

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**KARBON ELYAF TAKVİYELİ POLİETİLENİN MEKANİK, TERMAL VE
FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNE NADİR TOPRAK ELEMENTLERİNİN
ETKİLERİ**

PAMUK AYİKURT

YÜKSEK LİSANS TEZİ
STRATEJİK HAMMADDELER VE İLERİ
TEKNOLOJİ UYGULAMALARI ANABİLİM DALI

I. DANIŞMAN

Doç. Dr. Yılmaz KİSMET

II. DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Akar DOĞAN

TUNCELİ-2023

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**KARBON ELYAF TAKVİYELİ POLİETİLENİN MEKANİK, TERMAL VE
FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNE NADİR TOPRAK ELEMENTLERİNİN
ETKİLERİ**

PAMUK AYIKURT
(190090018)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
STRATEJİK HAMMADDELER VE İLERİ
TEKNOLOJİ UYGULAMALARI ANABİLİM DALI

I. DANIŞMAN
Doç. Dr. Yılmaz KİSMET

II. DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Akar DOĞAN

TUNCELİ-2023

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**KARBON ELYAF TAKVİYELİ POLİETİLENİN MEKANİK, TERMAL VE
FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNE NADİR TOPRAK ELEMENTLERİNİN
ETKİLERİ**

**Pamuk AYIKURT
YÜKSEK LİSANS TEZİ
STRATEJİK HAMMADDELER VE İLERİ
TEKNOLOJİ UYGULAMALARI ANABİLİM DALI**

Bu tez 16 /01/ 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

İmza

Dr. Öğr. Üyesi Volkan ARIKAN
(Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi)
ÜYE

İmza

Dr. Öğr. Üyesi Naim ASLAN
(Munzur Üniversitesi)
ÜYE

Bu tez, Enstitümüz Stratejik Hammaddeler Ve İleri Teknoloji Uygulamaları Anabilim Dalı'nda hazırlanmıştır.

Doç. Dr. Murat KORUNUR
Enstitü Müdürü

Bu çalışma, Munzur Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.

Proje No: YLMUB021-06

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.

16/03/2023

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
Pamuk AYİKURT

Danışman
Doç. Dr. Yılmaz KİSMET

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yürütülmesi esnasında desteğini esirgemeyen, gösterdiği sabır ve emekleri için değerli danışmanım Doç. Dr. Yılmaz KISMET'e, yardımlarından dolayı değerli Dr. Öğr. Üyesi Akar DOĞAN'a katkılarından dolayı Munzur Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi ile Stratejik Hammaddeler ve İleri Teknoloji Uygulamaları Anabilim Dalı'na ve benden her türlü maddi manevi yardımlarını esirgemeyen değerli aileme teşekkür ederim.

Pamuk AYIKURT

Tunceli-2023



İÇİNDEKİLER

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	I
TEŞEKKÜR.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ŞEKİLLER LİSTESİ	V
TABLOLAR LİSTESİ	VI
RESİMLER LİSTESİ	VII
SEMBOLLER LİSTESİ	VIII
KISALTMALAR LİSTESİ	IX
ÖZET	X
ABSTRACT	XI
1. GİRİŞ	1
2. PLASTİKLER ve ÖZELLİKLERİ	2
2.1. Polimer Bilimi ve Plastikler	2
2.2. Molekül Yapıları ve Polimerizasyon Dereceleri	3
2.2.1. Termoplastikler	7
2.2.2. Termosetler	7
2.2.3. Elastomerler	8
2.3. Polimerlerin Özellikleri ve Üretim Yöntemleri	8
2.3.1. Mekanik ve Termal Özellikleri	9
2.3.2. Kimyasallara Karşı Dayanımları	10
2.3.3. Ekstrüzyon ve Plastik Enjeksiyon ile Üretim	11
2.3.4. Diğer Üretim Teknikleri	12
3. TERMOPLASTİKLER ve TERMOPLASTİK KOMPOZİTLER.....	13
3.1. Poliolenfinler	13
3.2. Termoplastik Matrisli Kompozitler	15
3.2.1. Termoplastiklerde Kullanılan Dolgu Maddeleri ve Üretim Teknikleri	16
3.3. Karbon Elyaf Takviyeli Termoplastikler	17
3.4. Termoplastik Kompozitlerin Karakterizasyonu	17
4. NADİR TOPRAK ELEMENTLERİ.....	21
4.1. Türkiye’de NTE Sahaları ve NTE Eldesi	22
4.2. NTE’lerin Zenginleştirilmesi	23
4.3. Polimerlerde NTE’kullanımı	24
5. MATERYAL VE METOT (YÖNTEM)	26
5.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler	26
5.2. Mekanik Karışım ve Eriyik Akış Analizi	26
5.3. NTE ve Karbon Elyaf Tozu Esaslı Takviye Elemanının Elde Edilmesi	27
5.4. Eriyik Akış Analizi (MFI)	28
5.5. Ekstrüzyonda Homojen Karışım	29
5.6. Ekstrüzyon Sonrası Akış Analizleri	30
5.7. Plastik Enjeksiyon ile Numune Üretimi	31
5.8. Üretilen Numunelerin Karakterizasyonu	33
5.8.1. Mekanik Testler	33
5.8.2. Termal Testler	34
5.8.3. Morfolojik Analiz	34
6. SONUÇLAR	36
6.1. Eriyik Akış Analiz Sonuçları	36

6.2. Mekanik Test Sonuçları	40
6.2.1. Çekme Test Sonuçları	40
6.2.2. Üç Nokta Eğilme Gerilmesi	44
6.3. Elektron Mikroskobu Sonuçları (SEM/EDS)	46
6.4. Termogravimetrik (TGA/DTA) Analiz Sonuçları	61
7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	65
KAYNAKLAR	67
ÖZGEÇMİŞ	
EKLER	



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Polimerlerin molekül yapıları	3
Şekil 2.2. Polimeri oluşturan zincir şekilleri	5
Şekil 2.3. Kopolimerleri oluşturan monomerlerin diziliş şekilleri	5
Şekil 2.4. Termoplastik yapıdaki polimerlerin zincir yapıları.....	7
Şekil 2.5. Termoset polimer malzemeye ait zincir yapıları.....	8
Şekil 2.6. Ekstrüzyon ünitesi.....	11
Şekil 2.7. Şematik olarak plastik enjeksiyon makinesi.	12
Şekil 3.1. YYPE ve AYPE'nin zincir yapısını şematik gösterimi.	15
Şekil 4.1. Dünyadaki NTE rezerv dağılımı	21
Şekil 4.2. Türkiye'de NTE yataklarının jeopolitik konumu.....	22
Şekil 5.1. Dolgu maddesinin elde edilmesi için hazırlanan çözeltiler	28
Şekil 5.2. Enjeksiyon ile üretilen Tip 1A standart çekme çubuklarının teknik ölçüleri.....	32
Şekil 6.1. Farklı dolgu maddeleri ve oranlarına bağlı olarak AYPE'nin eriyik akış indeksindeki değişim.	36
Şekil 6.2. Farklı dolgu maddeleri ve oranlarına bağlı olarak YYPE'nin eriyik akış indeksindeki değişim.	37
Şekil 6.3. Dolgu maddesinin çeşidi ve miktarına bağlı olarak AYPE'nin kütsel akışkanlığındaki değişim.	38
Şekil 6.4. Dolgu maddesinin çeşidi ve miktarına bağlı olarak YYPE'nin kütsel akışkanlığındaki değişim.	39
Şekil 6.5. Dolgu maddesi çeşidi ve ağırlıkça oranına bağlı olarak AYPE'nin çekme gerilmesindeki değişim.	41
Şekil 6.6. Dolgu maddesi çeşidi ve ağırlıkça oranına bağlı olarak AYPE'nin E- Modülündeki değişim.	42
Şekil 6.7. Dolgu maddesi çeşidi ve ağırlıkça oranına bağlı olarak YYPE'nin çekme gerilmesindeki değişim.	43
Şekil 6.8. Dolgu maddesi çeşidi ve ağırlıkça oranına bağlı olarak YYPE'nin E- Modülündeki değişim.	44
Şekil 6.9. Dolgu maddesi çeşidi ve ağırlıkça oranına bağlı olarak AYPE'nin eğilme gerilmesindeki değişim.	45
Şekil 6.10. Dolgu maddesi çeşidi ve ağırlıkça oranına bağlı olarak YYPE'nin eğilme gerilmesindeki değişim.	46
Şekil 6.11. Dolgu maddesi-1 takviyeli AYPE'nin TGD/DTA değişimi.	62
Şekil 6.12. Dolgu maddesi-2 takviyeli AYPE'nin TGD/DTA değişimi.	63
Şekil 6.13. Dolgu maddesi-3 takviyeli YYPE'nin TGD/DTA değişimi.	64

TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 2.1. Polimerlerin sınıflandırılması	6
Tablo 3.1. Termoplastik Kompozitlerin Mekanik, Termal ve Fiziksel Özelliklerini ölçmek için kullanılan teknikler	18
Tablo 4.1 NTE nin kazanılmasında kullanılan yöntemler (Celep, Yazıcı, Deveci, 2021) .	23
Tablo 5.1 AYPE’de kullanılan karbon elyaf tozu, lantan ve seryum esaslı dolgu maddeleri	27
Tablo 5.2. Extrüzyon makinası bölge sıcaklıkları ve vida devri.....	30
Tablo 5.3 Plastik enjeksiyon ile kalıplamada kullanılan üretim parametreleri.....	32
Tablo 6.1. AYPE ve YYPE matrisli numunelerin üretiminde kullanılan dolgu maddeleri ve içerikleri.	40
Tablo 6.2. EDS için seçilen yüzeyde tespit edilen elementler ve ağırlıkça % oranları	49
Tablo 6.3. EDS için seçilen yüzeyde tespit edilen elementler ve ağırlıkça [%] oranları....	51
Tablo 6.4. EDS için seçilen yüzeyde tespit edilen elementler ve ağırlıkça [%] oranları....	53
Tablo 6.5. EDS için seçilen yüzeyde tespit edilen elementler ve ağırlıkça [%] oranları....	56
Tablo 6.6. EDS için seçilen yüzeyde tespit edilen elementler ve ağırlıkça [%] oranları....	58
Tablo 6.7. EDS için seçilen yüzeyde tespit edilen elementler ve ağırlıkça [%] oranları....	61

RESİMLER LİSTESİ

Resim 3.1. Çekme test cihazı	18
Resim 5.1. JPT EQUIPMANT marka XRL-400A model” Melt Flow Index eriyik akış cihazı.	27
Resim 5.2. BES35 LD-tek vida extrüder makinası.	29
Resim 5.3. Granül eldesi için kullanılan kırıcı.....	31
Resim 5.4. Plastik Enjeksiyon Makinası.....	31
Resim 5.5. Plastik enjeksiyon kalıbı ve üretilen numenler.	32
Resim 5.6. “Shimadsu ag-x 10” ile gerçekleştirilen çekme ve üç nokta eğilme deneyleri.	33
Resim 5.7. “DTG 60” TGA/DTA cihazı.....	34
Resim 5.8. HITACHI SU 3500 marka taramalı elektron mikroskobu.....	35
Resim 6.1. Ağırılıkça %30 dolgu Maddesi-1 içeren AYPE numunesine ait kesit görüntüsü.	47
Resim 6.2. EDS analizi için seçilen yüzey.....	48
Resim 6.3. EDS analizine ait spektrum sonucu.	48
Resim 6.4. Ağırılıkça %30 dolgu Maddesi-2 içeren AYPE numunesine ait kesit görüntüsü.	49
Resim 6.5. EDS analizi için seçilen yüzey.....	50
Resim 6.6. EDS analizine ait spektrum sonucu.	51
Resim 6.7. Ağırılıkça %30 dolgu Maddesi-3 içeren AYPE numunesine ait kesit görüntüsü.	52
Resim 6.8. EDS analizi için seçilen yüzey.....	52
Resim 6.9. EDS analizine ait spektrum sonucu.	53
Resim 6.10. Ağırılıkça %30 dolgu Maddesi-1 içeren YYPE numunesine ait kesit görüntüsü.	54
Resim 6.11. EDS analizi için seçilen yüzey.....	55
Resim 6.12. EDS analizine ait spektrum sonucu.	55
Resim 6.13. Ağırılıkça %30 dolgu Maddesi-2 içeren YYPE numunesine ait kesit görüntüsü.	56
Resim 6.14. EDS analizi için seçilen yüzey.....	57
Resim 6.15. EDS analizine ait spektrum sonucu.	57
Resim 6.16. Ağırılıkça %30 dolgu Maddesi-3 içeren YYPE numunesine ait kesit görüntüsü.	59
Resim 6.17. EDS analizi için seçilen yüzey.....	60
Resim 6.18. EDS analizine ait spektrum sonucu.	60

SEMBOLLER LİSTESİ

ΔH	: Entalpi değişimi
T_g	: Camı geçiş sıcaklığı
T_m	: Erime sıcaklığı
T_c	: Kristallenme sıcaklığı
$^{\circ}C$	: Santigrat derece
Σ	: Gerilme
ε	: Birim şekil değiştirme
E	: Elastize Modülü
σ_{ϵ}	: Çekme Dayanımı
σ_{ak}	: Akma Dayanımı

KISALTMALAR LİSTESİ

AYPE	: Alçak yoğunluklu polietilen
YYPE	: Yüksek yoğunluklu polietilen
DSC	: Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
DMA	: Dinamik Mekanik Analiz
DTA	: Diferansiyel Termal Analiz
Si-O-Si	: Siloksan fonksiyonel grup
XRD	: X-ışını kırınımı
PE	: Polietilen
TGA	: Termogravimetrik analiz
NTE	: Nadir Toprak Elementleri
PP	: Polipropilen
PÜ	: Poliüretan
FTIR	: Fourier transform kızılötesi spektroskopisi
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
KET	: Karbon elyaf tozu
MFI	: Eriyik akış cihazı

ÖZET

Bu çalışmada termoplastiklerin önemli bir üyesi olan polietilenin mekanik, termal ve morfolojik özellikleri üzerine karbon elyaf tozu ve nadir toprak elementlerinin etkileri incelenmiştir. Polietilen olarak alçak yoğunluklu (AYPE) ve yüksek yoğunluklu (YYPE) polietilenler ayrı ayrı çalışılmıştır. Nadir toprak elementi olarak ise %90 ve üzeri saflıkta lantan ve seryum oksitler kullanılmıştır. Öncelikle bu elementler saf suda ayrı ayrı çözüldükten sonra karbon elyaf tozu bu çözeltilere karıştırıldı. Lantan ve seryumun karbon elyafa emilimi sağlandıktan sonra bu karışımlar hazırlanan alçak yoğunluklu polietilen çözeltisi içerisine dökülerek termoplastik karakterde takviye elemanı geliştirildi. Lantan ve seryum esaslı olarak ayrı ayrı elde edilen bu takviye elemanları kurutulup granül hale getirildikten sonra çalışmada kullanılacak olan matris malzemeler (AYPE ve YYPE) ile ayrı ayrı ağırlıkça %5, %10, %20 ve %30 oranlarında önce mekanik olarak daha sonrada uygun sıcaklıklarda ekstrüzyonda homojen olarak karıştırıldı. Ekstrüzyonda homojen hale getirilen bu karışımlar ekstrüzyon çıkışında soğutuldu ve akabinde kırıcıda geçirilerek granül hale getirildi. Elde edilen bu granüller plastik enjeksiyon makinası ile kalıplara basılarak standart çekme çubukları üretildi. Üretilen bu çekme çubuklarının mekanik olarak çekme, eğilme, izod darbe ve sertlik analizleri gerçekleştirildi. Elde edilen karışımların camsı geçiş sıcaklıkları, erime sıcaklıkları ve kütle kayıplarının belirlenmesi için ise TGA/DTA analizi yapıldı. Aynı zamanda matris ve dolgu arasında ki bağlanma mekanizmasının belirlenmesi için ise numunelerin kesit görüntüleri elektron mikroskobu ile incelendi. Hem AYPE hem de YYPE içerisinde artan takviye elemanı miktarına bağlı olarak değişimler grafiklerle gösterilerek tartışıldı.

Anahtar kelimeler: Polietilen, Lantan, Seryum, Mekanik ve termal özellikler, Ekstrüzyon, Plastik enjeksiyon

ABSTRACT

The Effects Of Rare Soil Elements On The Mechanical, Thermal And Physical Properties Of Carbon Fiber Reinforced Polyethylene

In this study, the effects of carbon fiber powder and rare earth elements on the mechanical, thermal and morphological properties of polyethylene, which is an important member of thermoplastics, were investigated. As polyethylene, low density (LDPE) and high density (HDPE) polyethylenes were studied separately. Lanthanum and cerium oxides with a pure of 90% and above were used as rare earth elements. First, these elements were dissolved separately in pure water, and then carbon fiber powder was mixed into these solutions. After the absorption of lanthanum and cerium into carbon fiber, these mixtures are poured into the prepared low density polyethylene solution and a thermoplastic reinforced element is developed. These reinforcing elements, which were obtained separately as lanthanum and cerium based, were dried and granulated. Then, it was mixed homogeneously with the matrix materials (LDPE and HDPE) to be used in the study separately at 5%, 10%, 20% and 30% by weight, first mechanically and then in extrusion at appropriate temperatures. These mixtures, which were homogenized in extrusion, were cooled at the exit of the extrusion and granulated by passing through the crusher. These granules obtained were pressed into molds with a plastic injection machine and standard specimen were produced. Mechanical tensile, bending, izod impact and hardness analyzes of these produced standard specimen were performed. TGA/DTA analysis was performed to determine the glass transition temperatures, melting temperatures and mass losses of the obtained mixtures. At the same time, in order to determine the bonding mechanism between the matrix and the filler, the cross-sectional images of the samples were examined by electron microscopy. Depending on the increasing amount of reinforcement elements in both LDPE and HDPE, the changes were discussed by showing graphics.

Key words: Polyethylene, Lanthanum, Cerium, Mechanical and thermal properties, Extrusion, Plastic injection

1. GİRİŞ

Endüstriyel üretimde insan ihtiyaçlarına en doğru ve en hızlı şekilde cevap verebilmek için üretim çeşitliliği, üretimin hızı ve verimliliği son derece önemlidir. Bu çerçevede kolay bulunabilmeleri, rahat işlenebilmeleri ve maliyetlerinin düşük olması nedeniyle polimerler endüstride birçok ihtiyaca yönelik olarak kullanılmaktadır (Güler,1997).

Monomerlerin bir araya gelerek oluşturdukları polimerlerin en önemli grubunu termoplastikler oluşturmaktadır. Ticari ve mühendislik olmak üzere sınıflandırılan termoplastiklerin ticari olarak üretimde en yaygın kullanıma sahip olanlarından bir tanesi polietilendir. Bu yaygın kullanım içerisinde polietilenler genellikle farklı dolgu maddeleri ile güçlendirilerek kompozitler geliştirilmekte ve ihtiyaca yönelik olarak tercih edilmektedirler. Genel olarak termoplasiklerde organik/inorganik, sentetik/doğal olmak üzere farklı birçok madde takviye elemanı olarak kullanılmakta ve termoplastiğin istenilen özelliği iyileştirilebilmektedir. Bu sayede üretim maliyetleri de azaltılarak sürdürülebilir çevre dostu ürünlerde geliştirilmektedir.

Bu çalışmada nadir toprak elementi ve karbon elyaf tozu esaslı bir takviye elemanları geliştirilecek ve bu takviye elemanları hem alçak yoğunluklu polietilen (AYPE) hem de yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) içerisinde dolgu maddesi olarak kullanılacaktır. Bu şekilde numuneler üretilecek ve üretilen numunelerin takviye elemanının çeşidine ve ağırlıkça oranına bağlı olarak mekanik, termal ve morfolojik özelliklerindeki değişimler incelenecektir.

2. PLASTİKLER ve ÖZELLİKLERİ

2.1. Polimer Bilimi ve Plastikler

Monomerlerin bir araya gelerek oluşturdukları çoklu yapılara polimerler denilmektedir ve esas olarak karbon, hidrojen, oksijen ve azot atomlarından oluşurlar. Doğal ve sentetik yapıda bulunan polimerler aynı zamanda yüksek molekül ağırlığına sahip plastikleri de meydana getirmektedir. Plastikler gaz, ham petrol ve kömür esaslı olabilirler ve kimyasal olarak birbirlerine bağlı uzun zincir yapılardır. Sadece petrokimya atıklarından değil aynı zamanda doğal polimerlerden de elde edilebilirler. Doğal polimerlerin çoğu basit yapılıdır ve omurgada karbon atomu bulundurduğundan parçalanabilir bir yapıya sahiptir, doğa dostudur. Örneğin selüloz, nişasta ve doğal kauçuk İnorganik polimerler ise omurgada karbon atomu içermez ve doğa dostu değildir. Naylon, silikon barofan, ve suni ipek inorganik polimerlere örnek gösterilebilir (URL 1, 2013).

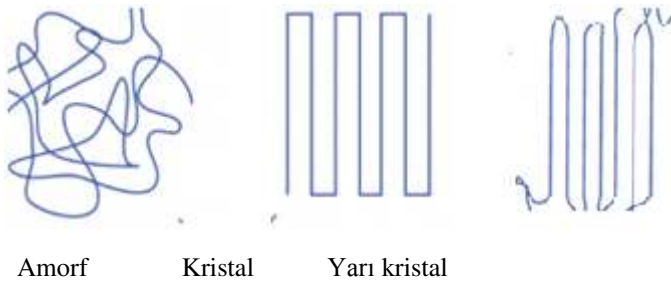
Plastik malzemeler doğal ya da sentetik karakterde olabilirler. Ayrıca pamuk atıkları gibi atıklardan elde edilen selülozlardan türetilen yarı sentetik yapıda plastiklerde mevcuttur. 1869 yılında başlayan plastiğin gelişimi, parkensin (parkenise) adlı plastik ile ticari bir başarı getirmemiş olsa da Amerika Birleşik Devletlerinde kimyacı bilim adamı Hyatt selüloiti perkinsine benzer biçimde hintyağı yerine kafur ağacının özünden elde ettiği yağı kullanarak hazırlamış ve kafurun plastikleştirici etkisini ortaya koymuştur. Geliştirilen bu yeni madde endüstride birçok alanda yer bulmuştur. Bu yeni madde, gözlük çerçeveleri, taraklar, bilardo topları, bıçak ve fotoğraf filmi gibi çok çeşitli ürünlerin yapımında kullanılmıştır. 20. Yüzyılın başlarında bilim adamı Herman Staudinger polimerlerin küçük moleküllerin birleştirilmesiyle oluşan uzun zincir yapıları olduğunu göstermiştir. İlerleyen yıllarda polimer kimyasında kaydedilen gelişmeler ile farklı sentez reaksiyonları geliştirilmiş ve polimerler çeşitlendirilmiştir. Özellikle son 50 yılda kaydedilen bu gelişmeler neticesinde günümüzde yıllık 400 milyon ton plastik üretilmektedir. (Güler, Çobanoğlu, 1997).

Polimerlerin kullanımı özellikle 1970'li yıllardan itibaren artmıştır. Bu artışın nedeni teknolojinin ilerlemesi ile insan ihtiyaçlarında ki artışa cevap verebilmek için ucuz, kolay bulunabilen ve kolay üretilen hammaddelere olan eğilimin artmasından kaynaklanmaktadır (Güler, Çobanoğlu, 1997).

2.2. Molekül Yapıları ve Polimerizasyon Dereceleri

Monomerlerin bir araya gelerek oluşturdıkları polimerler için üç farklı polimerleşme reaksiyonundan bahsedilebilir; polimerizasyon, poliadisyon, polikondenzasyon. Monomerde bulunmayan aktif merkezlerin oluşturulması ile gerçekleşen bir reaksiyon olan polimerizasyon reaksiyonu aynı türden monomerlerin bir araya gelmesi ile daha büyük molekül zinciri elde edilir. Polietilen ve polipropilen polimerizasyon reaksiyonu sonucu oluşan polimerlere örnek gösterilebilir. Polimerizasyon reaksiyonunda aynı türden monomerler bir araya gelirken, poliadisyon reaksiyonunda farklı türden ufak moleküllerin bir araya gelmekte ve daha büyük polimer zincir oluşmaktadır. Poliadisyon reaksiyonuna poliüratan ve elyaf üretimleri örnek verilebilir. Polikondenzasyon reaksiyonu ise farklı türden monomerlerin bir araya gelerek daha büyük polimer zinciri oluşturmaları ve yan ürün oluşmasıyla gerçekleşir. Bu yan ürün su, amonyak vb. olabilir. Örneğin polyester bu şekilde üretilmektedir (Salyan, 1991).

Polimerlerin çeşitli sınıflandırmaları vardır. En birincil olarak polimerleri oluşturan monomerlerin çeşitlerine göre tek tip monomerin birleşmesiyle bir araya gelen homopolimer ve iki veya daha fazla monomerin birleşmesiyle oluşan heteropolimerlerdir. İkinci sınıflandırma ise amorf, kristal ya da kristal olmak üzere malzeme özelliklerine göre yapılmaktadır. Şekil 2.1 de gösterildiği gibi kristal polimerler düzgün şekilde birleşmiş ağ yapısına sahipken amorf yapı polimerler rastgele birleşmiş bir molekül yapısına sahiptir (Yashoda, 2016).



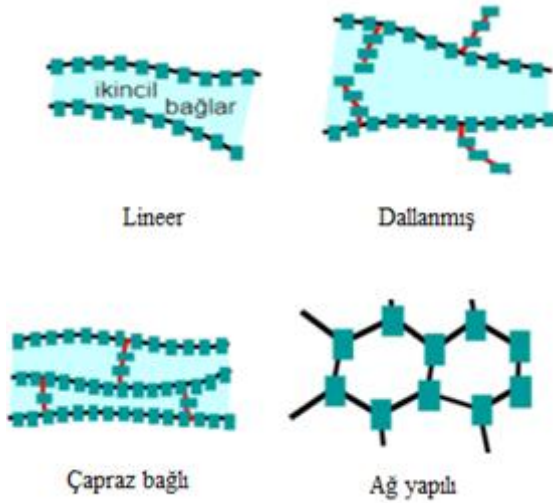
Şekil 2.1. Polimerlerin molekül yapıları

Bazı polimerler ise hem amorf hem de kristal yapıda olabilmektedir. Yarı kristalli bir polimer hem amorf hemde kristalli bölgelerin bir karışımıdır (Auerbach, 2021). Örneğin termoset polimerlerin yapısı yanal bağlarla bağlı olduğundan yerleşme biçimi

değiştirilemez ve termosetler daima amorf yapıdadırlar. Termoplastikler ise dış kuvvetlerden veya ısı farklılıkları sonucunda amorf ve yarı kristal/kristal olabilirler. Tam kristalli bir polimer mevcut değildir, zaman zaman amorf ve kristalli kısımlar bulunmaktadır. Tam kristalli olması, malzemenin çok gevrek olmasına sebep verir. Kauçuklar düzgün olmayan helisler şeklinde uzun helisli zincirleri bulunan polimerlerdir. Helisli zincirler gelişigüzel yerleşmişlerdir. Fakat böyle bir durumda polimer herhangi bir kuvvetle şekil değiştirince helisler açılarak birbirlerine paralel duruma gelir böylece polimer kristalleşir, molekülleri arasındaki bağlar artar ve malzemede sertleşme olur. Kuvvet olmazsa eski haline geri döner. Fakat şekil değiştirme esnasında helislerde birbirlerine göre kaymalar meydana gelirse yapı eski haline tam gelemmez ve malzemede kalıcı şekil değiştirme oluşur (Akyüz, 1999).

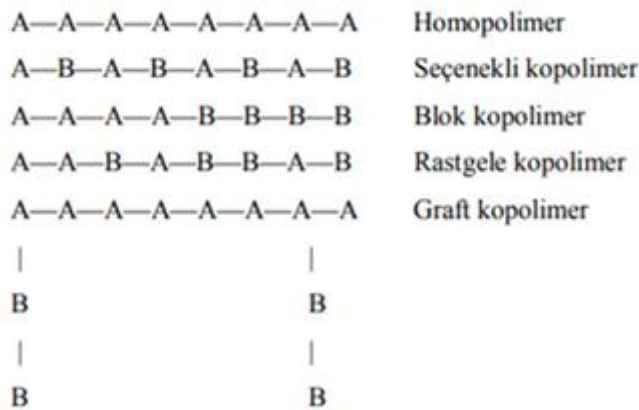
Polimerlerin zincir şekli monomerlerin zincir içerisindeki dizilişlerine bağlıdır. Monomer zincirleri lineer, dallanmış ve çapraz bağlı yapılar halinde olabilmektedir. Lineer zincir yapısındaki polimerler monomerlerin yan yana bağlanmasıyla oluşur ve uygun çözücülerde çözülebilirler. Dallanmış zincir yapısında olan polimerlerde ana zincire bağlanmış yan zincirler yer alır ve özellik olarak lineer zincir yapısındaki polimerlerle benzerlik gösterirler. Şekil 2.2’de belirtildiği gibi lineer ve dallanmış zincirli yapılar çoğunlukla termoplastiklerde görülürler ve bu polimerler defalarca yeniden şekillendirilebilirler. Çapraz bağ zincirli yapılar ise termoset polimerlerde görülmektedir (Akyüz, 1999).

Üç boyutlu bir yapıya sahip olan çapraz bağlı polimerde bu üç boyutlu yapı ana zincirler ile ara zincirlerin birbirleri ile bağlanma özelliklerine göre gelişir. Çapraz bağlama işlemi vulkanizasyon yöntemi ile gerçekleşir ve bu şekilde elastik kauçuklar çapraz bağlanır. Bazı polimerler sahip oldukları bu çapraz bağın yoğunluğuna göre ağ yapılı polimer olarak adlandırılır. Bu polimerlerin herhangi bir çözücünde çözünmeleri zordur sadece çözücü etkisi ile şişirilebilirler. Bu karakterdeki polimer malzemeler kendilerine has mekanik ve termal özelliklere sahiptirler. Aşağıda Şekil 2.2’de polimer molekülünde görülebilecek dallanma tipleri gösterilmiştir (Akyüz, 1999).



Şekil 2.2. Polimeri oluşturan zincir şekilleri (Altınkaynak, 2011)

Yapılarına göre polimerler homopolimer ve kopolimer olarak iki gruba ayrılır. Homopolimer yalnızca bir monomerin yinelenmesi ile oluşurken, kopolimer iki farklı monomerin polimerizasyonu ile meydana gelmektedir. Etilen monomerinin sentezlenmesi ile polietilen, propen monomerinin sentezlenmesi ile polipropilen homopolimerleri elde edilmektedir. Eğer polimerin elde edilmesinde üç ayrı monomer rol oynuyor ise bu şekilde elde edilen polimere terpolimer denir (Altınkaynak, 2011). Şekil 2.3’de kopolimerleri oluşturan monomerlerin diziliş şekilleri verilmiştir.



Şekil 2.3. Kopolimerleri oluşturan monomerlerin diziliş şekilleri (Öksüz, 1999)

Polimerlerin içinde yineleyen birim sayısı polimerizasyon derecesi olarak tanımlanır. Tekrar eden monomerin molekül ağırlığı ile polimerleşme derecesinin çarpımı polimerin molekül ağırlığına eşit olmaktadır.

(2.1)

M_m ; Monomerin molekül ağırlığı

Polimerlerde moleköl ağırlığı önemli olup moleköl ağırlığının artması ile polimerin elasto-plastik ve mekanik özellikleri artar. Aynı zamanda bu tür polimerlerin yumuşama ve erime olasılıkları da artar. Makromoleküllerin küçük yapılı moleküller ile en önemli farkı küçük moleküllerin daha homojen yapıda olmasıdır denilebilir. Aynı zamanda makromoleküllerin sahip olduğu moleküllerin ağırlıkları da farklılık göstereceği için sadece ortalama bir ağırlıktan söz edilebilir. Makromoleküller ile küçük moleküller arasında bir diğer fark ise erimiş halde sahip oldukları viskozite değeridir. Polimerler yüksek viskoz yapıda iken küçük moleküller daha akışkan bir yapıdadır. Ergiyik haldeki bir polimer soğutulduğunda moleküller arasında yumuşama sıcaklığı dediğimiz camsı geçiş sıcaklığı tanımlanır ve bu sıcaklıktan sonra polimer katılaştır. Camsı geçiş sıcaklığı malzeme özelliğini anlamada önemli olup bu sıcaklığın üzerinde polimer kauçuk yapıdadır. Camsı geçiş sıcaklığı diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) ve termogravimetrik analiz yöntemleri ile belirlenebilmektedir (Hazer, 1991). Polimerler en genel haliyle tablo 2.1. de gösterildiği gibi beş farklı grupta sınıflandırılır.

Tablo 2.1. Polimerlerin sınıflandırılması

Fiziksel yapısına göre	Kaynağına göre	Kimyasal yapısına göre	Zincir şekline göre	Mekanik özelliklerine göre
Termoplastikler	Doğal	Organik	Düz zincirli	Akışkan
Termosetler	Yapay	İnorganik	Dallanmış	Yüksek elastik
Elastomerler			Çapraz bağlı	Katı

2.2.1. Termoplastikler

Termoplastikler genel olarak polimerizasyon yöntemiyle elde edilirler ve polimerlerin en önemli grubudur. Isıtıldıklarında yumuşarlar soğuduklarında sertleşirler. Zincirler arasında Van der Waals bağlarına sahip termoplastiklerde zincir içinde ise kovalent bağlar vardır. Zincir içersinde ki bu kovalent bağların gerilmesi ile elastik deformasyona uğramasına izin veren esnek doğrusal zincirlerden oluşur. Zincir yapıları Şekil 2.4’de verilen termoplastikler tekrar tekrar eritilebilirler ve kimyasal değişime uğramazlar.

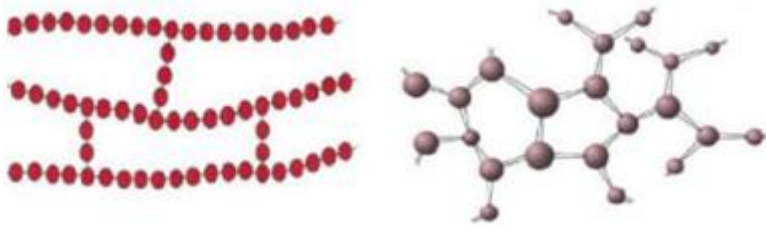
Yukarıda da bahsedildiği gibi kristal/yarı kristal ya da amorf karakterde olan termoplastikler genellikle sünek yapıda olup bu polimerlerin mekanik özellikleri uygulana yükün hızına, süresine ve ortam sıcaklığına bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir (Kısmet, 2016).



Şekil 2.4. Termoplastik yapıdaki polimerlerin zincir yapıları (Ay, 2008)

2.2.2. Termosetler

Genel olarak polikondenzasyon ile üretilen termosetler yüksek sıcaklıklarda yumuşamaz, mekanik özelliklerini korurlar. Termoplastikler gibi geri dönüşümleri olmaz. Uzun ömürlüdürler ve ilk yatırım maliyetleri termoplastiklere göre daha uygundur. Termoset matris malzemeler sertleşme olmaması açısından dondurulmuş olarak muhafaza edilirler. Dondurulmuş olarak muhafaza edilirse raf ömürleri 6 ve 18 ay arasındadır. Kimyasal etkiler altında dahi termoset reçinelerde çözülme meydana gelmez. Alkidler, fenolik reçineler, epoksi reçineler termosetlerin en önemli grubundandır. Termoset polimer malzemeye ait zincir yapıları şekil 2.5’te gösterilmiştir (Ay, 2008).



Şekil 2.5. Termoset polimer malzemeye ait zincir yapıları (Ay, 2008)

Termosetlerin piyasada pek çok türleri vardır ve torna, freze gibi makinelerde işlenmesi mümkündür. Termosetlerde termoplastikler gibi genellikle saf halde kullanılmamaktadır. Farklı dolgu maddeleri ile takviyelendirilen termosetler yapılarına göre farklı sıcaklıklarda kararlı olabilmektedirler. Genellikle 230 C'ye kadar kararlı olan termosetlerde daha yüksek sıcaklıklara çıkıldıkça bozulma meydana gelebilmektedir (Altınışık, 2007).

2.2.3. Elastomerler

Elastomerlerin yüksek elastikiyet kabiliyeti ve uygulanan herhangi bir kuvvetin etkisi kaybolduğunda tekrardan eski haline dönebilmesi en önemli özelliğidir. Farklı şekiller halinde kalıplanabilmesi, yalıtkan olması, darbelere karşı dayanıklı olması gibi avantajlı özellikleri sayesinde en verimli mühendislik malzemeleri arasında yer almaktadır. Her ne kadar elastomerler, termoset ve termoplastikler kadar yaygın olmasa da endüstriyel makinelerdeki hidrolik ve pnömatik contalar gibi çeşitli uygulamalarda tercih edilmektedir. Doğal kauçuk veya suni kauçuk elastomerlere örnek olarak verilebilir (Birinci, 2020).

Sayet bir elastomer amorf bir ağ yapısına sahip ise polimerin sahip olduğu zincirlerin farklı hareketleri rahatlıkla yapabilmesine ve çekim kuvvetlerinin moleküller arasında minimum olmasına olanak sağlar. Aynı zamanda elastomerlerin çapraz bağları tersinir bir yapıda esnekliğin oluşmasına neden olur (Yalım, 2010)

2.3. Polimerlerin Özellikleri ve Üretim Yöntemleri

Plastikler günlük hayatta birçok alanda kullanılmaktadır. Uzun yıllar bozulmadan, çürümeden paslanmadan doğada bulunabilmektedir. Plastiklerde orteز yapının şekil değiştirip değiştirmemesine göre gevrek ya da sünek olarak tanımlayabiliriz. Aynı zamanda bu ortezin he ışıık hem de ısı ile dorudan temasından kaçınılmalıdır. Bu şekilde

oluşabilecek çevresel faktörler plastik malzemelerde olumsuz etki yaratarak üretimde çizik, boşluklu yapı, çatlak yüzey oluşumlarına sebep olabilmektedir. Üretimde bu tür durumlarla karşılaşıldığında gerilme yığılmalarını önlenmesi veya elastik alanların oluşturulması gereklidir. Mekanik açıdan uygulanacak yüklemeye göre plastikler uygun tür ve ebatta üretilmeli ki şekil değişimi neticesinde kırılarak sistemin etkisizleşmesinin önüne geçilebilsin (Altınkaynak, 2011).

Plastikler metallerden ve seramiklerden yoğunlukları düşük (0.8 ile 2.2 g/cm^3) olması nedeniyle hafiftirler. Ayrıca kullanılan dolgu maddelerine göre de mekanik mukavemetleri de bazı metallere göre daha yüksektir (Akyüz, 2001).

Polimerler esaslı malzemelerin genellikle üretimlerinde ihtiyaç duyulan sıcaklıklar düşüktür (en fazla $350-400 \text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında). Bu nedenle metal ya da seramik esaslı malzemelerin üretimlerine kıyasla daha az enerji harcanılır. Kolay bulunabilir ve üretilabilir oldukları için çok fazla miktarda üretime uygundurlar ve her türlü geometride parça üretimi mümkündür. Polimer esaslı malzemelerin ısı iletim katsayıları çok düşüktür ve bu nedenle yalıtım malzemesi olarak kullanılmaya çok uygundur. Aynı zamanda düşük elektrik iletkenliklerinden dolayı elektrik kablolarının dış yüzeylerinin kaplanmasında sıklıkla kullanılmaktadır. Özellikle ekstrüzyon ve plastik enjeksiyon yöntemleri ile plastik ve plastik esaslı malzemeler üretilmektedir. Bu üretimlerde eriyik hale gelen malzemelerin kalıpta soğuması esnasında büzülme çarpılma gibi olumsuzluklar parçada oluşabilmektedir. Aynı zamanda kullanılan dolgu maddelerine bağlı olarak plastiklerin akışkanlıklarında azalma ve bunun neticesinde üretimde ve elde edilen üründe sorunla karşılaşılabilir (Kısmet, 2012., Yılmaz, 2007).

2.3.1. Mekanik ve Termal Özellikleri

Termoplastik malzemelerin mekanik ve termal özelliklerini belirleyebilmek için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Mekanik analiz yapılırken çoğunlukla çekme, basma, eğilme gibi dış kuvvetlerin etkisiyle kompozit malzemenin göstermiş olduğu etki gözlemlenmektedir. Bu mekanik testler ile malzemenin dayanım, gerilim, yorulma, tokluk, elastikiyet modülü ve sertlik direnci belirlenir (URL-2).

Termoplastik polimerler daha öncede ifade edildiği gibi yapısal olarak amorf ya da yarı kristal/kristal halde olmaktadır. Aynı zamanda sahip oldukları camsı geçiş sıcaklığına bağlı olarak da katı veya viskoz sıvı şeklinde fiziksel davranış göstermektedirler. Sahip

oldukları yapısal ve fiziksel farklılıklar termoplastiklerin mekanik özelliklerine direk etki etmektedir. Aynı zamanda termoplastikler hem viskoz davranış gösterip hem de elastik olabilmektedirler. Bu tür malzemelere viskoelastik malzemelerde denilebilmektedir (Altınkaynak, 2011).

Mekanik analizlerin dışında termoplastiklerin termal açıdan nasıl davranış gösterdiklerini belirlemekte son derece önemlidir. Özellikle herhangi bir dolgu maddesi ile güçlendirilmiş bir termoplastiğin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin tespit edilmesi ve bunun malzemenin ısıtılması, soğutulması ya da belirli bir sıcaklıkta bekletilmesi neticesinde nasıl değişiklik gösterdiğinin belirlenmesi önemlidir. Bu analizlerde en sık kullanılan yöntemler; Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC), Dinamik Mekanik Analiz (DMA), ve Diferansiyel Termal Analiz (DTA) tekniklerdir. Bu teknikler sayesinde malzemenin faz geçişleri, erime karakterizasyonu ve kristalizasyon mekanizması gibi özellikleri belirlenmektedir (Denkdaş, 2006).

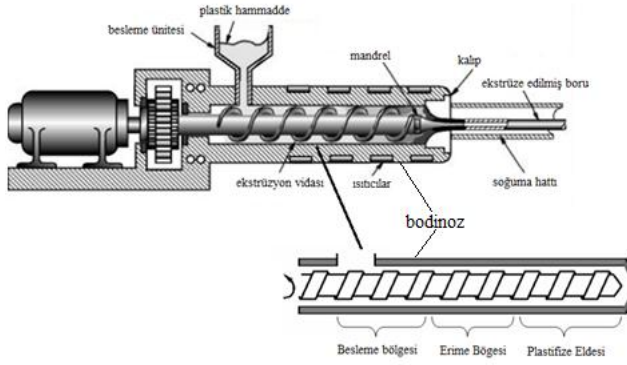
2.3.2. Kimyasallara Karşı Dayanımları

Termoplastiklerde termosetler gibi kimyasallara karşı yüksek direnç gösterirler. Ayrıca termoplastikler farklı atomik karakter gösterdikleri için metaller kadar korozyondan etkilenmezler. Bu nedenlerden ötürü çürümez ve paslanmazlar. Dolayısıyla termoplastikler günümüzde ev aletleri, otomobil parçaları, gıda ve kozmetik sanayiinde sıklıkla tercih edilmektedirler (Akyüz, 2001).

Genel olarak polimerlerde üç farklı yıpranma mekanizması vardır. Bu mekanizmalar kimyasal bağın kovalent ya da iyonik olmasına göre radikal, iyonik ve iyon radikal olmaktadır. Polimerlerde birçok özelliği tanımlarken molekül zincirlerinin uzunluklarından yola çıkılır fakat meydana gelen yıpranma bu molekül zincirlerindeki uzunlukların kısılmasına sebep olabilir ve dolayısıyla bu özellikleri doğrudan etkileyebilir. Bu yıpranma durumu fiziksel ve kimyasal olabilir. Fiziksel gerçekleşen yıpranmalar termal ve mekanik etkenlerden, fotokimyasal ya da iyonizasyon etkilerden kaynaklanabilir. Kimyasal olan yıpranmada ise termoplastiklerde kullanılan dolgu maddeleri ve farklı ajanlar etkisinden olabilmektedir. Kimyasal yıpranmaya neden olan durumlara örnek olarak oksidasyon, çözülme, yumuşama, gerilme çatlamasıdır (Haydar, 2011).

2.3.3. Ekstrüzyon ve Plastik Enjeksiyon ile Üretim

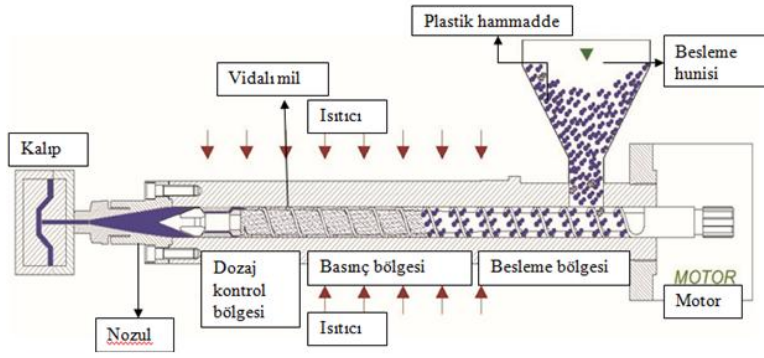
Ekstrüzyon: toz ya da granül haldeki plastik malzemeler Şekil 2.8’de görüldüğü gibi besleme ünitesinden bir huni yardımıyla boşaltılır. Malzeme spiral biçimindeki ekstrüzyon vidası sayesinde beslenir, karıştırılır, taşınır, ergitilir ve homojen hale gelir.



Şekil 2.6. Ekstrüzyon ünitesi (Hüner, 2008)

Besleme bölümünde huniden granül ya da toz halde malzeme boşaltılır. Bodinozun içerisinde yer alan vidanın dairesel hareketi ve malzemenin sürtünmesi ile malzeme besleme bölgesinden ileri doğru hareket eder. Isıtıcı rezistansların etkisi ile malzeme erimeye ve homojen hale gelmeye başlar. Daha sonra malzeme vidanın uç bölgesinde istenilen yapıda plastifize halde boş akıtılır ya da bağlanan bir kalıp ile kalıplanarak son şeklini alır. Ekstrüzyon işleminin devamında malzemenin yığılmasını engellemek amacıyla ürün çoğu zaman sabit hızda bir su kanalından geçirilmektedir. Ekstrüzyon işlemi sürekli bir proses sistemine sahiptir ve plastik ürünlerin aynı kesitte, hassas ölçülerde ve istenilen uzunlukta, kesiksiz olarak elde edilmesine olanak sağlayan makinelerdir. Bu makinelerde üretilen ürünlere plastik boru ve profil örnek olarak verilebilir. Genellikle termoplastik malzemelerin kullanıldığı ekstrüzyon makinesinde açık kalıplama uygulanır (Akyüz, 1999., Hüner, 2008., Yılmaz, 2007.,).

Plastik Enjeksiyon ile Üretim: plastik enjeksiyon kalıplama ile karmaşık yapıdaki parçalar hızlı ve kolay bir şekilde ek bir işlem gerekmeden üretilebilir. Günlük hayatımızda oyuncaklarda, ev eşyalarında, bazı elektronik eşyalarda, enjeksiyon kalıplama ile üretilmiş birçok parça bulunmaktadır. En önemli avantajı ise seri imalata uygun olmasıdır. Termoplastiklerin şekillendirilmesinde kullanılan en yaygın kalıplama yöntemidir.



Şekil 2.7. Şematik olarak plastik enjeksiyon makinesi (Hüner, 2008)

Şekil 2.9’da gösterildiği gibi granül halindeki termoplastik malzeme besleme hunisinden boşaltılır, besleme bölgesinde tanecikli yapıda olan malzeme ekstrüzyon makinasında olduğu gibi hem vidanın dairesel hareketinden kaynaklı olarak hem de sürtünmeden dolayı vida boyunca hareket eder. Bu hareket esnasında ısıtıcılar yardımıyla malzeme ısınır ve viskoz hale gelerek bodinozun uç kısmına doğru akar. Plastik enjeksiyon makinasında vida dairesel hareket dışında doğrusal harekette yapmaktadır. Eriyik haldeki malzeme vidanın uç kısmında biriktikten sonra kalıp kısmı kapanı ve daha sonra vida doğrusal hareket ederek malzemeyi kalıba püskürtür. Kalıp içerisinde belirli bir süre soğumaya bırakılan malzeme daha sonra kalıp açılarak alınır ve bu şekilde nihai ürün elde edilmiş olur (Akyüz, 1999., Yılmaz, 2007.,).

2.3.4. Diğer Üretim Teknikleri

Ekstrüzyon ve plastik enjeksiyon ile üretim teknikleri dışında termoplastiklerden malzeme üretiminde “şişirerek kalıplama”, “vakum şekillendirme” ve “dönerek kalıplama” yöntemleride kullanılmaktadır (Saçak, M., 2005).

3. TERMOPLASTİKLER ve TERMOPLASTİK KOMPOZİTLER

3.1.Poliiolefinler

Polipropilen ve polietilen poliolefinlerin bir ailesi olmak üzere günümüzde kullanılan termoplastiklerinden en büyük grubunu oluşturan polimerlerdir. Endüstriyel ambalajlarda, elektrik kablo kılıflarında, medikal ambalajlarda ve gıda kapları başta olmak üzere birçok alanda kullanılmaktadır.

Üstün mekanik özellikleri, uzun yıllar dayanıklılığını koruyabilmeleri, hafif olmaları, üretim maliyetlerinin düşük olması tercih edilme sebeplerini arttırmaktadır. Poliolefinler organik ya da inorganik maddeler tarafından kolayca bozunmaya uğramazlar. Ultraviyole ışınlar maruz kaldıklarında bile bozunmaları uzun zaman alır. Suyu sevmeyen yapıya sahiptirler. Kullanım ömürlerini uzatmak ve mekanik özelliklerini iyileştirmek için bazı katkı maddeleri ile birlikte kullanılırlar.

Poliolefinlerde termoplastik polimerler oldukları için bu polimerlerde olduğu gibi fiziksel, kimyasal, ve biyolojik etmenler neticesinde bozunmaya uğramaktadırlar. Bu bozunmaya etki eden faktörler mekanik ve termal faktörlerin dışında oksidasyon, foto-bozunma ile biyo-bozunma olarak adlandırılmaktadır (Gülşen, 2017).

Polimerler oksijene duyarlı malzemelerdir bu sebeple kimyasal bozunma olan oksidasyon ile sık sık karşılaşmaktadır. Polipropilen polietilene kıyasla oksidasyona daha duyarlı bir polimerdir.

Poliolefinlerde diğer polimerlerde olduğu gibi foto-bozunma trofosforik solar radyasyonun zararlı kısımlarını absorblama kapasitesi olayı ile aynıdır. Meydana gelen foto-bozunma, termoplastik malzemenin ışık altında atmosferik oksijen ile kademeli olarak reaksiyona girmesi eğilimidir. Bu şekilde şayet bir termoplastikte karbonil grubu mevcut ise bu termoplastik de oksidasyonun oluştuğunu ve malzemenin ileride meydana gelebilecek bozunmalara karşı duyarlı olduğunu gösterir. Bu durum tamamen karboksil gruplarının ışık altında zayıf olmasından ileri gelmektedir (Gülşen, 2017).

Termal bozunma olayı poliolefinlerde tamamen sıcaklığa bağlı olup sıcaklık arttıkça bozunma hızı da artmaktadır. Eğer bir termal bozunma polietilende (PE) söz konusu ise PE'nin aktivasyon enerjisini azaltmakta ve raf ömrü kısaltmaktadır. Şayet böyle bir bozunma var ise bu bozunmanın seviyesini anlayabilmek için malzemenin çekme mukavemeti, eriyik akış hızı, yoğunluğu, karbon seviyesi gibi analiz yöntemleri kullanılmaktadır (Gülşen, 2017).

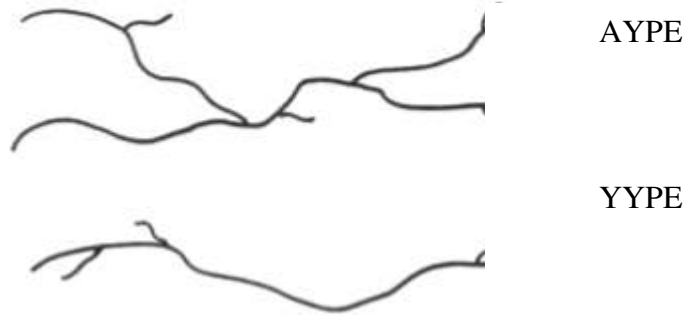
Polietilen (PE); termoplastikler içerisinde en fazla tüketimi yapılan ticari polimerdir. Etilen molekülünün yüksek basınçta ya da katalizörler eşliğinde katılma polimerizasyonun ile üretilen bir termoplastik çeşididir. PE molekülünü meydana getiren zincir şeklindeki makro moleküller değişik dallanma gösterdiğinden PE çeşitlilik gösterir. düz zincirli yapıda olan PE yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) olarak bilinir ve YYPE'nin elde edilmesi zor ve özel koşullar gerektirmektedir. Alçak yoğunluklu polietilen ise (AYPE) dallanmış bir polietilendir ve YYPE'ye göre daha kolay elde edildiğinden, üretimi için özel koşullar gerektirmediğinden daha ucuzdur (Gökay, 2019).

Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE); petrolden elde edilen, yarı saydam ya da renkli görünümü olan üretimi kolay yapılabilen, darbelere ve kimyasallara karşı direnci yüksek olan bir polimer çeşidir. Yüksek yoğunluklu polietilen alçak yoğunluklu polietilene kıyasla daha sert bir yapıya sahiptir. Düz zincir yapısına sahiptir. Şekil 3.1.1 de gösterilmektedir. Ayrıca enjeksiyon, film çekme, toz kaplama için çok uygun olan, birçok alanda sıklıkla kullanılan bir plastiktir. Günlük hayatta ev eşyalarında, oyuncaklarda ve doğalgaz borularında gibi birçok alanda kullanımı yaygındır. Suya dayanıklılığı sebebiyle su basınçlı boruların imalatında da kullanılmaktadır. YYPE ortalama olarak 0,920-970 g/cm³ civarında olan yoğunluğa sahiptir (Düşünceli, 2007).

YYPE matrisli bir malzemedeki kristalleşme oranı soğutma hızlarına bağlı olarak farklılık gösterir. Şayet malzeme yavaş bir şekilde soğutulur ise o malzemenin kristalleştirme oranı artar. Ters durumda yani soğutmanın hızlı yapılması durumunda ise bu oran azalır. Meydana gelen bu değişimler malzemenin ilk haldeki fiziksel özelliklerinin soğuma işlemleri nedeniyle farklılık göstermesine neden olur. Özellikle enjeksiyon ile kalıplamada ya da ekstrüzyon ile üretimde eriyik halde bulunan termoplastığın sahip olduğu akışkanlığın farklı yönlerde gerçekleşmesine ve dolayısıyla anizotropik bir yapının meydana gelmesine sebep olur. Bu şekilde elde edilen numunelerin mekanik özellikleri önemli ölçüde değişiklik gösterebilir. Numunelerin çekme, eğilme ve darbe dayanımlarında azalma, çatlak direnci ve toklukta artış meydana gelebilir (Kısmet, 2012., Düşünceli, 2007).

Alçak Yoğunluklu Polietilen (AYPE); zincir yapısında şekil 3.2 de görüldüğü dallanmalar mevcut olan bir polimerdir. Saydam bir görünüme sahiptirler ve yüksek yoğunluklu polietilene göre daha esnek bir yapıya sahiptirler. Çöp torbalarında, oyuncaklarda şişe yapımında ve elektrik yalıtımı gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Kimyasallara karşı olan direnci elektriksel mukavemeti AYPE'yi öne çıkaran

avantajlarıdır. 0.915-0.930 g/cm³ yoğunluğa sahip olan AYPE, polietilen grubu içerisinde esnek bir türdür (URL-3).



Şekil 3.1. YYPE ve AYPE'nin zincir yapısını şematik gösterimi (Şener, 2009)

3.2. Termoplastik Matrisli Kompozitler

Günümüz teknoloji koşullarında metallerin yerini tutan plastiklerin kullanımı giderek fazlalaşmaktadır. Yüksek mukavemetli, hafif, elektriksel iletkenlik gibi konular üzerinde sürekli araştırmalar yapılmaktadır. Termoplastiklerin de farklı birçok özelliğini iyileştirebilmek için çeşitli takviye elemanları kullanılmakta ve bu şekilde termoplastik matrisli kompozit malzemeler geliştirilmektedir. Bu kompozit malzemelerde amaca yönelik olarak farklı kombinasyonlar denenebilmekte ve kompozitin özelliği geliştirilebilmektedir (Kısmet ve Wagner, 2019., Kısmet ve Dogan, 2022).

Kompozit malzeme esas olarak matris malzeme ve bu matris malzemenin çevrelediği takviye elemanından oluşur. Bir kompozit yapının mekanik açıdan dayanıklılığı önemli olup bu noktada takviye elemanın seçimi önemlidir. Çünkü takviye elemanı kompozite gelen yükü taşımakta ve matrisin mukavemetini ve aynı zamanda rijitliğini arttırmaktadır. Matris malzeme ise kompozit içerisinde takviye elemanın gerilim ve yük transferini sağlayabilmek için fiber ile matrisin birbirinden ayrılmasını engellemek ve aynı zamanda takviye elemanları genelde gevrek ve kırılgan yapıda olduklarından bunların yüzeylerinin dış etkilere karşı korunması da matris malzemenin görevidir (Kısmet ve Dogan, 2022., Polat, 2019).

3.2.1. Termoplastiklerde Kullanılan Dolgu Maddeleri ve Üretim Teknikleri

Termoplastikler kullanılacakları alana göre dolgu maddelerine ihtiyaç duyar. Bu katkı maddeleri sayesinde makinelerde daha düşük sıcaklıkta çalışma, ısı dayanıklılığını arttırma, oksitlenmeyi engelleme, işlenmeyi kolaylaştırma imkanı elde edilir. Dolgulu plastiklerde yoğunluk artışı, yüzey sertliğinde iyileşme gözlemlenir. Darbe ve eğme değerleri daha iyidir.

Dolgu maddesi seçimi yapılırken tanecik büyüklüğüne, yoğunluğuna, sağlık yönünden sakıncasına, fiyatına, kimyasal yapısına, taşıma şekline ve erişilebilirlik durumuna dikkat edilmelidir. Talk, kaolen, mika, kalker, kalsiyum karbonat, mermer gibi birçok dolgu maddesi termoplastiklerde kullanılmaktadır (URL-4).

Parçacık takviyeleri sayesinde kompozit malzeme deformasyonlara karşı daha dirençli hale gelir ve kompozit malzemelerinin kullanımının giderek artış göstermesiyle parçacık takviyeli termoplastiklerinde kullanımı giderek artmaktadır. Bu tür kompozit malzemelerin üretimleri kolay olup üretim maliyetleri de fiber takviyeli kompozitlere nazaran daha düşüktür. İzotropik özelliklere sahip olduğu kabul edilen parçacık takviyeli kompozit malzemeler ekstrüzyon, haddeleme ve dövme gibi ikincil işlemlere yatkın oldukları için olan yatkınlığı kullanımları da yaygındır. Parçacık olarak kullanılan takviye elemanı yüksek sertlik değerine sahip olduğu için bu tür kompozitlerin aşınma dayanımı yüksektir. Aynı zamanda parçacık takviyeli kompozitlerin mekanik özellikleri yüksek ve korozyona karşı dayanıklıdır (Kıyasöz, 2018).

Elyaf lar termoplastiklerde çok yaygın olarak kullanılan takviye malzemeleridir ve yük taşıma kapasiteleri oldukça yüksektir. Kompozit içerisinde yer alan matris malzeme kompozite uygulanan yükü fiberlere iletir ve bu sayede yüksek mukavemete sahip fiberlerin kullanılması ile yükün büyük bölümünü fiberler taşıyabilmektedir. Matris içerisinde fiberin doğrultusu önemli olup tek yönlü ya da yönlendirilmiş halde yer alabilirler. Bu yönlendirmede esas olan kompozite uygulanacak olan yükün doğrultusudur. Bu şekilde yönlendirilmiş elyaf ların dışında örgü formunda olan fiberler de kompozitlerde kullanılmaktadır. Fiberlerin sahip olduğu yüksek rijitlik ile yüksek mukavemet özellikleri ve hafif olmaları özellikle bu malzemelerden geliştirilmiş olan kompozitlerin uzay ve havacılık sektörlerinde tercih edilmelerine neden olmuştur (URL-5).

3.3. Karbon Elyaf Takviyeli Termoplastikler

Termoplastiklerde farklı birçok elyaf türü amaca yönelik olarak takviye elemanı olarak değerlendirilmektedir. Karbon elyaflar da benzer şekilde termoplastiklerde sıklıkla kullanılan elyaflardandır. İçerisinde %90'dan fazla karbon ihtiva eden karbon elyaflar sahip oldukları ağırlıklarına kıyasla mukavemetleri ve elastiklik modülleri çok yüksektir. Genellikle ani darbe dayanımları düşük olan karbon elyafların en önemli avantajları sıcaklığa maruz bırakıldıklarında yorulma dayanımları artmakta, boyutsal kararlılık göstermekte ve yüksek erime noktasına sahip olmalarıdır. Bu özelliklerinden ötürü karbon elyaf takviyeli kompozitler uzay ve havacılık endüstrisinde, roket ve uydu yapımı için uygun malzemelerdir (Sevinç, 2019).

Polimer matrisli kompozitlerde esas olan sadece matris ve takviye elemanının uygunluğu değil aynı zamanda istenilen özelliklerde dayanıma sahip nihai ürün için en uygun üretim prosesinin seçilmesi gereklidir. Örneğin plastik enjeksiyon ile kalıplama yöntemiyle kısa ve uzun fiber takviyeli termoplastik matrisli kompozit ürünler geliştirilebilmektedir. Benzer şekilde ekstrüzyon tekniği ile de özellikle istenilen homojenlikte elyaf takviyeli kompozit karışımlar elde edilebilmektedir (Kısmet, 2012., Orman, 2019).

3.4. Termoplastik Kompozitlerin Karakterizasyonu

Termoplastik malzemelerin mekanik, termal ve fiziksel özelliklerini belirleyebilmek için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Tablo 3.1 de bu alanda en çok kullanılan teknikler sınıflandırılmıştır. Mekanik analiz yapılırken çoğunlukla çekme, basma, eğilme gibi dış kuvvetlerin etkisiyle kompozit malzemenin göstermiş olduğu etki gözlemlenmektedir.

Çekme testinde malzemeye tek eksenli, kopuncaya kadar kuvvet uygulanır ve bu kuvvet karşısında nasıl şekil değiştirdiği çekme dayanımı, akma dayanımı, kopma noktası, tokluk, elastik modül değerleri belirlenir. Resim 3.1 de çekme testi cihazı gösterilmiştir (Şişmanoğlu, 2020).

Tablo 3.1. Termoplastik Kompozitlerin Mekanik, Termal ve Fiziksel Özelliklerini ölçmek için kullanılan teknikler

Mekanik karakterizasyon teknikleri	Termal karakterizasyon teknikleri	Fiziksel karakterizasyon teknikleri
Çekme	DSC	FTIR
Basma	TGA	Raman
Eğilme	DTA	
Darbe		
Sertlik		



Resim 3.1. Çekme test cihazı (Şişmanoğlu, 2020)

Basma testi, numuneye basma yükü uygulanması ile test numunesinde ezilme veya kısalmanın meydana gelmesi sonucuna dayalı bir test yöntemidir. Basma testi de çekme cihazlarında gerçekleştirilir fakat çekme testinde uygulanan kuvvetin tersi şeklinde olmaktadır. Bu deney esnasında standartlara uygun olan test numunesi çekme cihazının alt çenesinde iki plaka arasına yerleştirilir. Uygulanan basma kuvveti ile numunede enine kısalma meydana gelirken kuvvete dik doğrultuda ise genişleme görülür. Bu test ile herhangi bir malzemenin basma etkisi altında meydana gelecek gerilim ve deformasyonlar ölçülerek malzemenin başka etkisi altındaki davranışları belirlenir (Öztürk, 2020).

Eğilme testi malzemenin düşey yüklemelere karşı mekanik açıdan dayanımını belirlemek için yapılır. Bu deney üç nokta ya da dört nokta eğilme olmak üzere iki farklı

lekilde gerçekleştirilebilir. Eğilme deneyleri de genellikle çekme cihazında uygun çenenin takılması ile gerçekleştirilebilir. Eğilme özelliklerinin hesaplanmasında 3 nokta ve 4 nokta eğilme testi olmak üzere iki temel test tekniği kullanılır. Örneğin yapılarda kullanılan kirişler enine yüklemeye maruz kalırlar ve kirişte eğilme momenti meydana gelir. Eğme testi neticesinde eğilme momenti (M_e), eğilme gerilmesi (R_e), elastisite modülü (E) ve sehim miktarı (δ) belirlenir.

Kompozitlerin darbe gerilmelerini belirlemek için genellikle Charpy ve İzod darbe deneyleri ile düşey darbe deneyleri yapılmaktadır. Özellikle termoplastik matrisli kompozitlerde izod darbe deneyi ile uygulanan darbe kuvveti neticesinde malzemenin ne kadar darbe enerjisi absorbe ettiği belirlenmektedir (Kısmet, 2012., Yalçın, 2012).

Sertlik testi ile de malzemelerin kazıma, daldırma gibi farklı deformasyonlara karşı gösterdiği direnç belirlenmektedir. Bu testler bir batıcı uç kullanılarak bu ucun malzemenin yüzeyine batırılması esasına dayanır. Sertlik ölçümleri statik ve dinamik olarak iki farklı şekilde gerçekleştirilmektedir. Statik ölçümde Rockwell ve Vickers yöntemleri kullanılmaktadır. Dinamik sertlik ölçme yönteminde ise Shore tekniği kullanılarak malzemenin sertliği belirlenmektedir. Shore A ve D olmak üzere iki farklı şekilde yapılan bu deneyde Shore D deneyi polimer esaslı malzemelerin sertliklerinin belirlenmesinde sıklıkla kullanılmaktadır (Kısmet, 2012., Yalçın, 2012).

Bir malzemenin fiziksel veya kimyasal özelliklerini belirlemek termal analiz teknikleri kullanılmaktadır. Bu işlemde ısıtılır, soğutulur ya da belirli bir sıcaklıkta sabit tutulur ve meydana gelen değişimler gözlemlenir. Kullanılan termal analiz yöntemlerine; Termogravimetrik analiz (TGA), Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC), analiz Diferansiyel Termal Analiz (DTA) örnek olarak verilebilir (Kısmet ve ark. 2021., Tatlıdilli, 2020).

Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) analizinde herhangi bir numuneden çok az bir miktar alınarak pan denilen küçük ölçüm kaplarına konulur ve bu malzeme bir referans malzemenin konulduğu kap ile birlikte DSC cihazına yerleştirilir. Bu numune ve referans arasında meydana gelen ısı akışı neticesinde oluşan farktan yola çıkarak sıcaklığın fonksiyonu olarak inceleyen termal yöntem DSC denilmektedir. DSC'nin temelinde analizi yapılan örnek numune ile referan numunenin sıcaklıklarının aynı tutulması gerekmektedir. Bu sayede her iki malzeme arasında ortaya çıkan sıcaklık farkı, örneğin bulunduğu taraftaki ısıtıcıya daha fazla elektrik akımı (ısı) uygulanarak giderilmeye çalışılır. Bu analiz esnasında her iki malzeme sıcaklıkları arasında meydana gelen farka

bağlı olarak endotermik ya da ekzotermik pikler meydana gelmektedir. Şayet örnek malzemenin sıcaklığı referans malzemeden fazla ise pozitif bir sinyal oluşur ve endotermik bir eğri elde edilir. Diğer durumda ise negatif sinyal ve ekzotermik bir eğri meydana gelir. DSC analizi ile bir malzemenin erime (T_m) ve kristalleşme (T_c) sıcaklıkları dışında meydana gelen entalpi değişimi (ΔH), malzemenin camsı geçiş sıcaklığı (T_g), termal bozunma sıcaklığı ve çapraz bağlanma sıcaklıkları tespit edilebilir (Kısmet ve ard., 2020., Biçer, 2017).

Termogravimetri (TGA/DTA) bir diğer önemli ısı analiz yöntemidir. Bu analiz ile de malzemede meydana gelen kütle kayıpları belirlenmekte ve yine malzemedeki hal değişimleri ile camsı geçiş sıcaklıkları okunabilmektedir. Bu deney normal hava ortamında ya da azot ortamında yapılabilir. Şayet TGA/DTA analizinde inert gaz kullanılıyor ise malzemede ısı bozunma meydana gelirken, oksijen ve hava ortamında yapılan analizlerde ise ısı oksidatif bozunma eğrisi elde edilir. TGA malzemenin hangi sıcaklıkta ağırlık kaybına uğradığını tespit eder (Saraç, 2021).

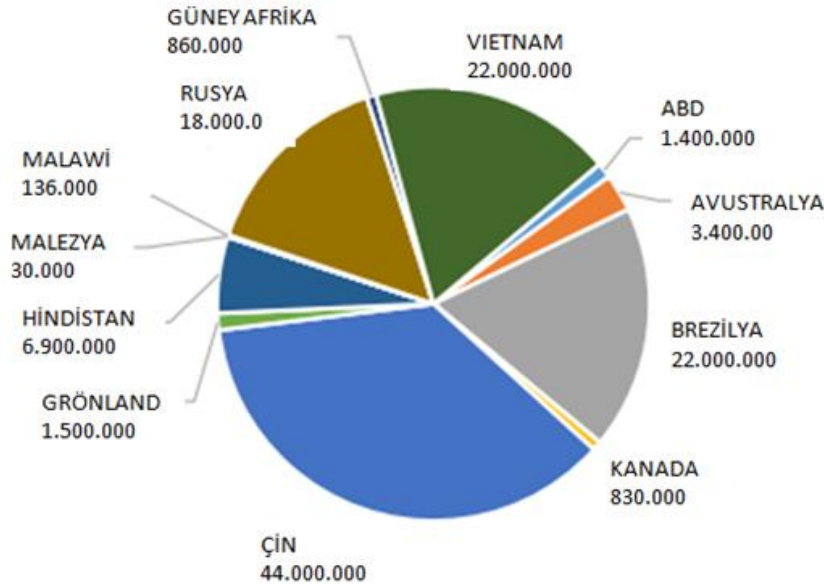
Diferansiyel termal analiz için kullanılan cihaz ile hem izotermal hem de non-izotermal tekniklerle analiz yapmak mümkün olmaktadır. DTA tekniği ile malzemenin ısı kapasitesinde değişimin gerçekleştiği her türlü reaksiyonun analizini gerçekleştirebildiği için; başta seramik, cam ve mineral numuneler olmak üzere, geniş bir kullanım alanı vardır. Aynı zamanda faz diyagramlarının oluşturulması ve faz geçişlerinin tespitinde de tercih edilen bir tekniktir (Çelikkalek, 2009)

4. NADİR TOPRAK ELEMENTLERİ

Nadir toprak elementleri periyodik tablodaki 17 elementten oluşan bir gruptur ve isminden farklı olarak doğada fazla bulunmaktadır. Fakat doğada altın, gümüş gibi kişisel metaller olarak mevcut değildir. Karbonatlar, oksitleri silikatlar gibi minerallerde bulunmasına rağmen çoğu mineral yapısına uymazlar. Başlıca ekonomik kaynakları bastnaezit, loparit, monazit, ve lateritik iyon adsorpsiyonlu killerdir (Balaram, 2019).

Nadir Toprak Elementleri aşınmaya, korozyona ve sıcaklığa karşı dayanıklı olmalarından dolayı ileri teknolojik ürünlerde kullanılmasına yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Tüketime artması ve hammadde talebinde olan artış NTE'lerin araştırılmasını sağlamıştır. Ekonomik değerinin yüksek olmalarının yanında temin edilmesinin riskli oluşundan kritik hammaddelerdir. Elektronik cihazlarda, tıp cihazlarında, güneş panellerinde, seramik ve cam sanayinde ve özellikle yüksek teknolojik ürünlerde kullanılmasından dolayı endüstriyel bir öneme sahiptir (Celep ve ark., 2021)

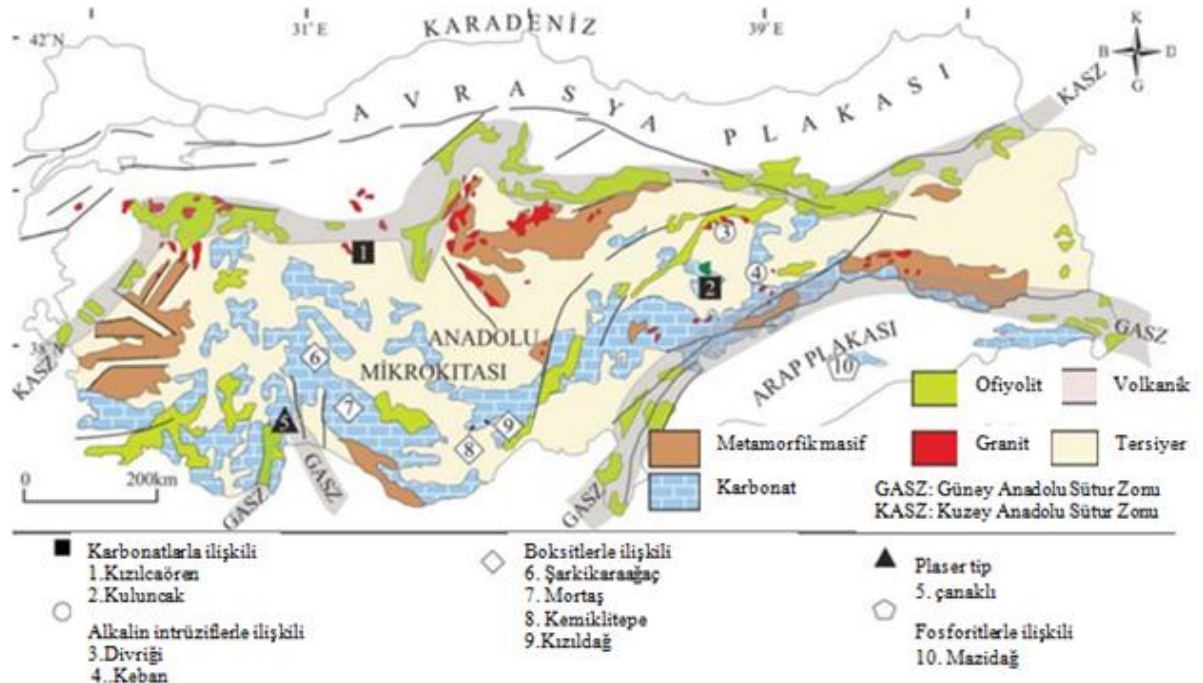
NTE'lerle ilgili kaynaklara bakıldığında, ülkeler stratejik olarak net rakamları paylaşmamaktadır fakat bilinen rakamlardan daha fazla olduğu tahmin edilmektedir. NTE'nin dünyadaki rezerv dağılımı şekil 4.1 de gösterilmiştir. (Şahiner ve ark., 2017)



Şekil 4.1. Dünyadaki NTE rezerv dağılımı (ton) (Mineral Commodity Summaries, 2017)

4.1. Türkiye’de NTE Sahaları ve NTE Eldesi

Türkiye’de NTE sahasını, kökenine ve jeolojik duruma göre dört bölüme ayırmak mümkündür. İlk olarak karbonatit-alkali, zengin magmatiklerle alakalı hafif nadir toprak elementleridir. Eskişehir Kızılcaören’de Malatya Kuluncak’da mevcuttur. İkinci olarak Bolkardağ’ı bölgesinde bulunan Triyas şeylleri ve bunlardan oluşan boksitlerdir. İkinci kısımda olan elementlerde ağır nadir toprak elementinin zenginleşmesi tipiktir. Üçüncü olarak Burdur Çanaklı’da bulunan ritol, zirkon, manyetit gibi ağır minerallerce zengin olan yataktır. Ve son olarak fosforitlerden oluşan ve Mardin Mazıdağı’nda bulunan dördüncü yataktır. Fakat ekonomik değildir. Şekil 4. 2 de Türkiye’de NTE yataklarının jeopolitik konumu verilmiştir (Öztürk ve ark., 2019).



Şekil 4.2. Türkiye’de NTE yataklarının jeopolitik konumu (Öztürk, Hanilçi, Altuncu, Kasapçı 2019)

Eskişehir Kızılcaören de bulunan bastanazit-fluorit-barit yatağı Türkiye’de bilinen en önemli NTE yatağıdır. Çok çeşitli mineraller içermesi nedeniyle cevhere kompleks cevher denilmektedir ve kompleks cevher sahası Eskişehir karkın-kızılcaören-okçu köyleri arasında yer almaktadır. 15 km²’lik bir alan kaplamaktadır. Eskişehir Beylikova bölgesinde yaklaşık olarak 30 milyon ton rezervi kapsayan barit, florit, cevher yatağı, ve toryum

bulunmaktadır. Isparta yakınlarında cevher minerallerinin piroklastik tüfler içerisinde yatakladığı birçok çeşit NTE tespit edilmiştir. Bu rezervde ortalama olarak 398 ppm Zr, %0,48 Ti, 725 ppm NTE ve %0,75 manyetit içerikli toplam 49 milyon ton cevherleşme tespit edilmiştir. Çanaklı ve Kızılcaören’de bulunan yataklar kuvvetli alkali bir volkanizma içermektedir. Türkiye’deki NTE potansiyelini belirlemek adına ve gelecekte kendi kaynaklarından ihtiyacı karşılayabilmek için alkali magmatizmanın yoğun olduğu bölgeler detaylı incelenmelidir (Terzi, 2017).

4.2. NTE’lerin Zenginleştirilmesi

NTE çok çeşitli minerallere sahip olduğundan ve satılabilir bir ürün haline getirilmek istenmesinden dolayı zenginleştirme işlemleri zor ve zaman alıcıdır. İlk olarak NTE yatağının tespiti yapılmalıdır. Ve daha sonra NTE lerin çıkarılması için liç tekniği, açık ocak madenciliği yapılmaktadır. Liç yöntemi patlatma ve kazma gibi işlemler uygulanarak tünel duvarlarından cevherin yüzeye taşınmasını kapsamaktadır. NTE taşıyan mineralleri istenen saflığa getirmek için kırma, öğütme, yüzdürme, manyetik ayırma, yer çekimi yardımıyla fiziksel bir ayırıştırma yapılmaktadır. Yüksek saflığa getirebilmek adına kraking prosesi denilen asit ve alkali olmak üzere iki şekilde gerçekleştirilen kimyasal işlem gerçekleştirilmektedir. Son adım olarak Nadir toprak elementlerinin birbirinden ayrılabilmesi için kullanılan solvent ekstraksiyonu, iyon değişimi, süperkritik, bisorpsiyon, elektroekstraksiyon metotları ile ayırıştırma işlemi uygulanmaktadır (Kara ve ark., 2019).

Tablo 4.1 NTE nin kazanılmasında kullanılan yöntemler (Celep, Yazıcı, Deveci, 2021)

Birincil Kaynaklardan NTE’nin Kazanımı	İkincil Kaynaklardan NTE’nin Kazanımı
Flotasyon	Nd-Fe-B Mıknatıslar
Manyetik	Nikel-metal hidrür (NiMH) piller
Elektrostatik	Atık floresan lambalar
Gravite	Diğer ikincil kaynaklar

Flatasyon yöntemi, nadir toprak minerallerini hidrotermal ve magmatik yataklardan kazanmak için yaygın olarak kullanılan bir zenginleştirme yöntemi; manyetik, elektrostatik, gravite yöntemi, plaser yataklarından ve sahil kumlarından nadir toprak minerallerinin kazanılmasında kullanılan tekniklerdir (Terzi, 2017).

NTE nin yoğunlukları yüksek olduğundan düşük elektrik iletkenliğine sahip olduklarından, gravite tekniği tam ayrılmanın yapılamadığı zamanlarda ön konsantre üretilmesi için kullanılan düşük maliyetli zengileştirme tekniğidir. Bu teknik monazit ve bastnazitin flotasyon öncesinde konsantre edilmesi için kullanılmıştır. Spiraller ve sarsıntılı masa gibi ayırıcılar, gravite yöntemi ile ön zenginleştirme adımları olarak kullanılmaktadır. Sarsıntılı masalar, spiraller, koni ayırıcıları veya jig gibi yöntemlerde, taneler çökme hızları farkı ve hareketi etkileyen efektif kuvvetler uyarınca farklı ürün gruplarına ayrılmaktadırlar. Çok ince nadir toprak minerallerini konsantre hale getirmek için (Terzi, 2017).

Gravite yönteminden sonra manyetik özellikleri ve yoğunlukları benzer gang minerallerinden ksenotimim ve monazitin ayrılmasında elektrostatik; ksenotimim ve monazit gibi mineralleri manyetik olmayan minerallerden ayırmak için manyetik ayırma teknikleri kullanılmaktadır. Bu sayede yüksek tenörlü monazit konsantresi elde edilmektedir (Celep ve ark., 2021).

Floresan lambalar, mıknatıslar, piller ve katalizörler de nadir toprak elementi içeren ikincil kaynaklardır. İkincil kaynakların kazanımında hidrometalurjik yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır (Celep ve ark., 2021).

4.3. Polimerlerde NTE kullanımı

Shanghai Jiao Tong Üniversitesinde yapılan bir çalışmada, nadir toprak çözeltisinin karbon fiber takviyeli termoplastik poliamid kompozitin mekanik ve tribolojik özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Karbon fiber takviyeli poliamid kompozitin arayüzey yapışmasını iyileştirmek için nadir toprak çözeltisi yüzey değişikliği ve hava oksidasyon yöntemleri kullanıldı. Farklı yüzey değişikliği yöntemleri ile işlem görmüş karbon fiberlerle güçlendirilmiş poliamid kompozitlerin mekanik ve tribolojik özellikleri karşılaştırmalı olarak incelendiğinde karbon fiber takviyeli poliamid kompozitlerinin hem dayanım parametrelerinin (çekme ve eğilme) hem de sürtünme ve aşınma

performansındaki artışla birlikte NTE çözeltisi işlemi nedeniyle önemli ölçüde iyileştiğini göstermiştir (Lı ve Cheng, 2017).

Yapılan bir başka çalışmada ise X-Işını Koruması İçin Nadir Toprak/Termoplastik Poliüretan Elyafın Hazırlanması Ve Yapısı incelenmiştir. Bu çalışmada nadir toprak/polipropilen(PP)/poliüretan (PU) lifleri, farklı kütle oranlarında PP-PU ile eritilerek hazırlandı. Daha sonra ksilen kullanılarak pp matris fazı çıkarılarak nadir toprak/poliüretan koruyucu elyaf elde edildi. Fiberler fourier transform kızılötesi spektroskopisi (FTIR), diferansiyel tarama kalorimetrisi (DSC), x-ışını kırınımı (XRD), termogravimetrik analiz cihazı (TGA) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile karakterize edildi. PP/PÜ 'nın kütle oranı 60/40'a yükseldiğinde, nadir toprak/PÜ kompozit liflerinin kurşun eşdeğerinin 0.19 mmpb olduğunu gösterdi. Bu kütle oranında, fiberin x ışını koruma performansının en iyisi olduğu gözlemlendi (Lou ve ark., 2018).

5. MATERYAL VE METOT (YÖNTEM)

5.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler

Petkim A.Ş tarafından üretilen, ticari bir termoplastik olan, poliolefinler grubuna ait, I22-19T kodlu alçak yoğunluklu polietilen (AYPE) ve I666 yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) matris malzeme olarak kullanılmıştır. Dolgu maddesi olarak AYPE, 100 ila 400 mikrondan tane büyüklüğüne sahip karbon elyaf tozu (KET) ve nadir toprak elementleri (NTE) kullanılmıştır. NTE olarak % 90 üzerinde saflık oranına sahip lantan ve seryum tercih edilmiştir. Lantan ve seryum ile çalışılmasının en önemli nedenleri bu NTE'lerin diğerlerine kıyasla piyasada kolay bulunabilir olmaları ve maliyetlerinin düşük olmasındandır. Dolgu maddesi içerisinde ki AYPE termoplastikleştirici özellik kazandırması için tercih edilmiş olup çözücü olarak sentetik tiner kullanılmıştır.

5.2. Mekanik Karışım ve Eriyik Akış Analizi

Mekanik karışımlar için öncelikle ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında karbon elyaf tozu (KET) ayrı ayrı alçak yoğunluklu polietilen (AYPE)ve yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) ile “Toztek” firmasına ait 3lt hacminde “çift konik mikser” kullanılarak oda sıcaklığında mekanik olarak karıştırıldı. Elde edilen bu karışımların akış analizleri 190 °C ve 2,160 kg yük altında Resim 5.1’de verilen “JPT EQUIPMANT” marka “XRL-400A” model Melt Flow Index (MFI) eriyik akış cihazı kullanılarak ASTM D1238 (ISO1133) standartlarına uygun olacak gerçekleştirildi. Yapılan akış analizi sonucunda karışımların hem kütsel hem de hacimsel olarak akışkanlık değerleri ile yoğunluk değişimleri belirlenmeye çalışıldı. Elde edilen sonuçlar 6. bölümde ilgili yerde paylaşıldı fakat bu yapılan akış analizi neticesinde karbon elyaf tozunun miktarına bağlı olarak akışkanlığın radikal olarak azaldığı ve hatta hiç akışın gerçekleşmediği görüldü.



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

5.3. NTE ve Karbon Elyaf Tozu Esaslı Takviye Elemanının Elde Edilmesi

Takviye elemanının elde edilmesi için farklı çözeltiler hazırlandı ve bu çözeltiler karıştırılarak Tablo 5.1’de belirtilen çalışmalarda kullanılacak dolgu maddesi geliştirildi.

Tablo 5.1 AYPE’de kullanılan karbon elyaf tozu, lantan ve seryum esaslı dolgu maddeleri

Kullanılan Takviye Elemanı	Takviye elemanı içeriği ağırlıkça [%]		
Dolgu Maddesi-1 (DM-1)	%85AYPE	%15 KET	
Dolgu Maddesi-2 (DM-2)	%84AYPE	%15 KET	%1Lantan
Dolgu Maddesi-3 (DM-3)	%84AYPE	%15 KET	%1Seryum

Bu kapsamda toplamda 300 g’lık karışım esas alınacak şekilde 255g alçak yoğunluklu polietilen (AYPE) sentetik tiner içerisinde yaklaşık 20 dakika Şekil 5.2’de gösterildiği gibi çözülerek çözelti-1 hazırlandı. Daha sonra 45g karbon elyaf tozu (KET) ise bu çözelti içerisine dökülerek homojen olacak şekilde karıştırıldı ve dolgu maddesi-1 (DM-1) deneyler için hazır hale getirildi. Bu çözeltinin dışında iki ayrı çözeltide ağırlıkça %1 lantan ve yine ağırlıkça %1 Seryum içerecek şekilde hazırlandı. Bunun için Şekil 5.1’de görüldüğü gibi lantan ve seryum ayrı ayrı su içerisinde çözüldü ve daha sonra 45g KET ile karıştırılarak çözelti-2 hazırlandı. Son olarak bu çözeltiler ayrı ayrı sentetik tiner içerisinde çözülmüş ve hazır olan jel kıvamındaki AYPE (çözelti-1) ile homojen olacak şekilde karıştırıldı. Şekil 5.1’de gösterildiği gibi hazırlanan her iki çözeltide yaklaşık 24 ila 48 saat arasında oda sıcaklığında bekletildi ve daha sonra kırılarak 2 ila 3 mm boyutlarında granüller haline getirilerek deneyler için hazırlandı.



Şekil 5.1. Dolgu maddesinin elde edilmesi için hazırlanan çözeltiler

(çözelti-1: AYPE+tiner çözeltisi, çözelti-2: karbon elyaf tozu emdirilmiş lantan ve çözelti-3: karbon elyaf tozu emdirilmiş seryum)

5.4. Eriyik Akış Analizi (MFI)

Çözelti oluşturularak geliştirilen ve Tablo 5.1’de belirtilen dolgu maddeleri ayrı ayrı AYPE ve YYPE içerisinde dolgu maddesi olarak kullanıldı. Bu şekilde AYPE’nin ve YYPE’nin kütsel ve hacimsel akışkanlık değerleri çıkarıldı. Bu deneylerde daha önce mekanik karışımlar için gerçekleştirilen eriyik akış analizi için kullanılan ve Munzur Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Polimer Bilimi ve Teknolojileri laboratuvarında bulunan Resim 5.1’de gösterilen “JPT EQUIPMANT marka XRL-400A model” akış cihazı kullanılarak ASTM D1238 (ISO1133) standartlarına uygun olacak şekilde gerçekleştirilmiştir

Deneylerde hem AYPE hem de YYPE için cihaz sıcaklıkları 190 C ve uygulama ağırlığı 2,16 kg olarak standartlara uygun belirlenmiştir. Tablo 5.1’de belirtilen dolgu maddeleri ayrı ayrı ağırlıkça %10, %20, %30, %40 ve %50 oranlarında AYPE ve YYPE ile ayrı ayrı mekanik olarak karıştırılmıştır. Karışım ağırlığı yaklaşık olarak 6 ila 8 g arasında değişmektedir. Oluşturulan karışımlar sıcaklığı 190 C’ye ayarlanmış olan cihazın besleme ağzından dökülerek erimeye bırakılmıştır. Bu esnada üzerine bir piston vasıtası ile ön yğkleme olarak tabir edilen 0,325kg lık ağırlık uygulanmıştır. Bu sayede eriyik hale gelen malzeme cihazın alt kısmında bulunan memeden akmaya zorlanmıştır. Malzemenin istenilene şekilde eriyik hale gelmesi sağlandıktan ve memeden akmaya başladıktan sonra piston üzerine 1,835kg ana yükleme ilazve edilerek toplamda 2,16 kg’lık yük ile akmaya zorlanmıştır. Pistonun seviyesi ölçüm aralığına geldiğinde cihaz otomatik olarak start

vererek memeden akan malzeme her 20 saniyede bir kesilmiştir. Elde edilen bu parçaların ağırlıkları bir hassas terazi kullanılarak belirlendi ve daha sonra ortalama ağırlık cihazın dijital panosunda ilgili yere girilerek sonuçlar elde dılmıştır. Bu deneyler neticesinde hem AYPE'nin hem de YYPE'nin Tablo 5.1'de belirtilen dolgu maddelerinin türü ve ağırlıkça oranlarına bağlı olarak kütlesek ve hacimsel akışkanlıklarında ki değişimler belirlendi. Elde edilen sonuçlara bağlı olarak homojen karışımların hazırlanması için gerekli olan ekstrüzyon makinasının ısıtma bölgelerinin sıcaklıkları da yaklaşık olarak belirlenmiş oldu. Akışkanlık değerlerindeki değişimin dışında aynı zamanda dolgu maddesi çeşidi ve oranlarına bağlı olarak AYPE ve YYPE'nin yoğunluk değişimleri de cihaz tarafından belirlendi.

5.5. Ekstrüzyonda Homojen Karışım

Tablo 1'de elde edilen takviye elemanları ağırlıkça %10, %20, %30 oranlarında ayrı ayrı saf AYPE ve saf YYPE ile “Toztek” firmasına ait 3lt hacminde “çift konik mikser” kullanılarak oda sıcaklığında mekanik olarak karıştırıldı. Karışımların toplam ağırlığı 500g olacak şekilde belirlendi. Mekanik olarak hazırlanan bu karışımlar Munzur Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Polimer Bilimi ve Teknolojileri laboratuvarında bulunan Resim 5.3'de görünen “BES35 LD” tek vida ekstrüder cihazı ile yapıldı.



Resim 5.2. BES35 LD-tek vida extrüder makinası

Üç bölge ısıtma ve bir bölge kalıp ısıtmaya sahip ekstrüzyon makinasının sıcaklık değerleri MFI sonuçları referans alınarak Tablo 5.2'de verildiği gibi ayarlanmıştır. Oluşturulan karışımlar her birisi 500 gr olacak şekilde cihazın besleme ünitesinden yavaş yavaş hazneye dökülerek malzemelerin bu cihazda homojen hale gelmesi sağlanmıştır.

Silindirik kesitten akan yaklaşık 3 mm kalınlığında olan malzeme bir su havuzuna daldırılarak soğutulmuş ve şekil 5.8 deki kırıcıdan geçirilerek 2-3 mm büyüklüğünde granül hale getirilmiştir.

Tablo 5.2. Extrüzyon makinası bölge sıcaklıkları ve vida devri

Malzemeler	1.Bölge(°C)	2.Bölge(°C)	3.Bölge(°C)	Kalıp(°C)	Vida devri (rpm)
AYPE+%10 Dolgu Mad.	145-140	155-145	155-145	145-140	5-15
AYPE+%20 Dolgu Mad.	140-130	145-135	145-135	140-130	5-15
AYPE+%30 Dolgu Mad.	130-120	135-130	135-130	130-120	5-15
YYPE+%10 Dolgu Mad.	150-140	160-150	160-150	160-150	5-15
YYPE+%20 Dolgu Mad.	145-140	150-145	150-145	150-145	5-15
YYPE+%30 Dolgu Mad.	140-130	145-135	145-135	150-140	5-15

Tablo 5.1’de belirtilen her üç dolgu maddesi de AYPE ve YYPE’de dolgu maddesi olarak kullanılmaları neticesinde elde edilen MFI sonuçları çok farklılık göstermediği için Tablo 5.3’de tek bir takviye elemanı için ekstrüzyon makinasında kullanılan uygulama sıcaklıklarında ki değişimler verilmiştir.

5.6. Ekstrüzyon Sonrası Akış Analizleri

Ekstrüzyonda homojen hale getirilerek hazırlanan karışımların kütsel ve hacimsel akış analizleri daha önceki eriyik akış deneylerinde olduğu gibi JPT EQUIPMANT marka XRL-400A model cihaz kullanılarak ASTM D1238 (ISO1133) normlarına uygun olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen deneylerde kullanılan sıcaklık ve ağırlık değerleri ile kesme sğreleri daha önce gerçekleştirilen deneylerdeki ile aynı tutulmuştur. Bu sayede homojenliğin kütsel ve hacimsel akışkanlık üzerine olan etkileri belirlenmiş olup aynı zamanda plastik enjeksiyondaki çalışma sıcaklığı hakkında ön bir bilgi edinilmiştir.

5.7. Plastik Enjeksiyon ile Numune Üretimi

Ekstrüzyon makinasında elde edilen homojen karışımlar Resim 5.4’de verilen kırıcı kullanılarak 2 ila 5 mm büyüklüğünde granül tanelerine dönüştürülmüştür.



Resim 5.3. Granül eldesi için kullanılan kırıcı

Elde edilen granüller Resim 5.5’de görünen Ekin Marka 100 tonluk plastik enjeksiyon makinasına dökülerek kalıplara basıldı.



Resim 5.4. Plastik Enjeksiyon Makinası

Üç bölge ısıtma haznesine sahip olan plastik enjeksiyon makinası 100 ton’luk mengene kapama kuvvetine sahiptir. Enjeksiyon bölgesi bir çiller aracılığı ile soğutulurken kalıp bölgesi ise şartlandırıcı kullanılarak belirli bir sıcaklıkta tutulmaktadır. Bu sıcaklık değeri genellikle enjeksiyonda kullanılan erime sıcaklığının 100 °C altında bir sıcaklık olarak belirlenmektedir. Üretim esansında sıcaklıklar dışında özellikle püskürtme basıncı, ikincil basınç, ütüleme basıncı ve mal alma miktarı ile soğuma süresi parça kalitesi üzerinde etkili olmaktadır. Bu değerler Tablo halinde aşağıda verilmiştir.

Tablo 5.3 Plastik enjeksiyon ile kalıplamada kullanılan üretim parametreleri.

Karışım oranı	1. basınç (bar)	2.basınç(bar)	Ütüleme basıncı(bar)	Sıcaklıklar (°C)
AYPE+%10 Dolgu Mad.	100	110	65	160-170
AYPE+%20 Dolgu Mad.	100	110	65	160-170
AYPE+%30 Dolgu Mad.	100	110	65	160-170
YYPE+%10 Dolgu Mad.	100	110	65	170-180
YYPE+%20 Dolgu Mad.	100	110	65	170-180
YYPE+%30 Dolgu Mad.	100	110	65	170-180

Tablo 5.3’de verilen üretim parametreleri kullanılarak elde edilen profiller Resim 5.5’de görülmektedir.

Dolgu içerikli numune



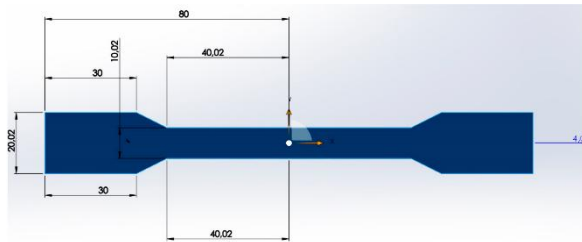
Saf numune



Enjeksiyon kalıbı

Resim 5.5. Plastik enjeksiyon kalıbı ve üretilen numenler

Resim 5.6’de belirtildiği gibi Tip 1A DIN ISO 527 standartlarına uygun olarak üretilen çekme çubuklarının teknik ölçüleri Şekil 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.2. Enjeksiyon ile üretilen Tip 1A standart çekme çubuklarının teknik ölçüleri

5.8. Üretilen Numunelerin Karakterizasyonu

Şekil 5.2’de teknik ölçüleri verilen standart çekme numunelerinden toplamda minimum 500 adet numune üretilmiş. Üretilen numuneler için yapılan testler aşağıda açıklanmıştır.

5.8.1. Mekanik Testler

Mekanik test olarak çekme, eğilme ve izod darbe testleri yapılmış olup her bir farklı dolgu çeşidi ve oranına bağlı olarak üretilen numunelerden yine her bir mekanik analiz için 5er adet test çubuğu kullanılmıştır. Çekme gerilmesi; çekme deneyleri Munzur Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında bulunan “Shimadzu” marka “Ag-x 10t” model cihaz kullanılarak ASTM D 638 (DIN ISO 527) standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.8’de gösterildiği gibi cihazın çenelerine bağlanan çekme çubukları 50 mm/dak. hız ile eksenel yönde çekmeye zorlanmışlardır.



Resim 5.6. Shimadzu ag-x 10” ile gerçekleştirilen çekme ve üç nokta eğilme deneyleri

Üç nokta eğilme gerilmesi: ASTM D 790 (DIN ISO 178) standartlarına uygun olarak Resim 5.7’de (sağda) gösterildiği gibi gerçekleştirilen üç nokta eğilme deneylerinde numune ebatları 80mmx10mmx4mm olup eğilme hızı 10mm/dak. şeklindedir. Deneylerde maksimum sehim 6mm olarak belirlenmiştir.

İzod darbe gerilmesi: darbe deneyleri DIN ISO 180 standartlarına uygun olarak Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği laboratuvarlarında bulunan “CEAST-Fractovis Plus” marka darbe cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

5.8.2. Termal Testler

Termal testler kapsamında numunelerin termogravimetrik (TGA/DTA) analizleri gerçekleştirildi. Eş zamanlı olarak gerçekleştirilen TGA/DTA analizlerinde üretilen numunelerin kütle kayıpları ve referans ile arasındaki sıcaklık farkları kullanılan program ile tespit edilir. Malzemeler belirli bir sıcaklığa kadar uygun bir ısı artışı ile ısıtılırlar. Bu işlem normal atmosferde ya da azot ortamında yapılabilir. İşlem için birkaç gram numune kullanılması yeterlidir. Analiz neticesinde oluşacak kütle kayıpları (TG) ve egzotermik ya da endotermik reaksiyonlar sonucu meydana gelen sıcaklık değişimleri diferansiyel termal analiz (DTA) ile tespit edilir. Bu analiz ile malzemenin erime ve yanmasına ait olan değişimler kolaylıkla belirlenir.

Çalışmada kullanılan TGA/DTA cihazı Munzur Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan Resim 5.8’ da görünen “DTG 60” marka cihaz ile azot atmosferinde gerçekleştirilmiştir. Numuneler 600 C’ye kadar dakikada 10 °C’lik ısı artışı ile ısıtılmışlardır.



Resim 5.7. DTG 60 TGA/DTA cihazı

5.8.3. Morfolojik Analiz

Birçok alanda olduğu gibi polimer alanında da malzemelerin fiziksel karakterizasyonlarında sıklıkla taramalı elektron mikroskobu kullanılmaktadır. Bu sayede polimer kompoziti oluşturan matris ve dolgu maddesi ve diğer bağlayıcı maddeler nano

boyutta rahatlıkla belirlenebilmektedir. Bu işlem için incelenecek olan parça kesiti uygun bir malzeme ile homojen şekilde kaplanır ve hazırlanır. Daha sonra bu kesite elektron gönderilerek kaliteli ve yüksek çözünürlükte görüntü elde edilir.



Resim 5.8. HITACHI SU 3500 marka taramalı elektron mikroskobu

Bu çalışmada Resim 5.9’da görünen Munzur Üniversitesi Malzeme Mühendisliği laboratuvarlarında bulunan HITACHI SU 3500 marka/model elektron mikroskobu kullanılarak numunelerin kesitleri incelenmiştir. İncelenecek olan numuneler gevrek kırılma elde edebilmek için yani numune kesitinde meydana gelebilecek olan plastik deformasyon miktarını en aza indirebilmek için sıvı azot içerisinde donduruldu ve daha sonra kırıldı. Kırışan parçalardan uygun olan yüzeye ait olan kesitler altın ile kaplandı ve daha sonra elektron mikroskobu altında incelendi. Bu sayede matris ile dolgu maddelerinin fiziksel bağlanma mekanizmaları belirlendi. Farklı dolgu maddelerinin kullanılması ve dolgu maddelerinin oranının değişmesi neticesinde bağlanma mekanizmalarının yapıları belirlendi.

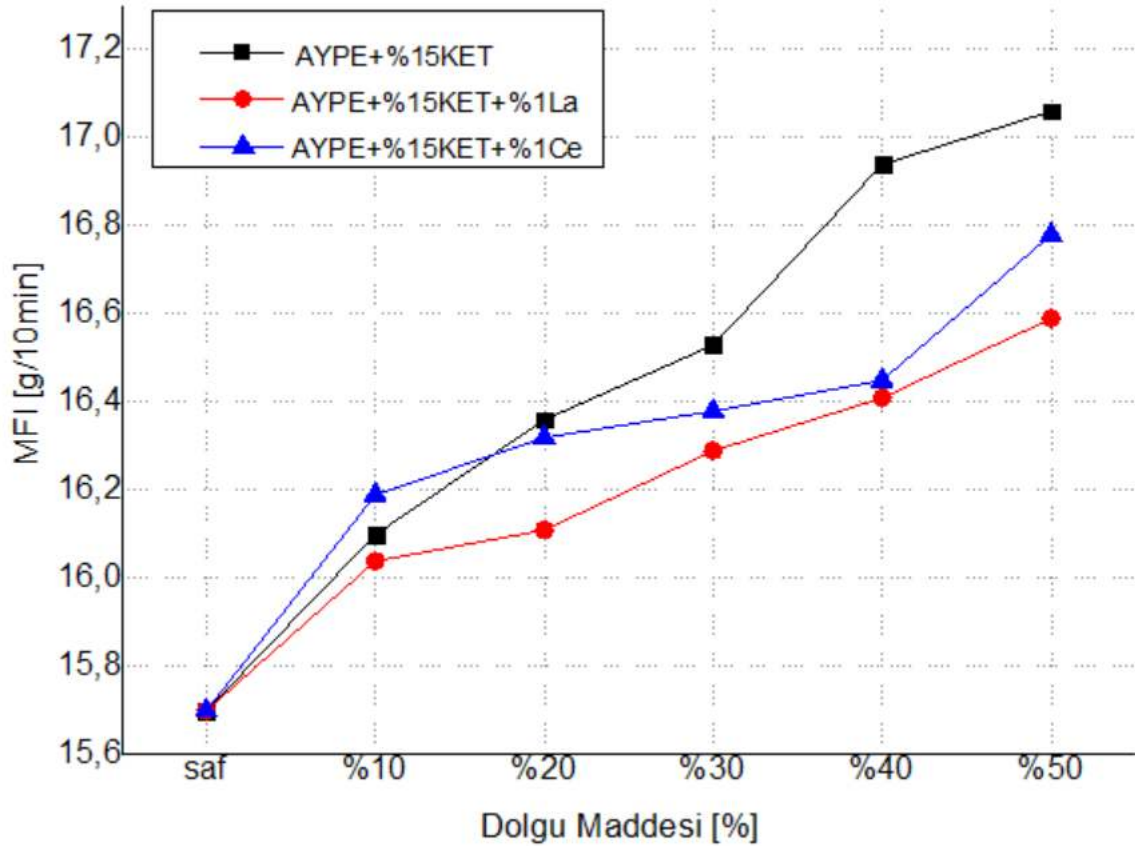
6. SONUÇLAR

Bu bölümde tez kapsamında geliştirilen dolgu maddelerinin alçak yoğunluklu polietilen (AYPE) ve yüksek yoğunluklu polietilende (YYPE) kullanılmaları neticesinde üretilen kompozitlere ait gerçekleştirilen deney sonuçları anlatılmıştır.

6.1. Eriyik Akış Analiz Sonuçları

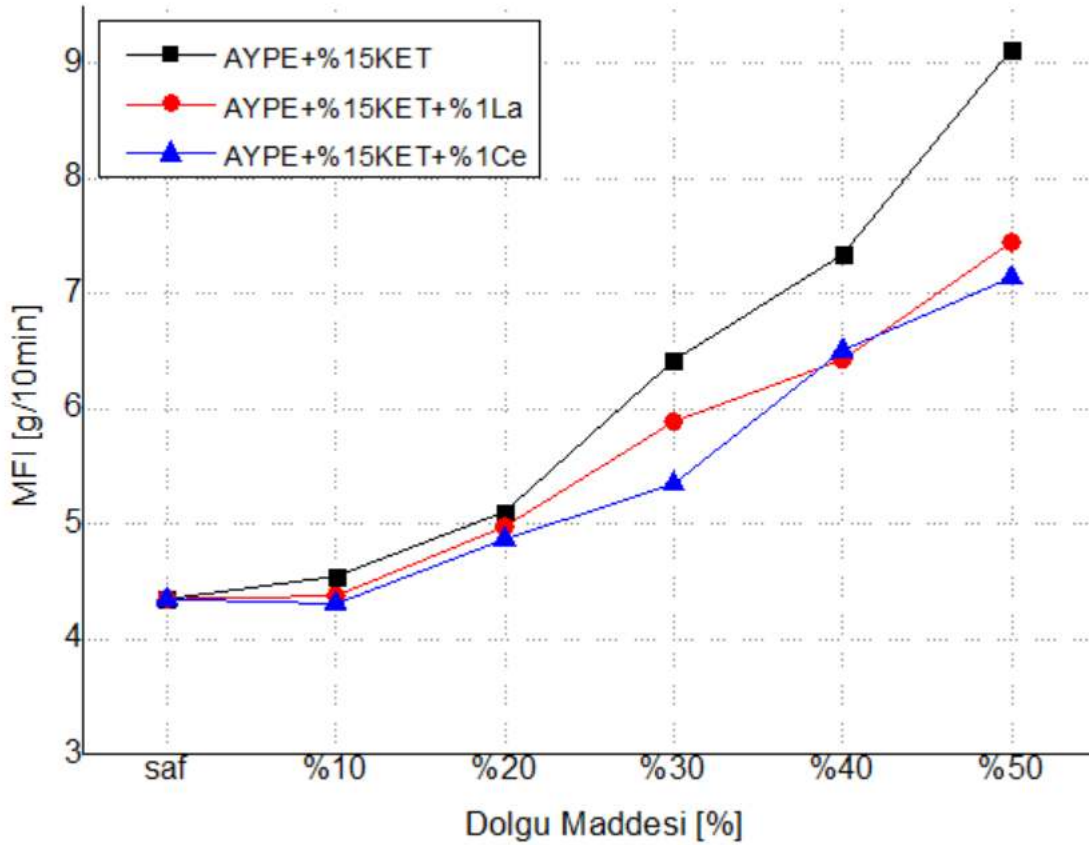
Geliştirilen dolgu maddelerin polietilenler ile hem mekanik olarak karıştırılması neticesinde elde edilen kütsel akış sonuçları ile ekstrüzyonda gerçekleştirilen karışımları neticesinde üretilen homojen karışımların kütsel akış sonuçları grafiklerle verilmiştir.

Dolgu maddeleri ve polietilenin mekanik karışımlarına ait MFI sonuçları; aşağıdaki grafiklerde geliştirilen dolgu maddelerinin çeşidine ve farklı karışım oranlarına bağlı olarak AYPE ve YYPE'nin kütsel akışkanlığındaki değişimler verilmiştir.



Şekil 6.1. Farklı dolgu maddeleri ve oranlarına bağlı olarak AYPE'nin eriyik akış indeksindeki değişim

Şekil 6.1’de AYPE’nin kütsel akışkanlığının geliştirilen dolgu maddesi çeşidine ve AYPE içerisindeki oranına bağlı olarak değişimi görülmektedir. Bu grafiğe göre kullanılan her üç dolgu maddesinin AYPE içerisinde ki artan ağırlıkça oranına bağlı olarak karışımların akışkanlığının arttığı görülmektedir. Saf AYPE’nin akışkanlığı 15,7 g/10dak. iken bu değer %50 oranlarında dolgu maddesi içeren karışımlardan seryum ihtiva eden dolgu maddesinde 16,8 g/10dak. ve lantan esaslı dolgu maddesi içeren karışımlarda 16,6 g/10dak. olarak ölçülmüştür. En önemli değişim ise sadece AYPE ve karbon elyaf tozu (KET) ile geliştirilen dolgu maddesinin yer aldığı karışımlarda elde edilmiş olup ağırlıkça %50 AYPE+KET içeren karışımın kütsel akışkanlığı 17,06 g/10dak. olarak tespit edilmiştir.

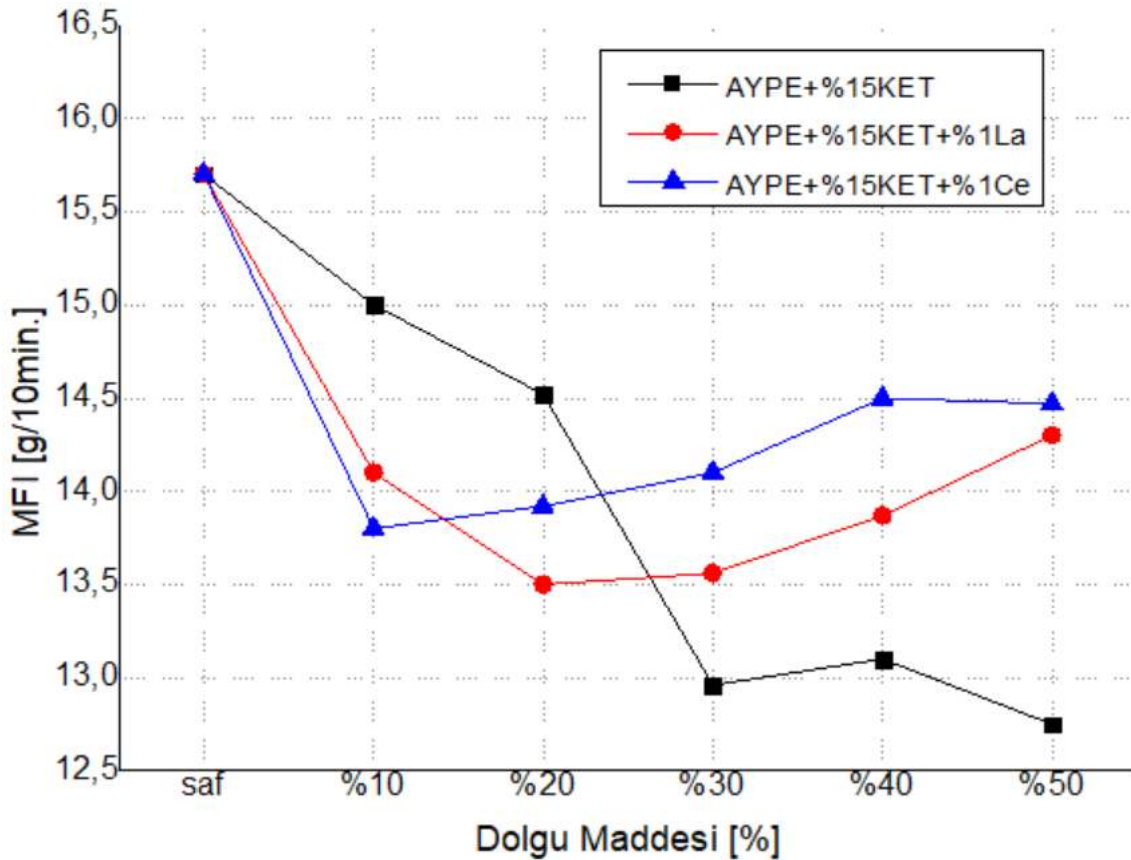


Şekil 6.2. Farklı dolgu maddeleri ve oranlarına bağlı olarak YYPE’nin eriyik akış indeksindeki değişim

Şekil 6.2’de YYPE’nin kütsel akış indeksindeki değişimin kullanılan dolgu maddesi çeşidi ve oranına bağlı olarak değişimi verilmiştir. Bu grafiğe göre kullanılan her üç dolgu maddesi de YYPE’nin akışkanlığına olumlu etki etmiştir. Saf YYPE’nin akışkanlığı 4,32 g/10dak. iken bu değer ağırlıkça %50 dolgu maddesi içeren lantan esaslı

karışımlarda 7,45 g/10dak. ve seryum esaslı karışımlarda ise 7,14 g/10dak. olarak ölçülmüştür. En radikal değişim ise AYPE’de olduğu gibi burada da dolgu maddesi olarak AYPE+KET içeren karışımlarda meydana gelmiş olup ağırlıkça %50 AYPE+KET dolgu maddesi içeren karışımlarda kütsel akışkanlık değeri 9,12 g/10dak. olarak tespit edilmiştir.

Dolgu maddeleri ve polietilenin homojen karışımlarına ait MFI sonuçları; aşağıdaki grafiklerde hem AYPE hem de YYPE’nin farklı çeşit ve oranlardaki dolgu maddeleri ile karışımlarının ekstrüzyonda elde edilmesi neticesinde üretilen kompozitlerin akışkanlıklarındaki değişimler verilmiştir.

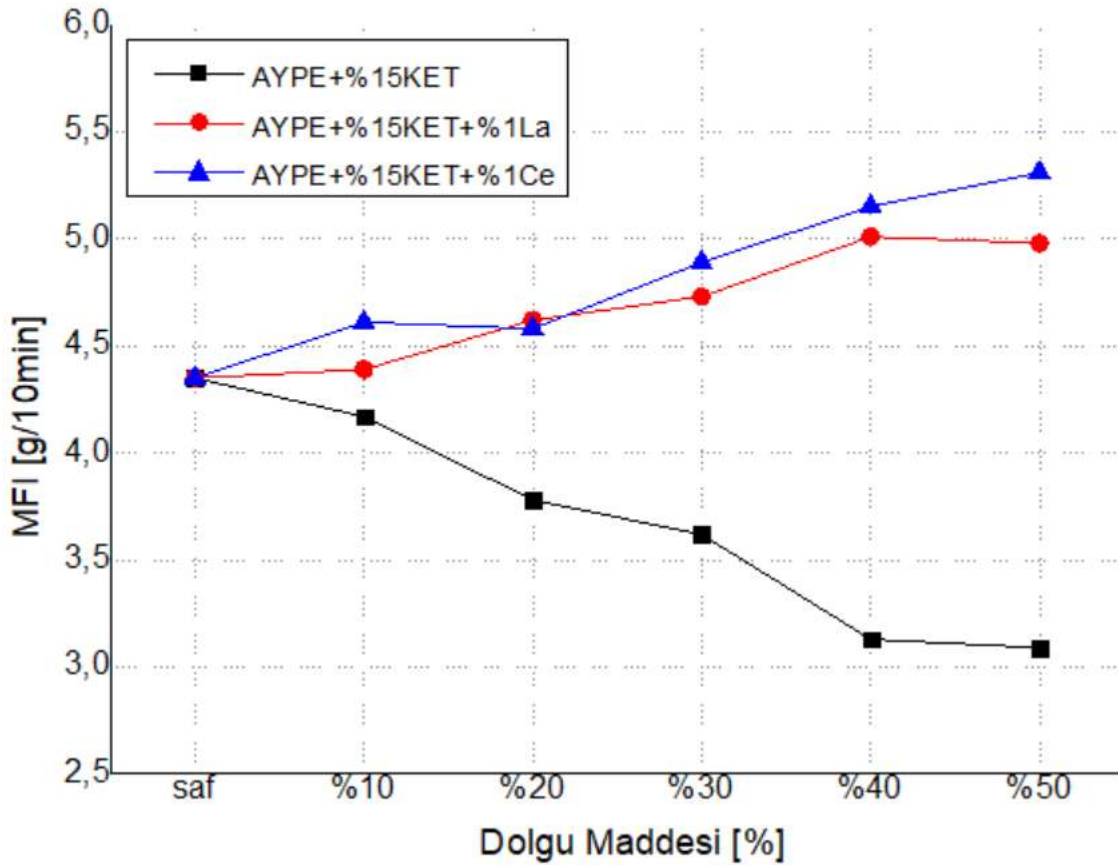


Şekil 6.3. Dolgu maddesinin çeşidi ve miktarına bağlı olarak AYPE’nin kütsel akışkanlığındaki değişim

Şekil 6.3’de alçak yoğunluklu polietilen içerisinde ki dolgu miktarı ve çeşidine bağlı olarak ekstrüzyon da elde edilen karışımlara ait kütsel akışkanlık değişimleri görülmektedir. Saf polietilenin akışkanlığı 15,7 g/10.dak. iken bu değer polietilen ile farklı dolgu maddelerinin ekstrüzyonda homojen hale getirilmeleri neticesinde elde edilen karışımlarda azalmıştır. Özellikle dolgu maddesi olarak AYPE ve KET karışımlarının

kullanılması ile artan dolgu miktarına bağlı olarak sürekli bir azalma meydana gelmiş ve akışkanlık 12,75 g/10dak. değerine kadar gerilemiştir. Lantan ve seryum takviyeli dolgu maddelerinde ise bu azalma özellikle %20 dolgu içeren karışımlarda radikal bir şekilde gerçekleştikten sonra artma eğilimi göstermiştir. Ağırlıkça %50 oranında seryum esaslı dolgu maddesi içeren karışımlarda 14,47 g/10dak. olarak ölçülen akışkanlık değeri, ağırlıkça %50 lantan içeren numunelerde 14,3 g/10dak. olarak belirlenmiştir.

Ekstrüzyonda üretilen bu kompozitlerin yoğunluklarında önemli değişimler tespit edilmemiş olup hem MFI cihazının hem de yoğunluk ölçüme kitinin verdiği sonuçlar yakın çıkmıştır. Saf AYPE'nin yoğunluğu 0,862 g/cm³ değerinden başlayarak artan dolgu miktarına bağlı olarak miktar azalmış olup ağırlıkça %50 dolgu içeren kompozitlerde 0,75 ila 0,78 g/cm³ olarak ölçülmüştür.



Şekil 6.4. Dolgu maddesinin çeşidi ve miktarına bağlı olarak YYPE'nin kütleli akışkanlığındaki değişim

Şekil 6,4'de matris malzemesi YYPE olan ekstrüzyondan elde edilen homojen karışımlara ait eriyik akış indeksi sonuçları verilmiştir. Elde edilen sonuçlarda özellikle AYPE ve KET tozu içeren karışımların akışkanlıklarında önemli ölçüde azalma olduğu görülmektedir. Saf AYPE'nin ağırlığı 4,35 g/10dak. iken bu değer %50 AYPE+KET

içeren karışımlarda 3,09 g/10dak. olarak ölçülmüştür. Bu azalmanın aksine lantan ve seryum esaslı dolgu maddesi içeren karışımların akışkanlıklarında artış meydana gelmiştir. Ağırlıkça %50 lantan içeren karışımların akışkanlığı 4,98 g/10dak. bu değer ağırlıkça %50 seryum içeren karışımlarda 5,31 g/10dak. olarak belirlenmiştir.

YYPE ve dolgu maddeleri ile elde edilen kompozitlerin yoğunluk değişimleri ise hem MFI hem de yoğunluk ölçme kiti ile gerçekleştirilmiştir. Artan dolgu miktarına bağlı olarak YYPE matrisli kompozitlerin yoğunluklarının azaldığı tespit edilmiştir. Saf YYPE'nin yoğunluğu 0,891 g/cm³ iken bu değer ağırlıkça %50 dolgu içeren numunelerde 0,781 ila 0,834 g/cm³ arasında değişmektedir.

6.2. Mekanik Test Sonuçları

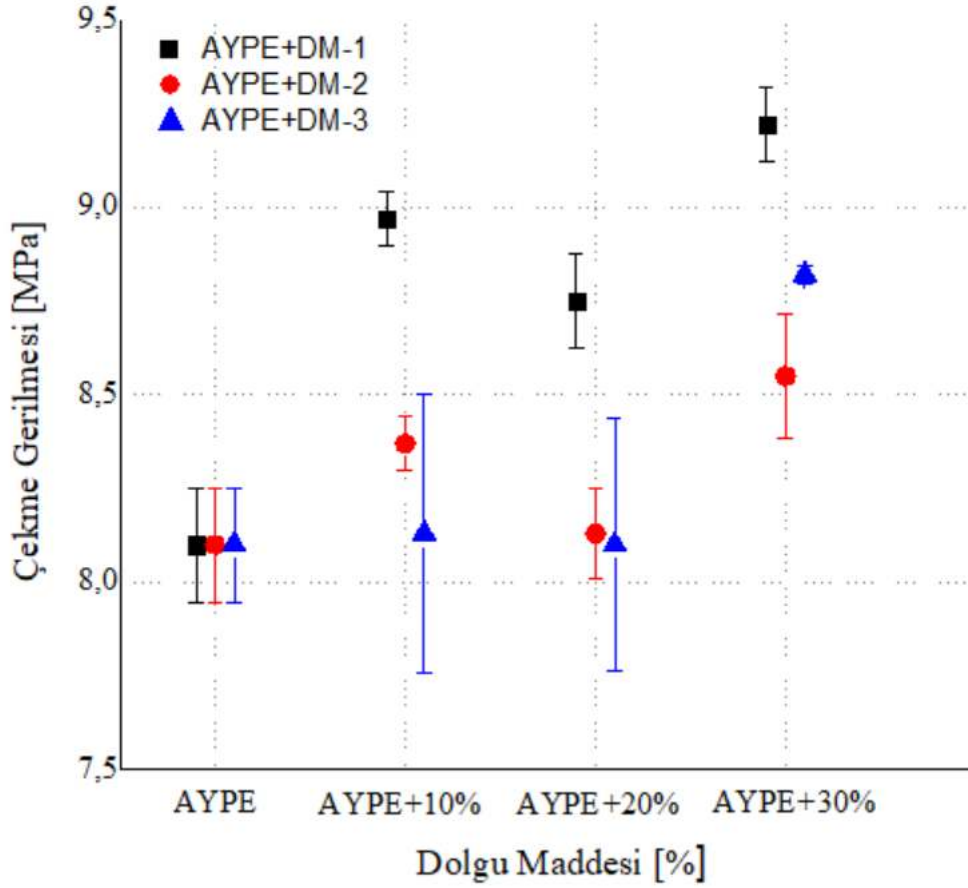
Mekanik testler kapsamında gerçekleştirilen çekme test, üç nokta eğilme ve izod darbe test sonuçları aşağıda grafikler ile verilerek açıklanmıştır. Burada kullanılan dolgu maddeleri aşağıda ki tabloda belirtildiği gibi adlandırılmış olup grafiklerde ve açıklamalarında bu adlandırmalar kullanılmıştır.

Tablo 6.1. AYPE ve YYPE matrisli numunelerin üretiminde kullanılan dolgu maddeleri ve içerikleri.

Kullanılan Dolgu Maddeleri	Dolgu maddesi içeriği ağırlıkça [%]		
Dolgu Maddesi-1 (DM-1)	%85AYPE	%15 KET	
Dolgu Maddesi-2 (DM-2)	%84AYPE	%15 KET	%1Lantan
Dolgu Maddesi-3 (DM-3)	%84AYPE	%15 KET	%1Seryum

6.2.1. Çekme Test Sonuçları

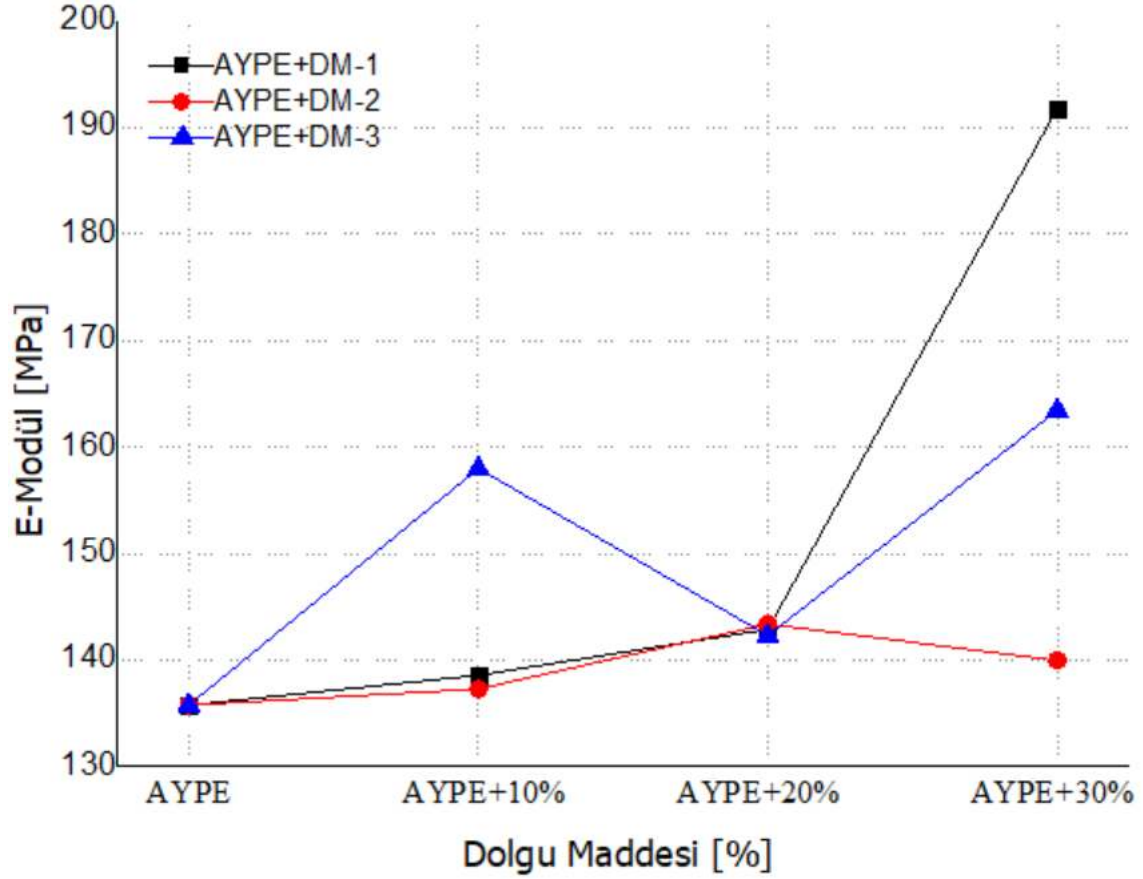
Gerçekleştirilen çekme testi neticesinde çekme gerilmesinde ve elastisite modülündeki (E-Modül) değişimler grafiklerle aşağıda verilmiştir.



Şekil 6.5. Dolgu maddesi çeşidi ve ağırlıkça oranına bağlı olarak AYPE'nin çekme gerilmesindeki değişim

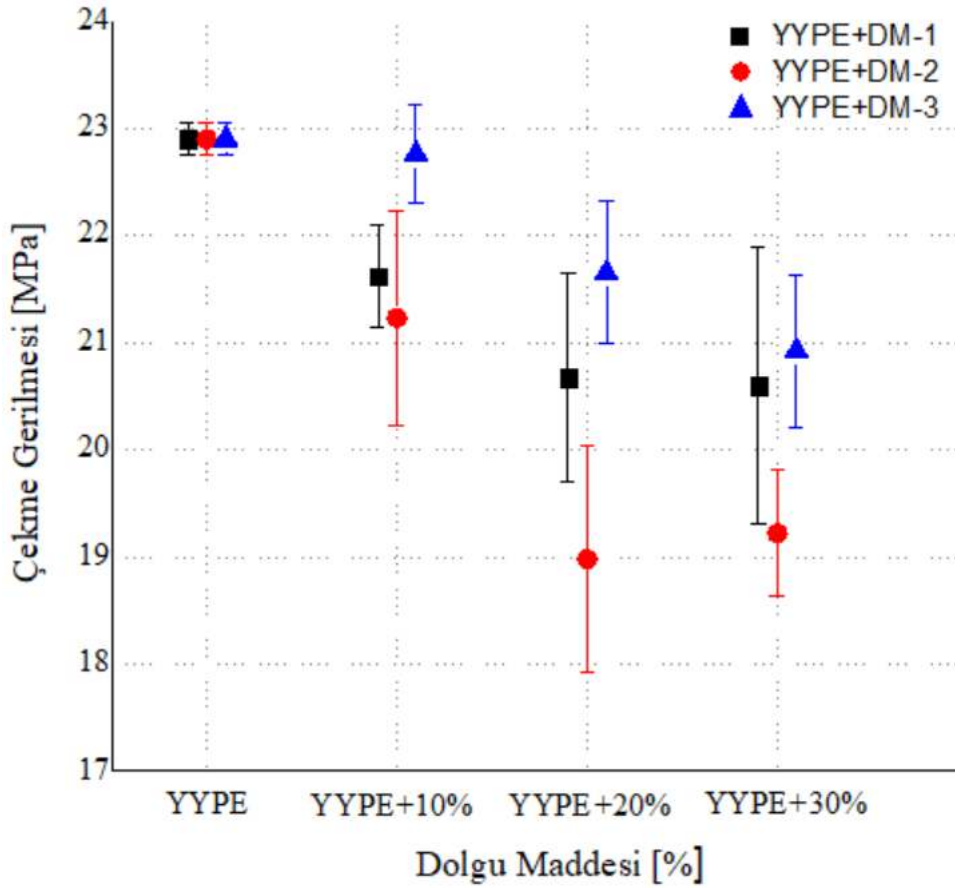
Şekil 6.5'de AYPE'nin çekme gerilmesinin dolgu maddelerine ve oranlarına bağlı olarak nasıl bir değişim gösterdiği görülmektedir. Bu grafiğe göre bir çok parçacık takviyeli termoplastiğin aksine AYPE'nin çekme dayanımında dolgu oranında ki artışa bağlı olarak iyileşme meydana geldiği görülmektedir. Özellikle DM-1 ile tarif edilen yani sadece AYPE çözeltisi içerisinde ağırlıkça %15 oranında karbon elyaf tozu ilave edilerek hazırlanan dolgu maddesinin takviye edilmesi ile çekme dayanımının önemli ölçüde iyileştiği görülmektedir. Saf AYPE'nin çekme dayanımı 8,1 MPa iken bu değer ağırlıkça %30 oranında DM-1 içeren AYPE numunelerinde yaklaşık olarak 9,3 MPa değerine kadar yükselmiştir. Benzer şekilde diğer dolgu takviyelerinde de artış gösteren çekme gerilmesi değeri ağırlıkça %30 lantan emdirilmiş dolgu takviyeli numunelerde 8,55 MPa ve %30 seryum emdirilmiş numunelerde ise 8,82 MPa olarak belirlenmiştir. Seryum emdirilmiş dolgu takviyeli numunelerin çekme dayanımı sonuçlarına bakıldığında özellikle ağırlıkça %10 ve %20 dolgu takviyelilerde standart sapma aralıklarının fazla olduğu görülmektedir. Bu durumun özellikler dolgu maddesi ile matris malzemenin mekanik karışımlarının ve

akabinde ekstrüzyonda homojen karışımlarının oluşturulması esnasında istenilen homojenliğin yakalanamamasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir.



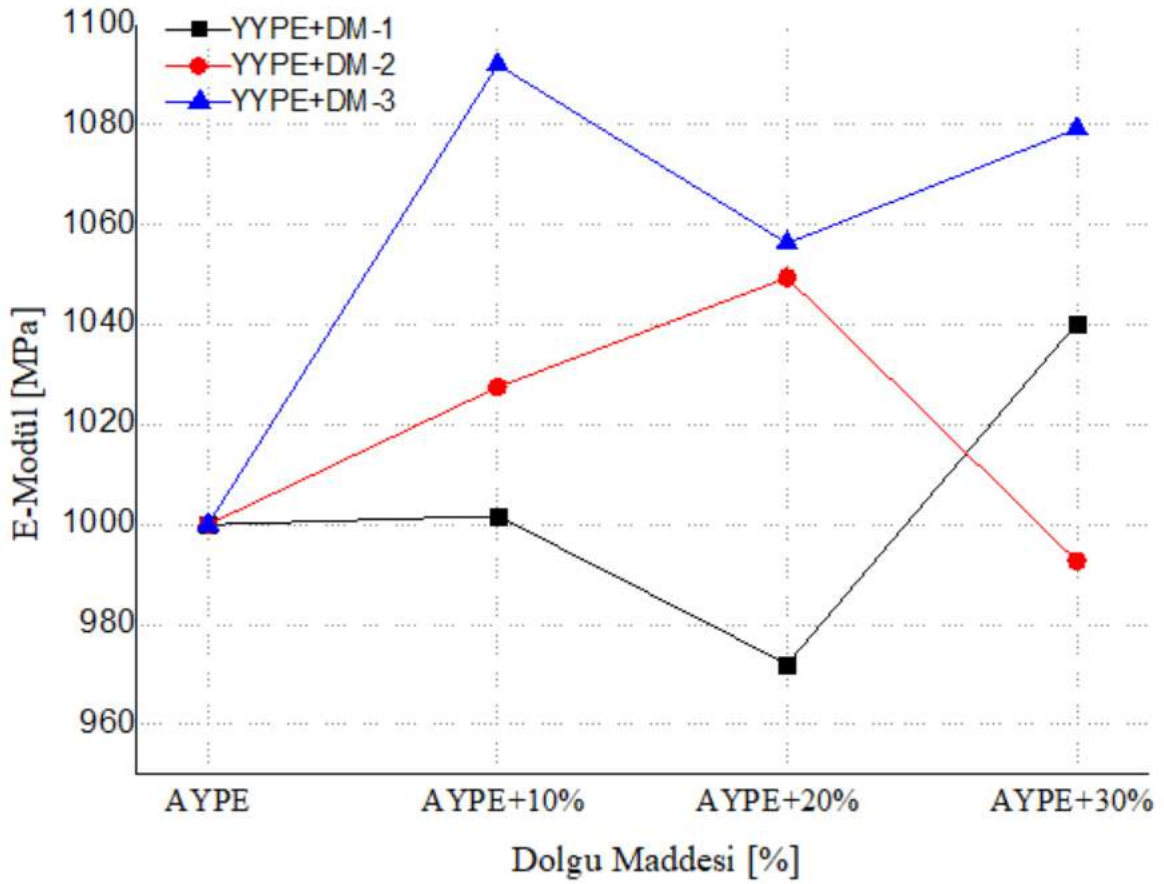
Şekil 6.6. Dolgu maddesi çeşidi ve ağırlıkça oranına bağlı olarak AYPE'nin E-Modülündeki değişim

Şekil 6.6'da dolgu takviyeli AYPE numunelerinin çekme dayanımı neticesinde elastiklik modülündeki değişimler görülmektedir. Bu grafiğe göre dolgu çeşidi ve oranlarına bağlı olarak numunelerin E-modülleri iyileşmiştir. Saf AYPE'nin E-modülü 136 MPa iken bu değer ağırlıkça %30 dolgu maddesi içeren numunelerde sırasıyla 191 MPa, 140 MPa ve 163 MPa olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6.7. Dolgu maddesi çeşidi ve ağırlıkça oranına bağlı olarak YYPE'nin çekme gerilmesindeki değişim

Şekil 6.7'de YYPE'nin çekme dayanımının kullanılan dolgu maddesi çeşidi ve ağırlıkça oranlarına bağlı olarak değişimi verilmiştir. Bu grafiğe göre her üç dolgu maddesi de YYPE'nin çekme dayanımına olumsuz etki etmiş ve bir miktar azalmasına neden olmuştur. Burada meydana gelen azalma yine de literatürde ağırlıkça benzer oranlarda parçacık takviyeli YYPE matrisli numunelere kıyasla çok daha düşük gerçekleşmiştir. Saf YYPE'nin çekme gerilmesi 22,9 MPa iken bu değer ağırlıkça %30 dolgu içeren numunelerde sırasıyla 20,6 MPa, 19,3 MPa ve 21 MPa olarak tespit edilmiştir.

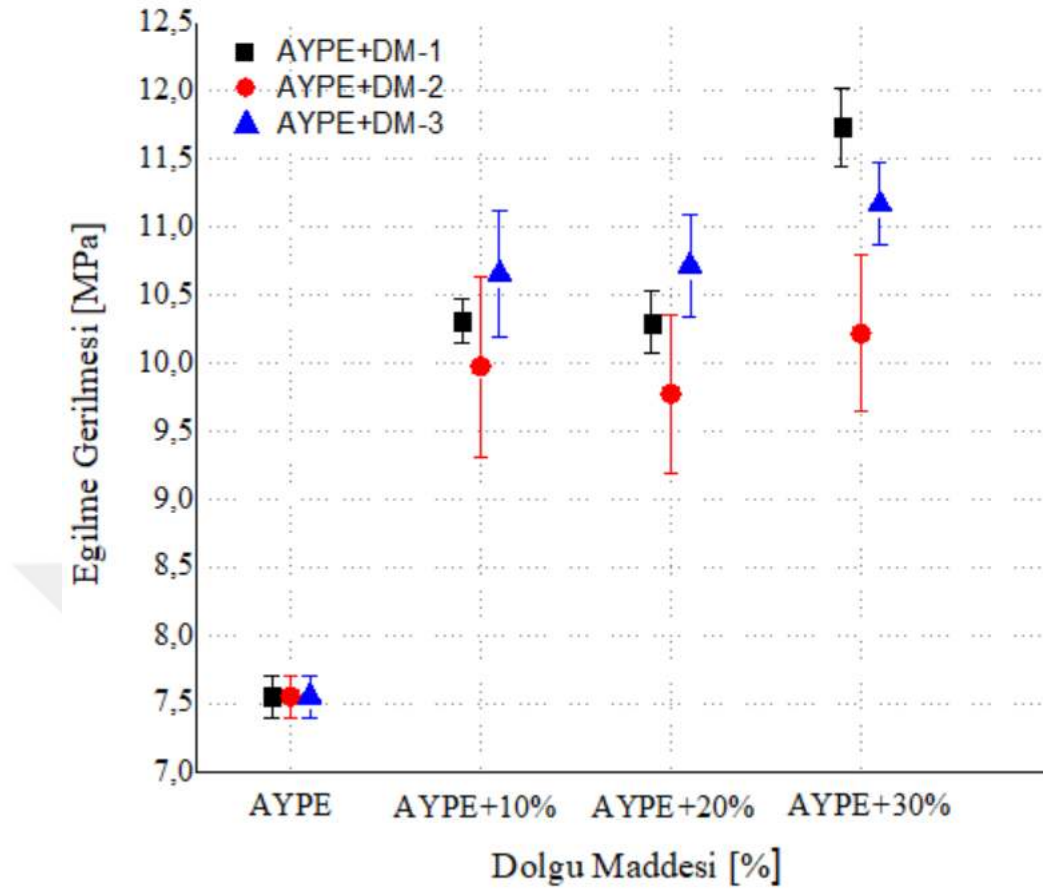


Şekil 6.8. Dolgu maddesi çeşidi ve ağırlıkça oranına bağlı olarak YYPE'nin E-Modülündeki değişim.

YYPE'nin dolgu maddelerine bağlı olarak elastiklik modülünde ki değişim Şekil 6.8'de verilmiştir. Bu grafiğe göre E-modül 970 MPa ile 1100 MPa arasında değişkenlik göstermektedir. Saf YYPE'nin E-modülü 1000 MPa iken ağırlıkça %30 dolgu takviyeli numunelerde sırasıyla E-modül 1040 MPa, 993 MPa ve 1080 MPa olarak belirlenmiştir.

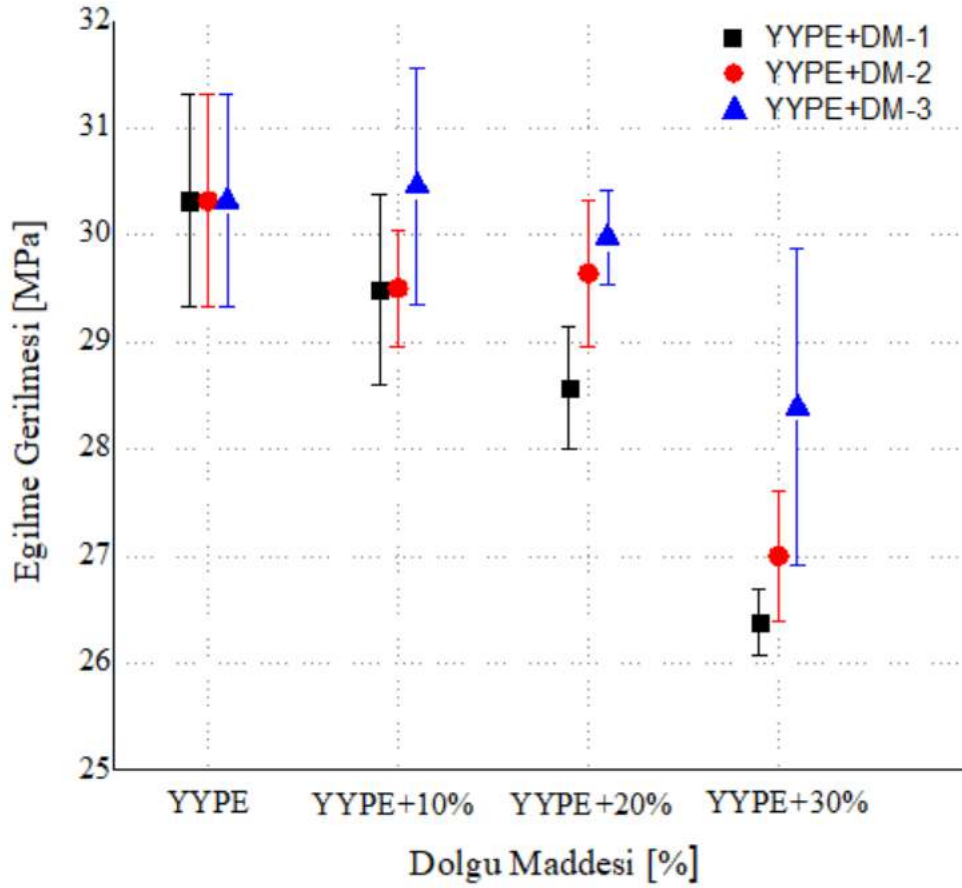
6.2.2. Üç Nokta Eğilme Gerilmesi

Üretilen numunelere ait 3-nokta eğilme deney sonuçları aşağıda grafiklerle açıklanmıştır.



Şekil 6.9. Dolgu maddesi çeşidi ve ağırlıkça oranına bağlı olarak AYPE'nin eğilme gerilmesindeki değişim

Şekil 6.9'da AYPE de kullanılan dolgu maddelerinin çeşitleri ve ağırlıkça oranlarına bağlı olarak AYPE'nin düşey yüklemelere karşı dayanımı görülmektedir. Dolgu maddesi olarak kullanılan her üç elemanında AYPE'nin eğilme gerilmesini önemli ölçüde arttırdığı görülmektedir. Saf AYPE'nin eğilme gerilmesi 7,5 MPa civarında iken bu değer ağırlıkça %30 dolgu içeren numunelerde sırasıyla 11,7 MPa, 10,2 MPa ve 11,2 MPa olarak tespit edilmiştir.



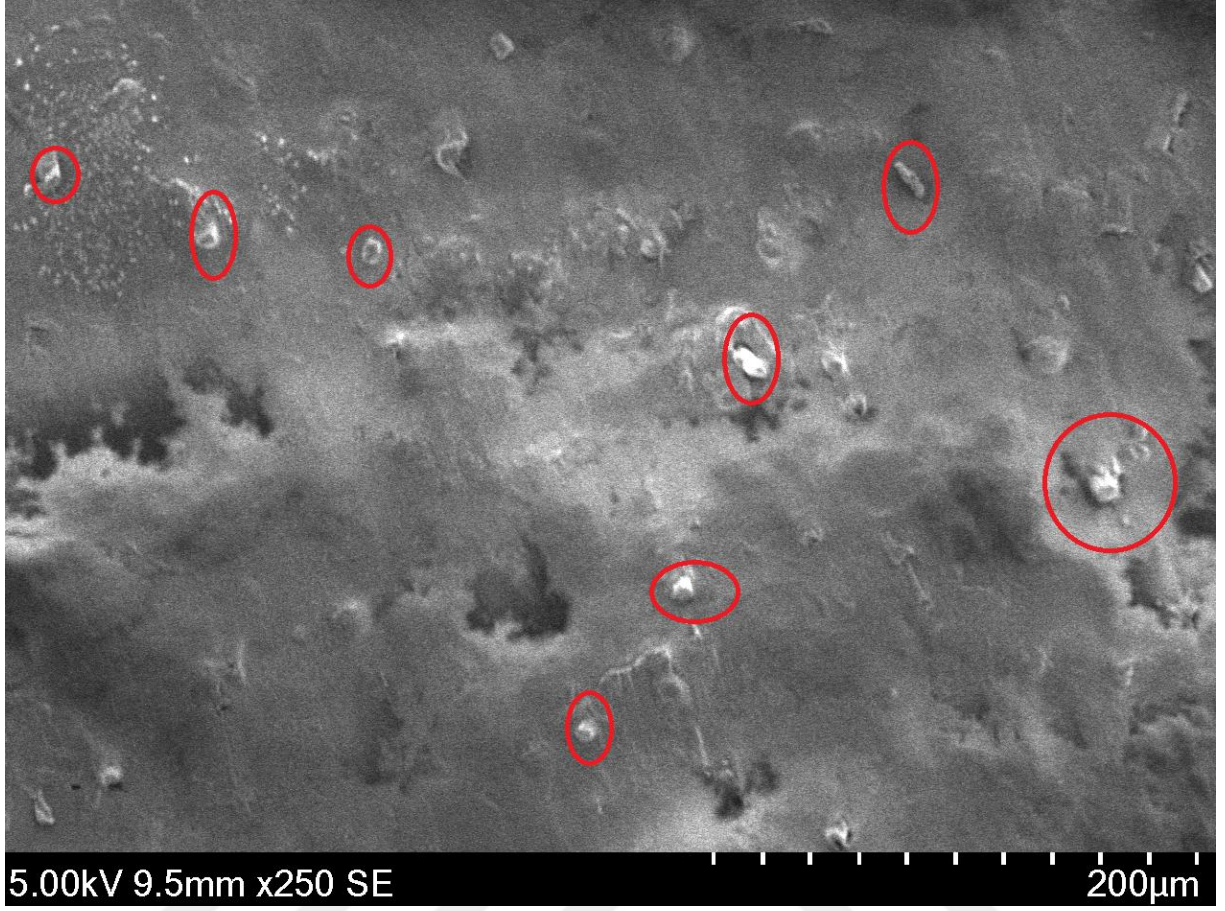
Şekil 6.10. Dolgu maddesi çeşidi ve ağırlıkça oranına bağlı olarak YYPE'nin eğilme gerilmesindeki değişim

Şekil 6.10'da YYPE'nin eğilme gerilmesinde ki değişim görülmektedir. Bu grafiğe göre her üç dolgu maddesi içinde dolgu miktarında ki artışa bağlı olarak numunelerin eğilme gerilmelerinde bir miktar azalma olduğu görülmektedir. Saf YYPE'nin düşey yüklemelere karşı dayanımı 30,32 MPa iken bu değer ağırlıkça %30 DM-1 içeren numunelerde 26,38 MPa değerine gerilerken lantan esaslı DM-2 takviyeli numunelerde 27 MPa olarak belirlenmiştir. Seryum esaslı DM-3 takviyeli numunelerde ise 28,4 MPa olarak tespit edilmiştir.

6.3. Elektron Mikroskobu Sonuçları (SEM/EDS)

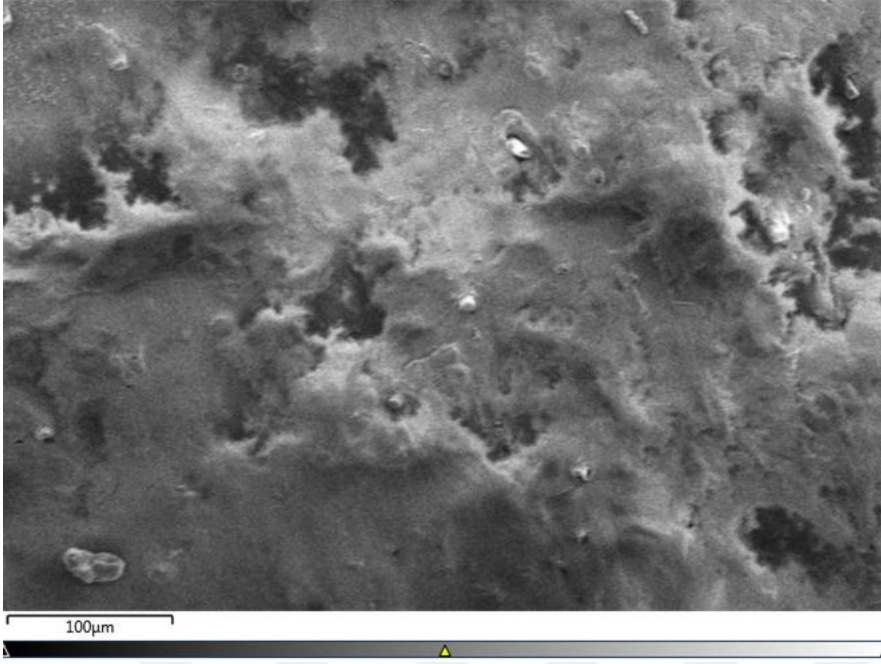
Ağırlıkça %30 dolgu içeren numunelerin kesit görüntüleri incelenmiş olup bu numunelere ait elektron mikroskobu görüntüleri aşağıda verilmiştir.

AYPE matrisli numunelere ait SEM görüntüleri ve EDS sonuçları aşağıda verilmiştir;



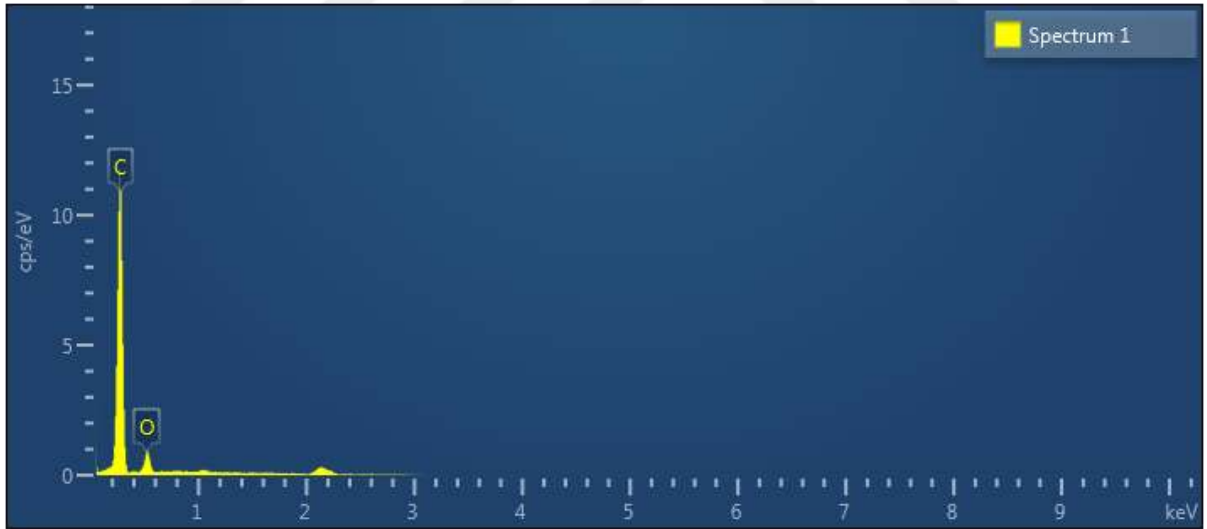
Resim 6.1. Ağırlıkça %30 dolgu Maddesi-1 içeren AYPE numunesine ait kesit görüntüsü.

Resim 6.1’de ağırlıkça %30 dolgu maddesi-1 (AYPE+KET) içeren AYPE matrisli numuneye ait kesit görüntüsü yer almaktadır. Bu görüntüye göre AYPE yani matris yüzeyinin plastik deformasyona uğradığı görülmektedir. Dolgu maddeleri ise dağınık vaziyette yüzeyde görülmekte olup bazı dolgu maddeleri kırmızı ile belirtilmiştir. Bu numuneye ait farklı ölçeklerde ve farklı alanların görüntüleri ve dolgu maddesinin kısmi ölçüleri ise “ekler”de yer almaktadır.



Resim 6.2. EDS analizi için seçilen yüzey

Resim 6.2’de ise EDS analizi için seçilen kesit görülmekte olup bu kesite ait olan spektrum Resim 6.3’de verilmiştir.



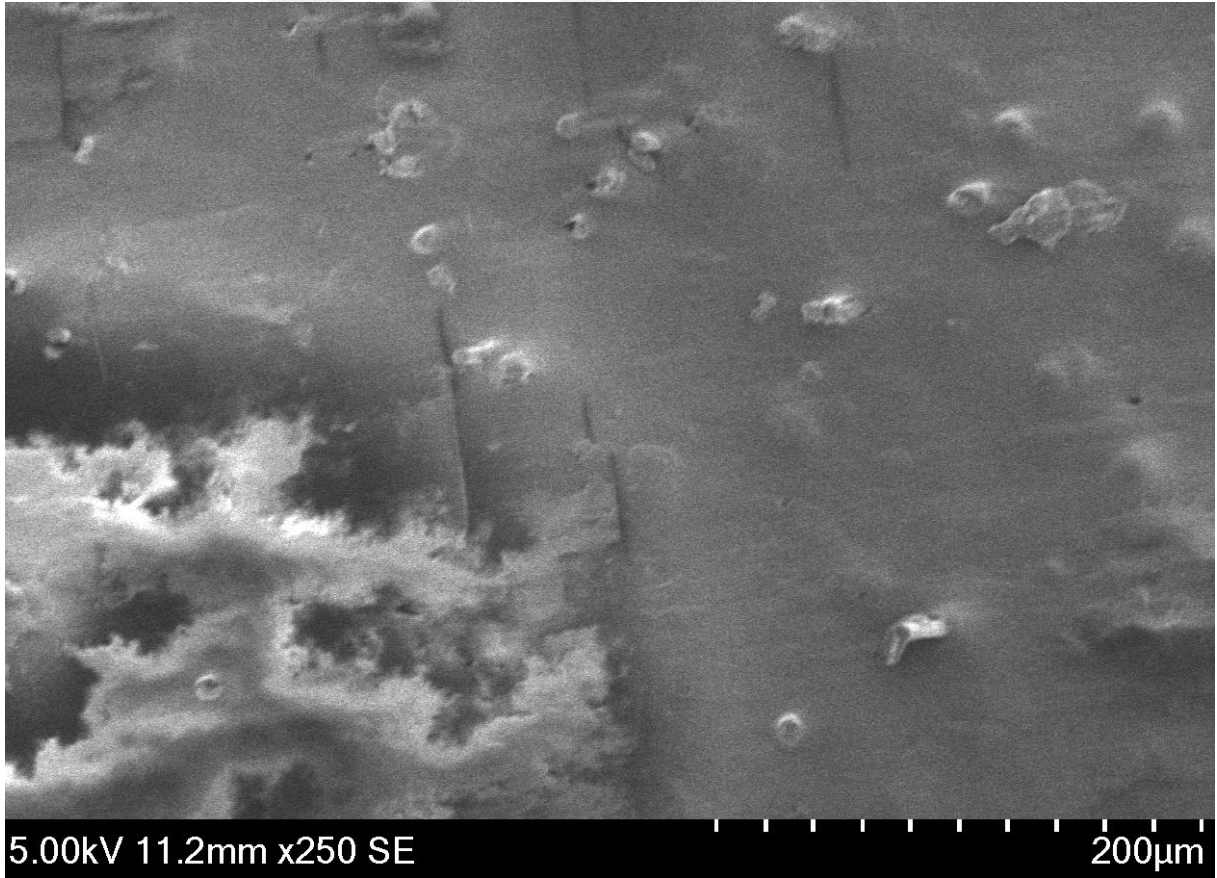
Resim 6.3. EDS analizine ait spektrum sonucu

Resim 6.3’ de görünen spektruma göre numune kesitinde C ve O atomlarının olduğu tespit edilmiş olup bu atomların ağırlıkça oranları ise Tablo 6.2’de verilmiştir.

Tablo 6.2. EDS için seçilen yüzeyde tespit edilen elementler ve ağırlıkça % oranları

Spektrum				
Element	Çizgi tipi	Ağırlık %	Ağırlık % Sigma	Atom %
C (karbon)	K serisi	87.88	0.53	90,61
O (oksijen)	K serisi	12.12	0.53	9.39
Toplam		100.00		100.00

Tablo 6.2’de EDS analizi için seçilen kesitte tespit edilen elementler ve bu elementlerin ağırlıkça ve atomik olarak belirtilen kesitte bulunma oranları verilmiştir. Hem matris malzeme hem de kullanılan dolgu maddesi karbon esaslı olduğu için karbon (C) elementinin ağırlıkça bulunma oranının %87.88 olması bu durumu destekler nitelikte çıkmıştır. Karbon ve oksijen atomlarının kesit yüzeyinde ki yoğunluklarını gösteren XRD görüntüleri ise “ekler” kısmında verilmiştir.



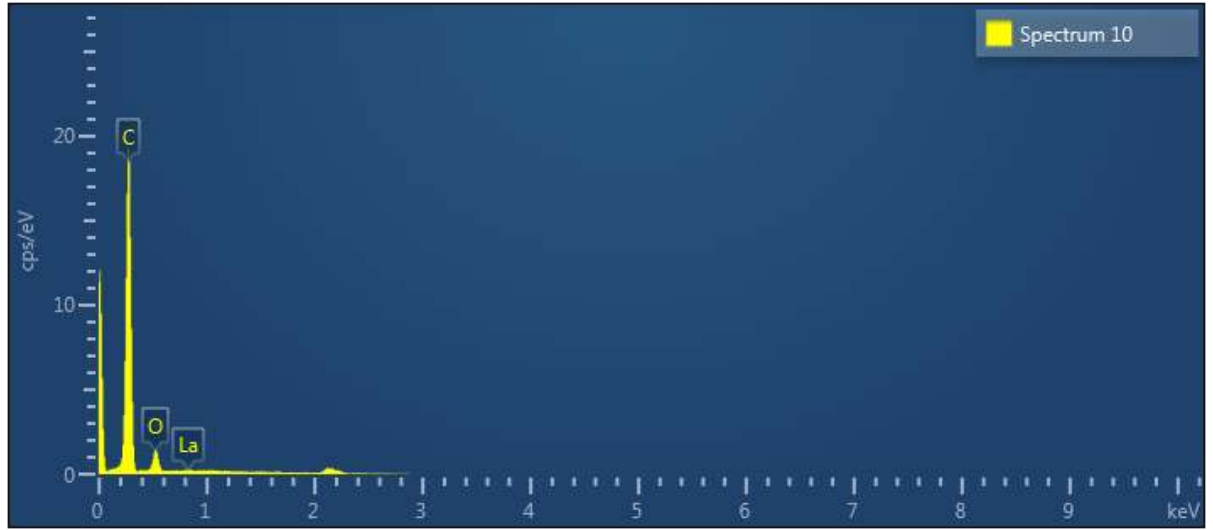
Resim 6.4. Ağırlıkça %30 dolgu Maddesi-2 içeren AYPE numunesine ait kesit görüntüsü.

Resim 6.4’de ağırlıkça %30 dolgu maddesi-2 (AYPE+KET/Lantan) içeren AYPE matrisli numuneye ait kesit görüntüsü yer almaktadır. Görüntüde sol alt kısımdan anlaşılabacağı üzere bu numunede bir önceki numune gibi kırılırken kesitinde plastik deformasyon olduğu görülmektedir. Yüzeyde dolgu maddeleri ise dağınık bir vaziyette bulunmaktadır. Aynı numuneye ait farklı ölçeklerde görüntülenmiş resimler “ekler” kısmında yer almaktadır.



Resim 6.5. EDS analizi için seçilen yüzey

Resim 6.5’de EDS için seçilen yüzey gösterilmiş olup kırmızı bölge içerisinde elementer analiz yapılmıştır. Bu analiz neticesinde tespit edilen elementler ve bunların ağırlıkça kütle ve moleküler değişimleri Tablo 6.3’de verilmiştir.



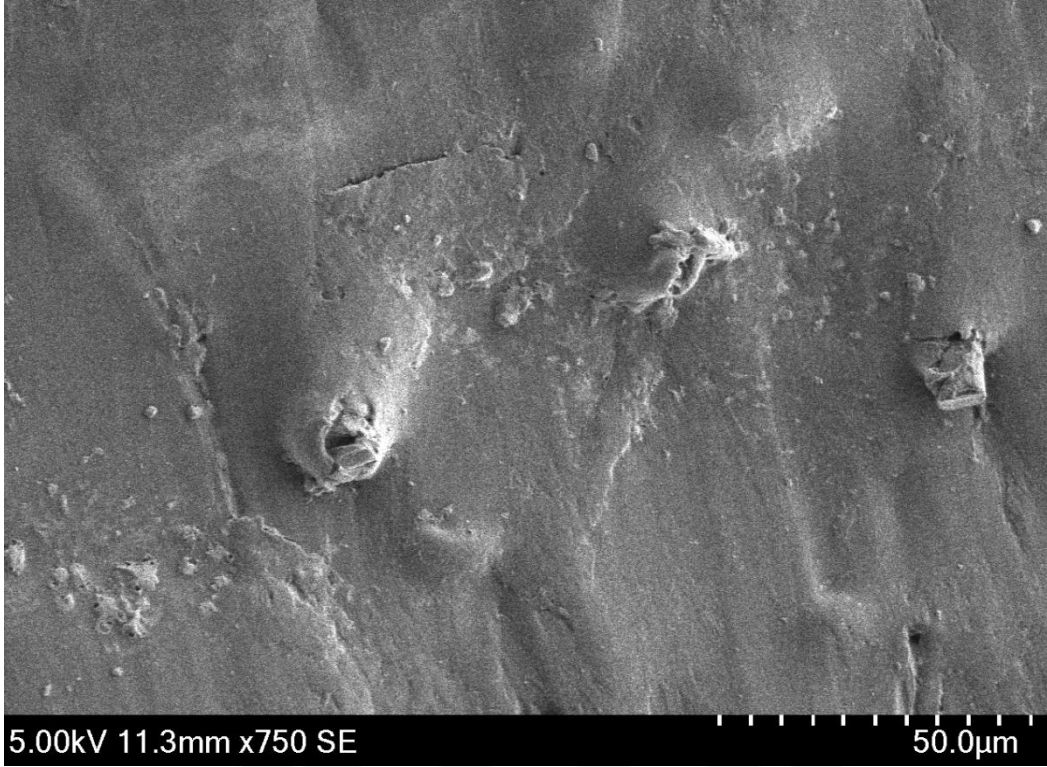
Resim 6.6.EDS analizine ait spektrum sonucu

Resim 6.6’ da EDS analizi neticesinde elementlerin spektrum boyları görülmektedir. C, O ve La elementlerine ait detaylı bilgiler ise Tablo 6.3’de verilmiştir.

Tablo 6.3. EDS için seçilen yüzeyde tespit edilen elementler ve ağırlıkça [%] oranları

Spektrum				
Element	Çizgi tipi	Ağırlık %	Ağırlık % Sigma	Atom %
C (karbon)	K serisi	83.45	5.28	91,03
O (oksijen)	K serisi	10.23	0.76	8.38
La (lantan)	M serisi	6.32	5.91	0.60
Toplam		100.00		100.00

Tablo 6.3’de AYPE matrisli ve %30 dolgu maddesi-2 (KET ve lantan esaslı) takviyeli numuneye ait Resim 6.5’de belirtilen bölgenin element analiz sonuçları verilmiştir. Bu sonuçlara göre hem matris malzeme hem de dolgu maddesi çok büyük oranda karbon (C) içerdiği için karbon oranı beklenildiği gibi yüksek çıkmıştır. Aynı zamanda dolgu maddesi içeriğinde lantan ihtiva ettiği için spektrumda lantan gözükmesi yapılan analizin doğruluğunu destekler nitelikte olmuştur. Analizi yapılan bölgede dolgu maddesinin yoğunluğuna bağlı olarak ağırlıkça %6.32 oranında lantan tespit edilmiştir. Tespit edilen bu elementlere ait XRD görüntüleri ise “ekler” kısmında verilmiştir.



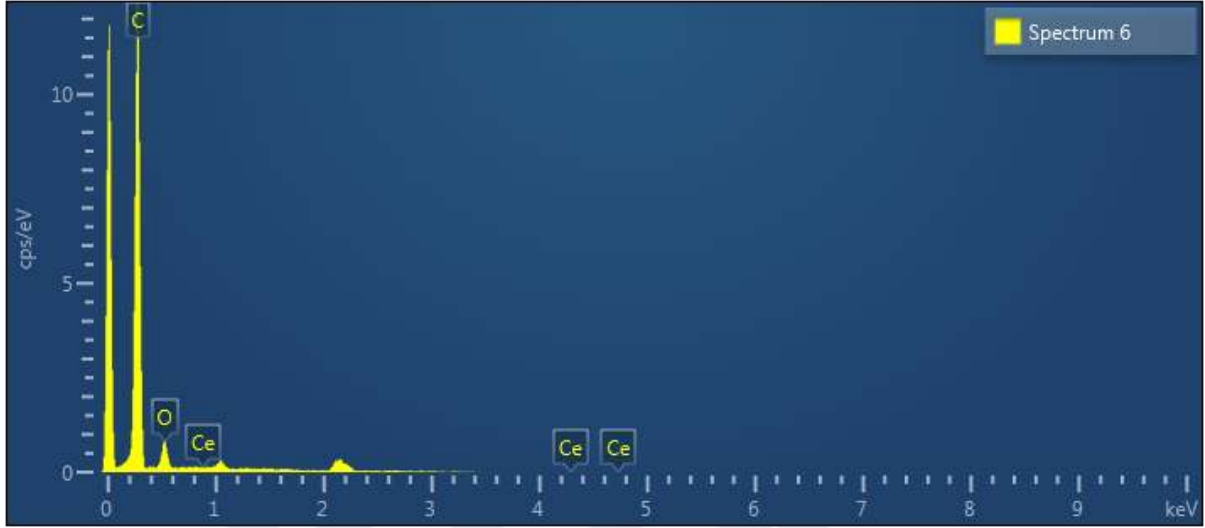
Resim 6.7. Ağırlıkça %30 dolgu Maddesi-3 içeren AYPE numunesine ait kesit görüntüsü

Resim 6.7’de AYPE matrisli ve ağırlıkça %30 seryum esaslı dolgu maddesi içeren numunenin kesitine ait görüntü verilmiştir. Diğer numunelerin kesitlerine göre bu numunenin kesitinde yanma meydana gelmediği için 50µm ye kadar küçültülebilmektedir. Elde edilen görüntüye göre dolgu maddeleri matris yüzeyinde net olarak tespit edilmiş olup dolgu maddesi ile matris arasında belirgin boşluklar bulunmamaktadır.



Resim 6.8. EDS analizi için seçilen yüzey

Resim 6.8’de EDS için seçilen yüzey kırmızı bölge içerisinde gösterilmiş olup bu bölgenin elementer analizi yapılmıştır. Bu analiz neticesinde tespit edilen elementler ve bunların ağırlıkça kütle ve moleküler değişimleri Tablo 6.4’de verilmiştir.



Resim 6.9. EDS analizine ait spektrum sonucu

Resim 6.9’ da EDS analizi neticesinde elementlerin spektrum boyları görülmektedir. C, O ve Ce elementlerine ait detaylı bilgiler ise Tablo 6.4’de verilmiştir.

Tablo 6.4. EDS için seçilen yüzeyde tespit edilen elementler ve ağırlıkça [%] oranları

Spektrum				
Element	Çizgi tipi	Ağırlık %	Ağırlık % Sigma	Atom %
C (karbon)	K serisi	87.57	4.91	92,00
O (oksijen)	K serisi	9.84	0.76	7.76
Ce (seryum)	M serisi	2.59	5.43	0.23
Toplam		100.00		100.00

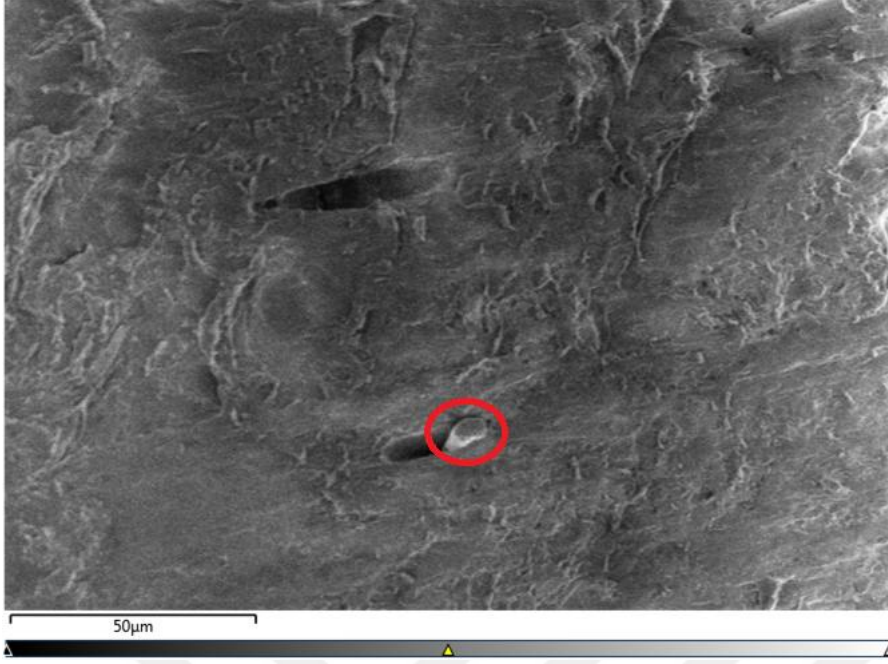
Tablo 6.4’de AYPE matrisli ve %30 dolgu maddesi-3 (KET ve seryum esaslı) takviyeli numunenin element analiz sonuçları verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre karbon (C) oranı beklenildiği gibi yüksek çıkmıştır. Belirtilen bölgede seryum da aranmış olup ağırlıkça %2.59 oranında tespit edilmiştir. Bu numunede de tespit edilen elementlerin yüzeydeki dağılımı “ekler” kısmında XRD görüntülerinde verilmiştir.

YYPE matrisli numunelere ait SEM görüntüleri ve EDS sonuçları aşağıda verilmiştir;



Resim 6.10. Ağırlıkça %30 dolgu Maddesi-1 içeren YYPE numunesine ait kesit görüntüsü

Resim 6.10'de YYPE matrisli ve %30 dolgu maddesi-1 içeren numuneye ait kesit görüntüsü yer almaktadır. Numune yüzeyinin plastik deformasyona uğradığı görülmektedir. Şekilde kırmızı ile gösterilen bölgede dolgu maddesi net olarak tespit edilmiş olup dolgu maddesi ile matris arasında ki boşluk dikkat çekmektedir.



Resim 6.11. EDS analizi için seçilen yüzey

Resim 6.11’de EDS için seçilen yüzey kırmızı bölge içerisinde gösterilmiş olup bu bölgenin elementer analizi yapılmıştır. Bu analiz neticesinde tespit edilen elementler ve bunların ağırlıkça kütle ve moleküler değişimleri Tablo 6.5’de verilmiştir.



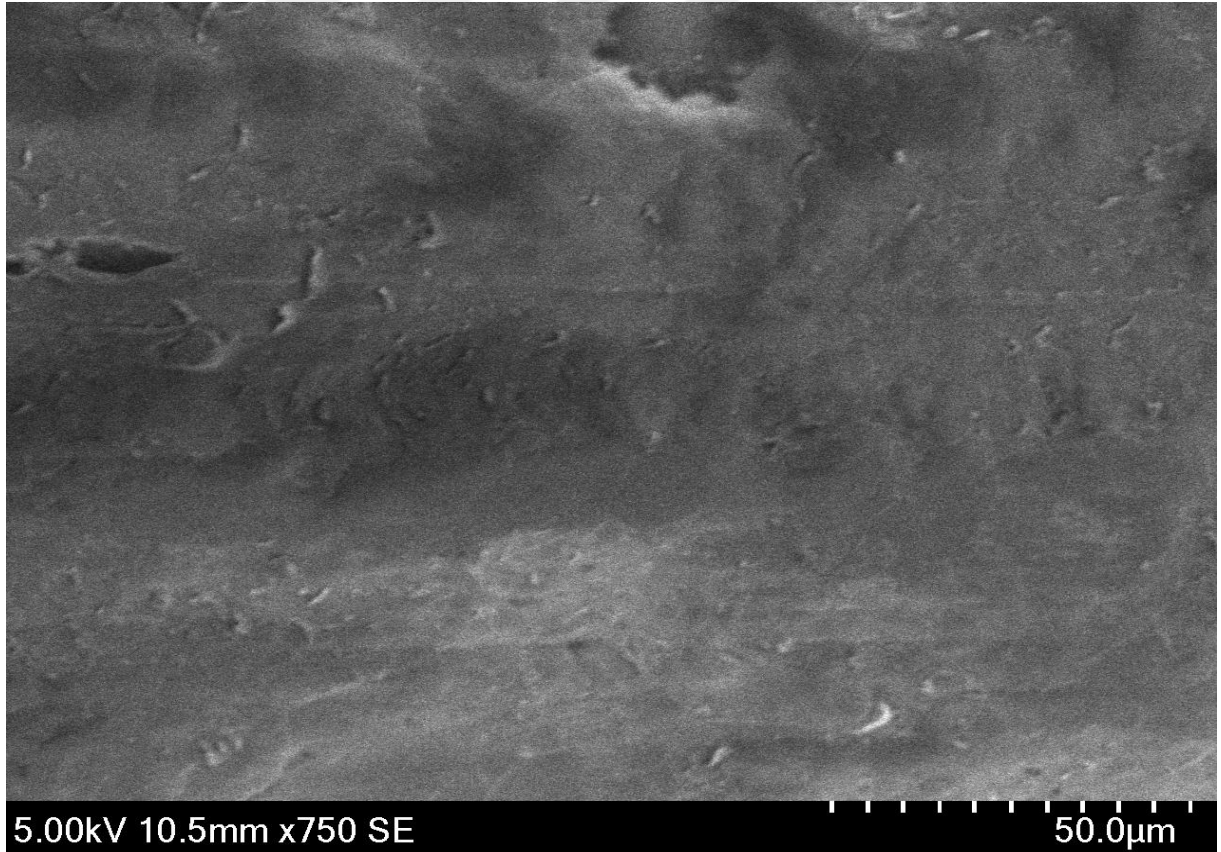
Resim 6.12. EDS analizine ait spektrum sonucu

Resim 6.12’ da EDS analizi neticesinde elementlerin spektrum boyları görülmekte olup bu elementlere ait detaylı bilgiler ise Tablo 6.5’de verilmiştir.

Tablo 6.5. EDS için seçilen yüzeyde tespit edilen elementler ve ağırlıkça [%] oranları

Spektrum				
Element	Çizgi tipi	Ağırlık %	Ağırlık % Sigma	Atom %
C (karbon)	K serisi	89.23	0.84	91,70
O (oksijen)	K serisi	10.77	0.84	8.30
Toplam		100.00		100.00

Tablo 6.5’de EDS analizi için belirlenen kesitte bulunan elementler ve bu elementlerin ağırlıkça mevcut kesitte bulunma oranları verilmiştir. Hem matris malzeme hem de kullanılan dolgu maddesi karbon esaslı olduğu için karbon (C) elementinin ağırlıkça bulunma oranının %89.23 olması doğaldır. Tespit edilen karbon ve oksijen atomlarının mevcut yüzeyde ki dağılımlarını gösteren XRD görüntüleri ise “ekler” kısmında verilmiştir.



Resim 6.13. Ağırlıkça %30 dolgu Maddesi-2 içeren YYPE numunesine ait kesit görüntüsü

Resim 6.13’de YYPE matrisli ve %30 dolgu maddesi-2 içeren numuneye ait kesit görüntüsü yer almaktadır. Plastik deformasyona uğramış numune yüzeyinde dolgu maddesi çok net olarak görülmemektedir.



Resim 6.14. EDS analizi için seçilen yüzey

Resim 6.14 de belirtilen yüzey için yapılan EDS analizi neticesinde tespit edilen elementlerin dalga boyları Resim 6.15 de verilmiş olup ağırlıkça oranlar Tablo 6.6 da yer almaktadır.

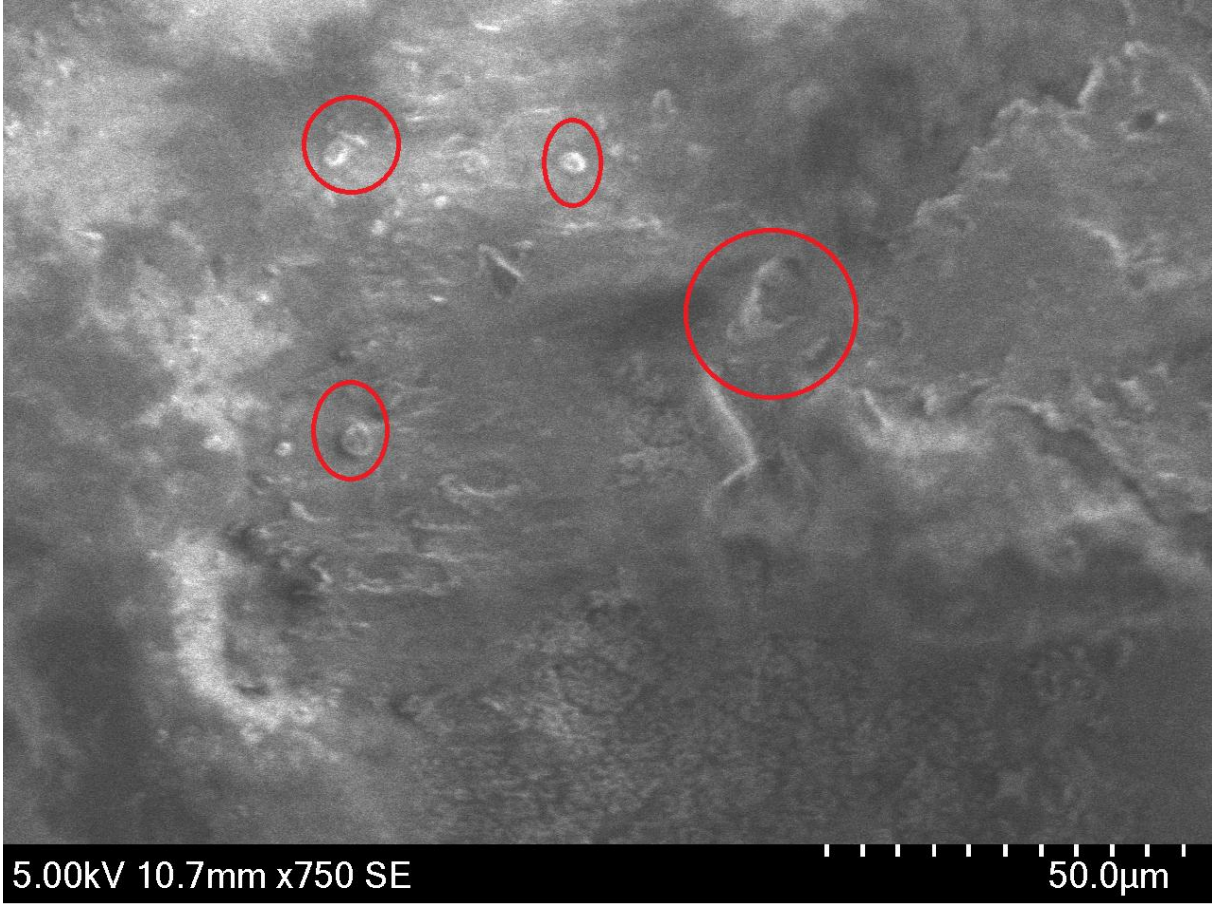


Resim 6.15. EDS analizine ait spektrum sonucu

Tablo 6.6. EDS için seçilen yüzeyde tespit edilen elementler ve ağırlıkça [%] oranları

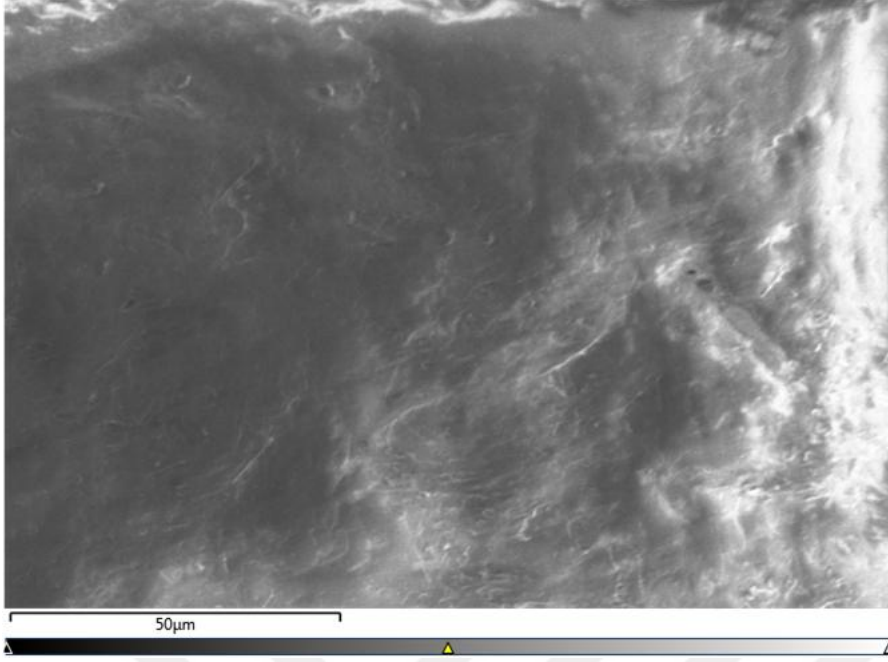
Spektrum				
Element	Çizgi tipi	Ağırlık %	Ağırlık % Sigma	Atom %
C (karbon)	K serisi	85.10	5.62	91.26
O (oksijen)	K serisi	10.33	0.81	8.32
La (lantan)	M serisi	4.57	6.28	0.42
Toplam		100.00		100.00

Tablo 6.6’de YYPE matrisli ve %30 dolgu maddesi-2 (KET ve lantan esaslı) takviyeli numuneye ait olan ve Resim 6.14’de belirtilen bölgenin elementer analizine dair sonuçlar verilmiştir. Elde edilen sonuçlarda karbon (C) oranının yüksek olması beklenen bir durum olduğu gibi yüzeyde lantanın tespit edilmiş olması da yapılan analizin doğruluğunu desteklemiştir. Çünkü bu çalışmada kullanılan dolgu maddesi-2 ile tanımlanan takviye elemanı lantan esaslı olarak hazırlanmış bir dolgu maddesidir. Analizi yapılan bölgede dolgu maddesinin yoğunluğuna bağlı olarak ağırlıkça %4.57 oranında lantan tespit edilmiştir. Tespit edilen bu elementlere ait XRD görüntüleri ise “ekler” kısmında verilmiştir.



Resim 6.16. Ağırlıkça %30 dolgu Maddesi-3 içeren YYPE numunesine ait kesit görüntüsü

Resim 6.16’da %30 dolgu maddesi-3 içeren YYPE matrisli numuneye ait kesit görüntüsü yer almaktadır. Dolgu maddeleri kesitte kırmızı ile belirtilmiş olup dolgu tanelerinin büyüklüklerini ve dağılımlarını gösteren diğer görseller “ekler” kısmında verilmiştir.



Resim 6.17. EDS analizi için seçilen yüzey

EDS analizi için seçilen kesit Resim 6.17’de verilmiştir. Yapılan analiz neticesinde meydana gelen spektrum dağılımı ise Resim 6.18’de görülmektedir. Seryum esaslı dolgu maddesi kullanılan bu numunelerde seryumun tespit edildiği verilen spektrumdan anlaşılmaktadır.



Resim 6.18. EDS analizine ait spektrum sonucu

Tablo 6.7. EDS için seçilen yüzeyde tespit edilen elementler ve ağırlıkça [%] oranları

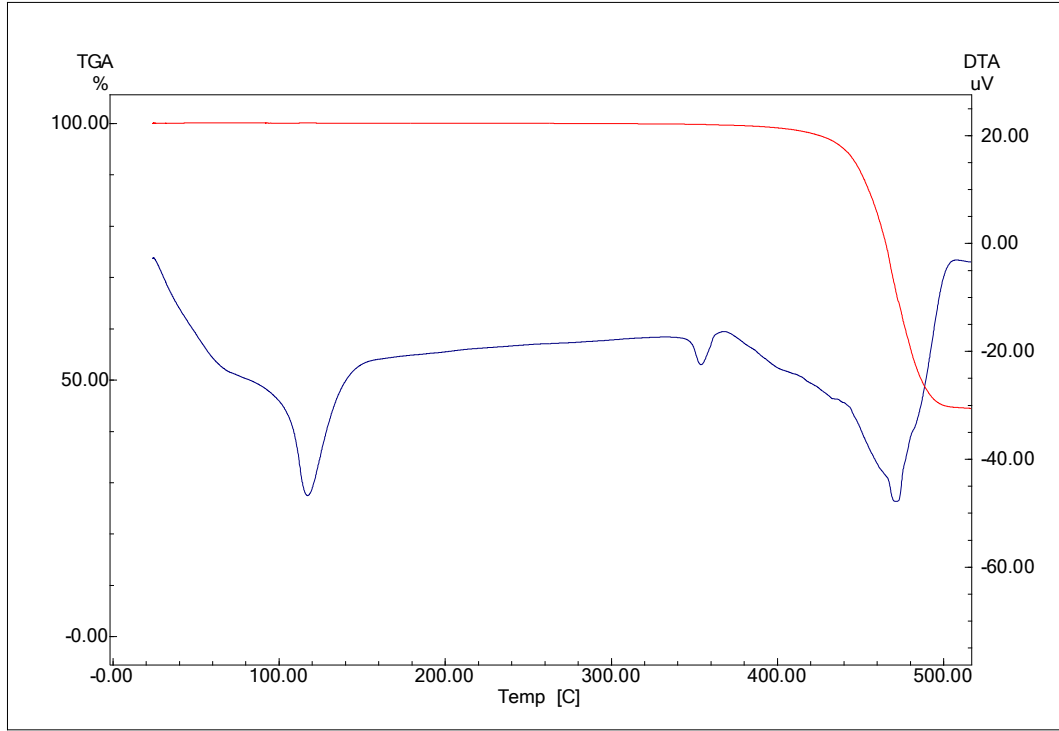
Spektrum				
Element	Çizgi tipi	Ağırlık %	Ağırlık % Sigma	Atom %
C (karbon)	K serisi	83.78	5.17	90.396
O (oksijen)	K serisi	11.31	0.95	9.16
Ce (Seryum)	M serisi	4.91	5.83	0.45
Toplam		100.00		100.00

%30 dolgu maddesi-3 (KET ve seryum esaslı) içeren YYPE matrisli numunelere ait ve Resim 6.17’de belirtilen kesitin elementer analizine dair sonuçlar Tablo 6.7’de verilmiştir. Diğer sonuçlarda olduğu gibi burada da karbon (C) oranının yüksek olması beklenen bir durum olup dolgu maddesi seryum esaslı olduğu için belirtilen kesitte seryum aranmıştır ve analizi yapılan bölgede dolgu maddesinin yoğunluğuna bağlı olarak ağırlıkça %4.91 oranında seryum tespit edilmiştir. Tespit edilen bu elementlere ait XRD görüntüleri ise “ekler” kısmında verilmiştir.

6.4. Termogravimetrik (TGA/DTA) Analiz Sonuçları

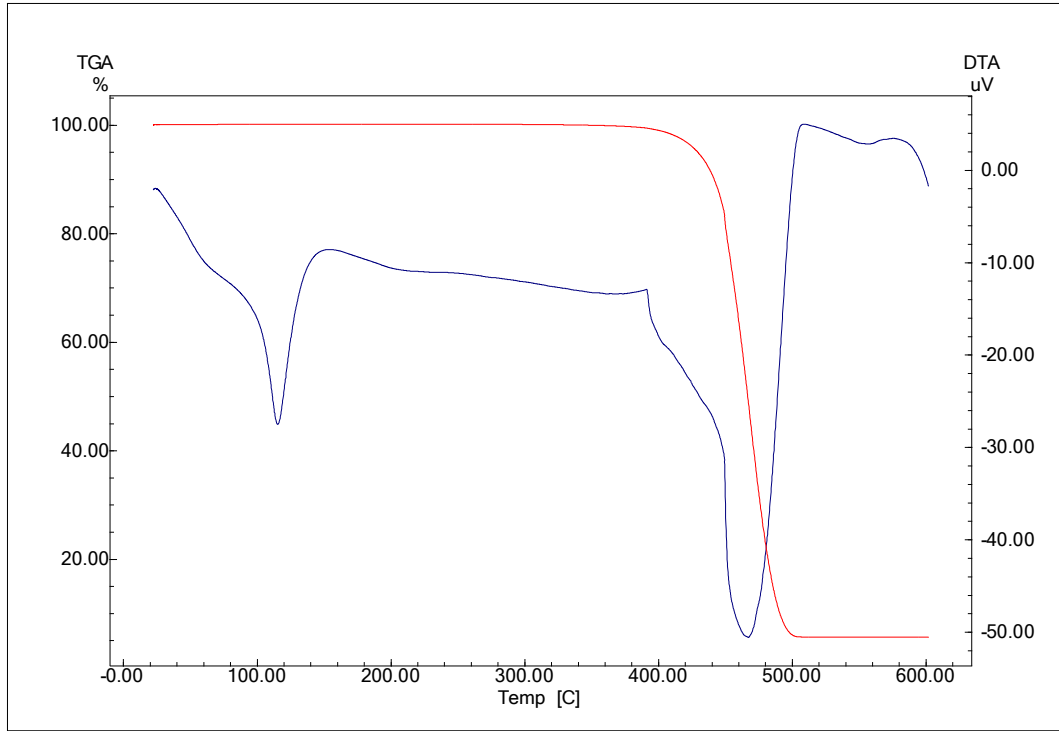
Aşağıda hem AYPE matrisli hem de YYPE matrisli üretilen numunelerden bazılarının TGA/DTA değişimlerinin grafikler verilmiştir. Tüm numunelerin TGA/DTA sonuçları ekler kısmında verilmiştir.

AYPE matrisli numunelere ait TGA/DTA sonuçları aşağıda verilmiştir;



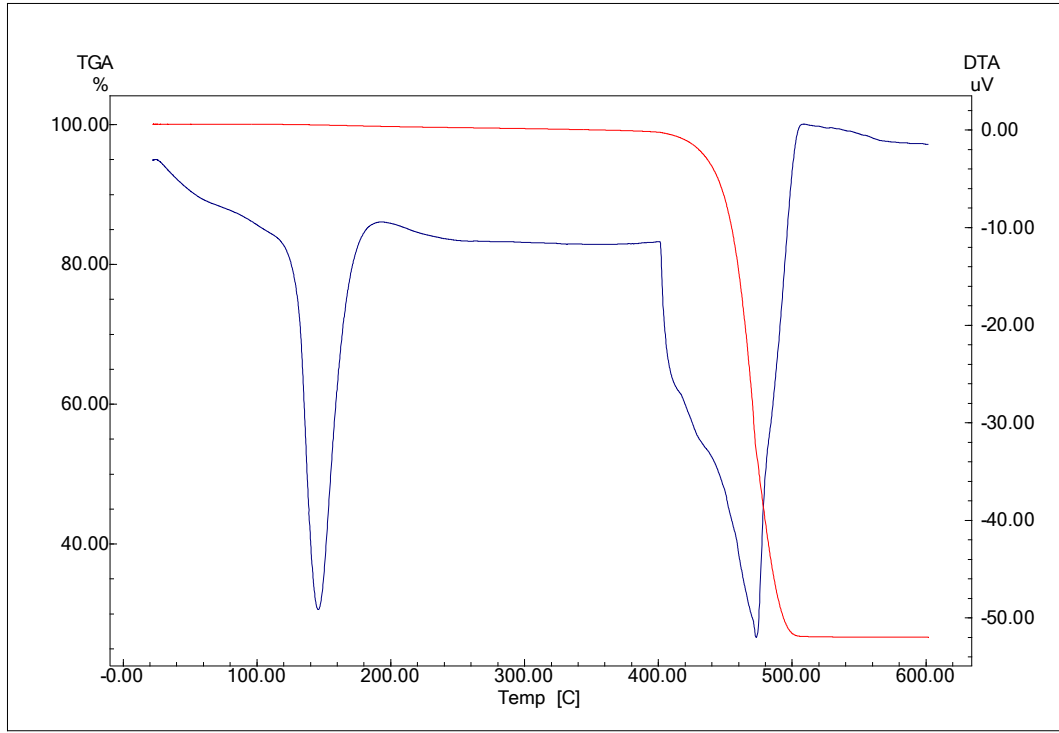
Şekil 6.11. Dolgu maddesi-1 takviyeli AYPE'nin TGD/DTA değişimi

Şekil 6.28'de ağırlıkça %30 dolgu maddesi-1 takviyeli AYPE'nin TGA/DTA değişimi verilmiştir. Bu grafiğe göre numune 100 °C'nin üzerinde ortamdan ısı çekerek faz değiştirmekte ve viskoz hale geçmektedir. Endotermik pik 118 °C oluşmakta ve bu sıcaklıkta ortamdan 48.78 uV enerji çekilmektedir. Malzeme viskoz halini yaklaşık olarak 400 °C'ye kadar korumakta ve herhangi bir kütle kaybı gerçekleşmemektedir. Fakat artan sıcaklık ile malzeme yanmaya başlamakta ve kütle kayıpları gerçekleşmektedir. 470 °C'de ikinci endotermik pik olduğu görülmekte olup ortamdan 47.89 uV kadar bir enerji çekilmektedir. 520 °C'ye kadar numunede yanma devam etmekte ve kütle azalmaktadır. Fakat 520 °C'nin üzerinde herhangi bir değişim gerçekleşmemiş olup kalan kütle 4,68 mg olarak ölçülmüştür. Termoplastiklerin 400 C civarında yanmaya başladıkları literatürden bilindiği üzere analiz sonucu kalan bu kütlenin belirtilen sıcaklıklarda tamamen ya da kısmen yanmayarak kalan karbon elyaf tozuna ait olduğu söylenilebilir.



Şekil 6.12. Dolgu maddesi-2 takviyeli AYPE'nin TGD/DTA değişimi

Şekil 6.29'da ise AYPE matrisli fakat ağırlıkça %30 dolgu maddesi-2 içeren numunelere ait TGA/DTA değişimleri verilmiştir. Bu grafiğe göre malzeme ortamdan ısı çekerek viskoz hale gelmiş ve yaklaşık olarak 115 °C'de bir endotermik pik oluşmuştur. Ortamdan 27.53 uV ısı geçişi meydana gelmiş ve malzeme bu şekilde faz değiştirmeden yaklaşık olarak 390 °C'ye kadar yapısını korumuştur. 390 °C'nin üzerinde malzeme yanmaya başlayarak kütle kayıpları oluşmaktadır. Malzemeye ortamdan 50,58 uV kadar bir enerji geçişi gerçekleşerek 467 °C'de ikinci endotermik pikin oluştuğu görülmektedir. Bu sıcaklık itibari ile kalan kütle 2.37mg olmuş ve daha sonra meydana gelen ısı artışları ile kütlede herhangi bir değişiklik meydana gelmemiştir. Kalan bu kütlenin analizin gerçekleştirildiği sıcaklıklarda yanmayarak kalan karbon elyaf tozu ve lantan ait olduğu söylenilebilir.



Şekil 6.13. Dolgu maddesi-3 takviyeli YYPE'nin TGD/DTA değişimi

Şekil 6.30'da ağırlıkça %30 dolgu maddesi-3 takviyeli YYPE'nin TGA/DTA değişim grafiği yer almaktadır. Bu grafiğe göre YYPE 100 °C'nin üzerinde faz değiştirerek viskoz hale gelmekte ve yaklaşık olarak 146 °C'de ortamdan 49.17 uV kadar enerji çekerek bir endotermik pik oluştuğu görülmektedir. Devam eden ısı artışı ile yaklaşık olarak 400 °C'ye kadar malzemede herhangi bir değişiklik meydana gelmemektedir. 400 °C'nin üzerinde ise termoplastik yanmaya başlamakta ve 473 °C'de ikinci endotermik pik oluşmaktadır. Bu sıcaklık itibari ile numunenin ortamdan çektiği enerji miktarı 52.02 uV ve kalan kütle ise 13.24 mg olmuştur. Devam eden ısı artışı ile malzemede herhangi bir değişim meydana gelmemiştir.

7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada öncelikle alçak yoğunluklu polietilen (AYPE) ve yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) kullanılmak üzere üç farklı dolgu maddesi geliştirildi ve geliştirilen bu dolgu maddelerinin polietilenin mekanik, termal ve morfolojik özellikleri üzerin olan etkileri incelendi. Geliştirilen dolgu maddelerinin hepsi karbon elyaf tozu içerirken bu dolgu maddelerinde termoplastikleştirici olarak AYPE kullanıldı. Aynı zamanda lantan ve seryumda nadir toprak elementi olarak eser miktarda bu dolgu maddelerinin içerisinde değerlendirildi.

Geliştirilen dolgu maddeleri ayrı ayrı hem AYPE hem de YYPE ile önce mekanik daha sonrada homojen olarak karıştırılıp plastik enjeksiyon makinasına dökülerek standart çekme çubukları üretildi. Üretilen bu numunelere yapılan analizler neticesinde AYPE matrisli numunelerin çekme dayanımlarının her üç dolgu maddesinin kullanılması ve artan dolgu oranına bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. En olumlu etkinin sadece karbon elyaf tozu ve AYPE esaslı olarak geliştirilen dolgu maddesinin kullanılması ile elde edildiği tespit edilmiştir. Buna karşın YYPE matrisli numunelerin çekme dayanımlarının ise kullanılan her üç dolgu maddesi ile bir miktar azaldığı belirlenmiştir.

Üretilen AYPE matrisli numunelere yapılan üç nokta eğilme testlerine göre kullanılan her üç dolgu maddesi ile bu numunelerin düşey yüklemelere karşı dayanımının arttığı görülmüştür. Bu artış özellikle %30 dolgu içeren numunelerde %50 oranında iyileşme göstermiştir. Buna karşın YYPE matrisli numunelerde ise kullanılan dolgu maddeleri ile düşey yüklemelere karşı dayanım azalmıştır. Bu azalmanın en önemli nedeni geliştirilen dolgu maddelerinin termoplastikleştiricisinin AYPE esaslı olması ve AYPE'nin depolimere edilerek jel kıvamında yapıya getirilerek dolgu maddesinin hazırlanmasıdır. Şayet YYPE matrisli numunelerde kullanılan dolgu maddesinin termoplastikleşmesi için AYPE yerine YYPE kullanılsaydı YYPE'nin hem çekme hem de eğilme gerilmelerinde azalma olmasının önüne geçilebilirdi.

Mekanik testlerin dışında geliştirilen dolgu maddelerinin polietilenlerin reolojik özellikleri üzerine olan etkileri de incelendi. Yapılan akışkanlık analizlerinde her üç dolgu maddesinin hem AYPE'nin hem de YYPE ile mekanik olarak karışımlarının kütsel akışkanlığına olumlu etki ettiği gözlemlendi. Bu artış özellikle üretimde daha düşük sıcaklıklarda daha üstün akış elde edilmesine olanak sağlayarak enerji tasarrufu sağlanmasına katkı sağlayabilecektir. Akışkanlığın iyileştirilmesi aynı zamanda plastik

enjeksiyon ile üretimde karşılaşılabilecek parçanın kalıptan ayrılması, parça geometrisinde hasar oluşumu v.b. parça kalitesini direk etkileyecek olumsuzluklarında ortadan kaldırılmasına olanak sağlayabilecektir. Ekstrüzyonda homojen hale getirilen matris ve dolgu maddelerinin akış analizleride yapılmış olup burada da akışkanlığın önemli ölçüde olumsuz etkilenmediği görülmüştür. Özellikle lantan ve seryum esaslı dolgu maddelerinin kullanıldığı karışımlarda akışkanlık beklenilenin aksine özellikle YYPE’de olumlu etki göstermiştir.



KAYNAKLAR

- Akyüz, Ö. F.,** 1999. Plastikler ve Plastik Enjeksiyon Teknolojisine Giriş. Pagev Yayınları, İstanbul, 41-106s.
- Altınışık, F.,** 2007. Doğal Kompozit Malzemelerin Otomotiv Sanayinde Kullanılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Mersin Üniversitesi, Mersin, 20-50s.
- Altınkaynak H.,** 2011. Ortotik Plastiklerin Genel Özellikleri, Oksidatif Ve Mekanik Yıpranmaları. *Sağlık Hizmetleri Dergisi*, Ankara, 10(2): 2-3.
- Auerbach A.,** 2021. Thermoplastics for AM: Semi-Crystalline vs Amorphous, Aniwa. 1-2s.
- Ay, İ.,** 2008. Plastik Malzemeler Dersi Notları. Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, 19-25s.
- Balaram, V.,** 2019. Rare earth elements: A review of applications, occurrence, exploration, analysis, recycling, and environmental impact. National Geophysical Research Institute, Hyderabad, India, *GeoscienceFrontiers* Volume 10, Issue 4, 1285-1303s.
- Biçer, E.,** 2017. Çapraz Bağlanmış Polietilen/Poss Kompozitlerinin Fiziksel Özellikleri ve Şekil Hafıza Davranışı. *Yüksek Lisans Tezi*, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, 24s.
- Birinci, G.,** 2020. Silikon Elastomerlerin Sönümleme Özelliğini Kontrol Eden Yapısal Parametrelerin Belirlenmesi. , *Yüksek Lisans Tezi*, Hacettepe Üniversitesi Ankara, 3-15s
- Celep, O., Yazıcı E., Deveci H.,** 2021. Nadir Toprak Elementlerinin Birincil Ve İkincil Kaynaklardan Üretimi. *Derleme Makalesi*, , Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 11 (1): 264-280, 1-2s.
- Çelikkilek, M.,** 2009. Teo2 – Wo3 Sisteminin Termal Ve Mikroyapısal İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, , 30-40s.
- Dendaş, C.,** 2006. Gıda İle Temasta Bulunan Plastik Filmlerinin Yıpranma Özelliklerinin İncelenmesi. *Doktora Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 20-30s.
- Gökay, E.,** 2019. Yüksek Yoğunluklu Polietilen (Yype) İLE Çekirdek Kabağı (Cucurbita PEPO L.) Atıklarının Kopyolizi VE Kopyoliz Ürünlerinin Karakterizasyonu. *Yüksek Lisans Tezi*, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon, 2019, 20-30s.
- Güler Ç. Çobanoğlu Z.,** 1997. Plastikler, Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi, Sağlık Bakanlığı TSH Genel Müdürlüğü, Ankara, No: 46. ISBN: 975-8088-51-3, Ankara, 14-15s.
- Gülşen, H.,** 2017, Çeşitli Atıklardan Biyogaz Üretiminin Sürdürülebilir Çevre Yönetimine Etkisi, *Çevre Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 2: 1302-5627, 12 s.

- Hüner. Ü.,** 2008. Plastik Esaslı Kompozit Malzemelerin Sıcak Birleştirme İşlemlerinin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Trakya Üniversitesi, 20-30s
- 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, s.2 -3.
- Kırasöz, A.,** 2018. Alüminyum Matrisli Titanyumdiborür İn Situ Takviyeli Kompozitlerin Üretimi Ve Karakterizasyonu. *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2018, 7s.
- Kısmet Y.,** 2016. Hidrolize edilmiş elektrostatik toz boya atık miktarına bağlı olarak poliamid 6 (PA6) ve polioksimetilenin (POM) eriyik akış indeksleri ve yoğunluklarındaki değişimlerin incelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* , 22(4): 241-245, 2s.
- Kısmet, Y.,** 2012, Entwicklung eines Verfahrens für die Verwertung von Pulverlackrecyclaten, *Doktora Tezi*, Berlin Teknik Üniversitesi, Berlin, 45s.
- Kısmet, 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.
- Kısmet, Y., Wagner, M.H.,** 2019. Mechanical, thermal, and morphological properties of powder coating waste reinforced acetal copolymer. *Polymer Testing*, 82, 106332.
- Li, J., ve Cheng, X.,** 2007. Effect of rare earth solution on mechanical and tribological properties of carbon fiber reinforced thermoplastic polyimide composite. *Tribology Letters*, Vol. 25, No. 3, School of Mechanical and Power Engineering, Shanghai Jiao Tong University, , China, 2 3S.
- 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, 2-3s.
- Orman, A.,** 2019. Tek Yönlü Termoplastik Prepreglerde Üretim Yöntemi Etkilerinin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi , Sakarya, 2019, 30- 32s.
- Öksüz, M.,** 1999. Isıl Püskürtme Teknikleriyle Plastik ve Plastik Esaslı Kompzit Tozlarla Kaplanmış Yüzeylerin Mekanik ve Kimyasal özelliklerinin İncelenmesi, *Yüksek lisans tezi*, Marmara Üniversitesi, İstanbul, 15s.
- Öztürk H., N., Altuncu S., Kasapçı C.,** 2019. Türkiye'nin Nadir Yer Element (NYE) Kaynakları: Özelliklerine Ve Kökenlerine Genel Bir Bakış., *MTA Dergisi*, İstanbul Üniversitesi , İstanbul, 159: 133-148, s.1-3.
- Öztürk, B.,** 2020. 3 Boyutlu Yazıcı İle Üretilen Sandviç Yapıların Statik Ve Dinamik Yük Altında Davranışlarının İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Uludağ Üniversitesi, Bursa 2020 36 s.

- Polat, B.**, 2019. Cam Takviyeli Polimer Matrisli Termoplastik Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, İskenderun Teknik Üniversitesi, İskenderun, 40-50s.
- Saçak, M.**, 2005, Polimer Teknolojisi, Gazi Kitabevi, Ankara, 15s.
- Saraç, Ö.**, 2021. Farklı Oranlarda Diatomit Takviyeli Silikon Matrisli Kompozit Malzemelerin Termal Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi , Sakarya, 74-75s.
- Saylan S.**, 1991 Takım tezgahı gövdelerinin imalinde yeni bir malzeme: polimer beton, *Doktora tezi*, Uludağ üniversitesi, Bursa, 1991, 6-7s.
- Sevinç, E.**, 2019. Sürekli Elyaf Takviyeli Termoplastik Kompozit Esaslı Çok Katmanlı Piramit Kafes Çekirdekli Çok Hafif Sandviç Plakaların Statik Ve Dinamik İncelemesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Uludağ Üniversitesi, Bursa, 2019, 7s.
- 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.
- Şener, F.**, 2009. Metalosen Poliolefinlerle Polimer Nanokompozit Eldesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 35s.
- Şişmanoğlu, S.**, 2020, Termoplastik Poliüretan Matrisli Ekokompozitlerin Hazırlanması Ve Karakterizasyonu. *Doktora Tezi*, Karabük Üniversitesi, Karabük ,24s.
- Tatlıdilli, A.**, 2020. Karbon Elyaf Dolgulu Polieterimid Kompozitlerin Üretimi Ve Karakterizasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 2020, 20s.
- Terzi, M.**, 2017. Isparta Yöresi Nadir Toprak Elementlerinin Kazanımı İçin Yeni Proseslerin Geliştirilmesi. *Doktora Tezi*, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 17-19 s.
- Yalçın, E.**, 2012. Farklı Kumaş Ve Farklı Yöntemlerle Üretilmiş Ctp Kompozitlerin Balistik Davranışlarının İncelenmesi. , *Doktora Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 25s.
- Yalın, N.**, 2010. Polipropilen (Pp) / Etilen-Propilen-Dien-Monomer (Epdm) Termoplastik Vulkanizatlarının Hazırlanması Ve Karakterizasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 15-30s.
- Yashoda, İ.**, 2016. Difference Between Amorphous and Crystalline Polymers, Pediaa,12 Kasım 2016, 1-2s.
- Yılmaz, O.**, 2007. Polimer Malzemelerin Ekstrüzyonunun Deneysel Ve Sayısal Olarak İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi* ,İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 20-30s.

- URL-1**, 2013,
https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/1066/mod_resource/content/1/7.%20Polimerler.pdf , Organik Kimya – Polimerler, 1 Ağustos 2013.
- URL-2**, https://www.alsalab.com/alsalab-dc.php?test=ok&teknik_id=5
- URL-3**, https://www.petkim.com.tr/UserFiles/file/uretim/urun_katalogu.pdf
- URL-4**, <http://www.plastik-ambalaj.com/tr/plastik-ambalaj-makale/1053-plastik-dolgu-maddeleri>
- URL-5**, 2020,<https://insapedia.com/kompozit-nedir-kompozit-malzemeler-ve-ozellikleri/>,
14 Eylül 2020.



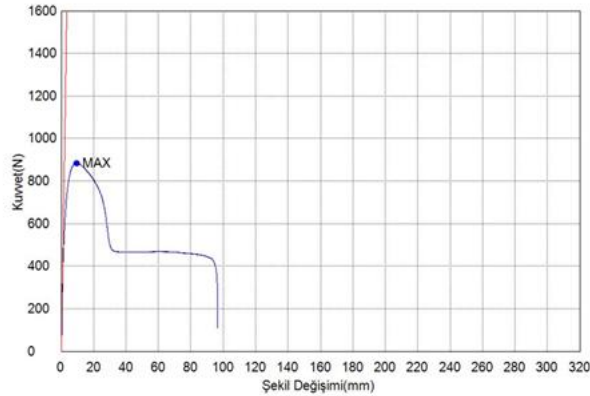
EKLER

EK-1 MEKANİK TEST SONUÇLARI

Başlık

Anahtar Kelime		Ürün Adı	
Test Dosyası Adı	yypeserhatçekme.xtai	Metot Dosya Adı	çekmeserhat.xmai
Rapor Tarihi	01.12.2022	Test Tarihi	26.09.2022
Test Modu	Tek	Test Tipi	Çekme
Hız	50mm/min	Şekil	Plaka
Grup Sayısı:	100	Alt Grup Sayısı:	1

İsim	Max Kuvvet	Max Gerilme	Max Uzama	Elastik
Parametreler	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Kuvvet 10 - 150 N
Birim	N	N/mm2	mm	N/mm2
1-1	881,563	22,0391	9,18800	1047,14
1-2	924,219	23,1055	8,02400	1124,56
1-3	895,625	22,3906	8,19000	1075,94
1-4	925,781	23,1445	8,56600	1094,63
1-5	925,469	23,1367	8,30900	1117,60
2-1	857,188	21,4297	8,93600	1049,41
2-2	901,406	22,5352	8,81000	1085,81
2-3	863,281	21,5820	8,97600	1090,61
2-4	885,000	22,1250	8,76700	1073,67
2-5	823,438	20,5859	9,47500	981,980
3-1	856,563	21,4141	9,06600	1069,38
3-2	825,625	20,6406	8,54600	1102,08
3-3	835,000	20,8750	8,14100	1109,03
3-4	792,188	19,8047	8,14200	1046,06
3-5	851,875	21,2969	9,01700	1068,55
4-1	882,969	22,0742	8,63600	1099,11
4-2	780,938	19,5234	8,89300	931,020
4-3	895,469	22,3867	9,35100	1088,75
4-4	842,656	21,0664	8,89900	1018,65
4-5	844,219	21,1055	8,60000	999,927
5-1	794,219	19,8555	8,60800	968,941
5-2	679,375	16,9844	8,64200	813,634
5-3	734,844	18,3711	8,47500	916,610
5-4	642,813	16,0703	7,64100	768,308
5-5	826,094	20,6523	8,93400	1049,38
6-1	728,438	18,2109	4,02500	1057,17
6-2	798,906	19,9727	9,09100	1068,86
6-3	774,219	19,3555	9,06000	934,265
6-4	781,563	19,5391	9,18300	960,030
6-5	762,813	19,0703	9,05700	934,227
7-1	884,219	22,1055	9,06300	1034,99
7-2	886,406	22,1602	9,18800	1044,11
7-3	846,875	21,1719	8,43300	986,359
7-4	864,219	21,6055	9,22500	976,988
7-5	845,000	21,1250	8,81100	966,462
8-1	758,125	18,9531	6,69000	909,153
8-2	850,625	21,2656	9,48100	1009,39
8-3	837,188	20,9297	9,60000	954,584
8-4	842,813	21,0703	9,22400	982,704
8-5	847,188	21,1797	9,48100	1004,77
9-1	864,688	21,6172	9,47700	1039,48
9-2	815,313	20,3828	9,27200	1075,36
9-3	782,500	19,5625	9,08900	1022,43
9-4	888,594	22,2148	9,23200	1055,85
9-5	884,063	22,1016	9,51600	1008,74



Yorum

Çekme Gerilmesi Sonuçları;

1) AYPE+Dolgu Maddesi-1

AYPE+%10 DM-1

	Maks. Gerilme (N/mm ²)	E-Modül (N/mm ²)
1	9,0625	136,535
2	8,86719	132,225
3	9,04688	143,964
4	8,95313	140,078
5	8,95315	140,136
ortalama	8,97657	138,5876
	0,071259	3,955259

AYPE+%20 DM-1

	Maks. Gerilme (N/mm ²)	E-Modül (N/mm ²)
1	8,64063	135,146
2	8,70703	141,09
3	8,68359	142,556
4	8,72656	139,87
5	9	155,788
ortalama	8,751562	142,89
	0,12748	6,91086

AYPE+%30 DM-1

	Maks. Gerilme (N/mm ²)	E-Modül (N/mm ²)
1	9,3125	190,728
2	9,12891	181,592
3	9,37109	205,631
4	9,20313	198,81
5	9,12109	182,061
ortalama	9,227344	191,7644
	0,099479	9,387554

2) AYPE+Dolgu Maddesi-2

AYPE+%10 DM-2

	Maks. Gerilme (N/mm2)	E-Modül (N/mm2)
1	8,25781	134,158
2	8,45313	134,91
3	8,44141	143,055
4	8,34375	138,434
5	8,38672	135,967
ortalama	8,376564	137,3048
	0,071204	3,217671

AYPE+%20DM2

	Maks. Gerilme (N/mm2)	E-Modül (N/mm2)
1	8,27344	153,989
2	8,05469	128,085

3	8,15625
4	8,23828
5	7,9375
ortalama	8,132032
	0,123041

3	146,967
4	139,044
5	148,776
ortalama	143,3722
	9,025208

AYPE+%30M-2

	Maks. Gerilme (N/mm2)
1	8,40625
2	8,83984
3	8,41016
4	8,46484
5	8,63281
ortalama	8,55078
	0,166333

	E-Modül (N/mm2)
1	149,39
2	159,482
3	172,683
4	173,329
5	175,482
ortalama	139,9768
	10,06613

3) AYPE+Dolgu Maddesi-3

AYPE+%10M-3

	Maks. Gerilme (N/mm2)
1	8,00781
2	7,72656
3	8,50391
4	7,78906
5	8,62891
ortalama	8,13125
	0,369499

	E-Modül (N/mm2)
1	133,409
2	151,579
3	171,972
4	164,096
5	168,935
ortalama	157,9982
	14,12727

AYPE+%20DM3

	Maks. Gerilme (N/mm2)
1	7,62109
2	8,00781
3	7,93359
4	8,54297
5	8,42969
ortalama	8,10703
	0,337703

	E-Modül (N/mm2)
	129,546
2	135,002
3	133,317
4	161,858
5	151,862
ortalama	142,317
	12,41423

AYPE+%30DM3

	Maks. Gerilme (N/mm2)
1	8,80078
2	8,79688

	E-Modül (N/mm2)
1	158,737

3	8,83984
4	8,83594
5	8,85156
ortalama	8,825
	0,022012

2	167,318
3	160,523
4	166,937
5	163,818
ortalama	163,4666
	3,406885

4) YYPE+Dolgu Maddesi-1

YYPE+%10DM-1

	Maks. Gerilme (N/mm2)
1	22,105
2	22,106
3	21,171
4	21,605
5	21,125
ortalama	21,6224
	0,479125

	E-Modül (N/mm2)
1	1034,99
2	1044,11
3	986,316
4	976,988
5	966,462
ortalama	1001,773

YYPE+%20DM-1

	Maks. Gerilme (N/mm2)
1	18,953
2	21,265
3	20,929
4	21,07
5	21,179
ortalama	20,6792
	0,97312

	E-Modül (N/mm2)
1	909,153
2	1009,39
3	954,584
4	982,704
5	1004,77
ortalama	972,1202
	41,35049

YYPE+%30DM-1

	Maks. Gerilme (N/mm2)
1	21,6172
2	20,3828
3	19,5625
4	19,20313
5	22,2148
ortalama	20,59609
	1,295861

	E-Modül (N/mm2)
1	1039,48
2	1075,36
3	1022,46
4	1055,85
5	1008,74
ortalama	1040,378
	21,54819

5) YYPE+Dolgu Maddesi-2

AYPE+%10DM-2

	Maks. Gerilme (N/mm2)
1	22,074
2	19,523
3	22,386
4	21,066
5	21,105

	E-Modül (N/mm2)
1	1099,11
2	931,2
3	1088,75
4	1018,65
5	999,927

ortalama 21,2308
1,000504

	Maks. Gerilme (N/mm2)	AYPE+%20DM-2
1	19,855	
2	17,984	
3	18,371	
4	18,07	
5	20,625	
ortalama	18,981	
	1,064203	

ortalama 1027,527

	E-Modül (N/mm2)
1	968,941
2	813,634
3	916,61
4	768,308
5	1049,38
ortalama	903,3746

	Maks. Gerilme (N/mm2)	AYPE+%30DM-2
1	18,21	
2	19,972	
3	19,355	
4	19,539	
5	19,07	
ortalama	19,2292	
	0,587821	

	E-Modül (N/mm2)
1	1057,17
2	1068,86
3	934,25
4	969,03
5	934,227
ortalama	992,7074

6) YYPE+Dolgu Maddesi-3

	Maks. Gerilme (N/mm2)	YYPE+%10DM-3
1	22,039	
2	23,105	
3	22,39	
4	23,144	
5	23,136	
ortalama	22,7628	
	0,46142	

	E-Modül (N/mm2)
1	1047,14
2	1124,56
3	1075,94
4	1094,63
5	1117,6
ortalama	1091,974

	Maks. Gerilme (N/mm2)	YYPE+%20DM-3
1	21,429	
2	22,535	
3	21,582	
4	22,125	
5	20,58	
ortalama	21,6502	
	0,66441	

	E-Modül (N/mm2)
1	1049,41
2	1085,81
3	1090,61
4	1073,67
5	981,98
ortalama	1056,296

	Maks. Gerilme (N/mm2)	YYPE+%30DM-3
1	21,4141	
2	20,64	
3	20,87	
4	19,8	
5	21,9	
ortalama	20,9248	
	0,7127	

	E-Modül (N/mm2)
1	1069,98
2	1102,08
3	1109,03
4	1046,06
5	1068,55
ortalama	1079,14

Üç Nokta Eğilme Gerilmesi Sonuçları

1) AYPE+Dolgu Maddesi-1

Maks. Kuvvet [N]	
1	16'875
2	16'875
3	17'531
4	17'531
5	17'125
ORTALAMA	17,187

AYPE+ %10DM-1

Maks. Gerilme [N/mm2]	
1	10,125
2	10,125
3	10,518
4	10,518
5	10,275
ORTALAMA	10,3122

0,161338

Maks. Kuvvet [N]	
1	17,468
2	16,343
3	17,343
4	17,281
5	17,406
ORTALAMA	17,1682

AYPE+ %20DM-1

Maks. Gerilme [N/mm2]	
1	10,481
2	9,806
3	10,406
4	10,368
5	10,443
ORTALAMA	10,3008

0,228438

Maks. Kuvvet [N]	
1	19,343
2	20,062
3	19,562
4	20,062
5	18,781
ORTALAMA	19,562

AYPE+ %30DM-1

Maks. Gerilme [N/mm2]	
1	11,606
2	12,037
3	11,737
4	12,037
5	11,268
ORTALAMA	11,737

0,288833

2) AYPE+Dolgu Maddesi-2

Maks. Kuvvet [N]	
1	15'781
2	18'656
3	16'093
4	15'656
5	17'250
ORTALAMA	16,687

AYPE+ %10DM-2

Maks. Gerilme [N/mm2]	
1	9,431
2	11,119
3	9,65
4	9,393
5	10,35
ORTALAMA	9,988

0,661622

Maks. Kuvvet [N]	
1	14,281
2	16,75
3	16,531
4	16,468
5	16,343
ORTALAMA	16,0746

AYPE+ % 20DM-2

Maks. Gerilme [N/mm2]	
1	10,35
2	8,668
3	10,05
4	9,918
5	9,881
ORTALAMA	9,7734
0,576779	

Maks. Kuvvet [N]	
1	15,625
2	17,062
3	17,156
4	18,625
5	16,781
ORTALAMA	17,0498

AYPE+ % 30DM-2

Maks. Gerilme [N/mm2]	
1	9,375
2	10,237
3	10,293
4	11,175
5	10,068
ORTALAMA	10,2296
0,575206	

3) AYPE+Dolgu Maddesi-3

Maks. Kuvvet [N]	
1	16'500
2	15'875
3	17'375
4	15'562
5	16'218
ORTALAMA	16'306

AYPE+ % 10DM-3

Maks. Gerilme [N/mm2]	
1	9,9
2	9,112
3	10,425
4	9,337
5	9,731
ORTALAMA	9,701
0,456967	

Maks. Kuvvet [N]	
1	17,781
2	18,781
3	18,343
4	17,468
5	17
ORTALAMA	16,674

AYPE+ % 20DM-3

Maks. Gerilme [N/mm2]	
1	10,668
2	11,268
3	11,006
4	10,481
5	10,2
ORTALAMA	10,724
0,377417	

Maks. Kuvvet [N]	
1	19,343
2	18,375
3	18,156
4	18,125
5	19,125
ORTALAMA	18,6248

AYPE+ % 30DM-3

Maks. Gerilme [N/mm2]	
1	11,603
2	11,025
3	10,893
4	10,875
5	11,475
ORTALAMA	11,1742
0,305026	

4) YYPE+Doldu Maddesi-1

Maks. Kuvvet [N]

1	47'031
2	50'843
3	48'562
4	50'812
5	48'500
ORTALAMA	49'149

YYPE+ % 10DM-1

Maks. Gerilme [N/mm2]

1	28,218
2	30,506
3	29,137
4	30,487
5	29,1
ORTALAMA	29,4896

0,885546

Maks. Kuvvet [N]

1	45,937
2	48,875
3	47,718
4	47,562
5	48,031
ORTALAMA	47,6246

YYPE+ % 20DM-1

Maks. Gerilme [N/mm2]

1	27,562
2	29,325
3	28,631
4	28,537
5	28,818
ORTALAMA	28,5746

0,574856

Maks. Kuvvet [N]

1	43,968
2	43,912
3	44,656
4	43,093
5	44,281
ORTALAMA	43,982

YYPE+ % 30DM-1

Maks. Gerilme [N/mm2]

1	26,381
2	26,287
3	26,793
4	25,856
5	26,568
ORTALAMA	26,377

0,31276

5) YYPE+Dolgu Maddesi-2

Maks. Kuvvet [N]

1	47'531
2	49'187
3	49'156
4	50'187
5	49'593
ORTALAMA	40'130

YYPE+ % 10DM-2

Maks. Gerilme [N/mm2]

1	28,518
2	29,512
3	29,113
4	30,112
5	29,756
ORTALAMA	29,4022

0,548907

Maks. Kuvvet [N]

1	45,093
2	55,781
3	53,343
4	47,406
5	45,375
ORTALAMA	49,3996

YYPE+ % 20DM-2

Maks. Gerilme [N/mm2]

1	27,056
2	33,468
3	32,006
4	28,443
5	27,225
ORTALAMA	29,6396

2,615096

Maks. Kuvvet [N]	
1	43,437
2	44,843
3	44,781
4	45,406
5	46,531
ORTALAMA	44,9996

YYPE+ % 30DM-2

Maks. Gerilme [N/mm2]	
1	26,062
2	26,906
3	26,868
4	27,243
5	27,918
ORTALAMA	26,9994

0,601311

6) YYPE+Dolgu Maddesi-3

Maks. Kuvvet [N]	
1	52'28
2	47'312
3	51'781
4	50'500
5	51'960
ORTALAMA	50'766

YYPE+ % 10DM-3

Maks. Gerilme [N/mm2]	
1	31
2	28,367
3	31,068
4	30,3
5	31,1438
ORTALAMA	30,45256

1,104264

Maks. Kuvvet [N]	
1	49,625
2	49,593
3	49,328
4	50,031
5	51,312
ORTALAMA	49,9778

YYPE+ % 20DM-3

Maks. Gerilme [N/mm2]	
1	29,775
2	29,756
3	29,531
4	30,018
5	30,787
ORTALAMA	29,9734

0,435035

Maks. Kuvvet [N]	
1	52,187
2	46,687
3	46,281
4	45,843
5	45,531
ORTALAMA	47,3058

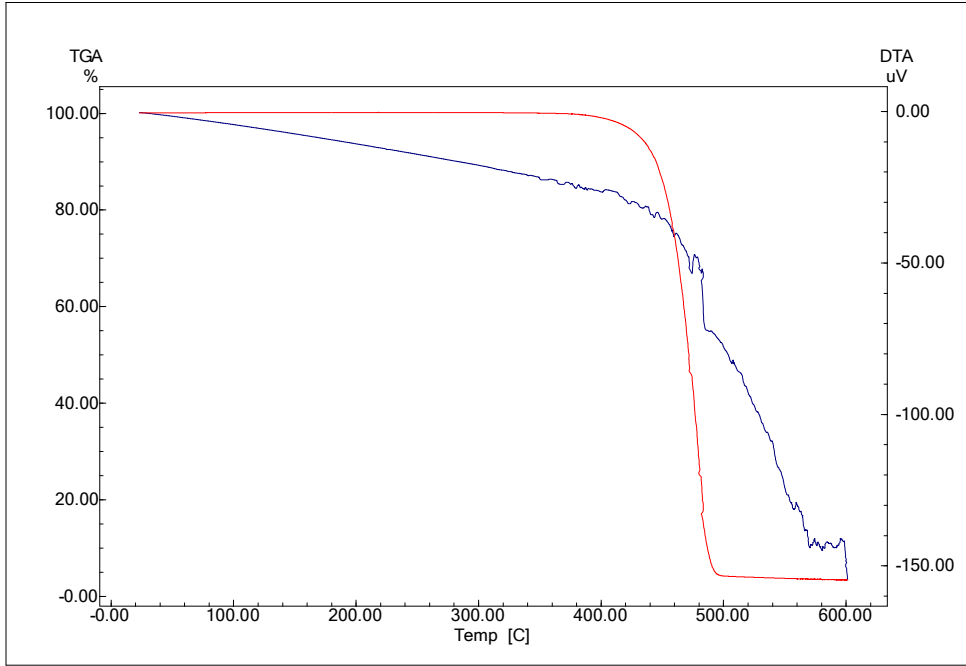
YYPE+ % 30DM-3

Maks. Gerilme [N/mm2]	
1	31,312
2	28,012
3	27,768
4	27,506
5	27,318
ORTALAMA	28,3832

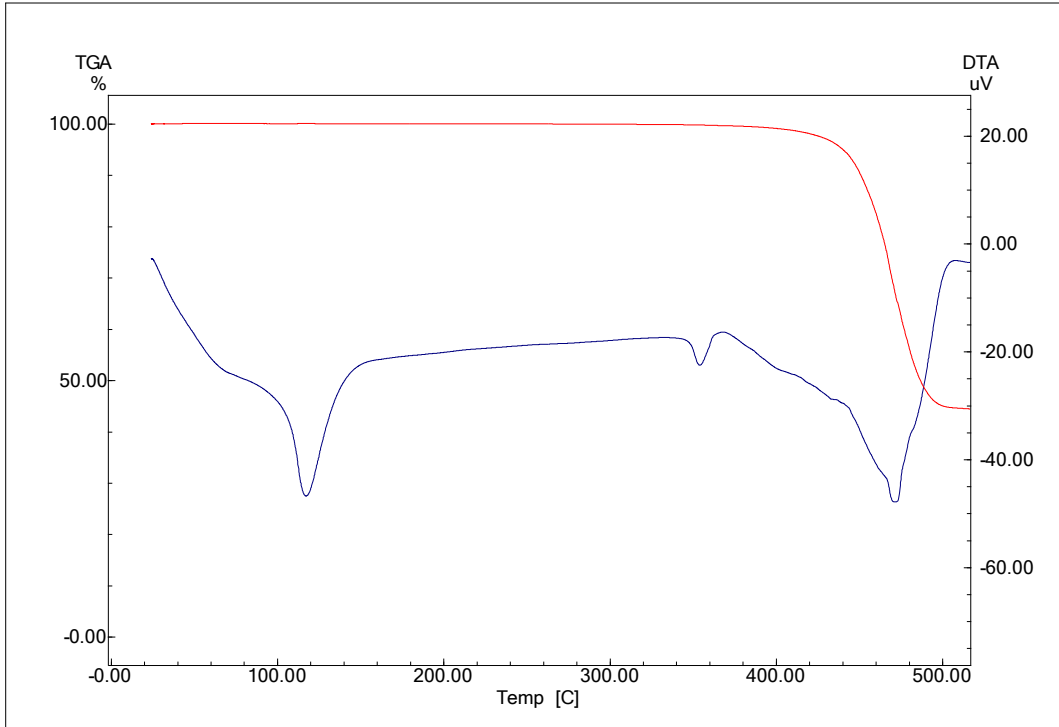
1,483122

EK-2 TGA/DTA SONUÇLARI

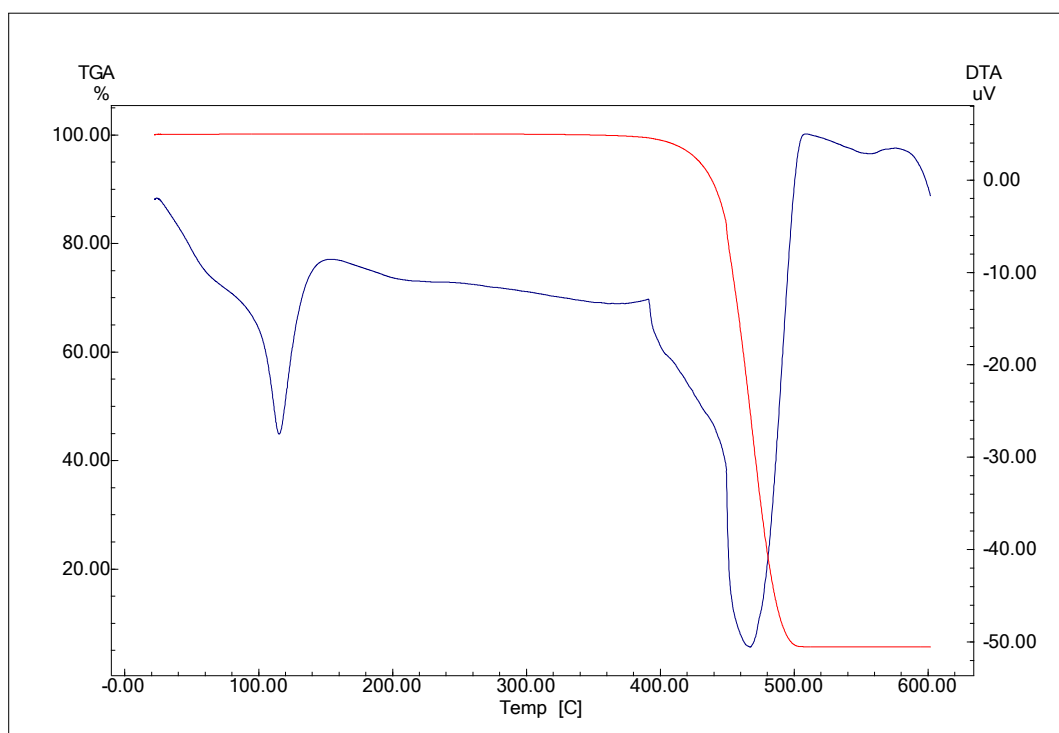
AYPE+ %30 DM-3



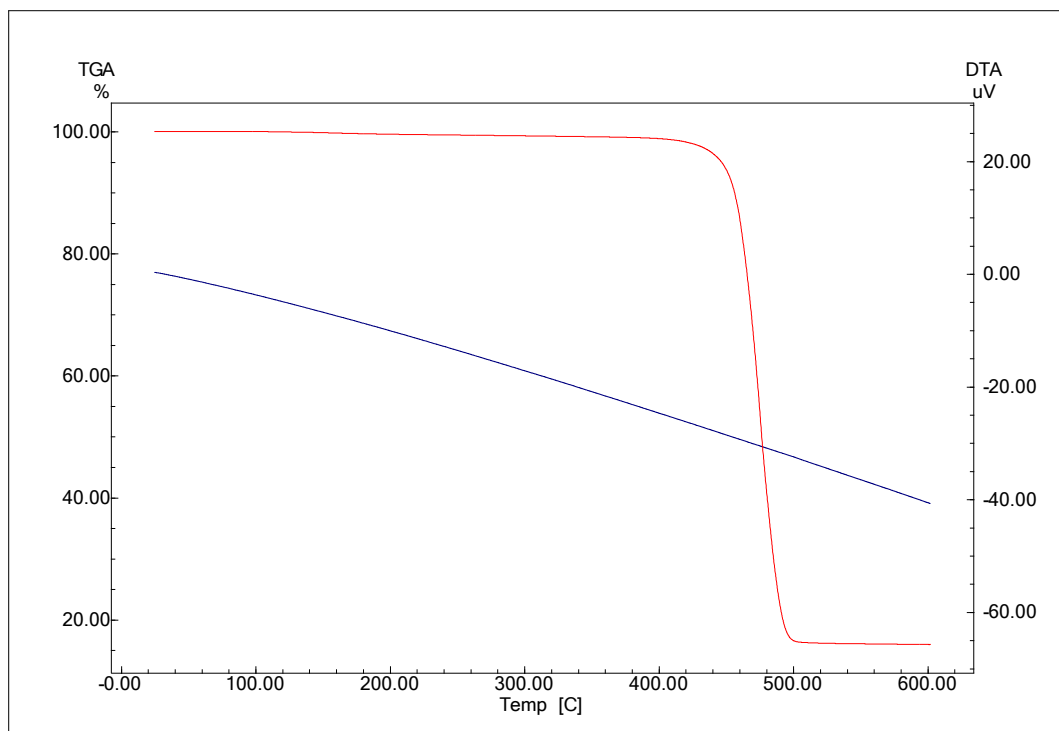
AYPE+%30 DM-1



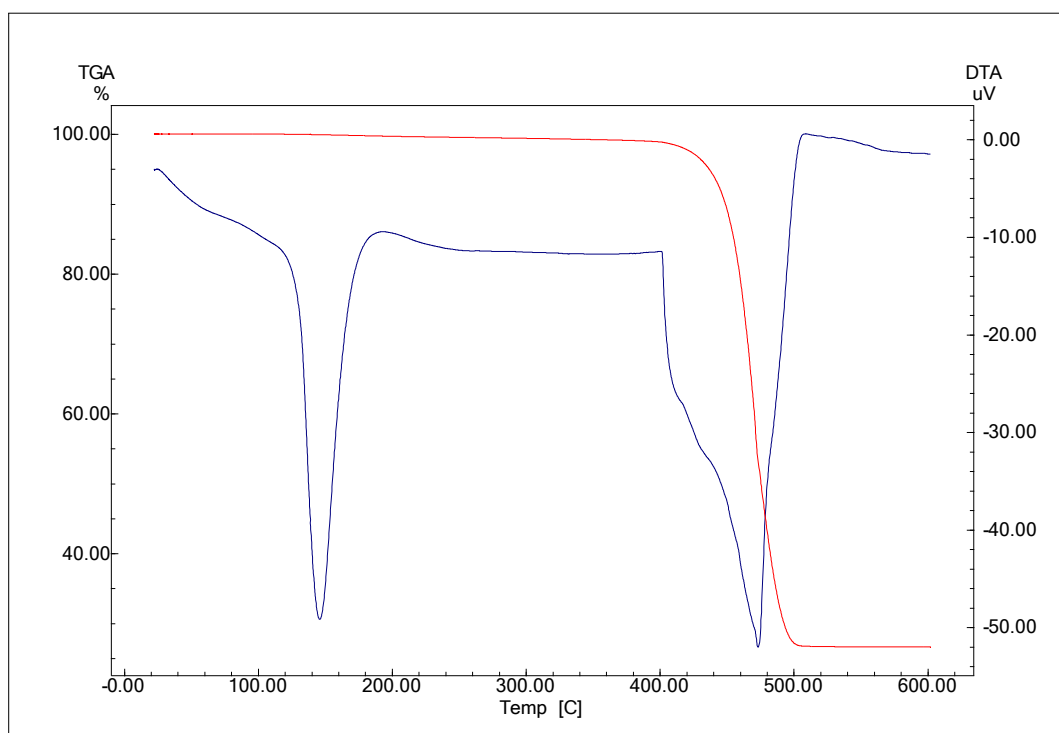
AYPE+%30 DM-2



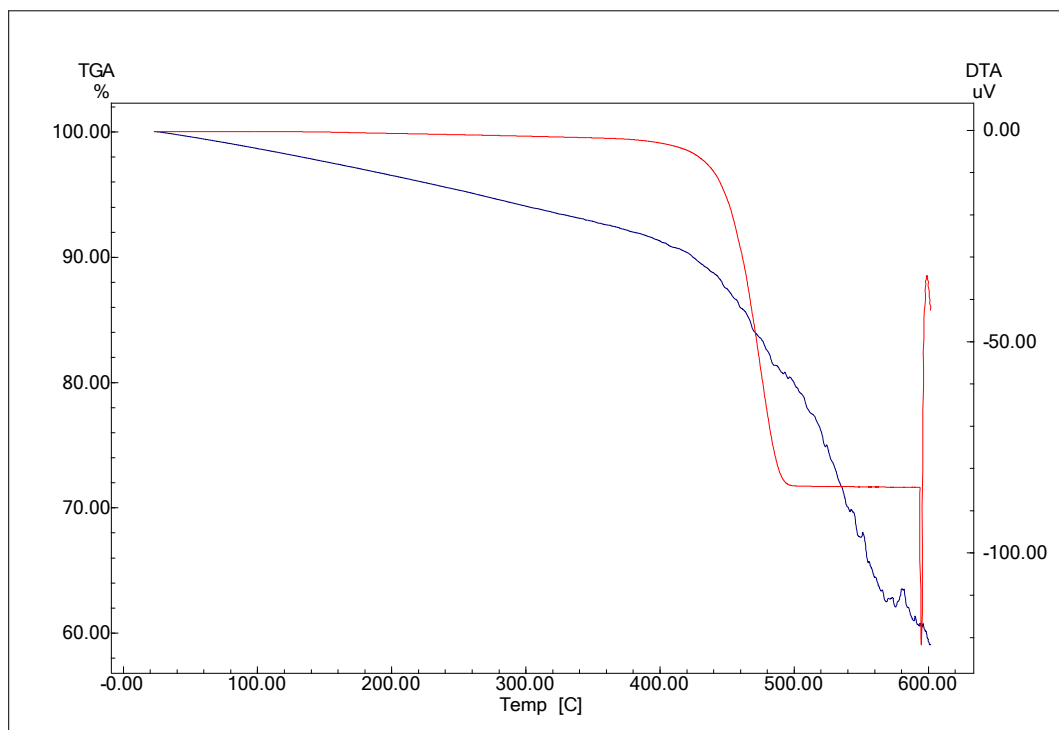
YYPE+%30 DM-2



YYPE+%30 DM-3



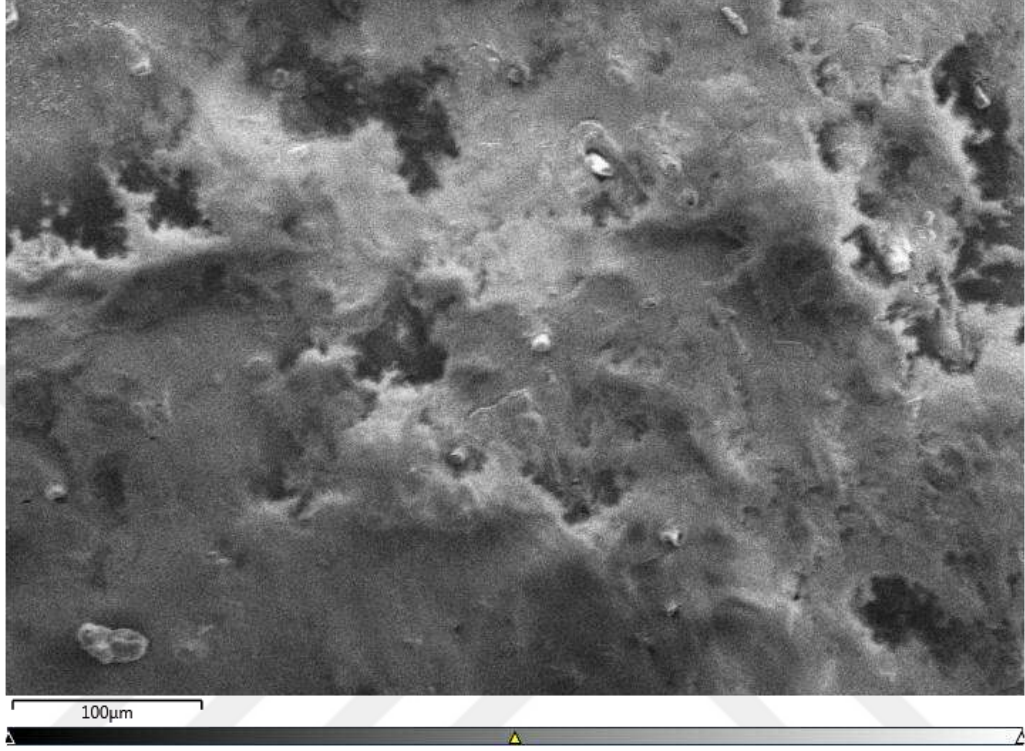
YYPE+%30 DM-1



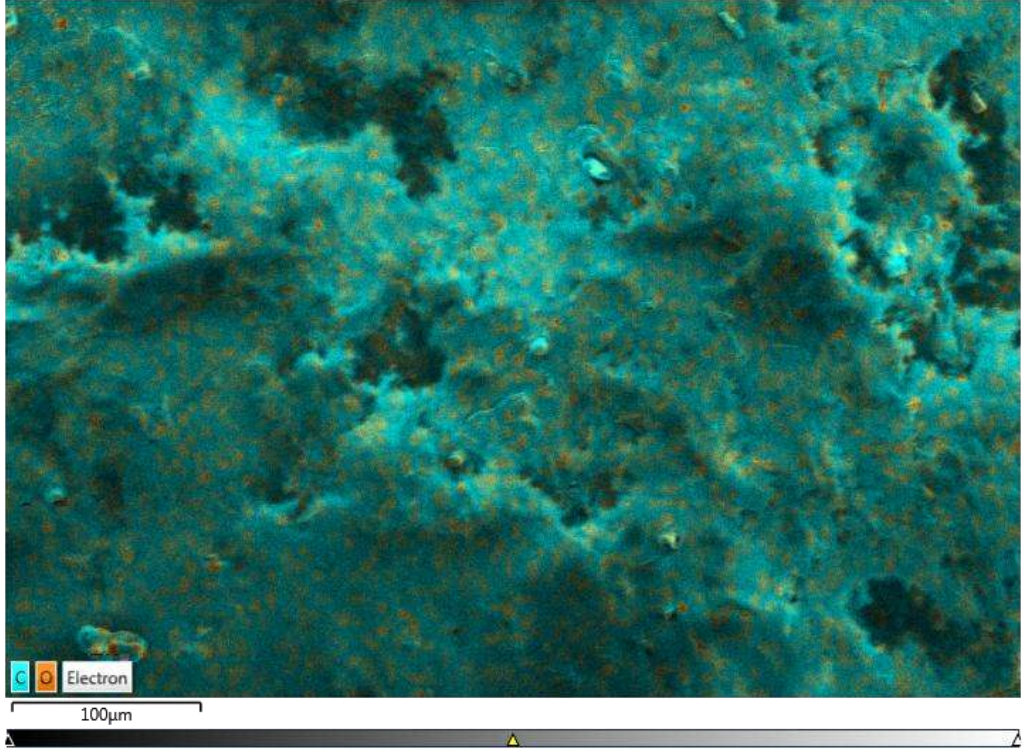
EK-3 SEM/EDS Sonuçları

1) AYPE+ %30 DM-1

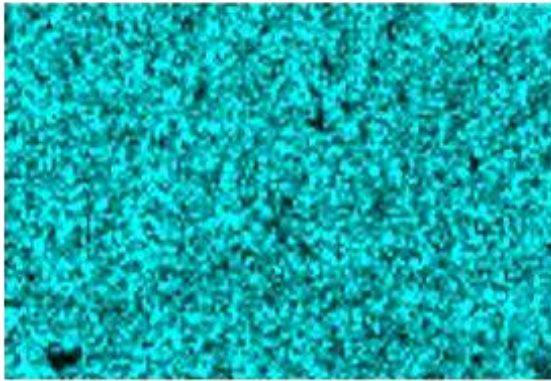
Electron Image 1



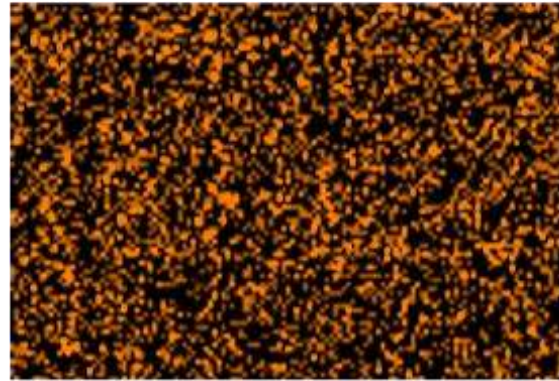
EDS Layered Image 1



C K α 1_2

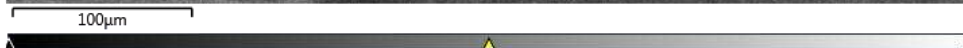
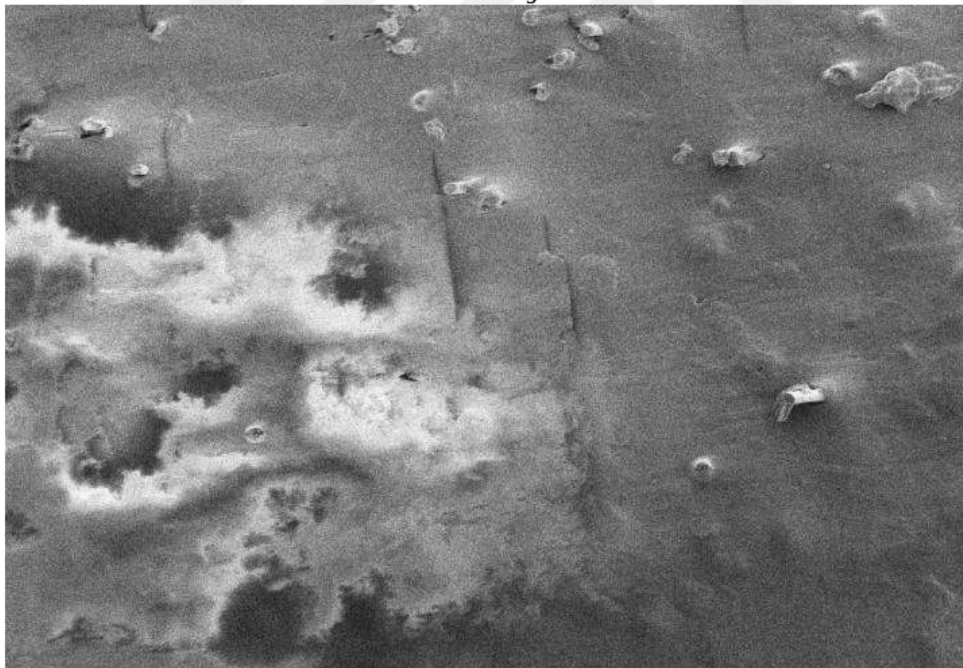


O K α 1

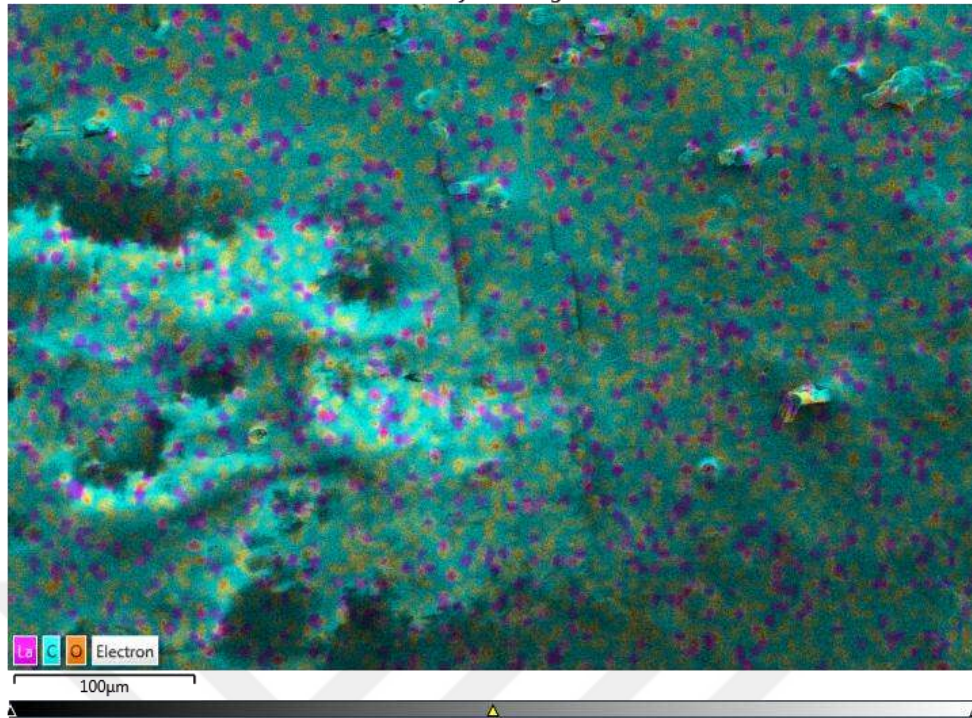


AYPE+%30 DM-2

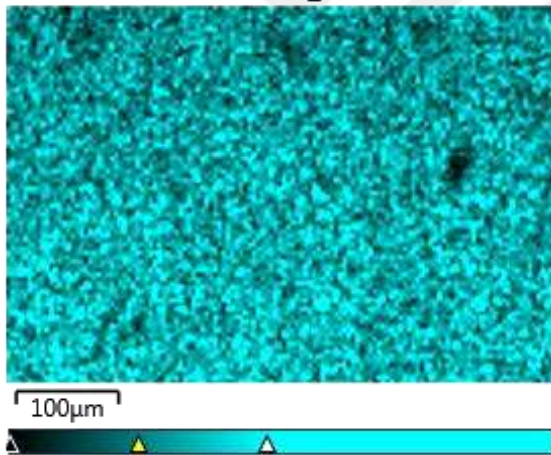
Electron Image 5



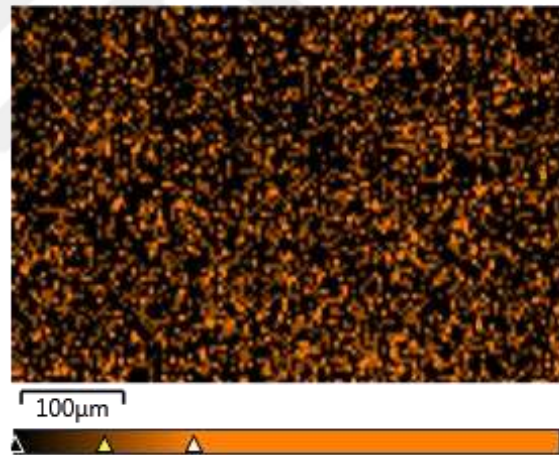
EDS Layered Image 4



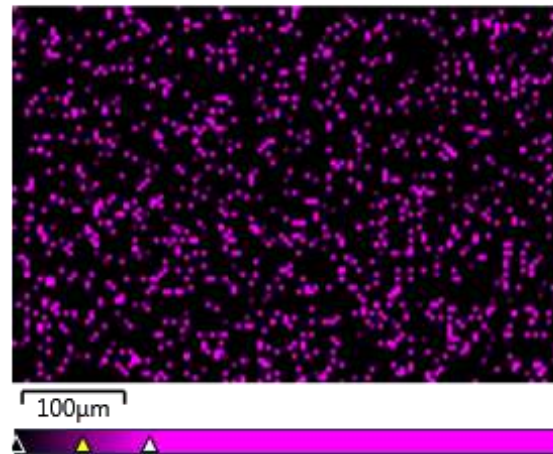
C Kα1_2



O Kα1

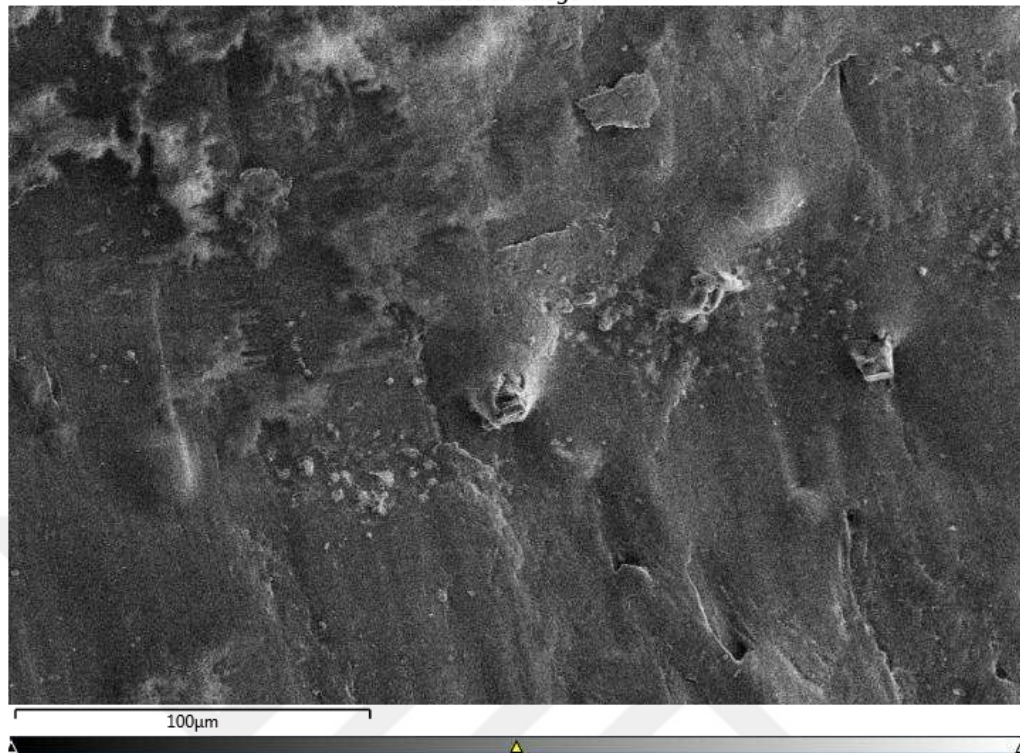


La Mα

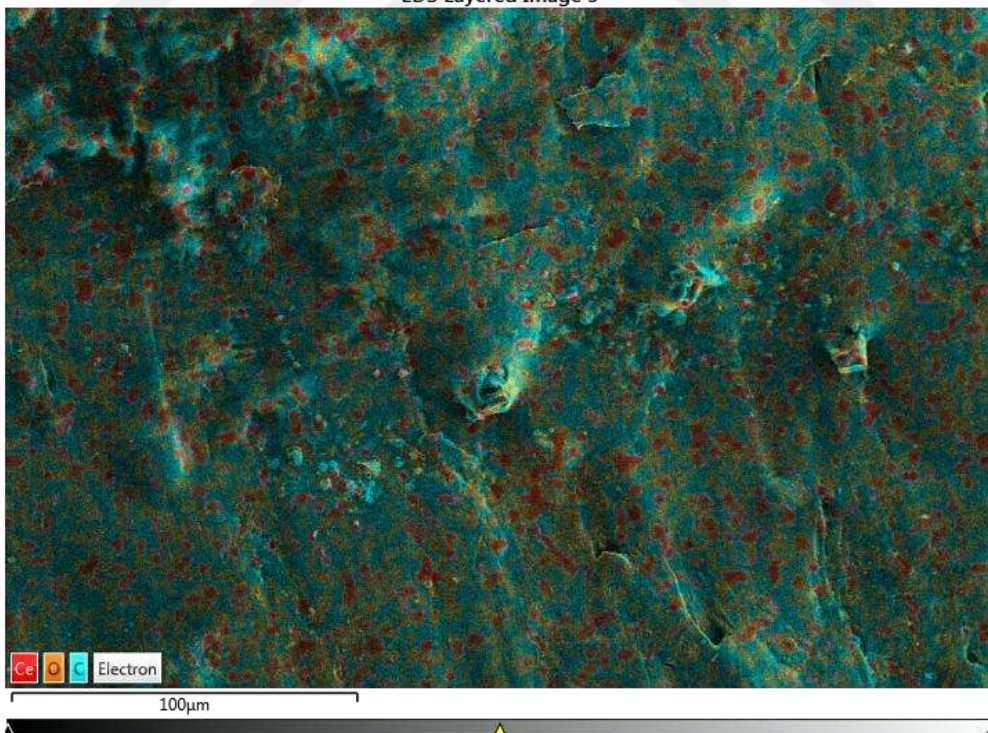


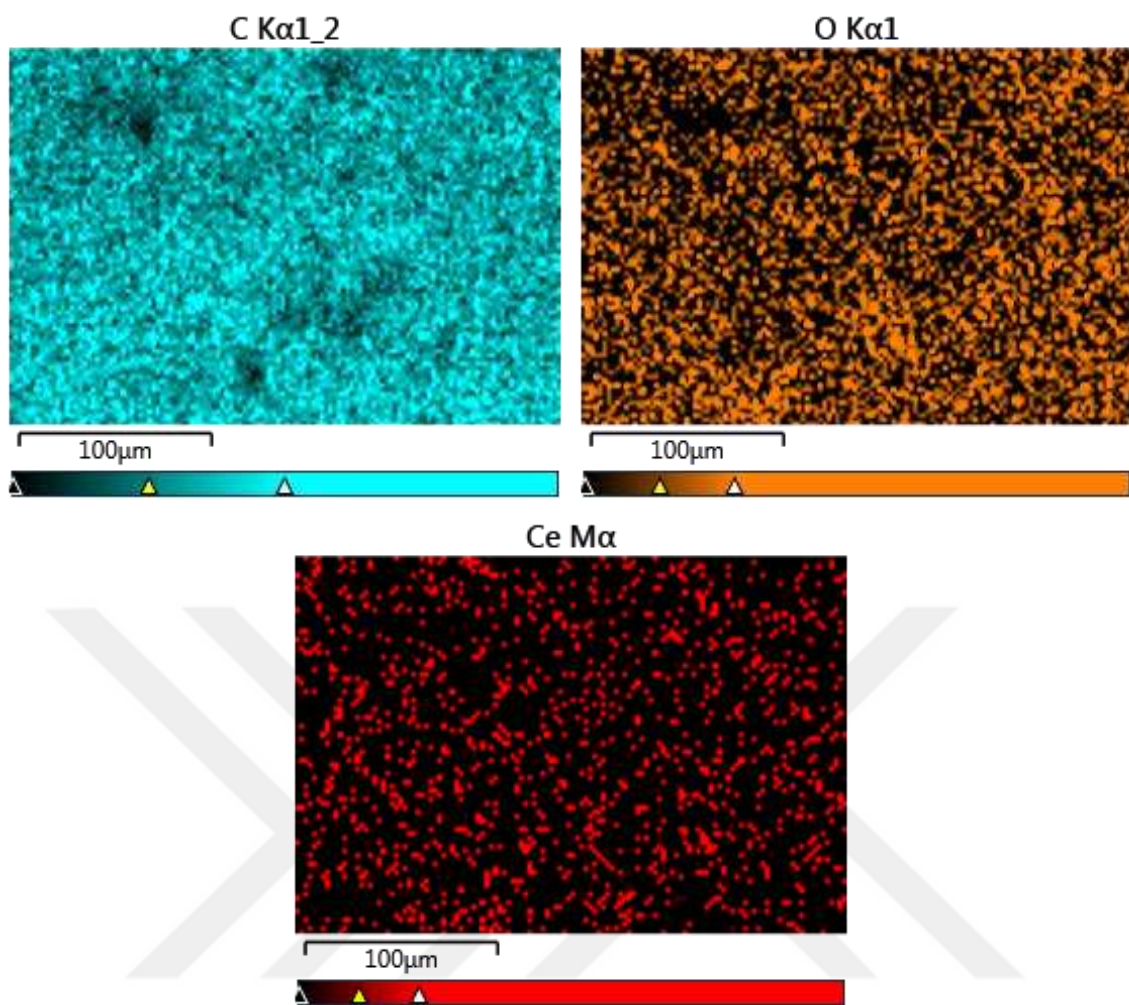
AYPE+ %30 DM-3

Electron Image 4



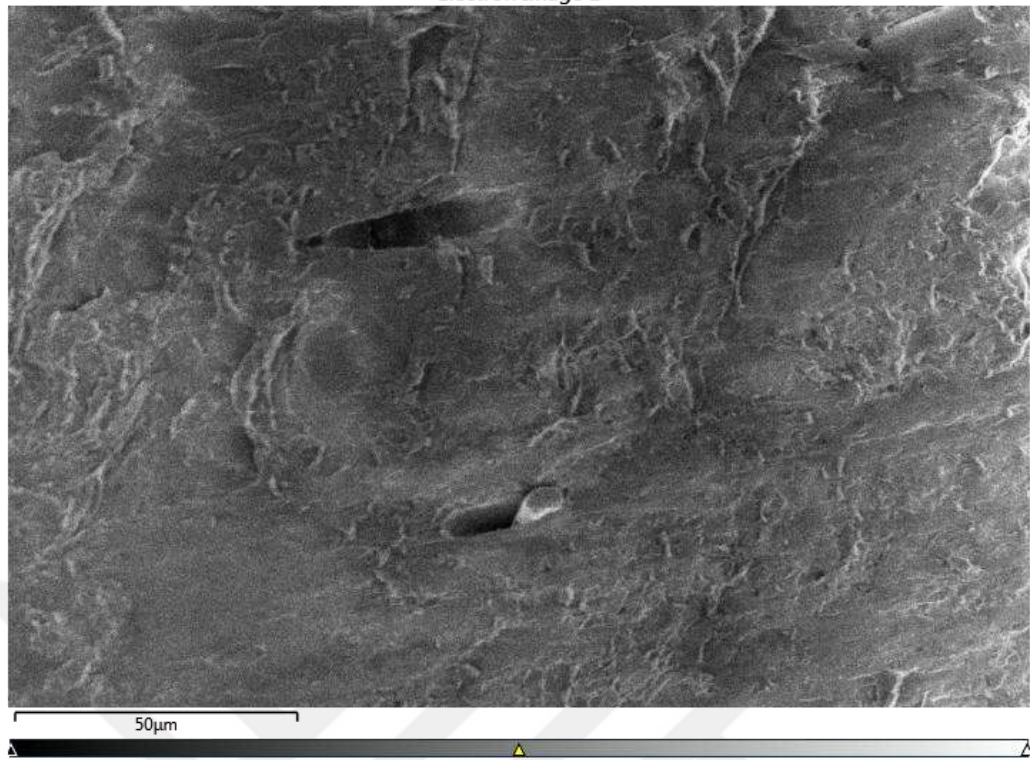
EDS Layered Image 3



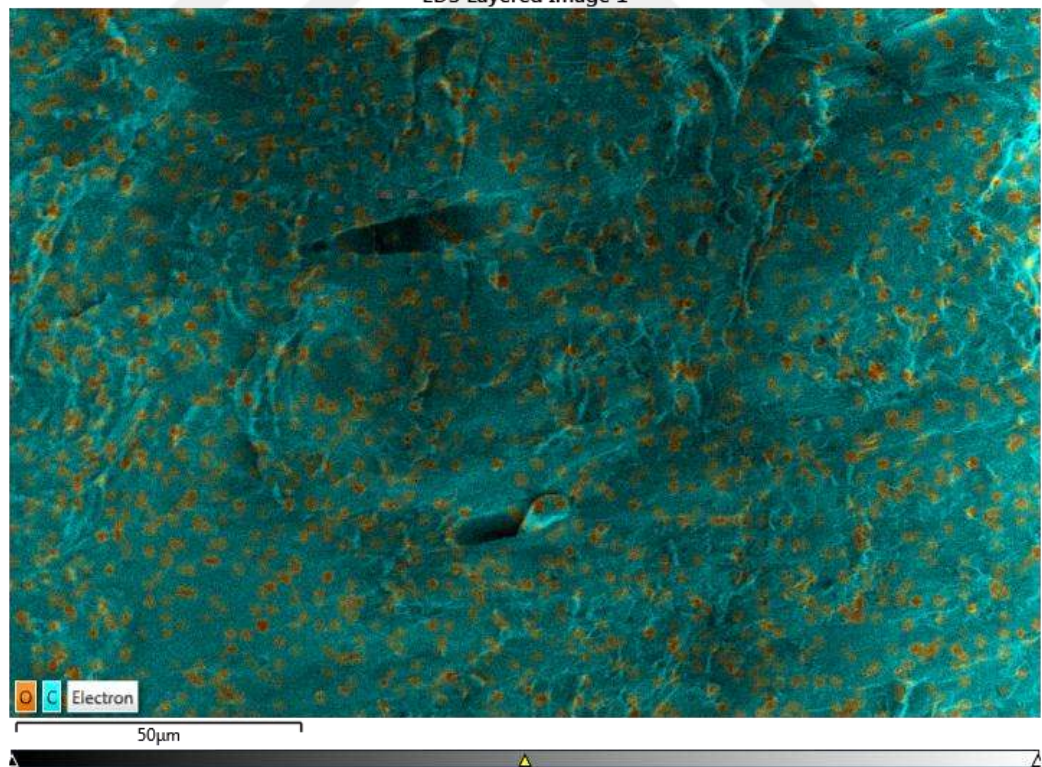


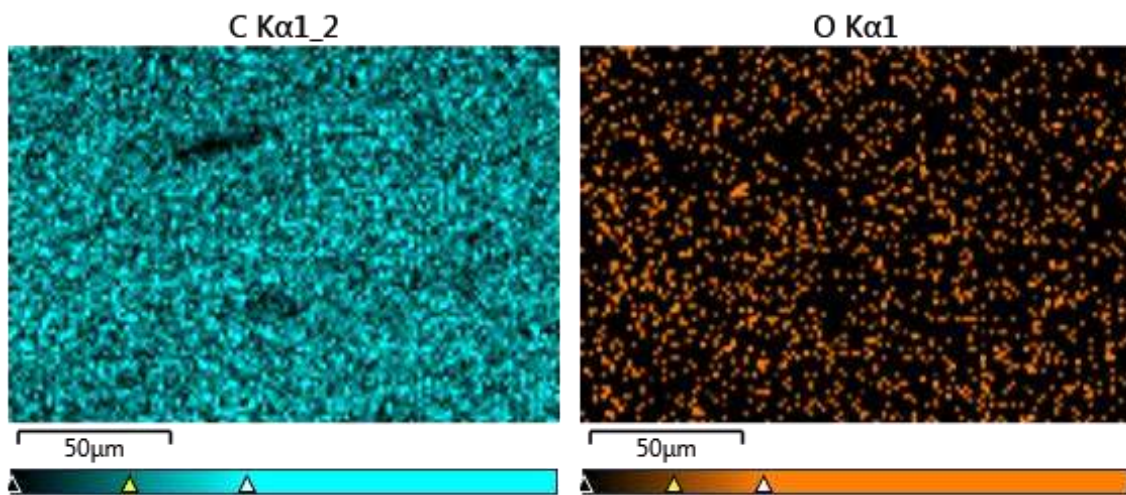
YYPE+ %30 DM-1

Electron Image 1



EDS Layered Image 1

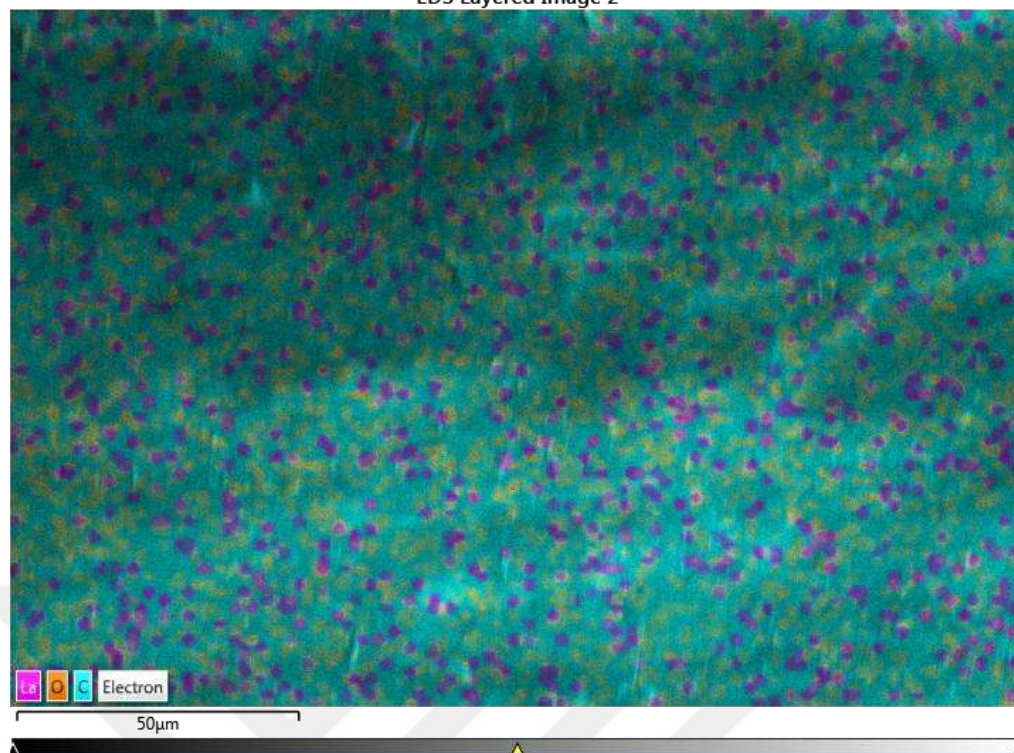




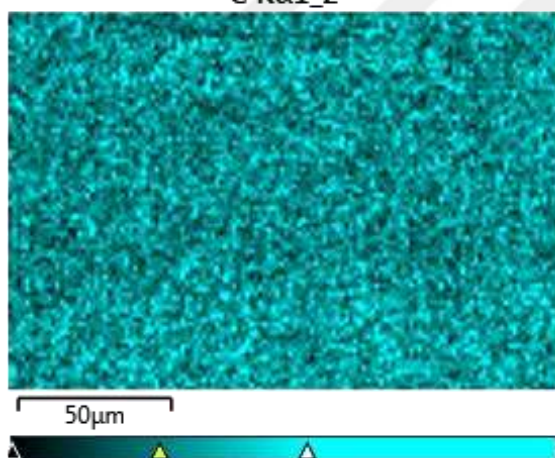
YYPE+ %30 DM-2



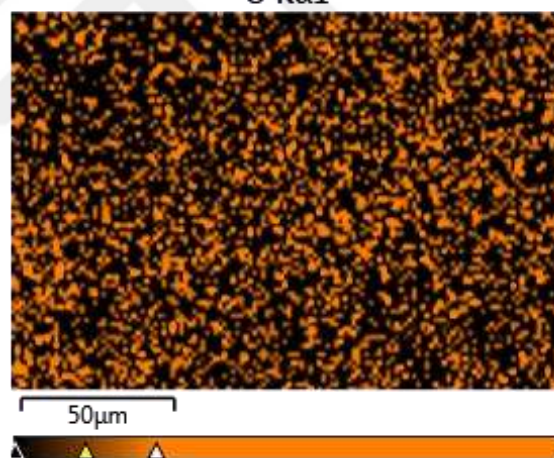
EDS Layered Image 2



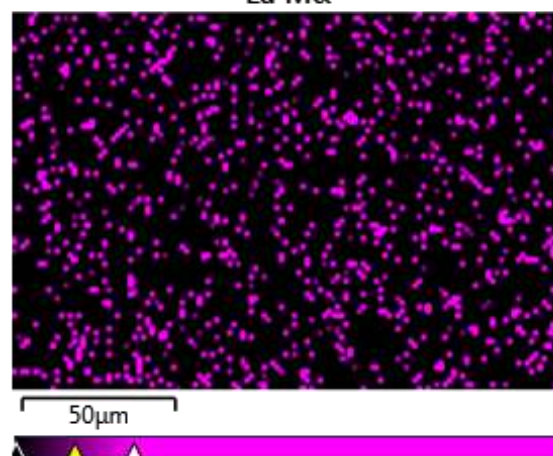
C K α 1_2



O K α 1

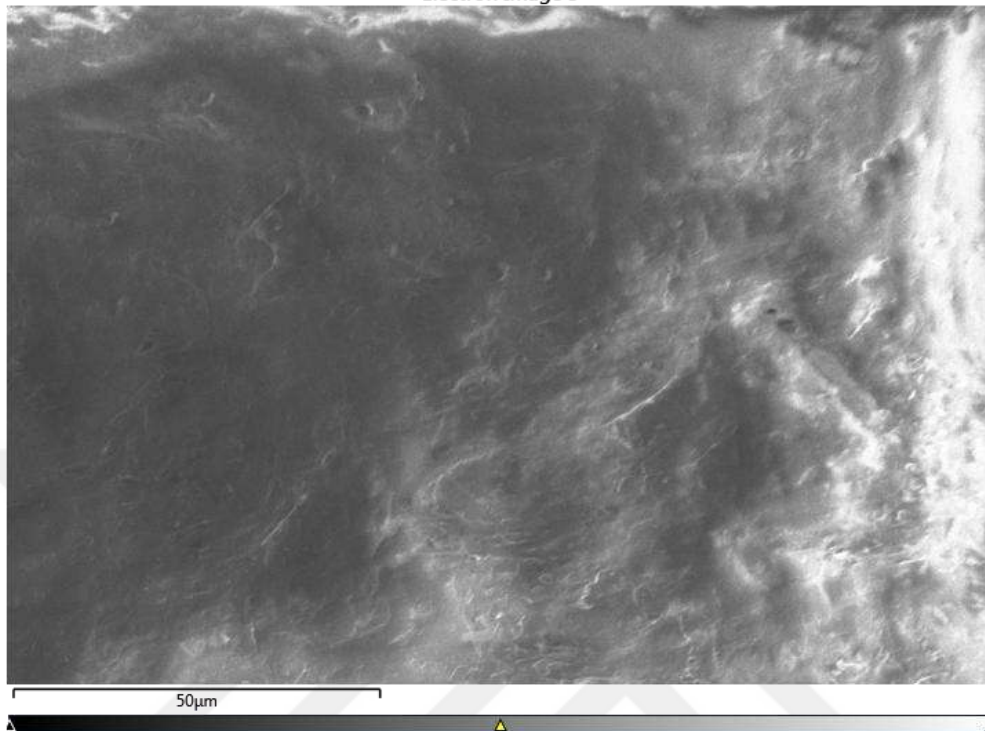


La M α

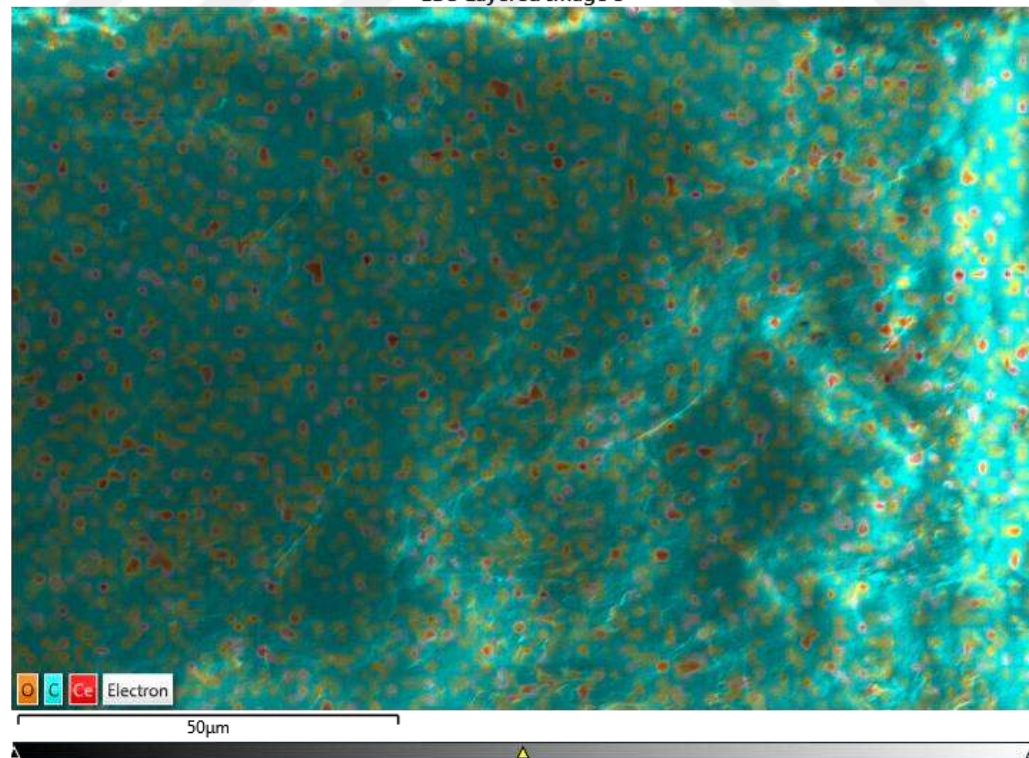


YYPE+ %30 DM-3

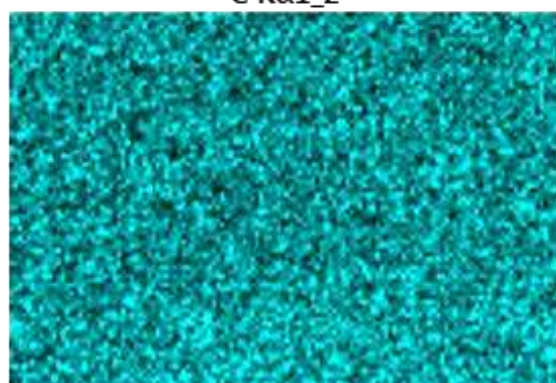
Electron Image 3



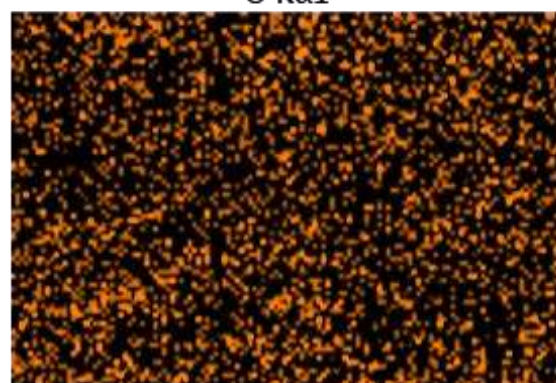
EDS Layered Image 3



C K α 1_2



O K α 1



Ce M α

