



**T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**POLİMER MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
POLİMER MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI**

**OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE KULLANILAN CAM ELYAF TAKVİYELİ
KOMPOZİTLERİN MEKANİKSEL GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMESİ VE POLİAMİT
KOMPOZİTLERİNDE KULLANIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MERVE ÖZTÜRK

DANIŞMAN: PROF. DR. SİNAN ŞEN

**YALOVA
OCAK 2025**



T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

POLİMER MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
POLİMER MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE KULLANILAN CAM ELYAF TAKVİYELİ
KOMPOZİTLERİN MEKANİKSEL GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMESİ VE POLİAMİT
KOMPOZİTLERİNDE KULLANIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MERVE ÖZTÜRK
228115012

DANIŞMAN: PROF. DR. SİNAN ŞEN

YALOVA
OCAK 2025

ETİK BEYAN

Yalova Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım **“OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE KULLANILAN CAM ELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN MEKANİKSEL GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMESİ VE POLİAMİT KOMPOZİTLERİNDE KULLANIMI ”** başlıklı bu tez çalışmada; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksinin tespiti halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi taahhüt ve beyan ederim.

Merve ÖZTÜRK



ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca engin bilgi ve tecrübeleriyle bana yol göstererek yardım ve desteklerini esirgemeyen ve hiçbir zaman benden ümidini kesmeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. Sinan ŞEN' e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, hammadde ve malzeme desteği yanında geniş laboratuvar imkanlarıyla her türlü desteği sunarak bu tez çalışmasında katkıda bulunan ve kariyerimin önemli bir adımı olan MARTUR FOMPAK INTERNATIONAL' a, tez çalışmalarım boyunca bilgilerini paylaşip yardımlarını esirgemeyen başta Naci Uysal'a, tezimi bitirmem için her türlü desteği veren değerli müdürüm Hasan Rahmi ŞELE' ye, değerli ekip arkadaşlarıma ve tüm MFI ailesine teşekkürlerimi sunarım.

Tüm hayatım boyunca olduğu gibi yüksek lisansım süresince de maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen, yaşadığım süre boyunca her zaman destekçim olan, hiçbir zaman haklarını ödeyemeyeceğim ve bu süreçte de beni hiçbir zaman vazgeçirmeyen Annem' e, Babam' a, Kardeşlerime teşekkür ederim.

Özellikle hep yanımda olan, beni her zaman teşvik eden Canım Oğlum Taha Berk'e teşekkür ederim.

Son olarak hiçbir desteğini esirgemeyen ve her zaman yanımda olan Hayati ÇALIŞKAN' a, bu süreçte gösterdiği sonsuz sabır, hoşgörü ve tüm desteklerinden dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Ocak- 2025

Merve ÖZTÜRK



İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN	i
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER.....	v
SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi
ÖZET	xiv
ABSTRACT	xvi
1. GİRİŞ.....	17
1.1. Literatür Çalışması	17
1.2. Amaç ve Kapsam.....	20
2. GENEL BİLGİLER.....	21
2.1. Kompozit Malzemelere Giriş	21
2.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	21
2.2.1. Matris Türüne Göre Kompozitler	22
2.2.1.1. Metal matrisli kompozitler.....	22
2.2.1.2. Seramik Matrisli Kompozitler	23
2.2.2. Takviye Türüne Göre Kompozitler.....	23
2.2.2.1. Elyaf (Lif) Takviyeli Kompozitler.....	24
2.2.2.2. Tanecik (Parçacık) Takviyeli Kompozitler.....	24
2.2.2.3. Tabakalı Kompozitler	24
2.3. Polimer Kompozitlerin Kullanım Alanları	24
2.4. Polimer Kompozit Malzeme Bileşenleri	26
2.4.1. Poliamit çeşitleri	26
2.4.1.1. Poliamit 6.....	27
2.4.2. Cam elyaf.....	27
2.5. Polimer Kompozit Üretim Yöntemleri	28
2.5.1. Polimer harmanlama	28
2.5.2. Enjeksiyon Kalıplama.....	29
2.6. Çalışmada Kullanılan Karakterizasyon Yöntemleri	30
2.6.1. SEM taramalı elektron mikroskobu.....	31
2.6.2. TGA (Termogravimetrik Analiz).....	32
2.6.3. DSC (Diferansiyel Taramalı Kalorimetre)	32
2.6.4. Çekme Testi	33
2.6.5. Darbe Testi.....	34

3. MATERYAL VE METOD	37
3.1. Malzemeler	37
3.2. Geri Dönüştürme Prosesi ve Kompozit Üretimi	38
3.3. Kompozit Bileşenlerin Kalıplanması.....	41
3.4. Karakterizasyon	41
3.4.1. Çekme testi	41
3.4.2. Izod / Charpy darbe testi	42
3.4.3. Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) analizi.....	43
3.4.4. HDT- VICAT Testi.....	44
3.4.5. Termogravimetrik Analiz (TGA).....	44
3.4.6. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).....	45
3.4.7. Optik Mikroskop Analizi	45
4. TARTIŞMA VE SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI.....	47
4.1. Orijinal PA6+%15 GF ve Farklı Oranlarda Geri Dönüştürülmüş Malzeme İçeren Bileşenlerin Tensil Mekanik Özellikleri.....	47
4.1.1. Optik Mikroskop Analizi	47
4.1.2. Statik Çekme Mekanik Testi.....	48
4.1.3. İzod Darbe Testi.....	49
4.2. Orijinal ve Geri Dönüştürülmüş Katkılı PA6 Bileşenlerinin Karakterizasyonu	51
4.2.1. Orijinal PA6+%15 GF ve Geri Dönüştürülmüş Malzeme içeren PA+%15 GF Bileşenlerin Karakterizasyonları.....	51
4.2.2. Orijinal PA6+%15 GF ve Farklı Oranlarda Geri Dönüştürülmüş Malzeme İçeren Bileşenlerin Termogravimetrik Analizleri.....	53
4.3. Orijinal PA6+%15 GF ve Geri Dönüştürülmüş katkı PA6+%15 GF Bileşenlerin Diferansiyel Taramalı Kalorimetrik Analizleri (DSC) analizleri	56
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	59
KAYNAKÇA	61
ÖZGEÇMİŞ.....	65

SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

SİMGELER

CH ₂	: Metilen
C=O	: Karbon - Oksijen Bağı
N ₂	: Azot
w	: Harman içerisindeki kristalin polimere ait ağırlık fraksiyonu
X _c	: Kristalizasyon yüzdesi
ΔH _f	: Erime Entalpisi
ΔH _p	: Polimerin (Poliamit) Erime Entalpisi

KISALTMALAR

CO ₂	: Karbon Dioksit
DSC	: Differential Scanning Calorimeter (Diferansiyel Taramalı Kalorimetri)
FTIR	: Fourier Transform Infrared Spectroscopy (Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi)
GPC	: Jel geçirgenlik kromatografisi
GF	: Cam Elyaf
HDT	: Heat Deflection Temperature (Isıl Bükülme Sıcaklığı)
PA6	: Poliamit 6
PA66	: Poliamit 66
SEM	: Scanning Electron Microscopy (Taramalı Elektron Mikroskobu)
TGA	: Thermogravimetric Analysis (Termogravimetrik Analiz)



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3. 1. EPLAMID 6 GFR 15 Malzemesinin teknik data özellikleri [39].....	37
Tablo 3. 2. Masterbatch Teknik Özellikleri	38
Tablo 3. 3 Karışım Kompozisyonu	40
Tablo 3. 4. Enjeksiyon prosesi sıcaklık parametreleri	41
Tablo 4. 1. Çekme Testi Sonuçları.....	48
Tablo 4. 2. Izod Darbe Testi, HDT ve Yoğunluk Ölçümleri	50
Tablo 4. 3. Hazırlanan Bileşenlerin TGA Sonuçları	53
Tablo 4. 4. Bileşenlerin DSC Analiz Sonuçları	56





ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Matris Malzemesine Göre Kompozit Malzemeler [12]	22
Şekil 2.2 Takviye Elemanına Göre Kompozit Malzemeler [14].....	22
Şekil 2.3. Takviye Elemanı Şekilleri [14]	24
Şekil 2.4. ϵ -kaprolaktamın halka açılma polimerizasyonu [22]	27
Şekil 2.5. Enjeksiyonlu Kalıplama Cihazının Bölümleri [11]	29
Şekil 2.6. Enjeksiyonlu Kalıplama Aşamaları [11].....	30
Şekil 2.7. Taramalı elektron mikroskopunun şematik görüntüsü [30]	31
Şekil 2.8. Termogravimetrik analiz sisteminin şematik gösterimi [33]	32
Şekil 2.9. DSC'nin şematik gösterimi [34].....	33
Şekil 2.10. Çekme cihazının ve test örneğinin genel görünümü [36]	34
Şekil 2.11.a.Izod ve b.Charpy Testi [38].....	34
Şekil 3.13. PLS Kırma Makinesi [40]	38
Şekil 3.14. Çift Vidalı Ekstrüder Makinesi [41]	39
Şekil 3.15. Karıştırma Makinesi [42]	39
Şekil 3.16. Geri Dönüşüm Prosesi Akış Şeması	40
Şekil 3.17. Enjeksiyon Makinesi Sıcaklık Bölgeleri.....	41
Şekil 3.18. Zwick Çekme Test Cihazı [43]	42
Şekil 3.19. Izod Darbe Test Dayanımı Cihazı [43]	42
Şekil 3.20. DSC Test Cihazı [46]	43
Şekil 3.21. HDT Test cihazı [43]	44
Şekil 3.22. TGA Cihazı [47]	44
Şekil 3.23. SEM Cihazı [46]	45
Şekil 3.24. Optik Mikroskop [43]	45
Şekil 4.25. PA/GF ve GDM Bileşenlerin 50X Görüntüleri	47
Şekil 4.26. PA/GF ve GDM Bileşenlerin 200X Görüntüleri	48
Şekil 4.27. Gerilim-Gerinim Eğrisi	49
Şekil 4.28. Bileşenlerin SEM Görüntüleri (Mag: 30 x)	51
Şekil 4.29. Bileşenlerin SEM Görüntüleri (Mag: 500 x)	51
Şekil 4.30. Bileşenlerin SEM Görüntüleri (Mag: 1500 x)	53
Şekil 4.31. Bileşenlerin TGA termogramları	54
Şekil 4.32. Bileşenlerin TGA Türevsel Termogramları	55
Şekil 4.33. PA/GF ve GDM Bileşenlerin TGA Türevsel Termogramları	55
Şekil 4.34. Kompozitlere ait Tg değeri Termogramları	57

Şekil 4.35. Kompozitlere ait endotermik DSC erime pikleri	57
Şekil 4.36. Kompozitlere ait ekzotermik DSC pikleri	58





OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE KULLANILAN CAM ELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN MEKANİKSEL GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMESİ VE POLİAMİT KOMPOZİTLERİNDE KULLANIMI

ÖZET

Bu çalışmada, geri dönüştürülmüş PA6+GF15 malzemesinin mekanik performansını, çevresel sürdürülebilirliğini, karbon ayak izini ve endüstriyel uygulamalardaki potansiyelini ortaya koymakla birlikte, farklı geri dönüşüm oranlarında elde edilen PA6+GF15 malzemelerin karşılaştırılmasına da ışık tutacaktır. Bu sayede, geri dönüştürülmüş malzemenin kompozit performansı üzerindeki etkisi daha iyi anlaşılacak ve sürdürülebilir bir otomotiv endüstrisi için önemli bir adım atılmış olacaktır.

Bu tez çalışmasında, otomotiv sektöründe kullanılan ve %15 cam elyaf (GF) katkılı Poliamit 6 (PA6) kompozitlerinin, mekanik geri dönüşüm süreçleri kapsamında değerlendirilerek farklı oranlarda geri dönüştürülmüş malzeme içeren yeni kompozitler üretilmiş ve bu malzemelerin mekanik, termal ve mikroyapısal özellikleri detaylı analizler ile incelenmiştir. Hazırlanan kompozitler uygulanabilirlik ve maliyet kolaylığı da göz önünde bulundurularak mekanik kırma, mekanik harmanlama ve nihai operasyon olarak enjeksiyon ünitesinde üretilerek gerçekleştirilmiştir.

Araştırma, geri dönüşüm oranının artırılmasının malzeme performansına olan etkilerini; çekme dayanımı, darbe direnci, termal stabilite (TGA), erime ve kristallenme özellikleri (DSC) ile mikroyapısal homojenlik (SEM) açısından değerlendirirken, geri dönüştürülmüş malzeme kullanımının sürdürülebilirlik ve maliyet avantajı sağlayarak CO2 salınımı başta olmak üzere çevresel etkileri azaltma potansiyelini ortaya koymaktadır.

Sonuçlar, %10 ve %20 geri dönüşüm oranlarında üretilen kompozitlerin, orijinal malzemeye yakın özellikler sergileyerek endüstriyel uygulamalarda kullanım için uygun olduğunu, ancak daha yüksek geri dönüşüm oranlarının performans kayıplarına yol açtığını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Poliamit 6, Geri dönüştürülmüş PA6, Poliamit 6 Cam Elyaf Katkılı



MECHANICAL RECYCLING OF GLASSFIBER REINFORCED COMPOSITES USED IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY AND THEIR UTILIZATION IN POLYAMIDE COMPOSITES

ABSTRACT

This study aims to highlight the mechanical performance, environmental sustainability, carbon footprint, and industrial application potential of recycled PA6+GF15 material while shedding light on the comparison of PA6+GF15 materials obtained at different recycling rates. Through this research, the impact of recycled material on composite performance will be better understood, marking a significant step toward a more sustainable automotive industry.

In this thesis, Polyamide 6 (PA6) composites containing 15% glass fiber (GF), commonly used in the automotive industry, were evaluated within the scope of mechanical recycling processes. New composites containing different proportions of recycled material were produced, and their mechanical, thermal, and microstructural properties were examined in detail using advanced analyses. The prepared composites were manufactured through mechanical shredding, mechanical blending, and final operations in an injection molding unit, taking into account practicality and cost-efficiency.

The research evaluates the effects of increasing recycling rates on material performance in terms of tensile strength, impact resistance, thermal stability (TGA), melting and crystallization properties (DSC), and microstructural homogeneity (SEM). Additionally, it reveals the potential of using recycled materials to enhance sustainability and cost efficiency while reducing environmental impacts, particularly CO₂ emissions.

The results demonstrate that composites produced with 10% and 20% recycling rates exhibit properties close to those of the original material, making them suitable for industrial applications. However, higher recycling rates lead to performance losses.

Keywords: Polyamide 6, Recycled PA6, Polyamide 6 w/ Glass Fiber

1. GİRİŞ

Günümüzde otomotiv endüstrisi, hafif, dayanıklı ve maliyet-etkin malzemelere yönelik artan talep nedeniyle sürekli olarak yenilik arayışındadır. Bu bağlamda, özellikle PA6 + GF15 gibi polimer matrisli takviyeli kompozitler, otomotiv uygulamalarında önemli bir yer edinmiştir. Bu kompozitler, yüksek mukavemet, rijitlik ve düşük ağırlık gibi özellikleri ile öne çıkmaktadır. Ancak, endüstriyel atıkların artması ve sürdürülebilirlik kaygıları, geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanımını gündeme getirmiştir.

Geri dönüştürülmüş malzemeler, kaynakların daha verimli kullanılmasına ve çevresel etkilerin azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Bu bağlamda, geri dönüştürülmüş malzemelerin, özellikle kompozit malzemelerin üretiminde kullanılması, endüstrinin sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasına yardımcı olabilir.

Bu çalışmanın amacı, otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan PA6 + GF15 takviyeli kompozitlerin mekaniksel geri dönüştürülmesi sürecini incelemek, farklı oranlarda geri dönüştürülmüş malzeme içeren kompozitlerin üretimini gerçekleştirmek ve bu kompozitlerin mekanik ve diğer performans özelliklerini değerlendirmektir. Bu sayede, geri dönüştürülmüş malzemenin kompozit performansı üzerindeki etkisi daha iyi anlaşılacak ve sürdürülebilir bir otomotiv endüstrisi için önemli bir adım atılmış olacaktır.

Bu çalışmadan elde edilecek sonuçlar, geri dönüştürülmüş malzemelerin kompozit malzemelerin performansı üzerindeki etkisini anlamamıza ve sürdürülebilir bir üretim süreci için önemli bir adım atılmasına katkı sağlayacaktır.

1.1.Literatür Çalışması

Konuyla ilgili literatür incelendiğinde, polimer matrisli kompozitler metal matrisli kompozitler ile kıyaslandığında daha düşük dayanım sağlamasına rağmen günümüzde oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bunun sebebi polimer kompozitlerin metal kompozitlere göre daha hafif olmasıdır. Polimerler, adeziv ve abrasif olarak aşınmaya maruz kalırlar. Polimerlerin kendi aralarındaki aşınma, polimer malzemenin metal malzeme ile arasında gerçekleşen aşınmaya kıyasla daha şiddetlidir. Polimerin aşınma direncini tanımlarken aşınma faktörü, sürtünme katsayısı, hacimsel aşınma hızı ve basınç-hız (P-V) oranı faktörleri kullanılan ana unsurlardır. [1]

Sürtünme katsayısı, (sürtünme kuvvetinin, uygulanan kuvvete oranı) bir malzemenin diğer malzeme üzerinde ne kadar kolay kayma yapacağını gösterir. Sürtünme katsayısı çoğunlukla aşınma direncini belirlemede en iyi göstergelerden biridir. [1]

Poliamit polimerler çoğunlukla mühendislik polimerleri olarak bilinir. Ayrıca PA6 ve PA66 poliamit çeşitleri iyi dayanım özellikleri bakımından en göze çarpanlarıdır. Çünkü diğer poliamitler ile karşılaştırıldığında daha iyi sertlik, mukavemet gibi özellikleri bu polimerleri önemli hale getirmektedir. Poliamit 6'nın molekül ağırlığı 80000- 100000 arasında değişim gösteren kristallliği yüksek, düşük nem aktivitesi olan, döküm yöntemiyle de üretilen bir termoplastik olup, naylon çeşitlerinin içinde mekanik ve fiziksel özellikleri bakımından en iyi özellikte olanıdır. Poliamit, molekül ağırlığı ve yapısı sayesinde yüksek darbe dayanımı, düşük nem aktivitesi ve işlenebilme kolaylığı gereken çalışmalarda tercih edilir. [1]

Literatürde poliamit polimerlerinin mekaniksel tekrarlı geri dönüştürülmesi ve mekanik özelliklerinin incelenmesi ile ilgili bilimsel çalışmalar yer almaktadır. Su ve ekibinin yaptığı bir çalışmada, saf PA6 on altı kez tekrarlı geri dönüştürme işlemine tabi tutulmuştur. Her bir işlemten sonra örneklerin kimyasal, mekanik, termal ve reolojik özellikleri analiz edilmiştir. Jel geçirgenlik kromatografisi (GPC) analizleri, tekrarlı işlemenin PA6'nın moleküler ağırlığını azalttığını, ancak FTIR analiz sonuçları PA6'nın kimyasal yapısında bir değişiklik olmadığını ortaya koymuştur. Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) analizleri, tekrarlı ekstrüzyonun kristaliniteyi artırdığını ve bunun mekanik özelliklerde iyileşmeye neden olduğunu belirlemiştir. [2]

Crespo ve çalışma grubu, saf PA6'yı beş kez ekstrüde etmişler ve örneklerin termal, reolojik ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Sonuçlar, geri dönüştürme işleme sayısının artmasına rağmen çekme dayanımı, kopmada uzama ve sertlik özelliklerinin neredeyse sabit kaldığını göstermiştir. Çalışmada beşinci çevrimden sonra çekme mukavemetinde sadece %1,42'lik bir azalma ve kopma uzamasında ise %1'lik bir azalma tespit edilmiştir. Reoloji testleri ise artan işleme sayısı ile örneklerin viskozitelerinin azaldığını ortaya koymuştur. [3]

Gonzalez ve çalışma ekibi ise tekrarlı işlemenin enjeksiyonla kalıplanmış PA6 örneklerinin fiziksel, mekanik ve morfolojik özellikleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. On kez ekstrüde edilmiş PA6 ile bir kez ekstrüde edilmiş PA6 örnekleri karşılaştırıldığında, termal bozunma nedeniyle oluşan amin grupları sonucunda büyük farklılıklar gözlenmiştir.

Eriyik akış indeksleri (MFI) incelendiğinde, tekrarlı işlemenin zincir kesilmelerine neden olarak viskoziteyi azalttığı ve MFI değerlerini artırdığı belirlenmiştir. Ayrıca, ekstrüzyon sayısının artmasıyla siferülit boyutlarının küçüldüğü gözlemlenmiştir. [4]

Domingo ve ekibinin çalışmasında, bir, dört ve yedi kez tekrarlı işleme tabi tutulan PA6/PA66/talk karışımlarının özellikleri incelenmiştir. Ekstrüzyon sayısının bu karışımların morfolojik, kimyasal, mekanik, termal ve viskozite özelliklerine olan etkileri değerlendirilmiştir. Termogravimetrik analiz (TGA) sonuçları, ekstrüzyon sayısının artmasıyla maksimum bozunma sıcaklığının azaldığını göstermiştir. Bu azalma, MFI sonuçlarına göre viskozitedeki düşüşle ilişkilendirilmiştir. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizleri, işleme sayısının artmasıyla polimerler ve talk arasındaki arayüzey etkileşiminin azaldığını ve bunun sonucunda mekanik özelliklerin düştüğünü ortaya koymuştur. [5]

Emel Kuram ve çalışma grubu, tekrarlı işlemenin PA6/ABS ve PA6/PA66/ABS karışımlarının özellikleri üzerindeki etkilerini incelemiş ve yapılan FTIR analizleri sonuçlarına dayanarak tekrarlı işlemenin karışımların kimyasal yapılarını değiştirmedığını göstermiştir. İşleme sayısının artışıyla MFI değerlerinin arttığını, ancak mekanik özelliklerin düştüğünü tespit etmişlerdir. [6]

Literatürde, reaktif uyumlaştırıcıların varlığında termodinamik olarak karışmayan polimer karışımlarının uyumlaştırılmasıyla elde edilen stabil faz morfolojisinin, polimer karışımlarının tekrar işlenebilirlik özelliklerini artırdığı belirtilmektedir. Bu durum, geri dönüşüm sürecinde uyumlaştırıcıların stabilizatör gibi davranmasıyla ilişkilendirilmektedir. [7]

Mantia ve Capizzi tarafından yapılan çalışmada, PA6/PP karışımları farklı uyumlaştırıcılarla uyumlaştırılmış ve tekrarlı ekstrüzyon sonrası mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Elde edilen bulgular, akrilik asit içeren PP uyumlaştırıcının varlığında işlem görmüş örneklerin belirgin şekilde daha yüksek kopma uzama değerleri gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu durum, uyumlaştırıcıların polimer fazları arasındaki arayüzey etkileşimini artırdığına bağlanmaktadır. [7]

Kudva ve arkadaşları ise, tekrar işlenmiş PA6/ABS karışımlarının mekanik, reolojik ve morfolojik özelliklerini stiren/akrilonitril/maleik anhidrit terpolimeri (SANMA) ve imidize edilmiş akrilik polimeri gibi uyumlaştırıcılarla incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlarda özellikle SANMA ile uyumlaştırılan PA6/ABS karışımlarının, uyumlaştırıcı içermeyen karışımlara göre daha yüksek eriyik viskozite değerleri sergilediğini göstermiştir. [8]

Başka bir çalışmada, ömrünü tamamlamış bir otomotiv bileşeninin mekanik olarak geri dönüştürülmesinin fizibilitesi değerlendirilmiştir. Halihazırda depolanan atıklardan gelen %35.7 cam elyaf takviyeli PA66 radyatör parçası, üç kez yeniden geri dönüşüm prosesine tabii tutulmuş ve mekanik özelliklerinde azalma olduğu gözlemlenmiştir. Mekanik özelliklerindeki bu bozulmanın geri dönüşüm prosesinde yer alan öğütme ve kalıplama adımlarının etkisiyle elyaf boy uzunluğunda ve matris içinde elyaf oryantasyondaki değişime dayandırılmaktadır. [9]

1.2. Amaç ve Kapsam

Yapılan literatür taraması ile incelenen çalışmalar göz önüne alındığında, bu tez çalışması aşağıda belirtilen özgün yönleriyle literatürde yer alan çalışmalardan ayrılmaktadır. Bu tez çalışması ile literatürde ilk defa, otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan PA6+GF15 (Poliamit 6 + %15 Cam Elyaf) takviyeli kompozitlerin mekanik geri dönüşüm prosesleri ile yeniden kullanılması ve farklı oranlarda geri dönüştürülmüş malzeme içeren kompozitlerin üretilmesi hedeflenmiştir. Çalışma, geri dönüşüm oranlarının malzeme özellikleri üzerindeki etkilerini sürdürülebilirlik ve çevresel faydalar açısından değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

Araştırma kapsamında geri dönüştürülmüş PA6+GF15 malzemelerin mekanik, termal ve mikroyapısal özellikleri detaylı analizlerle değerlendirilecektir. Bu analizler arasında çekme dayanımı, darbe dayanımı, termogravimetrik analiz (TGA), diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) testleri ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleme yöntemleri yer almaktadır. Orijinal hammadde içerisinde ağırlıkça % olarak katılmış ve farklı oranlarda kullanılan geri dönüştürülmüş hammaddenin orijinal hammaddeye göre kıyasla malzeme performansı üzerindeki etkileri mekanik mukavemet, termal stabilite, kristallik ve mikroyapısal homojenlik açısından analiz edilecektir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, geri dönüştürülmüş PA6+GF15 kompozitlerinin endüstriyel uygulamalar için uygunluğunu gösterecek ve sürdürülebilir üretim süreçleri için önemli veriler sağlayacaktır. Ayrıca bu çalışma, çevresel etkileri azaltmak ve ekonomik avantajlar sağlamak amacıyla geri dönüştürülmüş malzemelerin özelliklerini optimize etmek için kullanılabilecek yöntemlere katkı sağlayacaktır.

Tüm bunlara ilaveten, yapılan literatür taraması sonucunda literatürde orijinal hammaddeye farklı oranlarda mekanik geri dönüştürülmüş PA6+GF15 ilavesi ile uyumlaştırılmış polimer karışımlarının işlenebilirlik özelliklerinin incelendiği herhangi bir çalışma bulunmamaktadır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Kompozit Malzemelere Giriş

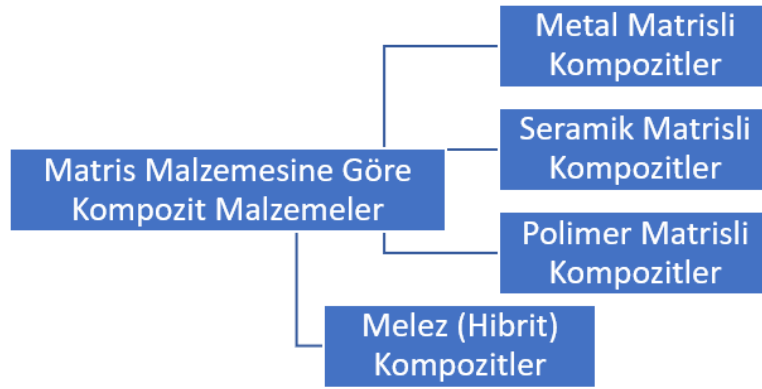
Kompozit malzemeler, genelde bir matris malzemesi ile bir veya birden fazla takviye malzemesinin oluşturduğu ve her bileşenin özelliğini birleştirerek üstün bir performans sergileyen malzemelerdir. Matris malzemesi, genellikle polimerik, seramik ya da metalik bir yapıya sahip olur ve kompozit malzeme içerisinde yapıştırıcı gibi bir işleve sahip bir şekilde kompozitin formunu korur ve takviye malzemesini sabitler. Takviye malzemesi ise genellikle elyaf, mat, parçacık, partikül veya yaprak formunda olabilir ve kompozitin dayanıklılığını, sertliğini, mukavemetini ya da nihai üründe istenilen diğer özelliklerini artırır. [10]

Kompozit malzemelerin ilk kullanımları, erken Mısırlılar ve Mezopotamya yerleşimcilerinin MÖ 1500'lere kadar dayanan çamur ve saman karışımıyla güçlü ve dayanıklı yapılar inşa etmelerine dayanmaktadır. Çamur ve samanın bir tuğla bloğunda kullanımı hem sıkışma hem de yırtılma veya bükülmeye karşı güçlü bir yapı sağlamaktadır. Saman, tarih boyunca çanak çömlek gibi eski kompozit ürünlere takviye sağlamak için kullanılmıştır. Doğal kompozit malzemeler de doğada bulunmaktadır. Örneğin, bir tahta parçası, uzun selüloz liflerini lignin adı verilen bir maddeyle bir arada tutan bir bileşiktir. Doğal ve yapay kompozit malzemelerin çeşitli diğer örnekleri de bulunmaktadır. [10]

Kompozit malzemelerin çoğu, hafiflikleri ve dayanıklılıkları gibi avantajları nedeniyle, genellikle savaş zamanlarında ortaya çıkan ihtiyaçlar sonucunda büyük gelişmeler göstermiştir. II. Dünya Savaşı sırasında birçok kompozit malzeme geliştirilmiş ve bu malzemeler laboratuvar ölçeğinden gerçek üretim ölçeğine taşınmıştır. Kompozit malzemelerin büyük ölçekli ticari uygulamaları ise özellikle askeri denizcilik uygulamalarıyla II. Dünya Savaşı sırasında başlamıştır. Ancak günümüzde kompozit ürünler, havacılık, otomotiv, denizcilik, spor malzemeleri gibi geniş bir kullanım alanına sahiptir. [11]

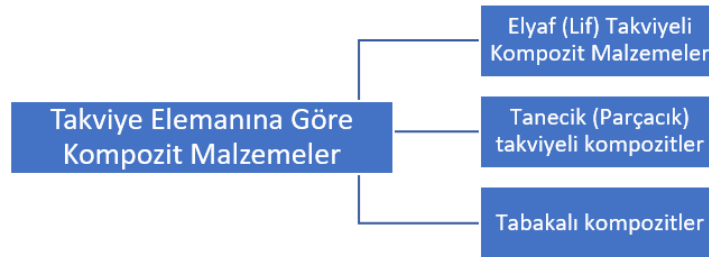
2.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeleri, Şekil 2.1 ve Şekil 2.2'de gösterildiği gibi malzeme türüne ve katkı türüne göre iki farklı şekilde sınıflandırmak mümkündür.



Şekil 2.1. Matris Malzemesine Göre Kompozit Malzemeler [12]

Malzeme türüne göre yapılan sınıflandırmada bu üç malzemenin mekanik özellikleri tamamen farklı olması nedeniyle kompozit ürüne de farklı özellikler vermektedirler. Polimerler genellikle düşük mukavemet ve elastikiyet modülüne sahiptir, seramikler ise daha sert ve kırılgandır. Metaller ise orta düzeyde mukavemete ve elastikiyet modülüne sahiptir, ancak süneklikleri iyidir ve kırılgan değildirler. [13]



Şekil 2.2 Takviye Elemanına Göre Kompozit Malzemeler [14]

2.2.1. Matris Türüne Göre Kompozitler

2.2.1.1. Metal matrisli kompozitler

Metallerden oluşan matris malzemeleri, sürekli veya kırılmış elyaf veya partikül boyutunda takviye malzemeleri içeren kompozit malzemelerdir. Bu malzemeler, yüksek tokluk, yorulma dayanımı gibi üstün mekanik özellikler ve yüksek termal kararlılık sağlamak amacıyla havacılık, uzay ve savunma sanayinde çeşitli uygulamalar için tercih edilmektedir. Özellikle alüminyum matrisli kompozit malzemeler, düşük yoğunlukları ve düşük erime sıcaklıkları nedeniyle metal matrisli kompozitlerde önemli bir yer tutmaktadır. [15]

2.2.1.2. Seramik Matrisli Kompozitler

Özellikle seramiklerin matris malzemesi olarak kullanıldığı kompozit malzemeler, yüksek termal dayanım ve hafiflikleri nedeniyle öne çıkar. Ancak bu malzemeler düşük tokluk ve kopma uzaması gösterdiğinden genellikle lif veya partikül formundaki takviye malzemeleri ile güçlendirilirler. Uzay roketi motorları, sandviç zırh panelleri ve çeşitli askeri parçalar gibi yüksek sıcaklıkta çalışma koşulları gerektiren uygulamalar, bu kompozit malzemelerin başlıca kullanım alanları arasında yer alır. [15]

2.2.1.3. Polimer Matrisli Kompozitler

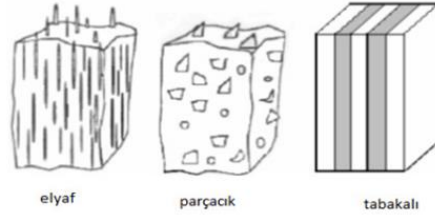
Matris malzemesi olarak farklı tiplerde termoplastik veya termoset kullanılabilen bu malzemeler, polimerlerin düşük yoğunluğu sayesinde hafif ve enerji verimli bir şekilde üretilebilme özelliğine sahiptir. Ayrıca tasarım esnekliği, karmaşık şekilli parçaların kolaylıkla şekillendirilebilmesi, üstün kimyasal ve korozyon direnci ile birim kütle başına yüksek yük taşıma kapasitesi gibi üstün özelliklere sahiptirler. Polimer matrisli kompozitler, kullanılan matris malzemesinin türüne ve özelliklerine göre sınıflandırılabilirler. Metal ve seramik matrisli kompozitlere göre sıvılarla etkileşime daha yatkın olan bu malzemeler özellikle otomotiv, havacılık ve savunma sanayi gibi alanlarda hafiflik ve yüksek mekanik mukavemet gerektiren uygulamalarda giderek daha fazla kullanılmaktadır. [15]

2.2.1.4. Melez (Hibrit) Kompozitler

Hibrit kompozitler, iki veya daha fazla takviye fiberinin bir araya getirilmesiyle oluşan özel bir kompozit malzeme türüdür. Bu kompozitler, geliştirilmesi üzerine çalışmaların devam ettiği yenilikçi bir malzeme çeşididir. Hibrit kompozitler, farklı türde takviye malzemelerinin birleştirilmesiyle ya da çeşitli malzeme türlerinin bir arada kullanılmasıyla elde edilebilir. En yaygın hibrit kompozit örnekleri arasında, karbon-aramid takviyeli epoksi (yüksek mukavemet ve darbe dayanımı özelliklerini birleştirir) ve cam-karbon takviyeli epoksi (düşük maliyetli ve dayanıklı bir yapı sunar) bulunmaktadır. Hibrit kompozitler, genellikle farklı lif türlerinin özelliklerini bir araya getirmek veya hem uzunlamasına hem de yanal yönde yüksek mekanik performans gerektiren uygulamalarda tercih edilir. [16]

2.2.2. Takviye Türüne Göre Kompozitler

Takviyeli Kompozitler aşağıdaki Şekil 2.3' de gösterildiği gibi takviye elemanının şekline göre üç farklı başlıkta değerlendirilmektedir. [14]



Şekil 2.3. Takviye Elemanı Şekilleri [14]

2.2.2.1. Elyaf (Lif) Takviyeli Kompozitler

Elyaf takviyeli kompozitler, yumuşak ve esnek bir matris malzemeye sert, dayanıklı ve elastik yüksekliğe sahip elyaflar eklenerek çekme dayanımı, yorulma dayanımı, özgül modül ve özgül dayanım gibi özellikler iyileştirilir. Matris malzemesi, elyaflara aktarılan kuvveti absorbe ederken yumuşaklık ve tokluk özelliklerini korur ve uygulanan yükün büyük bir kısmını taşır. [17]

2.2.2.2. Tanecik (Parçacık) Takviyeli Kompozitler

Matrisle birleştirilen tek veya iki boyutlu makro-partiküller veya mikroskobik partiküller, genellikle ortalama parçacık boyutu 1 μm 'den büyük olup elyaf hacim oranı %25'i aşmamaktadır. Yük, elyaf ve matris tarafından birlikte taşınır ve bu kompozitlerin özellikleri izotropiktir. Bu tür kompozitler, sadece dayanımı artırmakla kalmaz, aynı zamanda beklenmedik, alışılmışın dışında özellikler elde etmek için tasarlanmıştır. [17]

2.2.2.3. Tabakalı Kompozitler

Farklı elyaf yönelimlerine sahip tabakaların birleşimi ile son derece yüksek mukavemet değerleri elde edilebilir. Bu kompozit malzemeler, ısıya ve neme karşı dayanıklı yapılar olarak bilinirler. Hafif olmalarının yanı sıra yüksek mukavemetleri sayesinde metallerle kıyaslandığında tercih edilen malzemelerdir. Sürekli elyaf takviyeli tabakalı kompozitler özellikle uçak yapılarında, kanat ve kuyruk gruplarında yüzey kaplama malzemesi olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. [18]

2.3. Polimer Kompozitlerin Kullanım Alanları

Kompozit malzemeler, farklı koşullara uyum sağlayabilme yetenekleri ve belirli ihtiyaçları karşılayabilme esnekliği sayesinde, alternatif malzemelerle kolayca karıştırılabilir olmaları nedeniyle yaygın olarak kullanılan bir malzeme türüdür. [19]

Özellikle mühendislik uygulamalarında geniş bir kullanım alanına sahip olan kompozit malzemeler, malzeme bilimi alanındaki sürekli gelişmelerle performanslarını sürekli olarak artırmaktadır. Bu nedenle, güvenilir, verimli ve ekonomik çözümler sunmaları sebebiyle günümüzde tercih edilmektedir. [19]

Kompozit malzemelerin özellikleri, matris ve takviye malzemelerinin bileşimi, oranları, işleme ve üretim yöntemleri gibi birçok faktöre bağlıdır. Bu malzemeler genellikle daha hafif, daha dayanıklı, daha rijit veya özelleştirilmiş özelliklere sahip olmaları nedeniyle birçok endüstri tarafından tercih edilmektedir. Örneğin, yapı sektöründe düşük maliyet ve dayanıklılığı nedeniyle cam elyaf takviyeli polimerler tercih edilirken, otomotiv ve havacılık sektörlerinde ise yüksek mukavemet ve hafiflik kombinasyonu ile bilinen karbon fiber takviyeli kompozitler yaygın olarak kullanılmaktadır. [19]

Günümüzde, çeşitli üretim yöntemleriyle özel ihtiyaçlara ve gereksinimlere göre üretilen kompozit malzemelerin kullanım alanları sürekli genişlemektedir. Örneğin, şehir planlamasında kompozitler; toplu konut yapımında, çevre düzenlemelerinde, hazır betonlar, heykeller, banklar ve elektrik direkleri gibi uygulamalarda sıklıkla tercih edilmektedir. Bu malzemeler, yüksek yalıtım kapasitesi, düşük maliyet, hızlı üretim süreçleri, hafiflik ve yüksek mekanik dayanım gibi avantajlar sunarlar. [20]

Ev aletleri sektöründe ise, masalar, sandalyeler, televizyon kabinleri, elektronik ev eşyaları parçaları ve dekoratif eşyalar gibi ürünlerde kompozit malzemelerin kullanımı yaygındır. Bu sayede karmaşık parça üretimi, kolay montaj, elektriksel izolasyon sağlama ve hafiflik gibi avantajlar elde edilir. [20]

Elektrik ve elektronik endüstrisinde, kompozit malzemeler genellikle elektrik yalıtım malzemeleri olarak kullanılırken, havacılık sektöründe planör gövdeleri, uçak modelleri, uçak gövdeleri, iç dekorasyon parçaları, helikopter bileşenleri ve uzay araçları gibi alanlarda yaygın olarak tercih edilmektedirler. Bu uygulamalar, daha hafif malzeme ile yüksek dayanım ve atmosferik şartlara dayanıklılık sağlama özellikleri ile ön plana çıkmaktadır. [20]

Otomotiv endüstrisinde, otomobil kaportaları, iç donanım parçaları, bazı motor bileşenleri, tamponlar ve otomobil lastikleri gibi alanlarda da kompozit malzemelerin kullanımı yaygındır. Ayrıca, iş makinelerinde kapaklar ve çalışma kabinleri gibi parçaların üretiminde kompozit malzemelerin kullanımı, karmaşık yapıların daha kolay ve az parça kullanarak elde edilmesini sağlamaktadır. Aynı zamanda elektriksel yalıtım malzemelerinde tasarruf sağlar. [20]

Tarım sektöründe, kompozit malzemeler seralar, tahıl depolama siloları, su boruları ve sulama kanalları gibi çeşitli uygulamalarda büyük önem taşımaktadır. Kompozitlerin tarım sektöründeki yaygın kullanımı, özellikle isteğe bağlı olarak ayarlanabilen ışık geçirgenliği, doğa koşullarına ve korozyon direncine dayanıklılık, düşük yatırım maliyeti ve kolay montaj gibi avantajlar sağlamaktadır. [20]

2.4. Polimer Kompozit Malzeme Bileşenleri

Polimer kompozitleri üretmede çok sayıda termoplastik ve termoset esaslı polimer malzeme, matris olarak kullanılmaktadır. Ayrıca bu kompozitlerde takviye malzemesi olarak kullanılan inorganik ve organik esaslı elyaflar da oldukça zengindir. Bu tez çalışmasında, matris olarak poliamit, takviye malzemesi olarak ise cam elyaf kullanılmıştır ve çalışmanın bu bölümünde farklı poliamit malzemelerinden ve cam elyaf takviyesinden bahsedilecektir.

2.4.1. Poliamit çeşitleri

Poliamitler, sentezlenme yöntemlerine bağlı olarak genellikle yüksek mukavemet, iyi tokluk, elastikiyet ve kimyasal dayanıklılık gibi özellikler sergilerler. Bu özelliklerinden dolayı poliamitler, dayanıklılık, esneklik ve işlenebilirlik gibi özellikleri ile pek çok endüstride geniş bir kullanım alanına sahiptir. [15]

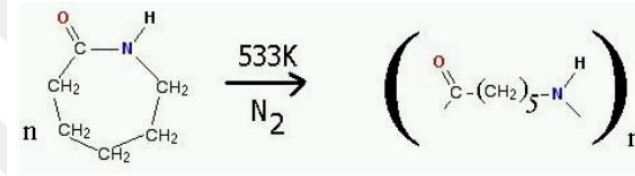
Endüstride sıkça kullanılan poliamit çeşitleri şunlardır:

- Nylon 6 (PA6): Kaplamalar, ambalaj malzemeleri, otomotiv parçaları ve tekstil gibi çeşitli uygulamalarda yaygın olarak kullanılan bir poliamit türüdür. Esneklik, tokluk ve dayanıklılık özelliklerine sahiptir.
- Nylon 66 (PA66): Endüstriyel parçalar, otomotiv parçaları ve elektrik yalıtımı gibi uygulamalarda sıklıkla tercih edilir. Nylon 6'ya göre daha yüksek mukavemet ve sıcaklık dayanımına sahiptir.
- Nylon 11 ve Nylon 12: Esneklik ve kimyasal dayanıklılık açısından önemli olan bu poliamit türleri, boru hatları, kaplama malzemeleri ve tıbbi cihazlar gibi çeşitli uygulamalarda kullanılırlar.
- Aramidler: Yüksek mukavemet, düşük ağırlık ve yüksek sıcaklık dayanımı gibi özelliklere sahip özel poliamitlerdir. Özellikle savunma sanayisi ve uzay endüstrisinde kullanılırlar. Örneğin, Kevlar, balistik yelekler ve kesiklere karşı dayanıklı giysiler gibi uygulamalarda kullanılmaktadırlar. [15]

2.4.1.1. Poliamit 6

Tez çalışmamızda kullanılan poliamit türü PA6 dır. PA6 veya Naylon-6, 1899'da keşfedilen, sert, beyaz, yarı saydam ve yarı kristal bir polimerdir. Naylon-6, ticari olarak kaprolaktamın halka açma polimerizasyonu ile üretilir ve bu süreç su varlığında gerçekleşir (Şekil 2.4). Reaksiyon, aminokaproik asit oluşturan hidrolitik halka açılması ile başlar ve ardından amin ucunun kaprolaktam ile reaksiyona girmesiyle devam eder. Polimerizasyon işlemi, 240-280°C'de ve atmosferik basınçta gerçekleştirilebilir. [21]

Poliamit 6 (PA6), lif, film ve plastik gibi çeşitli formlarda üretilen ve çok çeşitli uygulamalarda kullanılan en önemli mühendislik termoplastiklerinden biridir. Ticari üretim ve uygulama alanları açısından poliamitler arasında en büyük payı Poliamit 6 almaktadır. [22]



Şekil 2.4. ε-kaprolaktamın halka açılma polimerizasyonu [22]

PA6, yarı kristal yapısı ve moleküller arasındaki güçlü hidrojen bağları sayesinde yüksek sıcaklıklarda şeklini korur. PA6 reçineleri, yüksek mukavemet, elastikiyet, tokluk ve aşınma direnci gibi özelliklerle öne çıkar. 150°C'ye kadar iyi mekanik özelliklerini korur, ancak daha güvenli bir kullanım sınırı 120°C'dir. Düşük sıcaklıklarda bile tokluk ve esneklik özelliklerini iyi bir şekilde muhafaza eder. Solvent direnci yüksektir, ancak oldukça higroskopiktir. Bu özellik, ürünün tokluk ve elastikiyetini artırırken kopmada uzamayı azaltır. PA6'nın atmosferik koşullardaki denge nem içeriği %0.25-0.30 arasındadır. [21]

2.4.2. Cam elyaf

Tez çalışmamızda kullanılan kompozit takviye malzemesi cam elyaftır. Cam elyaflar, kullanılan ilk takviye lifleri arasında yer almakta olup, ekonomik olmaları nedeniyle günümüzde hala önemini korumaktadır. Uzay ve havacılık, savunma sanayii, otomotiv sektörü, endüstriyel uygulamalar ve günlük yaşamda kullanılan birçok kompozit malzeme cam elyafla takviye edilmektedir. Karbon ve aramit lifleriyle takviye edilmiş kompozitler, cam elyaf takviyeli kompozitlere kıyasla daha üstün özellikler sunmakla birlikte, bu malzemeler daha yüksek maliyetlidir. [12]

Hızlı, uygun maliyetli üretim açısından zorluklar barındırır. Bu nedenle, karbon ve aramit lifleri genellikle yüksek performans gerektiren özel kompozit uygulamalarında tercih edilmektedir. [12]

Cam elyaf, sanayide giderek daha fazla kullanılmaktadır ve başlıca özellikleri şu şekilde özetlenebilir:

- Yüksek çekme dayanımına sahiptir ve birim ağırlık başına düşen dayanımı çelikten yüksektir.
- Düşük Isıl Direncine ek olarak yanmaz bir yapıya sahiptir, ancak artan sıcaklıkta yumuşar. Bu özellikler, katkı malzemeleri ile iyileştirilebilir.
- Kimyasal maddelere karşı dirençleri iyidir.
- Cam elyaflar nem emme özelliğine sahip olmamakla birlikte, cam elyafı kompozitlerde cam ve matris arasındaki ara yüzeyde nemin difüzyonu nedeniyle yapısal bozulmalar meydana gelebilir. Bu tür etkiler, özel kaplama işlemleri uygulanarak önlenir.
- Elektrik iletkenliği göstermeyen cam elyaflar, bu özellikleri sayesinde elektriksel yalıtımın kritik olduğu uygulamalarda sıklıkla tercih edilmektedir. [23]

2.5. Polimer Kompozit Üretim Yöntemleri

2.5.1. Polimer harmanlama

Polimer kompozitlerin üretiminde eriyik harmanlama ve çözeltide harmanlama gibi farklı harmanlama yöntemleri kullanılmaktadır. Takviye malzemesi olarak elyaf kullanıldığı durumlarda, endüstriyel uygunluk açısından eriyik harmanlama tekniği kullanılmaktadır. Polimer eriyik harmanlamada, polimer bileşen, iki veya daha fazla polimerik malzemenin kimyasal reaksiyon oluşturmada mekanik ve fiziksel yöntemlerle karıştırılmasıyla elde edilir. Eğer polimer kompozit bileşen üretilecekse, bu polimer eriyiğinin içine elyaf malzemesi ilave edilir. Ekonomik olmaları, iyi performans özellikleri sunmaları ve polimerlerin mekaniksel özelliklerini koruyarak geliştirmeleri sayesinde ticari açıdan avantaj sağlarlar. Yeni bir polimer üretmek, ekonomik olarak zorlayıcı ve uzun süren bir süreçtir. Bu nedenle, polimer harmanlarının kullanımı, yeni bir ürün üretme çabalarından daha uygun bir alternatiftir. Polimer harmanları, mevcut ticari polimerlerin maliyet-performans özelliklerini iyileştirebilir ve tek bir polimerin sunamayacağı özellikleri bir arada sunabilir. [24]

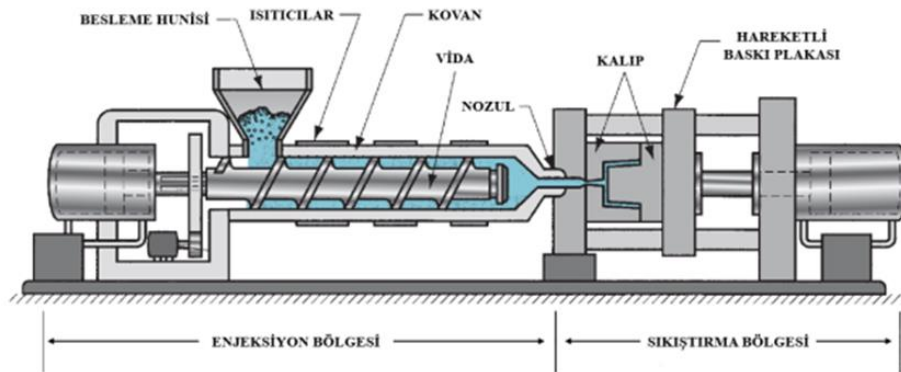
Düşük maliyet, geliştirilmiş ısı direnci, tokluk, solvent direnci, nem direnci, boyutsal kararlılık, işlenebilirlik ve alev direnci gibi avantajlar polimer harmanlarının sunduğu avantajlardan bazılarıdır. [24]

Polimer harmanları, homojen veya heterojen yapıda olabilir ve endüstride yaygın olarak kullanılan önemli ve çok yönlü bir malzeme sınıfını oluşturur. Örneğin, otomotiv sektöründe hafif, dayanıklı ve sert polimer harmanları kullanılarak parçalar üretilirken, tıbbi alanlarda biyouyumluluk sağlamak amacıyla farklı polimerlerin birleştirilmesi gerekebilir. Bu tür harmanlar, istenilen özelliklere sahip malzemelerin geliştirilmesinde kilit bir rol oynar. [25]

2.5.2. Enjeksiyon Kalıplama

Enjeksiyon kalıplama, polimer malzemelerin eritilip kalıp boşluklarına enjekte edilerek belirli şekillere dönüştürüldüğü, endüstride yüksek hacimli üretimler için yaygın olarak kullanılan bir üretim yöntemidir. Kalıplama işlemleri tasarım ve işletimde farklılık gösterse de çoğu enjeksiyon kalıplama süreci genellikle plastikleştirme, enjeksiyon, paketlenme, soğutma ve kalıp sıfırlama aşamalarını içerir. Bu yöntem, katı malzemenin ısıtılıp eriyik hale getirilmesi ve yüksek basınç altında kalıba itilerek istenilen şekli alması prensibine dayanır ve kapalı bir sistemdir. [26]

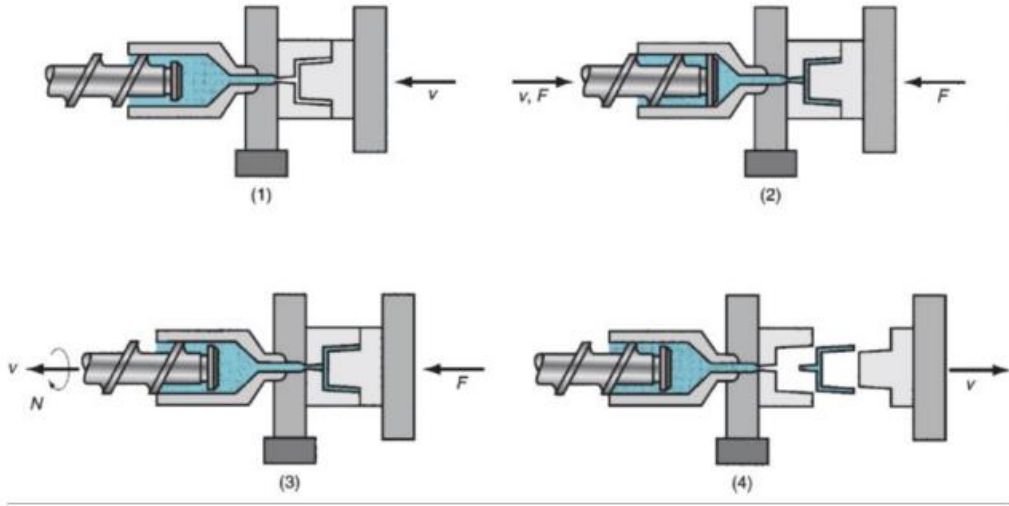
Enjeksiyon makinesi, enjeksiyon ve açma-kapama ünitesi olmak üzere iki bölümden oluşur. Malzeme, enjeksiyon ünitesinde eritilir ve kalıba iletilir. Kalıbın basınç altında açılıp kapanması ise açma-kapama ünitesi tarafından sağlanır. (Şekil 2.5. Enjeksiyonlu Kalıplama Cihazının Bölümleri) [26]



Şekil 2.5. Enjeksiyonlu Kalıplama Cihazının Bölümleri [11]

Enjeksiyon kalıplama kısaca dört adımda incelenebilir;

- 1) Polimerin sıcaklık ve sürtünme kuvvetleri etkisiyle eriyik hale geçmesi,
- 2) Eriyik polimerin basınç yardımıyla kalıba enjekte edilmesi,
- 3) Enjeksiyon vidasının geriye çekilmesi ve kalıbın soğutulması,
- 4) Kalıbın açılması ve ürünün elde edilmesi şeklindedir (Şekil 2.6). [27]



Şekil 2.6. Enjeksiyonlu Kalıplama Aşamaları [11]

Bu yöntem, neredeyse en yaygın plastik şekillendirme tekniği olup çeşitli boyut ve şekillerde, birçok parçanın üretiminde kullanılmaktadır. Günlük hayatta karşılaştığımız oyuncaklar, otomobil parçaları, ev eşyaları ve çeşitli elektronik parçaların birçoğu plastik enjeksiyon işlemi ile üretilmiştir. [28]

2.6. Çalışmada Kullanılan Karakterizasyon Yöntemleri

Polimer kompozit malzemelerde takviye malzemesinin polimer matris içerisinde nasıl konumlandığını ve sonuç kompozitlerin performans özelliklerini nasıl etkilediğini belirlemek adına başlıca aşağıda yer alan teknikler kullanılmaktadır.

-SEM (Taramalı Elektron Mikroskop)

Isıl ve mekanik özelliklerinin incelenmesinde aşağıda yer alan test yöntemleri kullanılmaktadır.

-TGA (Termogravimetrik Analiz)

-DSC (Diferansiyel Taramalı Kalorimetre)

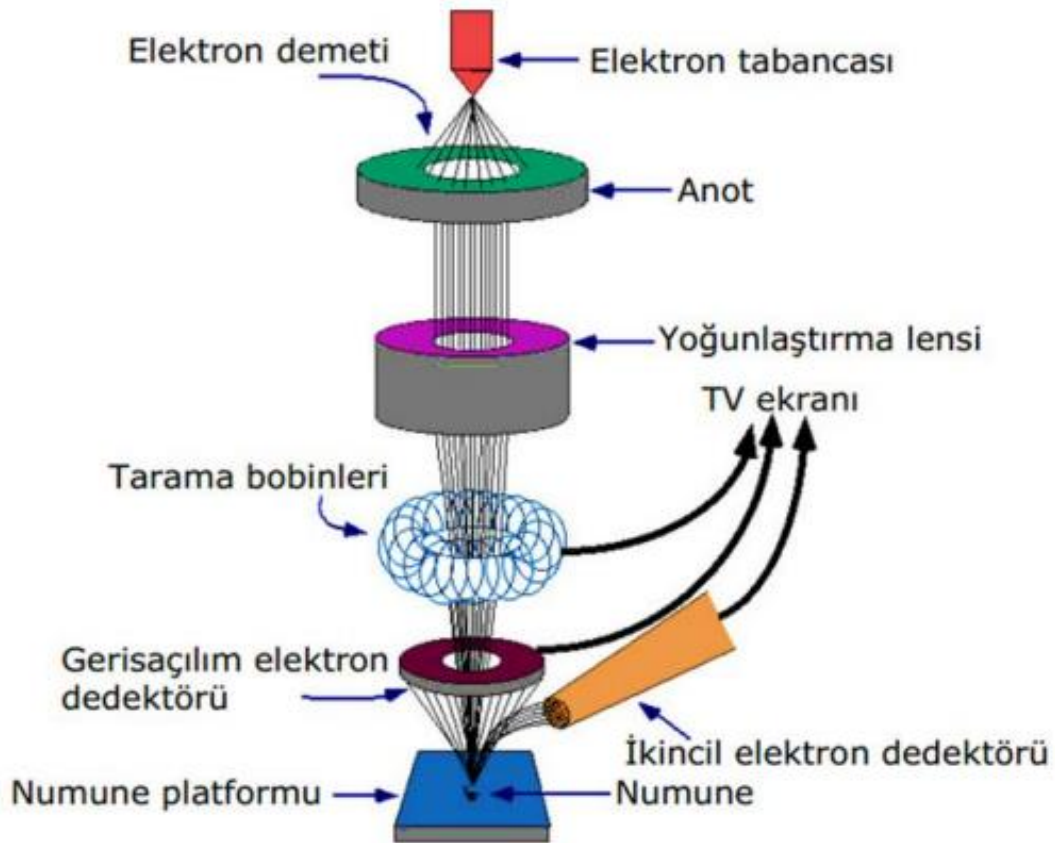
-Statik Mekanik (Çekme, Basma, Darbe) Analizler

-Optik Mikroskop

2.6.1. SEM taramalı elektron mikroskobu

Taramalı Elektron Mikroskopunda (SEM) görüntü, yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların numune üzerine odaklanmasıyla elde edilir. Bu elektron demeti numune yüzeyini tararken, elektronlar ve numune atomları arasında çeşitli etkileşimler gerçekleşir. Bu etkileşimlerin etkileri uygun algılayıcılarda toplanır, sinyal güçlendiricilerinden geçirilir ve bir katot ışınları tüpünün ekranına aktarılır. Modern sistemlerde, bu algılayıcılardan gelen sinyaller dijital sinyallere dönüştürülerek bilgisayar monitörüne iletilir. [29]

Şekil 2.7’de, taramalı elektron mikroskobunun şematik görüntüsü gösterilmektedir.

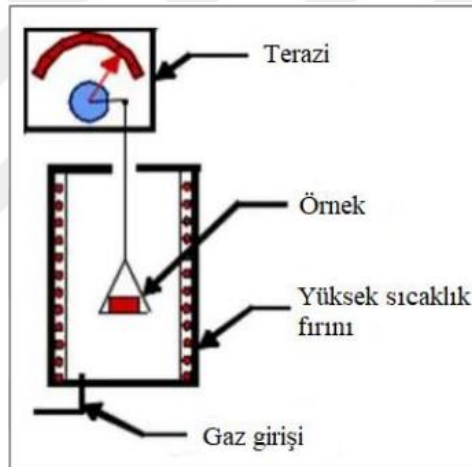


Şekil 2.7. Taramalı elektron mikroskobunun şematik görüntüsü [30]

2.6.2. TGA (Termogravimetrik Analiz)

Malzemede zamanın veya sıcaklığın bir fonksiyonu olarak kütlede meydana gelen değişikliklerin belirlenmesinde kullanılır. Sabit bir hızla ısıtıldığında kütle değişimi sıcaklığın bir fonksiyonu olarak belirlenebilir, aynı şekilde sabit sıcaklıkta belirli bir zaman aralığında kütle değişimi zamanın bir fonksiyonu olarak ölçülebilir. Bozunma veya yükseltgenme reaksiyonları kütle kaybına yol açar. Polimer kompozitlerde kullanılan dolgu/takviye malzemesinin polimer matrisinin ısı kararlılığı üzerindeki etkisi, bu yöntemle sıcaklığın bir fonksiyonu olarak kütledeki değişimle analiz edilebilir. [31]

Termogravimetrik analiz cihazı, hassas bir analitik terazi, fırın, inert veya bazen reaktif bir atmosfer oluşturan bir atmosfer kontrol ünitesi ve enstrüman kontrolünü sağlayan bir bilgisayar sisteminden oluşur. Şekil 2.8'de termogravimetrik analiz sisteminin şematik gösterimi sunulmuştur. [32]

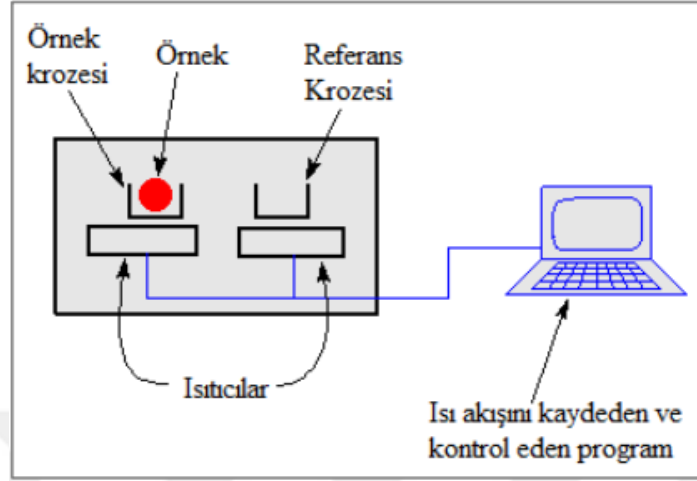


Şekil 2.8. Termogravimetrik analiz sisteminin şematik gösterimi [33]

2.6.3. DSC (Diferansiyel Taramalı Kalorimetre)

Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC), kontrollü bir sıcaklık programı uygulayarak, numune ile referans arasındaki ısı akışı farkını sıcaklığın bir fonksiyonu olarak inceleyen bir ısıl yöntemidir. DSC ile malzemelerin ısı geçişlerdeki entalpi değişimi (ΔH), erime sıcaklığı (T_m), camsı geçiş sıcaklığı (T_g), kristallenme sıcaklığı (T_c), ısıl bozunma sıcaklığı ve çapraz bağlanma sıcaklığı ölçülebilir. [19]

DSC, günümüzde en yaygın kullanılan ısıl yöntemdir. DSC hücresi temel olarak iki kalorimetreden oluşur (Şekil 2.9). Bunlardan birine örnek içeren, diğerine ise referans içeren bir kap (kroze) yerleştirilir. [19]

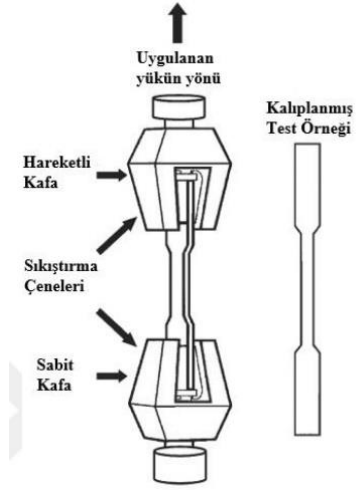


Şekil 2.9. DSC'nin şematik gösterimi [34]

Değişen sıcaklıkla birlikte, her iki krozeye aktarılan ısı farkı mili volt olarak algılanır ve bu sayede örnek krozesi içindeki örneğin aldığı veya verdiği ısı kaydedilir. Bu ısı farkı, organik veya inorganik herhangi bir malzemedeki enerji alışverişi ile paralel giden fiziksel veya kimyasal değişiklikleri, sıcaklığın veya zamanın bir fonksiyonu olarak açıklama olanağı sağlar. Bu tür ısı analizde, örnek madde ve bir referans madde belirli bir sıcaklık programı altında kontrollü olarak ısıtılır veya soğutulur. Bu esnada, eğer örnekte fiziksel ya da kimyasal bir değişiklik oluyorsa, enerji açığa çıkacak veya enerji absorbe edilecektir. Dolayısıyla, referans madde ve örnek sıcaklıklarını aynı seviyede tutabilmek için sistemin örnekten ısı alması veya örneğe ısı vermesi gerekir. Bu ısı alışverişi, örnek maddenin geçirdiği dönüşümde meydana gelen enerji değişimi ile aynıdır. Sonuçta da DSC’de bu enerji dengesi gözlemlenir ve yorumlanır. [35]

2.6.4. Çekme Testi

Çekme testi, bir malzemenin mikroyapısına veya morfolojik özelliklerine bağlı olarak mekanik performansını değerlendirmek amacıyla kullanılan temel bir test yöntemidir. Bu işlem, genellikle "üniversal test cihazı" olarak adlandırılan bir çekme cihazı ile gerçekleştirilir. Çekme cihazı, genellikle sabit bir alt çene ve hareket edebilen bir üst çene mekanizmasından oluşur. Şekil 2.10, çekme cihazının ve test edilen numunenin genel görünümünü göstermektedir. [36]



Şekil 2.10. Çekme cihazının ve test örneğinin genel görünümü [36]

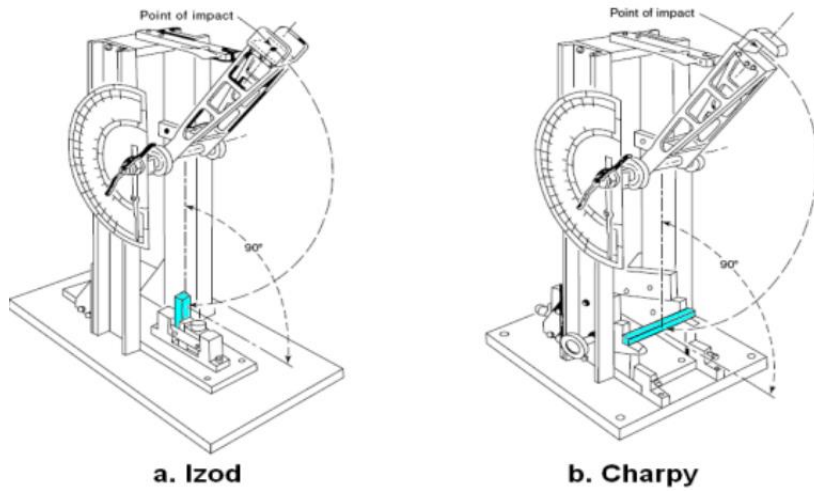
2.6.5. Darbe Testi

Malzemenin darbe dayanımını değerlendirmek için Darbe Testi cihazı kullanılır. Bu testte, numunenin kırılması için gereken enerji ölçülür. Bu da bize malzemenin darbe direncini ifade eder. Darbe direnci, malzemenin absorbe ettiği enerjinin yüzey alanına oranı olarak da yorumlanabilir. [37]

Darbe testleri, numunenin yerleştirilme şekline göre iki türde uygulanır: [37]

1.Izod – (Numunenin dikey yönde yerleştirilmesi – Şekil 2.11.a)

2.Charpy – (Numunenin yatay yönde yerleştirilmesi – Şekil 2.11.b)



Şekil 2.11.a.Izod ve b.Charpy Testi [38]

Her iki testte de malzemenin kırılma davranışını değerlendirmek amacıyla test numunesine bir çentik açılarak kontrollü bir zayıf nokta oluşturulur. Şekil 11.a.'da gösterildiği gibi Izod testinde numune dikey konumda tutulurken, Charpy testinde Şekil 11.b.'de gösterildiği gibi yatay olarak yerleştirilir. Test sırasında sarkaç, numuneye çarpacak şekilde serbest bırakılır. Numuneye çarpmanın ardından sarkacın ulaştığı yükseklik ölçülerek, başlangıç ve bitiş konumları arasındaki enerji farkı hesaplanır. Bu enerji farkı, numunenin absorbe ettiği enerjiyi ifade eder. [37]





3. MATERYAL VE METOD

3.1. Malzemeler

Bu çalışmada, %15 cam elyaf katkılı Poliamit 6 ve nihai üründeki isterlerden dolayı renk verici madde olarak %2 oranında Masterbatch olmak üzere iki çeşit malzeme kullanılmıştır. Cam elyaf takviyeli poliamit, EPLAMID 6 GFR 15 NC Q1B501 ticari adı ile EPSAN (Bursa,Türkiye) firmasından temin edilmiştir. Masterbatch ise Avient (Gebze,Türkiye) firmasından tedarik edilmiştir.Kullanılan PA6+GF15 hammaddenin teknik özellikleri Tablo 3.1’de gösterilmiştir.

Tablo 3. 1. EPLAMID 6 GFR 15 Malzemesinin teknik data özellikleri [39]

Özellikler	Test Metodu	Birim	Değer	
Fiziksel Özellikler			Dry	Cond
Yoğunluk (23°C)	ISO 1183	g/cm ³	1,23	
Nem absorpsiyonu (denge)	ISO 62	%	2,5	
Su absorpsiyonu (doygunluk)	ISO 62	%	7,6	
Kalıp Çekmesi - paralel/normal (2mm)	ISO 294-4	%	0,7/1,0	
Mekanik Özellikler (23°C)				
Çekme Modülü (1mm/min)	ISO 527-2	MPa	6000	4000
Kopma anındaki çekme gerilmesi (5mm/min)	ISO 527-2	MPa	135	75
Kopma anındaki gerilme (5mm/min)	ISO 527-2	%	3	6
Eğilme Modülü (2mm/min)	ISO 178	MPa	5000	3000
Eğilme Mukavemeti (2mm/min)	ISO 178	MPa	230	170
Çentikli izod etkisi	ISO 180/1A	kJ/m ²	7	9
Çentiksiz izod etkisi	ISO 180/1U	kJ/m ²	50	60
Çentikli charpy etkisi	ISO 179/1eA	kJ/m ²	8	10
Çentiksiz charpy etkisi	ISO 179/1eU	kJ/m ²	55	65
Termal Özellikler				
Erime Noktası (10°K/min)	ISO 11357/1-/3	°C	220	
Yük altındaki sapma sıcaklığı (0,45 MPa)	ISO 75-2/B	°C	210	
Yük altındaki sapma sıcaklığı (1,80 MPa)	ISO 75-2/A	°C	185	
Yanmazlık & Elektriksel Özellikler				
Yanıcılık Sınıflandırması (0,8mm) - UL 94	EN 60695-11-10	-	HB	
Karşılatırmalı izleme endeksi - CTI (Solution A)	EN 60112	V	550	
Yüzey direnci	ASTM D257	Ω/sq	1,00E+13	

Renk vermesi amacıyla kullanılan masterbatchin teknik özellikleri Tablo 3.2’te gösterilmiştir.

Tablo 3. 2. Masterbatch Teknik Özellikleri

Ürün	OMNIColor BLACK CWAZ14
Renk	Siyah
Dozaj	2.00 %
Formu	Silindirik Granül
Uygulama	Enjeksiyon Kalıplama

3.2. Geri Dönüştürme Prosesi ve Kompozit Üretimi

Üretim başlangıçlarında prosesin devreye alınması esnasında ürün görselinde oluşan kalite problemlerinden dolayı ıskarta/hatalı ürün olarak ayrılan ürünler mekanik kırma yöntemi kullanılarak küçük parçalar haline getirilmiştir. İskartaların kırılma prosesinde Şekil 3.13’teki İnvan Makine marka PLS Kırma Makinesi 800-1400 kg kapasiteli, 550 rpm mekanik kırıcı kullanılmıştır.



Şekil 3.12. PLS Kırma Makinesi [40]

Mekanik Kırma makinesinden alınan kırılmış parçalar Şekil 3.14'te gösterilen Comac Marka L/D oranı 40 olan Çift Vidalı ekstrüder makinesi kullanılarak geri dönüştürülmüş malzemedan üretilmiş granüller eldesi için kullanılmıştır.



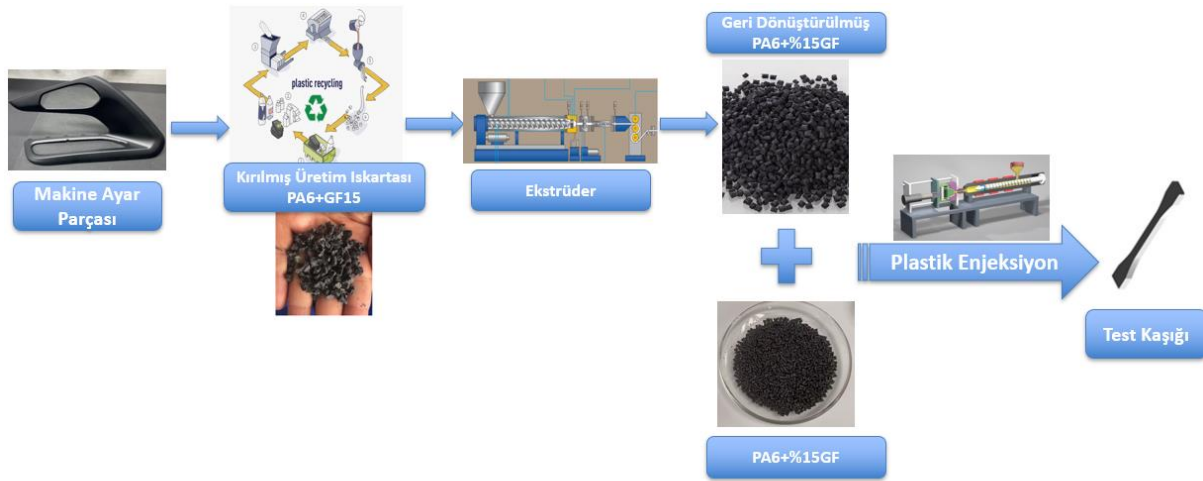
Şekil 3.13. Çift Vidalı Ekstrüder Makinesi [41]

Ektürüderden elde edilen bu geri dönüştürülmüş granüllerden karışımın total ağırlığına (5 kg) oran ile ağırlıkça %10, %20, %30, %50 ve %100 oranlarında ayrı paketlerde oluşturulmuştur. Hazırlanan bu kompozitler orijinal malzeme ile Wittmann marka Gravimax G14 model (Şekil 3.15) karıştırıcıda gravimetrik dozajlama sistemi kullanılarak 1 dk boyunca oda şartlarında karıştırılmıştır. Orijinal olarak adlandırılan ve geri dönüştürülmüş malzeme kullanılmayan PA6+GF15 granül ile birlikte fiziksel karıştırma işlemi ile harmanlanmış, katkılı bileşenler hazırlanmıştır.



Şekil 3.14. Karıştırma Makinesi [42]

Yapılan proses adımlarına ilişkin görsel Şekil 3.16 'da gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Geri Dönüşüm Prosesi Akış Şeması

Bu yöntem, malzemelerin özelliklerini iyileştirmek, yeni özellikler kazandırmak ve maliyeti düşürmek amacıyla kullanılır. Elde edilen bileşen, nihai ürünün üretiminde kullanılacak homojen ve tutarlı bir hammadde sağlamayı hedeflemektedir.

Yapılan çalışma doğrultusunda bileşen içinde kullanılan orijinal hammadde oranı, kullanılan geri dönüştürülmüş malzeme oranı ve masterbatch oranı Tablo 3.3'te gösterilmiş olup bundan sonraki açıklamalarda tabloda belirtilen bileşen eşleştirmeleriyle birlikte atıfta bulunulacaktır.

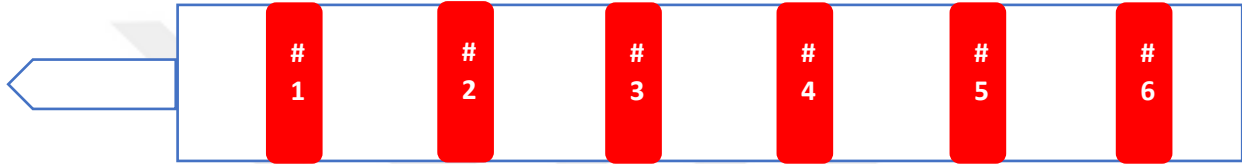
Tablo 3. 3 Karışım Kompozisyonu

	Orijinal Hammadde Oranı	Geri Dönüştürülmüş Hammadde Oranı	Masterbatch Oranı
PA/GF	%100	%0	%2
10GDM	%90	%10	%2
20GDM	%80	%20	%2
30GDM	%70	%30	%2
50GDM	%50	%50	%2
GDM	%0	%100	%2

3.3. Kompozit Bileşenlerin Kalıplanması

Hazırlanan PA bileşenler, kalıplama öncesinde 85°C’de 4 saat boyunca vakumlu etüvde ön kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Ağırlıkça %0, 10, 20, 30,50 ve %100 geri dönüştürülmüş hammadde içeren kompozit karışımlar besleme hunisi yardımı ile enjeksiyon makinesine beslenmiştir. Kompozit bileşenler 180 tonluk enjeksiyon makinesi kullanılarak (JonWai - JW 180SD) 180-240 °C sıcaklık profili ve 60 bar enjeksiyon basıncı, ve 10-12 rpm enjeksiyon hızı ile uygulanacak testlerin standartlarına uygun şekillendirilmiştir.

Enjeksiyon makinesi sıcaklık bölgeleri Şekil 3.17’de belirtilmiş olup, bu kovan sıcaklık bölgelerindeki sıcaklık değerleri ise Tablo 3.4’te verilmiştir.



Şekil 3.16. Enjeksiyon Makinesi Sıcaklık Bölgeleri

Tablo 3. 4. Enjeksiyon prosesi sıcaklık parametreleri

	#1	#2	#3	#4	#5	#6
Gerçekleşen Değer °C	280	240	230	180	0	0
Ayar Değeri °C	280	240	230	180	0	0

3.4. Karakterizasyon

3.4.1. Çekme testi

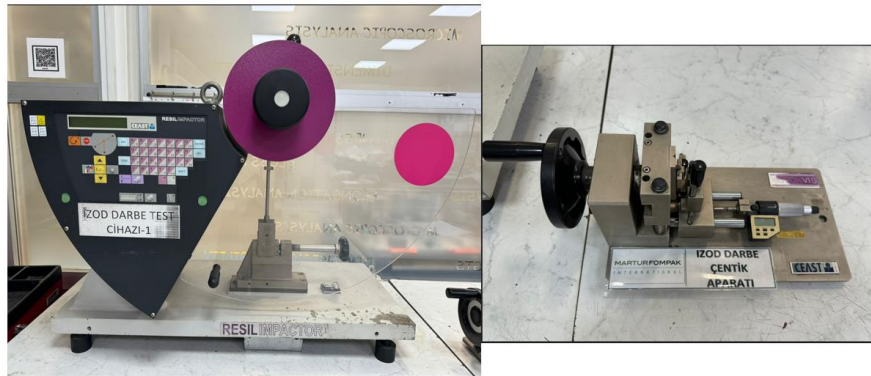
Üretilen malzemelerin mekanik çekme testleri, Zwick marka Evrensel Çekme-Kopma Testi cihazında (Şekil 3.18) ISO 527 standardına göre 50 mm/dk çekme hızında ve oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Her bir kompozisyon için 5 numune test edilip numunelerin çekme dayanımları, kopma uzamaları ve modül değerleri ortalama değer alınarak verilmiştir.



Şekil 3.17. Zwick Çekme Test Cihazı [43]

3.4.2. Izod / Charpy darbe testi

TS EN ISO 179-1 standardına uygun olarak, çentikli darbe numuneleri oda sıcaklığında, Instron marka Charpy/Izod darbe test cihazı (Şekil 3.19) kullanılarak test edilmiştir. Darbe testinde, numuneleri kırmak için 5 joule kapasiteli çekiç kullanılmıştır. Her bir numune grubu için beş tekrarlı testler yapılmış ve darbe enerjileri ölçülmüştür. Bu ölçümlerin ortalaması alınarak standart sapmalarıyla birlikte sonuçlar raporlanmıştır. Bu yöntemle, her bir numune grubunun darbe dayanımı konusunda güvenilir ve tekrarlanabilir veriler elde edilmiştir. Standartta uygun olarak, ortalama darbe enerjisi ve standart sapma değerleri malzemelerin dayanım performansı hakkında kıyaslama imkânı sağlamaktadır.



Şekil 3.18. Izod Darbe Test Dayanımı Cihazı [43]

3.4.3. Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) analizi

PA/GF ve GDM'li malzemelerin ısı geçişleri ile kristalizasyon değerlerini belirlemek için, ISO EN 11357-1 standardına uygun olarak numuneyi ve referansı içeren bileşenler yaklaşık 2-10 mg hazırlanarak TA Instruments Marka DSC-250 cihazı (Şekil 3.20) yardımıyla azot atmosferi altında ısıtma-soğutma-ısıtma şeklinde üç basamaklı olarak uygulanmıştır. İlk basamakta numunelerin uygulama 10°C/dk hızda sıcaklık ise 25°C den başlayıp 230 °C-240 °C 'ye kadar ısıtıldı ve malzemelerin ısıl geçmişini silmek için 10 dk izotermal bekletme ile bu sıcaklıkta bekletildi. İkinci basamakta ise oda sıcaklığına 10°C/dk hızda soğutulması gerçekleştirildi. Üçüncü yani son basamakta ise 10°C/dk hızda sıcaklık ise 25°C den başlayıp 230 °C-240 °C 'ye kadar ısıtıldı. Numunelere uygulanan ikinci basamaktaki soğutma işleminde elde edilen ekzotermik piklerin maksimum sıcaklık verilerinden Kristalizasyon Sıcaklığı (Tc) verileri hesaplanmıştır. Tm değeri yani malzemelerin erime sıcaklıkları ise endotermik maksimum pikten elde edilmiştir. Bileşenlerdeki PA Kristalizasyon yüzdesi değerleri (Xc) endotermik erime pikleri ve Şekil 20'de gösterilen eşitlik kullanılarak hesaplandı. Bileşenlerin erime sıcaklıkları ve kristallik yüzdesi ikinci ısıtma eğrisinden, kristalizasyon sıcaklığı ise soğutma eğrisinden bulunmuştur.

$$X_c = \frac{\Delta H_f}{\Delta H_f^0} \times \frac{1}{w} \times 100 \quad [44]$$

Eşitlikte ΔH_f ve ΔH_f^0 sırasıyla örneğin ve %100 kristalin poliamite ait erime entalpileridir. Wpp kompozit içerisindeki PA'nın ağırlık kesrini ifade etmektedir. Poliamit 6 ΔH_f^0 değeri için 230 J/gr alınmıştır. [45]



Şekil 3.19. DSC Test Cihazı [46]

3.4.4. HDT- VICAT Testi

ISO 75 standardına uygun olarak HDT testi için 80 mm* 10 mm* 4 mm ebatlarındaki numuneler hazırlandı. Numuneleri analiz öncesinde şartlandırmak için 50 ± 5 bağıl nem ve $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta 88-168 saat arasında bekletme uygulanmıştır. Kurutma $80-100^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta 12-24 saat, nemden tamamen arındırmak için uygulandı. Şartlandırma yapılan numuneler Instron Marka Ceast HDT Vicat HV3 model Şekil 3.21’de gösterilen HDT test cihazında, uygun test başlıklarına göre yerleştirilerek $2^{\circ}\text{C}/\text{dakika}$ ısıtma hızında 1,8 MPa yük uygulanmıştır. Malzemelerin ısı ve yük altındaki boyutsal kararlılığı hakkında bilgi veren ve test esnasında malzemede 0,2 mm sapma gösterdiği sıcaklık deformasyon sıcaklık (HDT) değerleri olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.20. HDT Test cihazı [43]

3.4.5. Termogravimetrik Analiz (TGA)

Üretilen malzemelerin ısı kararlılıkları TGA cihazı TA Instruments Marka SDT-650 cihazı (Şekil 3.22) ile araştırılmıştır. TG analizleri, yaklaşık 10-15 mg numune ile, kontrollü bir azot gazı atmosferinde oda sıcaklığından 500°C 'ye kadar $10^{\circ}\text{C} / \text{dak}$ sabit bir ısıtma hızında ısıtıldı.



Şekil 3.21. TGA Cihazı [47]

3.4.6. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Çekme testi için üretilen test kaşıkları üzerinden SEM numuneleri alındı. Bu numunelerin kırık yüzeyleri Leica / ACE600 marka numune kaplama cihazında Altın/Paladyum (Au/Pd) ile kaplandıktan sonra numunelerin morfolojik analizleri SEM cihazı (Zeiss / Gemini 300-EDS : Bruker / XFlash 6I100) ile gerçekleştirilmiştir. (Şekil 3.23)



Şekil 3.22. SEM Cihazı [46]

3.4.7. Optik Mikroskop Analizi

PA/GF ve GDM kompozitlerini karşılaştırmak oluşan yapıları gözlemlemek amacıyla NİKON Eclipse MA-100 modeli optik mikroskop kullanılmıştır. (Şekil 3.24) Analizde 50X ve 200X büyütme ile görüntüler alınmıştır.



Şekil 3.23. Optik Mikroskop [43]



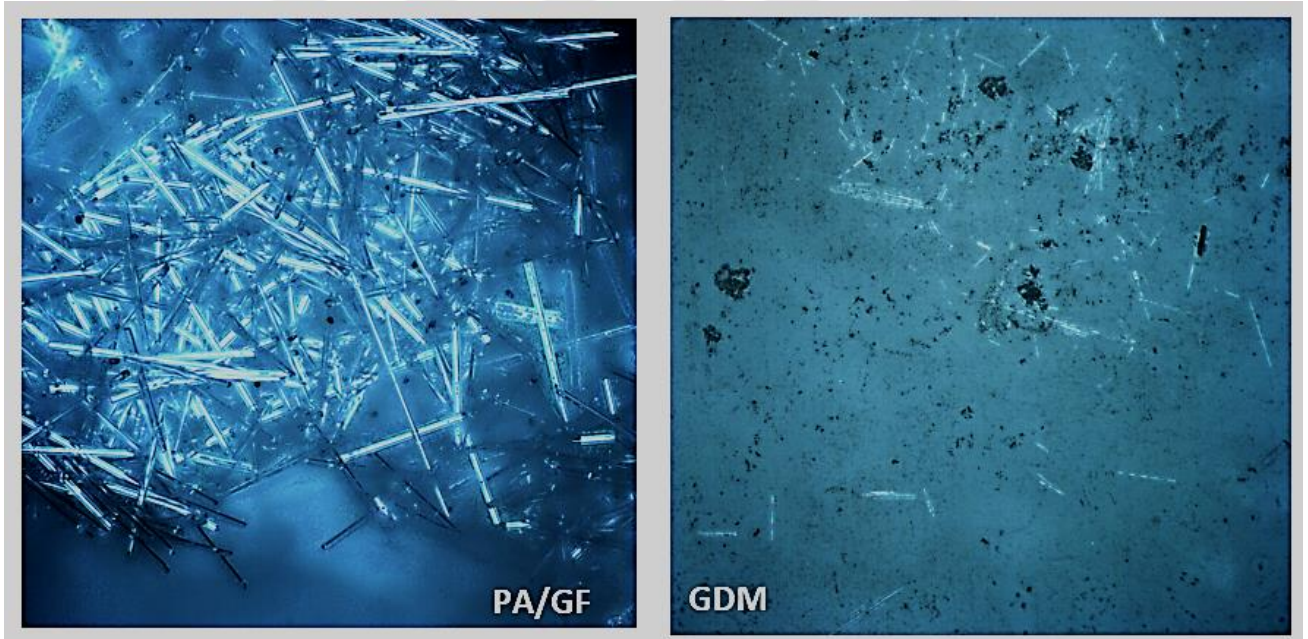
4. TARTIŞMA VE SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

4.1. Orijinal PA6+%15 GF ve Farklı Oranlarda Geri Dönüştürülmüş Malzeme İçeren Bileşenlerin Tensil Mekanik Özellikleri

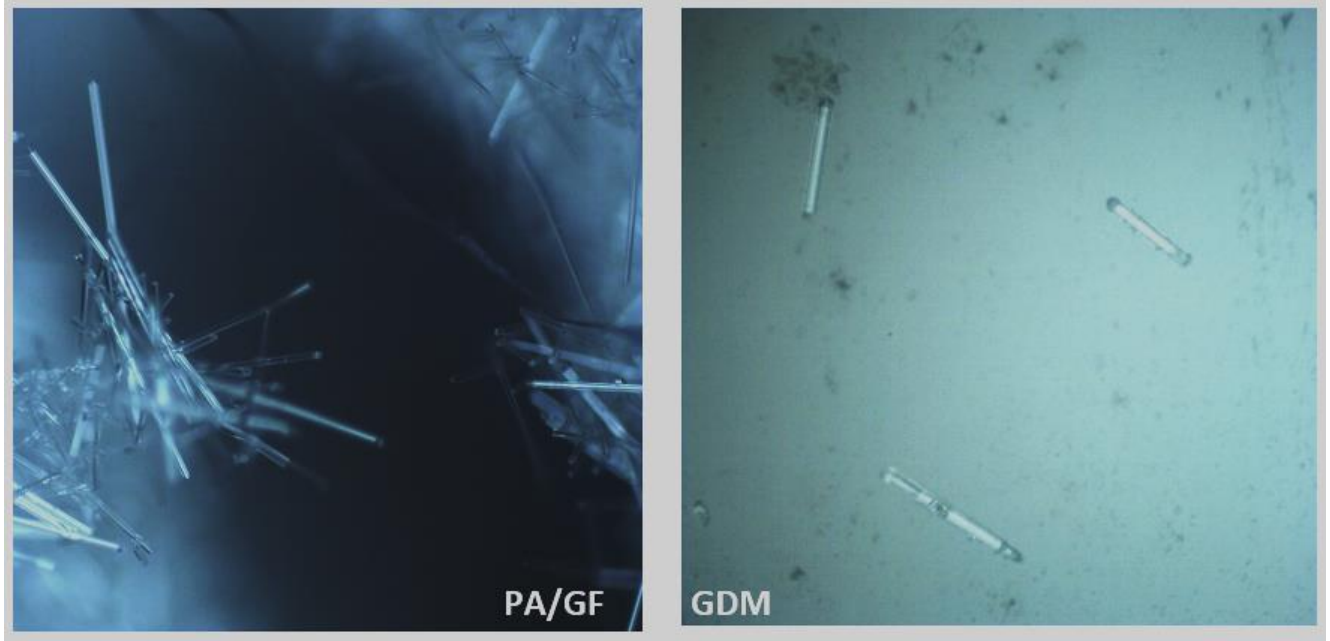
4.1.1. Optik Mikroskop Analizi

PA/GDM ve GDM bileşenlerden hazırlanan ve çekme test kaşıklarından alınan numuneler seramik krozeler içinde 50 dk 800°C sıcaklıkta etüvde ergitildi. Ergitilmiş numunelerden kalan kalıntılar Optik mikroskopta Şekil 4.25'teki 50X büyütme ve Şekil 4.26'daki 200X büyütmede görüntülenmiştir.

Optik mikroskop görüntülerinden, PA/GF numunesinden kalan elyafların göreceli olarak daha uzun ve yaklaşık aynı boyutta olduğu saptanmıştır. Diğer yandan, GDM malzemesinden kalan elyafların çok daha kısa ve boyut dağılımının da arttığı gözlemlenmiştir. Bu sonuç, mekaniksel geri dönüştürme işleminin, elyafları kırarak küçülmesine neden olduğu söylenebilir.



Şekil 4.24. PA/GF ve GDM Bileşenlerin 50X Görüntüleri



Şekil 4.25. PA/GF ve GDM Bileşenlerin 200X Görüntüleri

4.1.2. Statik Çekme Mekanik Testi

Hazırlanan kompozitlere ait çekme testi sonuçları Tablo 4.1’de verilmiştir.

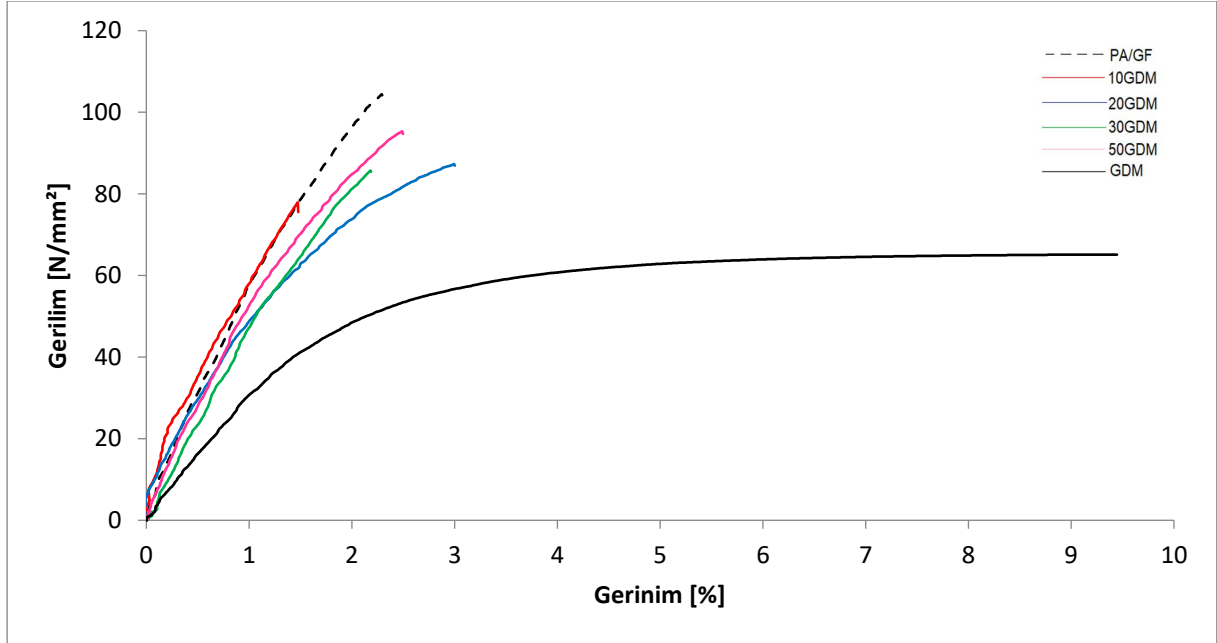
Tablo 4. 1. Çekme Testi Sonuçları

Malzeme	Çekme Modülü (MPa)	Kopma Anındaki Çekme Gerilimi (Mpa)	Kopma Uzunluğu (%)
PA/GF	6520±735,59	104±1,597	2,3±0,115
10GDM	6385±1573	78,9±4,08	1,6±0,148
20GDM	5200±542,8	90,5±3,10	2,99±0,26
30GDM	6039±1392	87,1±5,82	2,08±0,199
50GDM	5606±135,7	95,2±1,8	2,6±0,115
GDM	3250±705,1	55,9±16,4	8,24±2,22

Elde edilen kompozit numuneler, ISO standartlarına uygun olarak çekme ve darbe testlerine tabi tutulmuştur. Geri dönüştürülmüş malzeme (GDM) kullanımı ile çekme mukavemeti ve çekme modülünde azalmalar elde edilmiştir.

Bu sonuç geri dönüşürme prosesinde polimer moleküllerinin kırılması sonucu küçülmesine ve cam elyafın aspek oranındaki azalmaya dayandırılabilir. (Tablo 4.1)

%100 GDM malzemesi ise en düşük çekme mekanik performansı sergilemiştir. Kompozitlere ait gerilim-gerinim eğrileri Şekil 4.27’de verilmiştir.



Şekil 4.26. Gerilim-Gerinim Eğrisi

Kopmadaki uzama değerleri ise kompozitteki GDM oranı arttıkça artış gösterme eğiliminde olmuştur. Ağırlıkça % 10 GDM katkılı kompozit (10GDM) orijinal hammaddeye (PA/GF) en yakın modül değeri ve en düşük uzama oranı (Tablo 4.1) ile kompozitler arasında en sert malzeme olarak davranmıştır. Diğer yandan, ağırlıkça % 30 GDM içeren kompozit (30GDM), 10GDM’ye yakın bir yüksek elastik modül ve ondan daha yüksek çekme mukavemeti ve kopma uzaması değerleri ile sertlik-tokluk dengesini en iyi sağlayan optimum bir kompozisyon olarak da gösterilebilir.

4.1.3. İzod Darbe Testi

Hazırlanan bileşenlere ait yoğunluk, İzod Darbe Testi ve HDT verileri Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4. 2. Izod Darbe Testi, HDT ve Yoğunluk Ölçümleri

Malzeme	Yoğunluk (gr/cm³)	Izod Çentikli Darbe Dayanımı (kJ/m²)	HDT A (1,8 MPa) (°C)
PA/GF	1,22	6,42±0,52	155,7
10GDM	1,22	5,96±0,64	155,1
20GDM	1,22	5,56±0,31	154,5
30GDM	1,22	5,64±0,25	154
50GDM	1,22	5,15±0,07	154,2
GDM	1,22	4,41±0,28	153,4

Yoğunluk değerinin bütün bileşenler için sabit 1.22 g/cm³ olduğu ve kullanılan malzemelerin yoğunluk açısından homojen bir yapıya sahip olduğunu kanıtlar niteliktedir. Veya farklı geri dönüşümlü/ana madde oranlarının yoğunluk üzerinde belirgin bir etkisi olmadığını da düşünebiliriz.

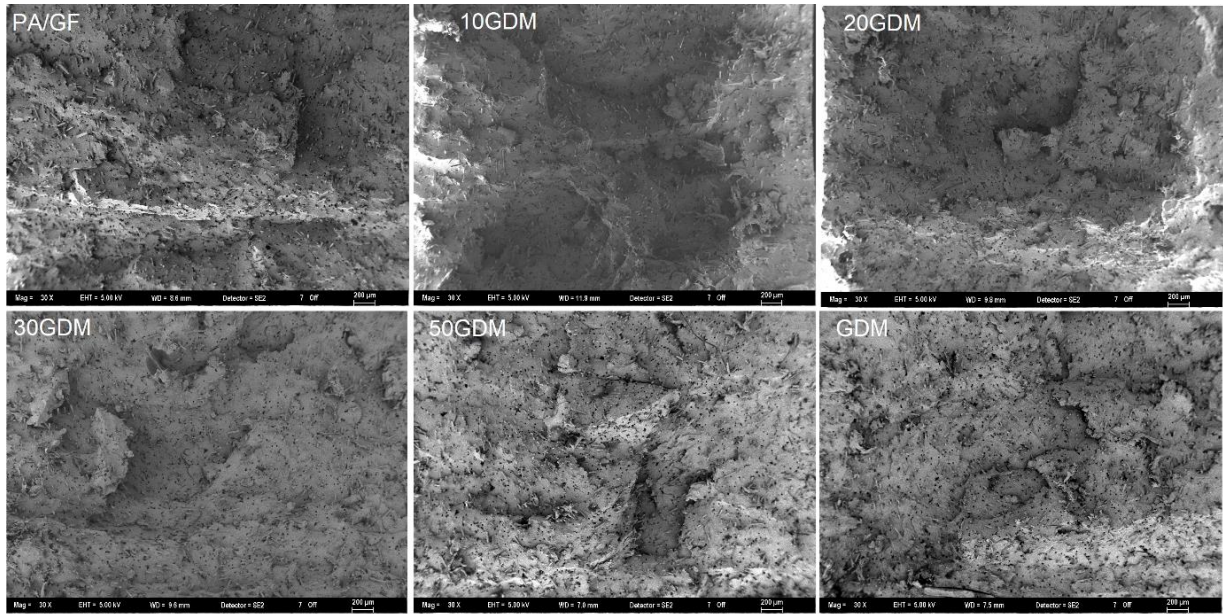
Ağırlıkça %10 ve %20 geri dönüştürülmüş malzeme içeren kompozitler (10GDM ve 20 GDM), darbe dayanımı açısından orijinal malzemeye (PA/GF) en yakın performansı sergilemiştir. Ancak %30 un üzeri geri dönüşüm oranlarında darbe dayanımında azalma bulunmuştur. Bu sonuçlar, düşük oranlarda GDM kullanılarak elde edilen kompozitlerin, mekanik performansını büyük ölçüde koruyarak endüstriyel kullanıma uygun olduğunu göstermektedir. Ancak GDM oranı %30'un üzerine çıktığında, kompozitlerin mekanik darbe dayanıklılığının belirgin şekilde düştüğü tespit edilmiştir. Bu sonuç, darbe testi yapılmış numunelerin SEM görüntüleri de uyum içindedir (Şekil 4.29). GDM oranı arttıkça, kompozit malzeme kırık yüzeyinde daha fazla boşluk ve zayıf matris-fiber adhezyonu izlenmiştir

Isı ve yük altındaki deformasyon sıcaklığı (HDT) değerleri (Tablo 4.2), orijinal hammaddeye kıyasla, GDM içeren kompozitlerde azalma göstermiştir. Bu azalma, % 100 GDM içeren kompozit malzemede en fazla gözlenmiş olup fark 2.3 °C'dir. Sonuç olarak, malzemede boyutsal kararlılığın bir göstergesi olan HDT değerinin, PA/GF orijinal malzemeye göre, GDM' li malzemelerde çok az bir değişim göstermesi, bir avantaj olarak görülebilir.

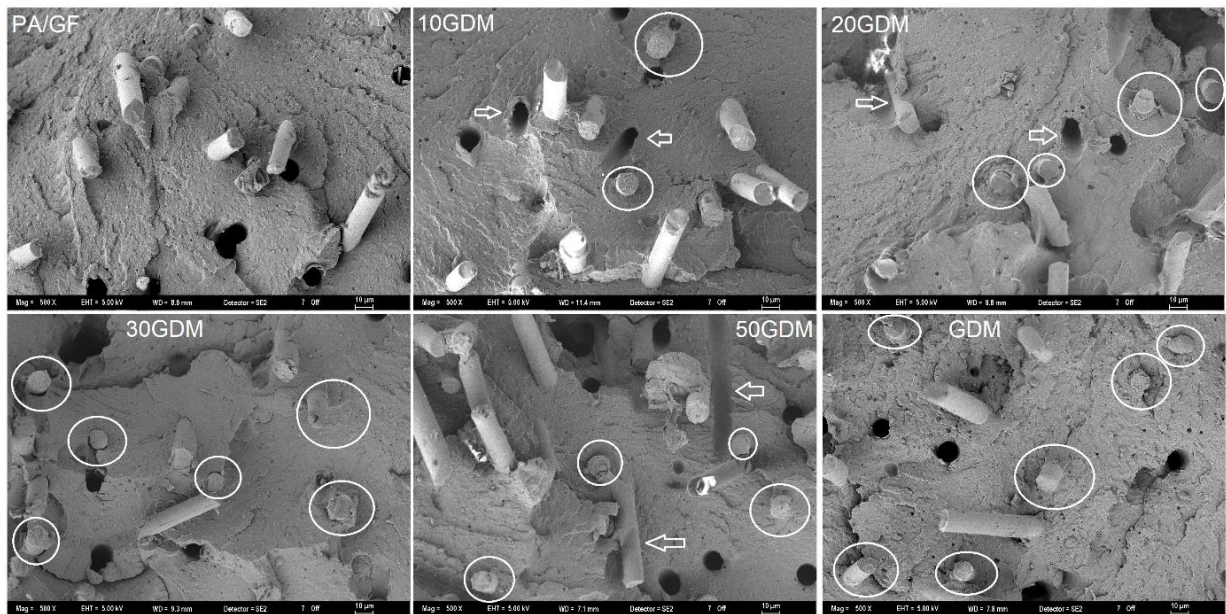
4.2. Orijinal ve Geri Dönüştürülmüş Katkılı PA6 Bileşenlerinin Karakterizasyonu

4.2.1. Orijinal PA6+%15 GF ve Geri Dönüştürülmüş Malzeme içeren PA+%15 GF Bileşenlerin Karakterizasyonları

Malzemelerin farklı büyütme oranlarındaki SEM görüntüleri Şekil 4.28, Şekil 4.29 ve Şekil 4.30'da verilmiştir. Şekil 4.28'deki düşük magnifikasyonlu SEM görüntülerinden izlendiği gibi matris içindeki elyaf dağılımı tüm malzemelerde homojen ve yoğun bir dağılım göstermektedir.



Şekil 4.27. Bileşenlerin SEM Görüntüleri (Mag: 30 x)

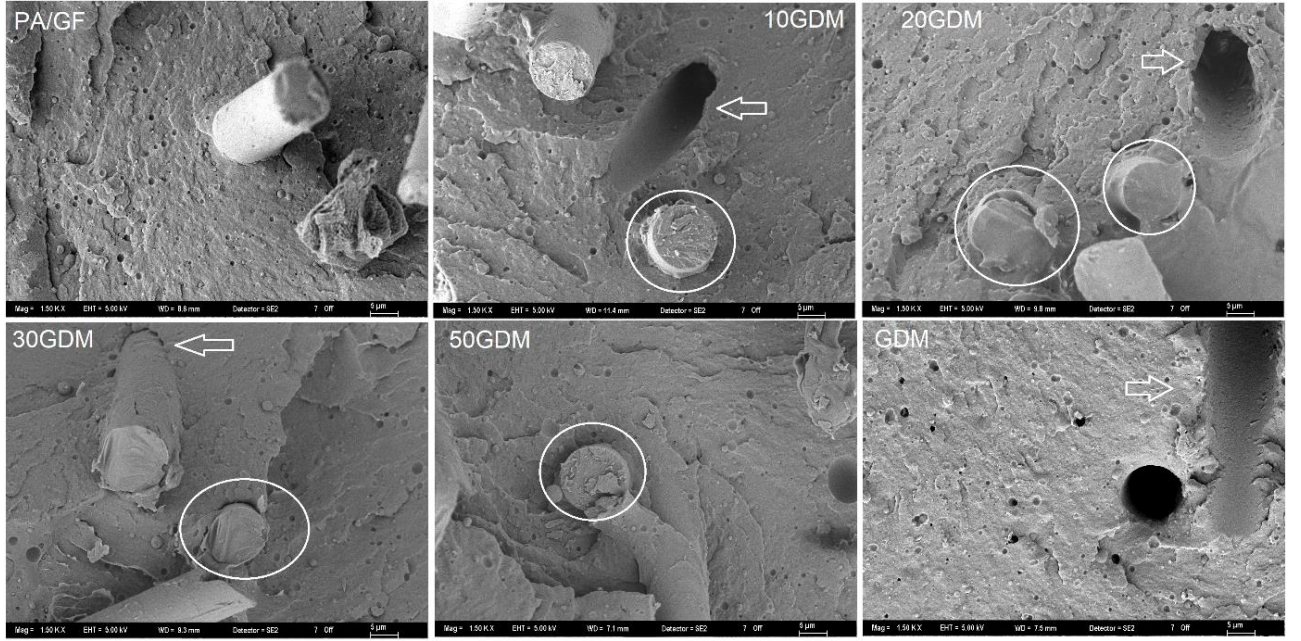


Şekil 4.28. Bileşenlerin SEM Görüntüleri (Mag: 500 x)

Geri dönüştürülmüş malzeme (GDM) içeren PA6/15GF kompozitlerin mikroyapısını gösteren SEM görüntülerinden (Şekil 4.29-Şekil 4.30) matris içinde farklı yönlerde yönlenmiş cam elyaflar görülmektedir. Orijinal kompozit hammaddenin (PA/GF) SEM görüntülerinden, göreceli daha uzun elyafların varlığı ve fiber-matris yapışmasının iyi olduğu saptanmıştır. Ayrıca bazı liflerin yük altında matristen çıkması sonucu (fiber pull-out) küresel şekilde boşluklar da yer almaktadır.

GDM içeren kompozitlerin SEM görüntülerinde ise matristen uzanan bazı liflerin boyunun kısaldığı (daire içinde gösterilmiştir) ve lif uzunluklarındaki çeşitliliğin arttığı görülmüştür. Ayrıca GDM içeren kompozitlerde ve GDM kompozitinde elyaf-matris arayüzey yapışmasının iyi olmadığı ve bu yörelerde boşluklar olduğu saptanmıştır (ilgili yöreler işaretlenmiştir). Literatürdeki çalışmalarda, lif uzunluğunun malzemenin kırılma mekanizmasını etkilediği ve özellikle kısa liflerin varlığında, liflerin matris fazdan çıkma (fiber pull-out) mekanizmasının ağırlıklı olarak gerçekleştiği ve bu durumda matris fazda daha fazla boşluk oluştuğu raporlanmıştır. [48, 49, 50] Bu durum, bu tez çalışmasında üretilen GDM dolgulu kompozitlerde de gözlenmiştir (Şekil 4.29 ve Şekil 4.30) ve geri dönüştürme işlemi sırasında liflerin boylarının kısılmasına dayandırılabilir. Kompozitlerdeki GDM oranı artışıyla matris içindeki boşluk oluşumunun da arttığı görülmüştür.

Yukarıda bahsedilen ve GDM içeren kompozitlerde gözlenen zayıf fiber-matris arayüzey yapışması ve daha kısa liflerin varlığı, sonuç mekanik özellikleri kötü yönde etkileyebilir. Diğer yandan daha fazla fiber pull-out kırılma mekanizması malzemede tokluğu arttıran kırılma mekanizmaları olarak da raporlanmıştır. Her iki durumun varlığı, GDM oranıyla da ilişkili olması ve birbirini kompanse edecek bir denge yaratabilir.



Şekil 4.29. Bileşenlerin SEM Görüntüleri (Mag: 1500 x)

4.2.2. Orijinal PA6+%15 GF ve Farklı Oranlarda Geri Dönüştürülmüş Malzeme İçeren Bileşenlerin Termogravimetrik Analizleri

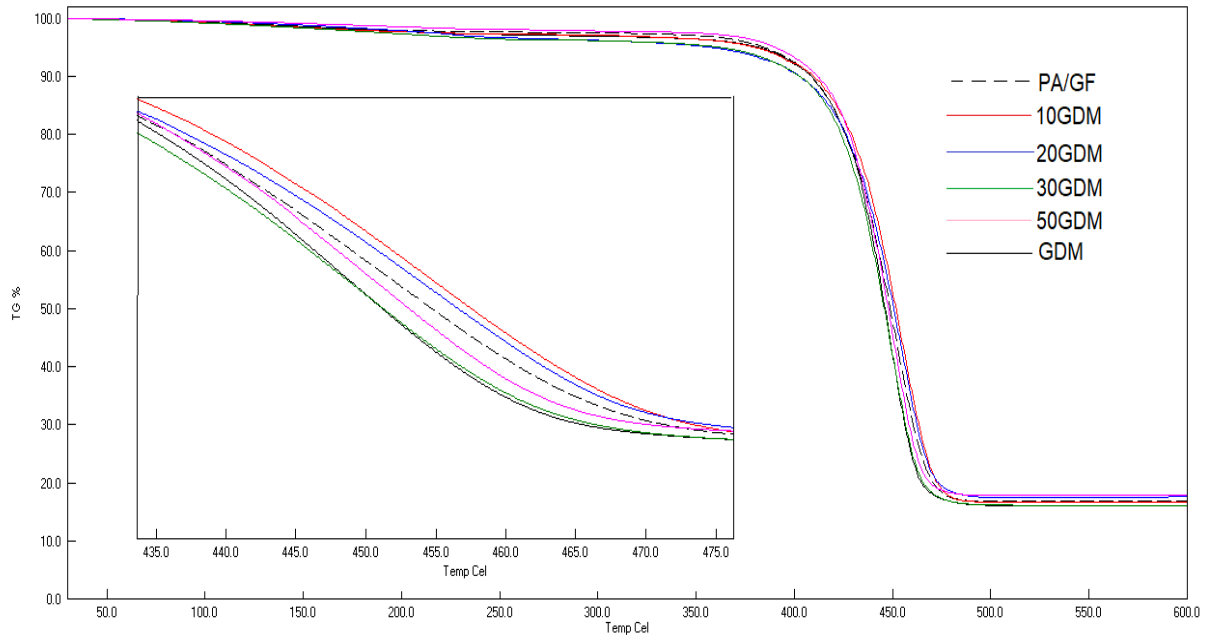
Bileşenlere ait malzemelerinin TG analiz sonuçları Tablo 4.3'te ve TGA termogramları ile türevsel termogramları ise Şekil 4.31- Şekil 4.33'te verilmiştir.

Tablo 4. 3. Hazırlanan Bileşenlerin TGA Sonuçları

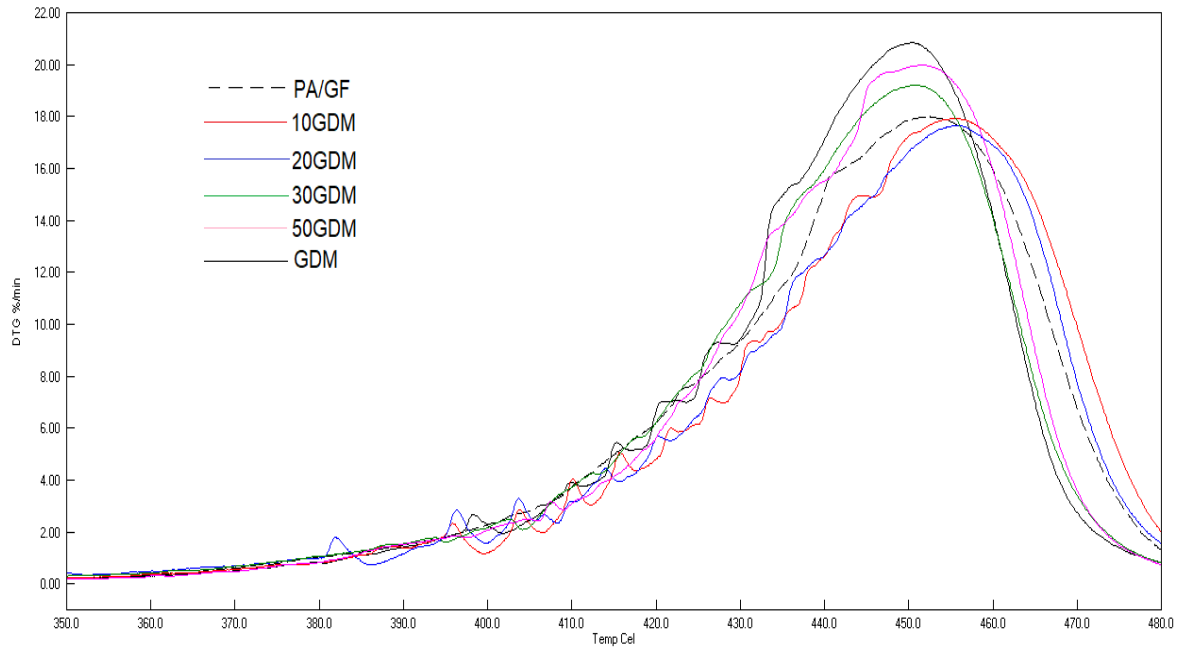
Malzeme	Td ₅ (°C)	Td ₁₀ (°C)	Td ₅₀ (°C)	Maksimum Bozunma Hızı (%/dk) (Pik sıcaklığı, °C)	Kalıntı (%)
PA/GF	384.6	408.8	448.8	17.90 (452.4)	17
10GDM	380.2	409.9	451.7	17.92 (455.5)	16.7
20GDM	358.5	402.8	450.6	17.65 (455.9)	17.6
30GDM	362.8	402.5	445.8	19.20 (450.8)	16.1
50GDM	390.4	412	447.8	19.98 (451.3)	17.9
GDM	381.8	408.6	446.1	20.84 (450.3)	16.1

Ağırlıkça % 10 GDM içeren kompozitin (10GDM), PA/GF orijinal hammaddeye göre, yaklaşık aynı maksimum bozunma hızına ve kalıntı miktarına sahip olmakla birlikte, bozunma başlangıç sıcaklığı ve ağırlığının % 50 sini kaybettiği sıcaklık (T_{d50}) değerlerinin arttığı (Tablo 4.3) ve maksimum bozunma hızında daha yüksek pik bozunma sıcaklığına sahip olduğu bulunmuştur (Şekil 4.32 ve Tablo 4.3).

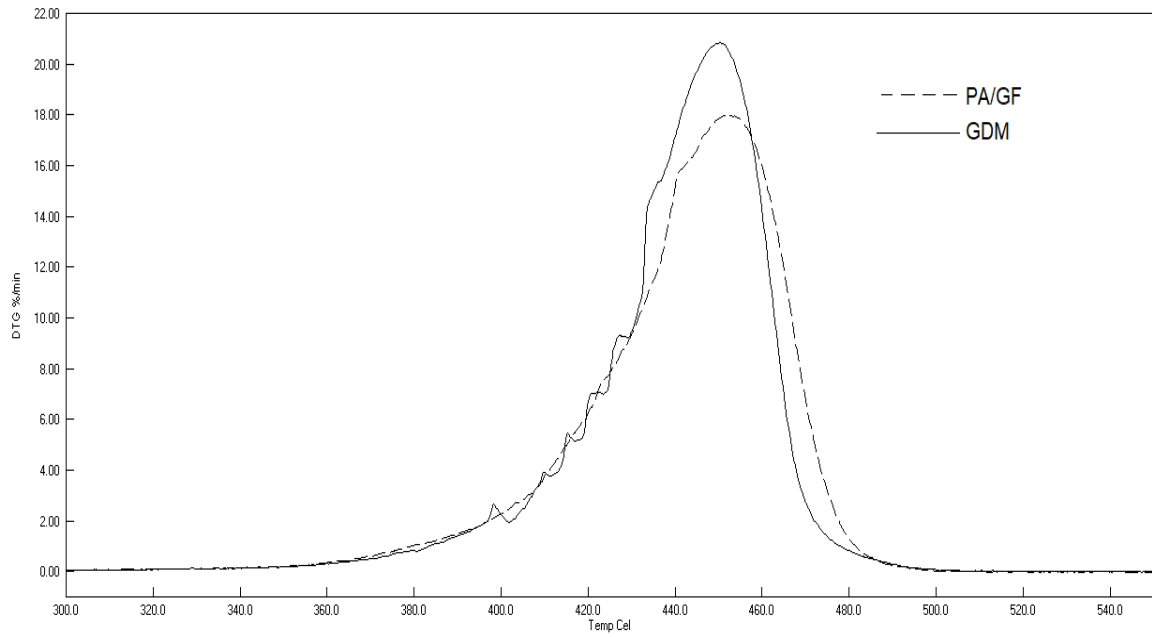
Diğer geri dönüştürülmüş malzeme içeren kompozitlerde ise orijinal hammaddeye göre, ısı gravimetrik sonuçlarında az oranda artış/azalmalar olsa da ısı kararlılığı en yüksek olan malzeme, % 10 geri dönüştürülmüş malzeme içeren kompozit olarak saptanmıştır. Ayrıca, malzemelerin türevsel termogramları incelendiğinde, orijinal hammaddeden farklı olarak, tüm GD içeren kompozitlerde pik maksimum sıcaklığına ulaşmadan hemen önce pik üzerinde ciddi pürüzlülükler tespit edilmiştir. Bu sonuç, GD içeren malzemelerde kısa moleküllerin yer aldığı farklı zincir uzunluklarının var olduğunu ve bu çeşitliliğin de içinde daha kısa zincirlerin daha önce bozunmasına dayandırılabilir. Şekil 4.33'te bu durum daha net gözükmemektedir. Orijinal hammaddenin türevsel termogramı pürüzsüz bir şekilde yer alırken, GD malzemesinin heterojen yapıda olduğu görülmektedir.



Şekil 4.30. Bileşenlerin TGA termogramları



Şekil 4.31. Bileşenlerin TGA Türevsel Termogramları



Şekil 4.32. PA/GF ve GDM Bileşenlerin TGA Türevsel Termogramları

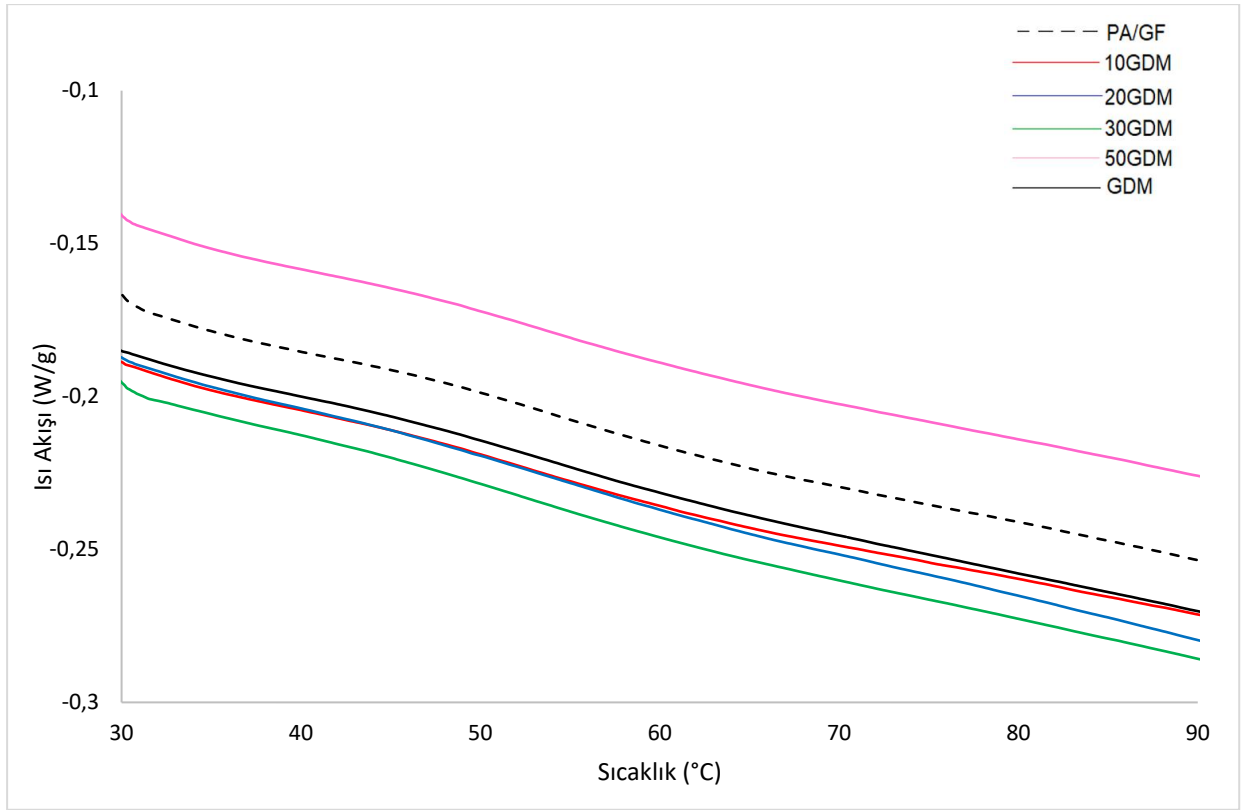
4.3. Orijinal PA6+%15 GF ve Geri Dönüştürülmüş katkı PA6+%15 GF Bileşenlerin Diferansiyel Taramalı Kalorimetrik Analizleri (DSC) analizleri

Orijinal ve geri dönüştürülmüş katkı PA6+%15GF bileşenlerin DSC analizleri gerçekleştirilmiştir. DSC analiz sonuçları Tablo 4.4'te verilmiştir. Kompozitlere ait erime sıcaklıklarını, endotermik pikleri, ekzotermik pikleri gösteren DSC termogramları sırasıyla Şekil 4.34, Şekil 4.35, Şekil 4.36'da verilmiştir.

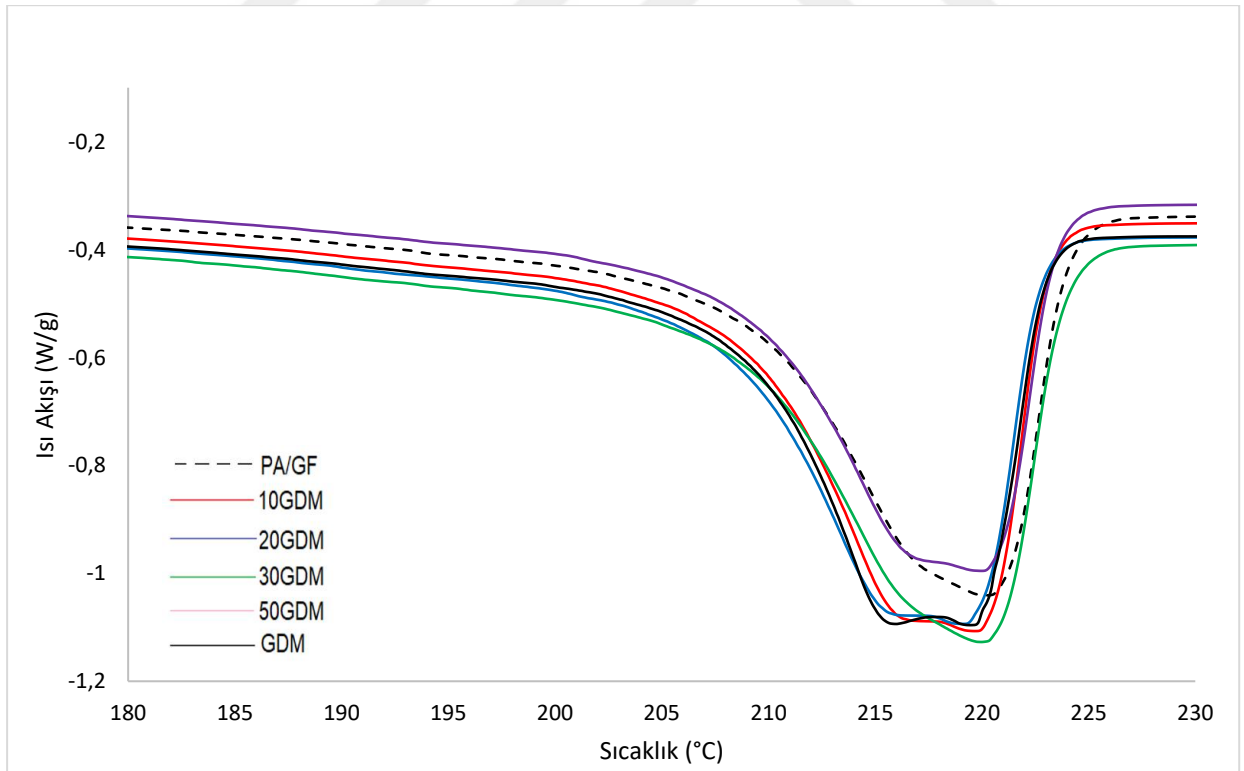
Orijinal hammadde (PA/GF) için T_m ve T_c değerleri sırasıyla 220.17°C ve 193.87 °C olarak bulunmuştur. Ayrıca, kristal yüzdesi % 28.86 olarak saptanmıştır (Tablo 4.4). Diğer kompozitlerde bu değerlerin çok değişmediği gözlenmiştir. Poliamit polimerinin T_g değerlerinin 53-55 °C arasında değiştiği saptanmıştır. Diğer yandan, GDM içeren kompozitlerin kristal yüzdesi değerlerinin, orijinal hammaddeye göre az da olsa bir artış sergilediği bulunmuştur. Bunun nedeni, GDM içeren malzemelerdeki daha küçük boyuttaki elyaf parçacıklarından kaynaklı heterojen nükleasyon olabilir. Bu sonuç, GDM içeren kompozitlerin geniş bir molekül ağırlığı dağılımına sahip polimer moleküllerinden kaynaklı erime piklerindeki heterojenlik ve beta kristal oluşumunu destekleyen daha düşük sıcaklıktaki erime pikinin varlığı (20GDM) ile uyum içindedir.

Tablo 4. 4. Bileşenlerin DSC Analiz Sonuçları

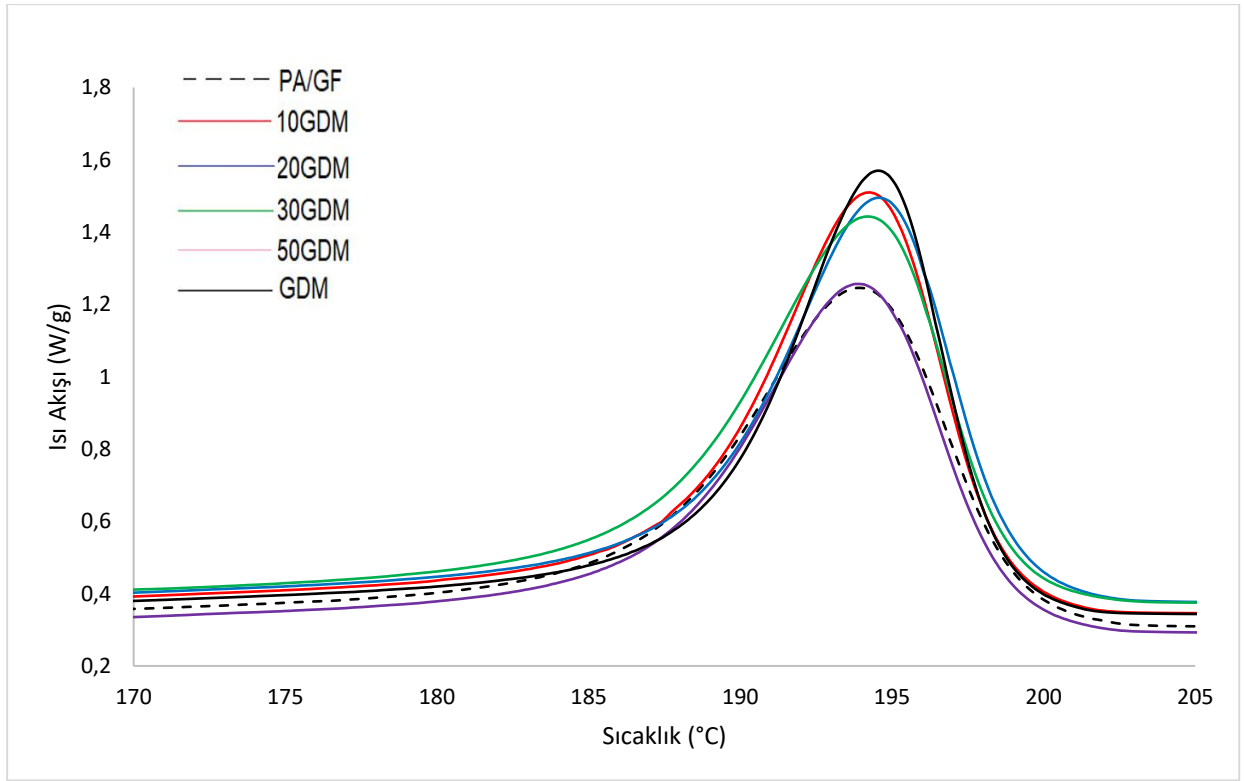
Bileşen	T_g (°C)	T_m (°C)	Kristalizasyon (%)	T_c (°C)
PA/GF	55.47	220.17	28.86	193.87
10GDM	54.40	219.70	32.40	194.28
20GDM	53.65	219.09	31.12	194.57
30GDM	53.38	219.94	32.30	194.17
50GDM	56.15	219.94	32.72	193.92
GDM	53.81	219.45	30.74	194.57



Şekil 4.33. Kompozitlere ait Tg değeri Termogramları



Şekil 4.34. Kompozitlere ait endotermik DSC erime pikleri



Şekil 4.35. Kompozitlere ait ekzotermik DSC pikleri

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan PA6+GF15 takviyeli kompozit malzemelerin mekaniksel geri dönüştürülmesi sürecinin etkisi incelenmiş ve farklı oranlarda geri dönüştürülmüş malzeme içeren bileşenlerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında hazırlanan bileşenlerin mekanik, termal ve mikroyapısal özellikleri detaylı analizlere tabi tutulmuştur. Bu analizler sonucu geri dönüşüm oranlarının malzeme performansı üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır.

Araştırma sonuçları, geri dönüştürülmüş malzeme (GDM) oranının artışına paralel olarak kompozit malzemelerin mekanik performansında belirgin bir düşüş olduğunu kanıtlar niteliktedir. 10GDM olarak adlandırdığımız %10 oranında ve 20GDM olarak adlandırdığımız %20 oranında GDM içeren kompozitlerin mekanik dayanıklılık açısından orijinal malzemeye (PA/GF) oldukça yakın performans sergilediği, ancak bu oranın %30 ve üzerine çıktığında, özellikle çekme dayanımı ve darbe direncinde ciddi kayıplar oluşturduğu gözlemlenmiştir.

SEM analizleri sonuçları, yüksek geri dönüşüm oranlarında mikroyapısal bütünlüğün belirgin bir şekilde bozulduğunu ve cam elyaf matris bağlanmasının zayıfladığını doğrular niteliktedir.

Orijinal PA6+GF15 kompozitinde (PA/GF), cam elyafların matris içinde homojen bir şekilde dağıldığı, güçlü bir bağlanma olduğu ve mikro çatlak veya boşlukların bulunmadığı veya çok az olduğu tespit edilmiştir. Ancak, 30GDM kompozitinden itibaren elyaf-matris arayüzeyinde mikro çatlakların ve boşlukların belirginleştiği tespit edilmiştir. %50 ve üzeri geri dönüşüm oranlarına sahip kompozitlerde (50GDM ve GDM), mikroyapısal bütünlüğün ciddi ölçüde zayıfladığı, bağlanma bölgelerinde kopmaların meydana geldiği ve cam elyafların uzunluğunda çeşitliliğin arttığı ve matris fazından uzanan lif boyutlarında kısalmalar olduğu tespit edilmiştir.

Bu bulgular, mekanik performansın olumsuz yönde etkilendiğini doğrular niteliktedir. Ancak, 10GDM ve 20GDM, mikroyapısal düzeni büyük ölçüde koruyarak orijinale en yakın sonuç ile tatmin edici performans göstermiştir.

TGA sonuçları incelendiğinde, kompozit içerisinde bulunan GDM oranının artışı ile paralel olarak kompozitlerin termal stabilitesinde azalma olduğu gözlemlenmiştir. PA/GF yani %100 Orijinal PA6+GF15 en yüksek termal dayanımı sergilerken, geri dönüşüm oranı %50 ve üzeri olan kompozitlerde (50GDM ve GDM) termal bozunmanın daha düşük sıcaklıklarda başladığı tespit edilmiştir. Bunun nedeni ise geri dönüşüm esnasında polimer zincirlerinde meydana gelen bağ kırılmalarına bağlı daha küçük moleküllerin daha düşük sıcaklıkta bozunmasından

kaynaklanmaktadır. Termal kararlılıkta orijinal malzemeye en yakın değerler 10GDM ve 20GDM kompozitlerinde elde edilmiştir. Sonuçlar, geri dönüşüm oranının kompozitlerin termal performansını etkilediğini ama düşük oranlardaki geri dönüşümün kompozitlerin termal performansını önemli ölçüde etkilemediğini göstermektedir.

DSC sonuçlarını incelediğimizde GDM oranının artışıyla birlikte kompozitlerin erime sıcaklıklarında (T_m) ve kristallenme sıcaklıklarında (T_c) hafif değişimler olduğunu tespit edilmiştir. GDM içeren kompozitlerde PA6'nın kristalizasyon yüzdesi (%) değerleri, orijinal hammaddeye kıyasla daha yüksek bulunmuş olup, bu sonuç, geri dönüştürme işlemi sırasında oluşan kısa polimer zincirlerinin kristallenme hızını arttırmasına bağlanabilir.

Sonuç olarak, 10GDM kompozitinin hem termal hem de mekanik performans açısından sürdürülebilirlik ve maliyet etkisi göz önünde bulundurulduğunda endüstriyel kullanıma en uygun olduğu değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada elde edilen bulgular ışığında düşük oranlarda geri dönüştürülmüş katkılar kullanılarak hem çevresel sürdürülebilirlik açısından hem de özellikle otomotiv endüstrisinde maliyet açısından avantajlar sağlanabileceği gösterilmiştir.

Bu tez, otomotiv sektöründe sürdürülebilir bir üretim süreci ve düşük maliyet-yüksek performans ürünlerin geliştirilmesi için önemli bir referans niteliği taşımaktadır.

KAYNAKÇA

- [1] C. L. S. K. S. N. S. Srinivas, Abrasive Wear Properties Of Graphite, International Journal Of Mechanical Eng. & Robotic Research Vol1/No3, 2012.
- [2] K. H. L. J. H. L. C. C. Su, «Influence of Reprocessing on the Mechanical Properties and Structure of Polyamide 6,» %1 içinde *Journal of Materials Processing Tech.*, 2007.
- [3] J. E. P. F. P. M. A. N. R. Crespo, Study of Rheological, Thermal, and Mechanical Behavior of Reprocessed Polyamide 6, Polymer Engineering and Science, (53/4), 679-688, 2003.
- [4] M. V. M. C. L. M. A. P. A. I. A. L. M. J. L. A. L. L. González Rodríguez, Assessing Changes on Poly(Ethylene Terephthalate) Properties After Recycling: Mechanical Recycling in Laboratory Versus Postconsumer Recycled Material, Materials Chemistry and Physics, 884-894, 2014.
- [5] G. D. S. A. M. C. Domingo, « PA6/PA66/Talc Composite: Effect of Reprocessing on the Structure and Properties,» %1 içinde *Journal of Applied Polymer Science*, 2021.
- [6] E. S. L. O. B. Y. F. Kuram, «Mechanical, Chemical, Thermal, and Rheological Properties of Recycled PA6/ABS Binary and PA6/PA66/ABS Ternary Blends,» %1 içinde *Journal of Applied Polymer Science*, 131(18), 9603–9610, 2014.
- [7] F. P. C. L. La Mantia, «Recycling of Compatibilized and Uncompatibilized Nylon/Polypropylene Blends,» *Polymer Degradation and Stability*, , no. 71(2), p. 285–291, 2001.
- [8] R. A. K. H. P. D. R. Kudva, «Properties of Compatibilized Nylon 6/ABS blends: Part II,» *Effects of Compatibilizer Type and Processing History*, pp. Polymer, 41(1), 239–258., 2000b.
- [9] E. P. A. F. C. B. M. Pietroluongo, «“Mechanical Recycling of An End-of-life Automotive Composite Component”,» %1 içinde *Sustainable Materials and Technologies*, 2019.
- [10] T.-D. Ngo, « Composite and Nanocomposite Materials From Knowledge to Industrial Applications,» *Introduction to Composite Materials*, p. (1st ed.), 2020.
- [11] G. M.P., Principles of Modern Manufacturing, New York: John Wiley&Sons, LTD., 2010.
- [12] C. K.K., Composite Materials (2nd ed.), New York: New York: Springer- Verlag, 1998.
- [13] H. Peçenek, «PA6 Matrisli Seramik Partikül Takviyeli Polimer Kompozitlerin Yapısal ve Mekaniksel Özelliklerinin İncelenmesi,» Kayseri, 2019.
- [14] M. Şahin, «Cam Elyaf Takiveyeli, Polyamid-6 Matrisli Kompozit Malzemeye Bor Oksit (B_2O_3) İlavesinin Malzemesinin Mekanik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi,» Kırıkkale, 2014.
- [15] U. Ulusoy, «Bazalt ve Cam Elyaf Takviyeli Biyo-Bazlı Poliamid Kompozit Malzemelerin Hazırlanması ve Özelliklerinin İncelenmesi,» Yalova, 2016.
- [16] «Url-3 <<http://www.designinsite.dk/htmsider/m0805.htm>>,» 1998. [Çevrimiçi]. Available: <<http://www.designinsite.dk/htmsider/m0805.htm>>. [Erişildi: 2024].

- [17] Y. Şahin, "Kompozit Malzemelere Giriş, Ankara: Seçkin Yayıncılık 33, 2006 .
- [18] M. Kayrak, "Havacılık Kompozitleri ve Mukavemet- Maliyet Analizi", Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Yayınları 7, 1999.
- [19] E. Artykbaeva, «Cam Elyaf Takviyeli PA6/PA12 ve PA6/PA610 Karışımlarının Hazırlanması ve Özelliklerinin İncelenmesi,» Kocaeli, 2022.
- [20] B. B. A. Bataev A.A., Composite Materials Construction, Production, Application (1st ed.), Novosibirsk: : Novosibirsk State Technical University, 2002.
- [21] M. Hill, Modern Plastic Encyclopedia, New York, USA: McGraw Hill, 1986.
- [22] G. Özkoç, «ABS/Polyamide-6 Blends, Their Short Glassfiber Composites and Organoclay Based Nanocomposites: Processing and characterization,» Ankara, 2007.
- [23] B. L.I., Polymer Composite Materials (Part 1) (1st ed.), Tomsk: Tomsk Polytechnic University Publishing House, 2013.
- [24] C. E. Carraher, Carraher's Polymer Chemistry (10th Edition), CRC Press, 2018.
- [25] S. S. L. (. Thomas, Polyhedral Oligomeric Silsesquioxane (POSS), Polyhedral Oligomeric Silsesquioxane (POSS) , 2021.
- [26] A. Uzuner, «Yeni Nesil Hibrit Nanoparçacıklar ile Uyumlaştırılmış PTPE/PA6 Karışımların Mekanik, Isıl, Reolojik ve Morfolojik Özelliklerinin İncelenmesi,» Kocaeli, 2020.
- [27] D. G. B. & D. I. Collias, «Polymer Processing,» 2020.
- [28] C. Rauwendaal, «Polymer Extrusion.,» Carl Hanser Verlag GmbH & Company KG,, Munich, 2014.
- [29] Y. H. Özkan T.O., «Taramalı Elektron Mikroskobu Laboratuvar Çalışmaları,» %1 içinde *Tübitak MAM*, Ankara, 1986.
- [30] N. P. Focus, «<https://www.nanoimages.com/sem-technology-overview/>,» NanoImages Perfect Focus, [Çevrimiçi]. Available: <https://www.nanoimages.com/sem-technology-overview/>. [Erişildi: 14 Eylül 2024].
- [31] N.Arman, «Sebs/ Halloysit Nanokompozitlerin üretilmesi ve uyumlaştırıcı kullanımının etkileri,» YALOVA, 2019.
- [32] L. J. J. Skoog D.A., Principles of Instrumental Analysis (4th ed.), USA: Saunders, 1992.
- [33] U. İ., «Termik Analiz Yöntemleri.,» Malzeme Karakterizasyonu Ders Notları: Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elazığ, 2016.
- [34] S. L., «Determination of the thermal behaviour of PET bottle by using the Differential Scanning Calorimetry (DSC),» *Fareast International University*, 2018.
- [35] T. M. Seçkin, Plastik Malzemelerin Test Teknikleri (1.Baskı.), Ankara: Seçkin Yayıncılık, 2018.
- [36] L. W. (. McKeen, The Effect of Temperature and other Factors on Plastics and Elastomers (2nd

- ed.), USA: William Andrew Inc, 2008.
- [37] S. Doğu, *Eva Esaslı Elastomer ile Uyumlaştırılmış ve Silika Nanotüp Katkılı Polipropilen/Termoplastik Elastomer Alaşım Nanokompozitlerin Üretilmesi*, Yalova: Yalova Üniversitesi, 2020.
- [38] M. H. a. K. Jacqueline, *Encyclopedia of polymer science and technology*, 3rd ed., Wiley Interscience, 2003.
- [39] Epsan, «<https://epsan.com/wp-content/uploads/EPLAMID-6-GFR-15-BK-Q2B502-2.pdf>,» [Çevrimiçi]. Available: <https://epsan.com/wp-content/uploads/EPLAMID-6-GFR-15-BK-Q2B502-2.pdf>. [Erişildi: 12 Aralık 2024].
- [40] İ. Makine, «İnan Makine,» [Çevrimiçi]. Available: <https://inanmakine.com/urunler/mikronize-kirma-makineleri/>. [Erişildi: 11 Aralık 2024].
- [41] Comac, «Comac,» [Çevrimiçi]. Available: <https://www.comacplast.com/en/compounding-lines.html>. [Erişildi: 11 Aralık 2024].
- [42] Wittmann, «Wittmann,» [Çevrimiçi]. Available: <https://www.wittmann-group.com/tr/blenders>. [Erişildi: 11 Aralık 2024].
- [43] M. F. International, *Martur Fompak International*, Bursa: MFI, Martur Fompak International, 2024.
- [44] S. Asker, «Isı ve Elektrikle Tetiklenebilen Şekil Hafızalı SEBS-G-MA/ PCL/ Grafen Polimer Kompozitlerinin Hazırlanması ve Karakterizasyonu,» *Tez*, Temmuz 2024.
- [45] L. -A. F. O. L. P. S. R. S. Coraline Millot, «Assesment of polyamide-6 crystallinity by DSC,» *Temperature dependence of the melting enthalpy*, pp. 122:307-314, April 2015.
- [46] B. T. Üniversitesi, *Merlab*, BURSA: Bursa Teknik Üniversitesi, 2024.
- [47] Yumerlab, *Yalova Üniversitesi Merkez Araştırma Lab.*, Yalova: Yalova Üniversitesi Merkez Araştırma Lab., 2024.
- [48] C. G. Hale Berber, «Effects of mechanical recycling on the properties of glass fiber–reinforced polyamide 66 composites in automotive components,» *e-Polymers, De Gruyter*, p. 23, 29 01 2023.
- [49] G. M. G. L. C. J. Teixeira D, «Influence of flow restriction on the microstructure and mechanical properties of long glass fiber-reinforced polyamide 6.6 composites for automotive applications,» %1 içinde *Mater Des.* 2013;47:287–94. doi: 10.1016/j.matdes.2012.12.030., 2013.
- [50] O. O. F. A. M. B. B. C. Colucci G, «The effect of mechanical recycling on the microstructure and properties of PA66 composites reinforced with carbon fibers.,» %1 içinde *J Appl Polym Sci.* 2015;132(29):42275. doi: 10.1002/app.42275., 2015.
- [51] R. Yıldırım, «Yeni Nesil Nanoparçacıklar ile Uyumlaştırılmış PA6/TPE Harmanlarının Tekrarlı Ekstrüzyon Sonrası Özelliklerinin İncelenmesi,» *Kocaeli*, 2023.



ÖZGEÇMİŞ

İlk ve orta öğrenimini Sakarya’da tamamladı. 2007 yılında girdiği Afyon Kocatepe Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümünden 2011 yılında mezun oldu. 2022 yılından beri Yalova Üniversitesi Polimer Malzeme Mühendisliği Bölümünde Yüksek Lisans yapmaktadır. 2020 Yılından beri Martur Fompak International bünyesinde Proje Yönetimi Sistem Kıdemli Uzmanı olarak çalışmaktadır.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYIN VE ESERLER

ÖZTÜRK.M, UYSAL.N, ŞEN.S, (17.12.2024). «*Mekaniksel Geri Dönüştürülmüş PA6+GF15 Kompozitlerin Otomotiv Sektörüne Yönelik Kompozit Üretiminde Kullanımı*», 2. Uluslararası Bilimsel Araştırma ve İnovasyon Kongresi (UBAK'24), ADANA.

