malzemelerin yoğunluğuna bakıldığında ise saf PP 0,707 gr/cm³ iken, %10, %20, %30, %40 ve %50 A-1 dolgu malzemesi ile PP karışımlarının MFI değerleri sırasıyla 0,716; 0,694; 0,721; 0,725 ve 0,665 gr/cm³ olarak bulunmuştur.



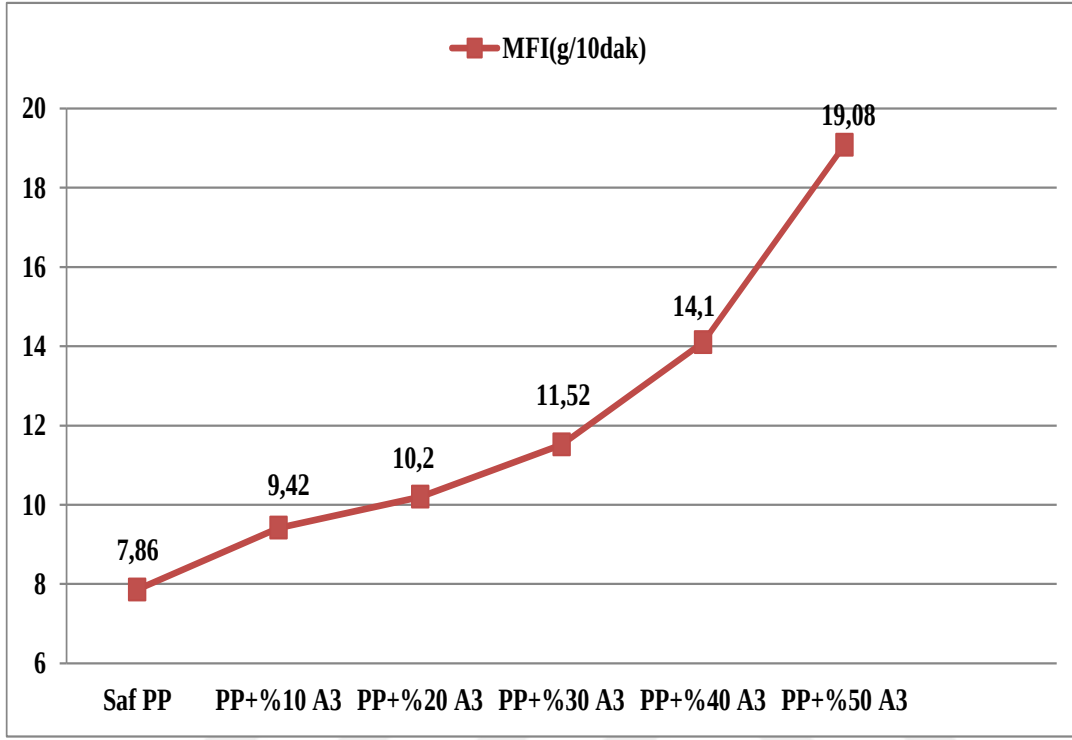
Şekil 6.1. Saf PP ve farklı oranlarda A-1 dolgu malzemesinin (%15 KET+AYPE) MFI ve yoğunluk değişimleri

Tablo 6.1 ve Şekil 6.2’de saf PP ve farklı oranlarda A-2 dolgu malzemesi ve PP karışımlarının MFI değerleri ve yoğunlukları verilmiştir. A-1 dolgu malzemesi ile PP karışımlarında olduğu gibi, dolgu malzemesi oranı arttıkça MFI değerinde yükseliş elde edilmiştir. PP ve %10 A-2 dolgu malzemesi karışımının 9,60 gr/10dak iken PP ve %50 A-2 karışımının MFI değeri 19,68 gr/10dak olarak ölçülmüştür. MFI değerleri %20, %30 ve %40 A-2 dolgu malzemeli PP karışımları için ise sırasıyla 13,20; 17,06 ve 18,35 gr/10dak olarak bulunmuştur. Karışımların yoğunluğuna bakıldığında ise A-2 dolgu malzemesi artışı ile karışımların yoğunluğunda yükseliş görülmüştür. %50 A-2 dolgu malzemesi ile PP karışımının yoğunluğu saf PP karışına göre yaklaşık %10 oranında artmıştır.



Şekil 6.2. Saf PP ve farklı oranlarda A-2 dolgu malzemesinin (%15 KET+%1 Lantan Oksit+AYPE) MFI ve yoğunluk değişimleri

Tablo 6.1 ve Şekil 6.3'te ise farklı oranlarda PP ve A-3 karışımlarının MFI ve yoğunluk değişimleri verilmiştir. Yukarıdaki belirtilen AYPE'nin MFI değeri daha yüksek olduğu için, A-3 dolgu malzemesi miktarı arttıkça, karışımın MFI değeri yükselmiştir. Saf PP, %90 PP+%10 A-3, %80 PP+ %20 A-3, %70 PP+ %30 A-3, %60 PP+ %40 A-3, %50 PP+ %50 A-3 karışımlarının MFI değerleri sırasıyla 7,86; 9,42; 10,20; 11,52; 14,10 ve 19,08 gr/10dak olarak ölçülmüştür. Malzemelerin yoğunluğu ise dolgu malzemesinin ağırlıkça oranının artması ile yükselmiştir.



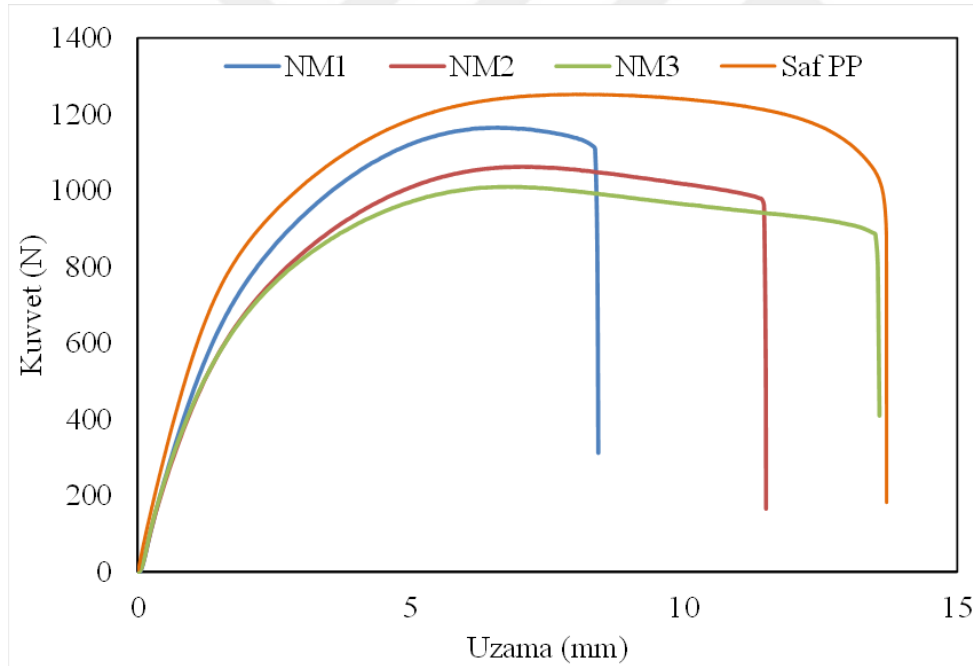
Şekil 6.3. Saf PP ve farklı oranlarda A-3 dolgu malzemesinin (%15 KET+%1 Seryum Oksit+AYPE) MFI ve yoğunluk değişimleri

Her üç dolgu malzemesinin ağırlıkça farklı oranda PP ile karışımları incelendiğinde malzemelerin MFI değeri dolgu malzemesi artışı ile yükselmiştir. Bunun yanında, A-2, Lantan oksit ve A-3, Seryum oksit takviyeli dolgu malzemeleri ile PP karışımlarında MFI değerleri NTE içermeyen A-1 dolgu malzemesi ile PP karışımına göre daha yüksek elde edilmiştir. Karışımların yoğunluğuna bakıldığında ise, A-1 dolgu malzemesi ile PP karışımlarının yoğunluğunda, dolgu malzemesinin artışı ile yoğunluk nispeten değişmezken, A-2 ve A-3 dolgu malzemesi ve PP karışımlarının yoğunluğu, dolgu malzemesi artışı ile yükselmiştir. Bunun nedenin ise Lantan oksit ve Seryum oksit nadir toprak elementlerinin yoğunluğunun yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.

6.2. Çekme Testi Sonuçları

Bu tez kapsamında çekme testleri ağırlıkça %10, %20 ve %30 dolgu malzemesi takviyeli PP malzemelerden standartlara uygun çekme test numuneleri hazırlanarak gerçekleştirilmiştir. Her bir malzeme için deneyler beşer kez tekrarlanmıştır. Şekil 6.4'te,

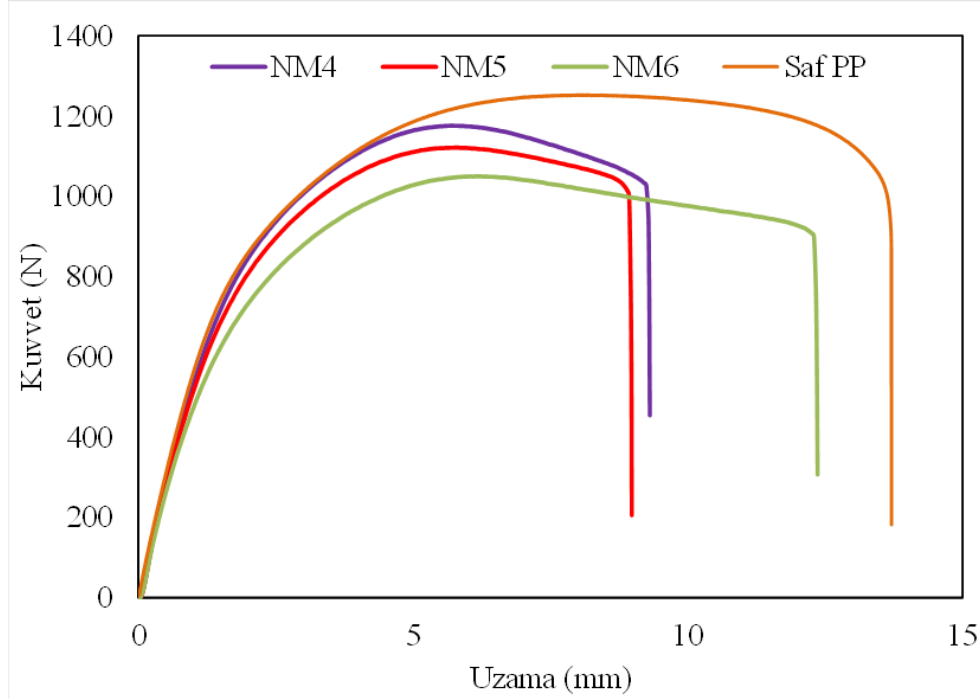
ağırlıkça farklı oranlarda A-1 dolgu malzemesi takviyeli PP kompozit ve saf PP malzemelerinin kuvvet-uzama eğrileri verilmiştir. Buradaki eğriler, beşer kez tekrarlanan çekme testlerinden elde edilen eğrilerden ortalamaya en yakın olanıdır. Yukarıda da belirtildiği üzere NM1 olarak adlandırılan eğri %10, NM2 olan eğri %20 ve NM3 olan eğri de ağırlıkça %30'luk A-1 dolgu takviyeli PP kompozit malzemeyi göstermektedir. Şekilde görüleceği üzere dolgu malzemesi takviyesi ile kompozit malzemelerin kopma uzamaları saf PP malzemesine göre azalmıştır. Ancak, dolgu malzemesi miktarı arttıkça kopma uzaması değerinde artış olduğu gözlenmiştir. Ancak, AYPE malzemesinin çekme mukavemeti PP'ye göre daha düşük olduğu için maksimum kuvvet değerlerinde ise dolgu malzemesi artışı ile düşüş meydana gelmiştir.



Şekil 6.4. Ağırlıkça farklı oranlarda A-1 dolgu malzemesi takviyeli PP kompozit malzemelerinin çekme kuvvet-uzama eğrileri

Şekil 6.5'te, ağırlıkça farklı oranlarda A-2 dolgu malzemesi takviyeli PP kompozit malzemelerine ait kuvvet-uzama eğrileri verilmiştir. Şekilde görüleceği üzere, maksimum çekme kuvveti, dolgu malzemenin oranı arttıkça düşmüştür. Bunun yanında kompozit malzemeler içinde, kopma uzama miktarı %30 dolgu malzemesine sahip kompozit de en yüksek değerine ulaşmıştır. Yüzde 10 ve yüzde 20 dolgu malzemesine sahip kompozitlerin

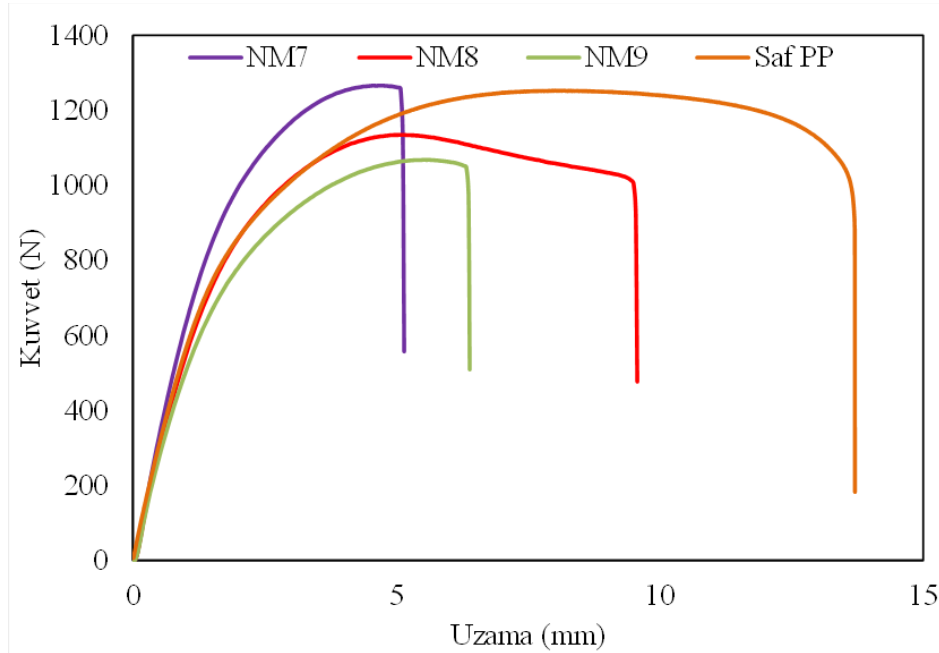
kopma uzama değerleri ise birbirine oldukça yakındır. Malzemelerin kopma uzama değerleri, NM4, NM5 ve NM6 malzemeleri için sırasıyla 9,3; 8,7 ve 12,3 mm olarak ölçülmüştür.



Şekil 6.5. Ağırlıkça farklı oranlarda A-2 dolgu malzemesi takviyeli PP kompozit malzemelerini çekme kuvvet-uzama eğrileri

Şekil 6.6'da ağırlıkça farklı oranlarda A-3 dolgu malzemesi takviyeli PP kompozit malzemelerine ait kuvvet-uzama eğrileri verilmiştir. A-1 ve A-2 dolgulu malzemesi takviyeli PP kompozit malzemelere benzer şekilde dolgu malzemesi oranı arttıkça maksimum kuvvet değeri A-3 dolgu malzemesi takviyeli PP kompozit malzemelerinde de düşmüştür. Ancak, kopma uzama değerlerine bakıldığında, en yüksek değer %20 dolgu malzemesi takviyesine sahip NM8 kompozit malzemesinde görülmüştür. NM7, NM8 ve NM9 kompozit malzemelerinin kopma uzama değerleri sırasıyla 5,2; 9,6 ve 6,4 mm olarak elde edilmiştir. Bunların yanında, NM9 kodlu kompozit malzemenin maksimum çekme mukavemeti, saf PP malzemesi de dahil olmak üzere diğer bütün malzemelerden daha yüksek çıkmıştır. Parçacık takviyeli kompozit malzemelerde, meydana gelen topaklanma ve homojen yapının

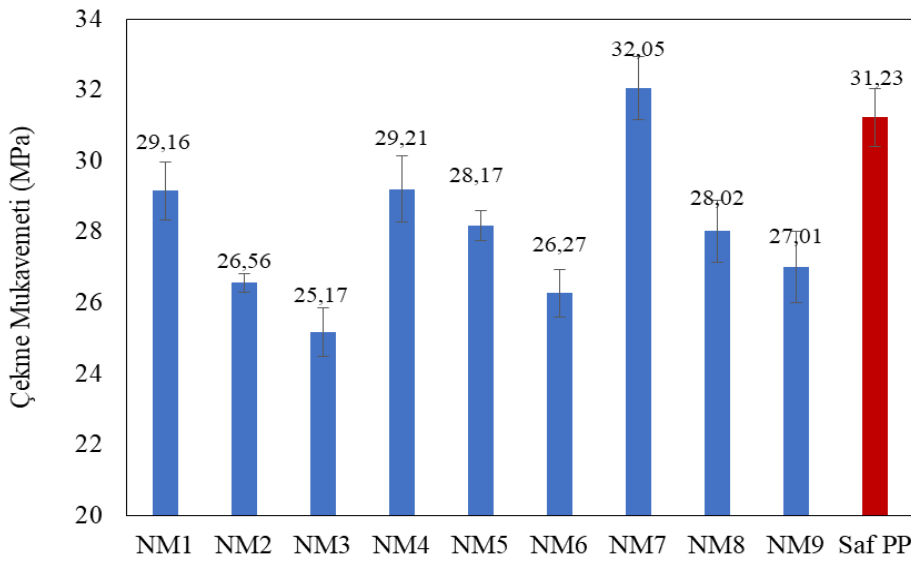
sağlanamaması gibi nedenlerden dolayı, maksimum çekme mukavemetinde ve uzama değerlerinde düşüş görülebilmektedir (Doğan ve Güneş, 2024).



Şekil 6.6. Ağırlıkça farklı oranlarda A-3 dolgu malzemesi takviyeli PP kompozit malzemelerinin çekme kuvvet-uzama eğrileri

Şekil 6.7’de ağırlıkça farklı oranda ve farklı dolgu malzemesi ile takviyelendirilmiş PP kompozit malzemelerinin ve saf PP malzemesinin ortalama çekme mukavemetleri ve standart sapmaları verilmiştir. Ayrıca Tablo 6.2’de her bir malzeme için yapılan testler sonucunda elde edilen çekme mukavemeti ve elastisite modülü değerleri verilmiştir. Şekilde görüleceği üzere dolgu malzemesinin ağırlıkça oranı arttıkça kompozit malzemenin çekme mukavemeti değerinde azalma meydana gelmiştir. Bunun nedeni dolgu malzemelerinde %85 oranında bulunan AYPE malzemesinin çekme mukavemetinin PP malzemesine göre daha düşük olması ve parçacık takviyeli kompozit malzemelerde meydana gelen topaklanmadır. Saf PP malzemesinin çekme mukavemetinin ortalaması 31,23 MPa olarak elde edilmiştir. Sadece karbon elyaf tozu ve AYPE malzemesi ile hazırlanan dolgu malzemesi takviyeli PP kompozit malzemelerinin çekme mukavemeti %10, %20 ve %30 ağırlık oranı için 29,16; 26,56 ve 25,17 MPa olarak bulunmuştur. Lantan oksit katkılı NM4, NM5 ve NM6 kodlu malzemelerde ise ortalama çekme mukavemeti sırasıyla 29,21; 28,17 ve 26,27 MPa olarak elde edilmiştir.

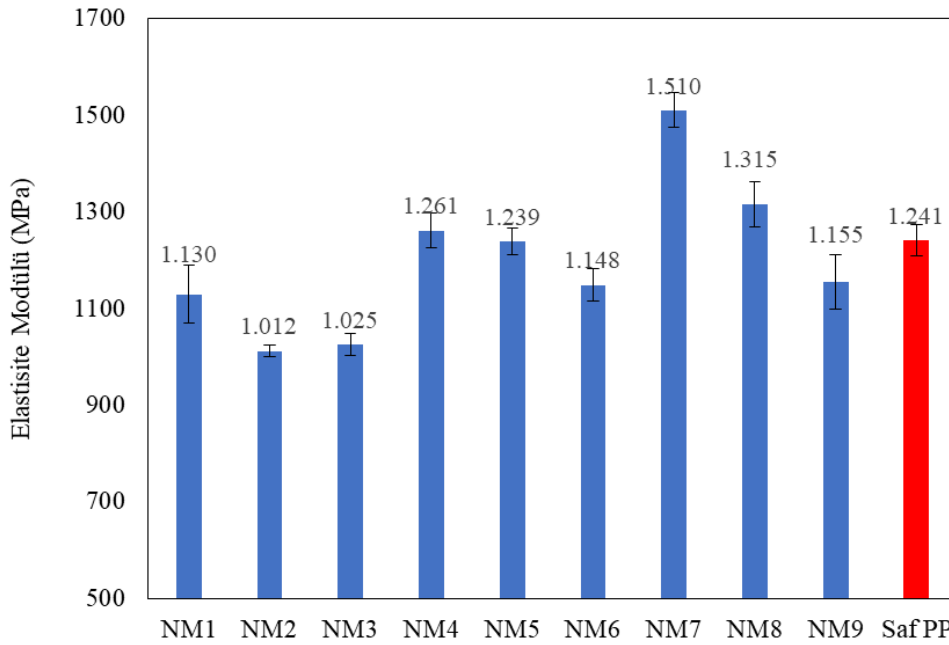
Değerlere bakıldığında lantan oksit takviyesi ile az da olsa çekme mukavemetinde A-1 dolgu malzemesi takviyeli PP kompozit malzemelere göre bir iyileşme gözlenmiştir. Ancak, A1 ve A2 dolgu malzemeleri takviyeli kompozit malzemelerin çekme mukavemeti saf PP malzemesine göre daha düşüktür. Seryum oksit katkılı, NM7, NM8 ve NM9 kodlu malzemelerin ortalama çekme mukavemetlerine bakıldığında ise özellikle %10 A-3 dolgu malzemesi takviyeli PP kompozit malzemenin çekme mukavemetinde önemli bir iyileşme görülmüştür. NM7 malzemesinin ortalama çekme mukavemeti 32,05 MPa ölçülürken, NM8 ve NM9 numunelerinin ortalama çekme mukavemeti değerleri sırasıyla 28,02 ve 27,01 olarak elde edilmiştir. NM7 malzemesinin ortalama çekme mukavemeti saf PP malzemesine göre %3 daha yüksek elde edilmiştir.



Şekil 6.7. Numunelerin çekme mukavemeti değerlerinin ortalaması ve standart sapmaları

Şekil 6.8’de ağırlıkça farklı oranda farklı dolgu malzemesi içeren PP kompozit malzemelerin elastisite modüllerinin ortalama değerleri ve standart sapmaları verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi çekme mukavemetine benzer şekilde dolgu malzemesi içeriği ağırlıkça arttıkça, kompozit malzemelerin elastisite modüllerinde düşüş gözlenmiştir. Ancak, NM3 malzemesinin elastisite modülü NM2 malzemesi göre daha yüksek ölçülmüştür. Bununla birlikte, NTE içeren dolgu malzemesi takviyeli kompozit malzemelerin, özellikle seryum oksit içeren, elastisite modüller sadece karbon elyaf tozu içeren dolgu malzemeli PP kompozit

malzemelere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. A-1, A-2 ve A-3 dolgu malzemelerinde %10 içeriğe sahip NM1, NM4 ve NM7 kodlu kompozit malzemelerin elastisite modülü değerleri sırasıyla 1130, 1261 ve 1510 MPa olarak ölçülmüştür. NM4 ve NM7 malzemelerinin elastisite modülleri NM1 malzemesine göre sırasıyla yaklaşık %11 ve %33 daha yüksek olduğu elde edilmiştir. Ayrıca, lantan oksit içeren dolgu malzemeli kompozit malzemelerin elastisite modülü saf PP ile karşılaştırıldığında önemli bir değişim gözlenmemiştir. Ancak seryum oksit içeren dolgu malzemeli kompozit malzemelerin, özellikle %10 ve %20 ağırlıkça oranda, elastisite modülünde saf PP malzemesine göre önemli iyileşme görülmüştür. Saf PP malzemesinin elastisite modülü 1241 MPa olarak bulunmuştur. NM7 kodlu kompozit malzemenin elastisite modülü saf PP malzemesine göre yaklaşık %26 daha yüksek bulunmuştur.



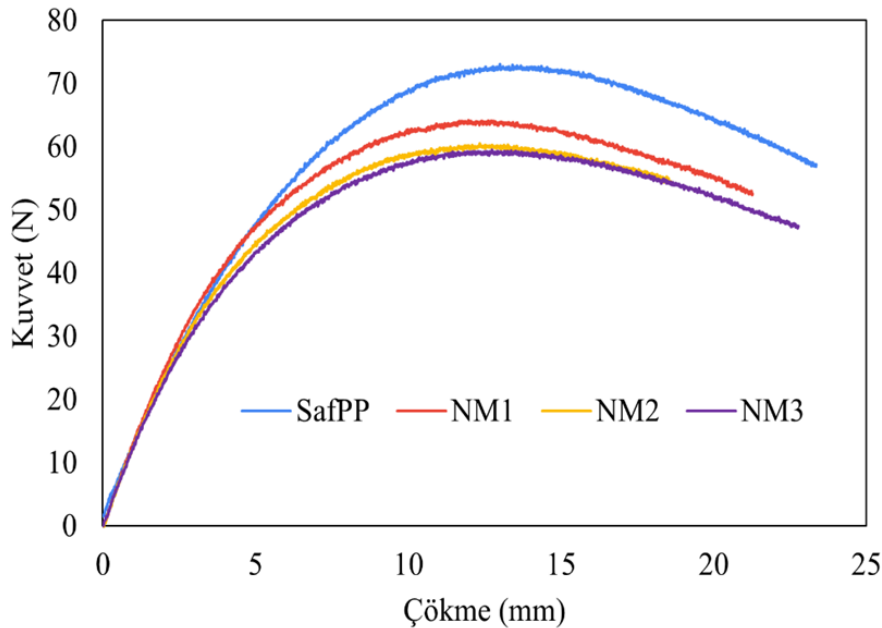
Şekil 6.8. Numunelerin elastisite modülü değerlerinin ortalaması ve standart sapmaları

Tablo 6.2. Numunelerin çekme testi sonuçları

Numune Kodu	Numune Numarası	Çekme Gerilmesi (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)
NM1	1-1	30,48	1245
	1-2	29,12	1073
	1-3	29,08	1124
	1-4	28,90	1116
	1-5	28,21	1090
NM2	2-1	26,33	1003
	2-2	26,67	1025
	2-3	26,95	1017
	2-4	26,29	1020
	2-5	26,56	994
NM3	3-1	26,21	1057
	3-2	25,24	1020
	3-3	24,33	991
	3-4	24,95	1017
	3-5	25,11	1041
NM4	4-1	31,65	1318
	4-2	31,27	1218
	4-3	31,41	1277
	4-4	33,36	1269
	4-5	32,55	1225
NM5	5-1	27,23	1228
	5-2	28,68	1217
	5-3	28,88	1218
	5-4	26,93	1291
	5-5	28,37	1242
NM6	6-1	26,52	1132
	6-2	28,54	1114
	6-3	27,38	1192
	6-4	26,71	1185
	6-5	25,90	1119
NM7	7-1	30,71	1551
	7-2	28,73	1501
	7-3	29,40	1447
	7-4	28,90	1537
	7-5	28,29	1514
NM8	8-1	28,40	1280
	8-2	27,80	1391
	8-3	27,83	1334
	8-4	28,79	1257
	8-5	28,04	1314
NM9	9-1	26,24	1192
	9-2	25,92	1124
	9-3	27,22	1063
	9-4	26,52	1221
	9-5	25,43	1173

6.3. Üç Nokta Eğilme Testi Sonuçları

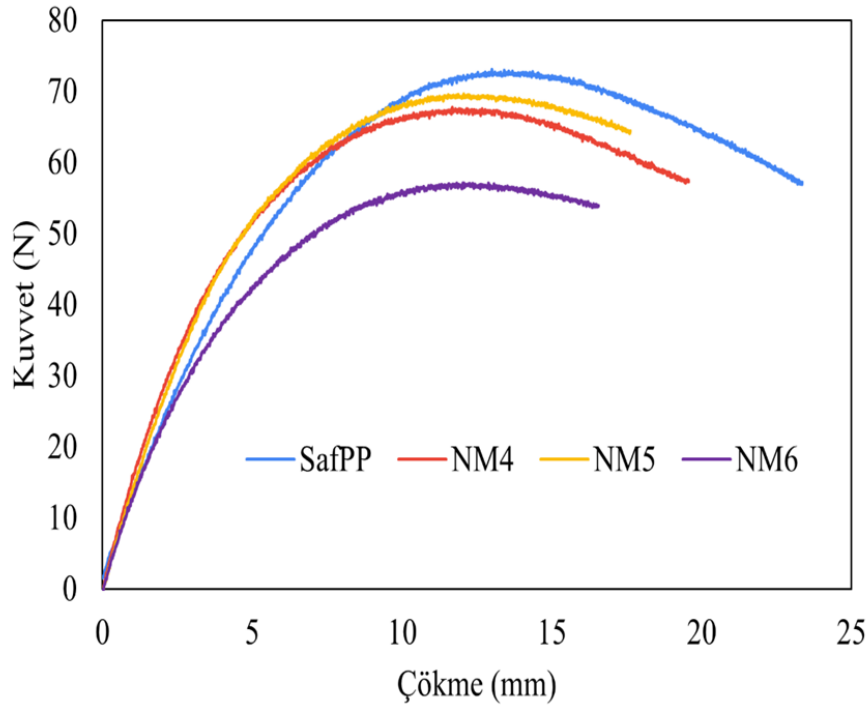
Üç nokta eğilme testinde malzemelerin kuvvet-çökme eğrileri ve eğilme mukavemetleri değerleri elde edilmiştir. Her bir malzeme için eğilme testleri beşer kez tekrarlanmıştır. Şekillerde bu beş değerın ortalama değerleri verilmiştir. Şekil 6.9’da ağırlıkça farklı oranlarda A-1 dolgu malzemesi takviyeli PP kompozit malzemelerinin üç nokta eğilme kuvvet-uzama eğrileri verilmiştir. Şekilde görüleceği üzere, dolgu malzemesinin takviye oranı arttıkça malzemelerin aynı çökme miktarına denk gelen kuvvet değerleri saf PP malzemesine göre düşmüştür. Çekme testinde bulunan değerlere benzer şekilde dolgu malzemesi oranı arttıkça kompozit malzemelerin kuvvet değerlerinde düşüş meydana gelmiştir.



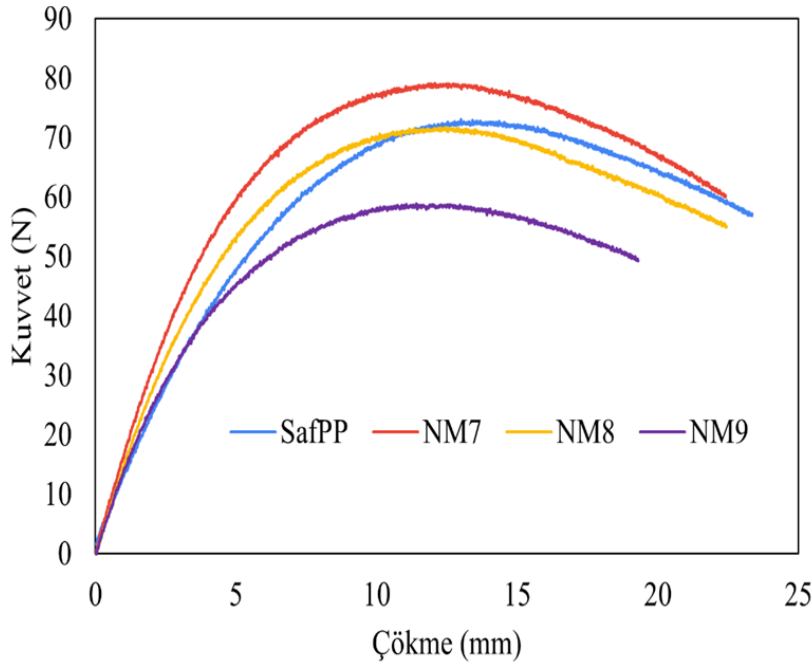
Şekil 6.9. Ağırlıkça farklı oranlarda A-1 dolgu malzemesi takviyeli PP kompozit malzemelerinin üç nokta eğilme kuvvet-uzama eğrileri

Şekil 6.10’da ağırlıkça farklı oranlarda A-2 dolgu malzemesi takviyeli PP kompozit malzemelerinin üç nokta eğilme kuvvet-uzama eğrileri görülmektedir. A-1 dolgu malzemesine benzer şekilde, dolgu malzemesi oranı arttıkça, kompozit malzemelerin kuvvet değerlerinde düşüş gözlenmiştir. Şekil 6.11’de ise ağırlıkça farklı oranlarda A-3 dolgu malzemesi takviyeli PP kompozit malzemelerinin üç nokta eğilme kuvvet-uzama eğrileri görülmektedir. A-1 ve

A-2 dolgu malzemesi ile takviyeli kompozit malzemelerin aksine, %10 A-3 takviyeli kompozit malzemenin üç-nokta eğilme kuvvet değerleri PP malzemesine göre aynı çökme miktarında daha yüksek elde edilmiştir. Yüzde 20 A-3 takviyeli malzeme ise saf PP malzemesine benzer bir eğilim göstermiştir. Ancak, dolgu malzemesi oranı %30'a yükseldiğinde kuvvet değerinde keskin bir düşüş gözlenmiştir.



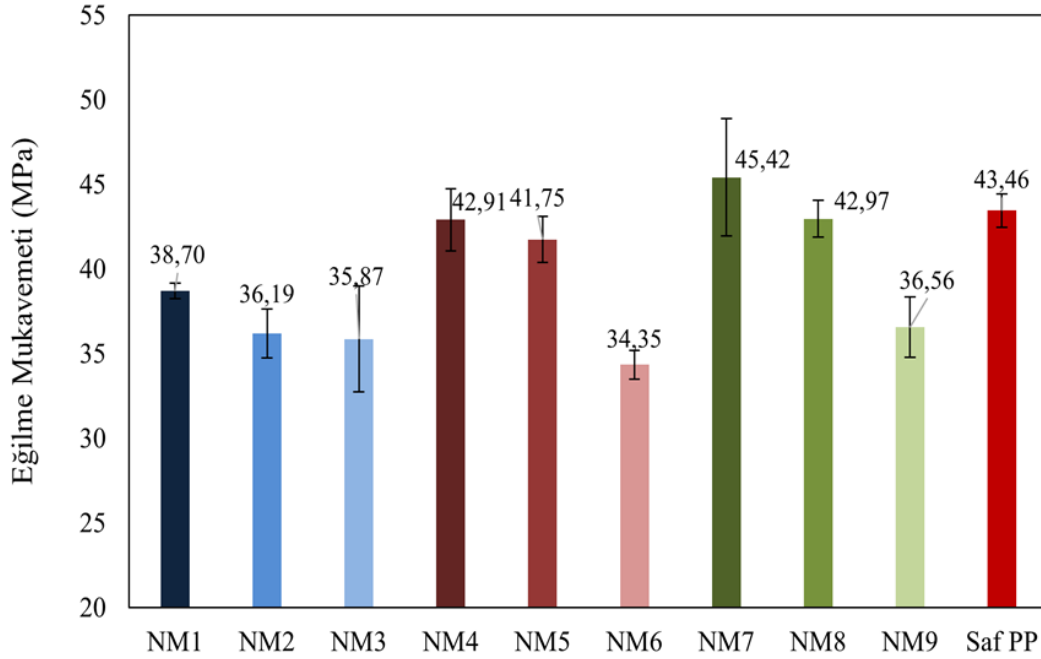
Şekil 6.10. Ağırlıkça farklı oranlarda A-2 dolgu malzemesi takviyeli PP kompozit malzemelerinin üç nokta eğilme kuvvet-uzama eğrileri



Şekil 6.11. Ağırlıkça farklı oranlarda A-3 dolgu malzemesi takviyeli PP kompozit malzemelerinin üç nokta eğilme kuvvet-uzama eğrileri

Şekil 6.12’de kompozit malzemelerin ve saf PP malzemesinin eğilme mukavemeti değerleri ve standart sapmaları verilmiştir. Kompozit malzemelerin eğilme mukavemetleri dolgu malzemesinin oranı arttıkça düşmüştür. Özellikle NTE içermeyen dolgu malzemeleri ile takviye edilmiş kompozit malzemelerin eğilme mukavemetleri saf PP malzemesine göre azalmıştır. NM1, NM2 ve NM3 malzemelerinin eğilme mukavemetleri sırasıyla 38,70; 36,19 ve 35,87 MPa olarak elde edilmiştir. NM4 ve NM5 malzemelerine bakıldığında ise, eğilme mukavemetinde saf PP malzemesine göre büyük bir değişiklik izlenmemiştir. Ancak, dolgu malzemesi oranı %30a çıkarıldığında keskin bir düşüş izlenmiştir. Saf PP malzemesinin eğilme mukavemeti 43,46 MPa iken, NM4, NM5 ve NM6 malzemelerinin eğilme mukavemetleri sırasıyla 42,91; 41,75 ve 34,35 MPa olarak ölçülmüştür. A-3 dolgu malzemesi takviyeli NM7, NM8 ve NM9 kompozit malzemelerin eğilme mukavemetleri ise sırasıyla 45,52; 42,97 ve 36,56 MPa olarak elde edilmiştir. Çekme mukavemetinde olduğu gibi, eğilme mukavemetinde de en yüksek değere NM7 numunesi sahiptir. NM7 kodlu kompozit malzemenin eğilme mukavemeti saf PP kompozit malzemesine göre %4,5 daha yüksek olduğu görülmüştür. Çekme ve üç-nokta eğilme testleri değerlendirildiğinde, özellikle %10 dolgu

malzemesi içeren PP kompozit malzemesinin hem eğilme mukavemeti hem de çekme mukavemetinde saf PP malzemesine göre iyileşme gerçekleşmiştir. Ayrıca, NM7 malzemesinin elastisite modülü de saf PP malzemesine göre daha yüksektir. Sonuç olarak, NM7 malzemesinde bulunan seryum oksit katkısı malzemenin mekanik özelliklerini iyileştirdiği söylenebilir.



Şekil 6.12. Numunelerin eğilme mukavemeti değerlerinin ortalaması ve standart sapmaları

6.4. Charpy Darbe Testi Sonuçları

Tablo 6.3'te ağırlıkça farklı oranda dolgu malzemesi içeren PP kompozit malzemelerin absorbe ettikleri Charpy darbe enerjileri verilmiştir. Test sonuçlarında artan dolgu maddesi oranına bağlı olarak darbe enerjisinde artış görülmüştür. A1 dolgu malzemesi ile takviye edilmiş PP kompozit malzemesinin darbe enerji ağırlık oranı ile değişmemiştir ve bütün numunelerde 3,8 kJ/m² olarak bulunmuştur. Ancak, NTE takviyeli numunelerde özellikle seryum oksit takviyeli kompozit malzemelerde artan dolgu malzemesi ile darbe enerjisinde

artış görülmüştür. Diğer iki numunelerdeki artış daha belirgin olmuştur. En yüksek Charpy darbe enerjisi NM9 kodlu malzemede 4 kJ/m² olarak bulunmuştur.

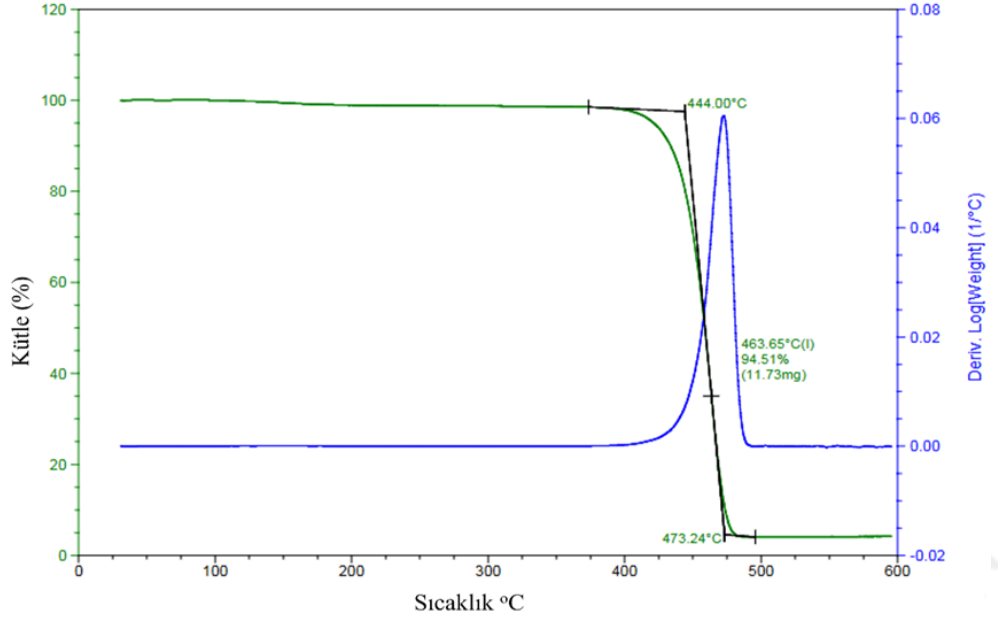
Tablo 6.3. Charpy darbe test sonuçları

Numune Kodu	Charpy darbe enerjisi (kJ/m ²)
NM1	3,8
NM2	3,8
NM3	3,8
NM4	3,4
NM5	3,4
NM6	3,8
NM7	3,2
NM8	3,4
NM9	4,0

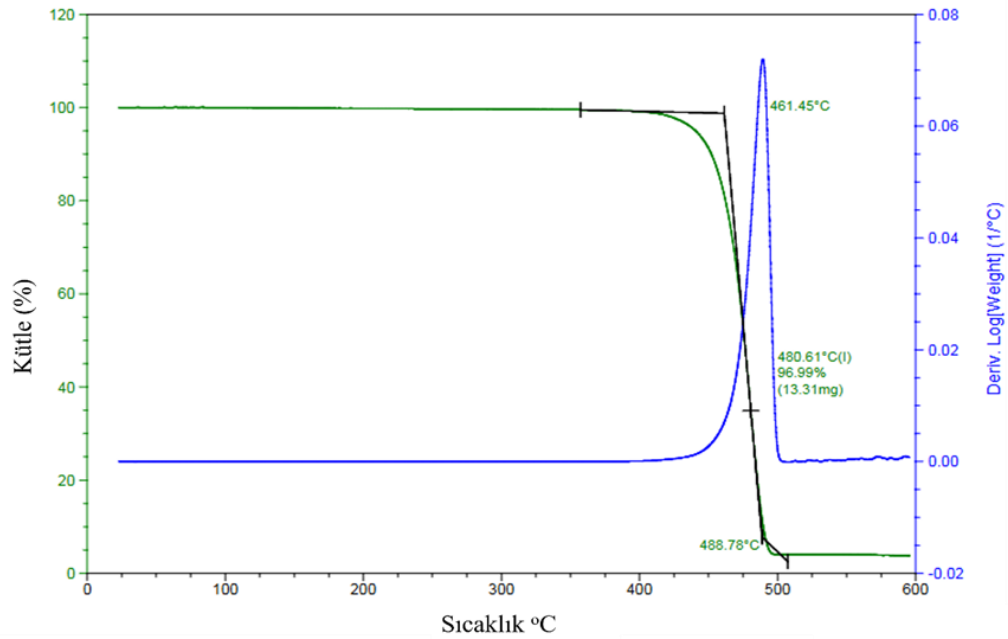
6.5. Termogravimetrik Analiz (TGA) Sonuçları

NM3, NM6 ve NM9 malzemelerinin termogravimetrik analizleri, dolgu malzemesi ve oranının PP kompozitlerinin termal kararlılığı üzerindeki etkisini araştırmak için gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.13'te NM3 malzemesinin TGA eğrisini göstermektedir. Şekilden de görülebileceği gibi, malzemelerde tek kademeli bir bozulma söz konusudur. Şekil 6.13 incelendiğinde malzemedeki bozulmanın yaklaşık 444 °C civarında başladığı ve 473 °C son bulduğu görülmektedir. Şekil 6.14'te NM6 malzemesine ait verilen TGA eğrisinde ise bozulmanın 461 °C'de başladığı ve 488 °C son bulduğu görülmektedir. NM9 malzemesine ait TGA eğrisi Şekil 6.15'te verilmiştir. Burada, bozulma NM6 numunesine benzer şekilde 462 °C başlamış ve 488 °C son bulmuştur. Şekillere bakıldığında, NM3 numunesinde oda sıcaklığı ile 200 °C derece arasında yaklaşık %2'lik bir kütle kaybı olduğu mevcuttur. 200 ile 400 °C arasında ise önemli bir kütle kaybı yaşanmamıştır. Literatürde malzemenin ağırlığındaki bu

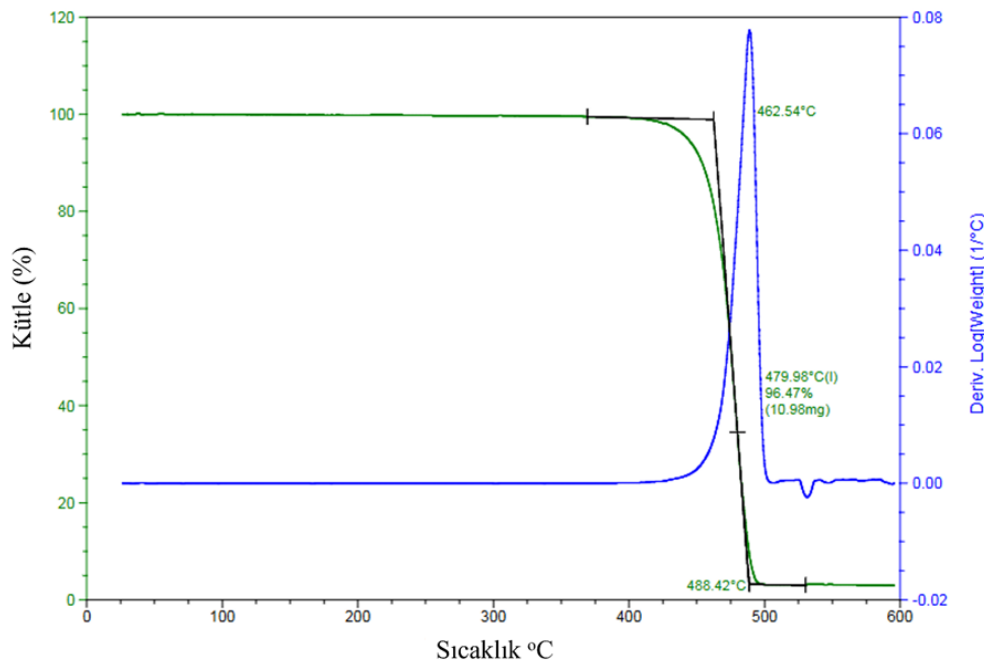
kaybın malzemede hapsolmuş nemin varlığıyla ilgili olduğu belirtilmektedir (Rani ve ark.,2021). NM6 ve NM9 malzemelerine ait şekillere bakıldığında ise oda sıcaklığı ile 400 °C arasında önemli bir kütle değişimi görünmemektedir.



Şekil 6.13. NM3 numunesine ait TGA eğrisi



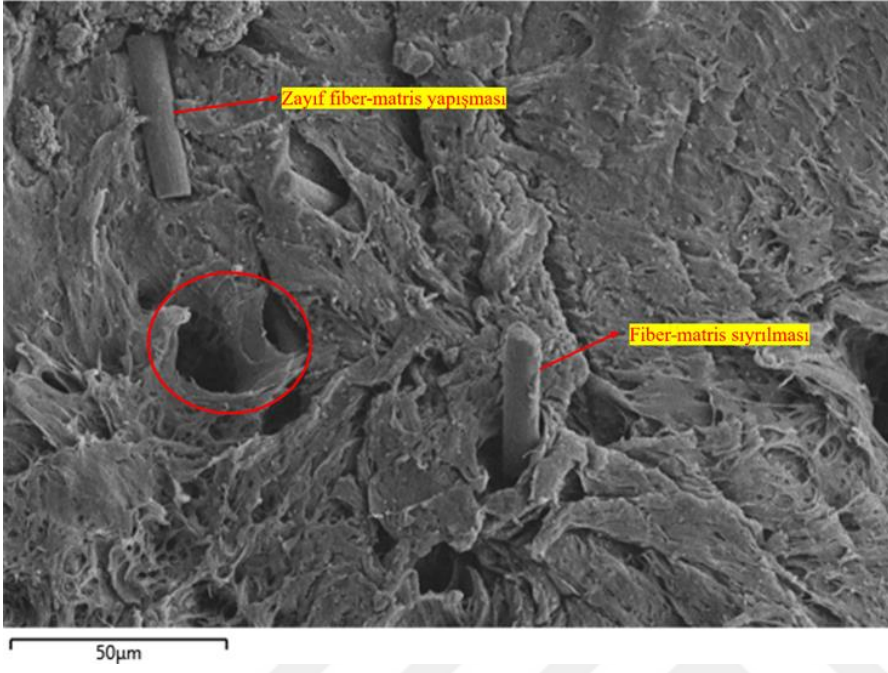
Şekil 6.14. NM6 numunesine ait TGA eğrisi



Şekil 6.15. NM9 numunesine ait TGA eğrisi

6.6. SEM-EDS Analizi

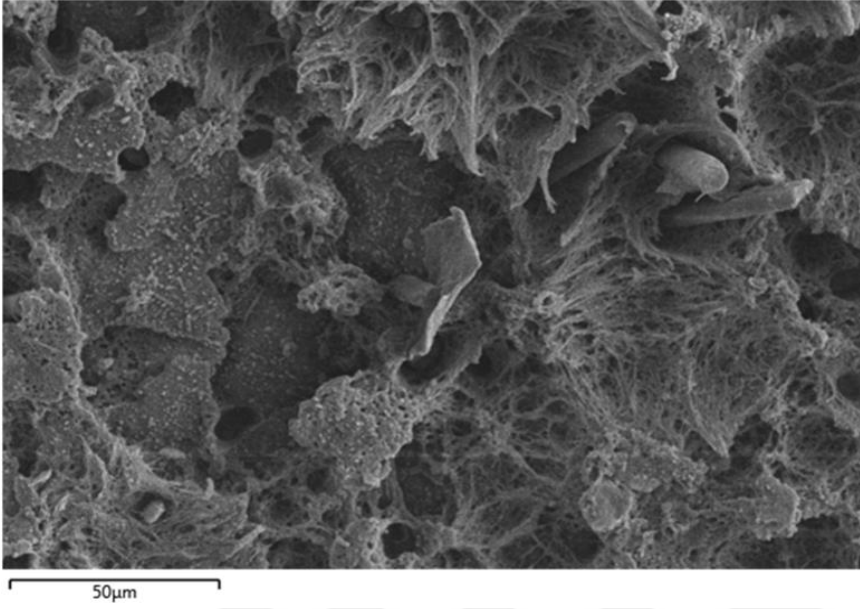
Şekil 6.16, 6.17, 6.18’de %10 A-1, A-2 ve A-3 dolgu malzemesine sahip PP kompozit malzemelerin çekme testi sonrası hasarlı kesitlerinin SEM görüntüleri verilmiştir. Şekillerde görüleceği üzere karbon elyaf tozları matris malzemesi içinde rastgele dağılmıştır. Ayrıca, karbon fiber ile matris malzemesi arasındaki arayüz hasarı, zayıf fiber matris yapışması, matris kırılması ve fiber çekmesi (fiber pull-out) gibi hasar türleri görülmektedir. Karbon elyaf tozu ile matris malzemesi arasındaki arayüz yapışmasının istenen derecede iyi olmadığı göstermiştir. Ayrıca, Şekil 6.18’de görüldüğü üzere hasar tipi diğer iki malzemeye göre daha sünek ve daha iyi bir ara yüzey yapışması olduğu göstermektedir. Bu da seryum oksit katkılı dolgu malzemesi ile takviye edilmiş NM7 kodlu PP kompozit malzemesinin diğer malzemelere göre sahip olduğu daha yüksek mukavemet değerini açıklamaktadır.



Şekil 6.16. Çekme testi sonrası NM1 numunesine ait hasarlı kesitin SEM görüntüsü

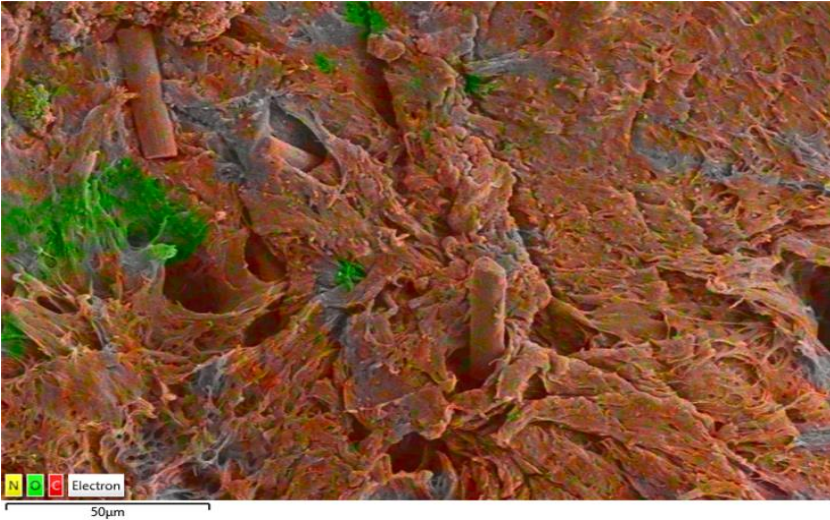


Şekil 6.17. Çekme testi sonrası NM4 numunesine ait hasarlı kesitin SEM görüntüsü

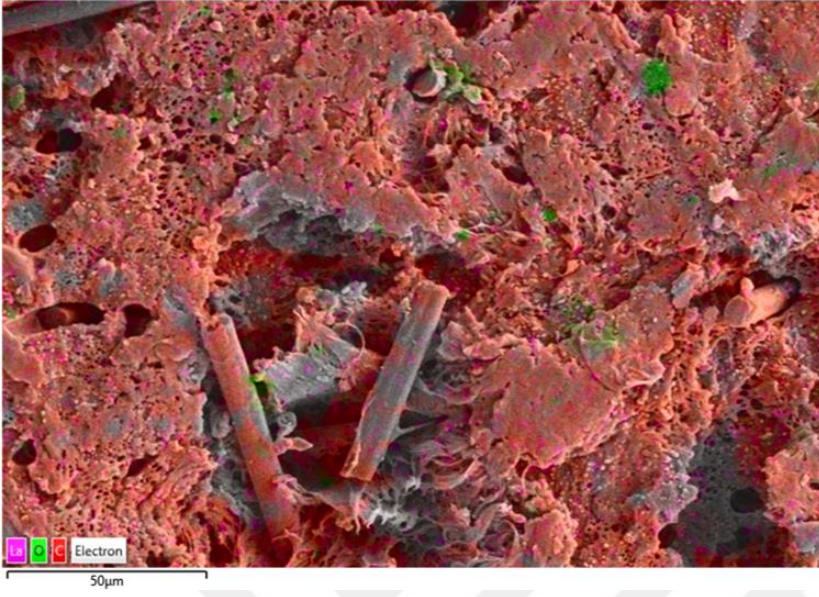


Şekil 6.18. Çekme testi sonrası NM7 numunesine ait hasarlı kesitin SEM görüntüsü

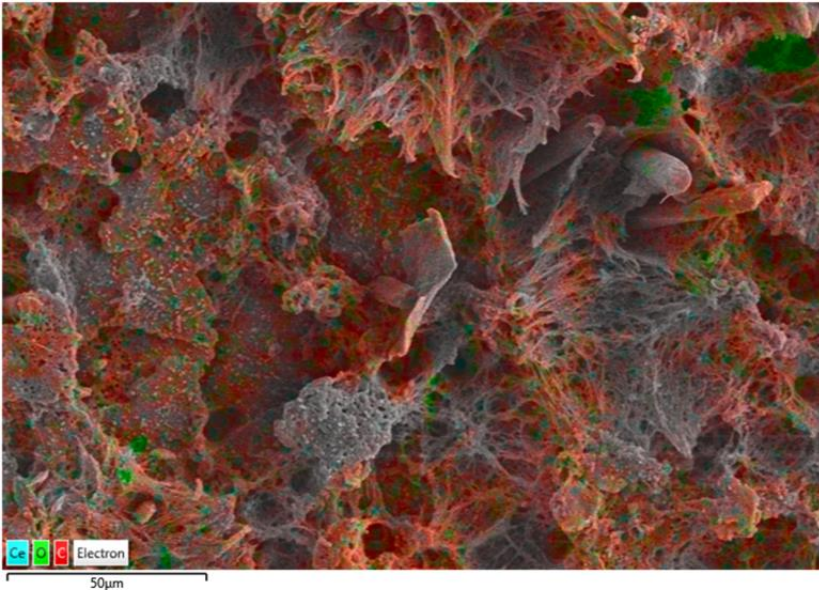
Şekil 6.19, 6.20 ve 6.21’de NM1, NM4 ve NM7 malzemelerine ait hasarlı numunelerden elde edilen kesitlerin EDS görüntüleri verilmiştir. Şekillerde her bir element farklı renklerde gösterilmiştir. Şekillerde oksijen yeşil, karbon ise kırmızı renk ile gösterilmiştir. Şekil 6.20’de lantan ve Şekil 6.21’de seryum farklı renklerde verilmiştir. Şekillerde görüleceği üzere lantan oksit ve seryum oksit malzemelerde rastgele dağılmıştır. Bu da, malzemelerde nadir toprak elementlerinin varlığını ispatlamaktadır.



Şekil 6.19. Çekme testi sonrası NM1 numunesine ait hasarlı kesitin EDS görüntüsü



Şekil 6.20. Çekme testi sonrası NM4 numunesine ait hasarlı kesitin EDS görüntüsü

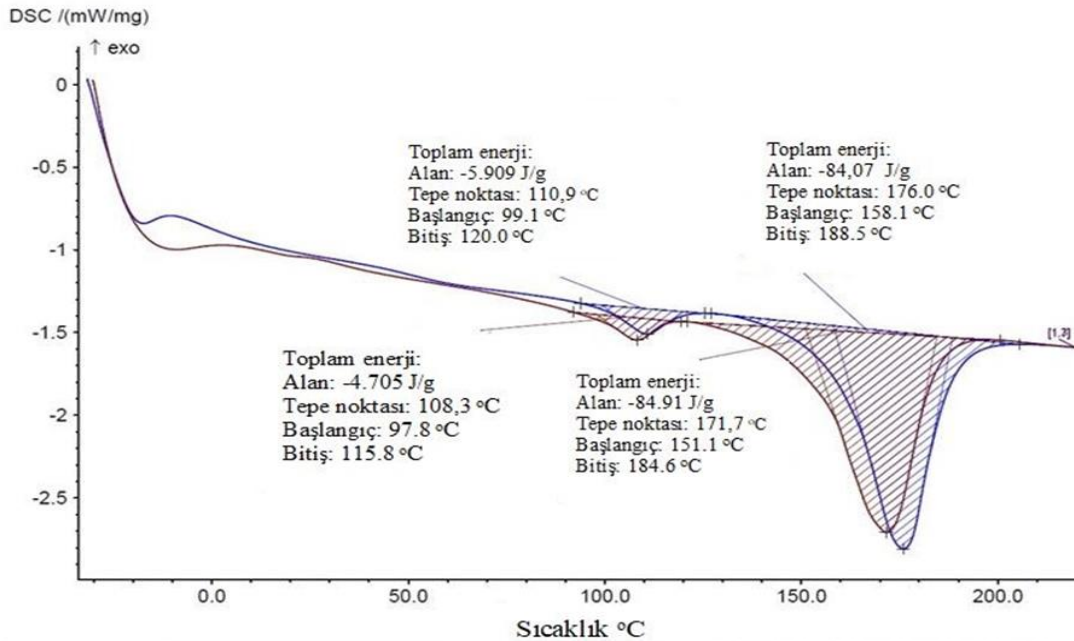


Şekil 6.21. Çekme testi sonrası NM7 numunesine ait hasarlı kesitin EDS görüntüsü

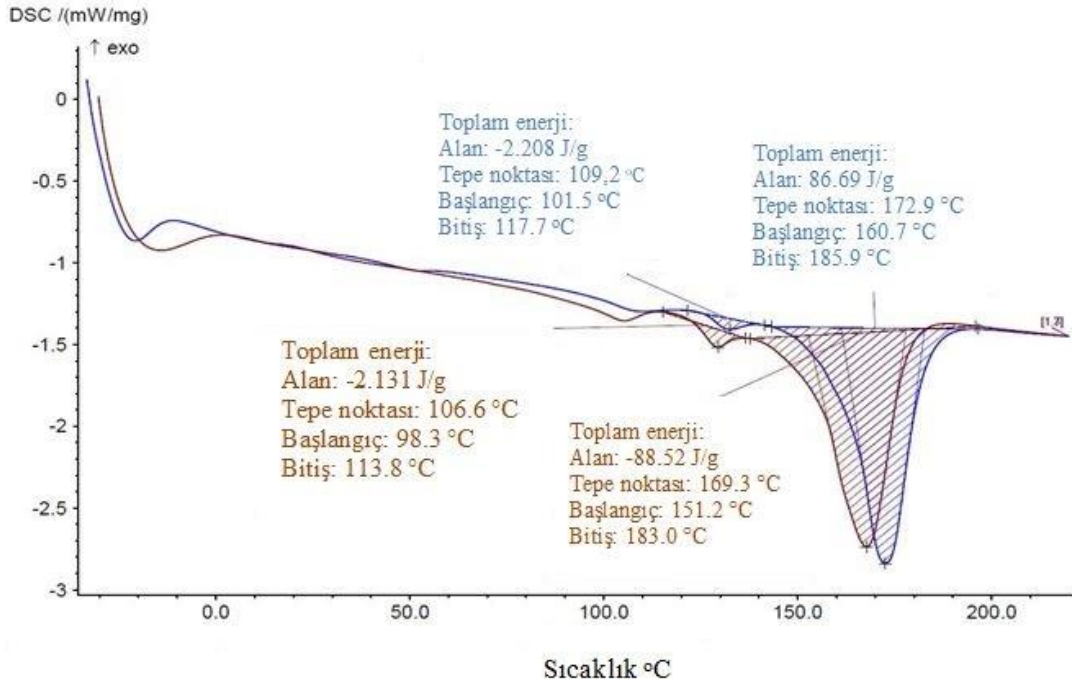
6.7. Diferansiyel Tarama Kalorimetresi (DSC) Analizi

Şekil 6.22, 6.23 ve 6.24'te A-1, A-2 ve A-3 dolgu maddeli PP kompozit malzemelerin diferansiyel tarama kalorimetresi (DSC) analizleri yapılmıştır. Şekil 6.22'de A-1 dolgu

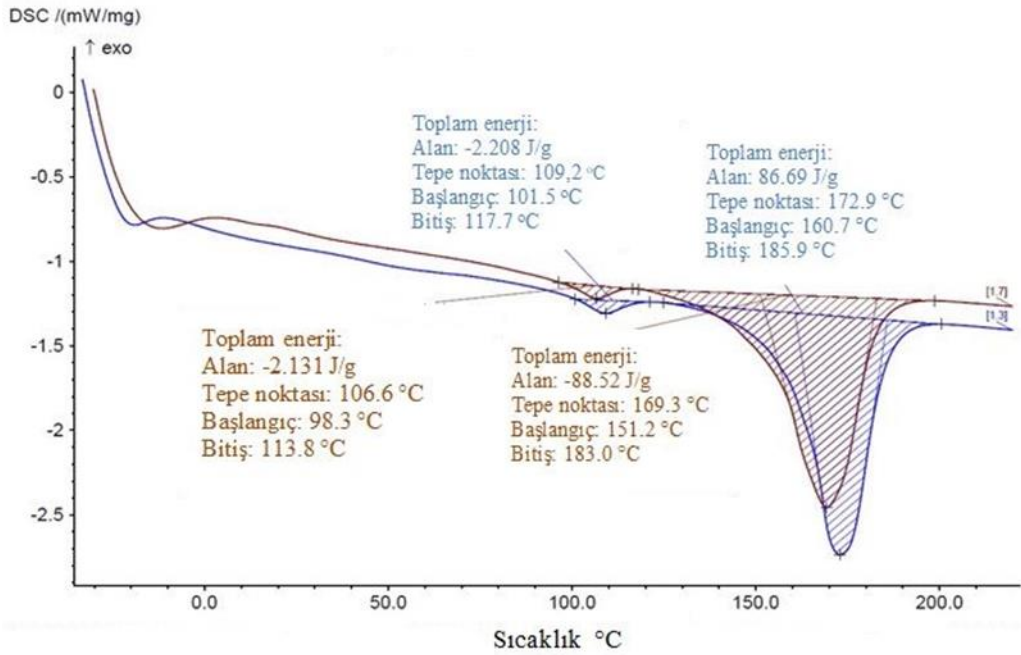
maddeli NM1 numunesinde birden fazla ekzotermik olay gerçekleşmiştir. Bu malzemenin termal olarak kararlı olmadığını ve farklı sıcaklık aralıklarında enerji salımı yapan değişimlere uğradığını ifade eder. Malzemenin 158,6 °C'deki tepe noktasında en büyük enerji salınımı gözlemlenmiştir. Bu, malzemenin ana faz geçişi veya yapısal değişiminin bu sıcaklıkta gerçekleştiğini işaret eder. Daha düşük sıcaklıklardaki tepe noktaları yan reaksiyonlar önceden var olan yapıların dönüşümü veya küçük ölçekli kristallenmelerle ilişkilendirilebilir. Genel olarak NM1 numunesinde termal stabilite 150-160 °C aralığında kararsız hale gelip önemli bir değişim geçirmektedir. 93,7-11,8 °C ve 151,1-164,0 °C aralıkları arasında ekzotermik olaylarla faz değişimi yaşanmaktadır. Orta bölgedeki yüksek enerji salınımı -94,07 J/g, malzemenin bu sıcaklıkta kimyasal veya fiziksel olarak önemli bir dönüşüm geçirdiğini işaret eder. Şekil 6.23'de NM4 numunesine ait A-2 dolgu maddeli, şekil 6.24'de NM7 numunesine ait A-3 dolgu maddeli malzemeye ait DSC analiz grafiği verilmiştir. Camsı geçiş sıcaklığı genellikle amorf polimerler veya yarı kristal polimerlerde görülür. NM7 numunesine ait grafikte ~100-110°C, NM4 numunesine ait grafikte ise ~125-135°C arasında bir endotermik olay mevcut. Yüksek ısıtma hızı 40 K/dak, bu geçişi daha belirgin hale getirir, çünkü düşük hızlarda bazen Tg geniş bir aralıkta yayılabilir. Bu geçiş büyük olasılıkla camsı geçiş sıcaklığıdır çünkü düşük sıcaklık aralığında ve ısıtma hızı nedeniyle belirgin hale gelmiştir.



Şekil 6.22. NM1 numunesine ait DSC analizi



Şekil 6.23. NM4 numunesine ait DSC analizi



Şekil 6.24. NM7 numunesine ait DSC analizi

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, karbon elyaf tozu ve nadir toprak elementleri olan lantan oksit ve seryum oksit kullanılarak hazırlanan dolgu malzemesi takviyeli polipropilen (PP) matrisli kompozit malzemelerin mekanik, termal ve morfolojik özellikleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Çalışmada elde edilen bulgular, bu tür hibrit takviyelerin, geleneksel PP malzemelere kıyasla çeşitli yönlerden önemli avantajlar sağladığını ortaya koymuştur.

Yapılan testler sonucunda, özellikle seryum oksit nadir toprak elementi içeren dolgu malzemesi ile takviye edilmiş PP kompozit malzemelerin çekme dayanımı, elastisite modülü ve termal kararlılık gibi özelliklerinin diğer dolgu malzemesi takviyeli PP kompozitlere oranla iyileştiği görülmüştür. Özellikle seryum oksit katkısının, malzemenin hem mekanik hem de termal performansında en yüksek iyileşmeyi sağladığı belirlenmiştir. Çekme testlerinde, seryum oksit içeren %10 dolgu malzemesi ile takviye edilen kompozit numunelerde, saf PP malzemesine kıyasla %3 oranında bir artış gözlemlenmiştir. Benzer şekilde, termogravimetrik analizler, seryum oksit katkısının malzemelerin termal kararlılığını önemli ölçüde artırdığını ve bozulma sıcaklığını daha yüksek seviyelere taşıdığını ortaya koymuştur.

Kompozitlerin elastisite modülleri incelendiğinde, seryum oksit takviyesinin, diğer dolgu malzemeleri ile karşılaştırıldığında, çok daha etkili olduğu belirlenmiştir. Bu durum, seryum oksit ve matris malzemesi arasındaki uyumun daha iyi olduğunu ve dolgu malzemesinin yapıya daha güçlü bir katkı sağladığını göstermektedir. Ek olarak, lantan oksit katkılı kompozit malzemelerde de mekanik performansta iyileşmeler gözlemlenmiş; ancak bu iyileşmeler seryum oksit katkısına kıyasla daha sınırlı kalmıştır.

Morfolojik analizler, karbon elyaf tozlarının matris içinde homojen bir şekilde dağıldığını ve seryum oksit içeren numunelerde daha iyi bir ara yüz yapışması sağlandığını ortaya koymuştur. Bu durum, seryum oksit katkısının malzemede daha sünek bir yapı oluşturmaya ve dolayısıyla kırılma dayanımını artırmasına katkıda bulunmuştur. Üç nokta eğilme testlerinde ise, NM7 kodlu seryum oksit katkılı kompozit malzemeler saf PP'ye kıyasla daha yüksek dayanım gösterdiği ve eğilme mukavemetinde önemli bir artış sağladığı tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, bu çalışma, polipropilen matrisli kompozit malzemelerde karbon elyaf tozu ve nadir toprak elementleri gibi hibrit takviyelerin kullanımının, mekanik ve termal

performansı iyileştirmek için etkili bir yöntem olduğunu ortaya koymuştur. Özellikle seryum oksit katkısının, mekanik dayanım ve termal kararlılık sağlama konusundaki etkisi dikkat çekicidir. Bu tür malzemelerin otomotiv, savunma ve havacılık gibi sektörlerde hafif, dayanıklı ve evre dostu mühendislik malzemeleri olarak kullanım potansiyeli bulunmaktadır.

Gelecekte, bu tür kompozit malzemelerin farklı üretim yöntemleriyle ölçeklenebilirliği test edilerek, performanslarının gerçek endüstriyel uygulamalarda doğrulanması önem taşımaktadır. Ayrıca, farklı nadir toprak elementleri ve karbon elyaf oranlarının kullanıldığı çalışmaların yapılması, bu alanda daha geniş bir bilgi birikimi oluşturulmasına katkı sağlayacaktır.

8. KAYNAKLAR

- Amir, N., Abidin, K.A.Z., Shiri, F.B.M.,** 2017. Effects of fibre configuration on mechanical properties of banana fibre/PP/MAPP natural fibre reinforced polymer composite. *Procedia engineering*, 184:573-580.
- Ahmadijokani F., Shojaei A., Dordanihaghighi S., ve ark.,** 2020 Effects of hybrid carbon-aramid fiber on performance of non-asbestos organic brake friction composites. *Wear*, 452–453:203280.
- Arabpour, A., Shockravi, A., Rezania, H., Farahati, R.,** 2020. Investigation of anticorrosive properties of novel silane-functionalized polyamide/GO nanocomposite as steel coatings. *Surfaces and Interfaces*, 18:100453.
- Ayikurt P.,** 2023. Karbon elyaf takviyeli polietilenin mekanik, termal ve fiziksel özelliklerine nadir toprak elementlerinin etkileri. *Yüksek Lisans Tezi*, Munzur Üniversitesi, Tunceli.
- Bdaiwi, W.,** 2017. Effect of Nano (Y2O3) on the Mechanical Properties of the (PS: NR: PMMA) Polymer Blend Composite.
- Bokobza, L.,** 2007. Multiwall carbon nanotube elastomeric composites: A review. *Polymer*, 48(17):4907-4920.
- Byrne, M.T., Gun'ko, Y.K.,** 2010. Recent Advances in Research on Carbon Nanotube–Polymer Composites. *Advanced Materials*, 22:1672–1688.
- Chee, S.S., Jawaid. M., Sultan, M.T.H., ve ark.,** 2019. Thermomechanical and dynamic mechanical properties of bamboo/woven kenaf mat reinforced epoxy hybrid composites. *Composites Part B: Engineering*, 163:165–174.
- Dickson, A.N., Ross, K.A., Dowling, D.P.,** 2018. Additive manufacturing of woven carbon fibre polymer composites. *Composite Structures*, 206:637–643.
- Doğan, A., Arman, Y.,** 2018. The Effect of Hygrothermal Aging on the Glass and Carbon Reinforced Epoxy Composites for different Stacking Sequences. *Mechanics*, 24:19–25.
- Dogan, A., Atas, C.,** 2016. Variation of the mechanical properties of E-glass/epoxy composites subjected to hygrothermal aging. *Journal of Composite Materials*, 50:637–646.
- Doğan, A., Güneş, Ç.,** 2024. Mechanical and thermal properties of short banana fiber reinforced polyoxymethylene composite materials dependent on alkali treatment. *Materials Testing*, 66:625–635.

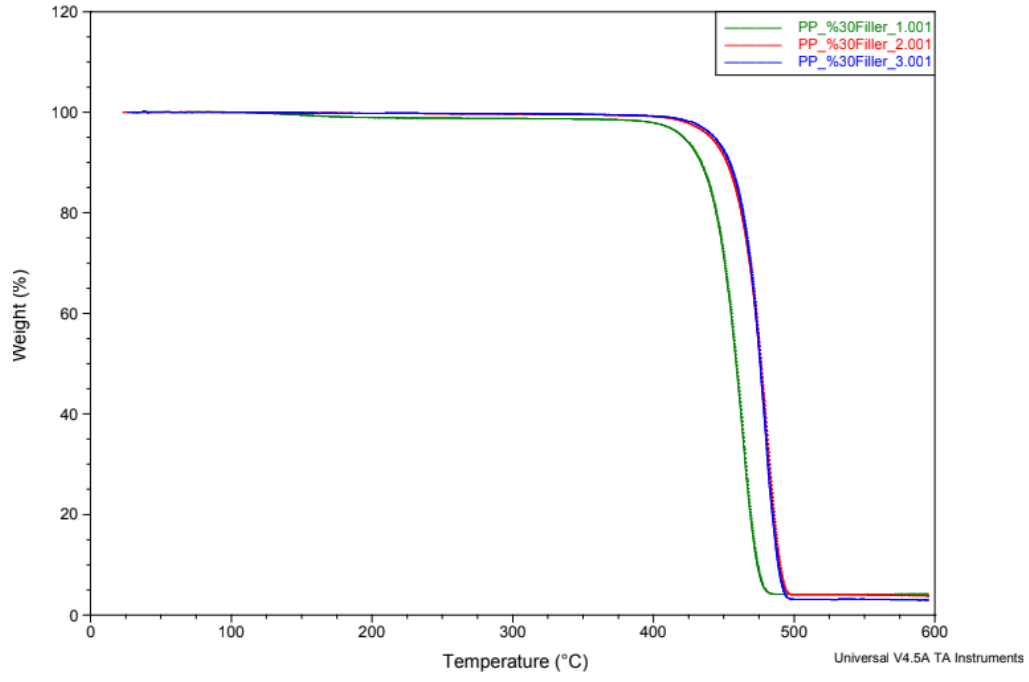
- Eldressi, K.A., Alojaly, H.M., Salem, W.O.A., Sanoussi, N.S.** 2024. Review of recent developments in polymer matrix composites with particulate reinforcements. In: Hashmi S (ed) *Comprehensive Materials Processing* (Second Edition). *Elsevier, Oxford*, pp 409–413
- Fu, S., Sun, Z., Huang, P., ve ark.,** 2019. Some basic aspects of polymer nanocomposites: A critical review. *Nano Materials Science*, 1:2–30
- Guezout, Z., Boubli, A., Haddaoui, N.,** 2023. Enhancing thermal and mechanical properties of polypropylene-nitrile butadiene rubber nanocomposites through graphene oxide functionalization. *J Polym Res*, 30:207.
- Hiremath, A., Murthy, A.A., Thipperudrappa, S.K.N.B.,** 2021. Nanoparticles Filled Polymer Nanocomposites: A Technological Review. *Cogent Engineering* 8:1991229.
- Hossain, Md.T., Shahid, Md.A., Mahmud, N., ve ark.,** 2024. Research and application of polypropylene: a review. *Discover Nano*, 19:2.
- Hsisou, R., Elharfi, A.,** 2020. Rheological behavior of three polymers and their hybrid composites (TGEEBA/MDA/PN), (HGEMDA/MDA/PN) and (NGHPBAE/MDA/PN). *Journal of King Saud University - Science*, 32:235–244.
- Hsisou, R., Seghiri, R., Benzekri, Z., ve ark.,** 2021. Polymer composite materials: A comprehensive review. *Composite structures*, 262:113640
- Khalil, H.A., Tehrani, M., Davoudpour, Y., ve ark.,** 2013). Natural fiber reinforced poly(vinyl chloride) composites: A review. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 32:330–356.
- Kismet, Y., & Güray, S.** (2023). Nadir toprak elementlerinin karbon elyaf tozu takviyeli poliolefinlerin akışkanlığına etkileri. *Politeknik Dergisi*, 26(4): 1683-1689.
- Kumar, S., Doshi, H., Srinivasarao, M., Park, J. O., & Schiraldi, D. A.** (2002). Fibers from polypropylene/nano carbon fiber composites. *Polymer*, 43(5): 1701-1703.
- Linul, E., Lell, D., Movahedi, N., ve ark.,** 2019. Compressive properties of zinc syntactic foams at elevated temperatures. *Composites Part B: Engineering*, 167:122–134.
- Liu, Y., Chen, Z., Shen, Y., ve ark.,** 2020. Silicone-based alumina composites synthesized through in situ polymerization for high thermal conductivity and thermal stability. *Materials Letters*, 261:127002.
- Masuelli, M.A.,** 2013. Introduction of fibre-reinforced polymers– polymers and composites: concepts, properties and processes. In *Fiber reinforced polymers-the technology applied for concrete repair*. IntechOpen.

- Maurya, A.K., Manik, G.,** 2023. Advances towards development of industrially relevant short natural fiber reinforced and hybridized polypropylene composites for various industrial applications: a review. *J Polym Res*, 30:47.
- Naz, A., Kausar, A., Siddiq, M., Choudhary, M.A.,** 2016. Comparative Review on Structure, Properties, Fabrication Techniques, and Relevance of Polymer Nanocomposites Reinforced with Carbon Nanotube and Graphite Fillers. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 55:171–198.
- Pan, Z., Wang, T., Chen, L., ve ark.,** 2017. Effects of rare earth oxide additive on surface and tribological properties of polyimide composites. *Applied surface science*, 416:536–546
- Pandey, D., Reifemberger, R., Piner, R.,** 2008. Scanning probe microscopy study of exfoliated oxidized graphene sheets. *Surface Science*, 602:1607–1613.
- Pegoretti, A., Fabbri, E., Migliaresi, C., Pilati, F.,** 2004. Intraply and interply hybrid composites based on E-glass and poly(vinyl alcohol) woven fabrics: tensile and impact properties. *Polymer International*, 53:1290–1297.
- Pickering, K.L., Efendy, M.G.A., Le, T.M.,** 2016, A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 83:98–112.
- Rajak, D.K., Pagar, D.D., Menezes, P.L., Linul, E.,** 2019. Fiber-Reinforced Polymer Composites: Manufacturing, Properties, and Applications. *Polymers*, 11:1667.
- Rajak, D.K., Wagh, P.H., Linul, E.,** 2021. Manufacturing Technologies of Carbon/Glass Fiber-Reinforced Polymer Composites and Their Properties: A Review. *Polymers*, 13:3721.
- Rani, M.S.A., Mohammad, M., Sua'it, M.S., ve ark.,** 2021. Novel approach for the utilization of ionic liquid-based cellulose derivative biosourced polymer electrolytes in safe sodium-ion batteries. *Polym Bull*, 78:5355–5377.
- Saba, N., Jawaaid, M.,** 2018. A review on thermomechanical properties of polymers and fibers reinforced polymer composites. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 67:1–11.
- Sauer, M., Shiozawa, H., Ayala, P., ve ark.,** 2013. Internal charge transfer in metallicity sorted ferrocene filled carbon nanotube hybrids. *Carbon*, 59:237–245.
- Sharma, M., Gao, S., Mäder, E., Sharma, H., Wei, L. Y., & Bijwe, J.** (2014). Carbon fiber surfaces and composite interphases. *Composites Science and Technology*, 102:35-50.

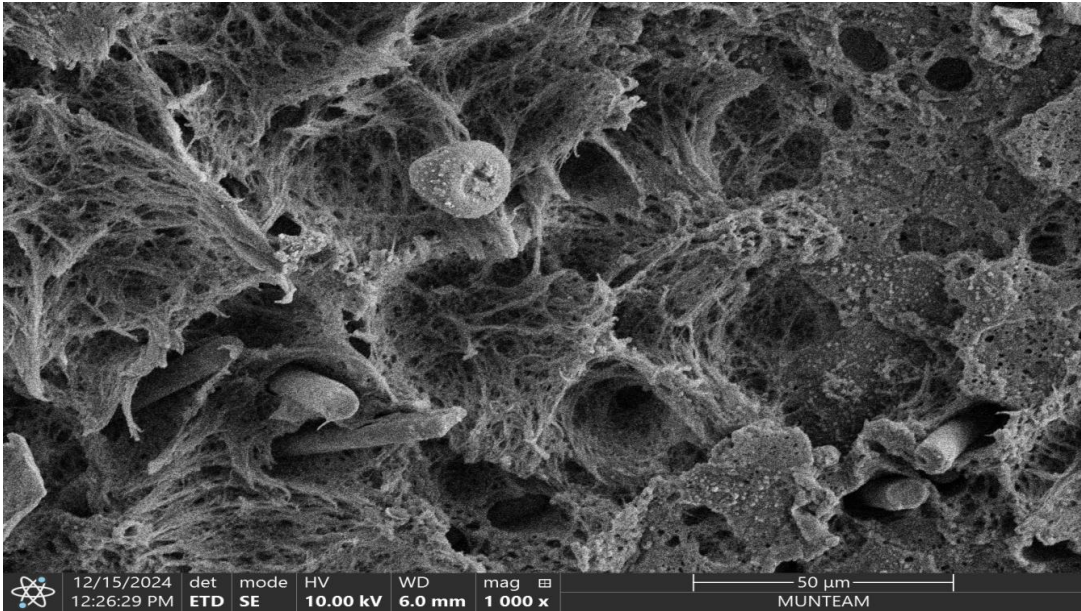
- Shanmugam, S., Meenakshisundaram, O.,** 2023. Effect of graphene on tribology, mechanical, and thermal properties of flax/E-glass/epoxy hybrid nanocomposites. *Polymer Composites*, 44:1940–1950.
- Sherif, G., Chukov, D., Tcherdyntsev, V., Torokhov, V.,** 2019 Effect of Formation Route on the Mechanical Properties of the Polyethersulfone Composites Reinforced with Glass Fibers. *Polymers*, 11:1364.
- Sijercic, E., Leung, P.T.** 2016. Effects of surface charge on the anomalous light extinction from metallic nanoparticles. *Optics Communications*, 370:198–202.
- Sreenivasulu, B., Ramji, B.R., Nagaral, M.,** 2018. A Review on Graphene Reinforced Polymer Matrix Composites. *Materials Today: Proceedings*, 5:2419–2428.
- Sriraman, N., Sreehari, V.M., Jayendra Bharathi, R., ve ark.,** 2022. Mechanical characteristics of glass epoxy composites with Yttrium powder fillers. *Materials Today: Proceedings*, 50:2462–2466.
- Rajak, D. K., Pagar, D. D., Menezes, P. L., & Linul, E.** (2019). Fiber-reinforced polymer composites: Manufacturing, properties, and applications. *Polymers*, 11(10):1667.
- Thuong, N.T., Dung, T.A., Yusof, N.H., Kawahara, S.** 2020. Controlling the size of silica nanoparticles in filler nanomatrix structure of natural rubber. *Polymer*, 195:122444.
- Uddin, F.,** 2008. Clays, Nanoclays, and Montmorillonite Minerals. *Metall Mater Trans A*, 39:2804–2814.
- Upton, R.L., Fedosyuk, A., Edel, J.B., Crick, C.R.,** 2021. Carbon Nanofiber/SiO₂ Nanoparticle/HDPE Composites as Physically Resilient and Submersible Water-Repellent Coatings on HDPE Substrates. *ACS Appl Nano Mater*, 4:10090–10102.
- Wang, S., Chen, S., Sun, J., ve ark.,** 2023. Effects of Rare Earth Oxides on the Mechanical and Tribological Properties of Phenolic-Based Hybrid Nanocomposites. *Polymers*, 16:131
- Xian, G., Guo, R., Li, C.,** 2022. Combined effects of sustained bending loading, water immersion and fiber hybrid mode on the mechanical properties of carbon/glass fiber reinforced polymer composite. *Composite Structures*, 281:115060.
- Yavas, D., Zhang, Z., Liu, Q., Wu, D.,** 2021. Fracture behavior of 3D printed carbon fiber-reinforced polymer composites. *Composites Science and Technology*, 208:108741.
- Yu, Y., Song, J., Zhao, G., Ding, Q.,** 2020. Effect of rare earth oxide on the mechanical and tribological properties of polyimide nanocomposites. *Industrial Lubrication and Tribology*, 72:433–437

- Yuan, H., Zhang, S., Lu, C., ve ark.,** 2013. Improved interfacial adhesion in carbon fiber/polyether sulfone composites through an organic solvent-free polyamic acid sizing. *Applied Surface Science*, 279:279–284.
- Zagho, M.M., Hussein, E.A., Elzatahry, A.A.,** 2018. Recent overviews in functional polymer composites for biomedical applications. *Polymers*, 10:739
- Zhang, H., Wang, L., Chen, Q., ve ark.,** 2016. Preparation, mechanical and anti-friction performance of MXene/polymer composites. *Materials & Design*, 92:682–689.
- Zindani, D., Kumar, K.,** 2019. An insight into additive manufacturing of fiber reinforced polymer composite. *International Journal of Lightweight Materials and Manufacture*, 2:267–278

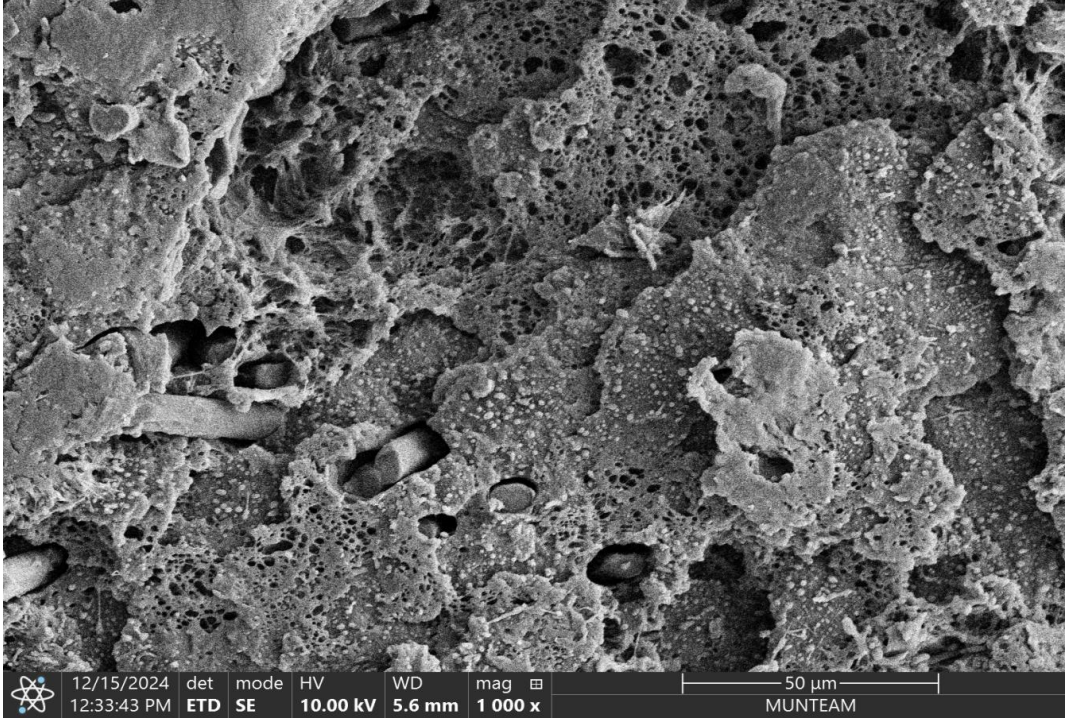
EKLER



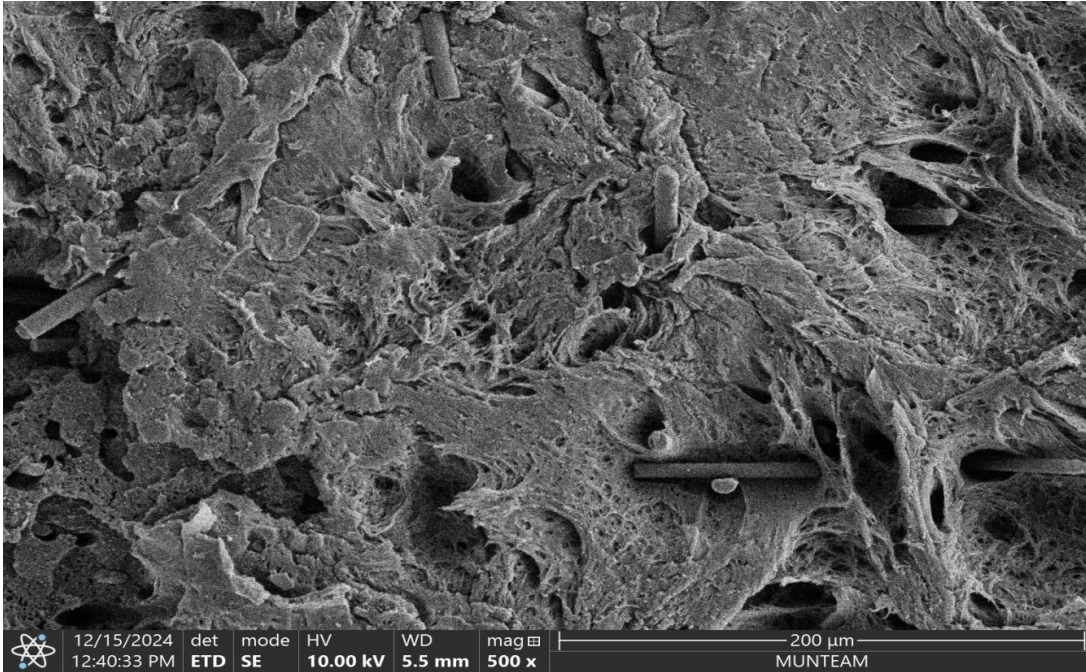
EK Şekil 1. NM3, NM6, NM9 numunelerine ait TGA eğrileri



EK Resim 1. NM1 numunesine ait SEM görüntüsü



EK Resim 2. NM4 numunesine ait SEM görüntüsü



EK Resim 3. NM7 numunesine ait SEM görüntüsü

