

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**NADİR TOPRAK ELEMENTİ ESASLI DOLGU MADDELERİNİN GELİŞTİRİLMESİ VE
BU DOLGU MADDELERİNİN KALSİT TAKVİYELİ POLİETİLENİN MEKANİK,
TERMAL VE MORFOLOJİK ÖZELLİKLERİNE OLAN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Hüseyin İSTEK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
Doç. Dr. Yılmaz KİSMET

TUNCELİ-2023

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**NADİR TOPRAK ELEMENTİ ESASLI DOLGU MADDELERİNİN GELİŞTİRİLMESİ VE
BU DOLGU MADDELERİNİN KALSİT TAKVİYELİ POLİETİLENİN MEKANİK,
TERMAL VE MORFOLOJİK ÖZELLİKLERİNE OLAN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Hüseyin İSTEK
220077114

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
Doç. Dr. Yılmaz KİSMET

TUNCELİ-2023

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**NADİR TOPRAK ELEMENTİ ESASLI DOLGU MADDELERİNİN GELİŞTİRİLMESİ VE
BU DOLGU MADDELERİNİN KALSİT TAKVİYELİ POLİETİLENİN MEKANİK,
TERMAL VE MORFOLOJİK ÖZELLİKLERİNE OLAN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**Hüseyin İSTEK
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Bu tez 21/06/2023 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

İmza:

Doç. Dr. Okan ÖZDEMİR
(Dokuz Eylül Üniversitesi)

BAŞKAN

İmza:

Doç. Dr. Yılmaz KİSMET
(Munzur Üniversitesi)

DANIŞMAN

İmza:

Dr. Öğr. Üyesi Akar DOĞAN
(Munzur Üniversitesi)

ÜYE

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

Doç. Dr. Murat KORUNUR
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.

21/06/2023

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin 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.

İmza
Hüseyin İSTEK

Danışman
Doç. Dr. Yılmaz KİSMET

TEŐEKKÖR

Bu çalıőmayı hazırlama sürecinde benden hiçbir yardımcıı esirgemeyen, bilgi ve tecrübesiyle bana her zaman destek olan danışmanım Doç. Dr. Yılmaz KİSMET'e, manevi destekleriyle yanımda olan aileme ve arkadaşlarıma, doğrudan ve dolaylı olarak katkısı bulunan herkese teşekkürlerimi sunarım.

Hüseyin İSTEK
Tunceli-2023



İÇİNDEKİLER

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	I
TEŞEKKÜR.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VII
TABLolar LİSTESİ.....	VII
RESİMLER LİSTESİ.....	VIII
SEMBOLLER LİSTESİ.....	IX
KISALTMALAR LİSTESİ.....	X
ÖZET.....	XI
ABSTRACT	XII
1. GİRİŞ.....	1
2. POLİMERLER VE ÖZELLİKLERİ.....	3
2.1. Polimer Nedir?.....	3
2.2. Polimerin Yapısı.....	3
2.3. Polimerlerin Karakterizasyonu.....	5
2.3.1. Mekanik özellikler.....	5
2.3.2. Termal özellikler.....	8
2.3.3. Morfolojik özellikler.....	9
2.4. Polimer Çeşitleri.....	9
2.4.1. Termosetler.....	9
2.4.2. Elastomerler (kauçuklar).....	9
2.4.3. Termoplastikler.....	9
2.5. Polimerlerin Kullanım Alanları.....	10
3. TERMOPLASTİKLER VE TERMOPLASTİKLERİN GERİ DÖNÜŞÜMÜ.....	11
3.1. Termoplastiklerin Üretim Yöntemleri.....	11
3.1.1. Plastik ekstrüzyon.....	12
3.1.2. Plastik enjeksiyon.....	12
3.1.3. Diğer üretim yöntemleri.....	14
3.2. Termoplastiklerin Geri Dönüşümü.....	14
3.2.1. Polietilen tereftalat (PET/PETE).....	16
3.2.2. Yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE).....	16
3.2.3. Polivinil klorür (V/PVC).....	17
3.2.4. Alçak yoğunluklu polietilen (AYPE).....	17
3.2.5. Polipropilen (PP).....	19
3.2.6. Polistiren (PS).....	19
3.2.7. Polikarbonat (PC).....	20
3.3. Geri Dönüştürülebilir Termoplastiklerde Kullanılan Dolgu Maddeleri.....	20
3.3.1. Organik katkı maddeleri.....	21
3.3.2. İnorganik katkı maddeleri.....	21
3.3.3. Diğer katkı maddeleri.....	21
3.4. Elektrostatik Toz Boyalar.....	23
3.5. Termoplastikler Üzerinde Kalsiyum Karbonat (Kalsit) Katkısının Etkileri.....	24
3.5.1. Kalsiyum karbonat (CaCO_3).....	24
4. NADİR TOPRAK ELEMENTLERİ.....	26
4.1. Türkiye'deki NTE Sahaları.....	26
4.2. NTE'lerin Elde Edilmesi ve Zenginleştirme Yöntemleri.....	27
4.3. Lantan ve Kullanım Alanları.....	28

4.4. Seryum ve Kullanım Alanları.....	28
5. LİTERATÜR TARAMASI.....	30
6. MATERYAL VE METOT	32
6.1. Karışımların Hazırlanışı	33
6.2. Eriyik Akış İndeks (MFI) Testleri	35
6.3. Ekstrüzyon ile Homojen Karışım Elde Edilmesi.....	36
6.4. Plastik Enjeksiyon Makinesi ile Numune Üretilmesi.....	38
6.5. Mekanik Testler	39
6.5.1. Çekme testi	40
6.5.2. Üç nokta eğilme testi	41
6.6. Termal Testler.....	42
6.7. Morfolojik Testler	43
7. BULGULAR	45
7.1. Eriyik Akış Analiz (MFI) Sonuçları.....	45
7.2. Çekme Mukavemeti Sonuçları	51
7.3. Eğilme Mukavemeti Sonuçları	56
7.4. Termogravimetrik (TGA/DTA) Analiz Sonuçları.....	60
7.5. Taramalı Elektron Mikroskobu Sonuçları (SEM/EDS).....	63
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	77
9.KAYNAKLAR.....	79
ÖZGEÇMİŞ	
EKLER	

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Lineer ve dallanmış bağlanma	4
Şekil 2.2. Çapraz bağlanma	4
Şekil 2.3. Gerilme - şekil değişimi eğrisi ve çekme testi cihazı.....	6
Şekil 3.1. Plastik ekstrüzyon makinesi.....	12
Şekil 3.2. Enjeksiyon Kalıplamada Makine Şeması	13
Şekil 4.1. Türkiye'de nadir toprak elementleri yatakları	27
Şekil 6.1. Deney çubuğu şematik görünüş	39
Şekil 7.1. DM-1 değişimine bağlı olarak GD AYPE nin eriyik akış indeksi (MFI) değerleri	46
Şekil 7.2. DM-2 değişimine bağlı olarak GD AYPE nin eriyik akış indeksi (MFI) değerleri	48
Şekil 7.3. DM-3 değişimine bağlı olarak GD AYPE nin eriyik akış indeksi (MFI) değerleri	50
Şekil 7.4. DM-1 değişimine bağlı olarak GD AYPE nin çekme gerilmesi değerleri.....	51
Şekil 7.5. DM-1 değişimine bağlı olarak GD AYPE nin E-Modülü değişimi.....	52
Şekil 7.6. DM-2 değişimine bağlı olarak GD AYPE nin çekme gerilmesi değerleri.....	53
Şekil 7.7. DM-2 değişimine bağlı olarak GD AYPE nin E-Modülü değişimi.....	54
Şekil 7.8. DM-3 değişimine bağlı olarak GD AYPE nin çekme gerilmesi değerleri.....	55
Şekil 7.9. DM-3 değişimine bağlı olarak GD AYPE nin E-Modülü değişimi.....	56
Şekil 7.10. DM-1 değişimine bağlı olarak GD AYPE nin eğilme gerilmesi değişimi.....	57
Şekil 7.11. DM-2 değişimine bağlı olarak GD AYPE nin eğilme gerilmesi değişimi.....	58
Şekil 7.12. DM-3 değişimine bağlı olarak GD AYPE nin eğilme gerilmesi değişimi.....	59
Şekil 7.13. %70 kalsit katkılı GD AYPE'nin TGA/DTA değişimi	60
Şekil 7.14. %70 kalsit katkılı GD AYPE + %30 DM-1 in TGA/DTA değişimi	61
Şekil 7.15. %70 kalsit katkılı GD AYPE + %30 DM-2 nin TGA/DTA değişimi	62
Şekil 7.16. %70 kalsit katkılı GD AYPE + %30 DM-3 nin TGA/DTA değişimi	63
Şekil 7.17. %70 kalsit katkılı GD AYPE'nin SEM kesit görüntüsü	64
Şekil 7.18. %70 kalsit katkılı GD AYPE'nin EDS yüzey görüntüsü.....	64
Şekil 7.19. %70 kalsit katkılı GD AYPE'nin EDS analizi renklendirilmiş yüzey görüntüsü	65
Şekil 7.20. Karbon dağılımı	65
Şekil 7.21. Oksijen dağılımı	65
Şekil 7.22. Kalsiyum dağılımı.....	65
Şekil 7.23. %70 kalsit katkılı GD AYPE'nin EDS analizi spektrum sonucu	65
Şekil 7.24. %70 kalsit katkılı GD AYPE + %30 DM-1 in SEM kesit görüntüsü	66
Şekil 7.25. %70 kalsit katkılı GD AYPE + %30 DM-1 in EDS yüzey görüntüsü.....	67
Şekil 7.26. %70 kalsit katkılı GD AYPE + %30 DM-1 in EDS analizi renklendirilmiş yüzey görüntüsü.....	67
Şekil 7.27. Karbon dağılımı	68
Şekil 7.28. Oksijen dağılımı	68
Şekil 7.29. Kalsiyum dağılımı.....	68
Şekil 7.30. %70 kalsit katkılı GD AYPE + %30 DM-1 in EDS analizi spektrum sonucu	68
Şekil 7.31. %70 kalsit katkılı GD AYPE + %30 DM-2 nin SEM kesit görüntüsü	69
Şekil 7.32. %70 kalsit katkılı GD AYPE + %30 DM-2 nin EDS yüzey görüntüsü.....	70
Şekil 7.33. %70 kalsit katkılı GD AYPE + %30 DM-2 nin EDS analizi renklendirilmiş yüzey görüntüsü.....	70
Şekil 7.34. Karbon dağılımı	71

Şekil 7.35. Oksijen dağılımı.....	71
Şekil 7.36. Kalsiyum dağılımı.....	71
Şekil 7.37. Lantan dağılımı	71
Şekil 7.38. %70 kalsit katkılı GD AYPE + %30 DM-2 nin EDS analizi spektrum sonucu.....	71
Şekil 7.39. %70 kalsit katkılı GD AYPE + %30 DM-3 ün SEM kesit görüntüsü.	73
Şekil 7.40. %70 kalsit katkılı GD AYPE + %30 DM-3 ün EDS yüzey görüntüsü.....	73
Şekil 7.41. %70 kalsit katkılı GD AYPE + %30 DM-3 ün EDS analizi renklendirilmiş yüzey görüntüsü.....	74
Şekil 7.42. Karbon dağılımı	74
Şekil 7.43. Oksijen dağılımı.....	74
Şekil 7.44. Kalsiyum dağılımı.....	74
Şekil 7.45. Seryum dağılımı.....	74
Şekil 7.46. %70 kalsit katkılı GD AYPE + %30 DM-3 ün EDS analizi spektrum sonucu.....	75



TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 3.1. Plastik geri dönüşüm sembolleri	15
Tablo 6.1. Yapılan çalışmaların işlem sırası	32
Tablo 6.2. GD AYPE nin teknik özellikleri.....	34
Tablo 6.3. Deney çubuğu ölçü değerleri.....	39
Tablo 7.1. GD-AYPE ve DM-1 karışımlarının MFI sonuçları	45
Tablo 7.2. GD-AYPE ve DM-2 karışımlarının MFI sonuçları	47
Tablo 7.3. GD-AYPE ve DM-3 karışımlarının MFI sonuçları	49
Tablo 7.4. %70 kalsit katkılı GD AYPE'nin EDS yüzeyinde tespit edilen elementler ve ağırlıkça % oranları	66
Tablo 7.5. %70 kalsit katkılı GD AYPE + %30 DM-1 in EDS yüzeyinde tespit edilen elementler ve ağırlıkça % oranları.....	68
Tablo 7.6. %70 kalsit katkılı GD AYPE + %30 DM-2 nin EDS yüzeyinde tespit edilen elementler ve ağırlıkça % oranları.....	72
Tablo 7.7. %70 kalsit katkılı GD AYPE + %30 DM-3 ün EDS yüzeyinde tespit edilen elementler ve ağırlıkça % oranları.....	75

RESİMLER LİSTESİ

Resim 3.1. YYPE - Temiz su ana şebeke borusu.....	17
Resim 3.2. AYPE - Oyuncak	18
Resim 3.3. Alev geciktiriciler	22
Resim 3.4. Elektrostatik toz boya	23
Resim 3.5. Kalsit malzemesinin doğal şekilleri	24
Resim 6.1. DM-1 , DM-2 ve DM-3 (Orijinal)	34
Resim 6.2. %70 Kalsit katkılı GD AYPE (Orijinal)	34
Resim 6.3. MFI ölçme cihazı (Orijinal)	36
Resim 6.4. Ekstrüzyon makinesi (Orijinal).....	37
Resim 6.5. Kırıcı makinesi (Orijinal).....	37
Resim 6.6. Plastik enjeksiyon makinesi (Orijinal).....	38
Resim 6.7. Üretilen plastik çubuklar (Orijinal).....	38
Resim 6.8. Çekme ve eğilme test cihazı (Orijinal)	40
Resim 6.9. Çekme deneyi (Orijinal)	41
Resim 6.10. Eğilme deneyi (Orijinal)	42
Resim 6.11. Azot gazı soğutmalı TGA/DTA cihazı (Orijinal)	43
Resim 6.12. HITACHI SU 3500 SEM cihazı (Orijinal)	44
Resim 6.13. SEM cihazı chamber bölümü (Orijinal).....	44
Resim 6.14. Rigaku miniflex60 marka kırınım ölçer (XRD) cihazı (Orijinal).....	44

SEMBOLLER LİSTESİ

E	: Elastisite modülü
C	: Karbon
O	: Oksijen
Ca	: Kalsiyum
CaCO₃	: Kalsiyum karbonat (kalsit)
BaSO₄	: Baryum sülfat
La	: Lantan
Ce	: Seryum
kJ	: Kilojoule
N	: Newton
MPa	: Mega paskal
m²	: Metrekare
mm²	: Milimetrekare

KISALTMALAR LİSTESİ

PET/PETE	: Polietilen tereftalat
PE	: Polietilen
YYPE	: Yüksek yoğunluklu polietilen
V/PVC	: Polivinil klorür
AYPE	: Düşük yoğunluklu polietilen
PP	: Polipropilen
PS	: Polistiren
PC	: Polikarbonat
PMMA	: Polimetik metakrilat
UV	: Ultraviyole
ABS	: Akrilonitril bütadien stiren
NTE	: Nadir toprak elementi
DM	: Dolgu maddesi
MFI	: Eriyik akış indeksi (Melt flow index)
GD	: Geri dönüşüm
TB	: Toz boya
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
EDS	: Enerji dağılım spektrometresi
XRD	: X ışını difraksiyon spektrometresi
TGA	: Termogravimetrik analiz
DTA	: Diferansiyel termal analiz
DSC	: Diferansiyel taramalı kalorimetre
TMA	: Termo mekanik analiz
DMA	: Dinamik mekanik analiz

ÖZET

Bu çalışmada, yapısında kalsiyum karbonat (kalsit) katkısı bulunan ve geri dönüştürülebilir özellikteki termoplastiklerden olan alçak yoğunluklu polietilen (AYPE) in akışkanlıklarının ve diğer mekanik özelliklerinin iyileştirilebilmesi amacıyla alternatif olarak hangi dolgu maddelerinin eklenebileceği ve bunların üretim süreçleri incelenmiştir. İlk aşamada polimerler ve özellikleri hakkında genel çerçevede bilgiler verilmiş, polimerlerin üretim süreçleri ve kullanım alanları belirtilmiştir. Bundan sonra asıl çalışma alanını oluşturan termoplastikler ve geri dönüştürülebilir termoplastik çeşitleri incelenmiştir. Geri dönüştürülebilir termoplastiklerde üretici isteklerine bağlı olarak geliştirilen dolgu maddelerinin etkileri araştırılmıştır. Termoplastik matrisli malzemeler için geliştirilen elektrostatik toz boyalar ve nadir toprak elementlerinden lantan ve seryum içeren dolgu maddelerinin, bu termoplastiklerin özellikle mekanik, termal ve morfolojik özelliklerinde ne gibi değişiklikler meydana getirdikleri incelenmiştir. Öncelikle alçak yoğunluklu polietilen (AYPE), elektrostatik toz boyalar ve nadir toprak elementleri kullanılarak üç farklı dolgu maddesi geliştirilmiştir. Daha sonra bu dolgu maddeleri matris malzemesi olarak kullanılan %70 kalsit katkılı alçak yoğunluklu polietilen (AYPE) içerisine ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranlarında takviye edilmiştir. Karışımlar önce mekanik olarak hazırlanmış ve daha sonra belirli sıcaklıklarda ekstrüzyondan geçirilerek homojen hale getirilmiştir. Bu homojen haldeki malzemeler yine belirli sıcaklık ve basınç altında plastik enjeksiyon makinasına dökülerek kalıplara basılmış ve çekme çubukları üretilmiştir. Üretilen test numunelerinin mekanik olarak çekme ve eğilme testleri ile termal analiz olarak ise TGA/DTA analizleri yapılmıştır. Matris ve dolgu maddelerinin fiziksel bağlanma mekanizmalarının incelenmesi için çubuk kesitleri taramalı elektron mikroskobu ile görüntülenmiştir.

Anahtar kelimeler: Kalsit, geri dönüşüm, termoplastik, alçak yoğunluklu polietilen (AYPE), elektrostatik toz boya, lantan, seryum, ekstrüzyon

ABSTRACT

Development Of Rare-Earth Element-Based Fillers And Investigation Of The Effects Of These Fillers On The Mechanical, Thermal And Morphological Properties Of Calcite Reinforced Polyethylene

In this study, which fillers can be added alternatively and their production processes are investigated in order to improve the fluidity and other mechanical properties of low density polyethylene (LDPE), which is a recyclable thermoplastic with calcium carbonate (calcite) additives in its structure. In the first stage, general information about polymers and their properties is given, production processes and usage areas of polymers are specified. After that, thermoplastics and recyclable types of thermoplastics, which constitute the main field of study, were examined. The effects of fillers developed in recyclable thermoplastics depending on the manufacturer's requirements were investigated. Electrostatic powder coatings developed for thermoplastic matrix materials and fillers containing rare earth elements lanthanum and cerium have been investigated, especially on the mechanical, thermal and morphological properties of these thermoplastics. First of all, three different fillers were developed using low density polyethylene (LDPE), electrostatic powder paints and rare earth elements. Then, these fillers were reinforced into 70% calcite added low density polyethylene (LDPE), which is used as matrix material, at 10%, 20% and 30% by weight. The mixtures were first prepared mechanically and then homogenized by extrusion at certain temperatures. These homogeneous materials were poured into the plastic injection machine under a certain temperature and pressure, and pressed into the molds and pull rods were produced. Mechanical tensile and bending tests of the produced test samples and TGA/DTA analyzes as thermal analysis were performed. Bar sections were visualized by scanning electron microscopy to examine the physical bonding mechanisms of the matrix and fillers.

Keywords: Calcite, recycling, thermoplastic, low Density polyethylene (LDPE), electrostatic powder coating, lanthanum, cerium, extrusion

1. GİRİŞ

Plastik malzemeler, organik ve inorganik elementlerden oluşan ve doğada monomer adı verilen moleküllerin belirli bir sıcaklık ve basınç altında katalizör yardımıyla polimer adı verilen moleküllere dönüştürülmesiyle elde edilen malzemelerdir. Polimer *“birçok parçadan oluşan”* anlamına gelir. Polimerler kısa zincirli monomerlerin kimyasal reaksiyonlar sonucunda birleştirilmesi ile oluşan uzun zincirli moleküllerdir (Akkurt, 1991).

Plastikler günlük yaşantımızda çok önemli bir yer işgal etmektedirler. Elektrikli ev aletleri, otomotiv sektörü, havacılık sektörü ve birçok endüstriyel sektörde yağın olarak kullanılırlar. Plastiğin bu kadar yaygın kullanılmasının sebepleri incelendiğinde ilk olarak, plastiklerin yüksek dayanım özellikleri göze çarpmaktadır. Ayrıca diğer malzemelerden daha ucuz, hafif ve kolay üretilbilir olmaları da önem taşımaktadır. Uygulamada birçok çeşidi bulunan polimer esaslı malzemelerin, çok farklı sektörlerde ve farklı amaçlarla kullanılabilmesinin yanında, toksik özellik ihtiva etmediklerinden gıdaların ambalajlanmasında da yaygın olarak tercih edilmektedirler. Bununla birlikte plastik malzemelerin, işlenmesi için gerekli sıcaklıkların özellikle metaller ve camlarla kıyaslandığında daha düşük olması, üretimde ciddi enerji tasarrufunun sağlanmasına olanak tanımaktadır (Marşoğlu, 1986).

Yaşadığımız çağda çevresel boyutlarının önemi de dikkate alındığında, nüfus artışına paralel olarak meydana gelen tüketim ihtiyaçlarındaki devamlı artış talebinin karşılanabilmesi amacıyla ürünlerin geri dönüşümünün sağlanarak yeniden kullanılabilir hale getirilmesi çok büyük önem arz etmektedir. Plastik ürünler doğada uzun yıllar boyunca yok olmadan kalabildiklerinden ve doğaya olan bu zararlarından ötürü geri dönüşümlerinin yapılması çevresel açıdan da çok önemlidir. Geri dönüşüm işleminin yapılmasıyla çok daha uygun fiyatlı hammaddeler elde edilerek maliyet tasarrufu sağlanır. Ancak elde edilen maliyet tasarrufuyla birlikte malzemelerin mekanik özellikleri üzerinde birtakım olumsuz değişimler meydana gelebilmektedir (Marşoğlu, 1986).

Termoplastik polimer malzemelerin geri dönüşümünde özellikle plastik enjeksiyon ve ekstrüzyon üretim teknikleri önem arz etmektedir. Fakat bu üretim prosesleriyle geri dönüşümleri yapılan termoplastik polimerlerin önemli bir kısmında kullanılan dolgu maddesine bağlı olarak mekanik özelliklerinde olumsuz etki meydana geldiği literatür çalışmalarında bulunmaktadır. Burada kullanılmakta olan katkı maddeleri alçak

yoğunluklu polietilen (AYPE) matrisli ve belirli oranlarda elektrostatik toz boya ile eser miktarda nadir toprak elementlerinden lantan / seryum dan oluşan karışımlardır.

Bu çalışmada geri dönüştürülebilir termoplastiklerden olan kalsiyum karbonat (kalsit) katkılı alçak yoğunluklu polietilen (AYPE) in mekanik özelliklerinin iyileştirilebilmesi amacıyla alçak yoğunluklu polietilen (AYPE) matrisli ve belirli oranlarda elektrostatik toz boya ile eser miktarda nadir toprak elementlerinden lantan / seryum dan oluşan karışımların katkı maddesi olarak belirli üretim prosesleri sonucunda eklenmesi ve oluşan etkiler incelenmiştir.



2. POLİMERLER VE ÖZELLİKLERİ

2.1. Polimer Nedir?

Polimerler, doğada yalnız başına bulunan ve monomer adı verilen çok sayıdaki küçük molekülün kovalent bağlar aracılığıyla birbirine bağlanarak meydana getirdiği makro moleküllere verilen isimdir (Ravve, 2012).

2.2. Polimerin Yapısı

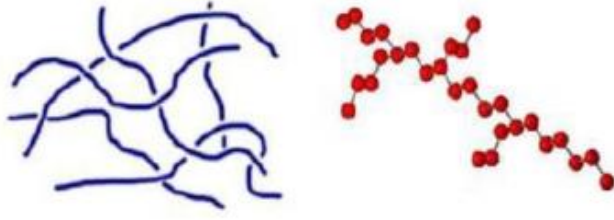
Polimerler moleküllerinin yapısal oluşumu basitçe ifade edilirse, birbirlerinin tekrarı olan çok sayıdaki özdeş birimden meydana gelen uzun zincir moleküllerdir. Çok miktardaki bu monomer yapıları moleküller uygun şartlar altında sentez reaksiyonlarla aralarında oluşan kimyasal bağlar neticesinde polimer moleküllerini oluştururlar (Ravve, 2012).

Örneğin, çok sayıda propilen molekülünün polimerizasyonu sonucunda polipropilen (PP) gibi uzun ve zincir yapıda moleküller meydana geldiğinden ötürü makromolekül, polimer zinciri ve polimer molekülü tanımlamaları aynı anlama gelmektedirler. Polimerlerin, metallere kıyasla biraz daha ucuz olmaları, kolay işlenebilirlikleri, birim ağırlıklarının az olması ve yüksek oranda kimyasal direnç, korozyon ve oksidasyon özelliklerinden ötürü çağımızda metallerle rekabet edebilecek miktarda kullanılabileceklerini söylemek mümkündür (Saçak, 2006).

Molekül yapıları itibariyle polimerlerin fiziksel özelliklerine etki eden etmenler molekül ağırlığı ve şekli olmakla birlikte molekül zincirlerinin yapısı da önemlidir. Özellikle molekül zincirlerinin uzunluğunda meydana gelen artış molekül ağırlığında da artışa sebebiyet verir. Ayrıca bu artışla, polimer malzemelerin yumuşama veya ergime sıcaklığında da artış meydana gelecektir (Saçak, 2006).

Polimerler molekül zincirlerine göre;

1. Lineer (Doğrusal) Polimerler
 2. Dallanmış Polimerler
 3. Çapraz Bağlı Polimerler
 4. Ağ Yapılı Polimerler
- şeklinde sınıflandırılır.

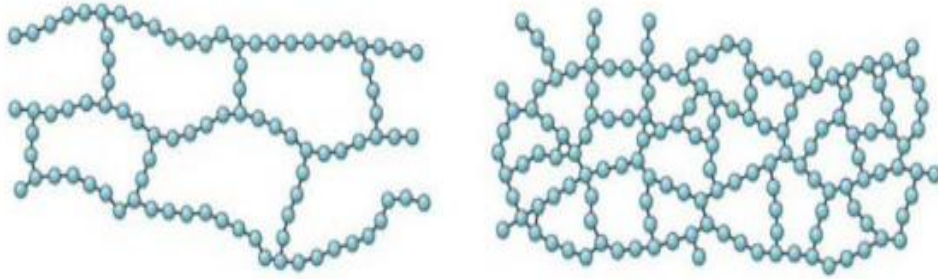


Şekil 2.1. Lineer ve dallanmış bağlanma (URL-1, 2019)

Doğrusal polimerlerde birimler kendi aralarında uç uca eklenerek tekrarlı şekilde doğrusal zincirler oluştururlar. Aralarında çok sayıda hidrojen ve van der Waals bağları içeren zincirlerdir. Bunlara örnek olarak verilebilecek bazı polimerler şunlardır: Polietilen (PE), PVC (polivinil klorür), naylonlar (Saçak, 2006).

Dallanmış polimerler, ana zincire polimerlerin yan taraftan bağlanarak sentezlendiği durumdur. Yan dal şeklinde ilave olan birimlerin kendi üzerinde de dallanmalar meydana gelebilir. Yan dallardaki oluşumla birlikte hacim artışı meydana gelecek ve bu durum polimerin yoğunluğunda azalmaya neden olacaktır (Ravve, 2012).

Çapraz bağlı polimerlerde polimerlerde lineer zincirler arasında farklı yönlerdeki van der Waals bağları yerine kovalent bağla bulunmaktadır. Bu türdeki polimerlerin sıcaklık etkisiyle şekil ve boyutlarında değişiklikler oluşabilir (Saçak, 2006).



Şekil 2.2. Çapraz bağlanma (URL-1, 2019)

Ağ yapıdaki polimerler birden fazla sayıda fonksiyona sahip monomer moleküllerinin ağı yapıyı 3 boyutlu şekilde dizayn ettikleri formdur. Bu yapıda aktif kovalent bağlar çok sayıda mevcuttur (Ravve, 2012).

Polimer molekülleri polimerizasyon tepkimeleri sonucunda oluşurlar. Kondensasyon (basamaklı polimerizasyon), zincir (katılma polimerizasyonu), koordinasyon polimerizasyonu olmak üzere üç grupta sınıflandırılırlar (Saçak, 2006).

Kondensasyon (basamaklı polimerizasyon), en az difonksiyonel monomerlerdeki reaksiyon sonucu polimer molekülünün meydana geldiği reaksiyona verilen isimdir. Polimerin mol kütlesinde adım adım ilerleyen süreçte süreye bağlı olarak artış meydana gelir (Saçak, 2006).

Zincir (katılma polimerizasyonu), monomerlerin aktif olarak büyüme gösteren polimer zincirlerine katılması durumudur. Yeterli miktarda büyüyen polimer zincirlerinin pasif duruma geçerek etkinliğini kaybetmesiyle işlem sonlanır (Ravve, 2012).

Koordinasyon polimerizasyonunda meydana gelen moleküller stereospesifik bir düzende olduğundan ötürü bu koordinasyona stereospesifik polimerizasyon adı da verilebilir. Koordinasyon polimerizasyonu, monomere ve katalizör sistemine bağlı olarak ortaya çıkmaktadır (Saçak, 2006).

2.3. Polimerlerin Karakterizasyonu

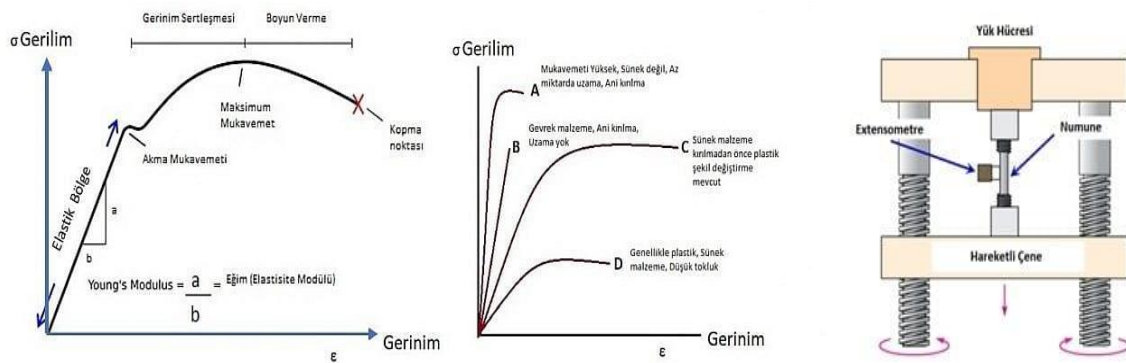
Polimerlerin karakterizasyonu, mevcutta bulunan ya da yeni üretilen bir ürünün performansının iyileştirilmesi amacıyla önem taşır. Molekül ağırlıkları ve yapıları, polimer morfolojisi, termal özellikler, mekanik özellikler ve katkı maddelerinin belirlenmesi amacıyla kullanılır. Mukavemetin iyileştirilmesi ve termal olarak daha kararlı bir yapı meydana gelmesi amacı taşımaktadır (Kaya, 2005).

2.3.1. Mekanik özellikler

Çeşitli üretim teknikleriyle üretilen malzemeler, üretim prosesleri sürecinde kendilerine uygulanan dış etkilere karşı değişik tepkiler gösterirler ve buna bağlı olarak kırılma, kopma, uzama, bükülme gibi şekil değişikliklerine maruz kalırlar. Bir malzemenin herhangi bir yüke veya kuvvete maruz kaldığında, etki eden dış kuvvetler karşısında vermiş olduğu tepki mekanik davranış olarak adlandırılır. Malzemeler düşük gerilmeler uygulandığında öncelikle şekil değiştirirler ve buna elastik şekil değişimi denir. Elastik şekil değişimi kalıcı değildir ve etki eden kuvvet ortadan kalktığında malzeme eski şeklini geri alır. Ancak etki eden dış kuvvetin değeri malzemenin elastiklik sınırını aşarsa kalıcı

şekil değişiklikleri meydana gelir ve etki eden kuvvet ortadan kalksa bile malzeme eski haline geri dönmez. Bu duruma plastik şekil değiştirme denir. Bir malzemeye sabit değerinde bir yük veya dış kuvvet uygulandığında ani olarak elastik uzamaya maruz kalıyorsa ve devamında sürekli olarak da artış gösteren bir uzama meydana geliyorsa buna da viskoelastik şekil değiştirme denir. Viskoelastik şekil değiştirmede sıcaklığın, yükleme hızının ve yükleme süresinin etkisi bulunmaktadır. Plastikler, kullanım süresince bir yük altında bulunurlar veya bir itmeye, çekmeye ve darbeye maruz kalırlar bu sebeple esneyebilir eğilip bükülebilirler. Etki eden yük ve dış kuvvetlere bağlı olarak plastik malzemelerde uzama, eğilme, bükülme, kopma, esneme gibi durumlar meydana gelir. Malzemenin içyapısında kalıcı (plastik) şekil değişimi oluşturan gerilme sınırı mukavemet (dayanım) olarak adlandırılır. Birimi MPa, Kg/m² veya N/cm² dir. Plastik malzemelere etki eden yüklere göre gerilme isimleri verilmektedir. Uygulanan yük çekme yüküyse çekme gerilmesi, baskı yüküyse basma gerilmesi, eğilme yüküyse eğilme gerilmesi gibi isimler alırlar (Kaya, 2005).

Çekme mukavemeti, standartlara uygun olarak hazırlanmış deney numunesi üzerine belirli bir hızda, sabit sıcaklık altında aynı ekseninde fakat zıt yönlerde 2 kuvvet uygulandığı zaman malzemenin kırılmadan dayanabileceği maksimum yük miktarı olarak adlandırılır. Eğer çekme mukavemeti değerinden daha fazla bir kuvvet malzemeye uygulanırsa kopma meydana gelir. Çekme dayanımını ilgilendiren bir diğer konu malzemenin kopma noktasında önce boyunda meydana gelen uzama miktarıdır. Bazı polimerler çekme deneyine tabi tutulduklarında kopma noktasından önce boylarında dikkate değer uzama meydana gelmektedir. Doğal lastikler kendi boylarının 3-4 katı kadar, polietilen 5 katı kadar uzayabilir (Singh, 2009).



Basma mukavemeti, yine hazırlanmış olan deney numunesinin belirli bir hız ve sabit sıcaklık parametrelerinde aynı eksen ve numune üzerinde basma etkisi meydana getirecek şekilde malzemenin kırılmadan dayanabileceği maksimum yük miktarını ifade eder. Uygulanan kuvvetin yüzey alanına oranıdır. Genellikle hem sünek hem de gevrek malzemelerde basma mukavemetinin değeri çekme mukavemeti değerinden büyüktür. Basma mukavemeti değerleri uzun süreli yüklemelerde göz önünde bulundurulan değerlerdir. Basma mukavemeti değerleri polimer malzemelerde ve metallerde benzer şekilde ölçülür. Polimer malzemelerin basma testi uygulandığında ortaya çıkan gerilme-uzama diyagramları genellikle çekme eğrilerindeki karaktere benzerdir (Kaya, 2005).

Sünek malzemelerde kalıcı (plastik) şekil değişiminin başladığı, gevrek malzemelerde ise malzemenin kırıldığı kuvvet değeri eğilme mukavemeti olarak adlandırılır. Diğer adı bükme dayanımıdır. Eğilme mukavemetinin tespitinde kullanılan en yaygın metot, 3 nokta eğilme testidir. Bu testte numune 2 noktadan desteğe serbest halde oturtularak mesnetlenir ve yön değiştirmeksizin orta noktasından bir eğme kuvveti uygulanır. Genellikle dikdörtgen veya dairesel kesitli düz malzemeler tercih edilir. Eğme modülü, eğilme testi yapılırken elastik şekil değişiminin olduğu esnada malzeme üzerine etki eden basıncın meydana gelen şekil değişimine oranı olarak tanımlanır (Singh, 2009).

Eriyik Akış İndeksi, plastik malzemelerin akış kolaylığını belirleyen bir analiz yöntemidir. Yük altında bulunan polimerlerin akış özelliklerinin anlaşılabilmesi için eriyik akış analizleri yapılır. Malzemelerin kalitelerinin ve üretilen ürünlerin iyileştirilmesi çalışmalarına katkı sağlar (Shenoy ve Saini, 1996).

Eriyik akış hızı, malzemenin molekül ağırlığına, eklenen dolgu maddelerine ve diğer parametrelere bağlıdır. Eriyik akış indeksi değerleri ile malzemeler birbirleriyle karşılaştırılarak kıyaslamalar yapılabilir. Eriyik akış yeteneklerinin belirlenmesi malzemelerin geliştirilmesi için önem arz eder (Shenoy ve Saini, 1996).

Tokluk, bir malzemenin deformasyona uğrayana kadar ki geçen zaman diliminde soğurduğu ya da absorbe ettiği toplam enerji miktarıdır. Tokluk gerilme-şekil değiştirme grafiğinin altında kalan alandır (Singh, 2009).

Sertlik, bir malzemenin yüzeyine dışarıdan bir cismin batırılması sonucunda oluşan karşı dirençtir. Sertlik değeri malzemenin dayanımı ile ilgilidir (Kaya, 2005).

Elastik bölgede gerilme, deformasyonla doğru orantılıdır ve uygulanan kuvvet ile meydana gelen şekil değişimi arasındaki sabit oran elastiklik katsayısı olarak adlandırılır. Elastiklik katsayısının değeri arttıkça malzemenin şekil değiştirme oranı azalır ve rijit bir

form alır. Elastiklik katsayısının değeri düştükçe malzemedeki elastiklik ve şekil değiştirme kabiliyeti de artış gösterir. ‘‘E’’ ile gösterilir (Kaya, 2005).

Polimerlerin mekanik testleri, polimer malzemelerin uygulamadaki ihtiyaç duyulan performans gereksinimlerinin sağlanması amacıyla yapılır. Mekanik testler, ürün geliştirme aşamalarının ve üretim periyodunun önemli bir bölümünü teşkil eder. Ürünlerin geliştirilme aşamasında üreticilerin ürünleri daha iyi analiz etmesine, malzemenin karakterizasyonunun belirlenmesine ve mühendislik tasarımlarını bu doğrultuda şekillendirmesine olanak sağlar. Malzemelerin yetenek ve sınırlamalarının anlaşılması tedarikçiler, üreticiler ve ürün geliştiriciler için hayati önem taşımaktadır. (Singh, 2009).

2.3.2. Termal özellikler

Termal analiz teknikleri ile değişken sıcaklık ve yük değerlerinde malzemelerde ortaya çıkan mekanik ve termodinamik değişiklikler ölçülebilir ve elde edilen veriler ışığında hangi sıcaklık ve zaman diliminde ne gibi değişiklikler olduğu gözlemlenebilir.

Termal analizler ile istenilen uygulamalar veya ihtiyaçlar için malzemelerin uygunluğuna karar verilmesi kolaylaşır. Örneğin; Faz geçişleri, özgül ısı, erime sıcaklığı ve camsı geçiş sıcaklığının belirlenmesinde kullanılır. Ayrıca yabancı maddelerin bilinirliğinin artması, malzemelerin molekül yapıları hakkında daha detaylı bilgi edinmek ve yeni malzeme üretimi için AR-GE çalışmalarına yardımcı olması bakımından da önem taşır. En çok kullanılan termal analiz yöntemleri, Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC), Termo Mekanik Analiz (TMA), Diferansiyel Termal Analiz (DTA), Termo Gravimetrik Analiz (TGA) ve Dinamik Mekanik Analiz (DMA) dir (Kısmet ve Dogan, 2022).

Camsı geçiş sıcaklığı, polimerler gibi amorf yapıya sahip malzemelere ait bir özelliktir. Bu sıcaklıkların altındaki değerlerde cama benzer şekilde kırılırlar ve sert yapıdadırlar. Camsı geçiş sıcaklığının üzerinde ise esnek, eğilip bükülebilir ve daha az kırılğan bir özellik gösterirler. Ancak bu durum bir faz değişkenliği olarak algılanmamalıdır. Sadece sıcaklığın etkisiyle polimer zincirlerindeki atomların bu sıcaklığı absorbe etmesi ve hareketlerini artırdıkları bir durumdur (Kaya, 2005).

2.3.3. Morfolojik özellikler

Polimerlerin yapılarının incelendiği ve moleköl dizilişlerinin tanımlanarak polimer yapılarının sınıflandırıldığı fiziksel bir olgudur. Morfoloji özelliklerin belirlenmesi polimerlerin yüzey analizlerinin belirlenmesinde yardımcı olur. Morfolojik özellikler Taramalı elektron mikroskobu (SEM), X ışını difraksiyon spektrometresi (XRD) ve Enerji dağılım spektrometresi (EDS) cihazları kullanılarak belirlenebilir.

2.4. Polimer Çeşitleri

Hali hazırda çok sayıda farklı polimer sentezlenmiş haldedir. Tüm polimerler üretim tekniklerine veya polimerizasyon mekanizmalarındaki türlere göre esas olarak üç ana gruba ayrılabilir (Ravve, 2012).

2.4.1. Termosetler

Termoset malzemeler, ağsı yapıdaki amorf polimerlerdir. Şekil verilmek istendiğinde kalıcı olarak sert bir yapıya bürünürler ve tekrar ısıtıldığında yumuşamazlar. Hatta yüksek sıcaklıklara maruz kaldıklarında zincir ve bağ yapılarında kırılmalar meydana gelerek bozulabilirler (Saçak, 2006).

2.4.2. Elastomerler (kauçuklar)

Yüksek elastisite özelliğine ve amorf yapıya sahiptirler. Viskoziteye sahip olduklarından ötürü elastomerler viskoelastik olarak bilinirler (Saçak, 2006).

2.4.3. Termoplastikler

Termoplastik malzemeler, birçok kez ısıtılarak yeniden şekillendirilebilirler. Çağımızda kullanımı en fazla olan gruptur. Yaygın olarak doğrusal zincirlere sahiptirler. Dayanımları oldukça düşüktür. En fazla kullanılanlara polistiren (PS), polietilen (PE) ve polivinil klorür (PVC) örnek verilebilir (Ravve, 2012).

2.5. Polimerlerin Kullanım Alanları

Farklı yapılarda bulunan polimerler günümüzde birçok farklı alanda kullanılmaktadırlar. Organik ve sentetik olarak iki farklı biçimde ele alınırlar. Polimerlerin kullanım alanları şunlardır;

- Dişçilik sektöründe, stabilite ve korozyon dayanımı için dolgu veya protezlerde.
- Gözlerimizde, oksijen geçirgenliği ve jel oluşturma yeteneğinden ötürü poliakrilamidler.
- Ortopedi çalışmalarında, mekanik engellere veya deformasyona karşı yeterli miktarda dayanım sağlayabilmesi ve kemik-kas dokusu ile iyi uyumundan kaynaklı polietilen, PMMA.
- Uzay ve havacılık faaliyetlerinde, sıcaklıkla bağlantılı şekil değiştiren şekil hafızasına sahip polimer reçineler kullanılmaktadır. Pil gibi bir enerji kaynağına ihtiyaç olmaksızın talebi karşılayabiliyor olmaları en önemli avantajlarıdır. Yine hafifliğin önem arz ettiği havacılık ve uzay sektöründe malzeme seçiminde tasarruf sağlanabilmekte olması önemli bir husustur.
- Tekstil sektöründe, suya dayanıklı ve nefes alabilen kumaşların yapısında polimerler kullanılabilmektedir.

Yaşamımızda birçok alanda büyük öneme sahip olan polimerlerin, nanoteknoloji ve elektronik devre tasarımları gibi alanlarda, malzeme bilimciler için gelecek yıllarda önemli buluşların keşfedilmesi amacıyla yapılacak AR-GE çalışmalarına zemin hazırlayacağı şüphesizdir (Ravve, 2012).

3. TERMOPLASTİKLER VE TERMOPLASTİKLERİN GERİ DÖNÜŞÜMÜ

Termoplastikler ısı enerjisi ve basınç altında kolaylıkla yumuşayan, deformasyona uğrayabilen, akışkan halde istenilen şekli alabilen ve soğutulduğunda tekrar sert hal alan malzemelerdir. Bu özelliklerinin olmasından ötürü tekrar tekrar geri dönüştürülerek kullanılabilirler. Bu şekillendirme işlemi esnasında kimyasal yapılarında herhangi bir değişiklik meydana gelmez. Bu özellikleri termoplastiklerin molekül yapısından dolayıdır. Termoplastikler doğrusal moleküllere sahiptirler. Lineer moleküllerde zinciri oluşturan birimlerin arasındaki kovalent bağlar çok kuvvetlidir. Moleküller arasında ise herhangi fiziksel bir bağ mevcut değildir. Yalnızca molekülün bir arada kalmasını sağlayan zayıf elektrostatik çekme kuvvetleri bulunur. Moleküller arasındaki kuvvet zincirlerinin birbirine karşı hareketlerini engeller ve ısıya karşı duyarlı elektrostatik bir kuvvettir. Bundan dolayı doğrusal molekül zincirlerinden meydana gelen bir termoplastiğin ısı etkisi altında molekülleri arasındaki kuvvetler zayıflar, molekül zincirleri sıvılara benzer şekilde birbirlerine göre hareket bakımından serbest hal alır ve sonuç olarak malzemeye bir kalıpta istenilen şekil verilebilir. Malzeme soğutulduğunda ise, moleküller arasında bulunan kuvvet artar ve molekül zincirlerini yeni alınan şekliyle dondurur. Ancak fazla miktarda ısı verildiğinde molekül zincirleri kopar ve malzemedeki kalıcı bir yıpranma durumu söz konusu olur (Savaşçı ve ark.,1998).

En çok tercih edilen termoplastikler poliolefinler grubu üyesi olan ve ticari birer termoplastik olarak adlandırılan polietilen (PE) ve polipropilendir (PP).

3.1. Termoplastiklerin Üretim Yöntemleri

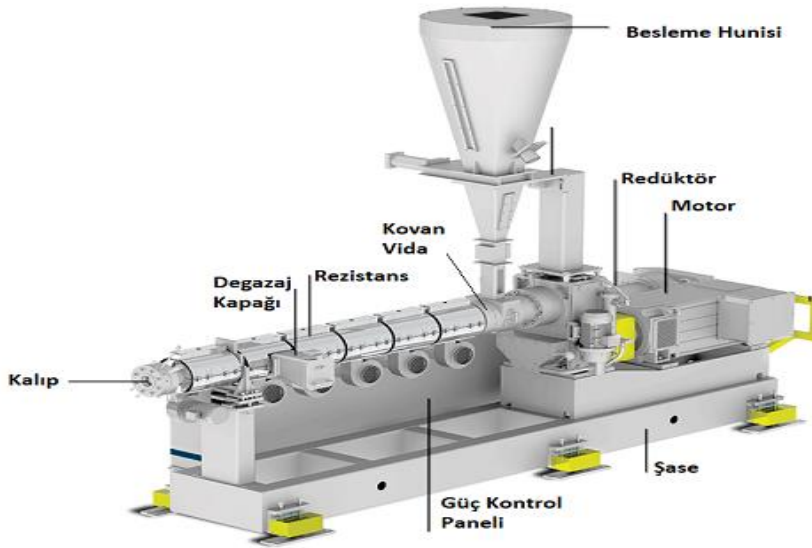
Plastik malzemelerin imalatı ihtiyaçtan kaynaklı olarak ortaya çıkmış ve yapılan farklı AR-GE çalışmalarıyla gelişim göstermektedir. Tasarımı yapılan numunenin üretilmesi amacıyla kalıp tasarımının uygunluğu, uygun malzeme seçimi ve üretimin yapılacağı makine ayarlarının yapılması ile süreç başlar. Termoplastikler çeşitli yöntemlerle şekillendirilir. Uygulamaları en yaygın olan prosesler arasında ekstrüzyon kalıplama, enjeksiyon kalıplama, basınçla kalıplama, transfer kalıplama, şişirme kalıplama ve kalenderleme sayılabilir (Cristian, 2017).

3.1.1. Plastik ekstrüzyon

Ekstrüzyon, çubuk, profil, tel, boru ve diğer kalın cidarlı profillerin şekillendirilmesi amacıyla uygulanan plastik şekil verme tekniğidir. Bu plastik şekillendirme tekniğinde tasarlanan kalıp ısıtılarak ve pres kova önüne yerleştirilerek istenilen şekil verilebilir. Plastik ekstrüzyon prosesiyle üretilen malzemeler çoğunlukla inşaat, elektrik, kimya, gıda gibi sektörlerde sıklıkla kullanılmaktadır (Turaçlı, 2003).

Plastik ekstrüzyon işleminde kullanılan makinelerin yapısı plastik enjeksiyon makinelerine benzemektedir. Isıtıcı ile kaplı olan kovan içerisinde motor tarafından vida döndürülür; sıcaklık ve basınca maruz kalan plastik hammadde eritilir (Mazumdar, 2001).

Eriyik durumdaki plastik hammaddenin kalıp içerisinde istenen şekli alması sağlanır ve soğuma bir sıvı içerisinde girerek sağlanır. Soğuma işleminden sonra katı hale gelen malzeme şekil alır (Turaçlı, 2003).



Şekil 3.1. Plastik ekstrüzyon makinesi (URL-3, 2020).

3.1.2. Plastik enjeksiyon

Birçok faktöre bağlı olmasından ötürü enjeksiyon ile kalıplamada kayıplar verilebilmektedir. Enjeksiyon kalıplama üretim yönteminde kayıplar, üretimde etkisi bulunan her tür etmenin amaçlanan değerinden sapması şeklinde adlandırılabilir ve kayıplar birçok faktöre bağlıdır. Kayıpların azaltılabilmesi, parça ve kalıp tasarımları,

Günümüzde havacılık sektörü, otomotiv, tıp ve her türden ev eşyaları gibi günlük hayatta ihtiyaç duyulan birçok alanda sıklıkla tercih edilmektedir (Mazumdar, 2001).

3.1.3. Diğer üretim yöntemleri

Termoplastikler yaygın olarak ekstrüzyon ve enjeksiyon prosesleriyle üretilse de bunlar haricinde kullanılan üretim yöntemleri de vardır. Bunlara vakum kalıplama, pres kalıplama, transfer kalıplama, şişirme kalıplama ve döküm yöntemleri örnek verilebilir.

3.2. Termoplastiklerin Geri Dönüşümü

Plastik, uzun yıllardan beri kullanılmakta olan ve düşük maliyeti sebebiyle sıklıkla tercih edilen malzemelerden biridir. Buna karşın çok sayıdaki araştırma plastiklerin birçok zararını ortaya koymuştur. Doğada çok uzun süre bozulmadan kalabilmeleri ve geride bıraktıkları mikro plastiklerin havaya, suya, insan ve hayvan vücuduna karışması canlı hayatını tehdit etmektedir (Marşoğlu, 1986).

Bu sorunun en etkili çözümü ise, geri dönüşüm yapmaktır. Plastiklerin doğada çok geç yok olması, geri dönüşümün önemini gözler önüne sermektedir. Buna rağmen her türlü plastiğin geri dönüşümü mümkün olmamaktadır. Geri dönüştürülebilir plastikler yedi gruba ayrılır ve her grubun kendi kodu ve sembolü bulunmaktadır (Akkurt, 1991).

- Polietilen tereftalat (PET) - Meşrubat ve su şişeleri, kavanozlar.
- Yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) - Su boruları, şampuan şişeleri.
- Polivinil klorür (PVC) - Atık su boruları, çit, pencere.
- Alçak yoğunluklu polietilen (AYPE) - Çöp poşetleri, ambalaj, elektrik sanayi.
- Polipropilen (PP) - Plastik şişe, temiz su boruları, mutfak eşyası.
- Polistiren (PS) - Oyuncak, video kaset, yalıtım malzemeleri, yalıtım köpüğü
- Polikarbonat (PC) - Naylon

Tablo 3.1. Plastik geri dönüşüm sembolleri

SEM BOL	TANIM	AÇIKLAMA	HAMMADDE KULLANIM ALANI	KULLANIM ALANI
	Pet	Tek kullanımlık sıvı şişelerinde kullanılır. Ucuz ve hafiftir	Su şişeleri, sıvı yağ şişeleri vs.	Polar ceketler, çantalar, sıvı şişeleri vs.
	Yüksek Yoğunluklu Polietilen	Çok çeşitli kullanım alanı olan bir plastik türüdür. Geri kazanımı ile bir çok farklı ürüne dönüşebilir.	Çöp ve alışveriş poşetleri, şampuan kutuları	Drenaj borusu, piknik masaları, yağ kutuları
	Pvc	Sert ve yalıtkan bir malzemedir.	Plastik borular, elektrik kabloları vs.	Boru ve kaplamalar
	Alçak Yoğunluklu Polietilen	Genellikle esnek olması gereken ürünlerde kullanılmaktadır.	Sıkılabilir kutular, elbiseler, halılar, mobilya vs.	Plastik çantalar ve çöp kutuları
	Polipropilen	Yüksek erime sıcaklığı yüzünden sıcak ürünlerde kullanılmaktadır.	Ketçap ve ilaç kutuları, şişe kapakları	Sinyal lambaları, palet, kutu
	Polistiren	Strafor denilen köpük malzemelerin yapımında kullanılır.	Atılabilir bardak, tabak, cd kapları	Yalıtım malzemesi, köpük dolgu
	Diğer Plastikler	Akrilik, ABS, fiberglas, naylon, vb.	Güneş gözlüğü, damacana, naylon	Plastik döşemeler

3.2.1. Polietilen tereftalat (PET/PETE)

Polietilen tereftalat (PET/PETE), en çok tercih edilen ve geri dönüşümü en rahat olan plastiklerden biridir. Gıda sektöründe yiyecek ve içeceklerin muhafazasında genellikle PET esaslı malzemeler kullanılır. Bu plastik türü hafiftir ve geri dönüşümü her ne kadar rahat olsa da tekrar tekrar kullanım için uygun değildir. Ayrıca PET şişelerin kapakları, içlerinde bulunan farklı bir materyalden ötürü geri dönüşüme uygun değildir ve çöp kutusuna atılmalıdır. Bir PET şişenin doğada yok olması için 100 yıl ile 1000 yıl arasında bir süreye ihtiyaç duyulmaktadır (Marşoğlu, 1986).

3.2.2. Yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE)

YYPE, petrolden elde edilen ve yoğunluğu yüksek bir malzemedir. 1.75 kg. petrolden yaklaşık olarak 1 kg. civarında YYPE hammaddesi elde edilir. YYPE, dış görünüş olarak AYPE 'e benzemektedir fakat ondan çok daha sert yapıda bir malzemedir. Kimyasallara ve suya karşı direnci yüksektir. Işığa ve açık hava şartlarına karşı AYPE ile aynı şekilde dayanıksızdır. Mekanik özellikleri ise çok iyidir, özellikle darbe ve çekme mukavemetleri yüksektir. Ekstrüzyon, toz kaplama, enjeksiyon, film çekme gibi birçok şekillendirme yöntemine uygundur. Enjeksiyon kalıp sıcaklığının 50-70 °C'de olması cihazdan çıkan ürün kalitesinin iyileşmesini sağlar. YYPE elektriksel uygulamalarda kullanılmaya da çok uygundur. Yüksek yoğunluklu polietilen basınçlı borularda, şişe, kapak ve gıda ambalaj filmi üretiminde kullanılmaktadır. YYPE, insanlık açısından en güvenli olan plastiklerden biri olarak kabul edilmektedir. YYPE den üretilmiş olan ürünler uzun yıllar boyunca kullanılabilir. YYPE nin geri dönüşümü, üretim süreçlerinde tekrardan kullanılmasına uygun olacak şekilde granüller halinde öğütülmesinden ibarettir. Geçirim özelliğinin düşük olması ile gıdalarda rahatlıkla kullanılabilmekte ve kolaylıkla geri dönüştürülebilmektedir (Peacock, 2000).



Resim 3.1. YYPE - Temiz su ana şebeke borusu (URL-5, 2019)

3.2.3. Polivinil klorür (V/PVC)

Polivinil klorür (PVC), kullanım alanı oldukça fazla olan bir plastik polimer türüdür. Polietilen ve polipropilenin ardından dünyada en fazla üretilen sentetik polimerdir. Katı ve esnek olmak üzere iki formda bulunur. Katı haldeki formu inşaat sektöründe boru ve tesisat malzemelerinde, paketlenmede, kapı ve pencere profillerinde yaygın olarak kullanılır. Son yıllarda PVC birçok sektörde yaygın kullanılan inşaat malzemelerinden ahşap ve betonun yerini almıştır. Ayrıca şişelerde, banka ve kredi kartlarında kullanılır. Fitalatlar gibi akışkanlaştırıcılar ilave edilerek daha yumuşak ve esnek bir hal alması sağlanabilir. Yumuşak formu genellikle atık su borularında, elektrik kablolarının yalıtımında ve şişirilebilir ürünlerde kullanılır. Kauçuğun yerine tercih edildiği uygulama alanları da mevcuttur. Sağlık sektöründe de son yıllarda kullanım alanı bulmuştur. Kan ve kan ürünlerinin torbalarında, kateter ve drenlerde kullanılmaktadır. PVC tekrar tekrar kullanılabilir özellikte bir plastiktir. PET ve YYPE ye benzer şekilde geri dönüştürülür. PVC yaklaşık yedi kez geri dönüştürülebilir ve ömrü yaklaşık 140 yıldır (Marşoğlu, 1986).

3.2.4. Alçak yoğunluklu polietilen (AYPE)

Alçak yoğunluklu polietilen petrolden elde edilen bir termoplastiktir. AYPE 0,910-0,940 g/cm³ arasındaki yoğunluklarda tanımlanır. Yüksek oksidasyona maruz kalması haricinde oda sıcaklığında tepki göstermez. 80 °C civarı sıcaklıklara sürekli ve 95 °C de kısa bir süre dayanım gösterebilir. Neredeyse hiç kırılmayacak gibi güçlüdür. Gerilme

dayanımı düşük, esnekliği yüksektir. Alçak yoğunluklu polietilen, çok düşük sıcaklıklarda bile (-60 °C'ye kadar) esnek olmasından ötürü film üretiminde yaygın olarak tercih edilir. AYPE atığı PET, YYPE ve PVC ile aynı şekilde işlenir (Akkurt, 1991).

Alçak yoğunluklu polietilen (AYPE)'nin pek çok avantajı bulunmaktadır. Bu avantajlar şöyle sıralanabilir;

- Kimyasal dayanım
- Elektriksel dayanım
- Yorgunluğa karşı dayanım
- Alev geciktiricilik
- Geniş mekanik özellik aralığı

Alçak yoğunluklu polietilen (AYPE) sıklıkla konteyner ve boru üretimi, şişe yıkama, bilgisayar çantaları için plastik çantaların imalatı ve laboratuvar malzemelerinin şekillendirilmesinde kullanılmaktadır. Bunun haricinde korozyona dayanıklı çalışma yüzeyleri, ağır hizmet torbaları, poşet ve peçete yapımı, oyuncak, çöp torbası üretiminde kullanılmaktadır (Peacock, 2000).

Ayrıca, esneklik gerektiren parçaların üretiminde, yumuşak ve bükülebilir malzemelerde, besinler için saklama ve laboratuvar kapları, tepsi yapımı, işlenebilen parçalarda, bilgisayar parçalarında, elektrik yalıtımı ve şişe yapımında yaygın olarak AYPE kullanılır (Akkurt, 1991).



Resim 3.2. AYPE - Oyuncak (URL-5, 2019)

3.2.5. Polipropilen (PP)

Polipropilen özgül ağırlığı düşük olan bir plastik türüdür. Endüstride en çok tercih edilen termoplastiklerden birisi olan polipropilenin çekme aralığı 0,006 mm ile 0,02 mm arasındadır. Birçok yönden kullanım avantajı sağlar, çevre şartlarına ve darbelere karşı dayanımı oldukça yüksektir. Çeşitli kimyasallar ile birlikte üretildiğinde dayanımları artar ve ömürleri uzun olur. Özellikle UV stabilizatörü ile birlikte üretildiğinde yüzeyleri daha sert bir form alır ve çizilmelere karşı dayanıklı olur. Bununla birlikte bazı dezavantajları mevcuttur. UV dayanımı düşüktür, yüksek termal genleşme gösterir. Boyanması ve kaplama yapılması zordur. Dış hava şartlarına karşı dayanımı düşüktür, oksitlenmeye maruz kalabilir. Yanıcıdır ve klor içeren solventler ile etkileşime girer (Marşoğlu, 1986).

Polipropilenin en yaygın kullanıldığı sektörlerden biri otomotiv endüstrisidir. Kaporta yapımında kullanılır. Opak ve sert bir malzeme olduğundan yüksek seviye koruma sağlar. Isı yalıtım özelliği olan ve çok dayanıklı olan bu malzemenin ayrıca ses yalıtımı özelliği de bulunmaktadır. Polipropilen sayesinde çok daha hızlı ve düşük maliyetli iplik üretilmesi mümkün olmuştur. Çuval üretiminde de son yıllarda çoğunlukla bu malzeme kullanılmıştır. Ayrıca polipropilen, tekstil sektöründe naylon çorapların çok daha esnek ve dayanıklı olmasını sağlamak amacıyla kullanılmaktadır (Marşoğlu, 1986).

3.2.6. Polistiren (PS)

Polistiren, oda sıcaklığında katı halde bulunur, enjeksiyon veya ekstrüzyon üretim proseslerinde yüksek sıcaklıklar altında eriyik hale gelir. Bunun ardından soğutulur ve tekrar katılaşması sağlanır. Genel amaçlı kullanılan polistirenin yüzeyi temiz, sert ve kırılmandır. Suyu ve oksijeni tutma kapasitesi düşüktür. Polistiren doğal haliyle saydam görünümündedir, ancak katkılarla renklendirilebilir. Tek kullanımlık çatal ve kaşık üretiminde, kap, kapak ve şişe yapımında kullanılır (Akkurt, 1991).

Polistiren, strafor ürünlerin içeriğinde bulunmaktadır. Bu plastik türü oldukça hafiftir. Kimyasal yapısı dolayısıyla geri dönüşüm prosesinin ileri teknolojik tekniklerle özel süreçler altında yapılması önemlidir (Akkurt, 1991).

Genellikle yalıtım malzemesi olarak kullanılan en popüler malzemelerden biri olan polistiren, köpüklü bir formda bulunur. Isı yalıtımı malzemesi olarak, ince cidarlı kaplarda, soğutma kulelerinde, boru, köpük, kauçuk, çeşitli aletler, otomobil parçaları, paneller ve

elektronik aletlerin plastik aksamalarında yaygın olarak kullanılır. Genetik ve moleküler biyolojinin en temel uygulamalarından biri olan hücre kültürlerinde kullanılan kapların yapısında bulunur (Akkurt, 1991).

3.2.7. Polikarbonat (PC)

Polikarbonatlar, termoplastiklerin içindeki özel bir gruptur. Kalıplanması, işlenmesi, ısı olarak şekillendirilmesi rahattır ve modern imalat sektöründe çok geniş kullanım alanına sahiptir. Polikarbonatlar karakteristik olarak polimetil metakrilat'a (PMMA ; akrilik) oldukça benzerler, fakat polikarbonatlar hem daha güçlüdür ve hem de daha pahalıdır. Polikarbonat polimeri oldukça şeffaftır ve yapısı ışığı geçirmeye çok elverişlidir. Çok sayıda cam türünden daha iyi ışık geçirgenlik seviyesine, optik ve mekanik özelliklere sahiptir ve gözlük camı üretiminde yaygın olarak kullanılır. Reçinesinin özelliğinden dolayı darbelere karşı çok dayanıklıdır. Cam ve akrilik gibi kaplama malzemelerine nazaran çok daha hafiftir. Soğuk olarak bükülebildiğinden mimaride tasarım kolaylığı sağlar. UV filtrasyonu sayesinde uzun ömürlüdür. Polikarbon malzemelerinden yapılan diğer ürünlere cdler ve far camları örnek verilebilir (Marşoğlu, 1986).

3.3. Geri Dönüştürülebilir Termoplastiklerde Kullanılan Dolgu Maddeleri

Günümüzde termoplastikler yaygın olarak kullanılır ve çoğu sektör plastik ürünlere tamamen bağımlıdır. Tüm bu termoplastikler, esasen dolgu maddeleri olarak adlandırılan kompleks malzemelerle karıştırılarak hazırlanır. Dolgu maddeleriyle beraber kullanıldıklarında çok daha güvenli, daha temiz ve renkli hale gelebilirler. Dolgu maddeleri tabiki maliyetlidir, fakat üretim maliyetlerini azaltırlar ve ürünleri daha uzun yıllar üretmemize olanak sağlayarak tasarruf etmemize ve dünyadaki değerli hammadde rezervlerinin korunmasına yardımcı olurlar. Temel polimeri yararlı plastiklere dönüştüren katkılar, yaşadığımız çağın çok daha güvenli ve çok daha ucuz olmasını sağlamaktadır.

Günümüzde öreğin arabalarda fazla sayıda plastik türevleri bulunmaktadır. Bu malzemeler genellikle güvenlik için tercih edilir. Örnek olarak tampon yalnızca şık görünmesi için değil, aynı zamanda herhangi bir darbenin kuvvetini emerek ve boşaltarak yaralanmayı önlemek amacıyla önemlidir. Bu amaçla kullanılan dolgu maddesi türü bir

darbe modifikatörü olmalıdır. Pigmentler genellikle plastiklerin göze hoş görünmesi amacıyla tercih edilen katkı maddeleridir ve elektrik kablolarında özel renk kodlaması gibi emniyet unsurlarını artırmak amacıyla da kullanılabilirler. Tasarımcılar çoğunlukla makinelerde ve gündüz birçok trafik kazasını engellemek amacıyla renkleri kullanır: yol, demiryolları ve şantiye çalışanları kendi floresan kaskları ve ceketlerinde kolayca görülebilirken, koşucu ve bisikletliler yansıtıcı kumaş ve şeritlere sahip elbiseler giyerler (Gächter ve Müller, 1987).

Termoplastiklerde kullanılan dolgu maddeleri yapısal olarak organik ve inorganik olarak iki kategoriye ayrılır.

3.3.1. Organik katkı maddeleri

Organik dolgu maddeleri genellikle elyaf ve filler dolgulardan oluşmaktadır. Elyaf dolgular çoğunlukla plastiklerdeki mekanik ve termal özelliklerin daha iyi hale getirilebilmesi maksadıyla tercih edilirler. Ancak elyaf dolgular genellikle pahalı olduklarından fiyat-performans avantajı sağlanan yerlerde daha çok tercih edilirler. Filler dolguların kullanımının amacı ise çoğunlukla termoplastiklerde maliyet düşüşü sağlamaktır. Organik dolgu malzemelerine keten, kenevir, deniz yosunu, kolza bitkisi örnek verilebilir (Gächter ve Müller, 1987).

3.3.2. İnorganik katkı maddeleri

Termoplastik malzemelerde inorganik dolgu maddelerinin etkin bir şekilde kullanılması ürünün performansını yükselterek üretim maliyetlerini de düşürmektedir. En önemli inorganik dolgu malzemeleri kalsiyum karbonat, dolomit, baryum sülfat, amyant, talk, kaolen ve mika dır (Gächter ve Müller, 1987).

3.3.3. Diğer katkı maddeleri

Polimerlerden meydana gelen termoplastikler kullanım amaçlarına göre ihtiyaç duyacakları özellikler nedeniyle katkı malzemelerine ihtiyaç duyarlar. Tek başına fonksiyonel olmamalarına rağmen eklenen bu katkı malzemeleri sayesinde yararlı hale

gelirler. Eklendikleri malzemede meydana getirdikleri etkilere göre dolgu maddeleri değişiklik gösterirler.

Floresant ve beyazlatıcılar, termoplastiklerin önemli bir kısmının görünür ışığı spektrumun mavi bölgesinde soğurmasından kaynaklı sarımsı renkte görünmelerinin önüne geçmek ve bu olumsuz durumu ortadan kaldırarak beyaz görünmesini sağlamak amacıyla kullanılırlar (Kaya, 2005).

Biyo stabilizeştiriciler, termoplastik malzemeleri mikroorganizmaların tehdidinden koruyan dolgu maddeleridir (Kaya, 2005).

Kristallięi düzenleyiciler, düzensiz soğuma durumlarında malzemede amorf bir yapı oluşmasını engellemek amacıyla kullanılırlar (Gächter ve Müller, 1987).

Isı stabilizatörleri, termoplastik malzemelerin ısı ile bozulmalarının engellenmesi ya da yavaşlatılarak kullanım sürelerinin uzatılması amacıyla hem imalat esnasında hem de depolama aşamasında kullanılır (Gächter ve Müller, 1987).

Yanma dayanımını artırıcılar, plastik malzemelerin düşük sıcaklıklar altında tutuşmalarını ve alev meydana gelse de ilerlemesini önlemek amacıyla kullanılır. Klorlu parafinler, trifenil fosfat yanma dayanımı artırıcılara örnek gösterilebilir (Gächter ve Müller, 1987).



Resim 3.3. Alev geciktiriciler (URL-6, 2022)

Köpürtücüler, uygun ve dar bir sıcaklık aralığında sıcaklık etkisiyle parçalarına ayrılarak en az biri gaz haline geçmekte ve plastik malzemenin köpürmesini sağlayarak gözenekli bir yapı oluşturmaktadır. Köpük yapıcı maddelere pentan, toluen, trikloretilen ve azot karbonamid örnek verilebilir (Kaya, 2005).

Antioksidantlar (oksidlenme önleyiciler), havada bulunan oksijenin plastik malzemenin yapısını bozmasına engel olmak ve ışıma etkileri ile tahribatın önlenmesi ya

da geciktirilmesi amacıyla kullanılırlar. Yaygın kullanılan antioksidanlar fenoller, aromatik aminler ve tuzları, amin, keton vb.dir (Kaya, 2005).

Antistatikler, malzeme üzerinde biriken elektriksel yükün serbest kalmasını sağlar, elektrostatik yüklenmeyi önleyen nem çekici ve iyonize bileşiklerdir. Gliserin esterler örnek olarak verilebilir (Gächter ve Müller, 1987).

UV stabilizatörleri, UV etkisiyle zamanla plastiğin renginin solmasının ve görünümünün bozulmasının engellenmesi veya azaltılması amacıyla eklenirler. UV stabilizatörlerine aril esterler, tetrametilpiperidin, benzoik asit esterleri örnek gösterilebilir (Kaya, 2005).

3.4. Elektrostatik Toz Boyalar

Elektrostatik toz boyama, oluşturulmuş bir manyetik alanda metallerle toz boyanın değişik elektrik yükleriyle yüklenerek toz boya zerreciklerinin manyetik alandaki etkiyle metalin yüzeyine yapışarak kaplanması işlemidir. Metal yüzeyin üzerine toz boya kaplandıktan sonra yaklaşık 190 °C deki fırınlarda yüksek ısı altında bekletilerek toz boyanın kürleme işlemi gerçekleşerek kaplanan yüzey metalle birleşik boyalı bir form alır. Bu boyama yönteminde yaklaşık %98 oranında yüzeye boya taneciklerinin tutunduğu görülmüştür (Kısmet, 2016).



Resim 3.4. Elektrostatik toz boya (URL-7, 2022)

Elektrostatik toz boya ile kaplama işlemi solvent bulundurmeyen bir yöntemdir. Bu kaplama metodu için üretilmiş özellikteki boya tabancaları kullanılarak kaplama yapılır. Boya tabancasından çıkan tanecikler negatif (-) yükle yüklenir. Negatif yüklenen boya tanecikleri parçanın üzerine doğru zıt kutupların birbirini çekmesinden dolayı çekilirken,

kendi içlerinde de aynı yükte olduklarından birbirlerini iterler. Böylece homojen bir şekilde yüzeye yapışırlar. Fazla miktarda boya atılırsa kabin içindeki geri kazanım ünitesi yardımıyla fazla kısım toplanarak yeniden kullanılır. Toz boya ile homojen kaplanan malzeme daha sonra 200 °C sıcaklıktaki fırına girerek pişirilir. Bu sıcaklıktaki fırın içerisinde toz boya eriyerek malzemeye yapışır (Kısmet ve Wagner, 2019).

Elektrostatik toz boyama prosesinin dezavantajı kaplama işlemi yapılırken bir miktar kayıpların meydana gelmesidir. Boya tabancasından çıkan boya zerrecikleri tamamen kaplanacak olan malzemenin yüzeyine yapışmayarak belli bir miktarda yere dökülerek boşa gider. Bu kayıplar seri üretim yapılan yerlerde daha verimli geri kazanım yapılarak %5 civarlarındayken, küçük ve orta boyutlu işletmelerde yaklaşık %30 u bulabilmektedir (Kısmet, 2012).

Yaşadığımız çağda dünyada ortalama yıllık 2 milyon ton civarında üretimi yapılan elektrostatik toz boyalardaki kayıp miktarı yıllık yaklaşık olarak 300.000 ton civarındadır. Meydana gelen bu atık toz boyalar hidrolize edilerek tekrar kullanılabilir hale getirilmektedir. Hidroliz işleminde su ve alkol karışımı ile içeriğinde sertleştirici bulunan elektrostatik toz boya atıklarının yapıları bozulur ve metal yüzeylere yüksek sıcaklık değerlerine çıkılması durumunda bile yapışması önlenerek kullanılabilir duruma getirilirler (Kısmet, 2016).

3.5. Termoplastikler Üzerinde Kalsiyum Karbonat (Kalsit) Katkısının Etkileri

3.5.1. Kalsiyum karbonat (CaCO_3)

Halk arasında kireç taşı olarak da bilinir. Formülü CaCO_3 şeklindedir. Doğada eski kayalar ve deniz kabuklarında çokça bulunmaktadır. Kalsiyum karbonat, antiasitlerin bir üyesidir, ancak fazla miktarda kullanılması biyolojik olarak zararlıdır (Ni ve Ratner, 2008).



Resim 3.5. Kalsit malzemesinin doğal şekilleri (URL-8, 2023)

Doğadaki kayaçlar içerisinde kalsiyum karbonat en çok aragonit, kalsit, vaterit, tebeşir, kireç taşı, mermer ve traverten olarak bulunur. Bir kayaçtaki kalsiyum karbonat tespiti için yapılabilmesi için hidroklorik asit ya da sülfürik asitten yararlanılır (Ni ve Ratner, 2008).

Kalsiyum karbonat, sanayide, mermer, tebeşir ve kireç taşı gibi malzemelerin imal edilmesinde sıklıkla kullanılır. Ayrıca boyacılıkta, seramik imalatı ve PVC üretiminde kalsiyum karbonattan faydalanılır. Tıpta çoğunlukla böbrek rahatsızlıklarında besinlerin içindeki fosforun bağlanması amacıyla kullanılır. Gıda sektöründe katkı maddesi olarak kullanılır. Kalsiyum karbonat (CaCO_3) termoplastiklerin çeşitli mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Maliyetinin düşük olması ve yaygın bulunan bir malzeme olması sebebiyle, polimer sektöründe takviye malzemesi şeklinde yaygın olarak kullanılır (Kundu ve ark., 2004).

Kompozit malzemelerin mekanik özelliklerine, katılan takviye malzemesi ve polimer matrisi arasındaki yüzey etkileşimleri etki etmektedir. Yüzey etkileşimleri ise her iki malzemenin de fiziko-kimyasal özelliklerine, konsantrasyonlarına ve kompozit hazırlama tekniklerine bağlıdır. Takviye malzemesinin kimyasal işlevselliğini ve aktivitesini düzenleyerek matris malzeme ile arasındaki yüzey etkileşimini arttırmak amacıyla takviye yüzeyi kimyasal işlemlere maruz bırakılabilir. Kalsiyum karbonatın, polar yapıya ve geniş yüzey alanına sahip olması sebebiyle apolar polietilen matrisiyle etkileşimi ve içerisindeki dağılımı zorlaşmaktadır. Bu durum aglomerasyon problemine ve boşlukların oluşmasına sebebiyet verebilir. Oluşan bu yapılar plastik dayanımının düşmesine ve mekanik özelliklerin azalmasına sebep olur. Kalsiyum karbonat yüzeyi stearik asit ile kaplandığında polimer matrisi ile uyumlu hale getirilebilmektedir. Bunun haricinde uyumlaştırıcılar eklenerek de kalsiyum karbonatın polimer matrisi içerisindeki dağılımı iyileştirilebilir. En çok kullanılan uyumlaştırıcılardan birisi maleik anhidrattır (Kundu ve ark., 200

4. NADİR TOPRAK ELEMENTLERİ

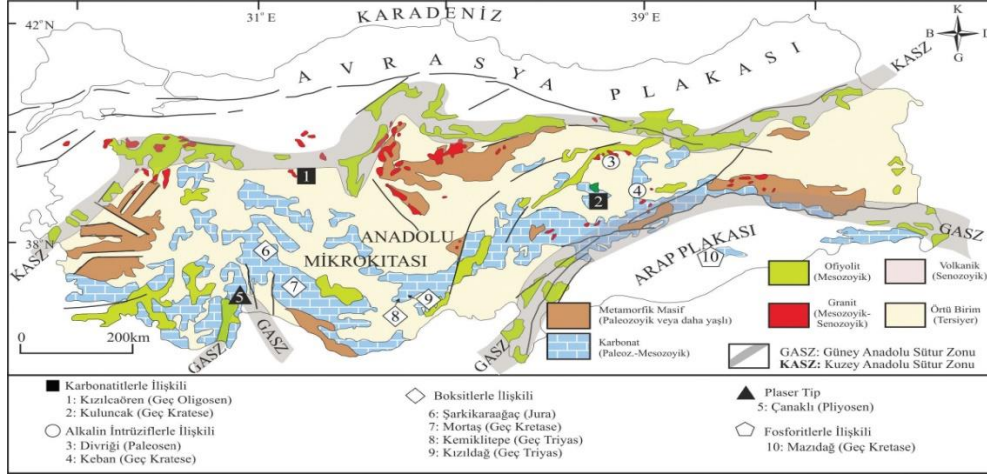
Nadir toprak elementi tabiri bir elementin yeryüzündeki bulunma oranı ile bağlantılı olmakla birlikte yüksek orandaki cevherleşme miktarlarının diğer birçok metale oranla düşük olmasından kaynaklıdır. Yani doğada altın ve platin grubu elementler gibi metal formda mevcut değildir. Periyodik tablonun 57 ile 71 nolu lantanitler grubunun içinde bulunan lantanyumdan başlayarak lütesyum a kadar olan ve 15 elementten meydana gelen gruba verilen isimdir. Ayrıca itriyum ve skandiyum da bu grubun özelliklerine benzer yapıda olduklarından NTE olarak sınıflandırılmaktadır (Celep ve ark., 2021).

Nadir Toprak Elementlerinin dünya çapında giderek değer kazanmasındaki en önemli neden endüstride bu elementlerin kullanım alanlarının giderek yaygınlaşmasıdır. Termal ve mekanik dayanımları sayesinde günümüzde ileri teknoloji ürünlerinin birçok bileşeninde NTE ler yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Elektronik sistemlerde, otomotiv sanayisinde, enerji üretim tesislerinde, nükleer enerji sektöründe ve süper iletken malzemelerin üretimi gibi alanlarda gün geçtikçe daha fazla ihtiyaç duyulan ürünler haline gelmişlerdir (Öztürk ve ark., 2019).

Dünyada NTE rezervi olarak en fazla payı alan ülke Çin Halk Cumhuriyeti dir. Yaklaşık 44 milyon ton olarak tahmin edilmektedir. Bundan sonra en fazla rezerve sahip olan ülkeler sırasıyla Brezilya, Vietnam ve Rusya'dır (Celep ve ark., 2021).

4.1. Türkiye'deki NTE Sahaları

Türkiye de tespit edilmiş olan ve en fazla öneme sahip NTE yatağı Eskişehir – Kızılcaören deki yataktır. Bu yatakta içeriğinde %3,5 NTE bulunan yaklaşık olarak 30 milyon ton civarında cevher bulunmaktadır. Çok çeşitli mineralleri bünyesinde barındırdığından kompleks cevher olarak adlandırılmaktadır. Bundan sonra ikinci sırada en önemli NTE cevheri ise Isparta – Çanaklı da bulunmuştur. Bu rezerv sahasında yaklaşık % 0,1 oranında NTE barındıran 50 milyon ton civarında cevher tespit edilmiştir. Her iki rezervde bulunan cevherler güçlü alkali özellikteki volkanizma içermektedir. Bu iki rezerv haricinde Malatya ve Konya da ki NTE içeriği bulunan yataklar önem arz etmektedir. Şekil 4.1. de Türkiye de bulunan nadir toprak elementi rezervleri gösterilmiştir (Terzi, 2017).



Şekil 4.1. Türkiye’de nadir toprak elementleri yatakları (URL-9, 2019)

4.2. NTE’lerin Elde Edilmesi ve Zenginleştirme Yöntemleri

NTE elde edilmesi kademeli ve zaman gerektirdiğinde süreç biraz zordur. NTE rezervinin tespitinin yapılmasından sonra liç tekniği kullanılarak çıkarma işlemleri uygulanır. Liç tekniği ile kazı yapılarak ve patlatma yöntemi ile cevher tüneldeki duvarlardan yüzeye taşınır. NTE içerikli mineraller çeşitli fiziksel ayrıştırma yöntemleriyle arzu edilen saflığa getirilmeye çalışılır. Kraking işlemi adı verilen kimyasal bir uygulama ile asit-alkali olarak gerçekleştirilen iki işlemle yüksek saflık oranı elde edilmeye çalışılır. Daha sonra ayrıştırma işlemi için süperkritik, solvent ekstraksiyonu, bisorpsiyon, iyon değişimi gibi metotlar kullanılarak işlem tamamlanır (Kara ve ark., 2019)

NTE lerin zenginleştirilmesi amacıyla kullanılan yöntemlerden flotasyon ya da yüzdürme yöntemi, rezervde bulunan cevherin su sevme veya sevmeme özelliğinin kullanılarak suda yüzmesi ya da batması sayesinde diğer malzemeden ayrışmasını sağlamak amacıyla uygulanan bir tekniktir. Daha çok magmatik özellikli ve hidrotermal yapıdaki rezervlerde bu teknik kullanılır (Kara ve ark., 2019).

Gravite yönteminde, yer altında bulunan kayalarındaki yoğunluk farkından kaynaklanan ve yerçekimi ivmesinde meydana gelen değişimler ölçülür. Yer altında bulunan kayaların yoğunlukları tespit edilerek çıkarılmasında kullanılan bir yöntemdir. Manyetik yöntem, yerdeki manyetik alan değişimlerini inceleyerek içerisinde manyetik duyarlılığa sahip mineraller barındıran kayaların tespit edilmesinde kullanılır. Manyetik özelliği olan minerallerin manyetik özellikte olmayan minerallerden ayrılmasında bu yöntem tercih edilir (Kara ve ark., 2019).

4.3. Lantan ve Kullanım Alanları

Lantan, La sembolü ile ifade edilen ve atom numarası 57, atom ağırlığı 138.92 olan bir nadir toprak elementidir. 1839 yılında Cari Gustav Mosander tarafından yapılan bir çalışmayla serbest haldeki oksitten ayrılarak bulunmuştur. Gri renkli, yumuşak ve dövülebilir özelliktedir. Lantanitler grubuna dahildir ve katı formda bulunur. Yanıcıdır ve seyreltik haldeki asitlerden etkilenebilmektedir. Resim 4.1’de lantan elementi ve kullanım alanları gösterilmiştir (Şahiner ve ark., 2017).

Erime noktası 920 °C, kaynama noktası 3464 °C ve yoğunluğu 6,15 gr/cm³ dür. Nem bulunmayan ortamda kararlı özelliği gösterir ve sıcak su ile çok çabuk tepkimeye girer. Oksit formda lantan oksit ve lantan hidroksit olarak bulunur. %38 oranda bastnasit ve %25 oranda monantit den elde edilir. Mish metali çakmak taşı üretiminde kullanılmakta ve %25 oranda lantan içermektedir. Özellikle fotoğrafçılıkta, aydınlatmalarda, optik ve sinema sektöründe kullanılmaktadır (Öztürk ve ark., 2019).

4.4. Seryum ve Kullanım Alanları

Seryum, "Ce" sembolü ile ifade edilir ve atom numarası 58 dir. NTE ler içerisinde ilk keşfedilen ve doğada bol miktarda bulunan bir elementtir. Başka elementlerle birlikte rahatlıkla tepkimeye girebilir. Resim 4.2’de seryum elementi ve kullanım alanları verilmiştir (Şahiner ve ark., 2017).

Seryum, yumuşak, sünek ve gri renkli bir metaldir. Yoğunluğu 6,78 gr/cm³ dür. Erime ve kaynama noktaları sırasıyla 795 °C ve 3,257 °C dir. Atom ağırlığı 140,11 dir. Seryum, hava ile reaksiyona girer ve demirdeki paslanmaya benzer şekilde yüzeyinde oksitlenme oluşur. Soğuk ve sıcak su ile de tepkimeye girer, su sıcaklığı yükseldikçe reaksiyon hızı artar. Ayrıca metaller, asitler ve bazlarla da reaksiyona girme özelliğine sahiptir (Lou ve ark., 2018).

Aynı seride bulunan diğer elementlere kıyasla minerallerine daha rahat ayrılır. Metal formu, seryum flüorür ve kalsiyumun ısıtılması yoluyla ya da eriyik seryum oksitten elektroliz edilerek oluşturulur (Lou ve ark., 2018).

Seryumla birlikte seryum oksit bileşiğinin ticari kullanımı yaygındır. Seryum çakmaklarda kullanılan çakmaktaşı denilen miskmetal alaşımındaki ana bileşendir. Bu alaşım seryumun kıvılcım çıkarma özelliğinden faydalanılarak çakmaklarda kullanılır.

Seryum oksit yüksek kaliteli optik yüzeylerde kullanılan diğer metal oksitlerin yerini almıştır. Alaşımlar başta olmak üzere aydınlatma sistemlerinde aranan bileşenlerden biridir. Demir alaşımlarında önemli bir maddedir. Süper alaşımların yüksek sıcaklık oksidasyon direncini artırmak için yaygın olarak kullanılır. Endüstriyel ölçekli elektrosentez uygulamalarında geri dönüşümlü bir oksidan olarak metansülfonik asit çözeltilerine seryum katılır. Bazı bileşikleri organik kimyada, elektronik bileşenlerde oksitleyici olarak, kantitatif analizlerde birincil standart olarak kullanılır (Lou ve ark., 2018).

Seryum ve bileşiklerinin bazı kullanım alanları şunlardır; katalitik konvertörler, pigmentler, televizyon cam plakaları, jet motorları alaşımları, porselen kaplamalar, enerji tasarruflu ampuller, projektörler, mıknatıslar, paslanmaz çelik, gözlükler vb.

5. LİTERATÜR TARAMASI

Karim Shelesh-Nezhad ve ark., polipropilenin (PP) matrisli ve kalsit (CaCO_3) katkılı karışımdaki mekanik özellikleri gözlemlemişlerdir. Araştırmalarında polipropilen (PP) oranı %100 , kalsit katkıları ise %5, %10 ve %15 olacak şekilde karışımlar hazırlanarak deney numuneleri elde etmişlerdir. Deneyler neticesinde kalsit (CaCO_3) takviyesinin artmasıyla gerilme ve kopma dayanımlarının azaldığı görülmüştür. Bunun yanında darbe mukavemeti ve kopma uzamasında ise ciddi artışlar olduğu tespit edilmiştir.

Branchet ve ark., geri dönüşüm ürünü olan polipropilenin (PP) mekanik özelliklerinde katkı maddelerinin etkisini incelemişlerdir. Araştırma kapsamında elastomer (EOR) ve kalsit (CaCO_3) katkı maddeleri kullanılmıştır. Katkı maddelerinin eklenmesinin geri dönüştürülmüş polipropilenin (PP) mekanik özelliklerine olumlu etki sağladığı gözlemlenmiştir. Deney numuneleri, çekme testi, charpy darbe testi, yaşlandırma, akış ve yoğunluk testlerine tabi tutulmuştur. Yapılan deneyler neticesinde geri dönüştürülmüş polipropilen (PP) içerisindeki kalsit (CaCO_3) ve elastomer (EOR) oranının artması deney numunesinin akma dayanımının düşmesine neden olmuştur. Deneyler sonucunda, yapılan ölçümlere göre, geri dönüştürülmüş polipropilen (PP) malzemenin, ilave edilen kalsit (CaCO_3) ve elastomer (EOR) oranının artışına bağlı olarak maksimum kuvveti üzerinde ciddi bir değişiklik oluşturmadığı gözlemlenmiştir.

L.Zhang ve ark., araştırmalarında polipropilen (PP) malzemeye farklı boyutlarda ilave elastomer ve kalsit (CaCO_3) katarak dayanımı incelemişlerdir. Çalışma kapsamında polipropilen (PP) malzemeye farklı boyutlardaki kalsit (CaCO_3) parçaları ve elastomer ilave edilerek deney numuneleri oluşturulmuştur. Yapılan testler, kalsite (CaCO_3) kıyasla eklenen elastomerin dayanımı daha fazla arttırdığını ortaya çıkarmıştır. İzod darbe dayanımı test sonuçlarına göre, polipropilen (PP) içerisine eklenen elastomerin, kalsite (CaCO_3) göre daha olumlu sonuçlar ortaya çıkardığı görülmüştür. İlave edilen kalsitin (CaCO_3) elastikiyet modülünün artmasına neden olduğu görülmüşken, elastomer eklenmesi durumunda elastikiyet modülünde azalma meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Elloumi ve ark., araştırmalarında geri dönüşümsüz ve geri dönüştürülmüş polipropilen (PP) malzemelere değişik miktarlarda kalsit (CaCO_3) ekleyerek meydana gelen numunelerin termo-mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Deney sonuçlarına göre, geri dönüştürülmüş polipropilen (PP) malzemeye eklenen kalsit (CaCO_3) miktarı yükseltildiğinde; kopma, akma, gerilme dayanımı ve elastikiyet modülü değerlerinin çok

az oranda azaldığı tespit edilmiştir. Geri dönüşümsüz polipropilen (PP) malzemeye ilave edilen kalsit (CaCO_3) miktarı yükseltildiğinde ise, kopma, akma ve gerilme mukavemeti değerlerinin azaldığı, elastikiyet modülü değerinin arttığı gözlemlenmiştir. Deney sonuçları, geri dönüşümsüz polipropilen (PP) malzemeye ilave edilen kalsit (CaCO_3) miktarı arttırıldığında; izod darbe mukavemeti değerlerinin düştüğünü, elastikiyet modülü değerlerinin ise arttığını göstermiştir. Geri dönüşümlü polipropilen (PP) malzemeye eklenen kalsit (CaCO_3) miktarı arttırıldığında ise, elastikiyet modülü değerlerde önemli oranda bir değişim görülmüş. izod darbe mukavemeti değerlerinde de %20 lik oranda kullanıldığında 8 kJ/m^2 den 20 kJ/m^2 e arttığı gözlemlenmiştir.

Baydar (2016) matris malzemesi olarak polivinil klorür (PVC) kullanılan numunelerdeki fiziksel, mekanik ve termal özellikler üzerindeki değişimleri araştırmış, dolgu malzemesi olarak farklı oranlarda baryum sülfat (BaSO_4), kalsiyum karbonat (CaCO_3), karbon siyahı, yer fıstığı kabuğu ve kaolin kullanılmıştır. Elde edilen numunelerin fiziksel, mekanik ve termal özellikler üzerindeki değişimlerin karakterize edilebilmesi için termal uzama ve termal stabilite, yoğunluk, vicat yumuşama sıcaklığı, soğuk darbe dayanımı, charpy darbe dayanımı ve sertlik gibi değerlerin test sonuçlarına bakılmıştır. Sonuçlar, dolgu maddelerinin etkisiyle termal dayanımda artış sağlanırken, darbe dayanımlarında ise azalma görülmüştür. Böylece yüksek darbe dayanımına gerek olmayan yerlerde PVC matrisli malzemelerin kullanılmasının uygun olduğu görülmüştür.

Kismet ve Wagner (2018) dolgu maddesi olarak kullanılan elektrostatik toz boya atıklarının polipropilen (PP) matris malzemesi içerisindeki etkilerini incelemişlerdir. Öncelikle dolgu maddesi olan toz boya atıkları hidrolize edilmiş ve öğütüldükten sonra deney numunelerinin üretimi için hazır hale getirilmişlerdir. Farklı ağırlık oranlarındaki (%10, %20, %30 ve %40) karışımlardan sadece %40 ağırlıktaki dolgu maddesinde bağlayıcı eklenmiştir. Daha sonra ekstrüzyon işlemine geçilerek istenilen parametrelerde ekstrüderden malzeme çekilmiş ve kırılarak pelet formuna getirilmiştir. Pelet haldeki granüllerin eriyik akış indeksi (MFI) sonuçlarına bakılmış, sonrasında plastik enjeksiyon prosesiyle deney numunelerinin üretilmesi işlemi bitirilmiştir. Elde edilen deney çubukları üzerinde çekme testi, eğilme testi, izod darbe testi yapıldıktan sonra elektron mikroskobunda yüzeydeki değişimler gözlemlenmiştir. Yapılan gözlemlerde eklenen dolgu miktarıyla MFI değerlerinin yükseldiği, çekme dayanımının da yükseldiği görülmüştür. Ayrıca kullanılan bağlayıcı malzemenin etkisiyle hem bağlanma mekanizmasının iyileştiği hem de mekanik özelliklerin iyileştiği de ortaya çıkmıştır.

6. MATERYAL VE METOT

Bu kısımda, matris malzeme olarak kalsit katkılı Alçak yoğunluklu polietilen (AYPE), dolgu maddeleri olarak ise AYPE, elektrostatik toz boya ve nadir toprak elementlerinden (lantan, seryum) elde edilen çözeltiler kullanılmıştır. Geri dönüşüm AYPE olarak GEMA polimer firmasından “gematilen FK70” marka ağırlıkça %70 oranında kalsit katkılı termoplastik kompozit kullanılmıştır. Saf AYPE olarak ise PETKİM firmasının I22-19T marka termoplastik kullanılmıştır. Elektrostatik toz boya atığı olarak ise polyester/epoksi esaslı toz boya atıkları değerlendirilmiştir. Geliştirilen dolgu maddelerinde NTE olarak %90 ve üzeri saflık oranlarına sahip lantan ve seryum çalışılmıştır.

Yapılan tüm deneysel çalışmalar, testler ve imalatlar Munzur Üniversitesi Makine Mühendisliği Polimer Teknolojileri Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmaların işlem sırası Tablo 6.1’de gösterilmiştir.

Tablo 6.1. Yapılan çalışmaların işlem sırası

1. Geliştirilen dolgu maddelerinde kullanılan elektrostatik toz boyalar ve nadir toprak elementlerinin (lantan/seryum) araştırılması
2. Termoplastiklerin ve dolgu maddesi olarak kullanılacak malzemelerin temini ve karışımların hazırlanması
3. Termoplastikler ve termoplastik matrisli karışımlar için MFI testlerinin yapılması ve sonuçların incelenmesi
4. Ekstrüzyon işlemi ile homojen karışımların meydana getirilmesi ve granül eldesi
5. Plastik Enjeksiyon makinesinde test çubuklarının üretimi
6. Elde edilen numunelere mekanik, termal ve morfolojik olarak incelenmesi
7. Sonuçlarının analiz edilmesi ve yorumlanması

Çalışma kapsamında öncelikle AYPE matrisli malzemelerde kullanılmak üzere elektrostatik toz boya atıkları modifiye edilerek lantan ve seryum ile güçlendirilmiş ve dolgu maddesi olarak kullanılmaya hazır hale gelmiştir. Daha sonra, matris malzeme ile dolgu malzemeleri belirli oranlarda karıştırılarak eriyik akış indeksi (MFI) analizleri yapılmıştır. Bundan sonraki aşama, ekstrüzyonla homojen karışım elde edilmesidir.

Mekanik olarak karıştırılan matris ve dolgu maddeleri belirli sıcaklıklarda ekstrüzyonda homojen karışım haline getirilmiştir. Eriyik haldeki hammadde, mekanik kırıcı makinesi yardımı ile istenilen kesitte ve granüller halinde elde edilmiştir. Granül eldesinden sonra sıradaki aşama plastik enjeksiyon makinası ile kalıplama işleminin yapılmasıdır. Granüller plastik enjeksiyon makinası kullanılarak belirli sıcaklık ve basınçta kalıplanarak test için kullanılacak numuneler elde edilmiştir. Sıradaki işlem, elde edilen numunelerin mekanik ve termal özelliklerinin incelenmesidir. Test numunelerinin çekme ve eğilme testleri ile termal analizleri yapılarak elektron mikroskobu ile kesit görüntüleri incelenmiştir. Son aşamada, yapılan deneysel çalışmaların sonuçları yorumlanmıştır. Ortaya çıkan sonuçlar, grafikler ve tablolarla gösterilerek yorumlanmış ve tezin son hali oluşturulmuştur.

6.1. Karışımların Hazırlanışı

Tez çalışması kapsamında dolgu maddesi olarak, öncelikle 3 farklı dolgu maddesi oluşturulmuştur. İlk dolgu maddesi oluşturulurken %50 oranında saf alçak yoğunluklu polietilen (AYPE) sentetik tiner çözeltisinde bekletilerek jel kıvamına getirilmiş ve %50 oranında elektrostatik toz boya eklenerek katılaşması beklenmiştir. Katılaştıktan sonra tekrar kırılarak granül hale getirilerek dolgu maddesi-1 (DM-1) elde edilmiştir. İki numaralı dolgu maddesi için ise öncelikle %50 oranında granül haldeki alçak yoğunluklu polietilen (AYPE) yine tiner çözeltisinde bekletilerek jel kıvamına getirilmiştir. Fakat bu sefer toz boya atığı direk bu çözeltiye karıştırılmamıştır. %49 oranındaki toz boya atığı %1 oranında su içerisinde çözülmüş lantan çözeltisi içerisine karıştırılmış ve daha sonra AYPE çözeltisi içerisine eklenmiştir. Bu şekilde elde edilen karışım kurutulduktan sonra kırılarak granül hale getirilmiş ve dolgu maddesi-2 (DM-2) elde edilmiştir. Dolgu maddesi-3 (DM-3) de benzer şekilde hazırlanmış, lantan yerine seryum kullanılmıştır. Belirtilen şekilde geliştirilen her üç dolgu maddesi de ayrı ayrı hem geri dönüşüm PP’de hem de AYPE’de katkı maddesi olarak kullanılmıştır. Bu dolgu maddeleri belirtilen matris malzeme içerisine ağırlıkça %10 dan %30 oranlarına kadar eklenmiştir. DM-1 , DM-2 ve DM-3 Resim 6.1’de gösterilmiştir.



Resim 6.1. DM-1 , DM-2 ve DM-3 (Orijinal)

GEMA polimer firmasından gematilen FK70 kodlu %70 oranında kalsit katkı alçak yoğunluklu polietilen (AYPE) temin edilmiştir. Temin edilmiş olan ürüne ait resim Resim 6.2’de gösterilmiş olup, ürünün katalog değerleri Tablo 6.2’de verilmiştir.



Resim 6.2. %70 Kalsit katkılı GD AYPE (Orijinal)

Tablo 6.2. GD AYPE nin teknik özellikleri

Özellikler	Değer	Birim	Metot
Eriyik Akış İndeksi (190°C / 2,16 kg)	0.25	g/10dk.	ISO 1133
Yoğunluk	1.71	g/cm ³	ISO 1183
Kül İçeriği	70	%	ISO 3451
Nem İçeriği	0.02	%	ISO 787

6.2. Eriyik Akış İndeks (MFI) Testleri

Her bir karışıma ait olarak öncelikle eriyik akış analizleri (MFI) gerçekleştirilecek olup kütleli ve hacimsek olarak akışkanlık değerleri ile yoğunluk değişimleri tespit edilecektir. Daha sonra numune üretimlerine geçilecektir. Eriyik akış analizleri (MFI) Munzur Üniversitesi Makine Mühendisliği Polimer Teknolojileri Laboratuvarında Teskon JPT EQUIPMANT XRL-400 MFI cihazı kullanılarak ISO standartlarında yapılmıştır. MFI deneyinde, öncelikle sıcaklık ve yükleme koşulları belirlendikten sonra cihaz açılarak ayarlanan sıcaklık değerine gelene kadar beklenir. İstenen sıcaklık değerine ulaşıldıktan sonra cihaz sesli uyarı vererek test işlemine hazır hale geldiğini gösterir. Cihazın numune koyma haznesine toplamda 8 gram karışım konulur. Numune hazneye konulduktan sonra ön yükleme çubuğu ve ağırlığı üzerine katalog değerlerinde tavsiye edilen yükleme ağırlığı sağlanana kadar ek ağırlık konulur. İstenilen yükleme ağırlığına ulaşıldıktan sonra cihaz test işlemine başlatılır. Haznedeki numune üzerine etki ederek eriyik haldeki plastiğin akmasına neden olan yükün alt kısmında belirli uzaklıkta, eriyiğin akma uzunluğunu ölçen hassas bir çubuk bulunur. Ağırlık bu çubuğa temas edene kadar eriyik haldeki plastik haznenin alt kısmından akmaya devam eder. Temas edene kadar akan bu eriyik malzeme hesaba katılmaz ve ağırlık hassas çubuğa değdiği anda cihaz sesli uyarı verir, bu anda akan fazla eriyik kesilerek alınır ve test işlemi başlar. Yapılan MFI analizlerinde kesme süresi olarak 20 sn seçilmiştir. Her 20 sn de bir cihaz sesli uyarı vermiş ve o aralıkta eriyerek akan karışım kesilerek alınmıştır. Bu şekilde her 20 sn de bir akan eriyik kesilmiş ve ağırlığın altındaki hassas çubuk toplamda 30 mm aşağı inene kadar işlem devam etmiştir. 30mm tamamlandığında cihaz son sesli uyarıyı verir ve o anda son parça kesilerek işlem tamamlanır. Kesilen tüm numunelerin toplam ağırlıkları hassas terazi yardımı ile ölçülmüş ve toplam ağırlık kesilen parça sayısına bölünerek numunelerin ortalama ağırlıkları bulunmuştur. Ortalama ağırlık değeri MFI ölçüm cihazında ekrana girilerek test sonuçları görüntülenmiştir. MFI cihazı Resim 6.3’de gösterilmiştir.



Resim 6.3. MFI ölçme cihazı (Orijinal)

İlk olarak polimer malzemelerin saf hallerinin eriyik akış indeksi (MFI) deneyi yapılmıştır. Bundan sonra ise %10, %20, %30, %40 ve %50 oranlarında granül haldeki dolgu maddeleri (DM-1, DM-2 ve DM-3) eklenmiş ve karışımların MFI değerleri ölçülmüştür. Yapılan testler kalsit katkılı AYPE için 190 °C sıcaklık ve 5 kg yükleme ağırlığında, kalsit katkılı PP için ise 230 °C sıcaklık ve 2,16 kg yükleme ağırlığında gerçekleştirilmiştir. Böylece saf haldeki polimer malzemelere farklı oranlarda dolgu maddesi ilavesinin akışkanlık ve yoğunluk değerlerine nasıl etki ettiği gözlemlenmiştir.

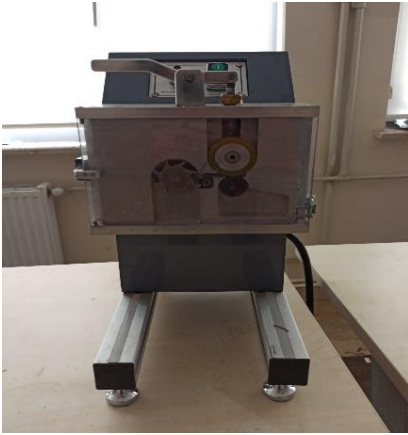
6.3. Ekstrüzyon ile Homojen Karışım Elde Edilmesi

Plastik ekstrüzyon işlemine başlamadan önce ilk olarak bir mikserde mekanik karışımlar hazırlanmış ve daha sonra ekstrüzyonda uygun sıcaklıkta bu mekanik karışımlar homojen hale getirilmiştir. Ekstrüzyon makinasının sıcaklık ayarı karışım içinde bulunan matris malzemenin erime sıcaklığı değerine göre ayarlanmış ve eriyik hale gelen matris malzeme ile katkı maddesinin karışması gerçekleştirilmiştir. Bu karışım işleminde Munzur Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Polimer Teknolojileri laboratuvarındaki üç bölge ısıtmalı ekstrüzyon makinesinden faydalanılmıştır. Alçak yoğunluklu polietilen (AYPE) için ekstrüzyon makinesindeki ısıtıcı bölgelerin sıcaklıkları 210 °C, 220 °C ve 230 °C, vida dönüş hızı 13 rpm olarak ayarlanmıştır. Resim 6.4’de kullanılan ekstrüzyon makinesi gösterilmiştir.



Resim 6.4. Ekstrüzyon makinesi (Orijinal)

Bu işlemden sonra ekstrüzyon makinesinin çıkış kısmındaki silindir kesitli kalıptan dışarı akan ortalama 3 mm çapa sahip eriyik haldeki malzeme su havuzu içerisine daldırılarak soğuması sağlanmıştır. Soğutulduktan sonra kırıcı yardımıyla ortalama 2-5 mm boyutlarında granül halde form alması sağlanmış ve enjeksiyon kalıplama işlemine hazır hale getirilmiştir. Kırıcı makinesi Resim 6.5’de gösterilmiştir.



Resim 6.5. Kırıcı makinesi (Orijinal)

6.4. Plastik Enjeksiyon Makinesi ile Numune Üretilmesi

Akışkanlıkla ilgili elde edilecek sonuçlara göre ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranlarında granül haldeki dolgu maddeleri matris malzemeler ile karıştırılmış ve Polimer Teknolojileri laboratuvarındaki 100 Ton mengene kapama kuvvetindeki plastik enjeksiyon makinesi ile kalıplanmıştır. Kullanılacak plastik enjeksiyon makinesi ekstrüzyon makinesi gibi üç bölgeli ısıtmaya sahip olup, alçak yoğunluklu polietilen (AYPE) için 220 °C sıcaklık aralıklarında kalıplama işlemleri yapılmıştır. Böylece belirtilen matris ve dolgu maddesi oranlarına sahip numuneler elde edilmiştir. Plastik enjeksiyon makinesi Resim 6.6’da verilmiştir.

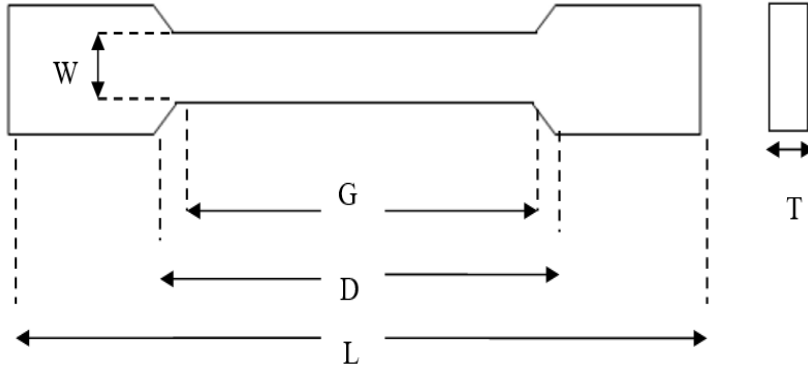


Resim 6.6. Plastik enjeksiyon makinesi (Orijinal)

Böylece belirtilen matris ve dolgu maddesi oranlarına sahip numuneler elde edilmiştir. Üretilen numunelerin resmi Resim 6.7’de, boyutları Şekil 6.1’de ve ölçüleri Tablo 6.3’de gösterilmiştir.



Resim 6.7. Üretilen plastik çubuklar (Orijinal)



Şekil 6.1. Deney çubuğu şematik görünüş

Tablo 6.3. Deney çubuğu ölçü değerleri

Sembol / İsim	Değer
G: Ölçü uzunluğu	80 ± 2 mm
D: Azaltılmış bölüm uzunluğu	100 ± 2 mm
L: Toplam uzunluk	160 ± 2 mm
W:Kavrama bölümünün genişliği	10 ± 2 mm
T:Kalınlık	4 ± 0.2 mm

6.5. Mekanik Testler

Bu kısımda elde edilen numunelerin mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Mekanik testlerde ilk olarak çekme ve üç nokta eğilme testleri Munzur Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarındaki “Shimadzu ag-x 10” çekme cihazı ile DIN EN ISO 178 normlarına göre gerçekleştirilmiştir. Çekme ve eğilme cihazı Resim 6.8’de gösterilmiştir.



Resim 6.8. Çekme ve eğilme test cihazı (Orijinal)

Çekme ve üç nokta eğilme testleri sonucunda elde edilen verilerin görselleştirilmesi için test cihazı ile bağlantılı çalışan Trapezium-x yazılımından faydalanılmıştır.

6.5.1. Çekme testi

Çekme testinde deney numunesine tek eksenli bir çekme gerilmesi uygulanır. Deney numunesine etki eden gerilmeler Trapezium-x programı yardımıyla görsel hale getirilir. Elde edilen veriler deney numunesinin mekanik davranışlarında ne gibi değişimlerin meydana geldiğini gösterir.

Çekme testi Munzur Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarındaki “Shimadzu ag-x 10” çekme cihazı ile DIN EN ISO 178 normlarına uygun olarak yapılmıştır. Çubuklar eksenel yönde 50 mm/dak. hız ile çekmeye zorlanmıştır. Her bir karışım oranına ait olarak 5 deney numunesi test edilmiş olup bu çubuklar için gerilme-gerinim grafikleri çizdirilmiş ve maksimum gerilme ve elastisite modülü değerleri elde edilmiştir. Çekme deneyi Resim 6.9’da gösterilmiştir.



Resim 6.9. Çekme deneyi (Orijinal)

6.5.2. Üç nokta eğilme testi

Üç nokta eğilme testi, eğilme testleri içinde en yaygın kullanılan deney yöntemidir. Testi yapılacak olan daire ya da dikdörtgen kesitli numune yatay olarak serbest şekilde iki destek üzerine oturtulur ve üst kısmından tam orta noktadan bir kuvvete maruz bırakılır. Bu kuvvet etkisinde meydana gelen şekil değişimi sonucunda deney numunesinin eğilme mukavemeti, eğilme momenti, oluşan sehim ve elastiklik modülü değerleri bulunur.

Üç nokta eğilme testi Munzur Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarındaki “Shimadzu ag-x 10” çekme cihazı ile 10 mm/dak. hız uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Her bir karışım için 5 deney numunesi kullanılarak maksimum gerilme ve kuvvetler için dayanımlar elde edilmiştir. Üç nokta eğilme deneyi Resim 6.10’da gösterilmiştir.



Resim 6.10. Eğilme deneyi (Orijinal)

6.6. Termal Testler

Numunelerin termal testleri termogravimetrik analiz (TGA/DTA) yapılarak incelendi. Belirlenen sıcaklık aralıklarında ısıtılan numunelerde meydana gelen kütle kayıpları ve kalan kütle belirlenir. Kütle kayıpları ve endotermik tepkimelerle ortamdan çekilen enerji TGA/DTA analizleri ile gözlemlenir.

Numunelerin termogravimetrik (TGA/DTA) analizleri Munzur Üniversitesi Kimya Mühendisliği Laboratuvarındaki azot gazı soğutmalı “DTG 60” TGA/DTA cihazı kullanılarak yapılmıştır. TGA/DTA cihazı Resim 6.11’de verilmiştir.



Resim 6.11. Azot gazı soğutmalı TGA/DTA cihazı (Orijinal)

6.7. Morfolojik Testler

Numunelerin matris ve dolgu malzemelerinin birbirine bağlanma özellikleri ve yüzey morfolojileri farklı ölçekler ile Munzur Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği laboratuvarında bulunan “Hitachi su3500” marka taramalı elektron mikroskobu kullanılarak gözlemlenmiştir. Yapılan gözlemlerde taranmış bölgelere “Oxford INCA” marka enerji dağılımlı X-ışını spektrometresi (EDS) uygulandı. Numunelerdeki X-ışını kırınım desenlerinin incelenmesi, “Rigaku miniflex60” marka kırınım ölçer ile kaydedilerek yapıldı. Örnekler 15 mA akım ve 40 kV voltaj değerleri altında Cu-Ka radyasyonundan ışınladı. X-ışını difraksiyon spektroskopisi (XRD) ise 1,5406 (λ) dalga boyu 10° ile 90° arasında, $0,02^\circ$ adım hızında ve dakikada 2° tarama hızıyla yapılmıştır. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) cihazı Resim 6.12’de, chamber bölümü ise Resim 6.13’de ve X-ışını difraksiyon spektroskopisi (XRD) cihazı ise Resim 6.14’de gösterilmiştir.



Resim 6.12. HITACHI SU 3500 SEM cihazı (Orijinal)



Resim 6.13. SEM cihazı chamber bölümü (Orijinal)



Resim 6.14. Rigaku miniflex60 marka kırınım ölçer (XRD) cihazı (Orijinal)

Öncelikle örnek numuneler taramalı elektron mikroskobu (SEM) cihazı için hazır hale getirildi. Hazır haldeki numunelerden görüntü alınabilmesi amacıyla altın kaplama cihazı kullanılarak görüntüsü alınacak yüzeyler iletken hale getirilmiştir. Daha sonra numuneler SEM cihazının ‘chamber’ kısmına yerleştirilerek işleme başlandı.

7. BULGULAR

Bu bölümde elde edilen sonuçlar tablolar ve grafikler ile verilmiştir.

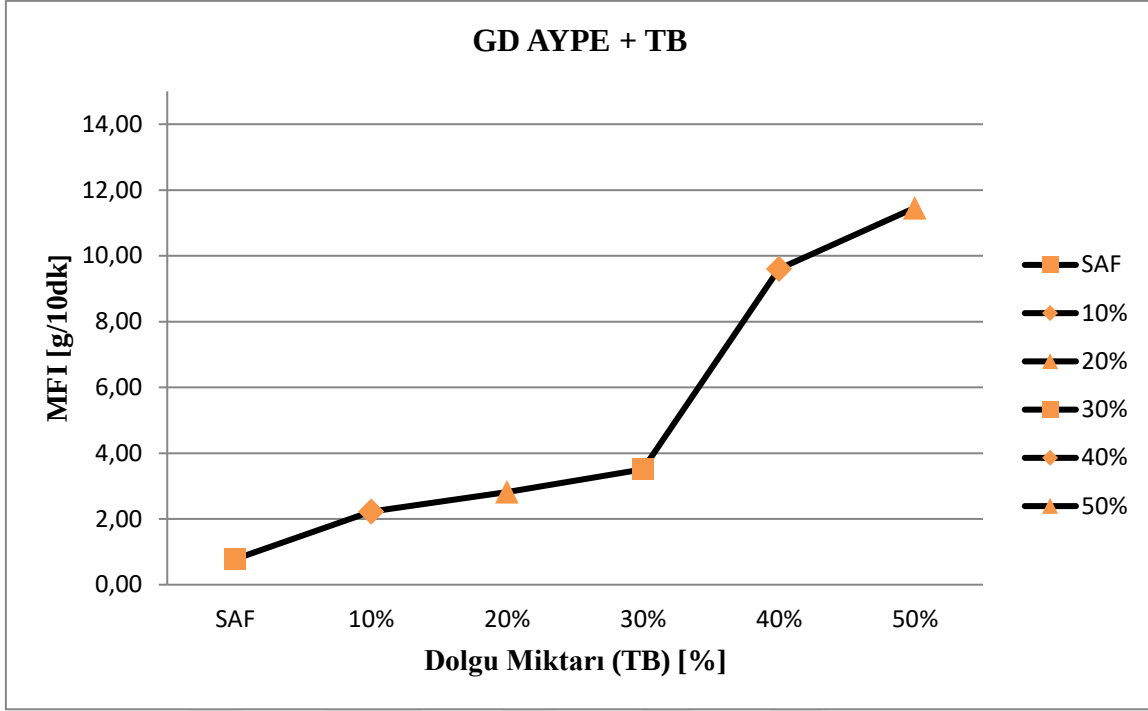
7.1. Eriyik Akış Analiz (MFI) Sonuçları

Aşağıda Tablo 7.1’de geri dönüşüm alçak yoğunluklu polietilen (GD AYPE) ve DM-1 katkılı karışımlara ait eriyik akış analiz (MFI) sonuçları verilmiştir.

Tablo 7.1. GD AYPE ve DM-1 karışımlarının MFI sonuçları

KATKI ORANI	TOPLAM AĞIRLIK (GR)	ÖRNEK SAYISI	ORTALAMA AĞIRLIK (GR)	MFR	MVR	DENSİTY
%0	3,289 gr	127	0,026 gr	0,78 g/10dk	0,42 cm ³ /10dk	1,8 g/cm ³
%10	2,906 gr	39	0,0745 gr	2,22 g/10dk	1,49 cm ³ /10dk	1,485 g/cm ³
%20	2,923 gr	31	0,094 gr	2,82 g/10dk	1,92 cm ³ /10dk	1,466 g/cm ³
%30	2,826 gr	24	0,1177 gr	3,51 g/10dk	2,56 cm ³ /10dk	1,366 g/cm ³
%40	2,564 gr	8	0,3205 gr	9,60 g/10dk	8,75 cm ³ /10dk	1,097 g/cm ³
%50	2,294 gr	6	0,382 gr	11,46 g/10dk	11,31 cm ³ /10dk	1,013 g/cm ³

Tablo 7.1’de elde edilen sonuçlara ait grafik Şekil 7.1’de verilmiştir.



Şekil 7.1. DM-1 değişimine bağlı olarak GD AYPE nin eriyik akış indeksi (MFI) değerleri

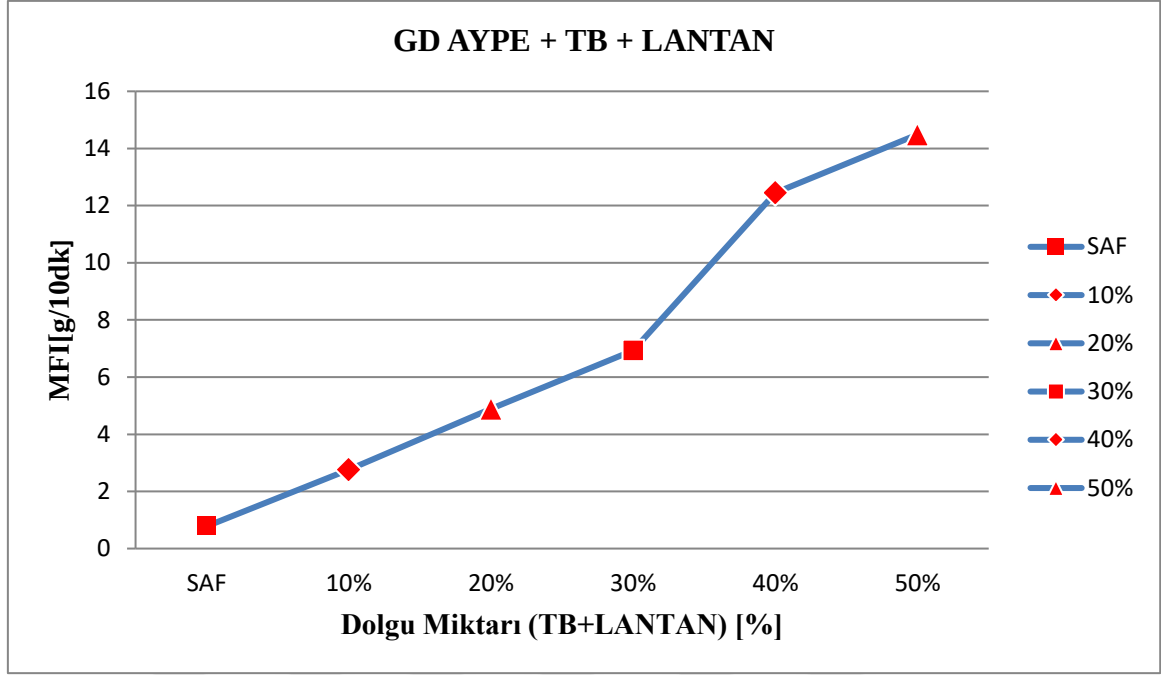
Şekil 7.1’de DM-1 değişimine bağlı olarak GD AYPE nin eriyik akış indeksindeki (MFI) değişimi gösterilmiştir. Saf halden itibaren artan dolgu oranıyla akışkanlıkta düzenli bir artış olduğu görülmektedir. Saf GD AYPE nin akışkanlığı 0.78 g/10dk değerinden ağırlıkça %10 DM-1 katkısıyla 2.22 g/10dk değerine yükselmiş, DM-1 oranı ağırlıkça %20 olduğunda MFI değeri 2.82 g/10dk olarak az miktarda yükselmiştir. DM-1 oranı ağırlıkça %30 yapıldığında da artış miktarı az olmuş ve 3.51 g/10dk ya ulaşmış, asıl ciddi akışkanlık artışı ağırlıkça %40 oranından sonraki DM-1 oranı artışlarında görülmüştür. Ağırlıkça %40 oranında DM-1 ilavesiyle MFI değeri 9.60 g/10dk değerine yükselerek ciddi bir sıçrama yapmış, yine ağırlıkça %50 oranındaki DM-1 ilavesiyle akışkanlık değeri 11.46 g/10dk değerine ulaşarak bir miktar artış göstermiştir.

Aşağıda Tablo 7.2’de geri dönüşüm alçak yoğunluklu polietilen (GD AYPE) ve DM-2 katkılı karışımlara ait eriyik akış analiz (MFI) sonuçları verilmiştir.

Tablo 7.2. GD AYPE ve DM-2 karışımlarının MFI sonuçları

KATKI ORANI	TOPLAM AĞIRLIK (GR)	ÖRNEK SAYISI	ORTALAMA AĞIRLIK (GR)	MFR	MVR	DENSITY
%0	3,289 gr	127	0,026 gr	0,78 g/10dk	0,42 cm ³ /10dk	1,8 g/cm ³
%10	3,036 gr	33	0,092 gr	2,76 g/10dk	1,92 cm ³ /10dk	1,43 g/cm ³
%20	2,943 gr	18	0,163 gr	4,89 g/10dk	3,41 cm ³ /10dk	1,431 g/cm ³
%30	2,775 gr	12	0,231 gr	6,93 g/10dk	5,55 cm ³ /10dk	1,246 g/cm ³
%40	2,495 gr	6	0,4158 gr	12,45 g/10dk	10,88 cm ³ /10dk	1,143 g/cm ³
%50	2,416 gr	5	0,483 gr	14,49 g/10dk	15,37 cm ³ /10dk	0,943 g/cm ³

Tablo 7.2’de elde edilen sonuçlara ait grafik Şekil 7.2’de verilmiştir.



Şekil 7.2. DM-2 değişimine bağlı olarak GD AYPE nin eriyik akış indeksi (MFI) değerleri

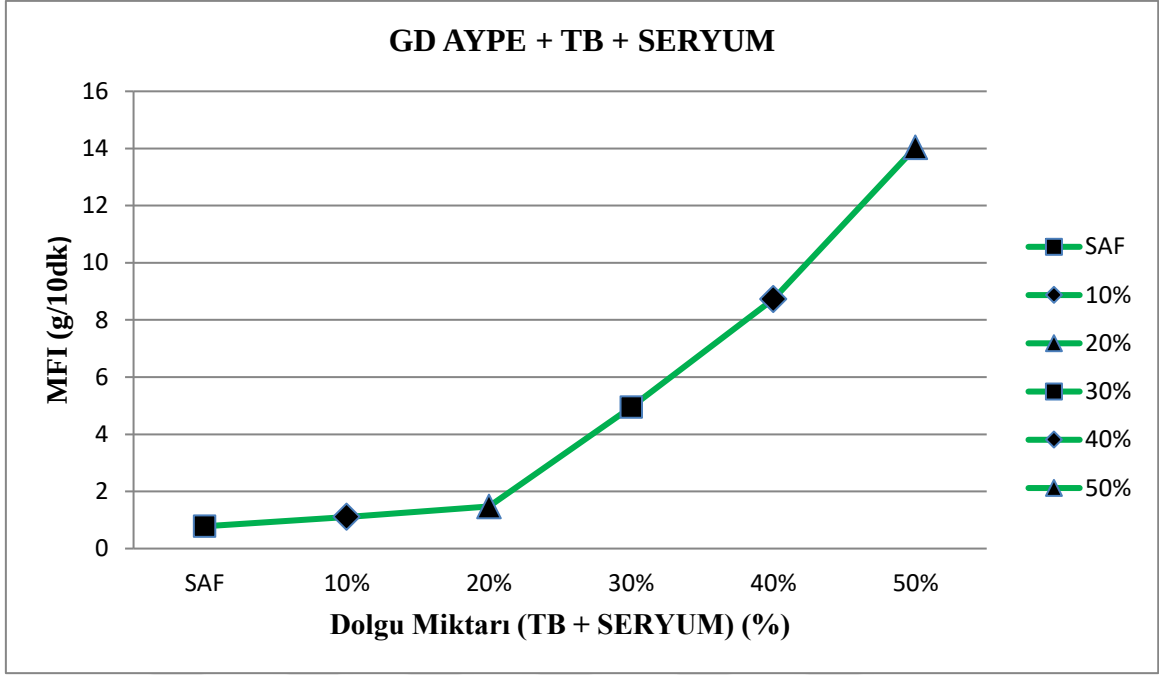
Şekil 7.2’de DM-2 değişimiyle GD AYPE nin eriyik akış indeksindeki (MFI) değişim verilmiştir. Saf haldeki GD AYPE den başlayarak artan dolgu oranına bağlı olarak akışkanlık değerlerinin düzenli olarak artış gösterdiği grafikte görülmektedir. Saf halde 0.78 g/10dk olan MFI değeri, ağırlıkça %10 oranında ilave edilen DM-2 etkisiyle 2.76 g/10dk değerine yükselmiş, akışkanlık değerleri eklenen dolgu miktarlarına paralel olarak sürekli artmış ve ağırlıkça %20 DM-2 ilavesiyle 4.89 g/10dk, ağırlıkça %30 oranında DM-2 ilavesiyle 6.93 g/10dk, dolgu oranı ağırlıkça %40 a çıkarıldığında 12.45 g/10dk ve son olarak DM-2 oranı ağırlıkça %50 olduğunda da MFI değerinin 14.49 g/10dk olduğu görülmüştür.

Aşağıda Tablo 7.3’de geri dönüşüm alçak yoğunluklu polietilen (GD AYPE) ve DM-3 katkılı karışımlara ait eriyik akış analiz (MFI) sonuçları verilmiştir.

Tablo 7.3. GD AYPE ve DM-3 karışımlarının MFI sonuçları

KATKI ORANI	TOPLAM AĞIRLIK (GR)	ÖRNEK SAYISI	ORTALAMA AĞIRLIK (GR)	MFR	MVR	DENSİTY
%0	3,289 gr	127	0,026 gr	0,78 g/10dk	0,42 cm ³ /10dk	1,8 g/cm ³
%10	3,031 gr	81	0,037 gr	1,11 g/10dk	0,64 cm ³ /10dk	1,733 g/cm ³
%20	2,986 gr	60	0,049 gr	1,47 g/10dk	1,06 cm ³ /10dk	1,360 g/cm ³
%30	2,651 gr	16	0,1656 gr	4,95 g/10dk	4,05 cm ³ /10dk	1,221 g/cm ³
%40	2,621 gr	9	0,291 gr	8,73 g/10dk	7,25 cm ³ /10dk	1,202 g/cm ³
%50	2,341 gr	5	0,468 gr	14,04 g/10dk	13,23 cm ³ /10dk	1,061 g/cm ³

Tablo 7.3’de elde edilen sonuçlara ait grafik Şekil 7.3’de verilmiştir.

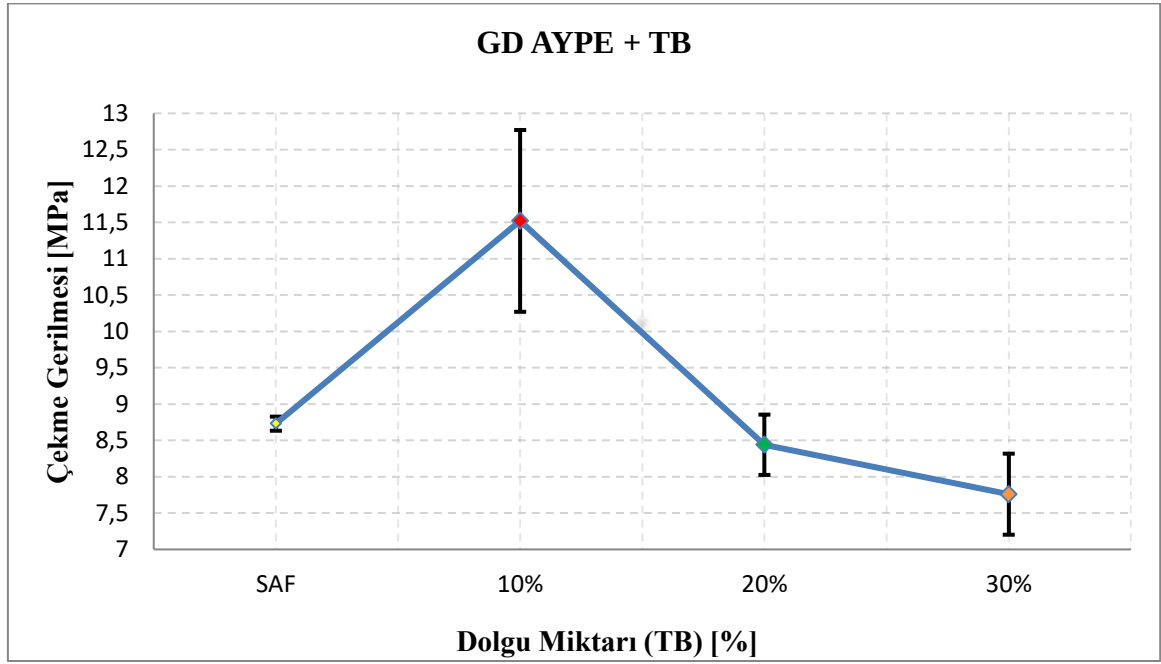


Şekil 7.3. DM-3 değişimine bağlı olarak GD AYPE nin eriyik akış indeksi (MFI) değerleri

Şekil 7.3’de DM-3 değişimine bağlı olarak GD AYPE nin eriyik akış indeksi (MFI) değerlerinin değişimi görülmektedir. Grafikte beş farklı oranda eklenen dolgu maddesinin etkisiyle saf haldeki GD AYPE nin eriyik akış indeksi (MFI) değerlerinin giderek arttığı gözlemlenmiştir. Ağırlıkça %10 oranındaki DM-3 katkısı MFI değerini çok etkilememiş, az miktarda yükselmesini sağlayarak 0.78 g/10dk değerinden 1.11 g/10dk değerine gelmesine neden olmuştur. Yine aynı şekilde DM-3 oranı ağırlıkça %20 yapıldığında da artış miktarı az olmuş ve 1.47 g/10dk değerine ulaşmıştır. Eriyik akış indeksindeki gözle görülür değişim ağırlıkça %30 oranındaki DM-3 eklenmesiyle meydana gelmiş ve ciddi bir artışla 4.95 g/10dk sonucunu vermiştir. Ağırlıkça %30 değerinden sonraki DM-3 artışları MFI değerlerinde ciddi artışlar sağlamış ve ağırlıkça %40 DM-3 katkısıyla MFI değeri 8.73 g/10dk , ağırlıkça %50 DM-3 ilavesiyle ise akışkanlık 14.04 g/10dk değerine yükselmiştir.

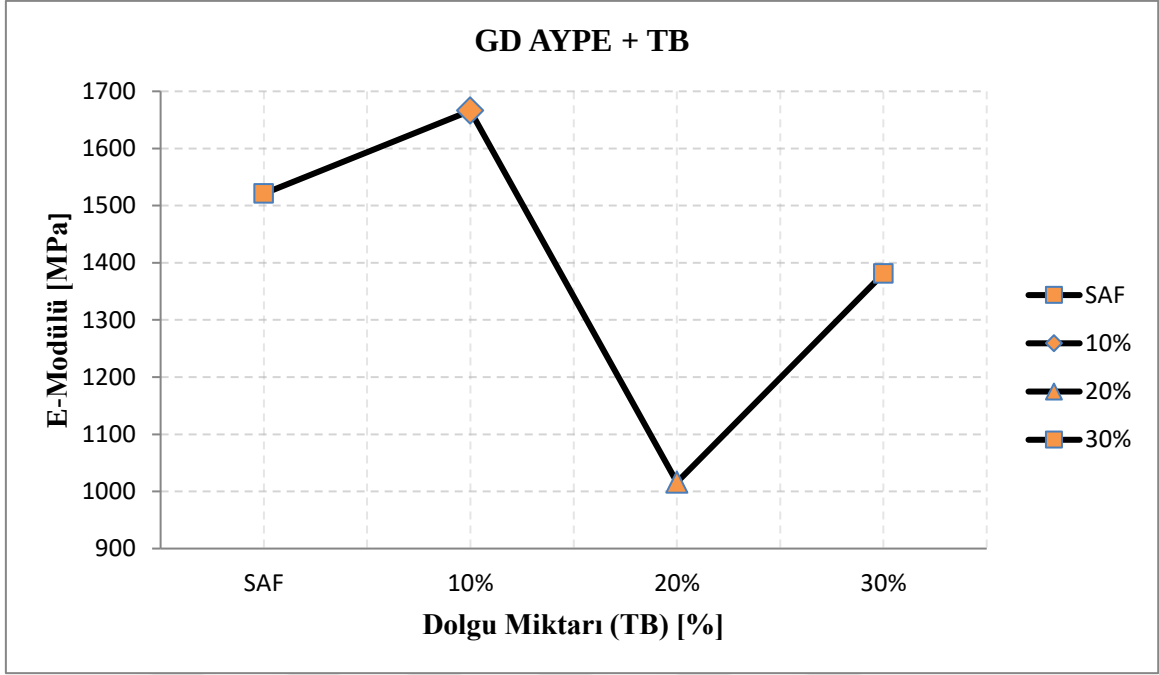
7.2. Çekme Mukavemeti Sonuçları

Her bir üretim parametresi için 5 numune alınıp çekme testine tabi tutulmuştur. Çekme testi ile ilgili sonuçlar karışım oranlarına göre sınıflandırılmış olup değerler GD AYPE ve katkı maddeli karışımlar için çekme testi sonuçları ‘‘ekler’’ kısmında verilmiş olup sonuçlarla ilgili grafikler aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



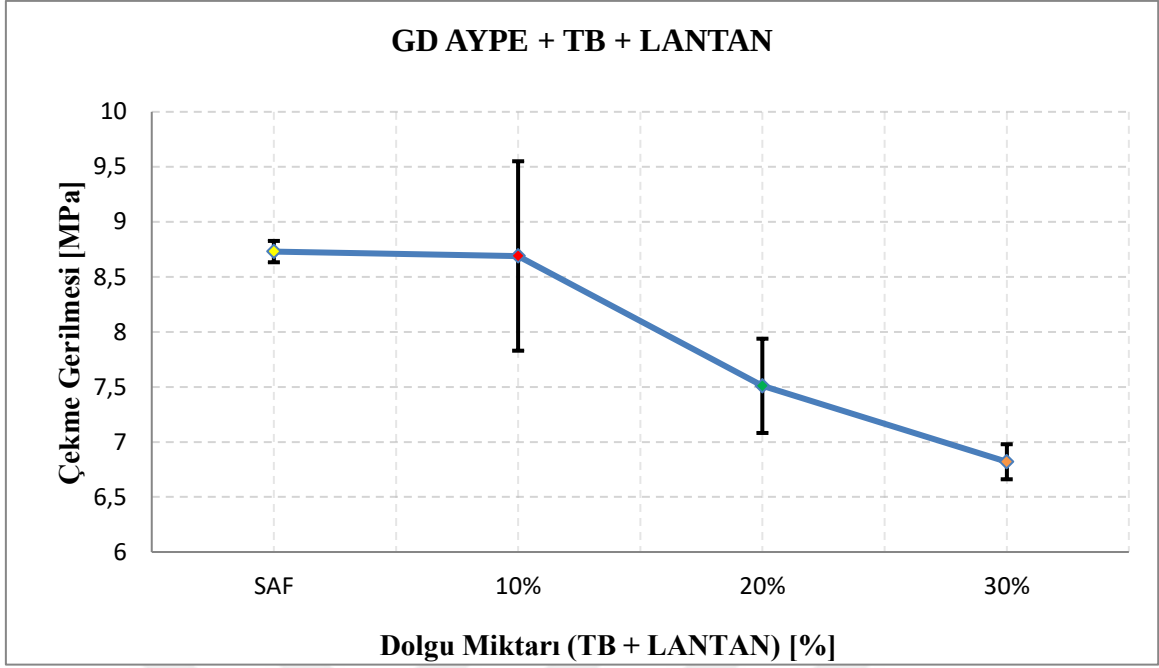
Şekil 7.4. DM-1 değişimine bağlı olarak GD AYPE nin çekme gerilmesi değerleri

Şekil 7.4’de dolgu maddesi-1 (DM-1) değişimiyle birlikte GD AYPE deki çekme gerilmesi değerlerinin değişimi verilmiştir. Ağırlıkça %10 oranındaki toz boya katkısı matris malzemenin çekme dayanımını artırmış, saf haldeyken 8.73 MPa olan çekme gerilmesi 11.52 MPa olmuştur. DM-1 oranı %20 yapıldığında ise saf haldeki GD AYPE nin çekme gerilmesi değerinin bir miktar altına düşerek 8.44 MPa olduğu görülmüştür. DM-1 %30 olduğunda çekme dayanımındaki azalış devam etmiş ve 7.76 MPa değerine inmiştir.



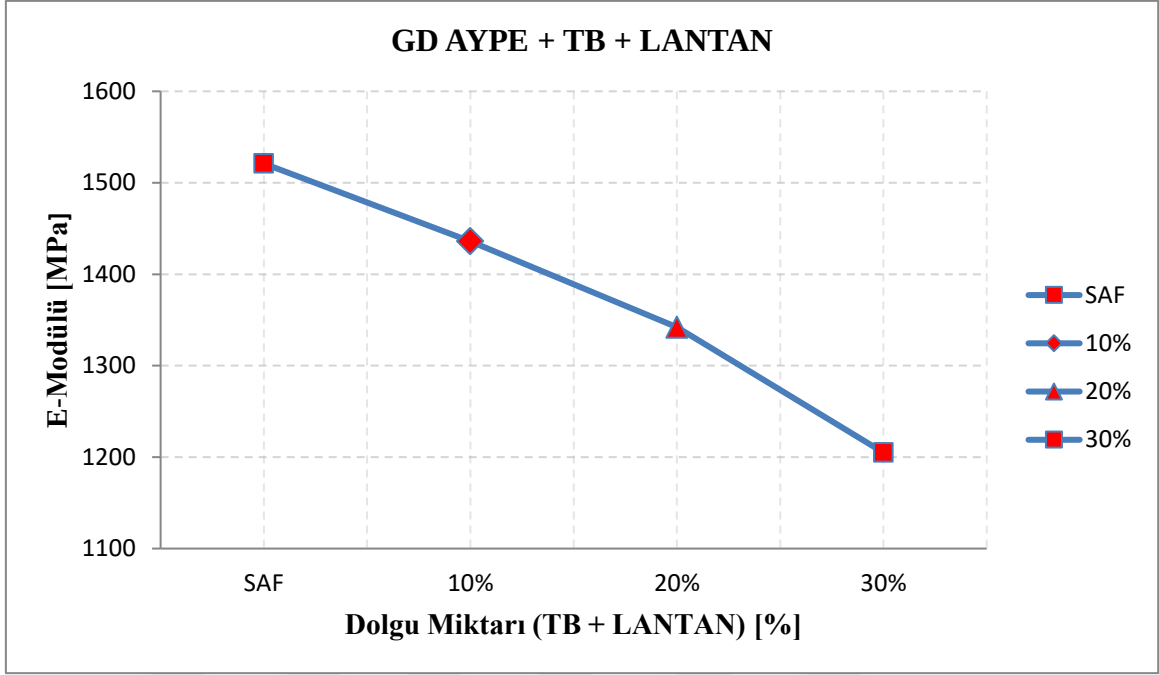
Şekil 7.5. DM-1 değişimine bağlı olarak GD AYPE nin E-Modülü değişimi

Şekil 7.5’de dolgu maddesi-1 (DM-1) değişimiyle GD AYPE nin E-Modülünün değişimi verilmektedir. Saf halde 1521 MPa olan elastisite modülü değeri DM-1 miktarı ağırlıkça %10 yapıldığında artarak 1666 MPa olmuş, sonrasında ağırlıkça %20 DM-1 ilavesiyle azalış göstererek 1016 MPa değerine inmiş ve ağırlıkça %30 oranındaki DM-1 katkısıyla beraber tekrar artarak 1381 MPa olmuş ve artış-azalışlı bir grafik meydana gelmiştir.



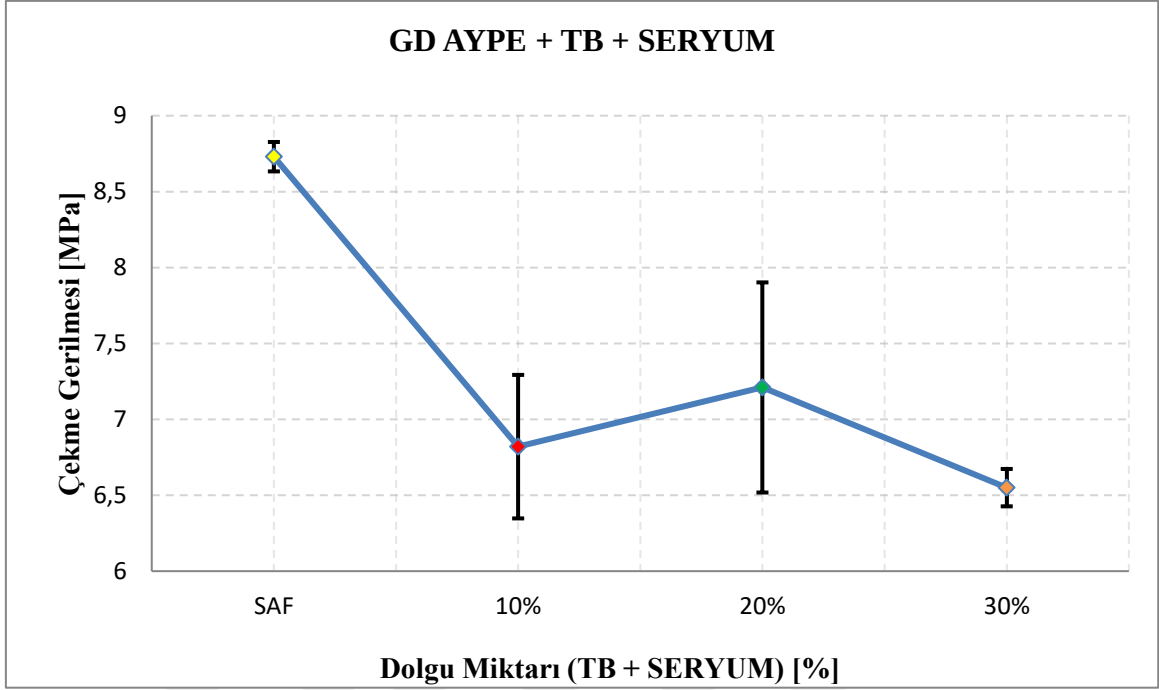
Şekil 7.6. DM-2 değişimine bağlı olarak GD AYPE nin çekme gerilmesi değerleri

Şekil 7.6’da dolgu maddesi-2 (DM-2) değişimine bağlı olarak GD AYPE nin çekme gerilmesi değerlerinin değişimi verilmiştir. İlk olarak ağırlıkça %10 oranındaki DM-2 katkısıyla çekme gerilmesinin çok az değiştiği ve saf haldeki GD AYPE nin çekme gerilmesi değeri 8.73 MPa iken ağırlıkça %10 katkı maddesi sonrasında 8.69 MPa gibi çok yakın bir değere düşmüştür. Ağırlıkça %20 oranındaki dolgu eklenmesi çekme dayanımını bir miktar düşürmüştü ve 7.51 MPa olmasına sebebiyet vermiştir. DM-2 katkısı ağırlıkça %30 yapıldığında ise çekme gerilmesi yine bir miktar düşüş göstermiş ve 6.82 MPa olmuştur.



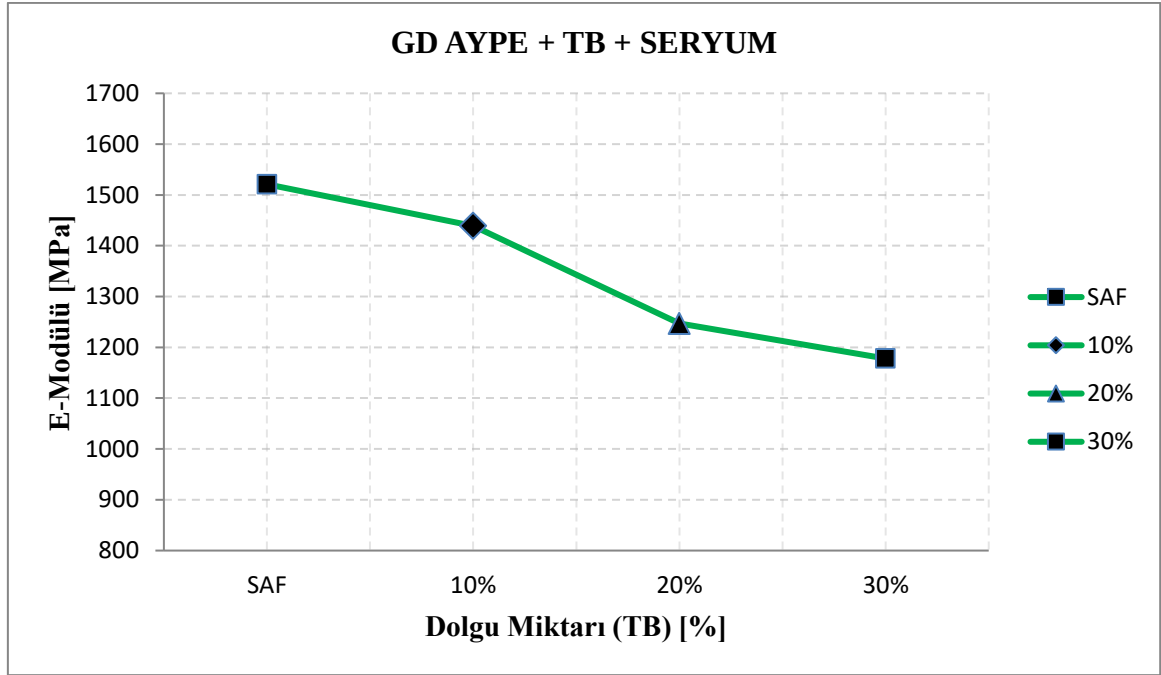
Şekil 7.7. DM-2 değişimine bağlı olarak GD AYPE nin E-Modülü değişimi

DM-2 miktarındaki değişime bağlı olarak GD AYPE nin elastiklik modülünün değişimi Şekil 7.7’de verilmiştir. Grafik, dolgu maddesinin artışına bağlı olarak E-modülünün azaldığını göstermekte ve saf halde GD AYPE nin elastisite modülü 1521 MPa iken ağırlıkça %10 DM-2 katkısıyla E-modülü 1436 MPa olmuş, ağırlıkça %20 oranındaki DM-2 ilavesi elastisite modülünü 1342 MPa değerine indirmiş, DM-2 katkısının ağırlıkça %30 olmasıyla birlikte ise E-modülü 1205 MPa gibi bir değer almıştır.



Şekil 7.8. DM-3 değişimine bağlı olarak GD AYPE nin çekme gerilmesi değerleri

Şekil 7.8’de GD AYPE nin çekme gerilmesi değerlerinin kullanılan DM-3 artışına bağlı olarak değişimi verilmiştir. Grafikte ağırlıkça %10 oranındaki DM-3 katkısının çekme gerilmesi değerine olumsuz etki yaptığı görülmüş, saf haldeki çekme dayanımı 8.73 MPa iken ağırlıkça %10 DM-3 ilavesiyle 6.82 MPa değerine inmiş, eklenen DM-3 katkısının ağırlıkça %20 olmasıyla çekme gerilmesi artarak 7.21 MPa olmuştur. Ancak DM-3 oranı ağırlıkça %30 yapıldığında tekrar çekme gerilmesinin düşmesine neden olarak 6.55 MPa değerine indirmiştir.

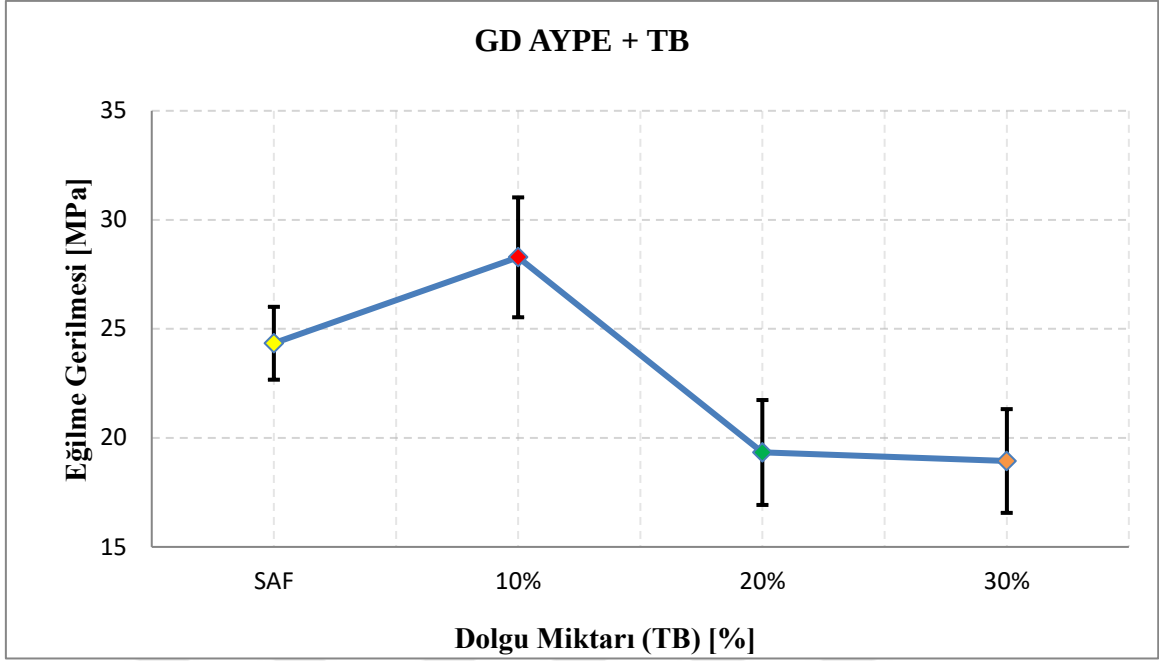


Şekil 7.9. DM-3 değişimine bağlı olarak GD AYPE nin E-Modülü değişimi

Dolgu miktarı-3 (DM-3) değişimine bağlı olarak GD AYPE nin elastiklik modülündeki değişim Şekil 7.9’da verilmiştir. Bu grafikte saf haldeki GD AYPE nin elastisite modülünün 1521 MPa değerinden eklenen DM-3 katkısının artışıyla giderek azaldığı görülmüş ve E-modülünün ağırlıkça %10 DM-3 miktarında 1439 MPa, ağırlıkça %20 DM-3 dolgusuyla 1247 MPa ve ağırlıkça %30 oranındaki DM-3 ilavesiyle de 1178 MPa olduğu görülmüştür.

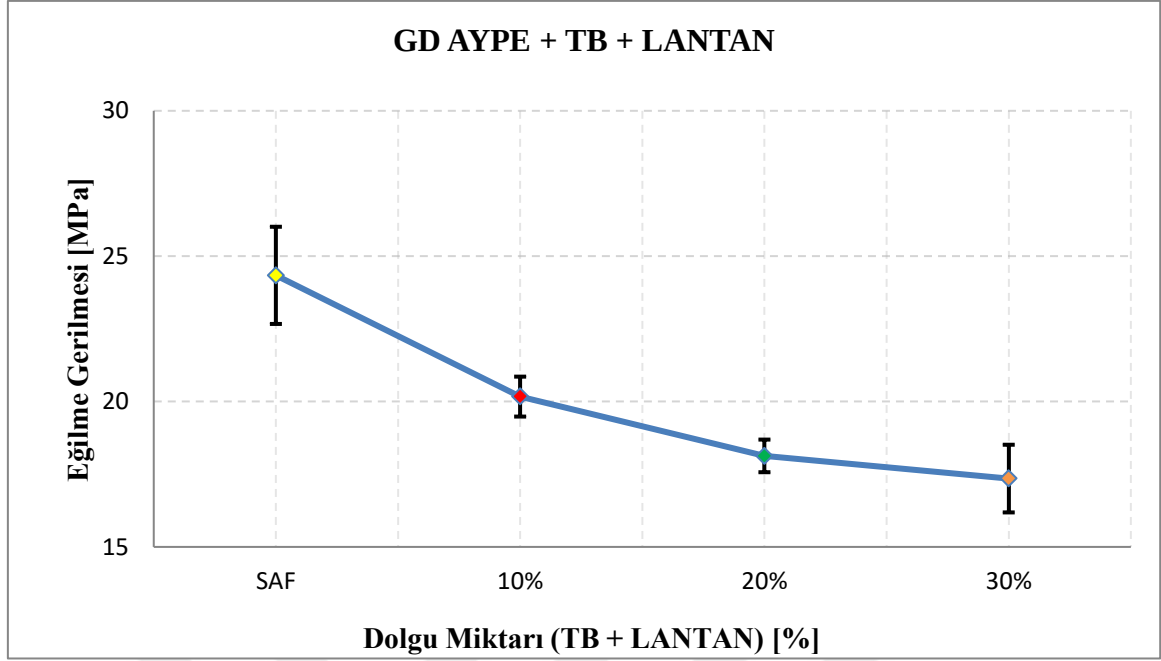
7.3. Eğilme Mukavemeti Sonuçları

Her bir üretim parametresi için 5 numune alınıp üç nokta eğilme testine tabi tutulmuştur. Üç nokta eğilme testi ile ilgili sonuçlar karışım oranlarına göre sınıflandırılmış olup sonuçlar ‘‘ekler’’ kısmında verilmiştir. Sonuçlarla ilgili grafikler aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



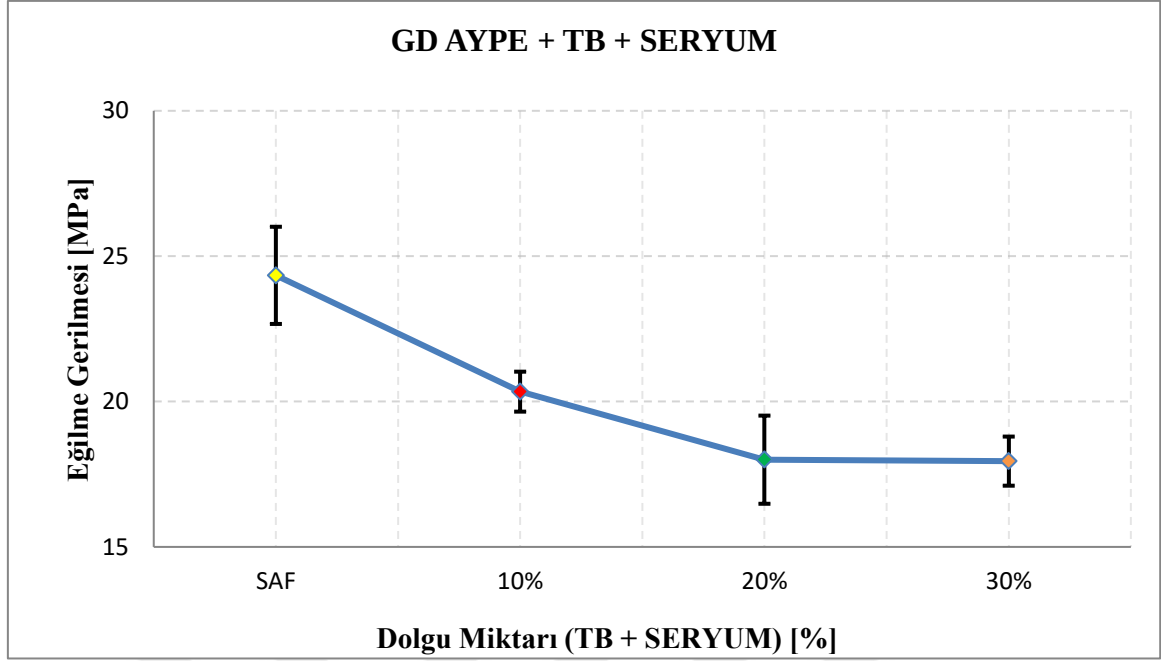
Şekil 7.10. DM-1 değişimine bağlı olarak GD AYPE nin eğilme gerilmesi değişimi

Şekil 7.10’da DM-1 değişimine bağlı olarak GD AYPE nin eğilme dayanımındaki değişim görülmektedir. Saf GD AYPE nin eğilme dayanımı değeri farklı miktarlarda eklenen DM-1 oranlarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. %70 kalsit katkılı GD AYPE nin eğilme gerilmesi 24.34 MPa iken, ağırlıkça %10 oranında eklenen DM-1 eğilme gerilmesi değerinin artışına sebebiyet vermiş ve 28.28 MPa olmuştur. Ancak ağırlıkça %20 oranındaki DM-1 katkısı eğilme dayanımında keskin bir düşüşe sebep olarak 19.33 MPa değerine indirmiştir. Toz boya katkısındaki artış çok az da olsa eğilme dayanımının azalmasını devam ettirmiş ve ağırlıkça %30 oranındaki DM-1 katkısıyla 18.94 MPa olduğu görülmüştür.



Şekil 7.11. DM-2 değişimine bağlı olarak GD AYPE nin eğilme gerilmesi değişimi

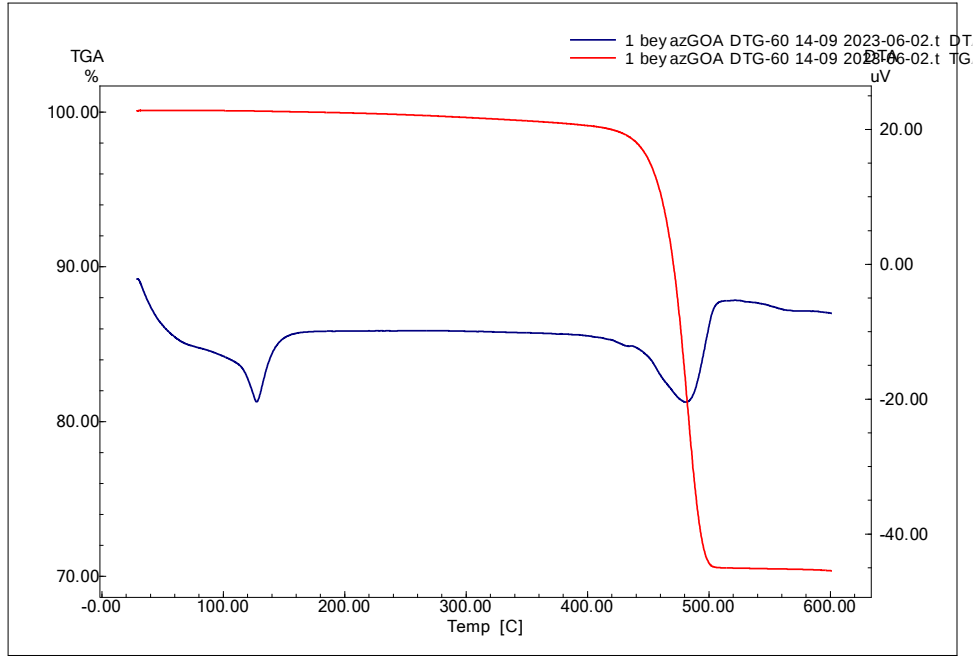
Şekil 7.11’de DM-2 değişimine bağlı olarak GD AYPE nin eğilme gerilmesi değişimi verilmiştir. Saf haldeki GD AYPE nin eklenen DM-2 artışına bağlı olarak deney numunelere ait eğilme gerilmelerinde düşüş görülmektedir. %70 kalsit katkılı GD AYPE nin eğilme gerilmesi 24.34 MPa iken ağırlıkça %10 DM-2 katkısının eklenmesi bu değeri 20.17 MPa yapmış, ağırlıkça %20 oranında DM-2 dolgusu eklenmesiyle eğilme dayanımı yine bir miktar azalarak 18.13 MPa olmuştur. Eklenen DM-2 oranı ağırlıkça %30 olduğunda ise küçük bir düşüşle 17.35 MPa değerine inmiştir.



Şekil 7.12. DM-3 değişimine bağlı olarak GD AYPE nin eğilme gerilmesi değişimi

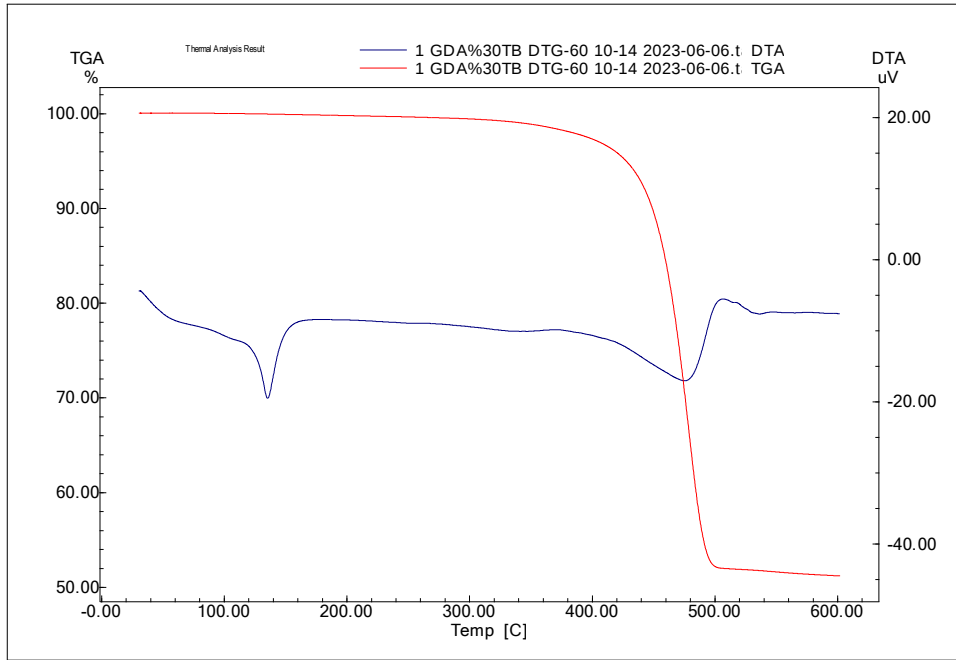
Şekil 7.12’de dolgu miktarı-3 (DM-3) değişimine bağlı olarak GD AYPE nin eğilme gerilmesindeki değişim görülmektedir. Grafikte %70 kalsit katkılı GD AYPE ye eklenen dolgu miktarının artmasıyla numunelerin eğilme gerilmelerinin bir miktar düştüğü gözlemlenmektedir. Saf GD AYPE nin düşey yüklem dayanımı 24.34 MPa olmasına rağmen ağırlıkça %10 DM-3 katkısıyla bu değer 20.34 Mpa olmuş, DM-3 oranı ağırlıkça %20 ye yükseldiğinde eğilme dayanımı 18 MPa değerine kadar inmiş, ağırlıkça %30 DM-3 eklendiğinde ise çok az bir düşüşle 17.95 MPa olmuştur.

7.4. Termogravimetrik (TGA/DTA) Analiz Sonuçları



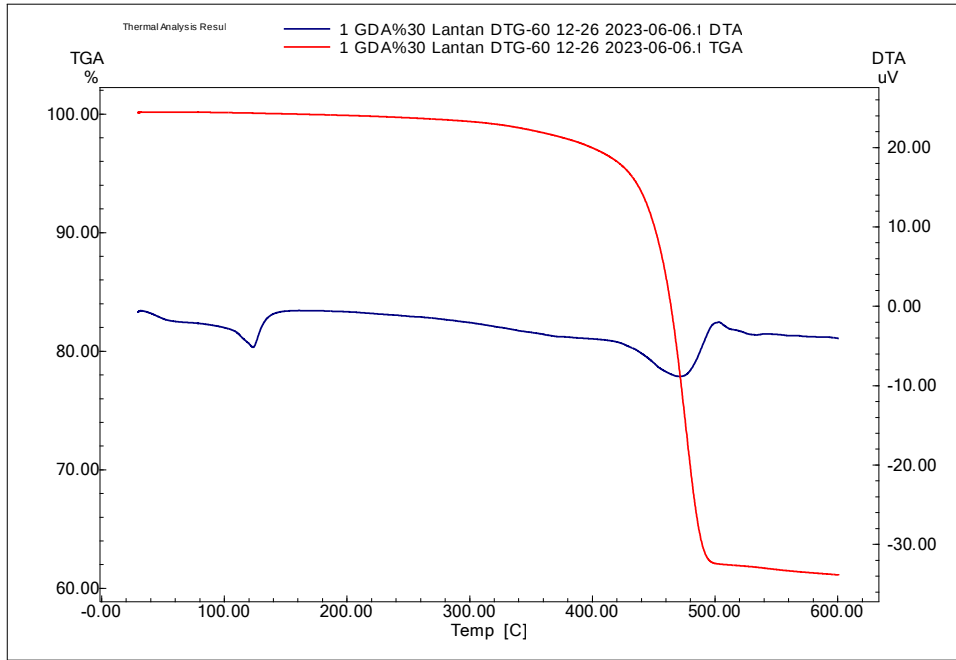
Şekil 7.13. %70 kalsit katkılı GD AYPE'nin TGA/DTA değişimi.

Şekil 7.13'de ağırlıkça %70 kalsit katkılı GD AYPE'nin TGA/DTA değişimi verilmiştir. Bu grafiğe göre numune yaklaşık 100 °C den sonra ortamın ısısını çekmeye başlayarak faz değişimine uğramakta ve 120 °C de endotermik bir pik yaptıktan sonra ortamdaki yaklaşık 20 uV enerji çekerek eriyik form almaktadır. Malzemenin eriyik formu yaklaşık 400 °C ye kadar korunmuş olup bir değişim meydana gelmemiştir. 400 °C den sonra sıcaklığın artışı ile malzeme yanmaya başlamış ve kütle kayıpları meydana gelmiştir. Yaklaşık 490 °C de yeniden bir endotermik pik oluşmuş ve yine ortamdaki 20 uV enerji çekilmiştir. 500 °C itibari ile kütle kayıplarının ağırlıkça %30 civarında olduğu görülmekte olup, başlangıçta 47,13 mg olan numune ağırlığı 33,13 mg kalmış ve bu sonuç kalsit katkısının %70 olduğunu desteklemektedir.



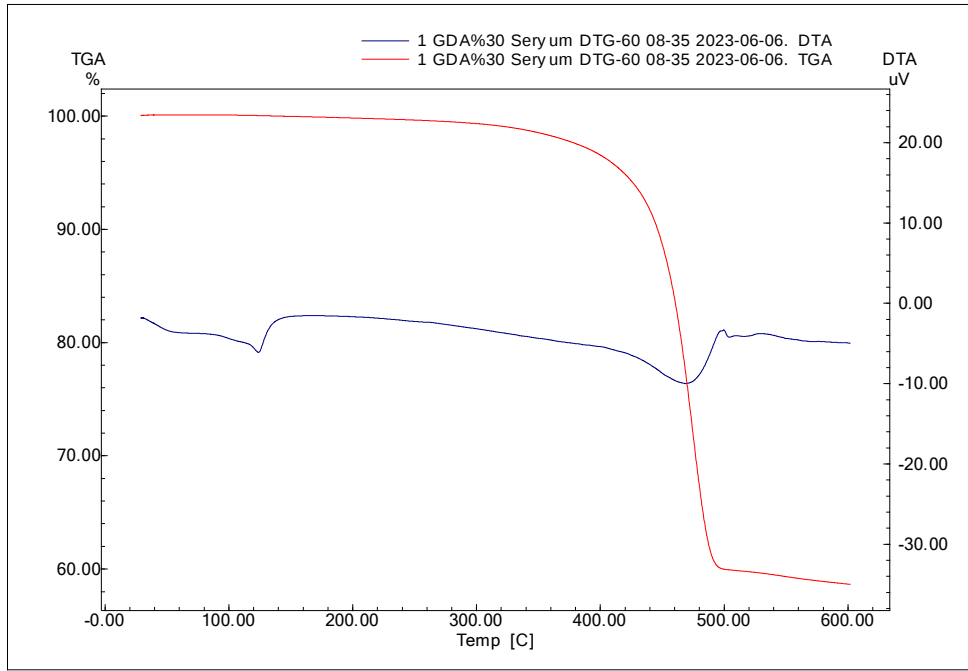
Şekil 7.14. %70 kalsit katkılı GD AYPE + %30 DM-1 in TGA/DTA değişimi.

Şekil 7.14’de %70 kalsit katkılı GD AYPE + %30 DM-1 in TGA/DTA değişimi verilmiştir. Malzeme yaklaşık 120 °C de endotermik bir pik yaparak viskoz forma geçmekte ve ortamdan da 20 uV civarında enerji çekmektedir. Yaklaşık 400 °C ye kadar herhangi bir kütle kaybı meydana gelmemiş, yaklaşık 490 °C de ikinci endotermik pik gelişerek yanmaya başlamış ve 15 uV civarında ortamdan enerji çekilmiştir. Yaklaşık 490 °C itibari ile başlangıçta 27,15 mg olan numune ağırlığının son durumda 13,89 mg kaldığı görülmüş, ağırlıkça %30 toz boyanın ve kalsit katkılı matris malzemesindeki termoplastiğin yine ağırlıkça %30 civarında kaybolduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 7.15. %70 kalsit katkılı geri dönüşüm AYPE + %30 DM-2 nin TGA/DTA değişimi.

Şekil 7.15’de ağırlıkça %70 kalsit katkılı GD AYPE + %30 DM-2 nin TGA/DTA değişimi gösterilmiştir. Bu grafikte malzeme, yaklaşık 120 °C de endotermik bir pik yapmış ve ortamdan yaklaşık 4 uV enerji çekerek faz değişimine uğramış ve eriyik hale geçmiştir. Yaklaşık 450 °C ye kadar numunede bir değişim görülmemiştir. 490 °C civarında yine endotermik pik oluşmuş ve yanmaya başlayarak ortamdan yaklaşık 10 uV enerji çekilmiştir. Başlangıçta 17,68 mg olan numune ağırlığı son durumda 10,36 mg kalmış, %30 toz boya katkılı malzeme ile karşılaştırıldığında yaklaşık %48 olan bozunma miktarı eser miktarda lantan katkısıyla yaklaşık %41 e düşmüştür.

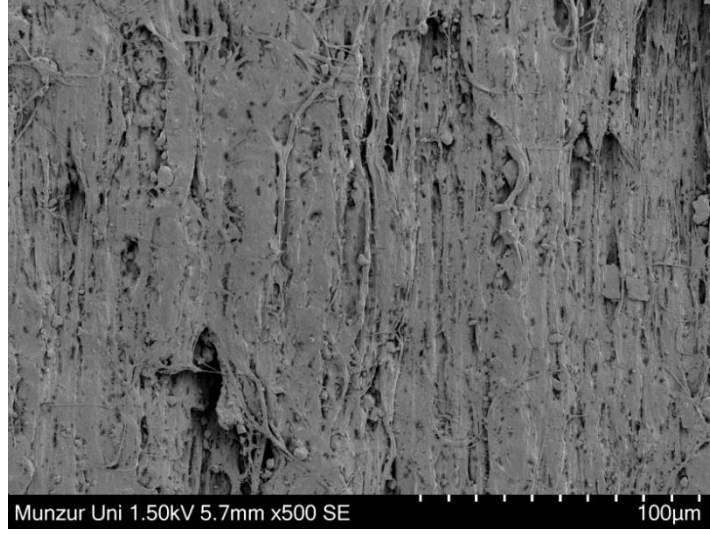


Şekil 7.16. %70 kalsit katkılı geri dönüşüm AYPE + %30 DM-3 ün TGA/DTA değişimi.

Şekil 7.16’da %70 kalsit katkılı GD AYPE + %30 DM-3 ün TGA/DTA değişimi verilmiştir. Numune yaklaşık 120 °C de endotermik bir pik yaparak viskoz forma geçmiş ve ortamdan da yaklaşık 6 uV civarında enerji çekmiştir. Bundan sonra yaklaşık 400 °C ye kadar herhangi bir kütle kaybı meydana gelmemiş, yaklaşık 490 °C de yeniden bir endotermik pik meydana gelerek yanma başlamış ve yaklaşık 10 uV kadar ortamdan enerji çekilmiştir. İlk durumda 17,69 mg olan numune son durumda 10,8 mg kalmış, %30 toz boya katkılı malzeme ile karşılaştırıldığında yaklaşık %48 olan bozunma miktarı eser miktarda seryum katkısıyla yaklaşık %38 e düşmüştür.

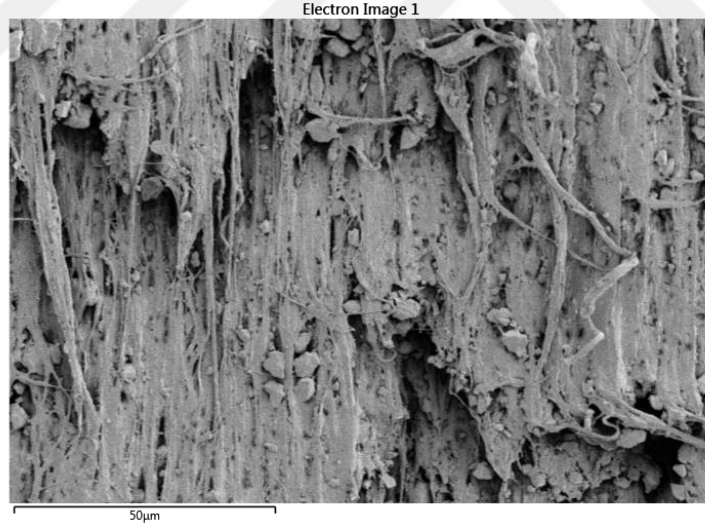
7.5. Taramalı Elektron Mikroskobu Sonuçları (SEM/EDS)

%70 kalsit katkılı GD AYPE ile ağırlıkça %30 dolgu içeriği olan (%30 DM-1, %30 DM-2, %30 DM-3) deney numunelerinin kesit görüntülerine ait taramalı elektron mikroskobu (SEM/EDS) sonuçları Şekil 7.17’de gösterilmiştir.



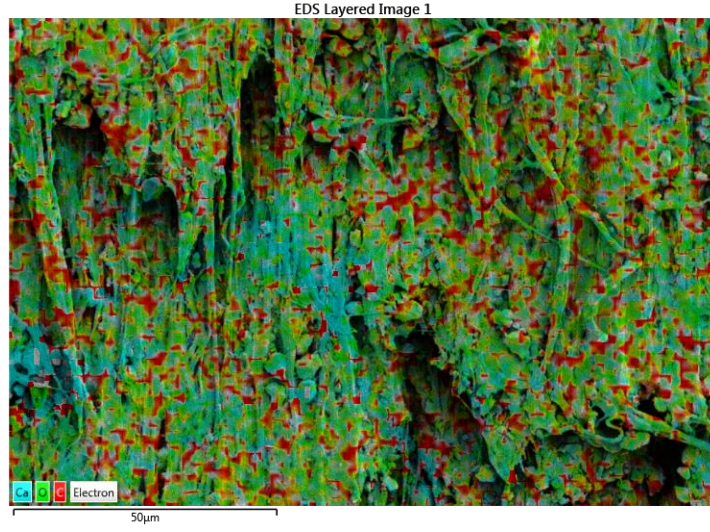
Şekil 7.17. %70 kalsit katkılı GD AYPE'nin SEM kesit görüntüsü.

Şekil 7.17'de ağırlıkça %70 kalsit katkılı GD AYPE'nin SEM kesit görüntüsü verilmiştir. Bu numunenin farklı ölçeklerdeki görüntüleri “ekler” kısmındadır.

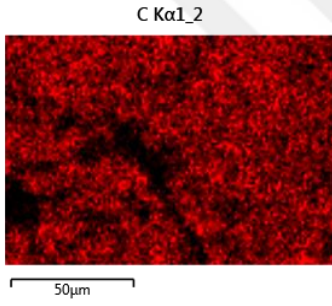


Şekil 7.18. %70 kalsit katkılı GD AYPE'nin EDS yüzey görüntüsü.

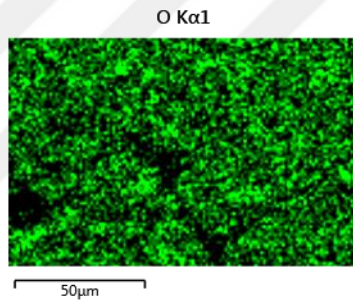
Şekil 7.18'de %70 kalsit katkılı GD AYPE'nin EDS analizinin yapıldığı yüzey görülmektedir. Bu şekle göre numune kesitinin plastik deformasyondan bağımsız olmadığı anlaşılmakta olup matris yüzeyindeki dolgu maddeleri tanecikli bir halde yüzeyde görülmektedir. Kesitte bulunan elementlerin renklendirilmiş olarak yüzeyde ki dağılımları Şekil 7.19'da gösterilmiştir.



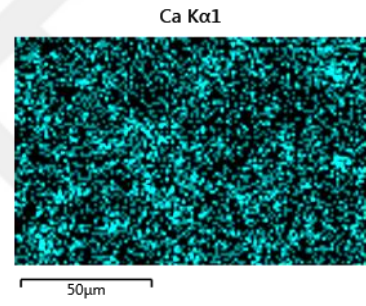
Şekil 7.19. %70 kalsit katkılı GD AYPE'nin EDS analizi renklendirilmiş yüzey görüntüsü



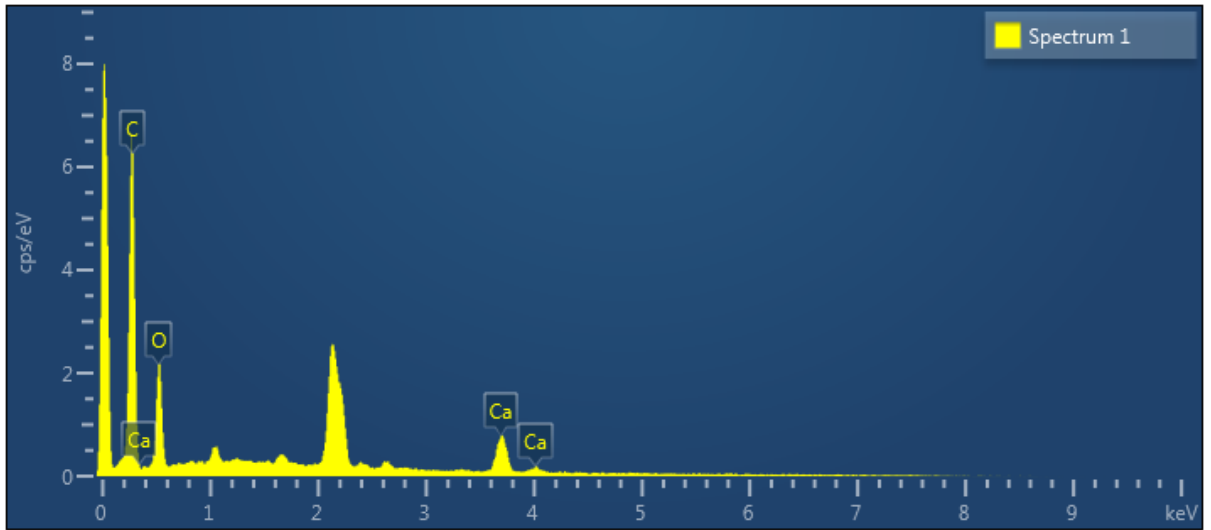
Şekil 7.20. Karbon dağılımı



Şekil 7.21. Oksijen dağılımı



Şekil 7.22. Kalsiyum dağılımı



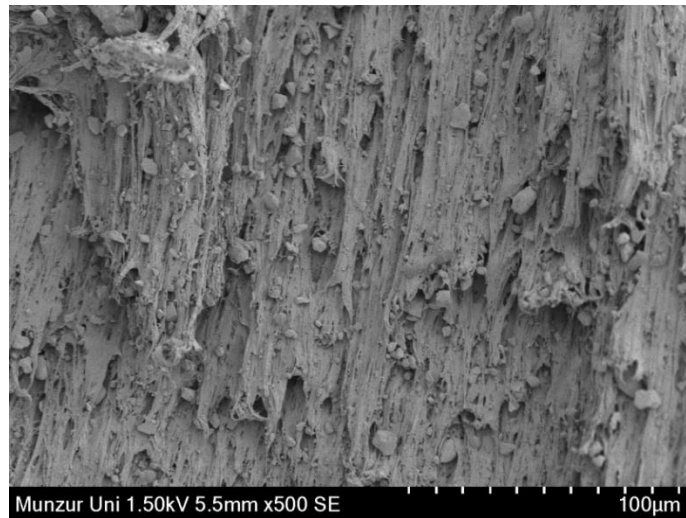
Şekil 7.23. %70 kalsit katkılı GD AYPE'nin EDS analizi spektrum sonucu

Şekil 7.23’de görünen spektruma göre numune kesitinde C, O ve Ca atomlarının olduğu tespit edilmiş olup bu atomların ağırlıkça oranları ise Tablo 7.4’de verilmiştir.

Tablo 7.4. %70 kalsit katkılı GD AYPE’nin EDS yüzeyinde tespit edilen elementler ve ağırlıkça % oranları

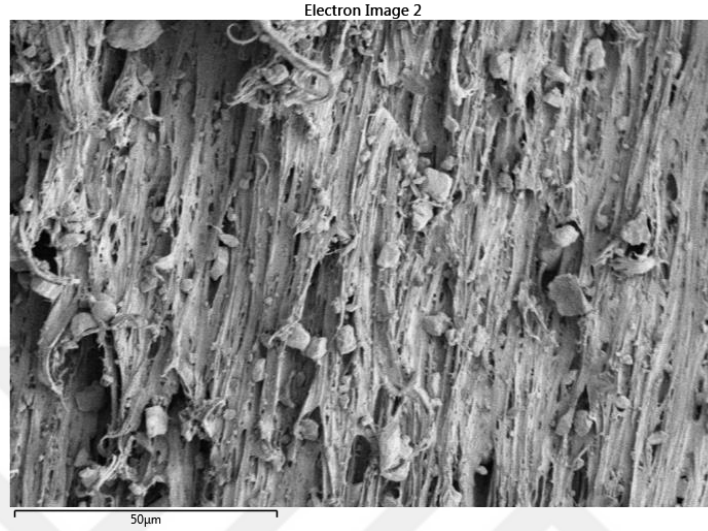
Spektrum 1				
Element	Çizgi Tipi	Ağırlık %	Ağırlık Sigma	Atom %
C (Karbon)	K serisi	54.83	0.58	66.27
O (Oksijen)	K serisi	31.88	0.59	28.92
Ca (Kalsiyum)	K serisi	13.29	0.36	4.81
Toplam		100.00		100.00

Tablo 7.4’de EDS analizinin yapıldığı kesit üzerinde tespit edilmiş olan elementlerle birlikte bu elementlerin analizin yapıldığı kesitte ağırlık ve atomik olarak bulunma yüzdeleri gösterilmiştir. Karbon (C) elementinin ağırlık olarak bulunma yüzdesinin %66.27 çıkması, matris ve dolgu malzemesinin karbon esaslı karakterini destekler özelliktedir. Ayrıca kalsit (CaCO_3) dolgusu içerisinde bulunan kalsiyum (Ca) elementinin varlığı da yine tablodaki verilerle örtüşmektedir. Karbon, oksijen ve kalsiyum atomlarının kesit yüzeyi yoğunluklarının gösterildiği XRD grafikleri “ekler” kısmındadır.



Şekil 7.24. %70 kalsit katkılı GD AYPE + %30 DM-1 in SEM kesit görüntüsü.

Şekil 7.24’de ağırlıkça %70 kalsit katkılı GD AYPE + %30 DM-1 in SEM kesit görüntüsü verilmiştir. Dolgu maddelerinin yüzeyde dağınık şekilde bulunduğu görülmektedir. Bu numunenin farklı ölçeklerdeki görüntüleri “ekler” kısmındadır.

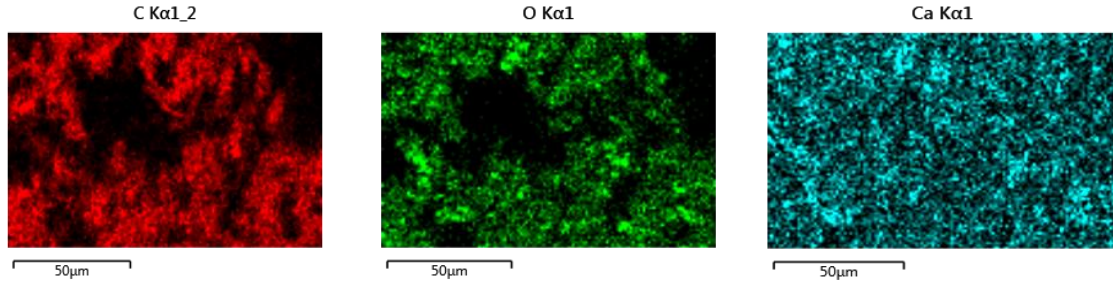


Şekil 7.25. %70 kalsit katkılı GD AYPE + %30 DM-1 in EDS yüzey görüntüsü

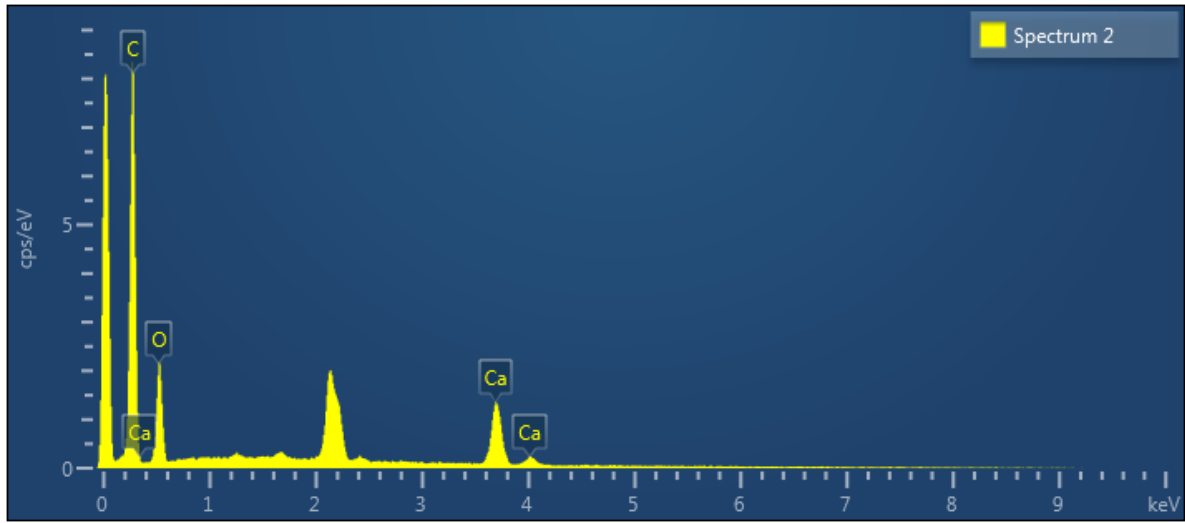
Şekil 7.25’de %70 kalsit katkılı GD AYPE + %30 DM-1 in EDS analizinin yapıldığı yüzey görülmektedir. Bu kesitte bulunan elementlerin renklendirilmiş yüzey dağılımları Şekil 7.26’da gösterilmiştir. Ayrıca bu kesitin spektrumu Şekil 7.30’da gösterilmiştir.



Şekil 7.26. %70 kalsit katkılı GD AYPE + %30 DM-1 in EDS analizi renklendirilmiş yüzey görüntüsü



Şekil 7.27. Karbon dağılımı **Şekil 7.28.** Oksijen dağılımı **Şekil 7.29.** Kalsiyum dağılımı



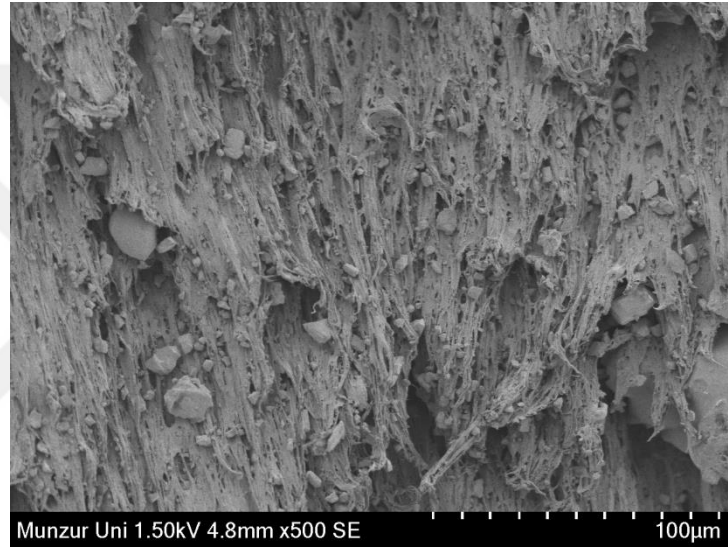
Şekil 7.30. %70 kalsit katkılı GD AYPE + %30 DM-1 in EDS analizi spektrum sonucu

Şekil 7.30’da görünen spektruma göre numune kesitinde C, O ve Ca atomlarının olduğu tespit edilmiş olup bu atomların ağırlıkça oranları ise Tablo 7.5’de verilmiştir.

Tablo 7.5. %70 kalsit katkılı GD AYPE + %30 DM-1 in EDS yüzeyinde tespit edilen elementler ve ağırlıkça % oranları

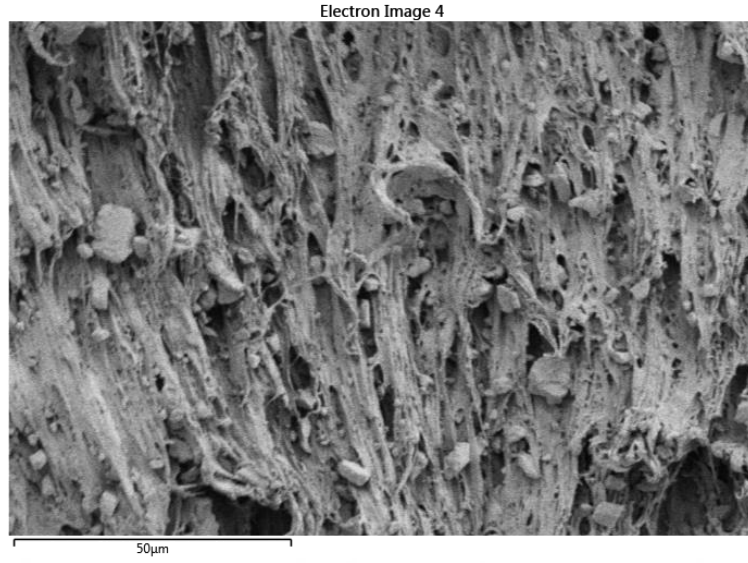
Spektrum 2				
Element	Çizgi Tipi	Ağırlık %	Ağırlık Sigma	Atom %
C (Karbon)	K serisi	54.70	0.43	67.88
Ca (Kalsiyum)	K serisi	18.02	0.30	6.70
O (Oksijen)	K serisi	27.28	0.44	25.41
Toplam		100.00		100.00

Tablo 7.5’de %70 kalsit katkılı GD AYPE + %30 DM-1 in EDS analizinin yapıldığı kesit üzerinde tespit edilmiş olan elementler ve bunların analizin yapıldığı kesit içerisinde ağırlık ve atomik olarak bulunma yüzdeleri gösterilmiştir. Karbon (C) elementinin ağırlıkça bulunma yüzdesi %54.70 çıkmış, matris ve dolgu malzemesindeki karbon esaslı oluşum buna sebebiyet vermiştir. Kalsit (CaCO_3) dolgusundan kaynaklı kalsiyum (Ca) atomlarının %6.70 oranında ve ağırlıkça %18.02 olduğu görülmüştür. Karbon, oksijen ve kalsiyum atomlarına ait kesit yüzeyi yoğunluklarının gösterildiği XRD grafikleri “ekler” kısmındadır.



Şekil 7.31. %70 kalsit katkılı GD AYPE + %30 DM-2 nin SEM kesit görüntüsü.

Şekil 7.31’de ağırlıkça %70 kalsit katkılı geri dönüşüm AYPE + %30 DM-2 nin SEM kesit görüntüsü verilmiştir. Dolgu maddelerinin yüzeyde dağınık şekilde bulunduğu görülmektedir. Bu numunenin farklı ölçeklerdeki görüntüleri “ekler” kısmındadır.

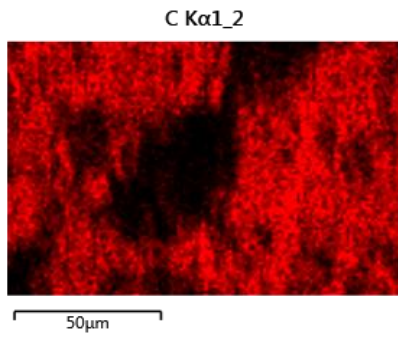


Şekil 7.32. %70 kalsit katkılı GD AYPE + %30 DM-2 nin EDS yüzey görüntüsü

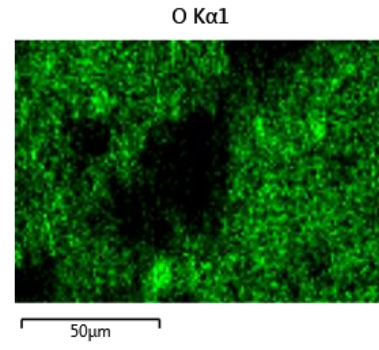
Şekil 7.32’de %70 kalsit katkılı GD AYPE + %30 DM-2 nin EDS analizinin yapıldığı yüzey görülmektedir. Bu kesitteki elementlere ait renklendirilmiş yüzey görüntüsü Şekil 7.33’de verilmiştir. Ayrıca bu kesitteki elementlerin spektrum boyları Şekil 7.38’de gösterilmiştir.



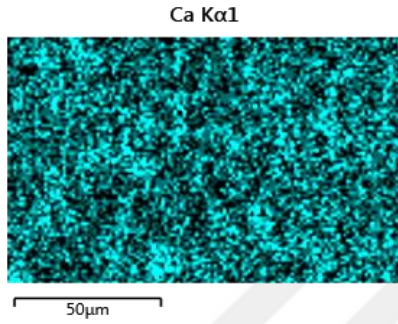
Şekil 7.33. %70 kalsit katkılı GD AYPE + %30 DM-2 nin EDS analizi renklendirilmiş yüzey görüntüsü



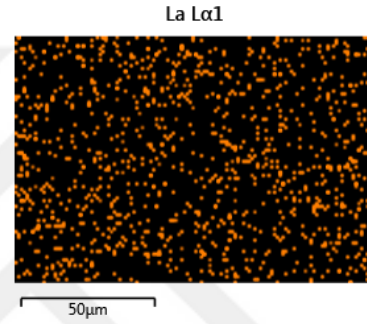
Şekil 7.34. Karbon dağılımı



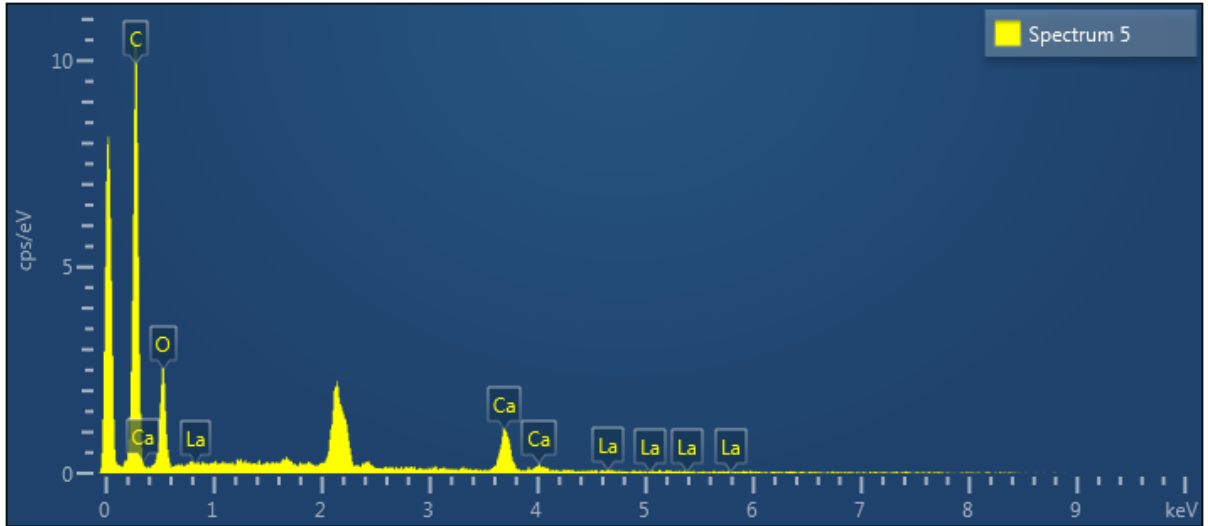
Şekil 7.35. Oksijen dağılımı



Şekil 7.36. Kalsiyum dağılımı



Şekil 7.37. Lantan dağılımı



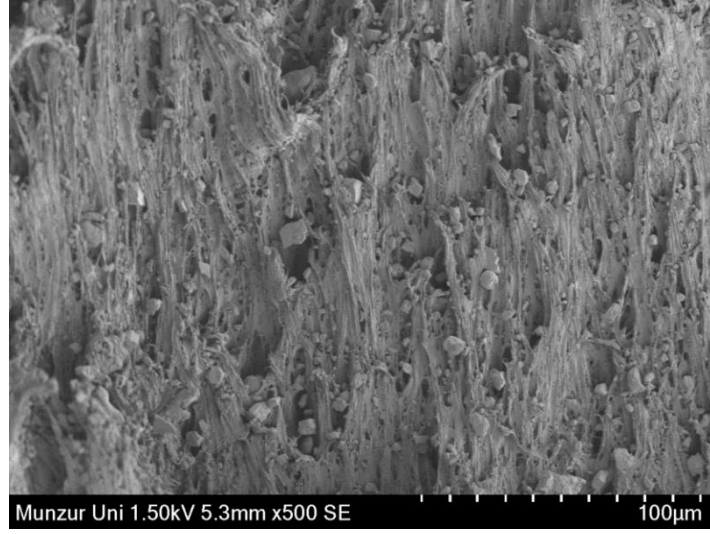
Şekil 7.38. %70 kalsit katkılı GD AYPE + %30 DM-2 nin EDS analizi spektrum sonucu

Şekil 7.38’de görünen %70 kalsit katkılı GD AYPE + %30 DM-2 nin EDS spektrumuna göre numune kesitinde C, O, Ca ve La atomlarının varlığı gözlemlenmiş olup bu atomların ağırlıkça oranları ise aşağıdaki Tablo 7.6’da verilmiştir.

Tablo 7.6. %70 kalsit katkılı GD AYPE + %30 DM-2 nin EDS yüzeyinde tespit edilen elementler ve ağırlıkça % oranları

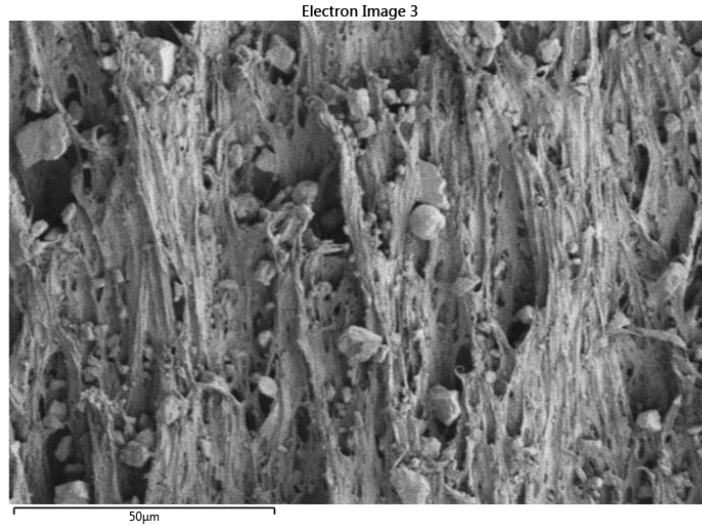
Spektrum 3				
Element	Çizgi Tipi	Ağırlık %	Ağırlık Sigma	Atom %
C (Karbon)	K serisi	59.16	1.29	70.87
Ca (Kalsiyum)	K serisi	12.71	0.62	4.56
La (Lantan)	L serisi	0.91	1.39	0.09
O (Oksijen)	K serisi	27.21	1.08	24.47
Toplam		100.00		100.00

Tablo 7.6’da %70 kalsit katkılı GD AYPE + %30 DM-2 nin EDS analiz kesitinde bulunan elementlerle bu elementlerin analiz kesitindeki ağırlıkça ve atom olarak bulunma yüzdeleri verilmiştir. Yine matris ve dolgu malzemesindeki yüksek miktardaki karbon ihtivası, karbon (C) elementinin ağırlıkça bulunma yüzdesinin %59.16 çıkmasına sebep olmuştur. Matris malzemedeki kalsit (CaCO_3) dolgusundan dolayı kalsiyum (Ca) atomları ağırlıkça %12.71 oranında çıkmıştır. Ayrıca dolgu maddesi olarak toz boya bünyesinde eklenmiş olan az miktarda lantan (La) varlığı da tablodaki verilerle kanıtlanmış olmaktadır. Karbon, oksijen, kalsiyum ve lantan atomlarının kesit yüzeyi yoğunluklarını gösteren XRD grafikleri “ekler” kısmında yer almaktadır.



Şekil 7.39. %70 kalsit katkı GD AYPE + %30 DM-3 ün SEM kesit görüntüsü

Şekil 7.39’da ağırlıkça %70 kalsit katkı GD AYPE + %30 DM-3 ün SEM kesit görüntüsü verilmiştir. Daha önceki örneklerde de görüldüğü üzere dolgu maddelerinin yüzeyde dağınık şekilde bulunduğu gözlemlenmektedir. Bu numunenin farklı ölçeklerdeki görüntüleri “ekler” kısmında yer almaktadır.



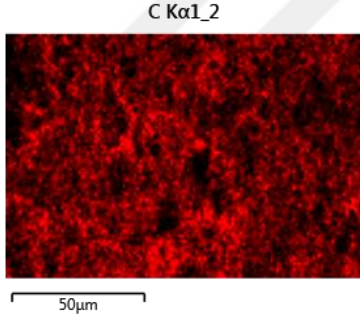
Şekil 7.40. %70 kalsit katkı GD AYPE + %30 DM-3 ün EDS yüzey görüntüsü

Şekil 7.40’da %70 kalsit katkı GD AYPE + %30 DM-3 ün EDS analizinin yapılmış olduğu kesit verilmiştir. Bu kesitte bulunan elementlerin renklendirilmiş yüzey

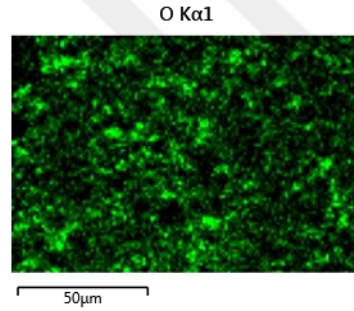
görüntüsü Şekil 7.41’de verilmiştir. Bu kesitteki elementlere ait spektrum Şekil 7.46’da verilmiştir.



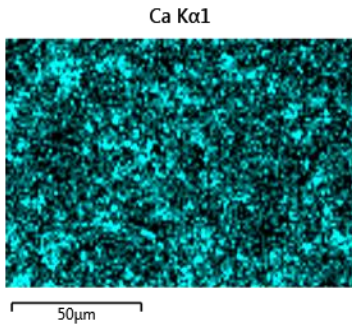
Şekil 7.41. %70 kalsit katkılı GD AYPE + %30 DM-3 ün EDS analizi renklendirilmiş yüzey görüntüsü



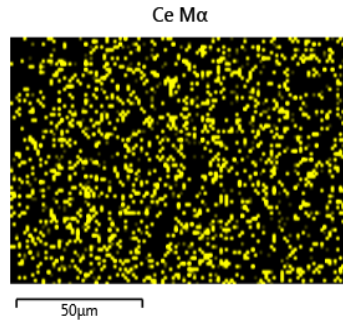
Şekil 7.42. Karbon dağılımı



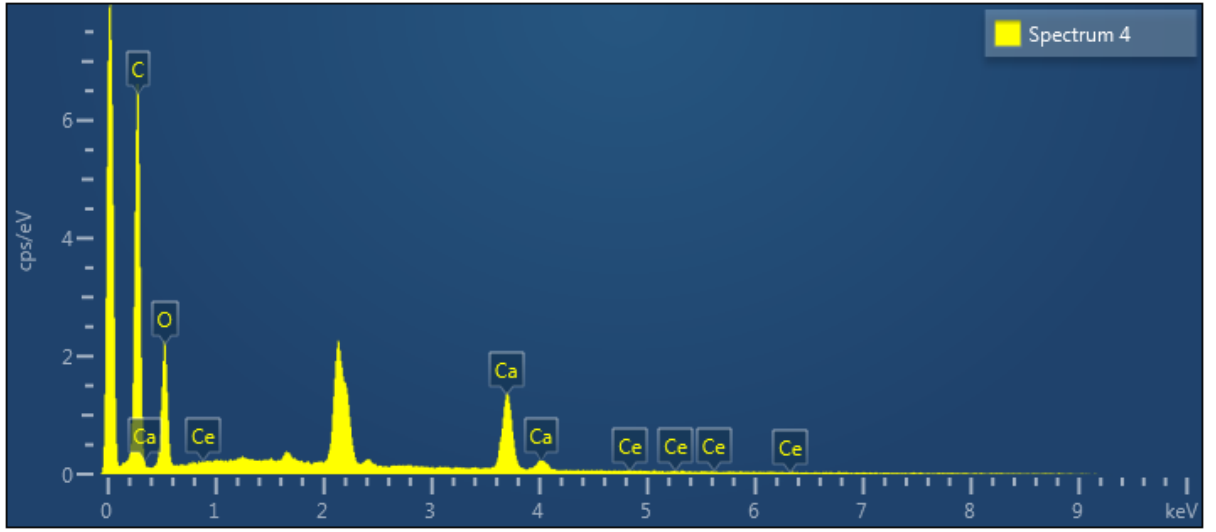
Şekil 7.43. Oksijen dağılımı



Şekil 7.44. Kalsiyum dağılımı



Şekil 7.45. Seryum dağılımı



Şekil 7.46. %70 kalsit katkılı GD AYPE + %30 DM-3 ün EDS analizi spektrum sonucu

Şekil 7.46’da görünen %70 kalsit katkılı GD AYPE + %30 DM-3 ün EDS spektrumuna bakıldığında seçilen numune kesitinde C, O, Ca ve Ce atomlarının varlığı dikkat çekmekte olup bu atomların ağırlıkça oranları ise Tablo 7.7’de verilmiştir.

Tablo 7.7. %70 kalsit katkılı GD AYPE + %30 DM-3 ün EDS yüzeyinde tespit edilen elementler ve ağırlıkça % oranları

Spektrum 4				
Element	Çizgi Tipi	Ağırlık %	Ağırlık Sigma	Atom %
C (Karbon)	K serisi	49.31	1.87	63.56
O (Oksijen)	K serisi	29.58	1.18	28.63
Ca (Kalsiyum)	K serisi	19.85	0.80	7.67
Ce (Seryum)	M serisi	1.26	3.64	0.14
Toplam		100.00		100.00

Tablo 7.7’de %70 kalsit katkılı GD AYPE + %30 DM-3 e ait EDS analiz kesitinde bulunan elementler ve analiz kesitindeki ağırlıkça ve atom olarak bulunma yüzdeleri verilmiştir. Matris ve dolgu malzemesinden kaynaklı yüksek bulunma oranına sahip karbon atomlarının yanında yine matris malzeme içerisindeki kalsit katkısından dolayı kalsiyum (Ca) atomlarının tabloda bulunması şaşırtıcı değildir. Toz boya dolgusunun

içerisindeki az miktardaki seryum (Ce) un varlığının gözlemlenmesi bizim için önem arz etmektedir. Karbon, oksijen, kalsiyum ve seryum atomlarının kesit yüzeyi yoğunluklarının gösterildiği XRD grafikleri “ekler” kısmında yer almaktadır.



8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmayla endüstrinin ihtiyaçlarına yönelik olarak geri dönüşüm polietilenin akışkanlıklarının iyileştirilmesi ve buna bağlı olarak mekanik, termal ve morfolojik açıdan üstün özelliklere sahip ürün elde edebilmek için farklı dolgu maddeleri geliştirilmiştir. Bu dolgu maddeleri alçak yoğunluklu polietilen (AYPE), elektrostatik toz boya atıkları ve nadir toprak elementleri içermektedir. Üretilen dolgu maddelerinin hepsi saf AYPE ve elektrostatik toz boya atığı içermekte olup, bu dolgu maddelerinden ikisi ayrıca eser miktarda lantan ve seryum ihtiva etmektedir. Bu dolgu maddeleri %70 kalsit katkılı AYPE ile ilk olarak mekanik daha sonra da ekstrüzyon da homojen biçimde karıştırılmış ve plastik enjeksiyon makinasında kullanılmak üzere hazır hale getirilmiştir. Homojen karışım halindeki malzemeler plastik enjeksiyon makinesinde kalıplanarak standart çekme çubuğu numunelerinin üretimi yapıldı. Geliştirilen dolgu maddelerinin katkısı ile GD AYPE'nin akışkanlık değerlerinin iyileştiği ve ağırlıkça artan dolgu katkısı ile bu akışkanlık değerlerindeki artışı tespit edilmiştir. Akışkanlık değerlerinin yükselmesi ile plastik enjeksiyonla parça üretimi esnasında karşılaşılabilen kalıp içindeki numunenin hasar alarak geometrisinin bozulması, numunenin kalıptan ayrılması gibi üretim kalitesine etki edebilecek olumsuzluklar ortadan kalkabilecektir. Bu artışla daha düşük sıcaklıklarda daha yüksek akışkanlıklar elde edilebileceği için üretimde önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlanabilecektir. GD AYPE içerisinde ağırlıkça %10 DM-1 kullanıldığında çekme dayanımı artmış olup, DM-1 daha fazla arttırıldığında bu değer azalmıştır. Matris malzeme içerisinde DM-2 ve DM-3 kullanıldığında ise GD AYPE'nin çekme gerilmesinin düştüğü görülmüştür. Bu azalmanın nedenleri olarak üretilen numunelerin homojenliklerinin istenilen şekilde sağlanamaması ve kopan yüzeylerde gözlemlenen hava boşukları olduğu söylenilebilir. Kesitlerde matris ve dolgu maddelerinin bağlanma mekanizmalarının da yetersiz olduğu elektron mikroskobu görüntülerinde ortaya konulmuştur. DM-1 oranı ağırlıkça %10 yapıldığında eğilme dayanımı artmış, DM-1 oranı ağırlıkça %20 ve %30 olduğunda ise eğilme dayanımı azalmıştır. DM-2 ve DM-3 dolgu oranları arttığında ise eğilme gerilmesinin düştüğü görülmüştür.

TGA/DTA analizinde numuneler içerisinde ki termoplastik esaslı malzemeler yaklaşık olarak 120 °C de eriyik hale gelmekte ve 480 °C civarında da yanmaktadır. Numuneler içerisinde ki toz boya atıkları da yaklaşık olarak aynı sıcaklıklarda yanmakta

olup, kalan kütle miktarları esas alındığında gerçekleştirilen karışım oranlarının desteklendiği görülmüştür.

neriler;

- Homojen karışım elde edilme sürecinde homojenliğin artırılabilmesi için tek vidalı ekstrüder yerine çift vidalı ekstrüder tercih edilebilir.
- Matris ve dolgu malzemeleri arasında daha güçlü bir bağlanma mekanizması oluşturabilmek amacıyla bağlayıcı özellikte çeşitli kimyasallar kullanılabilir.
- Matris ve dolgu malzemeleri arasındaki bağlanma mekanizmasına olumlu etki edebilecek bir başka yöntem, çeşitli radyoaktif ışımalara maruz bırakmaktır. Gama ışması kullanılarak matris malzemenin az miktarda bozularak dolgu maddesiyle daha fazla temasa geçmesi sağlanabilir.

9. KAYNAKLAR

- Akkurt, S.**, 1991. Plastik malzeme bilgisi, Birsen Yayınevi, İstanbul, 7-55, 75-89, 91-112
- Akyüz, Ö.F.**, 1999. Plastikler ve plastik enjeksiyon teknolojisine giriş, PAGEV Yayınları, İstanbul, (41-55, 59-89, 102-106)
- Celep, O., Yazıcı E., Deveci H.**, 2021. Nadir toprak elementlerinin birincil ve ikincil kaynaklardan üretimi, *Derleme Makalesi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Hydromet B&PM Araştırma Grubu, 61080, Trabzon, GÜFBED/GUSTIJ (2021) 11 (1): 264-280, 1-2s.
- Cristian H.**, 2017. W. Michaeli, Einführung in die kunststoffverarbeitung, verarbeitungsverfahren für die kunststoffe, Carl Hanser Verlag, München
- Gächter, R., Müller, H.**, 1987. Plastics additives, 2nd Edition, Hanser Publishers, Munich.
- Kara T., Kaymakoglu B., Ehsani A.**, 2019. Nadir toprak elementleri üretimi ve zenginleştirme süreçlerinin çalışan sağlığına etkileri, *Uluslararası Maden İşletmelerinde İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu*, Adana 2019, 2 -3s
- Kaya, F.**, 2005. Plastikler ve katkı maddeleri. Birsen yayınevi, İstanbul, 103s
- Kismet, Y.**, 2012. Entwicklung eines verfahrens für die verwartung von pulverlackrecyclaten, *Doktora Tezi*, Berlin Teknik Üniversitesi, Berlin.
- Kismet Y.**, 2016. Hidrolize edilmiş elektrostatik toz boya atık miktarına bağlı olarak poliamid 6 (PA6) ve polioksümetilenin (POM) eriyik akış indeksleri ve yoğunluklarındaki değişimlerin incelenmesi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(4), 241-245, 2016 2s.
- Kismet, Y., Dogan, A.**, 2022. Characterization of the mechanical and thermal properties of rape short natural-fiber reinforced thermoplastic composites. *Iranian Polymer Journal*, 31(2), 143-151.
- Kismet, Y., Wagner, M.H.**, 2019. Mechanical, thermal, and morphological properties of powder coating waste reinforced acetal copolymer, *Polymer Testing*, 82, 106332.
- Kundu, P., P., Biswas, J., Kim, H., Shim, S., E., Choe, S.**, 2004. Effect of calcite and calcite/zeolite hybrid fillers on LLDPE and PP composites. *Advances in PolymerTechnology*, 23, 230-238.
- Lou, P., Teng, X., Jia, Q., Wang Y., Zhang L.**, 2018. Preparation and structure of rare earth/thermoplastic polyurethane fiber for X-ray shielding, *Journal of Applied Polymer Science Volume 136*, Issue17 2019 2-3 s.
- Marşoğlu, M.**, 1986. Plastik malzemeler, Arpaz Matbaacılık, İstanbul.

- Mazumdar, S.K.**, 2001. Composites manufacturing, materials, product and process engineering, Crc Press.
- Ni, Ming., Ratner, D. B.**, 2008. Differentiation of calcium carbonate polymorphs by surface analysis techniques – An XPS and TOF-SIMS study. National Library of Medicine's, 40(10): 1356–1361.
- Öztürk H., N., Altuncu S., Kasapçı C.**, 2019. Türkiye'nin nadir yer element (nye) kaynakları: özelliklerine ve kökenlerine genel bir bakış, İstanbul Üniversitesi, *MTA Dergisi*, İstanbul, 159: 133-148,2019, 1-3s.
- Peacock, A. J.**, 2000. Handbook of polyethylene: structures, properties, and applications. Scrivener publishing, New York, 1333s.
- Ravve, A.**, 2012. Principles of polymer chemistry, third ed., Springer, New York.
- Saçak, M.**, 2006. Polimer kimyası. 3. Baskı, *Gazi Kitabevi*, Ankara, 33-35s.
- Savaşçı, Ö. T., Uyanık, N., Akovalı, G.**, 1998. Plastikler ve plastik teknolojisi. *Çantay Kitabevi*, İstanbul, 1-25: 199-203s.
- Shenoy, A. V., Saini, R. D.**, 1996. Thermoplastic melt rheology and processing, Marcel Dekker Inc., New York, 475s.
- Singh, N.**, 2009. Experimental study and parametric design of impact testing methodology. *Master's thesis*, Thapar university, 57s.
- Şahiner M., Akgök Y., Arslan M., Ergin M.**, 2017. Dünyada ve Türkiye'de nadir toprak elementleri, Maden Tetkik Ve Arama Genel Müdürlüğü, Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı, 9- 10s.
- Terzi, M.**, 2017. Isparta yöresi nadir toprak elementlerinin kazanımı için yeni proseslerin geliştirilmesi, *Doktora Tezi*, İstanbul Üniversitesi, İstanbul,2017, 17-19 S.
- Turaçlı H.** , 2003. Ekstrüzyon teknolojisine giriş , PAGEV Yayınları, İstanbul, 2.Baskı, (7-83)
- URL-1**, 2019. <https://www.ceyrekmuhendis.com/polimerler-nedir/>
- URL-2**, 2018. <https://malzemebilimi.net/cekme-testi-nedir-neden-uygulanir-nasil-yapilir.html>
- URL-3**, 2020. <https://cosmoplast.com.tr/blog/ekstruzyon-nedir>
- URL-4**, 2022. <https://www.machingo.com/plastik-enjeksiyon-nedir/>
- URL-5**, 2019. <https://www.ceyrekmuhendis.com/polietilen/>

URL-6, 2022. <https://www.alpapowder.com/tr/117672/>

URL-7, 2022. <https://www.zizuva.com/elektrostatik-toz-boya>

URL-8, 2023. <https://www.buzsu.com.tr/kalsit-nedir/>

URL-9, 2019. <https://naten.tenmak.gov.tr/tr/nte-hakkinda/dunyada-ve-turkiye-de-nte.html>



ÖZGEÇMİŞ



EKLER

EK-1. Tablo 1. GD AYPE çekme testi

İsim Parametreler	Max_Kuvvet Tüm Alan Hesaplaması	Max_Gerilme Tüm Alan Hesaplaması
Birim	N	N/mm2
GD AYPE	351,719	8,79297
GD AYPE	349,375	8,73438
GD AYPE	348,125	8,70313
GD AYPE	354,375	8,85938
GD AYPE	344,063	8,60156

EK-2. Tablo 2. GD AYPE + %10 TB (DM-1) çekme testi

İsim Parametreler	Max_Kuvvet Tüm Alan Hesaplaması	Max_Gerilme Tüm Alan Hesaplaması
Birim	N	N/mm2
GD AYPE + %10 TB	492,656	12,3164
GD AYPE + %10 TB	451,875	11,2969
GD AYPE + %10 TB	425,469	10,6367
GD AYPE + %10 TB	529,531	13,2383
GD AYPE + %10 TB	406,563	10,1641

EK-3. Tablo 3. GD AYPE + %20 TB (DM-1) çekme testi

İsim Parametreler	Max_Kuvvet Tüm Alan Hesaplaması	Max_Gerilme Tüm Alan Hesaplaması
Birim	N	N/mm2
GD AYPE + %20 TB	350,156	8,75391
GD AYPE + %20 TB	312,031	7,80078
GD AYPE + %20 TB	350,938	8,77344
GD AYPE + %20 TB	345	8,625
GD AYPE + %20 TB	330	8,25

EK-4. Tablo 4. GD AYPE + %30 TB (DM-1) çekme testi

İsim Parametreler	Max_Kuvvet Tüm Alan Hesaplaması	Max_Gerilme Tüm Alan Hesaplaması
Birim	N	N/mm2
GD AYPE + %30 TB	290,781	7,26953
GD AYPE + %30 TB	315,469	7,88672
GD AYPE + %30 TB	342,5	8,5625
GD AYPE + %30 TB	317,188	7,92969
GD AYPE + %30 TB	287,969	7,19922

EK-5. Tablo 5. GD AYPE + %10 TB + LANTAN (DM-2) çekme testi

İsim Parametreler	Max_Kuvvet Tüm Alan Hesaplaması	Max_Gerilme Tüm Alan Hesaplaması
Birim	N	N/mm2
GD AYPE + %10 TB + LANTAN	290,469	7,26172
GD AYPE + %10 TB + LANTAN	363,438	9,08594
GD AYPE + %10 TB + LANTAN	360	9
GD AYPE + %10 TB + LANTAN	380,313	9,50781
GD AYPE + %10 TB + LANTAN	345,625	8,64063

EK-6. Tablo 6. GD AYPE + %20 TB + LANTAN (DM-2) çekme testi

İsim Parametreler	Max_Kuvvet Tüm Alan Hesaplaması	Max_Gerilme Tüm Alan Hesaplaması
Birim	N	N/mm2
GD AYPE + %20 TB + LANTAN	311,563	7,78906
GD AYPE + %20 TB + LANTAN	307,344	7,68359
GD AYPE + %20 TB + LANTAN	290,781	7,26953
GD AYPE + %20 TB + LANTAN	276,094	6,90234
GD AYPE + %20 TB + LANTAN	318,281	7,95703

EK-7. Tablo 7. GD AYPE + %30 TB + LANTAN (DM-2) çekme testi

İsim Parametreler	Max_Kuvvet Tüm Alan Hesaplaması	Max_Gerilme Tüm Alan Hesaplaması
Birim	N	N/mm2
GD AYPE + %30 TB + LANTAN	273,75	6,84375
GD AYPE + %30 TB + LANTAN	281,406	7,03516
GD AYPE + %30 TB + LANTAN	263,906	6,59766
GD AYPE + %30 TB + LANTAN	271,25	6,78125
GD AYPE + %30 TB + LANTAN	275,313	6,88281

EK-8. Tablo 8. GD AYPE + %10 TB + SERYUM (DM-3) çekme testi

İsim Parametreler	Max_Kuvvet Tüm Alan Hesaplaması	Max_Gerilme Tüm Alan Hesaplaması
Birim	N	N/mm2
GD AYPE + %10 TB + SERYUM	245,938	6,14844
GD AYPE + %10 TB + SERYUM	295,938	7,39844
GD AYPE + %10 TB + SERYUM	268,438	6,71094
GD AYPE + %10 TB + SERYUM	284,844	7,12109
GD AYPE + %10 TB + SERYUM	269,844	6,74609

EK-9. Tablo 9. GD AYPE + %20 TB + SERYUM (DM-3) çekme testi

İsim Parametreler	Max_Kuvvet Tüm Alan Hesaplaması	Max_Gerilme Tüm Alan Hesaplaması
Birim	N	N/mm2
GD AYPE + %20 TB + SERYUM	335,781	8,39453
GD AYPE + %20 TB + SERYUM	272,656	6,81641
GD AYPE + %20 TB + SERYUM	291,25	7,28125
GD AYPE + %20 TB + SERYUM	268,906	6,72266
GD AYPE + %20 TB + SERYUM	274,844	6,87109

EK-10. Tablo 10. GD AYPE + %30 TB + SERYUM (DM-3) çekme testi

İsim Parametreler	Max_Kuvvet Tüm Alan Hesaplaması	Max_Gerilme Tüm Alan Hesaplaması
Birim	N	N/mm2
GD AYPE + %30 TB + SERYUM	259,375	6,48438
GD AYPE + %30 TB + SERYUM	265	6,625
GD AYPE + %30 TB + SERYUM	261,25	6,53125
GD AYPE + %30 TB + SERYUM	257,031	6,42578
GD AYPE + %30 TB + SERYUM	269,531	6,73828

EK-11. Tablo 11. GD AYPE üç nokta eğilme testi

İsim Parametreler	Max_Kuvvet Tüm Alan Hesaplaması	Max_Gerilme Tüm Alan Hesaplaması
Birim	N	N/mm2
GD AYPE	44,2188	26,5313
GD AYPE	36,4063	21,8438
GD AYPE	40,3125	24,1875
GD AYPE	41	24,6
GD AYPE	40,9375	24,5625

EK-12. Tablo 12. GD AYPE + %10 TB (DM-1) üç nokta eğilme testi

İsim Parametreler	Max_Kuvvet Tüm Alan Hesaplaması	Max_Gerilme Tüm Alan Hesaplaması
Birim	N	N/mm2
GD AYPE + %10 TB	50,8438	30,5063
GD AYPE + %10 TB	49,7188	29,8313
GD AYPE + %10 TB	41,4688	24,8813
GD AYPE + %10 TB	50,7813	30,4688
GD AYPE + %10 TB	42,875	25,725

EK-13. Tablo 13. GD AYPE + %20 TB (DM-1) üç nokta eğilme testi

İsim Parametreler	Max_Kuvvet Tüm Alan Hesaplaması	Max_Gerilme Tüm Alan Hesaplaması
Birim	N	N/mm2
GD AYPE + %20 TB	28	16,8
GD AYPE + %20 TB	28,875	17,325
GD AYPE + %20 TB	33,5	20,1
GD AYPE + %20 TB	32,75	19,65
GD AYPE + %20 TB	38	22,8

EK-14. Tablo 14. GD AYPE + %30 TB (DM-1) üç nokta eğilme testi

İsim Parametreler	Max_Kuvvet Tüm Alan Hesaplaması	Max_Gerilme Tüm Alan Hesaplaması
Birim	N	N/mm2
GD AYPE + %30 TB	37,4688	22,4813
GD AYPE + %30 TB	31,9688	19,1813
GD AYPE + %30 TB	27,5938	16,5563
GD AYPE + %30 TB	32,625	19,575
GD AYPE + %30 TB	28,25	16,95

EK-15. Tablo 15. GD AYPE + %10 TB + LANTAN (DM-2) üç nokta eğilme testi

İsim Parametreler	Max_Kuvvet Tüm Alan Hesaplaması	Max_Gerilme Tüm Alan Hesaplaması
Birim	N	N/mm2
GD AYPE + %10 TB + LANTAN	35,1875	21,1125
GD AYPE + %10 TB + LANTAN	34,3125	20,5875
GD AYPE + %10 TB + LANTAN	33,4688	20,0813
GD AYPE + %10 TB + LANTAN	32,8125	19,6875
GD AYPE + %10 TB + LANTAN	32,3438	19,4063

EK-16. Tablo 16. GD AYPE + %20 TB + LANTAN (DM-2) üç nokta eğilme testi

İsim Parametreler	Max_Kuvvet Tüm Alan Hesaplaması	Max_Gerilme Tüm Alan Hesaplaması
Birim	N	N/mm2
GD AYPE + %20 TB + LANTAN	30,8438	18,5063
GD AYPE + %20 TB + LANTAN	28,875	17,325
GD AYPE + %20 TB + LANTAN	30,9063	18,5438
GD AYPE + %20 TB + LANTAN	30,9063	18,5438
GD AYPE + %20 TB + LANTAN	29,625	17,775

EK-17. Tablo 17. GD AYPE + %30 TB + LANTAN (DM-2) üç nokta eğilme testi

İsim Parametreler	Max_Kuvvet Tüm Alan Hesaplaması	Max_Gerilme Tüm Alan Hesaplaması
Birim	N	N/mm2
GD AYPE + %30 TB + LANTAN	31,1563	18,6938
GD AYPE + %30 TB + LANTAN	30,7813	18,4688
GD AYPE + %30 TB + LANTAN	26,7188	16,0313
GD AYPE + %30 TB + LANTAN	28,1563	16,8938
GD AYPE + %30 TB + LANTAN	27,8438	16,7063

EK-18. Tablo 18. GD AYPE + %10 TB + SERYUM (DM-3) üç nokta eğilme testi

İsim Parametreler	Max_Kuvvet Tüm Alan Hesaplaması	Max_Gerilme Tüm Alan Hesaplaması
Birim	N	N/mm2
GD AYPE + %10 TB + SERYUM	35,7813	21,4688
GD AYPE + %10 TB + SERYUM	34,0313	20,4188
GD AYPE + %10 TB + SERYUM	33,5938	20,1563
GD AYPE + %10 TB + SERYUM	33,375	20,025
GD AYPE + %10 TB + SERYUM	32,75	19,65

EK-19. Tablo 19. GD AYPE + %20 TB + SERyum (DM-3) üç nokta eğilme testi

İsim Parametreler	Max_Kuvvet Tüm Alan Hesaplaması	Max_Gerilme Tüm Alan Hesaplaması
Birim	N	N/mm2
GD AYPE + %20 TB + SERyum	30,9063	18,5438
GD AYPE + %20 TB + SERyum	31,6563	18,9938
GD AYPE + %20 TB + SERyum	25,5313	15,3188
GD AYPE + %20 TB + SERyum	30,9063	18,5438
GD AYPE + %20 TB + SERyum	31,0938	18,6563

EK-20. Tablo 20. GD AYPE + %30 TB + SERyum (DM-3) üç nokta eğilme testi

İsim Parametreler	Max_Kuvvet Tüm Alan Hesaplaması	Max_Gerilme Tüm Alan Hesaplaması
Birim	N	N/mm2
GD AYPE + %30 TB + SERyum	30,5625	18,3375
GD AYPE + %30 TB + SERyum	30,375	18,225
GD AYPE + %30 TB + SERyum	29,4688	17,6813
GD AYPE + %30 TB + SERyum	27,75	16,65
GD AYPE + %30 TB + SERyum	31,4688	18,8813

EK-21. Tablo 21. %70 Kalsit katkılı GD AYPE nin TGA/DTA sonuçları

Orta Nokta	Başlangıç	Bitiş	Ağırlık Kaybı
478,12 °C	460,45 °C	493,61 °C	% 29,71

EK-22. Tablo 22. %70 kalsit katkılı GD AYPE + %30 DM-1 in TGA/DTA sonuçları

Orta Nokta	Başlangıç	Bitiş	Ağırlık Kaybı
470,10 °C	465,23 °C	491,85 °C	% 48,8

EK-23. Tablo 23. %70 kalsit katkılı GD AYPE + %30 DM-2 nin TGA/DTA sonuçları

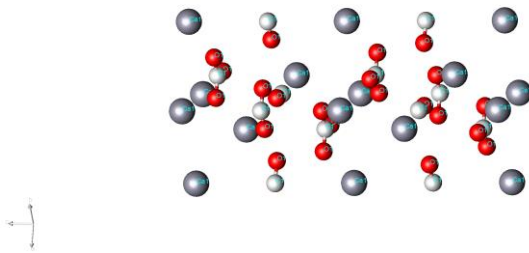
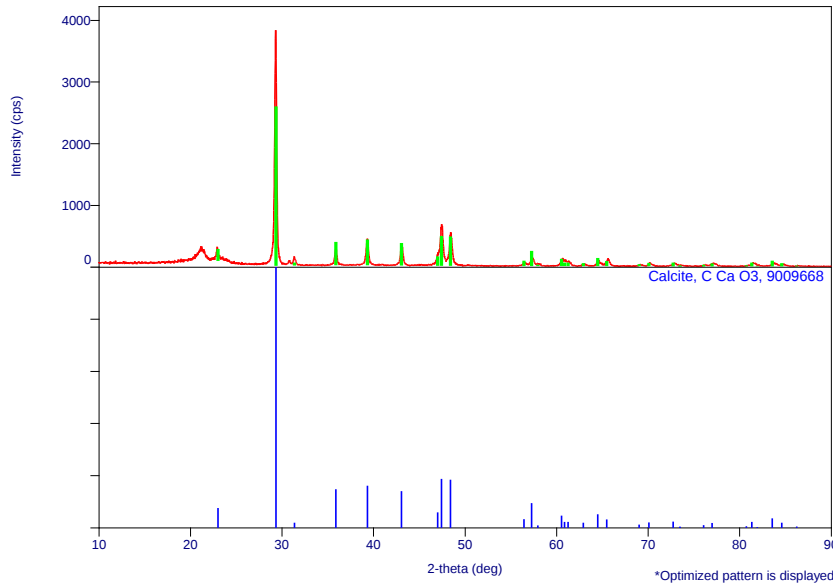
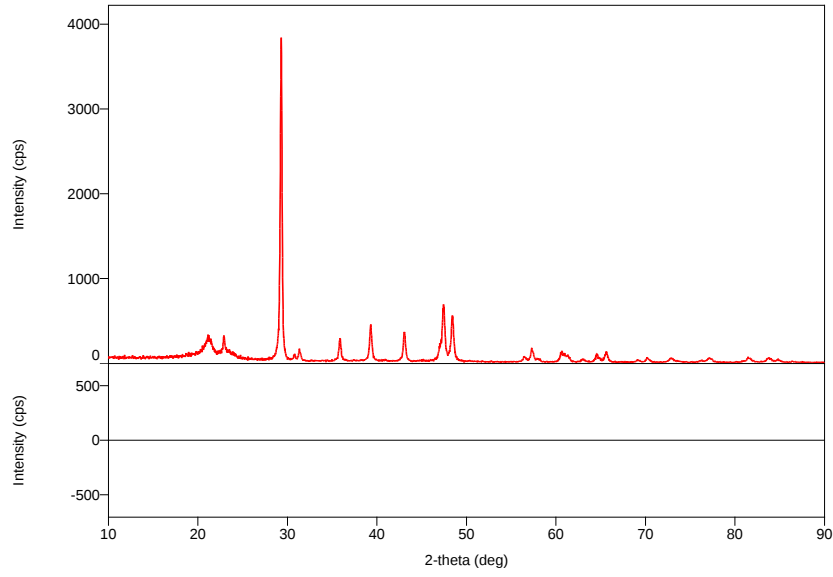
Orta Nokta	Başlangıç	Bitiş	Ağırlık Kaybı
465,62 °C	444,27 °C	487,66 °C	% 41,37

EK-24. Tablo 24. %70 kalsit katkılı GD AYPE + %30 DM-3 ün TGA/DTA sonuçları

Orta Nokta	Başlangıç	Bitiş	Ağırlık Kaybı
468,66 °C	446,09 °C	489,34 °C	% 38,97

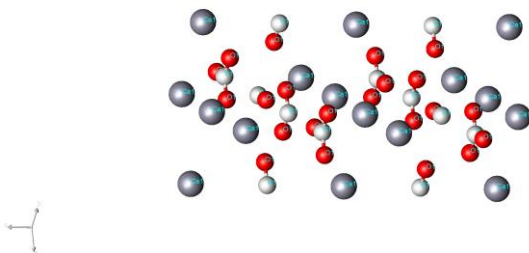
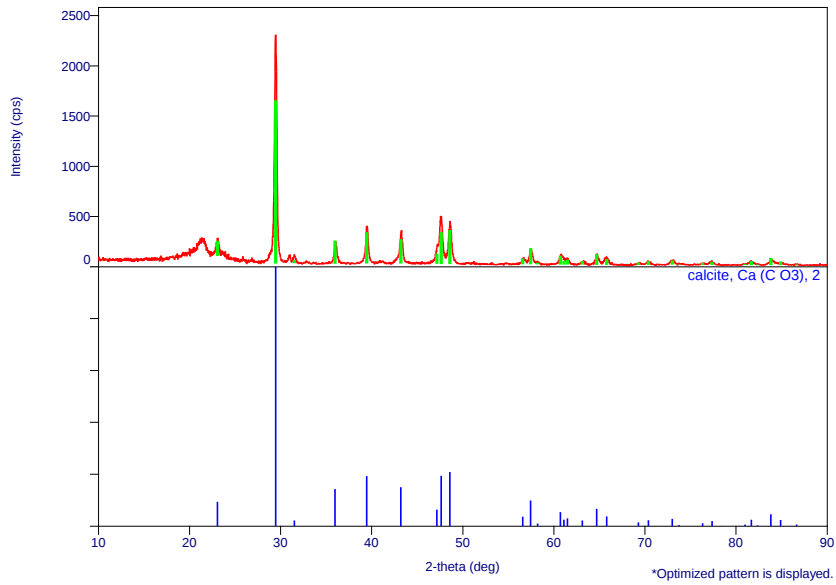
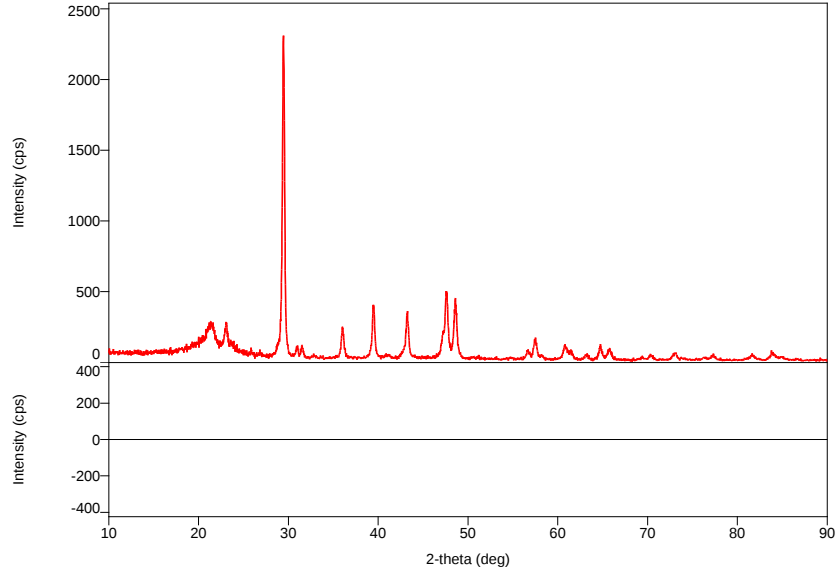
EK-25. %70 kalsit katkılı GD AYPE nin XRD grafikleri ve atomların 3 boyutlu dağılımı

Measurement profile



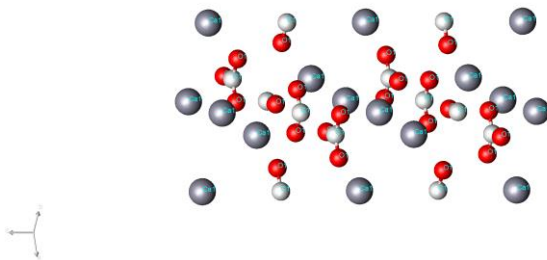
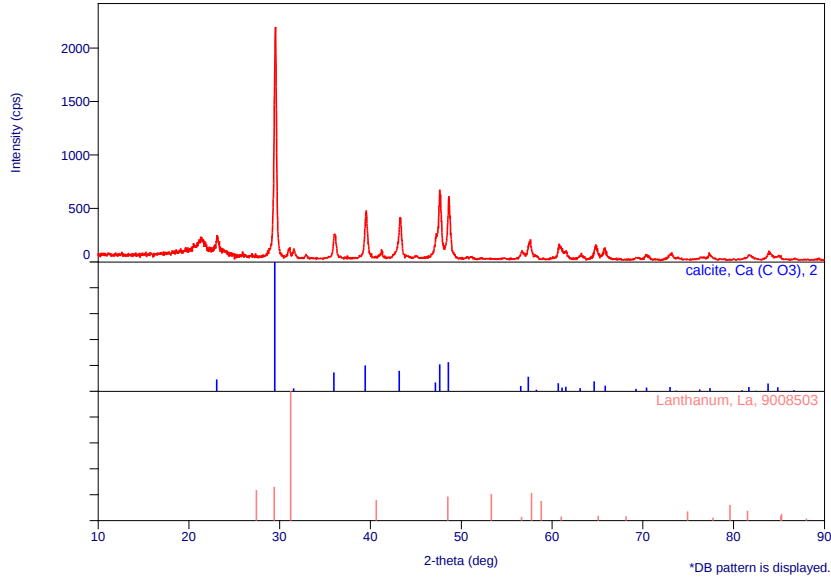
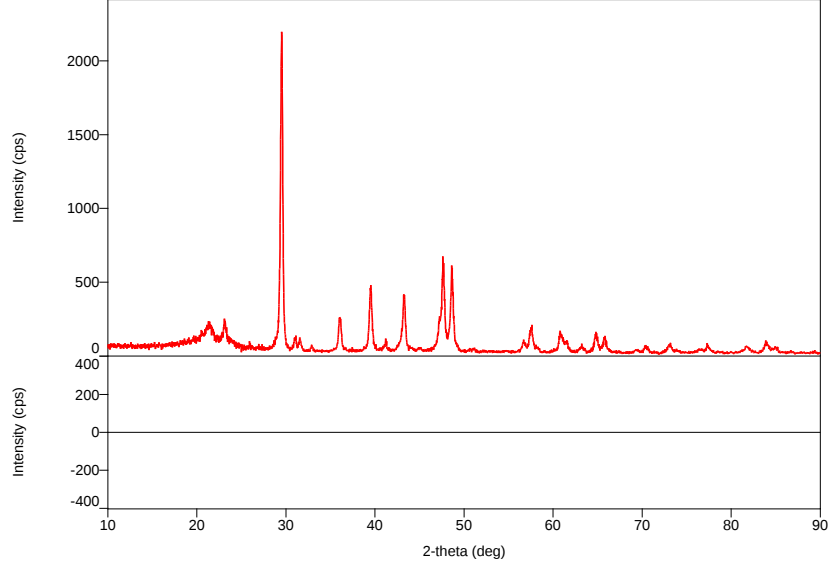
EK-26. %70 kalsit katkılı GD AYPE + DM-1 in XRD grafikleri ve atomların 3 boyutlu dağılımı

Measurement profile



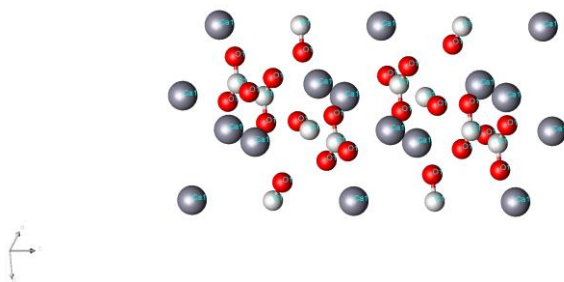
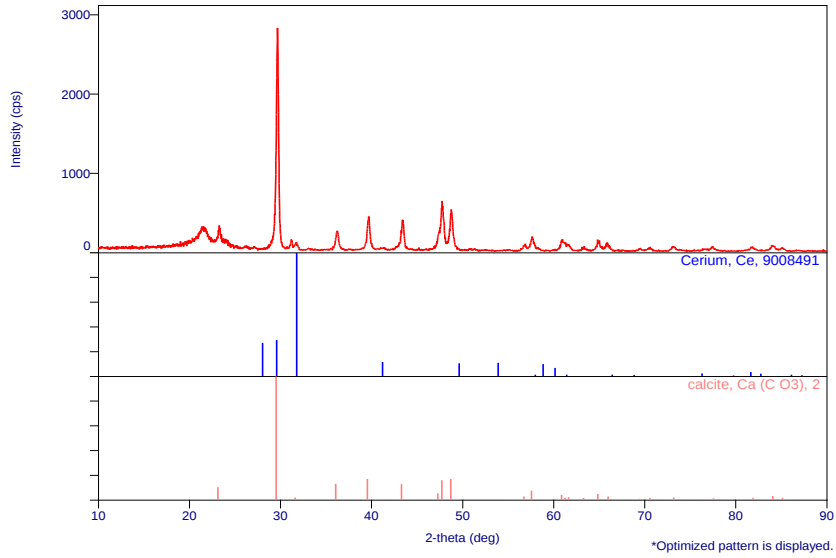
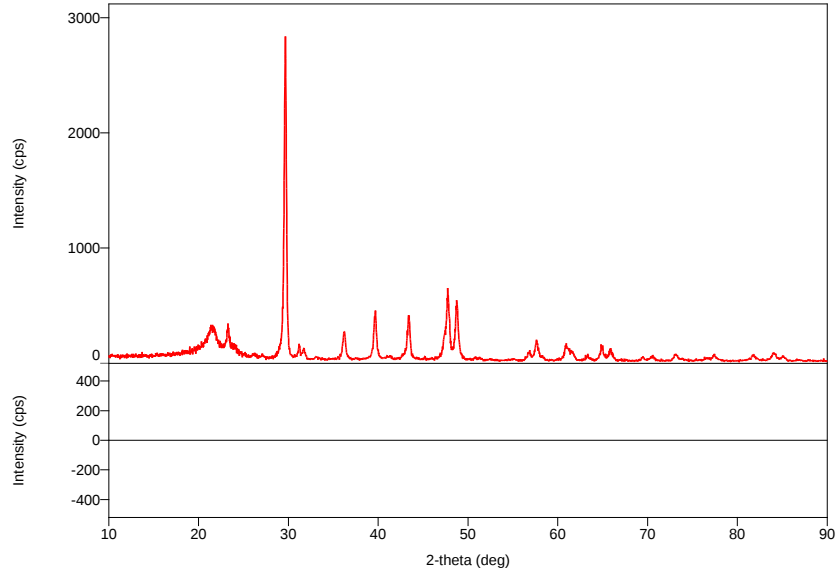
EK-27. %70 kalsit katkılı GD AYPE + DM-2 nin XRD grafikleri ve atomların 3 boyutlu dağılımı

Measurement profile

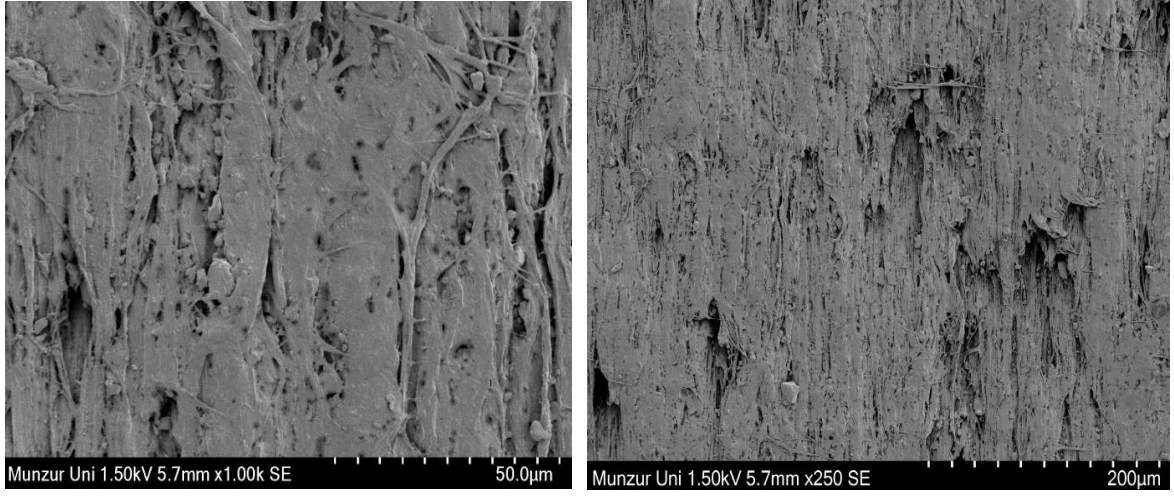


EK-28. %70 kalsit katkılı GD AYPE + DM-3 ün XRD grafikleri ve atomların 3 boyutlu dağılımı

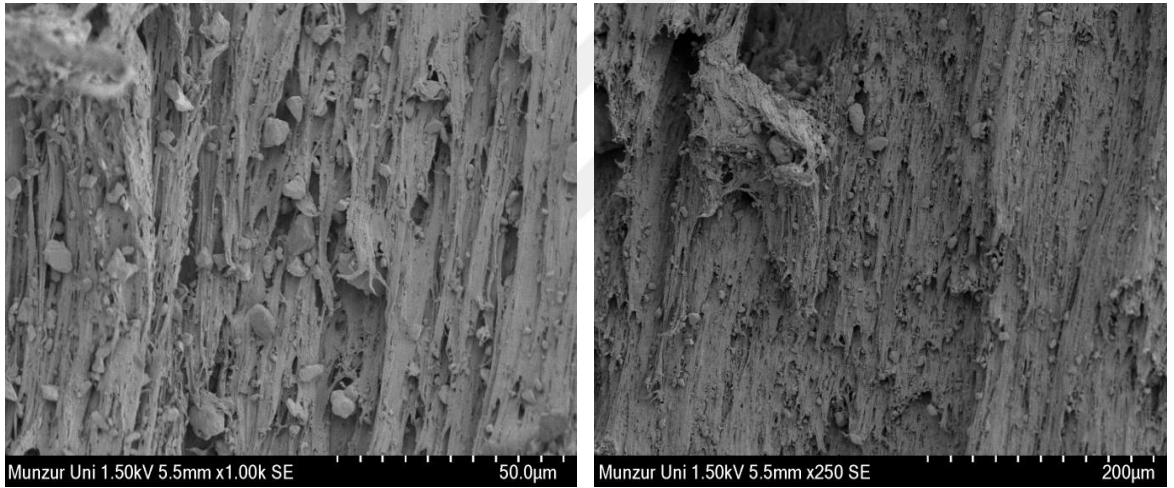
Measurement profile



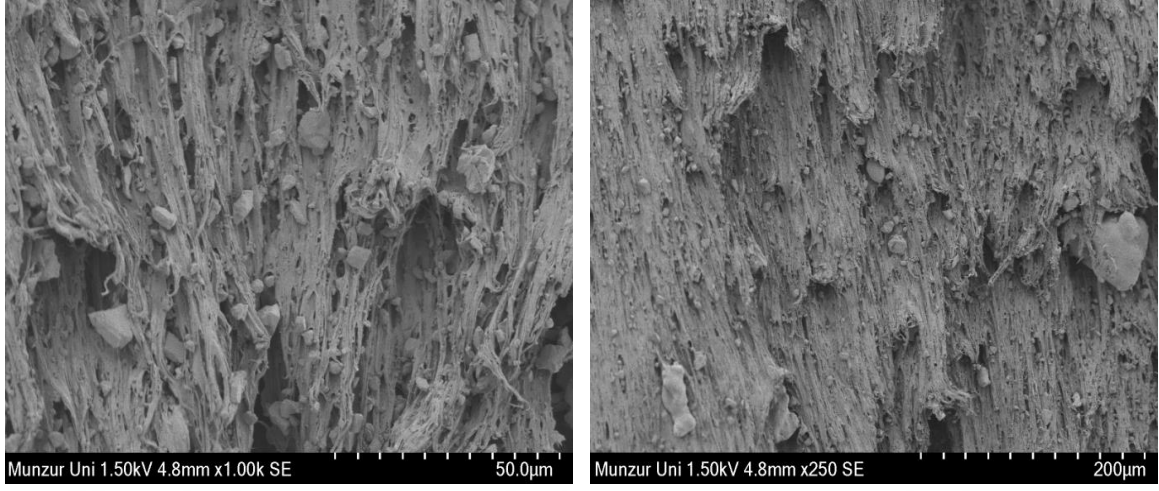
EK-29. %70 kalsit katkılı GD AYPE nin farklı ölçeklerdeki kesit görüntüleri.



EK-30. %70 kalsit katkılı GD AYPE + DM-1 in farklı ölçeklerdeki kesit görüntüleri.



EK-31. %70 kalsit katkılı GD AYPE + DM-2 nin farklı ölçeklerdeki kesit görüntüleri.



EK-32. %70 kalsit katkılı GD AYPE + DM-3 ün farklı ölçeklerdeki kesit görüntüleri.

