



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**YÜKSEK YOĞUNLUKLU POLİETİLEN KOMPOZİTLERİN
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN VE ELEKTRİK İLETKENLİĞİNİN
İSTATİSTİKSEL ANALİZİ**

ECEM AYDIN

DANIŞMAN

DOÇ. DR. ALİ YARAŞ

BARTIN-2024



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**YÜKSEK YOĞUNLUKLU POLİETİLEN KOMPOZİTLERİN MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN VE ELEKTRİK İLETKENLİĞİNİN İSTATİSTİKSEL
ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ECEM AYDIN

JÜRİ ÜYELERİ

Danışman : Doç. Dr. Ali YARAŞ

Üye : Doç. Dr. Bilal KURŞUNCU

Üye : Prof. Dr. Bilal DEMİREL

BARTIN-2024

KABUL VE ONAY

Ecem AYDIN tarafından hazırlanan “YÜKSEK YOĞUNLUKLU POLİETİLEN KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN VE ELEKTRİK İLETKENLİĞİNİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ ” başlıklı bu çalışma, 29.08.2024 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan :

Üye :

Üye :

Bu tezin kabulü Lisansüstü Eğitimi Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun/...../20... tarih ve 20...../.....-..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mustafa Sabri GÖK
Enstitü Müdürü

BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Doç. Dr. Ali YARAŞ danışmanlığında hazırlamış olduğum “YÜKSEK YOĞUNLUKLU POLİETİLEN KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN VE ELEKTRİK İLETKENLİĞİNİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ” başlıklı yüksek lisans tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

29.08.2024

Ecem AYDIN

ÖN SÖZ

Yapılan çalışmalar sırasında her türlü soru ve problemlerime sabırla cevap veren, tezimin ilk ve son anına kadar her aşamasında bilgi ve deneyimiyle desteklerini esirgemeyen tez danışmanım Sayın Hocam Doç. Dr. Ali YARAŞ'a, numunelerin hazırlanması sürecinde yardımlarından ve tecrübelerinden faydalanmama imkan sağlayan Prof. Dr. Bilal DEMİREL'e, son olarak bu süreçte maddi ve manevi destekleriyle hayatımın her anında yanımda olan, aldığım kararları destekleyen ve cesaretlendiren aileme özellikle de anne ve babama, sonsuz minnet ve şükranlarımı sunarım.

Ecem AYDIN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YÜKSEK YOĞUNLUKLU POLİETİLEN KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN VE ELEKTRİK İLETKENLİĞİNİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ

Ecem AYDIN

Bartın Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ali YARAŞ

Bartın-2024, sayfa: 64

Polimerlerin mekanik performanslarının ve elektrik iletkenliklerinin iyileştirilmesi amacıyla kompozit üretiminde çeşitli katkı maddeleri kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında; kalsit, grafit, çapraz bağlayıcı, etil vinil asetat (EVA) ve elastomer kullanılarak yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) esaslı toplam 26 adet numune üretilmiştir. Kompozit üretimi için, cevap yüzey yöntemi (RSM) deney tasarımına göre hazırlanan karışımlara ekstrüzyon ve enjeksiyon prosesleri uygulanmıştır. Numunelerin sertlik, gerilme dayanımı, uzama, kopma dayanımı, akma dayanımı ve elektrik iletkenliğine ait deneysel veriler varyans analizi ile (ANOVA) değerlendirilmiştir. Buna göre, akma dayanımı ikinci derece modele (kuadratik) uyum sağlarken diğerlerinin birinci derece (lineer) model ile uyum içerisinde olduğu belirlenmiştir. Elektrik iletkenliği sonuçları ise hiçbir model ile uyumluluk göstermemiştir. SEM ve EDS sonuçlarına göre, katkı maddelerinin YYPE matris içerisinde homojen bir dağılım sergilemediği ve partikül-matris arasında zayıf bir etkileşimin olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Cevap yüzey yöntemi (RSM), elektrik iletkenliği, kompozit, mekanik özellikler, varyans analizi (ANOVA), yüksek yoğunluklu polietilen.

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

STATISTICAL ANALYSIS OF MECHANICAL PROPERTIES AND ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF HIGH DENSITY POLYETHYLENE COMPOSITES

Ecem AYDIN

Bartın University

Graduate School

Department of Metallurgical and Materials Engineering

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Dr. Ali YARAŞ

Bartın-2024, pp: 64

Various additives are used in composite production to improve the mechanical performance and electrical conductivity of polymers. In this thesis study, a total of 26 samples based on high density polyethylene (HDPE) were produced using calcite, graphite, crosslinker, ethyl vinyl acetate (EVA) and elastomer. For composite production, extrusion and injection processes were applied to the mixtures prepared according to the response surface method (RSM) experimental design. Experimental data regarding hardness, tensile strength, elongation, rupture strength, yield strength and electrical conductivity of the samples were evaluated by analysis of variance (ANOVA). Accordingly, it was determined that the yield strength was in compliance with the second-order model (quadratic), while the others were in compliance with the first-order (linear) model. Electrical conductivity results were not compatible with any model. According to SEM and EDS results, it was observed that the additives did not exhibit a homogeneous distribution in the HDPE matrix and there was a weak interaction between the particle and the matrix.

Keywords: Analysis of variance (ANOVA), composite, electrical conductivity, high density polyethylene, mechanical properties, response surface method (RSM).

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	ii
BEYANNAME	iii
ÖN SÖZ	iv
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Polimerler	1
1.1.1. Düünden Günümüze Polimerler	2
1.1.2. Polimerlerin Sınıflandırılması	3
1.1.3. Polimerlerin Elektriksel İletkenlik Özellikleri	6
1.1.4. Polietilen	7
1.1.5. Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE)	8
1.1.6. YYPE Kompozitlerin Özellikleri	9
1.2. YYPE Malzemenin Mekanik Özellikleri	10
1.3. Katkı Maddeleri	10
1.3.1. Etilen Vinil Asetat (EVA)	11
1.3.2. Grafit	11
1.3.3. Kalsit (CaCO ₃)	12
1.3.4. Maleik Anhidrit	13
1.3.5. Cam Elyaf	13
1.3.6. Talk	13
1.3.7. Metal Tozları	14
1.4. Statik Elektrik	14
1.4.1. Genel Bilgi	14
1.4.2. Antistatik Özellik	15
1.5. Polimer Matrisli Kompozit Üretim Yöntemleri	16
1.5.1. Ekstrüzyon	16

1.5.2. Enjeksiyon Kalıplama.....	16
1.6. Cevap Yüzey Yöntemi (RSM).....	17
1.7. Varyans Analizi (ANOVA)	17
1.8. RSM ve ANOVA İlişkisi.....	18
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	19
3. MATERYAL VE METOT	23
3.1. Kullanılan Malzemeler	23
3.2. YYPE Kompozitlerin Üretimi	23
3.3. Cevap Yüzey Yöntemi (RSM) ve Varyans Analizi (ANOVA).....	25
3.4. Karakterizasyon İşlemleri.....	27
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	28
4.1. Sertlik.....	28
4.2. Gerilme Dayanımı.....	32
4.3. Uzama	37
4.4. Kopma Dayanımı	41
4.5. Akma Dayanımı	45
4.6. Elektriksel Direnç	48
4.7. SEM ve EDS Analizi	49
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	57
KAYNAKLAR.....	59
ÖZGEÇMİŞ	64

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
No	No
1.1: Polimerizasyon tepkimesi	2
1.2: Lineer molekül (a), dallanmış molekül (b), çapraz bağlı molekül (c) ve ağ formundaki molekül (d) yapılarının şematik gösterimi	5
1.3: Farklı monomer türlerine göre polimerler.....	5
1.4: Elektrik iletkenlik değerlerine göre bazı malzemelerin sınıflandırılması	7
1.5: EVA'nın oluşumuna ait polimerizasyon tepkimesi	11
1.6: Grafitin kimyasal yapısı	12
1.7: Kalsit'in (CaCO_3) kimyasal yapısı.....	13
1.8: Maleik anhidrit'in kimyasal yapısı.....	13
1.9: Plastik enjeksiyon cihazının şematik gösterimi	17
3.1: Çift vidalı ekstrüderin şematik gösterimi	24
3.2: Deneylerde kullanılan çift burgulu ekstrüder makinesi	24
3.3: Üretilen numune örnekleri	24
4.1: Deneysel ve RSM verilerinin en yüksek sertlik değerleri açısından karşılaştırılması	31
4.2: En yüksek sertlik değerleri için optimum parametreler	31
4.3: Elastomer, EVA, grafit, kalsit ve çapraz bağlayıcı içeriğinin sertlik değerleri üzerine etkilerinin counter grafikler ile gösterimi.....	32
4.4: EVA, grafit, kalsit içeriğinin gerilme dayanımı üzerine etkilerinin 3D ve counter grafikler ile gösterimi.....	35
4.5: En yüksek gerilme dayanımı için optimum parametreler	36
4.6: Deneysel ve RSM verilerinin en yüksek gerilme dayanım değerleri açısından karşılaştırılması	36
4.7: EVA, grafit, kalsit ve çapraz bağlayıcı içeriğinin uzama değerleri üzerine etkilerinin counter grafikler ile gösterimi	39
4.8: Deneysel ve RSM verilerinin en yüksek uzama değerleri açısından karşılaştırılması	40
4.9: En yüksek uzama değerleri için optimum parametreler.....	41
4.10: Elastomer, grafit ve kalsit içeriğinin kopma dayanım değerleri üzerine etkilerinin counter grafikler ile gösterimi	43

4.11: Deneysel ve RSM verilerinin en yüksek kopma dayanım değerleri açısından karşılaştırılması	44
4.12: En yüksek kopma dayanım değerleri için optimum parametreler.....	44
4.13: Elastomer, EVA, çapraz bağlayıcı ve kalsit içeriğinin akma dayanım değerleri üzerine etkilerinin counter grafikler ile gösterimi.....	47
4.14: Deneysel ve RSM verilerinin en yüksek akma dayanım değerleri açısından karşılaştırılması	48
4.15: En yüksek akma dayanım değerleri için optimum parametreler.....	48
4.16: Elektrik direnci ölçüm cihazı	49
4.17: Saf YYPE'nin SEM görüntüsü ve EDS analizi	51
4.18: Saf YYPE'nin elementel analizi (mapping).....	51
4.19: 2 nolu YYPE kompozit numunesinin (%20 EVA ve %40 kalsit katkılı) SEM görüntüsü ve EDS analizi.....	52
4.20: 2 nolu YYPE kompozit numunesinin (%20 EVA ve %40 kalsit katkılı) elementel analizi (mapping).....	52
4.21: 4 nolu YYPE kompozit numunesinin (%25 grafit ve %5 elastomer katkılı) SEM görüntüsü ve EDS analizi	53
4.22: 4 nolu YYPE kompozit numunesinin (%25 grafit ve %5 elastomer katkılı) elementel analizi (mapping).....	53
4.23: 11 nolu YYPE kompozit numunesinin (%5 çapraz bağlayıcı ve %20 kalsit katkılı) SEM görüntüsü ve EDS analizi	54
4.24: 11 nolu YYPE kompozit numunesinin (%5 çapraz bağlayıcı ve %20 kalsit katkılı) elementel analizi (mapping)	54
4.25: 18 nolu YYPE kompozit numunesinin (%10 EVA, %5 çapraz bağlayıcı, %25 grafit, %40 kalsit ve %2,5 elastomer katkılı) SEM görüntüsü ve EDS analizi.....	55
4.26: 18 nolu YYPE kompozit numunesinin (%10 EVA, %5 çapraz bağlayıcı, %25 grafit, %40 kalsit ve %2,5 elastomer katkılı) elementel analizi (mapping)	55
4.27: 25 nolu YYPE kompozit numunesinin (%20 EVA, %2,5 çapraz bağlayıcı, %25 grafit ve %40 kalsit katkılı) SEM görüntüsü ve EDS analizi.....	56
4.28: 25 nolu YYPE kompozit numunesinin (%20 EVA, %2,5 çapraz bağlayıcı, %25 grafit ve %40 kalsit katkılı) elementel analizi (mapping).....	56

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo	Sayfa
No	No
1.1: Bazı polimer türleri ve sentezlenme yılları	3
1.2: Polimerlerin sınıflandırılması.....	3
1.3: Bazı önemli polimerler ve kullanım yerleri	6
1.4: Bazı ticari polietilen türleri ve özellikleri	8
1.5: EVA'nın temel özellikleri	11
3.1: Üretilen numunelere ait karışım oranları (kütlece %).....	26
4.1: Sertlik deney sonuçları.....	29
4.2: Sertlik sonuçlarına ait ANOVA analizi.....	30
4.3: Gerilme deney sonuçları	33
4.4: Gerilme deney sonuçlarına ait ANOVA analizi.....	34
4.5: Uzama deney sonuçları	37
4.6: Uzama sonuçlarına ait ANOVA analizi	38
4.7: Kopma dayanımı deney sonuçları	41
4.8: Kopma dayanımı sonuçlarına ait ANOVA analizi.....	42
4.9: Akma dayanımı deney sonuçları	45
4.10: Akma dayanımı sonuçlarına ait ANOVA analizi.....	46
4.11: Elektriksel direnç ölçüm sonuçları ($\times 10^9 \text{ohm}$).....	49

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

kg	: kilogram
g	: gram
cm	: santimetre
MPa	: mega paskal
μm	: mikrometre
$^{\circ}\text{C}$	: santigrat derece
dk	: dakika
%	: yüzde
~	: yaklaşık
Ω	: ohm

KISALTMALAR

C	: Karbon
H	: Hidrojen
O	: Oksijen
N	: Azot
Si	: Silisyum
P	: Fosfor
S	: Kükürt
Fe	: Demir
ASTM	: Amerika Test ve Malzeme Kuruluşu
PVC	: Polivinil Klorür
PE	: Polietilen
PP	: Polipropilen
YYPE	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen
LDPE	: Düşük Yoğunluklu Polietilen
LLDPE	: Lineer Düşük Yoğunluklu Polietilen
EVA	: Etil Vinil Asetat
ESD	: Elektro Statik Deşarj
ANOVA	: Varyans Analizi
RSM	: Cevap Yüzey Yöntemi

1. GİRİŞ

Günümüzde, elektronik cihazlar oldukça hassas yapılara sahiptir. Bu cihazların taşınması sırasında yüzeyde oluşan statik yüklerin ani değişimi, istenmeyen arızaların meydana gelmesine ve ürün kalitesinin düşmesine neden olmaktadır. Taşıma sırasındaki harekete bağlı olarak taşınan parçanın temas ettiği yüzeyde bulunan elektronların hareketi söz konusu olacaktır. Bu durum elektronik cihazda bir şarj dengesizliği meydana getirir. Bunun sonucunda; çıplak gözle tespiti mümkün olmayan bir yük boşalımı gerçekleşir ki bu durum elektronik cihaza veya devresine zarar verir. Bunun için, elektronik cihaz parçalarının mekanik dayanımı yüksek ve antistatik özelliğe sahip taşıma ambalajlarıyla sevk edilmesi, endüstriyel olarak maliyetin azaltılması açısından önemlidir.

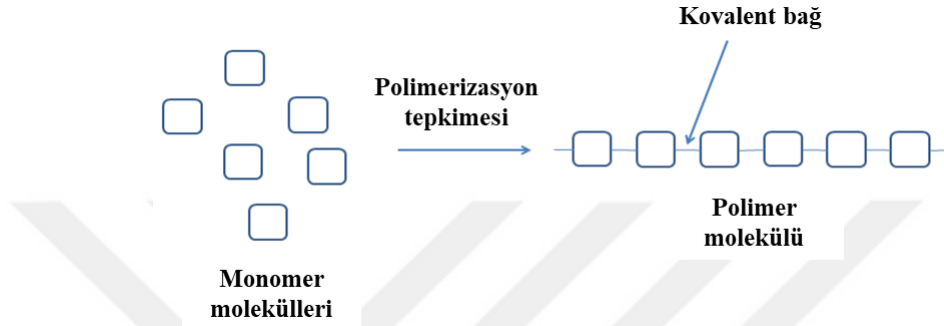
Yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE), sağlamlık, kimyasal direnç, kolay işlenebilirlik ve düşük maliyet gibi avantajlarıyla endüstride geniş bir uygulama yelpazesine sahip olan önemli bir termoplastik malzemedir. Ancak, YYPE'nin bazı mekanik ve elektriksel özellikleri özel uygulamalar için yeterli olmayabilir. Bu nedenle, YYPE'nin çeşitli katkıları ile takviye edilmesi, hem mekanik dayanıklılığı hem de elektriksel performansı iyileştirmesi bakımından önemlidir.

Bu tez çalışması kapsamında, elektronik cihazların taşınması sürecinde ani yük boşalmasına bağlı olarak zarar görmemesi için mekanik ve elektriksel iletkenliği iyileştirilmiş YYPE esaslı kompozitlerin üretimi amaçlanmıştır. Bu amaçla, hazırlanan deney tasarımına göre YYPE içerisine etil vinil asetat (EVA), maleik anhidrit (MA), grafit, kalsit ve termoplastik elastomer farklı oranlarda ekstrüzyon prosesi kullanılarak katkılanmış ve sonrasında elde edilen kompozitler enjeksiyon kalıplama yöntemiyle kalıplanmıştır. Üretilen nihai ürünlerin elektrik iletkenliği ve mekanik performansları üzerine etki eden parametreler istatistiksel olarak analiz edilmiştir.

1.1. Polimerler

Polimerler, günlük yaşamın pek çok alanında sıklıkla kullandığımız malzeme türlerinden birisidir. Polimer kelimesi, Yunanca'da "çok" anlamına gelen "poli" ve "parça" anlamına gelen "mer" kelimelerinin birleşmesinden oluşur. Monomerler, polimerizasyon reaksiyonu

sonucunda polimer yapıları oluştururlar. Polimerizasyon, iki veya daha fazla monomerin, molekül ağırlığı yüksek bir molekül oluşturmak üzere su, ısı veya herhangi bir çözücü varlığında meydana gelen kimyasal bir reaksiyondur. Şekil 1.1’de genel bir polimerizasyon tepkimesi şematize edilmiştir. Genel olarak, başta karbon (C) olmak üzere hidrojen (H) ve çeşitli inorganik elementleri ihtiva eden polimerler, çok sayıda monomerin polimerizasyon tepkimesi sonucunda meydana gelir (Smith, 2009).



Şekil 1.1: Polimerizasyon tepkimesi (Li vd., 2021)

1.1.1. Dünden Günümüze Polimerler

Günümüzde, endüstriyel amaçlı kullanılan ürünlerin pek çoğu polimerlerden üretilmektedir. Eski tarihlerde kaplumbağa kabuğu, hayvan boynuzu, kehribar ve lateks ihtiva eden ağaç özsularından elde edilen doğal polimerler ısı ve basıncın etkisiyle işlenerek çeşitli takı ve aksesuarlar haline getirilmekteydi. İlerleyen yıllarda doğal polimerlerin kimyasal modifikasyon işlemlerine tabi tutulmasıyla farklı alanlarda kullanılabilen birçok malzemenin üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu malzemelere örnek olarak; Goodyear firması tarafından sentezlenen vulkanize kauçuk ve Bracconot tarafından nitrat asidi, nişasta, pamuk ve ağaç elyafı kullanılarak sentezlenen selüloz nitrat verilebilir. Bu iki buluş polimer sanayisinin başlangıcında önemli rol oynamıştır.

Ancak, polimer endüstrisi İkinci Dünya Savaşı’na kadar ciddi bir ilerleme kaydedememiştir. İkinci Dünya Savaşı sırasında ve sonrasında doğal lateks, yün ve ipek gibi doğal polimerler kaynaklarına ulaşımın zorluğu sebebiyle alternatif olarak sentetik polimerlerin üretimi önemli bir ihtiyaç haline gelmiştir. Bu ihtiyacı karşılayabilmek için günümüz polimer sektöründe de yaygın olarak kullanılan naylon, akrilik, polietilen vb. çok sayıda sentetik

polimerler üretilmeye başlanmıştır (Feldman, 2008; Rasmussen, 2018). Yıllara bağlı olarak sentezlenen bazı polimer türlerine ait bilgiler Tablo 1.1.'de verilmiştir.

Tablo 1.1: Bazı polimer türleri ve sentezlenme yılları (Feldman, 2008)

Yıl	Polimer Adı
1930	Neopren
1933	Polietilen
1935	Naylon
1937	Poliüretan
1938	Teflon
1941	Polietilen Teraftalat
1947	Epoksi reçineler
1948	ABS
1954	Polipropilen

1.1.2. Polimerlerin Sınıflandırılması

Polimerler, yapıları gereği birbirlerinden farklı özellikler sergilerler. Polimerlerin kimyasal ve mekanik özellik olarak iki ana başlık altında sınıflandırmaları Tablo 1.2'de verilmiştir.

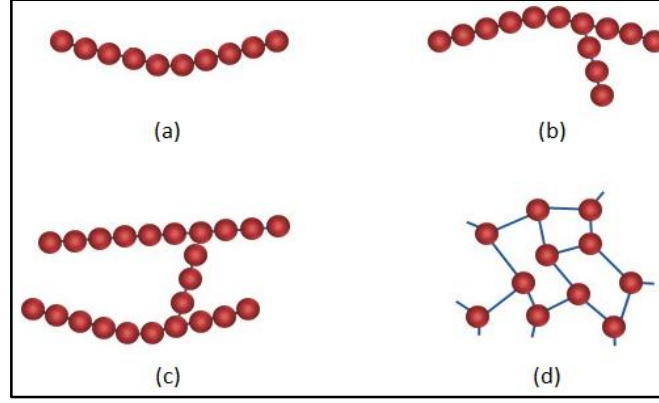
Tablo 1.2: Polimerlerin sınıflandırılması (Chanda, 2006)

Sınıflandırma	Türler
<i>Kimyasal Özelliklerine Göre Sınıflandırma</i>	
Kimyasal bileşenine göre	Organik İnorganik
Üretim yöntemine göre	Doğal Yarı Sentetik Sentetik
Bağ yapısına göre	Düz Zincirli Dallanmış Zincirli Çapraz Zincirli
<i>Mekanik Özelliklerine Göre Sınıflandırma</i>	
Monomer çeşitlerine göre	Homopolimer Kopolimer
Isıya karşı gösterdikleri tepkilere göre	Termoplastik Termoset
Uygulama ve fiziksel özelliklere göre	Elastomer (Kauçuk) Plastik Elyaf

Polimerler, ana zinciri oluşturan atom türlerine göre organik ve inorganik olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Organik polimerler, yapılarında C ve H atomlarını bulundurlar. İnorganik polimerler ise yapılarında C ve H atomlarının yanı sıra Si, P ve S gibi atomları bulunduran polimerlerdir. İnorganik polimerler, organik polimerlere kıyasla ısıya daha dayanıklıdır ve daha serttirler (Chanda, 2006).

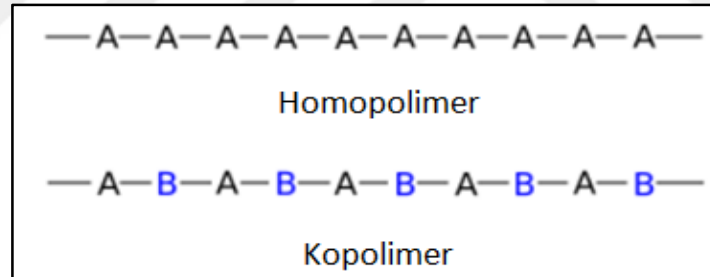
Polimerler, oluşum türlerine göre; doğal, yarı sentetik ve sentetik polimerler olarak 3 gruba ayrılır. Doğal polimerler; bitkiler ve hayvanlar gibi doğal kaynaklardan elde edilir. Proteinler, selüloz ve nişasta doğal polimerlere örnek olarak verilebilir. Yarı sentetik polimerler, doğal polimerlerden oluşan ancak yapıları kimyasal yollarla değiştirilen polimerlerdir. Kimyasal reaksiyonla oluşan ve ticari öneme sahip olan bu polimerlere nitril kauçuk ve selüloz nitrat örnek verilebilir. Sentetik polimerler, özellikle endüstriyel amaçlar için laboratuvar ortamında sentezlenerek elde edilir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan sentetik polimerlere polietilen, polistiren, polivinil klorür ve polipropilen örnek olarak verilebilir (Cowie ve Arrighi, 2007).

Polimerler, bağ yapısına göre düz, dallanmış ve çapraz bağlı olmak üzere 3 gruba ayrılır. Düz zincirli polimerler, monomerlerin birbirine doğrusal olarak bağlanmasıyla oluşur. Bu polimerler, yüksek erime noktalarına ve yüksek yoğunluğa sahiptir. Polietilen, polivinil klorür, polipropilen ve polistiren en yaygın örnekleridir. Dallanmış zincirli polimer yapısında doğrusal ana zincire rastgele noktalardan bağlanmış zincirler (dallar) vardır. Bu tür polimerlerin erime noktaları yoğunlukları düşüktür. Epoksi, poliüretan ve düşük yoğunluklu polietilen dallanmış zincirli polimerlerin en yaygın örnekleridir. Çapraz zincirli polimerde, monomerler üç boyutlu bir ağ oluşturarak birbirine bağlanır. Polimerlerin bağ yapılarına göre türleri Şekil 1.2’de gösterilmektedir (Carraher Jr, 2017).



Şekil 1.2: Lineer molekül (a), dallanmış molekül (b), çapraz bağlı molekül (c) ve ağ formundaki molekül (d) yapılarının şematik gösterimi (Chanda, 2006)

Polimerler, monomer çeşitlerine göre homopolimer ve kopolimer olmak üzere 2 gruba ayrılır. Polimer zinciri boyunca tekrar eden tek bir tür monomerin bulunduğu yapılar homopolimer denir. Eğer zincir boyunca tekrar eden farklı tür monomerler var ise bu yapılar kopolimer olarak adlandırılır (Hiemenz ve Lodge, 2007). Şekil 1.3'te homopolimer ve kopolimer yapılarına dair zincirler gösterilmektedir.



Şekil 1.3: Farklı monomer türlerine göre polimerler (Hiemenz ve Lodge, 2007)

Isıya karşı gösterdikleri tepkilere göre polimerler 2 gruba ayrılır. Termoplastik polimerler, moleküller arası kuvvetlerin polimer zincirlerini bir arada tuttuğu uzun zincirli bir yapıya sahiptir. Bu polimerler, ısıtıldıklarında yumuşarlar ve soğumaya bırakıldıklarında sertleşerek eski formlarına dönerler. Herhangi bir çapraz bağ içermezler. Isıtılarak ve kalıplanarak kolayca şekillendirilebilirler. En yaygın örnekleri polistiren ve PVC'dir. Termosetler, düşük molekül ağırlığına sahip yarı akışkan yapıda polimerlerdir. Isıtıldıkları zaman polimer zincirleri arasında çapraz bağlanma başlar ve sertleşirler. Isıtılmaları sürecinde üç boyutlu bir yapı oluştururlar. Sıcaklığın artışıyla yapıları bozulur. Bu tür polimerleri, kimyasal yapılarını bozmadan şekillendirmek mümkün değildir. Bakalit, bunun en yaygın örneğidir (Cowie ve Arrighi, 2007).

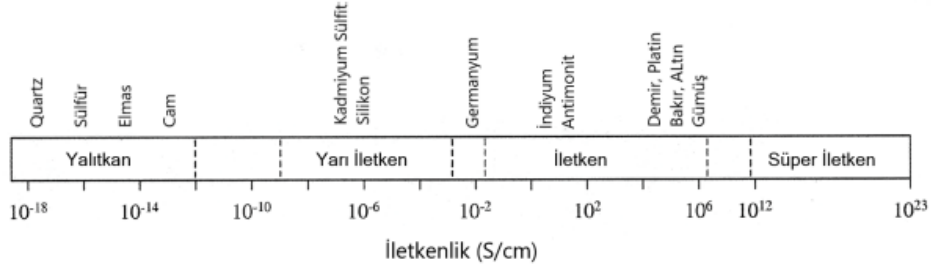
Elastomerler, dışardan bir kuvvet uygulandığında kolayca esneyebilen ve kuvvet ortadan kalktığında eski haline dönebilen bir polimer türü olarak tanımlanır. Elastomerler, yapılarında az sayıda çapraz bağ bulundurulur. Sıcaklık artışına bağlı olarak bozunur ve tekrar kullanılamaz hale gelirler. Kauçuk ve lastik en bilinen örnekleridir. Elyaf, zincirler arasında güçlü bağların bulunduğu polimer olarak bilinir. Bu güçlü bağlar, elyafa düşük esneklik ve yüksek çekme mukavemeti özelliklerini kazandırır. Formlarının uzun, ince ve iplik şeklinde olması, elyafı tekstil sektörünün önemli bir parçası haline getirmiştir (Hiemenz ve Lodge, 2007). Bazı önemli polimer türleri ve kullanım alanlarına dair bilgiler Tablo 1.3'te verilmiştir.

Tablo 1.3: Bazı önemli polimerler ve kullanım yerleri

Polimer	Kullanım Yeri
Polietilen	Elektrik kablo kılıfı, ambalaj film
Yüksek yoğunluklu polietilen	Taşıma kasaları, deterjan şişeleri, çöp bidonları
Alçak yoğunluklu polietilen	Çöp torbaları, inşaat örtüleri
Polivinilklorür	Boru, serum torbaları, hortum
Polipropilen	Tekstil, otomotiv ve gıda sektörü
Polistiren	Isı yalıtım malzemesi, otomobil parçaları
Poliüretan	Roket yakıtı bileşeni, izolasyon, köpük

1.1.3. Polimerlerin Elektriksel İletkenlik Özellikleri

Genel olarak yüksek molekül ağırlığına sahip polimerler, elektriksel yalıtım özellikleri sergiler. Bu özellikleri, polimerlere elektrik, elektronik sektörlerinde ve elektronik cihaz taşıma işleminde kullanımına imkan sağlamaktadır. Polimer bünyesindeki kovalent bağların varlığı elektronların hareketlerini sınırlar ve bu nedenle elektronlar metallerde olduğu gibi kolay hareket edemezler. Yalıtkan özelliğe sahip çoğu polimerin elektrik iletkenlik değerleri 10-12 ila 10-20 S/cm arasında değişim göstermektedir (Givaja vd., 2012). Bazı malzeme türlerinin elektrik iletkenlik değerlerine göre sınıflandırılması Şekil 1.4'te gösterilmiştir. Bazı polimerlerin çeşitli sektörlerde kendilerine kullanım alanı bulabilmeleri gösterdikleri elektriksel performanslarına bağlıdır.



Şekil 1.4: Elektrik iletkenlik değerlerine göre bazı malzemelerin sınıflandırılması (Gürakin, 2020)

Elektrik akımını taşıyabilecek serbest elektronlara sahip olmayan, dışardan bir elektrik alanı uygulandığında kutuplanma özelliği gösteren ve elektrik iletkenlik değeri sıfır veya çok düşük olan maddeler “dielektrik (yalıtkan)” madde olarak adlandırılır. Dolayısıyla, yalıtkan özellik gösteren polimerlerin statik bir elektrik alanında sabit hareketi söz konusu değildir ve bu tür malzemelerin bünyesinde serbest elektronlar olmadığından, elektrik malzeme içerisinden geçemez. Elektronlar ancak yer değiştirebilirler ve ortalama denge konumlarından saparak dielektrik polarizasyona neden olurlar (Poplavko, 2018).

Herhangi bir dielektrik malzemenin yalıtım özelliği, yeterince güçlü elektrik alanlarında bozulabilir. Bununla birlikte, polimerlerde elektrik mukavemeti 1000 MV/m kadar yüksek olabilir. Yalıtkanlık dayanım sınırını, polimer yapısı içerisindeki kovalent bağlarda bulunan elektronların iyonlaşma enerjileri belirler. Dielektrik bozulma, çok sayıda elektronun ana molekülden ayrılması ve ikincil iyonizasyon için elektrik alanında hızlanmasıyla meydana gelir. Dielektrik bozulma, çeşitli nedenlerde dolayı daha düşük elektrik alan kuvvetlerinde de gerçekleşebilir. Şayet bu süreçte dağıtılan güç çevreye kaybolmazsa, artan sıcaklık termal bozulmaya neden olabilir. Bu durumda meydana gelen arızanın gerilimi, numunenin geometrisine ve ortam sıcaklığına bağlı olarak değişir (Poplavko, 2018; Varma ve Sebastian, 2007).

1.1.4. Polietilen

Polietilen; moleküler yapısı, kimyasal kararlılığı ve üretim kolaylığı gibi özelliklerinden dolayı mühendislik ve endüstriyel uygulamalarında yaygın olarak kullanılan bir termoplastik çeşididir. Polietilenin kimyasal formülü $(C_2H_4)_n$ şeklindedir. Bir hidrokarbon olan polietilen, etilen monomerinin polimerizasyonu sonucu meydana gelir. Polietilen ilk olarak 1898

yılında diazometanı araştıran Alman kimyager Hans Von Pechmann tarafından sentezlenmiştir (Demirors, 2011). Beyaz renge sahip olan PE, 120-140°C arasında bir erime noktasına sahiptir. Endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılan PE türleri ve bazı özellikleri Tablo 1.4’te verilmiştir. PE, yoğunluklarına ve zincir bağlanma yapılarına göre sınıflandırılır. PE’nin fiziksel ve mekanik özellikleri; molekül ağırlığı, kristal yapı ve zincirlerin dallanma şeklinden önemli ölçüde etkilenir. PE malzemeleri; YYPE, LDPE ve LLDPE olarak gruplandırmak mümkündür (Vasile ve Pascu, 2005).

Tablo 1.4: Bazı ticari polietilen türleri ve özellikleri (Vasile ve Pascu, 2005)

Özellik	YYPE	AYPE	LAYPE
Yoğunluk kg/m ³	940-970	910-940	900-940
Elastisite modülü (MPa)	1070-1380	172-345	260-900
Akma mukavemeti (MPa)	18-30	9-19	7,6-19
Kopma uzaması (%)	10-1500	100-650	100-950
Sertlik (Shore D)	66-73	44-50	55-70
Erime sıcaklığı (°C)	125-132	98-115	100-125
Isıl bozunma sıcaklığı (0,45 MPa’da °C)	80-90	40-44	55-80

1.1.5. Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE)

YYPE, yüksek molekül ağırlığına sahip karbon ve hidrojen atomlarından oluşan hidrokarbon yapısında bir termoplastiktir. YYPE ve AYPE, etilenin polimerleşme reaksiyonu sonucu elde edilmektedir. Polimer zinciri, 500000 ile 1000000 tane karbon birimi uzunluğunda olabilir ve zincir moleküllerinin boyutu YYPE’nin mekanik özelliklerini belirler. YYPE’nin yoğunluğu AYPE’den daha yüksek olmasına rağmen, YYPE daha az dallanmış zincir yapısına sahiptir. Bu durum, YYPE’nin AYPE’den farklı olarak daha güçlü moleküller arası bağa sahip olması ve mukavemet kazanması anlamına gelmektedir. YYPE, AYPE’den daha sert ve daha opak olmakla birlikte daha yüksek sıcaklıklara dayanabilmektedir (Cheng, 2008).

YYPE’nin endüstriyel uygulamalarda tercih edilmesinin başlıca nedenleri; kimyasallara karşı dayanım, düşük sıvı absorpsiyonu, mukavemet ve darbe dayanımının yüksek olması ve hafiflik olarak sıralanabilir. Bununla birlikte, YYPE yüksek sıcaklıkta yeniden şekillendirilebilme özelliğine de sahiptir. Ancak, çeşitli katkı maddeleri kullanılarak

kimyasal açıdan modifiye edilmek suretiyle ısıyla sertleşebilme özelliği kazanabilmektedir. Bu işlem sonucunda da YYPE'nin mukavemet, darbe direnci ve termal direnç performanslarında iyileşme meydana gelir (Awad vd., 2019).

1.1.6. YYPE Kompozitlerin Özellikleri

YYPE kompozitler; saf haldeki YYPE'nin mekanik, termal, elektriksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirmek veya yeni işlevler kazandırmak için polimer matrisine çeşitli fiber, nanopartikül veya dolgu maddelerinin ilavesiyle elde edilir. Bu kompozitlerin özellikleri; katkı maddelerinin türüne, içeriğine ve işleme yöntemine bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. YYPE kompozitlerinin bilinen bazı özellikleri şunlardır:

Mekanik Dayanım: Saf YYPE matrisine cam elyafı, karbon elyafı veya çeşitli mineraller gibi dolgu maddelerinin eklenmesi; çekme dayanımı, eğilme dayanımı ve darbe direncinin artmasına neden olur. Bu sayede YYPE kompozitler, yüksek mukavemet gerektiren uygulamalar için kullanılabilir.

Kimyasal Direnç: Saf haldeki YYPE'nin kimyasal direnci yüksek olmakla birlikte bu özellik YYPE kompozitler için de genellikle geçerlidir. Bu durum, kimyasallara veya aşındırıcı ortamlara maruz kalınan durumlarda YYPE kompozitlerin kullanımına olanak sağlar.

Geri Dönüşüm: YYPE'nin termoplastik bir polimer türü olması nedeniyle YYPE kompozitler de geri dönüştürülebilir. Bu malzemeler, geri dönüşüm sürecinde önemli bir özellik kaybı olmaksızın çok defa eritilerek yeniden işlenebilir. Bu durum, YYPE ve YYPE kompozitlerinin çevre dostu bir malzeme olduğu anlamına gelmektedir.

Maliyet ve Tasarım: YYPE nispeten düşük maliyetli bir polimer çeşididir. YYPE kompozit üretimi için matrise çeşitli dolgu veya takviyelerin eklenmesi, malzeme maliyetlerini önemli ölçüde artırmadan performansını daha da geliştirebilir. Saf YYPE ile birlikte çeşitli katkıları ekstrüzyon prosesi ile işleyerek YYPE kompozitleri elde etmek ve sonrasında enjeksiyon yöntemi ile kalıplayarak çeşitli tasarımlar ve özel parçalar üretmek mümkündür (Callister Jr ve Rethwisch, 2020; Chawla, 2012).

1.2. YYPE Malzemenin Mekanik Özellikleri

YYPE, üstün mekanik özelliklerine sahip olarak bilinen bir polimerdir. Ancak, YYPE'nin özellikleri genellikle kullanım amacına ve üretim yöntemlerine bağlı olarak farklılık gösterebilir. YYPE'nin temel mekanik özelliklerinden bazılarını aşağıdaki şekilde sıralamak mümkündür;

Akma Mukavemeti: YYPE'nin akma mukavemeti genellikle yüksektir. Bu, belirli bir gerilme kuvveti altında YYPE'nin kırılmadan dayanabileceği anlamına gelir.

Kırılma Mukavemeti: Malzemenin maksimum gerilme altında kopma direncini ifade eder. YYPE'nin kırılma mukavemeti genellikle yüksektir.

Elastisite Modülü: Gerilme altında deformasyona maruz kaldığında eski haline geri dönen YYPE'nin elastisite modülü genellikle düşüktür.

Sertlik: YYPE'nin sertliği genellikle orta seviyededir. Dolgu maddelerinin türü ve miktarı ile üretim parametreleri sertli üzerinde etkilidir.

Darbe Mukavemeti: Darbe dayanım mukavemeti yüksek olan YYPE, herhangi bir kırılma meydana gelmeden darbeyi ve enerjiyi absorplayabilir.

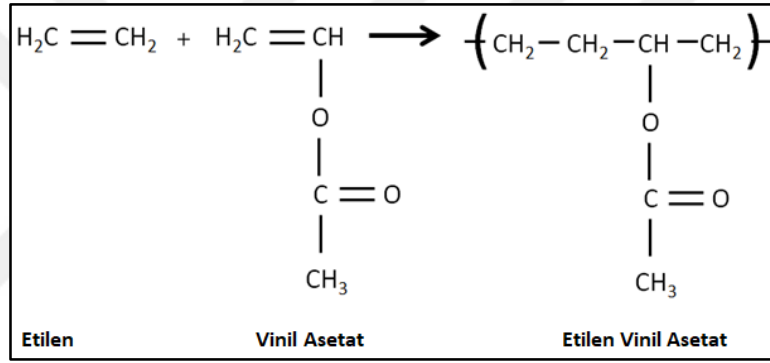
Termal Davranış: YYPE, her ne kadar belirli bir sıcaklık aralığında genellikle stabil mekanik özelliklere sahip olsa da, yüksek sıcaklıklarda yumuşama eğilimi gösterebilir (Bartczak, 2005; Menard ve Menard, 2020).

1.3. Katkı Maddeleri

Kompozit malzemelerin mekanik ve termal performanslarını iyileştirebilmek, işlenebilirliklerini artırmak amacıyla çeşitli katkı maddeleri kullanılmaktadır. Polimer kompozit üretiminde kullanılan bazı katkı maddeleri ve özellikleri aşağıda verilmiştir.

1.3.1. Etilen Vinil Asetat (EVA)

EVA kopolimeri, etilen ve vinil asetat monomerlerinden üretilir. Şekil 1.5'te EVA'nın oluşumuna ait polimerizasyon tepkimesi gösterilmektedir. EVA kopolimeri 50-80°C'de 2-8 MPa basınç altında çözelti, süspansiyon veya emülsiyon polimerizasyonu ile elde edilir. Vinil asetat içeriği ağırlıkça %10 ila %40 arasında olabilir. Tablo 1.5'te Vinil asetat içeriği %18 olan EVA'nın özellikleri verilmiştir. Vinil asetat içeriği %60'tan fazla olursa EVA kauçuğu oluşur. Vinil asetat içeriğindeki artış polimerin çekme mukavemeti, ısıya ve kimyasallara karşı direncinde azalmaya neden olur. EVA; şeffaf, esnek ve yumuşak bir termoplastiktir. EVA; düşük ve yüksek sıcaklıklarda esneklik gösterebilir, yüksek sürtünme katsayısına sahiptir ve kimyasallara karşı dirençlidir (Henderson, 1993).



Şekil 1.5: EVA'nın oluşumuna ait polimerizasyon tepkimesi (Fabris ve Knauss, 1989)

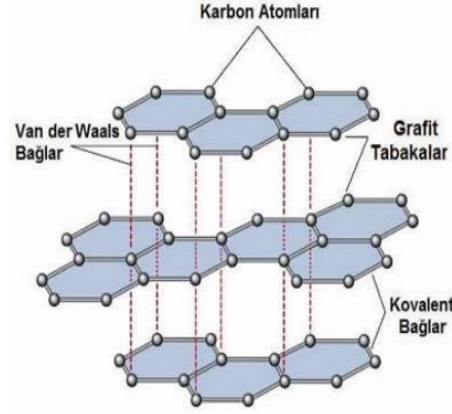
Tablo 1.5: EVA'nın temel özellikleri (Bachir Djaffar ve Kheirreddine, 2000)

EVA (Vinil asetat: 18 %)	Özellikler
Moleküler yapı	Düz zincirli
Yoğunluk	0,939 g/cm ³
Gerilme direnci	31 MPa
Kopma uzaması	>800 %
Erime hızı	1-2 g/10 dk

1.3.2. Grafit

Grafit, kristal yapısı itibarıyla elmas'a benzemektedir. Grafit ve elmas, aynı elementlerin farklı moleküler formlarına sahiptir. Grafit, yapısındaki zayıf Van der Waals bağları

nedeniyle yumuşak bir yapıdadır. Grafit'in hekzagonal yapısı buna örnektir (Şekil 1.6). Yapıdaki eşlenmemiş değerlik elektronunun varlığı grafit'in elektriksel iletkenliğinin yüksek olmasına neden olmaktadır (Suárez-Ruiz ve Crelling, 2008).

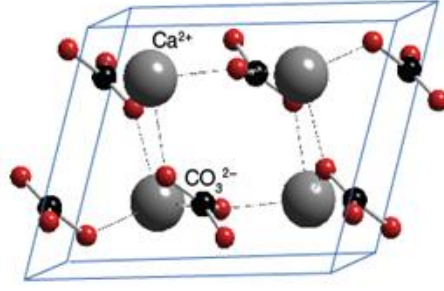


Şekil 1.6: Grafitin kimyasal yapısı (Cuhadaroğlu ve Kara, 2018)

Grafit'in erime sıcaklığı yaklaşık 3900°C civarındadır. Ancak, oksijen varlığında 300°C'den daha yüksek sıcaklıklarda oksitlenmeye başlar. Termal oksidasyon hızı yavaştır ve sıcaklığın artışıyla oksidasyon hızı hızlanır. Grafit ve grafit tozu, kendi kendini yağlama özellikleri gösterdiklerinden dolayı endüstriyel uygulamalar için önemlidir (Suárez-Ruiz ve Crelling, 2008).

1.3.3. Kalsit (CaCO_3)

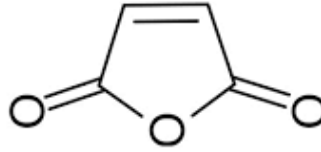
Kalsit, ülkemizde zengin rezervleri bulunan, düşük maliyetli, beyaz renkli inorganik yapıya sahip bir dolgu maddesidir. Diğer adı, kalsiyum karbonat'tır. CaCO_3 içeren polimer kompozitlerin mekanik özellikleri, polimer matris ile kalsitin temas halinde olduğu arayüzeylere bağlıdır. Mikron boyutundaki CaCO_3 partikülleri plastik üretiminde polimerler malzemelerin mekanik performanslarını iyileştirmek ve üretim maliyetlerini azaltmak amacıyla kullanılmaktadır (Elleithy vd., 2010). Şekil 1.7'de kalsitin kimyasal yapısı gösterilmektedir.



Şekil 1.7: Kalsit'in (CaCO_3) kimyasal yapısı (Overton, 2018)

1.3.4. Maleik Anhidrit

Keskin kokulu ve beyaz renkli olan maleik anhidrit, $\text{C}_4\text{H}_2\text{O}_3$ şeklinde kimyasal formüle sahip organik bir bileşiktir. Şekil 1.8'de maleik anhidrit'in kimyasal yapısı gösterilmektedir. İnsan sağlığı açısından zararlı olabilmektedir. Molekül ağırlığı 98,06 g/mol ve erime noktası $52,8^\circ\text{C}$ 'dir. Özgül ağırlığı ise $1,48 \text{ g/cm}^3$ 'tür (Trivedi, 2013).



Şekil 1.8: Maleik anhidrit'in kimyasal yapısı (Trivedi, 2013)

1.3.5. Cam Elyaf

Cam elyaflar genellikle silika (SiO_2) esaslıdır (Tuttle, 2003). Yüksek çekme mukavemetine ve sertliğe sahip olan cam elyaf, polimer kompozitlerin mekanik performansını artırması nedeniyle kompozit üretiminde yaygın olarak kullanılan bir katkı maddesidir. Bununla birlikte, elektrik ve elektronik uygulamalar için yüksek dielektrik mukavemetinden dolayı iyi bir yalıtkan özelliğe sahiptir. Bu özellikleri sayesinde cam elyaf, çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanılan malzemeler için önemli bir bileşen haline gelmiştir (Sawalha vd., 2007).

1.3.6. Talk

Talk, hidrat içeren bir magnezyum silikat bileşiği olup formülü $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ şeklindedir. İçeriğinde %63,5 SiO_2 , %31,7 MgO ve %4,8 H_2O bulunur. Yumuşak bir yapıya sahip olan

talk, yüksek kimyasal direnç ve termal kararlılığıyla bilinen bir mineraldir. Elektrik iletkenliği ve hidrofobik özelliğe sahip olan talk, opaktır. Bu da onu kağıt, boya ve plastik üretimlerinde dolgu maddesi olarak kullanılmasına imkan sağlar (Bellayer vd., 2009).

1.3.7. Metal Tozları

Polimerlerin iletkenliğini arttırmak amacıyla çeşitli metal tozları katkı malzemesi veya yüzey kaplama malzemesi olarak kullanılabilir. İletkenlik artışı, metal tozun türüne ve miktarına bağlı olarak farklı bir eğilim sergileyebilir (Shang vd., 2013).

1.4. Statik Elektrik

Genellikle polimer esaslı malzemelerin yüzeyinde dengesiz bir biçimde biriken elektrik yükleri statik elektriği meydana getirir. Statik elektrik ile ilgili detaylı bilgiler aşağıda verilmiştir.

1.4.1. Genel Bilgi

Statik elektrik, iki madde veya nesnenin birbirine temas edip ayrılması veya sürtünmeleri ile oluşan elektrik enerjisi olarak tanımlanabilir. Genellikle farklı ya da aynı, iletken veya yalıtkan maddelerin sürtünmesi sonucunda elektrik yüklerinin orantısız dağılımı sonucu meydana gelir. Bu yüklerin birikmesi, statik elektrik olgusunu oluşturur. Birbirleriyle temas halinde olan maddeler arasında, temas yüzeyi boyunca elektron transferi gerçekleşir. Metallerde yaygın olan statik elektrik genellikle anlıktır. Bununla birlikte, PE gibi yalıtkan özelliğe sahip olan polimerler üzerinde oluşan statik elektrik uzun süre kalıcı olabilir (Toktaş vd., 2018).

Statik elektrik, polimer malzemelerin kullanıldığı endüstrilerde sorunlara ve maddi kayıplara sebebiyet verebilir. Örneğin, elektronik parçaların taşınması sürecinde, metal yüzey ile diğer yüzeylerin temas etmesi yüzeyler üzerinde biriken elektrik yükünün homojen olmayan şekilde dağılımına yol açabilir. Bu durum, elektrostatik boşalmalara neden olarak taşınan elektronik cihazların zarar görmesi ve maddi kayıpların meydana gelmesi demektir (Pionteck ve Wypych, 2007). Bu nedenle, temaslı elektrifikasyonun, maliyetli ve tehlikeli

sonuçları göz önüne alındığında, katı yüzeylerin teması sonucunda statik yük oluşumunu önlemek için stratejiler geliştirmek önemlidir.

1.4.2. Antistatik Özellik

Elektrik yükleri akacak bir yol bulamadıkları zaman malzeme yüzeyinde birikerek statik yüklerin oluşmasına neden olurlar. İletken bir yolun oluşması durumunda, bu yükler malzeme yüzeyinden serbestçe hareket etmeye başlar. Bu tür olaylara elektro statik deşarj (ESD) denir. Endüstriyel uygulamalarda ESD olaylarını önleyebilmek amacıyla elektrostatik yükleri dağıtan antistatik ürünler kullanılmaktadır. Bu antistatik ürünlere, zemin kaplamaları, boyalar, ambalajlar, ayakkabılar, taşıma ambalajları ve giysiler örnek olarak verilebilir (Can ve Yılmaz, 2015).

Polimerler genellikle yaklaşık $10^{11} \Omega/\text{sq}$ (ohm kare)'den büyük öz direnç değerlerine sahip yalıtkan malzemelerdir. Antistatik malzemeler ise yaklaşık 106 ile $10^{11} \Omega/\text{sq}$ arasında değişen öz dirençlere sahiptir. Antistatik malzemelerin öz direncinin düşük seviyede olması ark oluşumuna neden olabilir. Antistatik malzemelerin kullanımı minimum düzeyde statik yük oluşumunu sağlar (Meriç, 2011).

ESD kontrol prosedürlerine göre, elektrostatik boşalmaları önleyebilmek için statik yüklerin sistemden uzaklaşmasına yardımcı olabilen statik yük dağıtıcı malzemelerin kullanılması gerekir. Yük dağıtan malzeme yüzeyindeki yük oluşumu triboelektrik olarak gerçekleşir. Statik enerji dağıtan bu malzemeler, yüzeydeki statik yüklerin akışını ve topraklanmasını sağlar. Antistatik malzemeler iletken malzemelere kıyasla daha yavaş bir yük akışına sahiptir. Yüksek iletkenliğe sahip bir yüzeyden statik yüklerin aniden kaldırılması ark oluşumuna, elektrik çarpmalarına ve çeşitli kazalara yol açabilir. Bunu önleyebilmek için statik yüklerin malzemeden yavaşça topraklanması gerekir. Antistatik malzemeler, statik yüklerin akışına izin verir. Yukarıda da ifade edildiği üzere, yük akışı yüzey direncinin kontrol altında olması nedeniyle iletken malzemelerde gözlenen akışa göre daha uzun sürer. Bu sayede, elektrostatik boşalma aniden gerçekleşmez. ESD uygulamalarında kullanılan malzemelerin elektrik dirençlerinin 10^6 - $10^9 \Omega/\text{sq}$ aralığında olması istenir (Burunkaya, 2008; Vinson ve Liou, 2000).

1.5. Polimer Matrisli Kompozit Üretim Yöntemleri

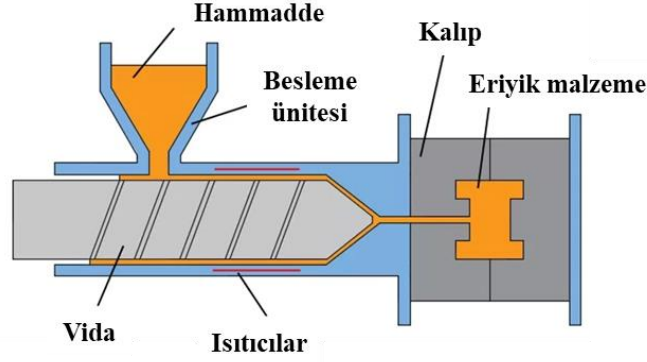
Polimer esaslı kompozit üretimi hem laboratuvar hem de endüstriyel ölçekte genellikle ekstrüzyon ve enjeksiyon yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemlere ait bilgiler aşağıda verilmiştir.

1.5.1. Ekstrüzyon

Polimer matrisli kompozit üretiminde yaygın olarak ekstrüderler tercih edilmektedir. Tek ve çift vidalı olmak üzere iki çeşit ekstrüder vardır. Çift vidalı ekstrüder, malzemeleri işlemek için birbirine geçen iki vida kullanan özel bir ekstrüzyon tasarımıdır. Tek vidalı ekstrüzyona kıyasla malzemeleri daha etkin karıştırma ve işleme özelliklerine sahiptir. Bu yöntemde malzemeler bir hazne aracılığıyla ekstrüdere beslenir, eritilir ve dönen vidalar tarafından karıştırılır. Vidanın dönme hareketi verimli bir karıştırma sağlayarak polimerin, katkı maddeleri ve takviyeler ile homojen bir şekilde karışmasını sağlar. Sıcaklığın etkin bir parametre olduğu bu süreçte beslenen malzemelerin bünyesindeki uçucu bileşenlerin ve nemin etkili bir şekilde uzaklaştırılması mümkündür (Bakırcı vd., 2023).

1.5.2. Enjeksiyon Kalıplama

Enjeksiyon kalıplama, ergiyik haldeki polimer kompozitin bir kalıba belirli bir basınç yardımıyla enjekte edilmesi sonucu istenilen geometriye sahip numunelerin üretildiği bir yöntemdir. Granül formundaki polimer kompozit, bir hazne vasıtasıyla enjeksiyon cihazına beslenir. Beslenen malzeme, sıcaklığın ve dönen vidanın etkisiyle kovan içinde ısıtılır ve eriyik haline getirilir. Eriyik formundaki malzeme vidanın dönme hareketi sayesinde ileri doğru hareket ederek yüksek basınç altında kalıp boşluğuna enjekte edilir. Malzeme kalıbı doldurduktan sonra soğumaya ve katılaşmaya bırakılır. Enjeksiyon kalıplama yöntemiyle farklı geometrilere sahip parçaların yüksek hassasiyetle seri üretimi gerçekleştirilebilir. Plastik enjeksiyon cihazının şematik gösterimi Şekil 1.9'da verilmiştir.



Şekil 1.9: Plastik enjeksiyon cihazının şematik gösterimi

1.6. Cevap Yüzey Yöntemi (RSM)

Cevap yüzeyi yöntemi (RSM), bir veya daha fazla çıktı değişkeni ile bazı girdi değişkenleri arasındaki ilişkiyi inceleyen ve optimizasyon süreçlerinde kullanılan bir istatistiksel teknik olarak tanımlanabilir. Bu yöntem, regresyon analizi yardımıyla modeller oluşturur ve parametreler (faktör) arasındaki etkileşimleri değerlendirmeye yardımcı olur. Geleneksel deney yöntemleri ile faktörler ve yanıtlar arasındaki ilişkileri ortaya koymak oldukça karmaşık ve uzun bir süreçtir (Myers vd., 2004). RSM, uygun deney tasarımı ile bir yanıtı, onu etkileyen bir dizi girdi değişkeninin veya faktörün seviyeleriyle ilişkilendirmeye çalışır. Geleneksel deney tasarımlarına kıyasla, RSM'ye göre hazırlanan deney tasarımları daha az sayıda deney yaparak daha tutarlı sonuçlar elde etmeye imkan sağlar. Ayrıca, önerilen model ile deneysel veriler arasındaki uyumluluğu göstermekle birlikte maliyet ve zaman açısından da avantaj sağlar (Allaix ve Carbone, 2011; Myers vd., 1989).

1.7. Varyans Analizi (ANOVA)

Çeşitli matematiksel ve istatistiksel yöntemleri bir araya getiren “varyans analizi (ANOVA)”, çok değişkenli işlem optimizasyonu uygulamalarında geleneksel yöntemlere kıyasla daha fazla tercih edilmektedir. Bu yöntem, farklı bağımsız değişkenlerin eşzamanlı etkilerini belirleyebilmek için kullanılır. Hazırlanan deneysel tasarımlar, deneysel parametreleri içeren bir dizi ampirik denklem sunar. Bu sayede süreçleri kısa sürede optimize ederek verimliliği artırmak ve maliyetleri düşürmek mümkündür (Dixit ve Yadav, 2019).

1.8. RSM ve ANOVA İlişkisi

RSM’de, deneysel olarak tasarlanmış veriler kullanılarak bir regresyon model oluşturulur. Bu model, yanıt değişkeni ile girdi faktörleri arasındaki ilişkiyi analiz eder. Modelin istatistiksel önemini değerlendirmek için ANOVA kullanılır. ANOVA, yanıt değişkenindeki varyasyonun girdi değişkenlerinden mi yoksa rastgele hatalardan mı kaynaklandığını belirlemeye yardımcı olur. Bu analiz, yanıt değişkeninin toplam varyansını, regresyon ve hata gibi farklı kaynaklara ayırır. Böylece, her bir faktörün ve bunların etkileşimlerinin yanıt üzerindeki etkisini anlamak mümkün hale gelir. ANOVA, regresyon modelinin geçerliliğini test etmek için ortalama kare değerlerini karşılaştıran bir çıktı sunar. Hangi faktörlerin ve etkileşimlerin istatistiksel olarak önemli/anlamalı olduğunu ortaya koyar. RSM’de ANOVA kullanımı, model doğrulama ve önem testi açısından kritik öneme sahiptir ve süreçlerin daha doğru bir şekilde optimize edilmesine olanak sağlar (Bezerra vd., 2008).

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Souza vd. (2011) YYPE/tekstil lifleri kompozitlerinin mekanik özelliklerini iyileştirmeyi amaçlamışlardır. Bunun için, ilk olarak tekstil lifleri sülfürik asit ile ön işleme tabi tutulmuştur. Kompozitlerin homojen bir şekilde üretimi için kütlece %5 ve %10 tekstil lifi içeren karışımlar sıcaklık etkin bir mikserde karıştırılmıştır. Hazırlanan kompozitler, ASTM D-638 standardına göre enjeksiyon kalıplama yöntemiyle şekillendirilmiştir. Deneysel sonuçlar, atık tekstil liflerinin YYPE matrisine ilavesiyle polimerin çekme mukavemetinin ve nem direncinin artırdığını ortaya koymuştur. Mekanik performanstaki artışın liflerin polimer matris içerisinde homojen bir dağılım sergilemesinden kaynaklandığı belirtilmiştir (Souza vd., 2011).

Çift vidalı ekstrüder ve enjeksiyon kalıplama yöntemi ile farklı oranlarda (kütlece %5, 10 ve 15) demir (Fe) partikülleri içeren YYPE kompozitler hazırlanmış ve mekanik özellikleri karakterize edilmiştir. Saf YYPE ile karşılaştırıldığında, Fe katkılı kompozitlerin akma ve çekme mukavemeti, yüzde (%) uzama ve darbe mukavemetinin daha düşük olduğu, elastiklik modül ve sertlik değerlerinin ise daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Kütlece %5 oranında Fe ilavesi, YYPE'nin darbe dayanımını ve % uzama oranını sırasıyla yaklaşık %40 ve %90 oranında azaltırken, elastikiyet modülünü yaklaşık %31 oranında artırmıştır. Fe içeriğinin belirli bir seviyeyi geçmesi durumunda ise, kompozit yüzeyinde çatlama meydana geldiği görülmüştür (Gungor, 2007).

YYPE'nin mekanik özellikleri üzerindeki etkisini incelemek amacıyla farklı miktarlarda (kütlece %10-70 oranlarında) ve farklı partikül boyutlarına (75–2300 µm) sahip mermer ve granit tozlarının kullanıldığı çalışmada belirtilen partiküller ilk önce 100°C sıcaklıktaki fırında 24 saat süreyle kurutulmuştur. Sonrasında, nemi uzaklaştırılan katkılar ekstrüder yardımıyla farklı oranlarda YYPE matrisine ilave edilerek karıştırılmıştır. Ekstrüde edilmiş kompozit, 150 bar hidrolik basınç ve 100°C'de beş dakika süreyle sıkıştırılarak kalıplanmıştır. Deneysel verilere göre, kompozitin elastik modülü partikül miktarının artmasıyla artarken, partikül boyutunun artmasıyla elastik modül değerinde azalma meydana gelmiştir. Bununla birlikte, partikül boyutundaki artış, YYPE'nin mekanik performansında da azalmaya neden olmuştur (Awad vd., 2020).

Saf ve geliştirilmiş formdaki iki farklı grafit çeşidinin YYPE'ne katkılanmasıyla hazırlanan kompozitlerin elektriksel ve mekanik özelliklerinin incelendiği bir başka çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- Her iki grafit formunun polimer matrise ilavesinin YYPE'nin viskozitesini arttırdığı,
- Yalıtkan özeliğe sahip YYPE'nin iletkenlik özelliği kazanabilmesi için gerekli olan katkı oranının geliştirilmiş grafit için kütlece %3 ve saf grafit için ise %5 olduğu,
- Saf grafite kıyasla, geliştirilmiş grafitin YYPE'nin çekme mukavemetini kısmen daha fazla oranda iyileştirdiği,
- Her ne kadar mekanik performansta ciddi bir iyileşme meydana gelmese de, YYPE'nin elektriksel iletkenliğini, mekanik mukavemetini ve sertliğini arttırmada geliştirilmiş grafit kullanımının daha avantajlı olduğu belirlenmiştir (Zheng vd., 2004).

Altıntaş vd. (2004), eriyik harmanlama ve sıkıştırma kalıplama yöntemi ile düşük yoğunluklu polietilen (LDPE), karbon siyahı ve doğal lif içeren kompozitler hazırlayarak yapılan analizler sonucunda aşağıdaki sonuçlara varmışlardır;

- Karbon siyahı içeriğinin azaltılması ve fiber miktarının artması kompozitlerin elektriksel iletkenliğini azaltmıştır.
- Doğal liflerin yalıtım özelliklerinden dolayı lif içeriğinin artışı kompozitlerin termal iletkenliklerinde azalmaya neden olmuştur. Ayrıca, artan lif içeriği kompozitin çekme mukavemeti ve % uzama performansı üzerinde olumsuz bir etki göstermiştir. Diğer taraftan, lif miktarındaki artış kompozitin darbe direncini iyileştirerek kompozitin ani kuvvetlere karşı daha dayanıklı hale gelmesini sağlamıştır.

YYPE esaslı ve geliştirilmiş grafit (EG) takviyeli kompozitlerin elektriksel ve mekanik özelliklerinin incelendiği deneysel çalışmada, farklı partikül büyüklüğüne sahip (5-7 μm (GG5) ve 40-55 μm (GG50)) ve yoğunlukları 2,25 g/cm³ olan EG partikülleri YYPE bünyesine ilave edilmiştir. Deneyler sonucunda; YYPE'ye %40 oranında GG5 ve GG50 ilavesi kompozitin çekme dayanımını sırasıyla %18,7 (GG5/YYPE) ve %8,5 (GG50/YYPE) oranında artırmıştır (Sever vd., 2013).

YYPE'nin mekanik özellikleri üzerine karbon siyahının etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, karbon siyahının makromolekül zincirinin hareketliliğini kısıtlayarak kompozitlerin sertliğini arttırdığı bulunmuştur. Ayrıca, YYPE bünyesindeki karbon siyahı içeriğinin artışı

kompozitlerin çekme ve eğilme mukavemetleri ile eğilme modülünde önemli ölçüde iyileşme meydana getirmiştir (Liang ve Yang, 2009).

Haseena vd. (2007), elyaf takviyeli doğal kauçuk kompozitlerin elektriksel iletkenliklerini inceledikleri çalışmada, kullanılan elyaflara alkali, asetilasyon, benzoilasyon ve permanganat gibi farklı kimyasal modifikasyon işlemlerini uygulamışlardır. Sonuçlar, işlem görmemiş lif içere kompozitin elektrik iletkenliğinin, kimyasal işlem görmüş elyaf içeren kompozitlerden daha iyi olduğunu ortaya koymuştur. Bu durumun, elyafta bulunan polar selülozik hidroksil gruplarının uzaklaştırılarak nem emiliminin azaltılması ve böylece elyafların yönelme polarizasyonunda bir azalmanın meydana gelmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Kompozitlerin elektriksel iletkenlikleri, katkılanan lif miktarına bağlı olarak lineer bir artış sergilemiştir (Haseena vd., 2007).

Bedük'ün (2018) yapmış olduğu çalışmada, antioksidan özelliğe sahip olan lignin; PE, PP ve PVC gibi polimerlere farklı oranlarda katkılanmıştır. Katkı maddesi olarak kullanılan lignin, fındık kabuğundan elde edilmiştir. Sonuçlar, lignin varlığının polimerlere antistatik özellik kazandırdığını göstermiştir. Ayrıca, polimer bünyesindeki lignin miktarının artışı veya ligninin partikül boyutunun azaltılması durumunda, polimer yüzeylerinin daha az elektrik yükü taşıdığı tespit edilmiştir (Bedük, 2018).

Polimer kompozitler üretmek için matris olarak YYPE, organik dolgu maddesi olarak mısır nişastası ve çapraz bağlayıcı olarak da maleik anhidrit aşılınmış polietilen'in (MAPE) kullanıldığı bir çalışmada, karışım ilk olarak tek vidalı bir ekstrüderden geçirilerek homojen ve granül formunda kompozit elde edilmiştir. Sonrasında, granül formundaki bu kompozitler enjeksiyon makinesinde test geometrilerine uygun olarak kalıplanmıştır. Üretilen numunelerin mekanik özellikleri belirlenmiş ve deneysel sonuçlar ANOVA ile karakterize edilmiştir. Deneysel verilere göre, nişastanın eklenmesiyle kompozitlerin çekme direnci, uzama ve darbe direnci değerleri azalırken elastikiyet modülü ve eğilme direnci değerlerinin arttığı görülmüştür. Kompozit bünyesindeki nişasta miktarının artışı ile birlikte kompozitlerin yoğunluk değerlerinde de artış kaydedilmiştir. Ayrıca, MAPE ilavesinin kompozitlerin eğilme direnci, çekme ve eğilme de elastikiyet modülü değerlerinde artışa neden olduğu tespit edilmiştir (Karakus, 2016).

Bu tez çalışması kapsamında, YYPE polimer matrisi içersine EVA, grafit, kalsit, çapraz bağlayıcı ve elastomer cevap yüzey yöntemi (RSM) ile hazırlanan deney tasarımına göre farklı oranlarda ilave edilmiştir. Çapraz bağlayıcı olarak maleik anhidrit kullanılmıştır. Hazırlanan karışımlara sırasıyla ekstrüzyon ve enjeksiyon işlemleri uygulanarak toplam 26 adet kompozit üretimi gerçekleştirilmiştir. Literatürdeki klasik deney tasarımlarından farklı olarak çok bileşenli bir deney tasarımının uygulandığı bu tez çalışmasında, üretilen kompozitlerin mekanik özelliklerinin ve elektrik iletkenliklerinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Elde edilen deneysel veriler, ANOVA ile istatistiksel olarak analiz edilmiş ve parametrelerin (katkı türleri ve oranları) kompozitlerin mekanik ve elektrik iletkenlik performansları üzerindeki etki ve önem dereceleri belirlenmiştir.



3. MATERYAL VE METOT

Deneylerde kullanılan hammaddeler ve özellikleri, deneylerin yapılışı ve karakterizasyon işlemlerine ait bilgiler aşağıda verilmiştir.

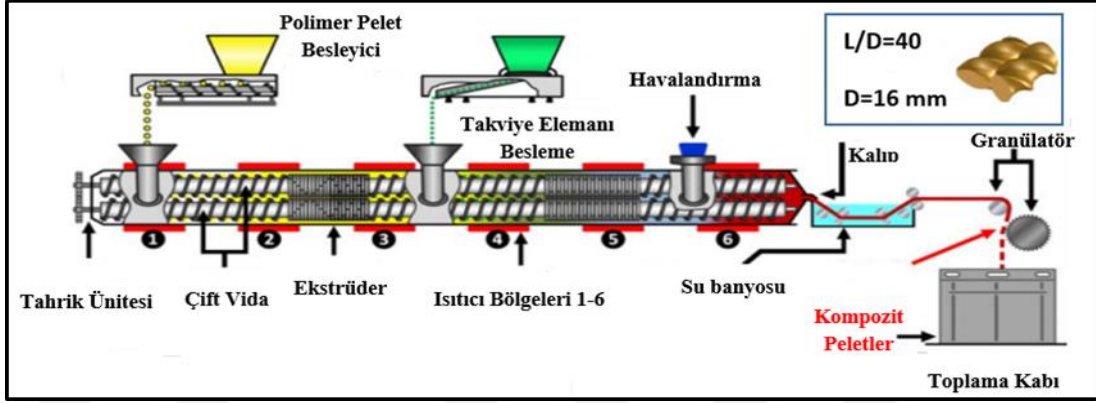
3.1. Kullanılan Malzemeler

YYPE peletleri, İzmir'deki Petkim Petrokimya tesislerinden temin edildi. S0464 şeklinde bir ticari koda sahip olan YYPE peletin 23°C'deki yoğunluğu 0,961 g/cm³, ergime sıcaklığı 134°C, erime akış hızı (190°C/2,16 kg) 0,36 g/10 dk ve vicat yumuşama noktası 128°C'dir. %18 oranında vinil asetat içeriğine sahip 0,939 g/cm³ yoğunluğundaki Etil vinil asetat (EVA) ise Bursa'daki ticari bir işletme olan Plastdepo A.Ş'den, 200 mesh partikül boyutu ve 5,4 g/cm³ yoğunluğundaki grafit Ankara'daki Aklar Kimya'dan, 2,75 g/cm³ yoğunluğa sahip kalsit Nanokar Ltd. Şti.'den, elastomer malzeme Basel A.Ş'den ve çapraz bağlayıcı olarak kullanılan ve yoğunluğu 1,48 g/cm³ olan maleik anhidrit ise Aker Kimya'dan temin edildi.

3.2. YYPE Kompozitlerin Üretimi

YYPE kompozitleri, aynı yönde birlikte döneabilen çift vidalı ekstrüder (Gölnar, Türkiye) kullanılarak eriyik harmanlama tekniği ile üretilmiştir. Ekstrüderin vida çapı (D) 40 mm ve uzunluk/çap (L/D) oranı 16'dır. Mil dönüş hızı ve kalıplama basıncı sırasıyla 100 rpm ve 6,7 bar'dır. Kompozitler Tablo 3.1'deki karışım oranlarına göre üretilmiştir. Karıştırma işleminden önce, YYPE ve katkı maddelerin bünyesindeki nemi uzaklaştırmak için hammaddeler 80°C'de 24 saat boyunca kurutuldu. Eriyik harmanlama işlemi için ekstrüderin sıcaklığı besleme bölgesinden çıkışa kadar sırasıyla 50, 200, 205, 210, 215 ve 220°C olacak şekilde ayarlandı. Ekstrüderden çıkan erimiş çubuk formundaki malzeme, su banyosunda ortam sıcaklığında soğutuldu ve bir peletleyici yardımıyla granül (pelet) haline getirildi. Deneylerde kullanılan çift vidalı ekstrüderin şematik gösterimi ve cihazın kendisi sırasıyla Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de verilmiştir. Tüm peletler kalıplama işleminden önce homojenliği sağlamak için karıştırma işlemine tabi tutuldu. Daha sonra, peletlenmiş kompozitler mikroenjeksiyon cihazı kullanılarak çeşitli analizlere uygun numune geometrisine göre enjeksiyonla kalıplandı (Xplore IM12, Netherlands). Enjeksiyon kalıplama işlemi 220°C

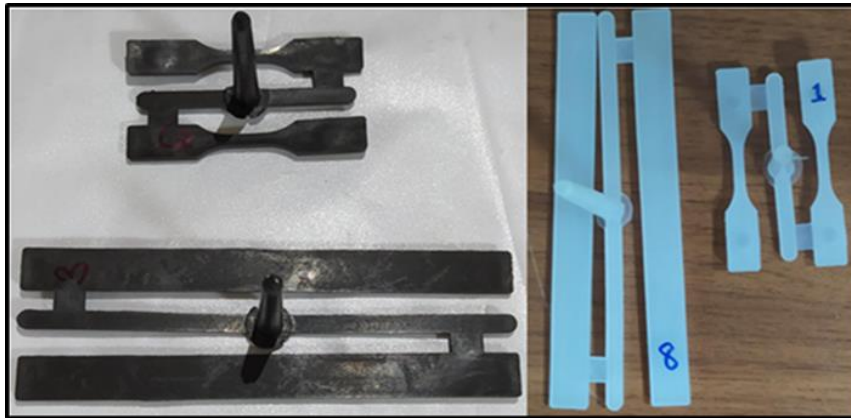
varil sıcaklığı, 25°C kalıp sıcaklığı ve 7 bar enjeksiyon basıncı şartları altında gerçekleştirildi. Katkılı YYPE kompozitler ve saf haldeki YYPE numunesi aynı proses şartlarında üretildi. Üretilen numunelere ait görüntüler Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.1: Çift vidalı ekstrüderin şematik gösterimi



Şekil 3.2: Deneylerde kullanılan çift burgulu ekstrüder makinesi



Şekil 3.3: Üretilen numune örnekleri

3.3. Cevap Yüzey Yöntemi (RSM) ve Varyans Analizi (ANOVA)

Çok sayıda bağımsız değişkenlerin etkili olduğu proseslerde, değişkenler arasındaki eşzamanlı etkileşimi ortaya koymak ve sonuçları yorumlamak amacıyla çeşitli istatistiksel yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar arasında en fazla tercih edilen istatistiksel yöntemlerden birisi de Cevap Yüzey Yöntemi (RSM)'dir. Bu yöntemde, planlanan deney tasarımı ile, deneysel sonuçlar ve proses parametreleri arasında ampirik eşitlikler elde edilmektedir. Böylece, daha az sayıda deney ile proses şartlarının optimizasyonu mümkün olabilir (Abdulrahman Oyekanmi vd., 2019; Bezerra vd., 2008; Dixit ve Yadav, 2019). Bu tez çalışmasında, polimer matris olarak YYPE kullanılmıştır. Kompozit üretimi için kütlece farklı oranlarda (her bir bileşen için üç farklı seviye) EVA (0, 10 ve 20 g), çapraz bağlayıcı (0, 2,5 ve 5 g), grafit (0, 12,5 ve 25 g), kalsit (0, 20 ve 40 g) ve elastomer (0, 2,5 ve 5 g) bileşenlerini içeren toplam 26 deney tasarlanmıştır (Tablo 3.1). Deney sonuçlarının analizinde istatistiksel veri analiz programı olan Design Expert12 kullanılmış ve deney şartlarının geçerliliği Varyans Analizi (ANOVA) ile analiz edilmiştir.

ANOVA analizinde, YYPE kompozitlerin özelliklerini etkileyen tüm değişkenler için kareler toplamı (SS), serbestlik derecesi (DF), ortalama kare (MS), F oranı ve P değeri gibi değerler hesaplanmaktadır. YYPE kompozit özellikleri üzerinde hangi parametrenin ne oranda etkili olduğu ANOVA analizinden elde edilen p değerine göre değerlendirilmektedir. Diğer bir ifadeyle, p değerinin $<0,05$ olduğu değişkenlerin YYPE kompozit özellikleri üzerinde daha etkili olduğunu söylemek mümkündür.

Tablo 3.1: Üretilen numunelere ait karışım oranları (kütlece %)

Deney No	EVA	MA	Grafit	Kalsit	Elastomer
1	0	0	0	0	0
2	20	0	0	40	0
3	0	5	0	0	5
4	0	0	25	0	5
5	20	5	0	40	5
6	20	0	25	40	5
7	20	5	0	0	0
8	20	0	25	0	0
9	20	5	25	0	5
10	0	2,5	0	40	2,5
11	0	5	0	20	0
12	0	2,5	25	20	5
13	0	0	25	40	0
14	0	5	12	40	5
15	20	0	0	0	5
16	0	0	0	40	5
17	0	5	25	0	0
18	10	5	25	40	2,5
19	20	5	12,5	40	0
20	10	2,5	0	40	0
21	10	5	12,5	20	2,5
22	0	0	25	20	0
23	0	5	12,5	0	0
24	10	5	25	20	5
25	20	2,5	25	40	0
26	0	0	25	40	2,5

3.4. Karakterizasyon İşlemleri

Saf YYPE ve YYPE kompozitlerin yüzey morfolojik özellikleri SEM-EDS analizi ile belirlendi (Tescan, Maia3 Xmu). Numunelerin sertlik değerleri ASTM D-2240 standardına göre (Astm, 2010) Shore D sertlik test cihazı (Bareıss HPE II, Almanya) ile ölçüldü. Çekme testleri ASTM D-638 standardına göre 5 mm/dk çekme hızında 10 kN yük kapasiteli çekme test cihazı (Shimadzu AGS-X) kullanılarak gerçekleştirildi. Testler tekrarlanabilirlik için beş kez tekrarlandı. Numunelerin, elektrik iletkenlik ölçümleri dört nokta elektrot yöntem prensibine göre çalışan cihaz kullanılarak gerçekleştirildi.



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tablo 3.1’deki karışım oranlarına göre üretilen numunelerin sertlik, mekanik performans ve elektrik iletkenlik ölçümleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen deneysel sonuçlar ANOVA yöntemiyle istatistiksel olarak aşağıdaki şekilde değerlendirilmiştir.

4.1. Sertlik

Polimer kompozit bir malzemenin sertliği içerisinde bulunan katkı maddesinin sertliğine, matris içindeki miktarına ve dağılımına bağlıdır. Tablo 4.1’de saf YYPE ve YYPE kompozitlerin sertlik deneylerine ait sonuçları göstermektedir. 1 nolu saf numunenin sertlik değeri 51,9 olarak ölçülmüştür. Deneysel bulgular; 10, 12, 13, 16 ve 26 nolu numunelerin sertlik değerlerinin saf numuneye göre yüksek olduğunu göstermektedir. Tablo 4.1’deki karışım oranları da dikkate alındığında, yüksek sertlik değerlerine sahip bu numunelerin bünyesinde EVA bileşeninin olmadığı, yüksek miktarda sadece kalsit veya kalsit/grafit ihtiva ettiği anlaşılmaktadır. Sertlik değerindeki bu artış, YYPE ve katkı maddeleri arasındaki adezyon kuvvetinin güçlü olmasından ve katkı maddelerinin sertliğinin YYPE’ye göre daha yüksek olmasından kaynaklanabilir (Awad ve Abdellatif, 2019; Hassanien ve Seedahmed, 2015; Mahfoudh vd., 2013). Sertlik değerindeki artışın bir diğer nedeni de kullanılan katkıların (özellikle grafit tabakalı bir forma sahiptir) polimer zincir hareketliliğini azaltması olabilir (Kumar vd., 2009; Srinath ve Gnanamoorthy, 2007).

İstatistiksel veri analizi programı tarafından numunelerin sertlik değerleri için belirlenen regresyon modeli eşitlik (1)’de verilmiştir. Buna göre; en etkin faktörün A ile tanımlanan EVA olduğu görülmektedir. Karışım içerisindeki EVA miktarının artışı sertlik üzerinde negatif bir etki oluşturmaktadır. B (çapraz bağlayıcı) ve E (elastomer) faktörlerindeki değişim sertlik üzerinde benzer bir etki gösterirken C (grafit) ve D (kalsit) faktörleri sertlik üzerinde pozitif bir etkiye sahiptir. Diğer bir ifadeyle, karışımdaki grafit ve kalsit miktarının artışı, sertlik değerlerinin de artmasına neden olmaktadır. Diğer taraftan, faktörlerin cevap üzerindeki etkilerinin önem dereceleri varyans analiz (ANOVA) sonuçlarında yer alan “f değeri” ve “kareler toplamı” değerleri üzerinden karşılaştırılabilir. Cevap üzerindeki en etkili faktör “f değeri” ve “kareler toplamı” açısından en büyük sayısal değere sahip olan faktör olarak tanımlanır. Buna göre; kompozit karışımı içerisindeki bileşenlerin sertlik üzerindeki

etki dereceleri büyükten küçüğe EVA > kalsit > grafit > elastomer > çapraz bağlayıcı şeklinde sıralanabilir. Tablo 4.2’deki verilere göre, p değeri (hata değeri olasılığı) 0,05’den daha düşük olduğundan mevcut deneysel çalışma için önerilen modelin uygun olduğu görülmektedir (Dağlı vd., 2010; Myers vd., 2016; Nigiz, 2018).

Tablo 4.1: Sertlik deney sonuçları

Numune	Sertlik (Shore)	Numune	Sertlik (Shore)	Numune	Sertlik (Shore)
1	51,9	11	46,3	21	45,5
2	45,7	12	52,6	22	50,8
3	38,5	13	53,7	23	48,0
4	45,1	14	54,3	24	51,9
5	42,4	15	38,2	25	49,2
6	46,5	16	53,3	26	59,6
7	43,3	17	51,7		
8	46,3	18	48,0		
9	42,3	19	45,4		
10	52,4	20	48,1		

Tablo 4.2’deki, regresyon katsayısı (R^2) değerinin yüksek olması (1’e yakın olması) deneysel bulgular ile öngörülen değerlerin uyum içerisinde olduğunu göstermektedir. ANOVA analiz tablosunda yer alan “standart sapma” değeri, modelin tahmin ettiği değerler ile gerçek değerler arasındaki hata miktarını ifade eder. Analiz sonucu elde edilen “ortalama” değeri veri setinin ortalamasının bir göstergesidir. “Varyasyon katsayısı” terimi standart sapmanın ortalamaya oranının yüzde olarak gösterilmesi olarak tanımlanır. “Varyasyon katsayısı” ne kadar düşük ise modelin güvenilirliği o kadar fazladır. Sertlik değeri için hesaplanan varyasyon katsayısı değeri (%4,53) kabul edilebilir bir değerdir. “Ayarlanmış R^2 ” değeri ise R^2 ’nin düzeltilmiş hali olup modeldeki serbestlik derecelerine göre ayarlanır. Sertlik faktörü için elde edilen 0,8132 değeri, modelin deneysel sonuçlarla uyumlu olduğunu ancak R^2 ’ye kıyasla biraz daha düşük kaldığını göstermektedir. Tablo 4.2’deki “tahmini R^2 ” terimi modelin yeni veri setleri üzerindeki tahmin gücünün bir göstergesidir. “Yeterli hassasiyet” terimi de modelin sinyal-gürültü oranını ifade etmektedir. Genel olarak, bu değer 4’ten büyük olması modelin sinyal-gürültü oranının yeterince yüksek olduğunu ve modelin güvenilir tahminler yapabileceğini gösterir. Sonuç olarak, sertlik değerleri için yukarıdaki analiz sonuçları dikkate alındığında, önerilen modelin deneysel sonuçlardaki

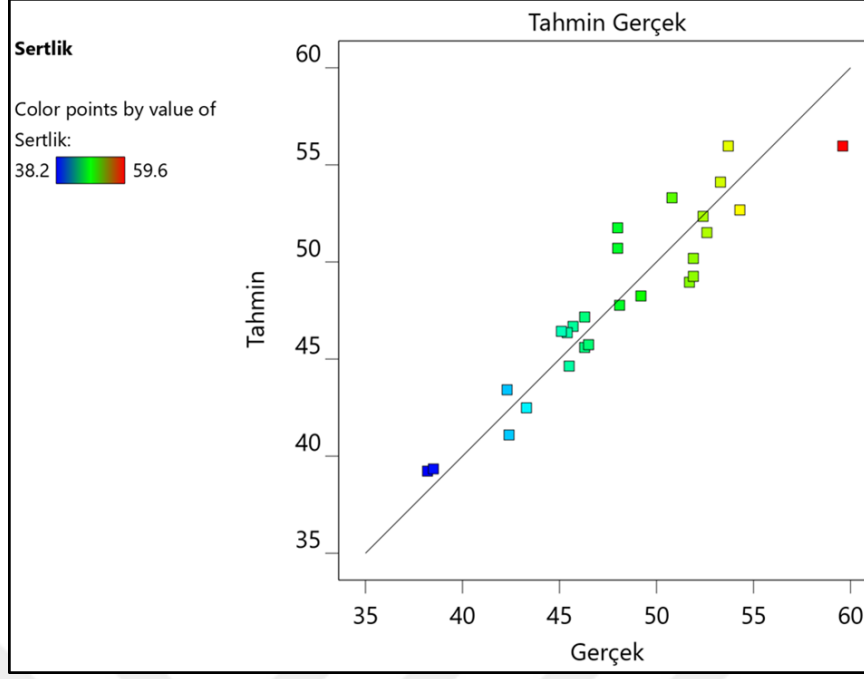
varyansın büyük bir kısmını açıklayabildiği ($R^2 = 0,8730$) ve yeterli doğrulukta tahminler yapabildiği görülmektedir (yeterli hassasiyet = 12,5886).

$$Sertlik = +47,30 - 3xA - 0,7906xB + 2xC + 2,70xD - 1,26xE - 1,07xAD + 1,31xBC + 1,76xDE \quad (\text{Eşitlik 1})$$

Şekil 4.1’de, deneysel ve model eşitliği kullanılarak elde edilen tahmini en yüksek sertlik değerlerinin birbirleriyle uyumlu olduğu görülmektedir. Bu, deney tasarımında kullanılan 2FI regresyon modelinin tasarımında yer alan herhangi bir değişkene ait cevap faktörünü hesaplamak için uygun ve kullanılabilir olduğu anlamına gelmektedir. Ayrıca, Şekil 4.1’deki tahmini ve gerçek sertlik değerlerinin dağılımı normal çizgisinden kayda değer bir sapma göstermemektedir (Oktor vd., 2023).

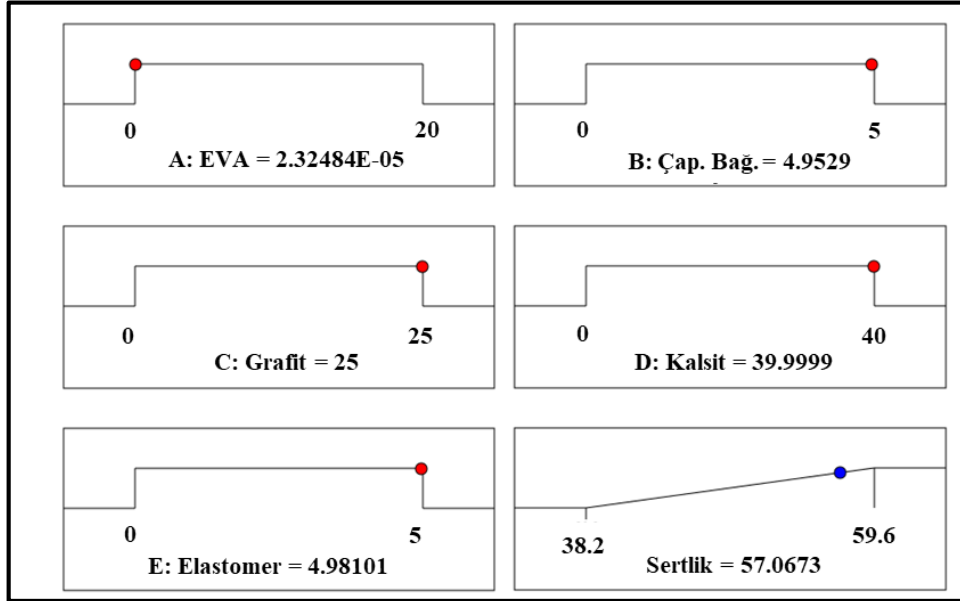
Tablo 4.2: Sertlik sonuçlarına ait ANOVA analizi

Kaynak	Kareler toplamı	Serbestleşme derecesi (DF)	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri	
Model	554,68	8	69,34	14,61	< 0,0001	Anlamlı
A-EVA	183,98	1	183,98	38,76	< 0,0001	
B-Çap.Bağ.	12,72	1	12,72	2,68	0,1200	
C-Grafit	85,55	1	85,55	18,02	0,0005	
D-Kalsit	145,73	1	145,73	30,70	< 0,0001	
E-Elastomer	33,41	1	33,41	7,04	0,0167	
AD	20,42	1	20,42	4,30	0,0536	
BC	29,61	1	29,61	6,24	0,0231	
DE	53,02	1	53,02	11,17	0,0039	
Artan	80,69	17	4,75			
Hata toplam	635,37	25				
Standart sapma		2,18	R^2		0,8730	
Ortalama		48,12	Ayarlanmış R^2		0,8132	
Varyasyon katsayısı (%)		4,53	Tahmini R^2		0,7269	
			Yeterli hassasiyet		12,5886	



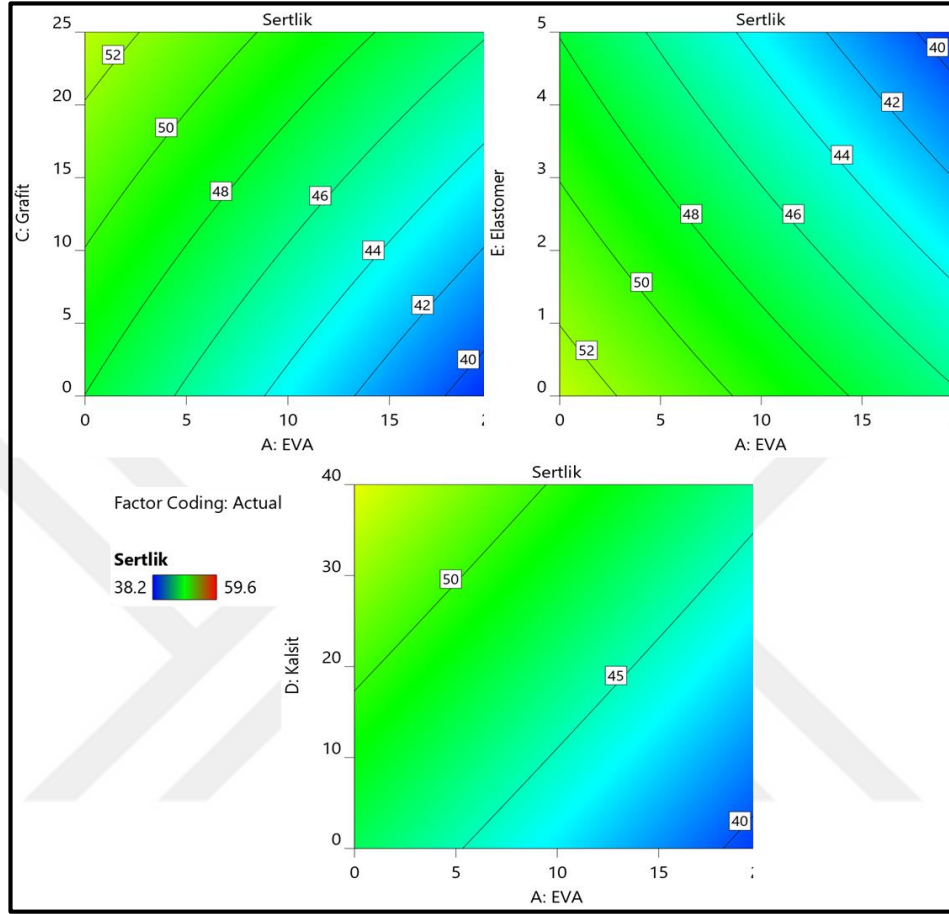
Şekil 4.1: Deneysel ve RSM verilerinin en yüksek sertlik değerleri açısından karşılaştırılması

Optimum sertlik değerine ulaşabilmek için karışımı oluşturan bileşenlerin optimum değerleri Şekil 4.2’de görülmektedir. Buna göre; 57,06 sertlik değerine sahip bir YYPE kompozit üretimi için bileşenler ve kütlece miktarlarının EVA (0.1 g), çapraz bağlayıcı (4,95 g), grafit (25 g), kalsit (39,9 g) ve elastomer (4,98 g) olması öngörülmektedir.



Şekil 4.2: En yüksek sertlik değerleri için optimum parametreler

Şekil 4.3'teki verilere göre, EVA miktarındaki artışın sertlik değerlerini azalttığı, grafit miktarındaki artışın ise sertlik değerlerinde artmaya neden olduğu açıktır.



Şekil 4.3: Elastomer, EVA, grafit, kalsit ve çapraz bağlayıcı içeriğinin sertlik değerleri üzerine etkilerinin counter grafikler ile gösterimi

4.2. Gerilme Dayanımı

Tablo 4.3'te saf YYPE ve YYPE kompozitlerin gerilme dayanım sonuçları görülmektedir. Bu sonuçlara göre; 8, 12, 13 ve 26 nolu numunelerde, referans numuneye (sadece YYPE, 14,16 MPa) kıyasla gerilme dayanımında bir artış gözlenmiştir. Kompozit karışım oranlarına göre, gerilme dayanımındaki bu artışın grafit ve kalsit varlığından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. En düşük gerilme dayanım değeri kütlece %20 EVA, %5 çapraz bağlayıcı, %40 kalsit ve %5 elastomer içeren 5 nolu numunede 4,87 MPa olarak elde edilmiştir.

Tablo 4.3: Gerilme deney sonuçları

Deney No	Gerilme (MPa)	Deney no	Gerilme (MPa)	Deney no	Gerilme (MPa)
1	14,16	11	12,40	21	11,73
2	9,64	12	14,87	22	13,35
3	14,16	13	15,53	23	8,67
4	12,26	14	12,92	24	10,78
5	4,87	15	10,91	25	9,46
6	8,68	16	11,82	26	15,26
7	11,09	17	12,33		
8	14,24	18	13,42		
9	9,40	19	11,35		
10	12,26	20	10,89		

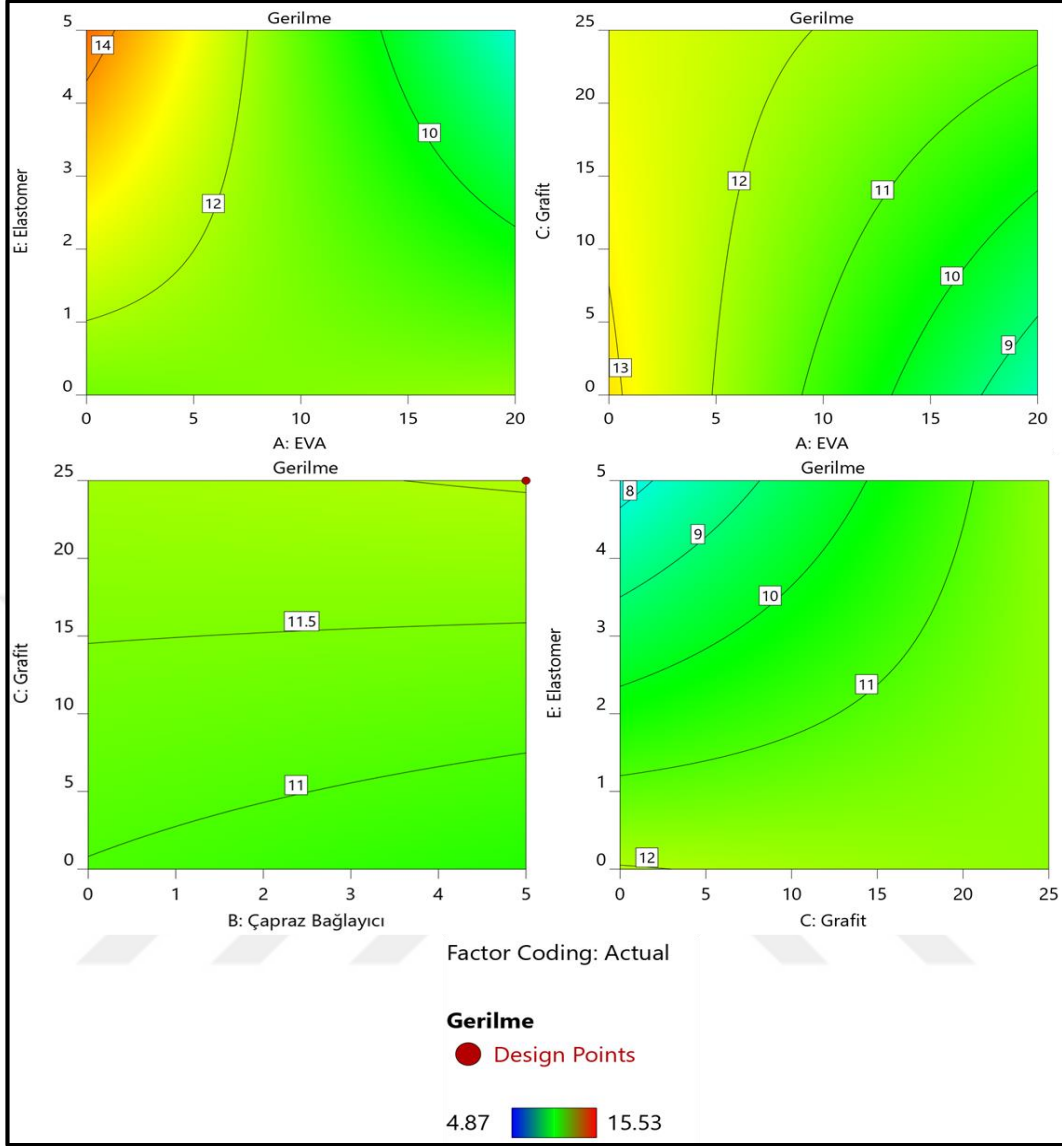
Numunelerin gerilme dayanımı için belirlenen regresyon model eşitliği aşağıda verilmiştir (Eşitlik 2). Eşitliğe göre, gerilme dayanımı üzerindeki en etkili bileşen EVA'dır. Ayrıca, grafit bileşeni hariç diğer tüm bileşenlerin miktarındaki artış gerilme dayanımını olumsuz yönde etkilemektedir. Buna göre; karışımdaki grafit miktarının artışı gerilme dayanımında da artışa neden olur. Bununla birlikte, Tablo 4.4'deki "f değeri" ve "kareler toplamı" terimlerinin sayısal büyüklükleri de dikkate alındığında bileşenlerin gerilme dayanımı üzerindeki etki dereceleri EVA > elastomer > grafit > çapraz bağlayıcı > kalsit olarak sıralanabilir. Hata değeri olasılığı olarak bilinen p değerinin 0,05'ten düşük olması önerilen bu modelin deneysel sonuçlarla uyum içerisinde olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde, R² değerinin (0,8809) 1'e yakın olması deneysel sonuçlar ile önerilen modelin uyumlu olduğunun bir diğer göstergesidir. Standart sapma değerinin düşük olması (1,37), önerilen modele ait tahminlerin gerçek değerlere daha yakın olması anlamına gelmektedir. Yeterli hassasiyet değeri (12,40) ise önerilen modelin yeterli doğrulukta ve güvenilir tahminler yapabildiğini göstermektedir.

$$\begin{aligned} \text{Gerilme} = & +11,59 - 1,52xA - 0,4515xB + 0,5302xC - 0,4255xD - \\ & 0,5990xE - 0,9405xAD - 0,9124xAE + 0,8152xCD \end{aligned} \quad (\text{Eşitlik 2})$$

Tablo 4.4: Gerilme deney sonuçlarına ait ANOVA analizi

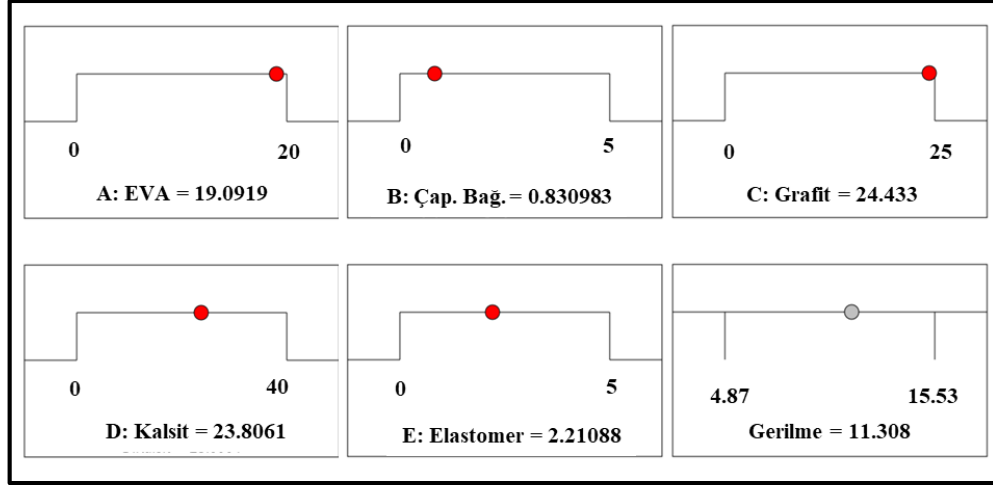
Kaynak	Kareler toplamı	Serbestleşme derecesi (DF)	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri	
Model	114,45	8	14,31	7,57	0,0002	Anlamlı
A-EVA	48,50	1	48,50	25,67	< 0,0001	
B-Çap.Bağ.	4,23	1	4,23	2,24	0,1530	
C-Grafit	5,98	1	5,98	3,17	0,0930	
D-Kalsit	3,60	1	3,60	1,90	0,1856	
E-Elastomer	7,52	1	7,52	3,98	0,0623	
AD	15,95	1	15,95	8,44	0,0099	
AE	15,80	1	15,80	8,36	0,0101	
CD	11,67	1	11,67	6,18	0,0236	
Artan	32,12	17	1,89			
Hata toplam	146,57	25				
Standart sapma		1,37	R ²		0,8809	
Ortalama		11,79	Ayarlanmış R ²		0,7777	
Varyasyon katsayısı (%)		11,66	Tahmini R ²		0,5573	
			Yeterli hassasiyet		12,4032	

Şekil 4.4'teki sonuçlara göre, kompozitlerin gerilme değerlerinin genel manada EVA miktarındaki artışa bağlı olarak azalma eğiliminde olduğu söylenebilir. Burada, elastomer miktarının artışıyla birlikte gerilme değeri başlangıçta düşüş göstermekte ve belirli bir elastomer içeriğinden sonra artış sergilemektedir. Sonuçlara göre, en yüksek gerilme değerine genel olarak elastomer oranının yüksek, EVA miktarının ise az olduğu karışım oranlarında elde edildiği söylenebilir.



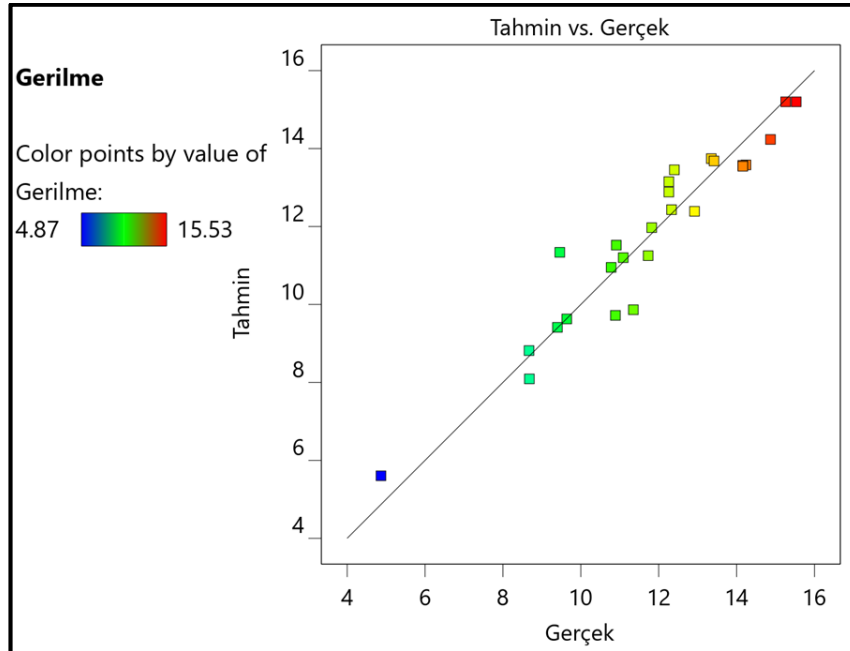
Şekil 4.4: EVA, grafit, kalsit içeriğinin gerilme dayanımı üzerine etkilerinin 3D ve counter grafikler ile gösterimi

Şekil 4.5'te YYPE kompozitlerin maksimum gerilme dayanımı (11,308 MPa) için bileşenlere ait karışım oranlarının EVA (19,09 g), çapraz bağlayıcı (0,83 g), grafit (24,4 g), kalsit (23,8 g) ve elastomer (2,21 g) olması öngörülmektedir.



Şekil 4.5: En yüksek gerilme dayanımı için optimum parametreler

Şekil 4.6'daki gerçek gerilme değerlerine karşı tahmini gerilme değerlerine ait grafik incelendiğinde, tüm noktaların lineer çizgi etrafında olduğu görülmektedir. Noktaların lineer çizgi üzerinde yer alması modelin yeterliliğinin bir göstergesidir (Lu vd., 2009). Dolayısıyla, deneysel gerilme dayanım sonuçlarının tahmini gerilme dayanım sonuçları ile uyumlu olduğu söylenebilir. Elde edilen sonuçlar, literatürde daha önce bildirilen sonuçlara benzerdir (Dixit ve Yadav, 2019; Satapathy ve Das, 2014).



Şekil 4.6: Deneysel ve RSM verilerinin en yüksek gerilme dayanım değerleri açısından karşılaştırılması

4.3. Uzama

Saf YYPE ve YYPE kompozitlerin uzama değerleri Tablo 4.5'te verilmiştir. 1 nolu numunenin (referans) uzama değeri %50,39 olarak ölçülmüştür. 15 nolu numune (%20 EVA ve %5 elastomer katkı) hariç diğer tüm numunelerin uzama değerlerinin referans numuneye kıyasla daha düşük olduğu gözlenmiştir. 15 nolu numunenin uzama değerindeki bu artışa, sünek özelliğine sahip EVA ve elastomer varlığının neden olduğu düşünülmektedir. En düşük uzama değeri (%3,88) ise 26 nolu numunede (%25 grafit, %40 kalsit ve %2,5 elastomer) meydana gelmiştir. Genel manada, polimer bir malzemede inorganik dolgu maddesi miktarına bağlı olarak uzama değerinin azalması beklenen bir durumdur. Dolayısıyla, grafit ve kalsit katkısı YYPE esaslı kompozitin gevrek davranış sergilemesine neden olmuştur. Benzer sonuçlar, literatürde farklı araştırmacılar tarafından da rapor edilmiştir. Zheng vd. YYPE içerisine %3 oranında grafit ilavesinin uzama değerinde yaklaşık %150'lik bir azalmaya neden olduğunu bildirmişlerdir (Zheng vd., 2004). Benzer şekilde, bir başka çalışmada da grafit miktarına bağlı olarak polietilen kompozitin uzama değerinde %27 oranında bir azalma kaydedilmiştir. Bu azalmanın grafitin geometrik şekil özelliğinden (keskin köşeli) ve grafit partiküllerin polimer matris bünyesinde homojen dağılmamasından kaynaklandığı belirtilmiştir (Krupa vd., 2004).

Tablo 4.5: Uzama deney sonuçları

Numune	Uzama (%)	Numune	Uzama (%)	Numune	Uzama (%)
1	50,39	11	24,52	21	20,83
2	36,55	12	6,11	22	28,09
3	45,64	13	4,39	23	38,62
4	19,67	14	5,64	24	5,79
5	32,88	15	57,93	25	7,86
6	15,81	16	20,00	26	3,88
7	30,47	17	11,52		
8	45,76	18	4,34		
9	38,38	19	10,64		
10	12,44	20	22,30		

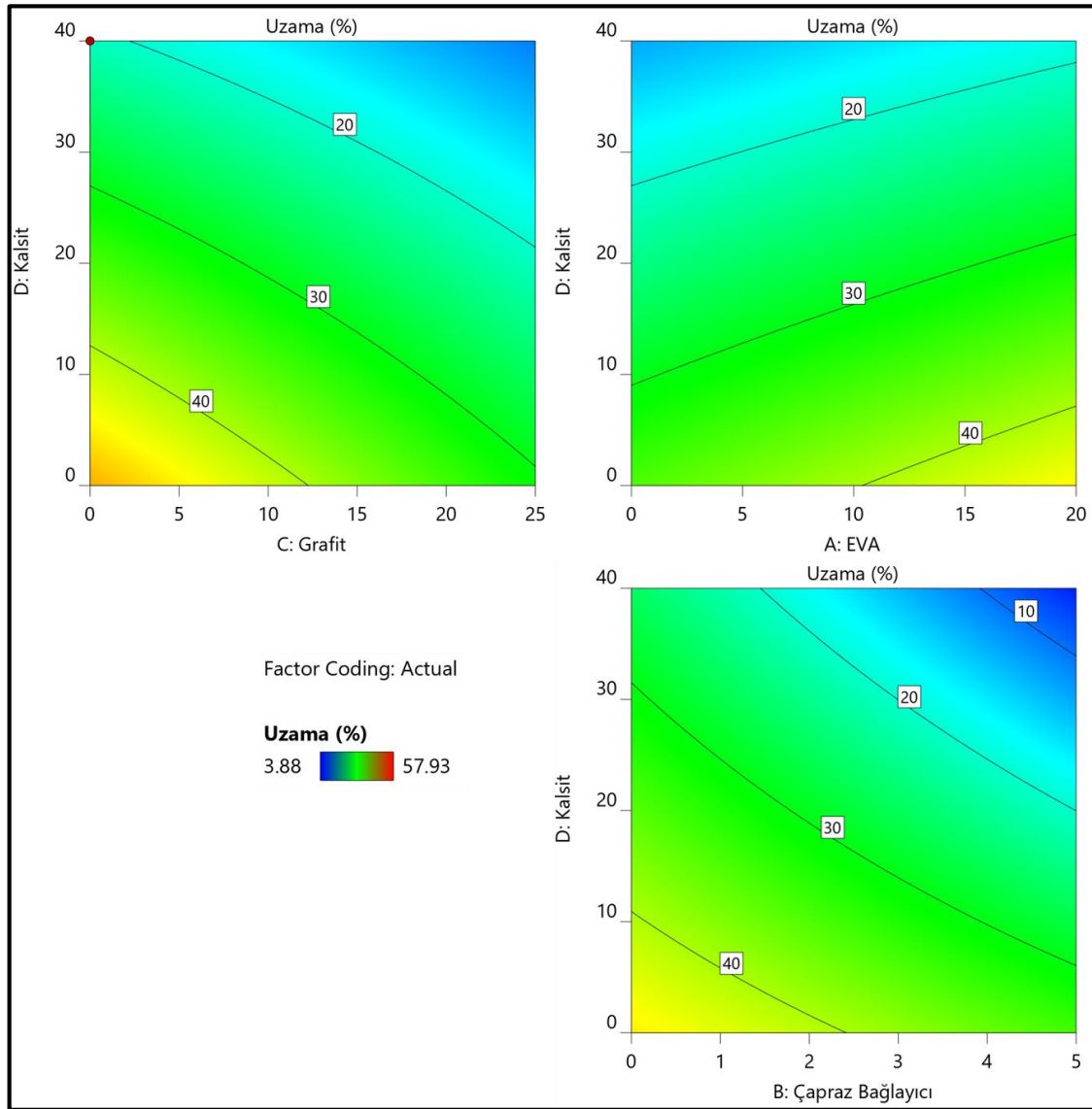
ANOVA analizi sonucu uzama değerleri için belirlenen regresyon modeline ait denklem Eşitlik 3’te verilmiştir. Buna göre; uzama performansı üzerindeki en etkili bileşen kalsit’tir. Bununla birlikte, EVA bileşeni dışındaki tüm bileşenlerin miktarındaki artış numunelerin uzama değerini negatif yönde etkilemektedir. Dolayısıyla, kompozit karışımında EVA miktarının artması uzama değerinin de artması demektir. Karışımı oluşturan bileşenlerin uzama performansı üzerindeki etki dereceleri büyükten küçüğe doğru kalsit > çapraz bağlayıcı > grafit > EVA > elastomer şeklinde sıralanabilir. Ayrıca Tablo 4.6’daki uzama sonuçları üzerinden önerilen model ve regresyon katsayısı deneysel sonuçlarla uyum içerisinde (p değeri < 0.0001 ve $R^2 = 0.9552$).

Tablo 4.6: Uzama sonuçlarına ait ANOVA analizi

Kaynak	Kareler toplamı	Serbestleşme derecesi (DF)	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri	
Model	6200,60	15	413,37	14,20	< 0,0001	Anlamlı
A-EVA	211,45	1	211,45	7,27	0,0225	
B-Çap.Bağ.	674,68	1	674,68	23,18	0,0007	
C-Grafit	609,93	1	609,93	20,96	0,0010	
D-Kalsit	1699,69	1	1699,69	58,40	< 0,0001	
E-Elastomer	7,57	1	7,57	0,2601	0,6211	
AB	23,67	1	23,67	0,8134	0,3883	
AC	89,82	1	89,82	3,09	0,1095	
AD	11,47	1	11,47	0,3940	0,5443	
AE	402,94	1	402,94	13,84	0,0040	
BC	34,52	1	34,52	1,19	0,3016	
BD	69,51	1	69,51	2,39	0,1533	
BE	201,69	1	201,69	6,93	0,0251	
CD	34,83	1	34,83	1,20	0,2997	
CE	47,70	1	47,70	1,64	0,2294	
DE	6,76	1	6,76	0,2324	0,6401	
Artan	656,54	18	34,73			
Hata toplam	6491,64	25				
Standart sapma		5,39	R^2		0,9552	
Ortalama		23,09	Ayarlanmış R^2		0,8879	
Varyasyon katsayısı (%)		23,36	Tahmini R^2		0,0939	
			Yeterli hassasiyet		13,6809	

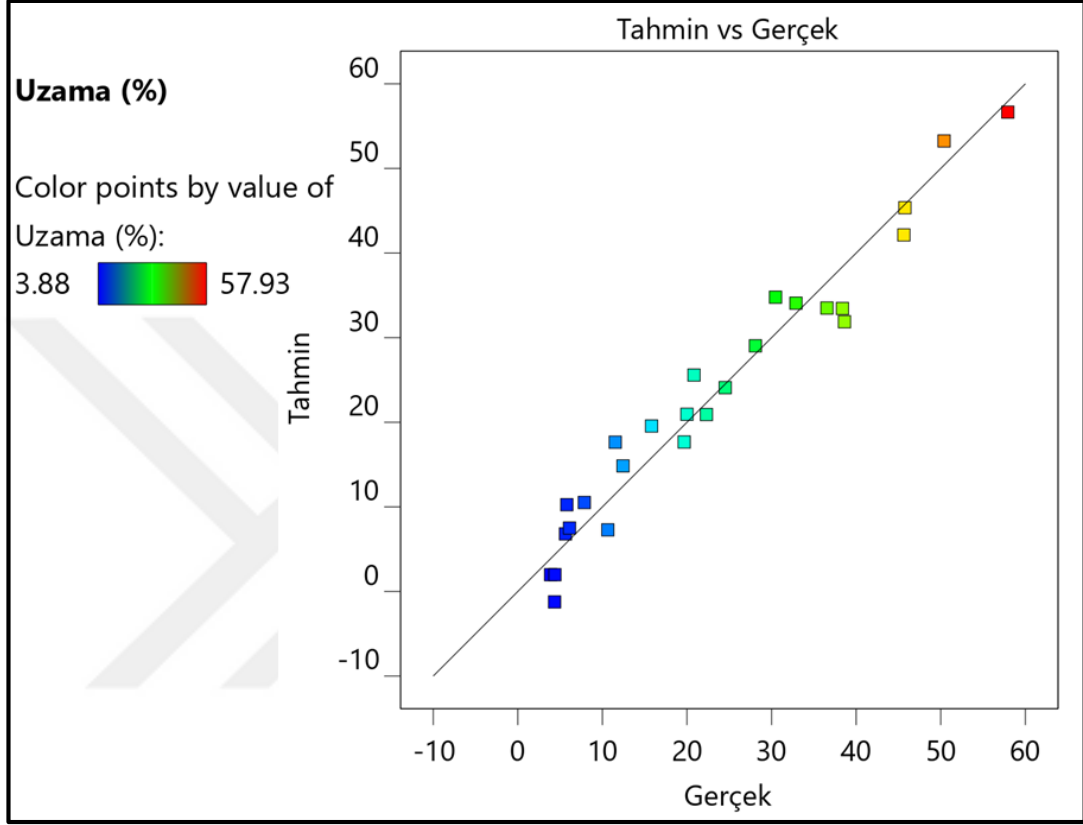
$$Uzama (\%) = +27,79 + 3,90xA - 0,80xB - 7,06xC - 12,03xD - 1,20xE - 1,34xAB - 3,07xAC - 0,9012xAD + 7,51xAE - 2,68xBC - 2,32xBD + 6,80xBE + 1,89xCD - 3,69xCE - 0,9231xDE \quad (\text{Eşitlik 3})$$

Şekil 4.7’deki grafiklere göre, kalsit ve grafit miktarının artması kompozitin uzama değerlerinde azalmaya neden olmaktadır. Bu azalmaya, kalsit ve grafit gibi katkı maddelerinin kompozit matrisine sertlik ve gevreklik kazandırmasının neden olduğu düşünülmektedir. Bu katkılar, kompozit malzemenin esnekliğini azaltarak daha kırılğan hale gelmesine neden olacağından malzemenin uzama kabiliyetinin azalması muhtemeldir.



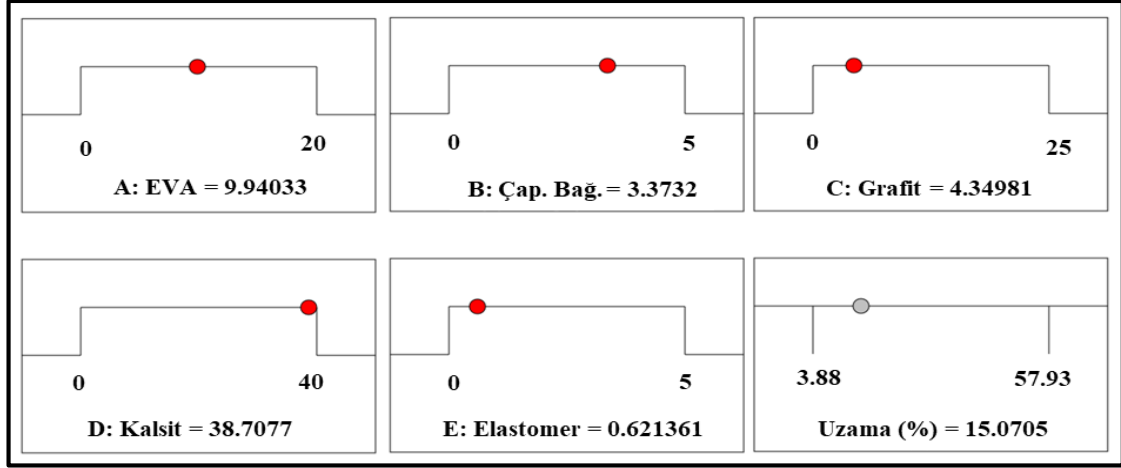
Şekil 4.7: EVA, grafit, kalsit ve çapraz bağlayıcı içeriğinin uzama değerleri üzerine etkilerinin counter grafikler ile gösterimi

Şekil 4.8'deki uzama değerleri için verilen gerçek-tahmini değer grafiğinde belirtilen noktaların lineer çizgi üzerinde olduğu görülmektedir. Bu durum, önerilen modelin yeterliliğini göstermektedir (Makhlouf vd., 2022). Sonuçların, literatürle karşılaştırıldığında uyumlu olduğu görülmektedir (Ladaci vd., 2024).



Şekil 4.8: Deneysel ve RSM verilerinin en yüksek uzama değerleri açısından karşılaştırılması

Optimum uzama değerine (%15,07) ulaşabilmek için karışım içerisindeki bileşenlerin oranları EVA (9,9 g), çapraz bağlayıcı (3,37 g), grafit (4,34 g), kalsit (38,7 g) ve elastomer (0,62 g) olması öngörülmektedir (Şekil 4.9).



Şekil 4.9: En yüksek uzama değerleri için optimum parametreler

4.4. Kopma Dayanımı

Tablo 4.7’de YYPE kompozitlerin ve saf YYPE’nin kopma dayanım sonuçları verilmiştir. 1 nolu referans numune ile karşılaştırıldığında, 2 ve 14 nolu numunelerin kopma dayanım değerleri daha düşük iken diğer tüm numunelerin kopma dayanım değerleri daha yüksektir. Kopma dayanımındaki bu artışın, kompozit bünyesindeki kalsit ve grafit gibi katkı maddelerinin varlığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Diğer taraftan, 2 ve 14 nolu numune içeriğinde kalsit ve grafit bulunmasına rağmen referans numuneye kıyasla kopma dayanımının azalma göstermesi ilgili katkıların matris içerisinde homojen bir dağılım sergilememesinden kaynaklı olabilir.

Tablo 4.7: Kopma dayanımı deney sonuçları

Numune	Kopma dayanımı (MPa)	Numune	Kopma dayanımı (MPa)	Numune	Kopma dayanımı (MPa)
1	0,24	11	0,70	21	0,43
2	0,19	12	0,73	22	0,82
3	0,43	13	0,33	23	0,59
4	0,57	14	0,12	24	0,59
5	4,86	15	0,45	25	0,35
6	0,77	16	0,77	26	1,94
7	0,27	17	0,55		
8	0,53	18	0,95		
9	0,47	19	1,01		
10	1,0	20	0,68		

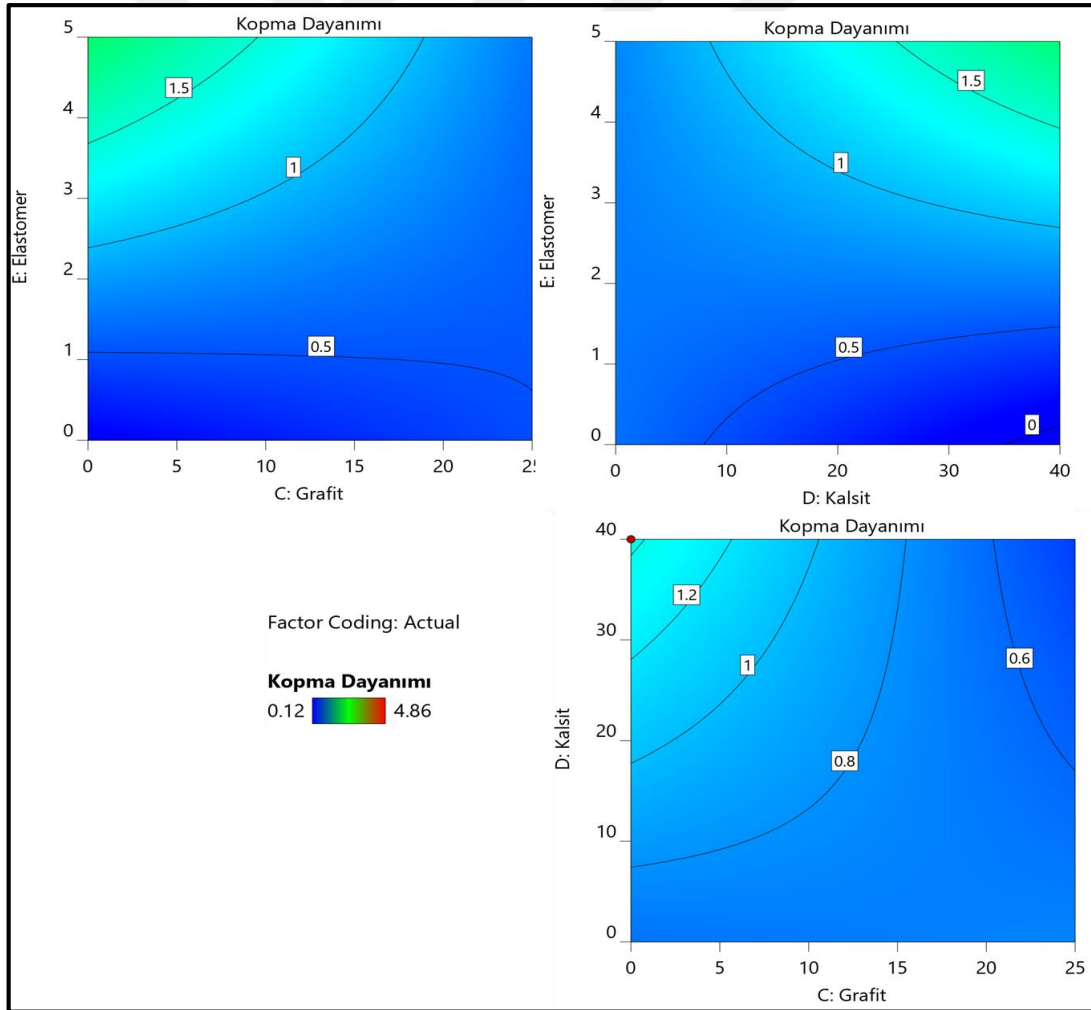
Kopma dayanımı için ANOVA analizinden elde edilen regresyon model eşitliğine göre, kopma dayanımı üzerinde en etkili bileşen elastomer'dir. Kopma dayanımı üzerindeki etkinlikleri açısından bileşenlerin sıralaması elastomer > grafit > kalsit > EVA > çapraz bağlayıcı şeklindedir. Tablo 4.8'de gösterilen p değerinin 0,05'den küçük olması ve R² değerinin 1'e (0,8119) yakın olması önerilen model ile deneysel verilerin uyumlu olduğunu ortaya koymaktadır.

Tablo 4.8: Kopma dayanımı sonuçlarına ait ANOVA analizi

Kaynak	Kareler toplamı	Serbestleşme derecesi (DF)	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri	
Model	16,68	15	1,11	2,88	0,0482	Anlamlı
A-EVA	0,1158	1	0,1158	0,2996	0,5961	
B-Çap.Bağ.	0,0012	1	0,0012	0,0030	0,9571	
C-Grafit	0,6710	1	0,6710	1,74	0,2170	
D-Kalsit	0,1475	1	0,1475	0,3817	0,5505	
E-Elastomer	1,48	1	1,48	3,84	0,0785	
AB	0,0780	1	0,0780	0,2019	0,6628	
AC	2,26	1	2,26	5,85	0,0362	
AD	0,0408	1	0,0408	0,1057	0,7518	
AE	0,9667	1	0,9667	2,50	0,1448	
BC	0,0597	1	0,0597	0,1546	0,7025	
BD	0,0439	1	0,0439	0,1136	0,7430	
BE	0,0725	1	0,0725	0,1877	0,6740	
CD	0,7393	1	0,7393	1,91	0,1967	
CE	0,6558	1	0,6558	1,70	0,2219	
DE	1,85	1	1,85	4,79	0,0535	
Artan	3,86	10				
Hata toplam	20,55	25				
Standart sapma		0,6217	R ²		0,8119	
Ortalama		0,7823	Ayarlanmış R ²		0,5298	
Varyasyon katsayısı (%)		79,46	Tahmini R ²		0,1926	
			Yeterli hassasiyet		8,7661	

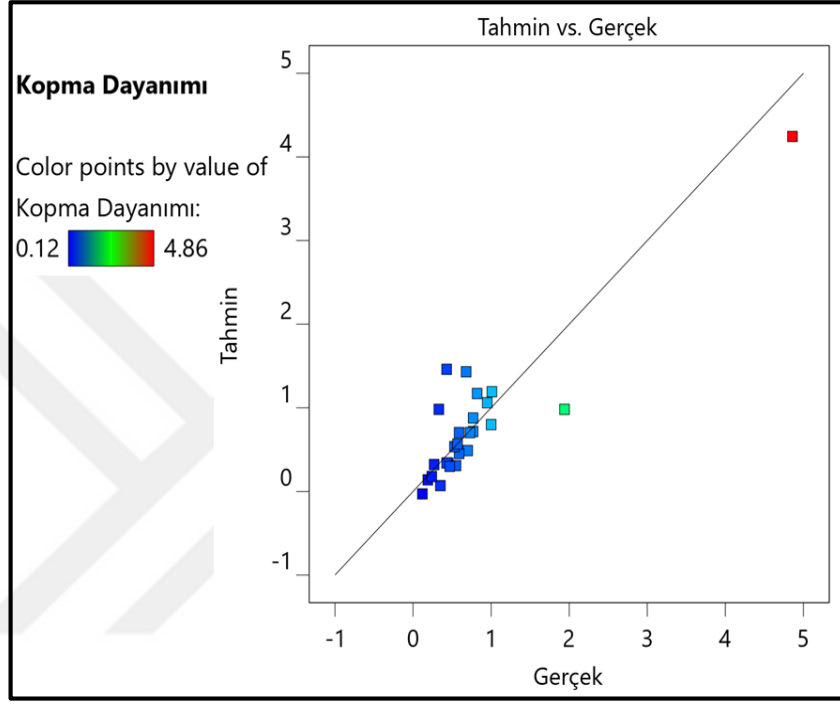
$$\begin{aligned}
\text{Kopma dayanımı (MPa)} = & +0,8096 + 0,0913xA - 0,0103xB - \\
& 0,2341xC + 0,1121xD + 0,5329xE + 0,0772xAB - 0,4874xAC + \\
& 0,0538xAD + 0,3680xAE - 0,1114xBC + 0,0584xBD + 0,1289xBE - \\
& 0,2754xCD - 0,4327xCE + 0,4829xDE
\end{aligned}
\tag{Eşitlik 4}$$

Şekil 4.10'daki verilere göre, elastomer içeriğinin artmasıyla kopma dayanımının arttığı ve grafit miktarındaki artışla da kopma dayanımının genel olarak azalma eğilimi sergilediği görülmektedir. Bunun nedeni, elastomer varlığının malzemeye esneklik kazandırması ve buna bağlı olarak uygulanan gerilme karşında deformasyona uğramayarak dayanım göstermesi olabilir. Buna karşın, grafitin sert ve gevrek yapısı kompozitin esnekliğini ve dolayısıyla da deformasyon kapasitesini azaltarak kopma dayanımının azalmasına neden olmuştur.

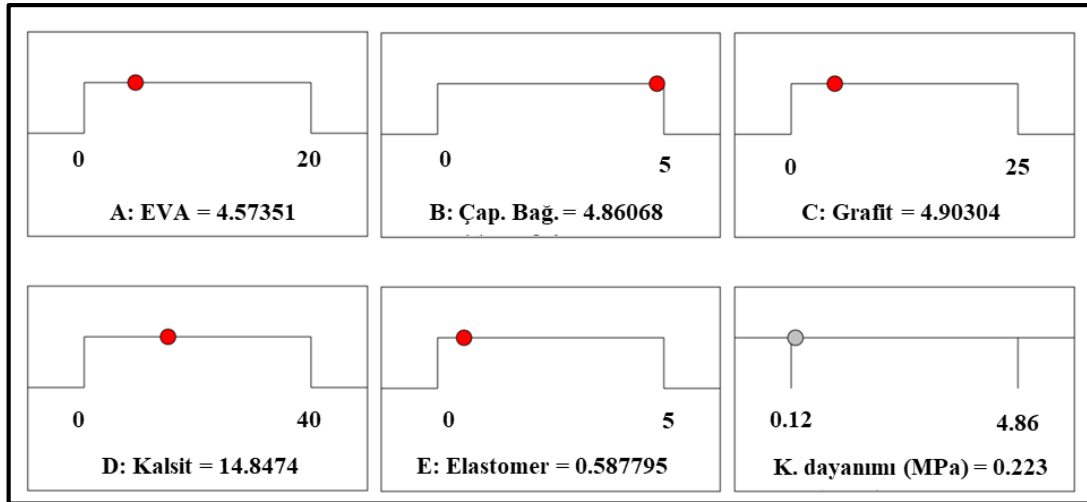


Şekil 4.10: Elastomer, grafit ve kalsit içeriğinin kopma dayanım değerleri üzerine etkilerinin counter grafikler ile gösterimi

Kopma dayanımı için çizilen gerçek değerlere karşı tahmini değer grafiğinde, noktaların lineer doğru üzerinde olduğu açıktır (Şekil 4.11). Optimum kopma dayanımına ulaşabilmek için (0,223 MPa) karışımı oluşturan bileşenlerin miktarları EVA (4,57 g), çapraz bağlayıcı (4,86 g), grafit (4,9 g), kalsit (14,84 g) ve elastomer (0,58 g) olması öngörülmektedir (Şekil 4.12).



Şekil 4.11: Deneysel ve RSM verilerinin en yüksek kopma dayanım değerleri açısından karşılaştırılması



Şekil 4.12: En yüksek kopma dayanım değerleri için optimum parametreler

4.5. Akma Dayanımı

Mekanik testler sonucunda elde edilen akma dayanımı değerleri ilk olarak 2FI modeline göre analiz edilmiştir. Ancak, mevcut verilerle ilgili model arasında bir uyum gözlenememiştir. Bu nedenle, deney verileri quadratik model (2. derece) esas alınarak analiz edilmiştir. Akma dayanımına ait deneysel veriler Tablo 4.9’da sunulmuştur. En düşük kopma dayanımına (5,20 MPa) 13 ve 14 nolu numunelerde ulaşılırken, en yüksek kopma dayanım değeri 10,94 MPa ile 11 nolu numunede elde edilmiştir.

Tablo 4.9: Akma dayanımı deney sonuçları

Numune	Akma dayanımı (MPa)	Numune	Akma dayanımı (MPa)	Numune	Akma dayanımı (MPa)
1	9,39	11	10,94	21	9,97
2	6,35	12	10,74	22	8,79
3	9,38	13	5,20	23	5,70
4	9,67	14	5,20	24	9,20
5	4,82	15	7,12	25	5,20
6	5,70	16	8,33	26	6,21
7	7,21	17	9,20		
8	9,26	18	10,74		
9	6,21	19	9,60		
10	8,10	20	7,08		

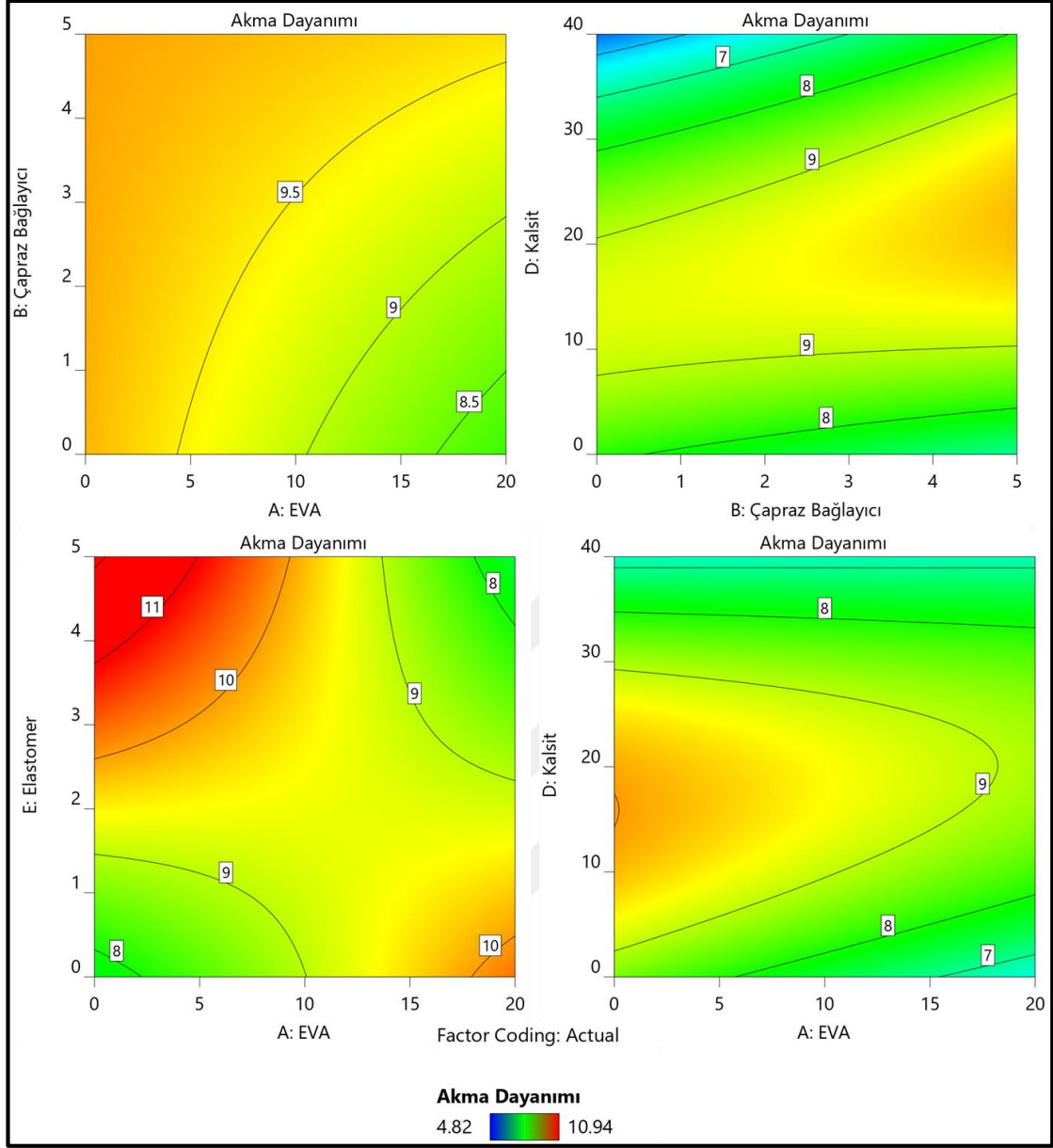
ANOVA analizi sonucu elde edilen regresyon model eşitliği akma dayanımı üzerinde en etkili bileşenin EVA olduğunu göstermektedir. Çapraz bağlayıcı ve elastomer bileşenlerinin miktarındaki artış akma dayanım sonuçlarını pozitif yönde etkilerken diğer bileşenler için durum bunun tam tersidir. Bileşenlerin akma dayanımı üzerindeki etki dereceleri EVA > kalsit > çapraz bağlayıcı > elastomer > grafit olarak sıralanabilir. Tablo 4.10’daki ANOVA analiz çıktıları, deneysel bulgularla önerilen modelin uyumlu olduğunu göstermektedir (p değeri = 0,0450 ve $R^2 = 0,8152$).

Tablo 4.10: Akma dayanımı sonuçlarına ait ANOVA analizi

Kaynak	Kareler toplamı	Serbestleşme derecesi (DF)	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri	
Model	79,28	15	5,29	2,94	0,0450	Anlamlı
A-EVA	3,50	1	3,50	1,95	0,1928	
B-Çap.Bağ.	1,96	1	1,96	1,09	0,3203	
C-Grafit	0,2899	1	0,2899	0,1613	0,6964	
D-Kalsit	2,35	1	2,35	1,31	0,2795	
EElastomer	1,15	1	1,15	0,6391	0,4426	
AB	1,24	1	1,24	0,6908	0,4253	
AC	15,04	1	15,04	8,37	0,0160	
AD	3,96	1	3,96	2,20	0,1685	
AE	22,54	1	22,54	12,54	0,0053	
BC	4,20	1	4,20	2,34	0,1573	
BD	11,28	1	11,28	6,28	0,0311	
BE	0,1478	1	0,1478	0,0822	0,7801	
CD	1,14	1	1,14	0,6365	0,4435	
DE	2,00	1	2,00	1,11	0,3160	
D ²	16,48	1	16,48	9,17	0,0127	
Artan	17,97	10	1,80			
Hata toplam	97,25	25				
Standart sapma		1,34	R ²		0,8152	
Ortalama		7,90	Ayarlanmış R ²		0,5381	
Varyasyon katsayısı (%)		16,97	Tahmini R ²		0,9500	
			Yeterli hassasiyet		6,0355	

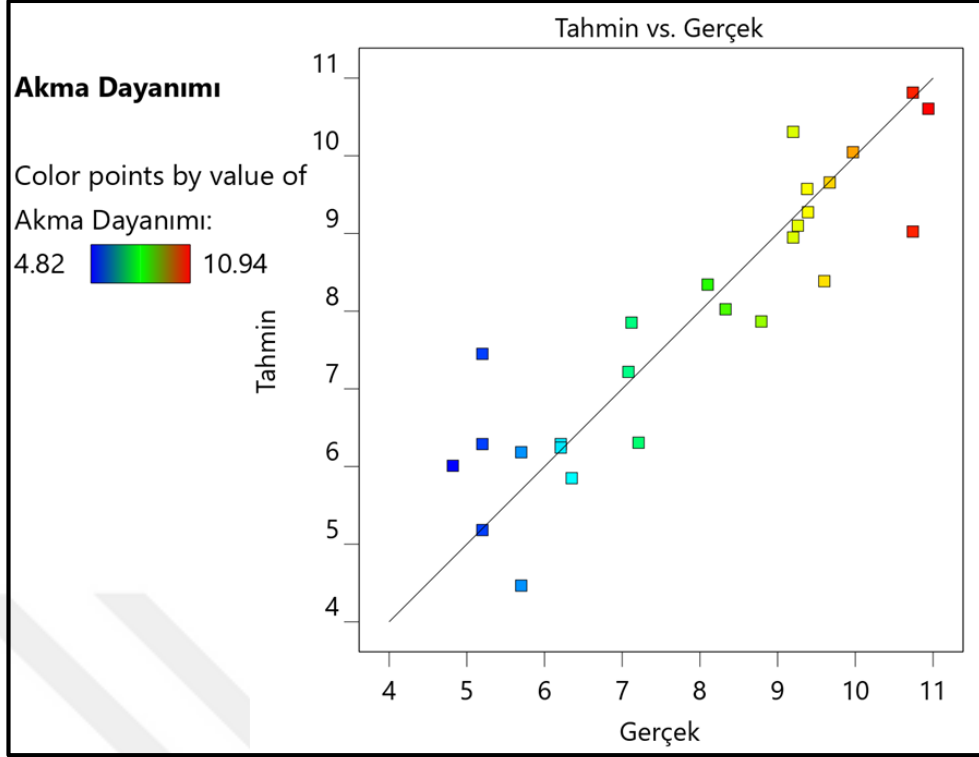
$$Akma dayanımı (MPa) = +9,41 - 0,5031xA + 0,3712xB - 0,1574xC - 0,4077xD + 0,4244xE + 0,3077xAB + 1,15xAC + 0,5282xAD - 1,78xAE + 0,6806xBC + 0,9348xBD - 0,1635xBE - 0,3133xCD + 0,5xDE - 2,26xD^2 \text{ (Eşitlik 5)}$$

Şekil 4.13'teki sonuçlar, elastomer ve EVA içeriği yüksek olduğunda akma dayanımının en yüksek değere ulaştığını göstermektedir. Diğer taraftan, elastomer içeriğinin düşük ve EVA miktarının fazla olması durumunda akma dayanımı 10 MPa'ya kadar düşmektedir.

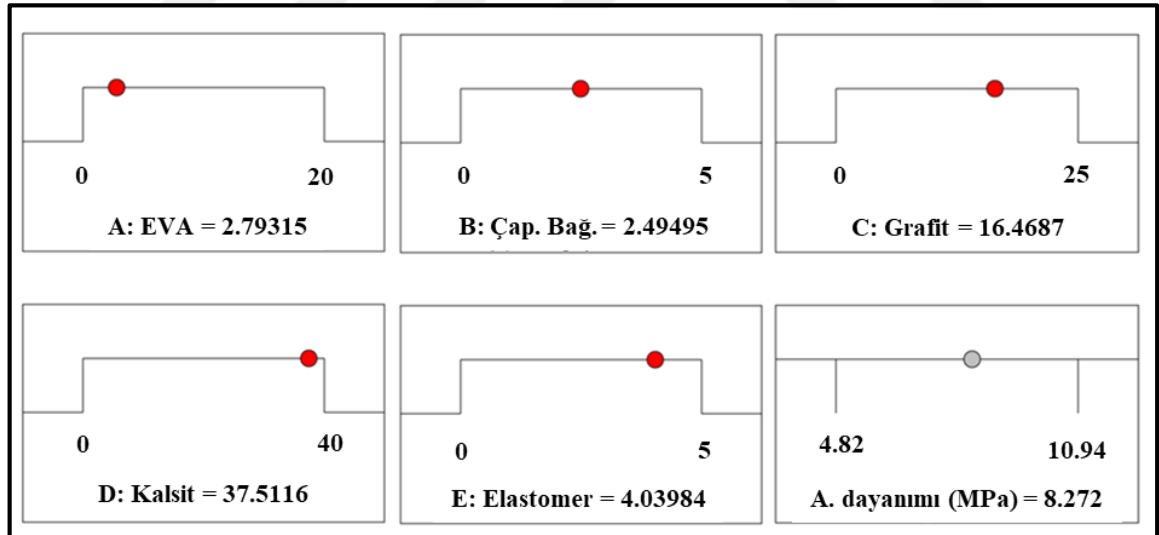


Şekil 4.13: Elastomer, EVA, çapraz bağlayıcı ve kalsit içeriğinin akma dayanım değerleri üzerine etkilerinin counter grafikler ile gösterimi

Şekil 4.14'teki gerçek değer-tahmini değer grafiğinde ise, lineer doğru üzerinde ciddi sapmaların olmadığı görülmektedir. Optimum akma dayanımı elde etmek için (8,272 MPa) karışımı oluşturan bileşenlerin EVA (2,79 g), çapraz bağlayıcı (2,49 g), grafit (16,46 g), kalsit (37,51 g) ve elastomer (4,03 g) şeklinde olması öngörülmektedir (Şekil 4.15).



Şekil 4.14: Deneysel ve RSM verilerinin en yüksek akma dayanım değerleri açısından karşılaştırılması



Şekil 4.15: En yüksek akma dayanım değerleri için optimum parametreler

4.6. Elektriksel Direnç

Numunelerin elektrik direnç ölçümleri Şekil 4.16'daki 4 noktalı elektrik iletkenliği ölçüm cihazı kullanılarak (0 ila 2 volt ve 0 ila 10 nA aralığında) gerçekleştirilmiştir. Elde edilen elektriksel direnç ölçüm sonuçları Tablo 4.11'de verilmiştir. Elektriksel direnç ölçüm

sonuçları hali hazırda tez kapsamında kullandığımız hiçbir model ile uyumluluk göstermemiştir. Numunelerin minimum elektriksel direnç değerleri arasında kayda değer bir fark görülmemektedir. Bununla birlikte, maksimum elektriksel direnç değerleri $14,93 \times 10^9$ ohm ile $23,51 \times 10^9$ ohm aralığında değişim göstermiştir. Sonuçlar incelendiğinde, genel olarak kalsit ve grafit ihtiva eden numunelerin elektriksel direnç değerlerinin daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Bu durumun, matris bünyesindeki grafitin homojen olarak dağılım sağlamamasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.16: Elektrik direnci ölçüm cihazı

Tablo 4.11: Elektriksel direnç ölçüm sonuçları ($\times 10^9$ ohm)

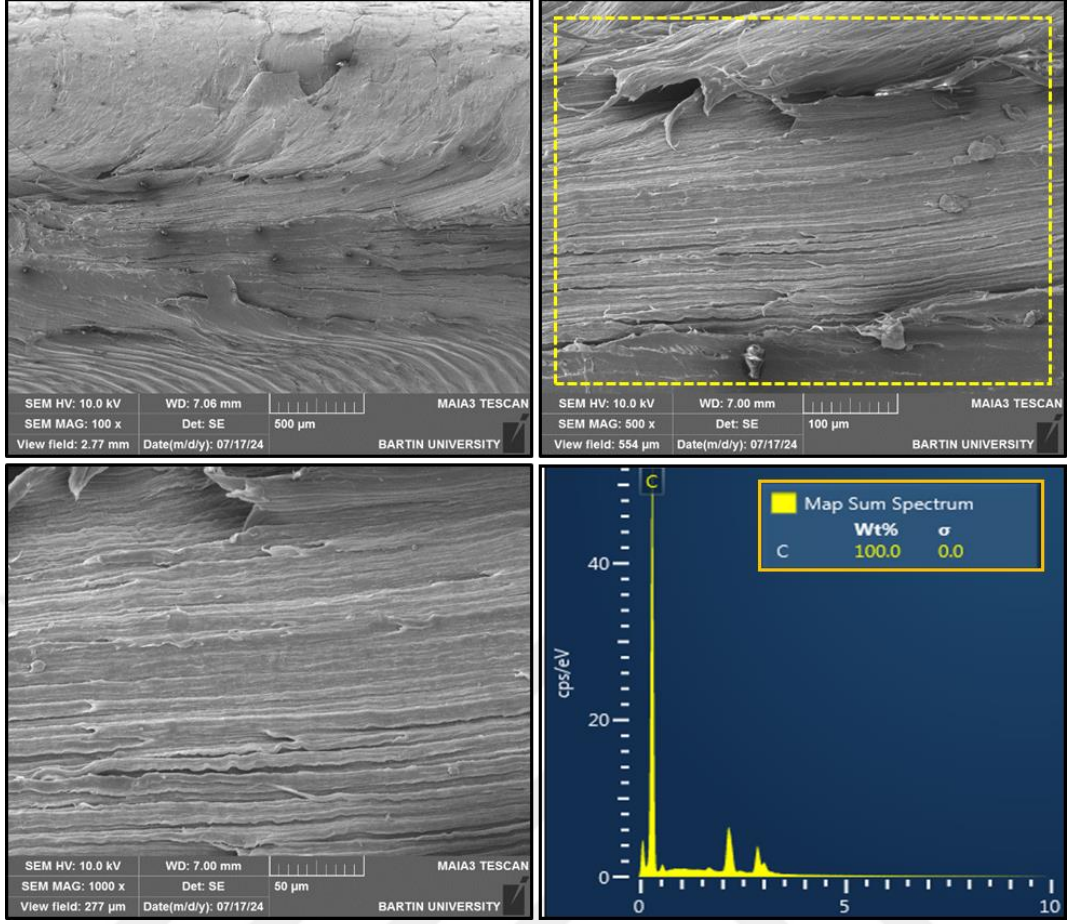
Numune	E.D (min.)	E.D (mak.)	Numune	E.D (min.)	E.D (mak.)	Numune	E.D (min.)	E.D (mak.)
1	6,17	16,45	11	6,88	22,92	21	7,00	23,34
2	6,64	23,24	12	7,03	23,44	22	7,03	23,44
3	6,06	15,36	13	5,98	16,44	23	6,98	23,27
4	6,63	23,21	14	6,63	23,22	24	6,66	23,32
5	6,34	16,12	15	6,92	23,07	25	6,96	23,19
6	6,14	14,93	16	6,60	23,11	26	7,02	23,41
7	6,88	22,92	17	6,72	23,51			
8	6,65	23,29	18	6,84	22,79			
9	6,94	23,12	19	6,91	23,03			
10	6,07	16,69	20	6,98	23,28			

4.7. SEM ve EDS Analizi

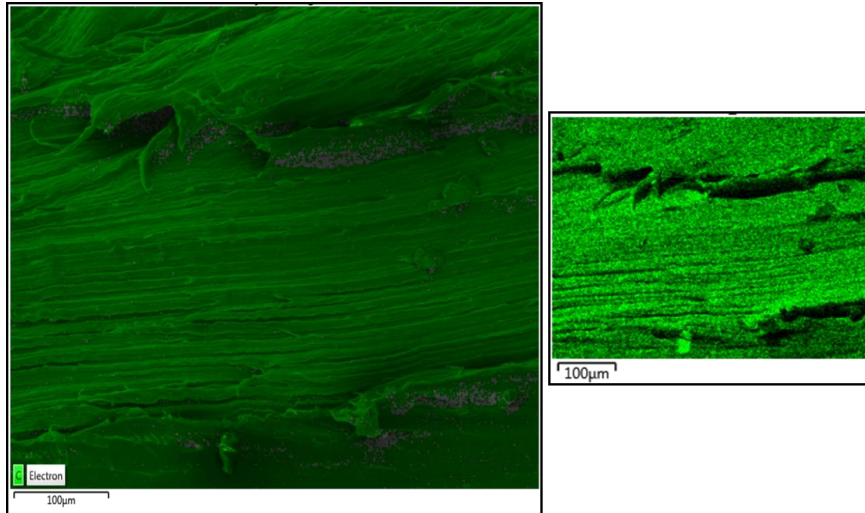
Deney tasarımında yer alan 6 farklı (1, 2, 4, 11, 18, 25) numunenin yüzey morfolojileri SEM ve EDS analizi ile incelenmiştir. Analizler, çekme deneyi uygulanan numunelerin kırık

yüzeyleri üzerinden gerçekleştirilmiştir. Saf YYPE'nin SEM görüntüsünden çekme testi sonrasında lif formundaki yapının deforme olduğu görülmektedir (Şekil 4.17). Bununla birlikte, YYPE yapısındaki karbon elementinin varlığı EDS ve mapping analizi ile teyit edilmiştir (Şekil 4.18). Grafit ve kalsitin farklı oranlarda ve ayrı olarak kullanıldığı 2, 4, 11 ve 18 nolu numunelerin SEM-EDS görüntülerinde ve mapping analizlerinde, YYPE matris bünyesinde zayıf matris-partikül ara yüzeyi nedeniyle yüzeyde bulunan partiküllerin etrafında boşlukların meydana geldiği görülmektedir (Şekil 4.19, Şekil 4.20, Şekil 4.21, Şekil 4.22, Şekil 4.23, Şekil 4.24, Şekil 4.25 ve Şekil 4.26). Zayıf ara yüzey, YYPE matris içinde yer alan partiküllerin uygulanan kuvvete karşı direncinin düşük olmasına ve bunun sonucunda boşlukların oluşmasına neden olmuştur. Grafit ve kalsit ihtiva eden 2, 4 ve 11 nolu numunelerde partiküllerin matris bünyesinde homojen bir şekilde dağılmadığı ve kümелendikleri görülmektedir. %25 grafit ve %40 kalsit içeren kompozit numunelerin de benzer bir yüzey morfolojisine sahip olduğu anlaşılmaktadır.

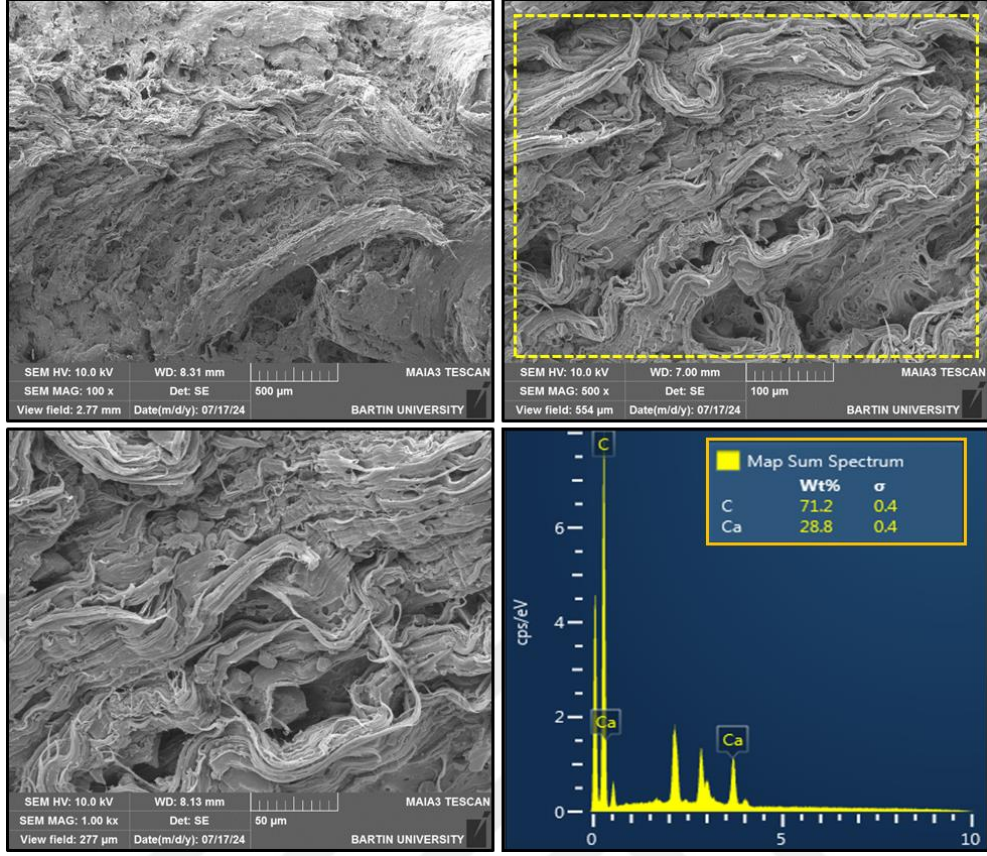
Diğer taraftan, yukarıda ifade edilen numunelerde gözlenen lifimsi yapı, 25 nolu numunede (%20 EVA, %2,5 çapraz bağlayıcı, %25 grafit ve %40 kalsit katkı) gözlenmemiştir (Şekil 4.27, Şekil 4.28). Bu durum, dolgu içeriğinin artışına bağlı olarak uzama değerinin düşmesine ve numunenin gevrek kırılma davranışı sergilemesine atfedilebilir.



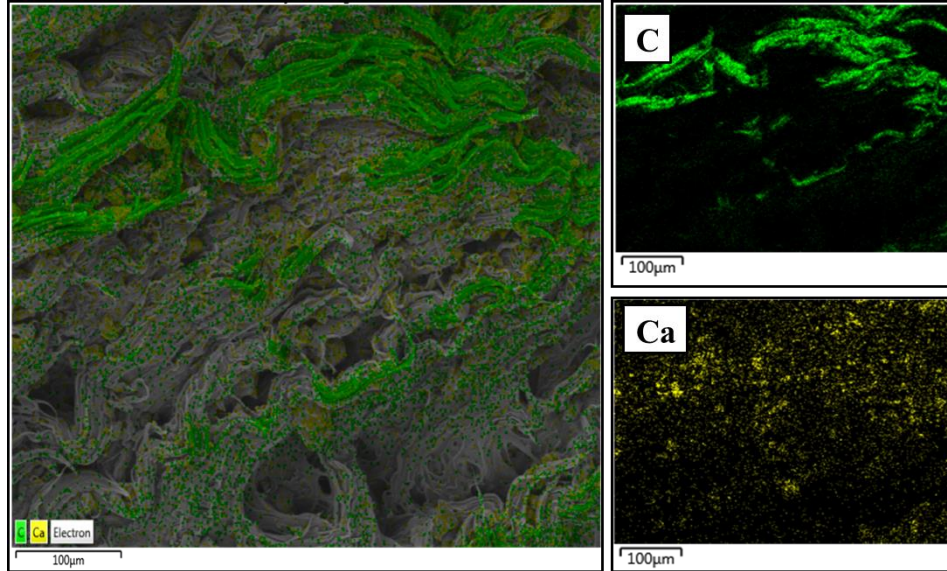
Şekil 4.17: Saf YYPE'nin SEM görüntüsü ve EDS analizi



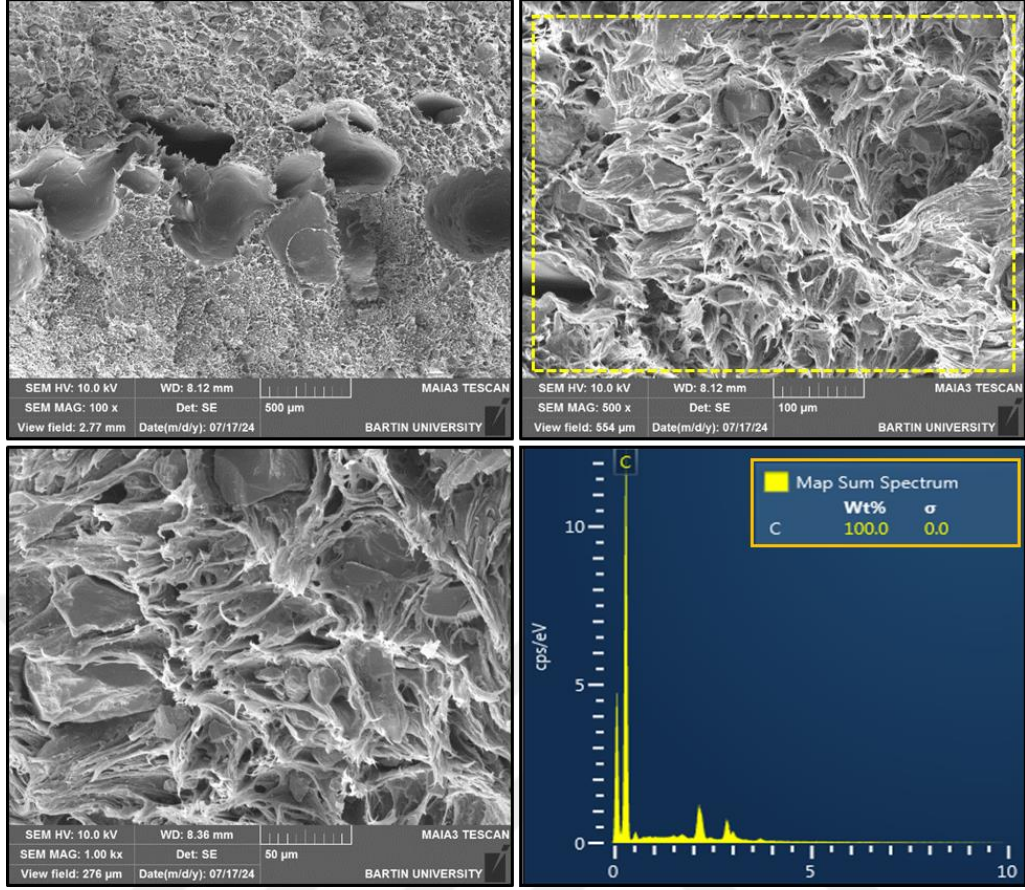
Şekil 4.18: Saf YYPE'nin elementel analizi (mapping)



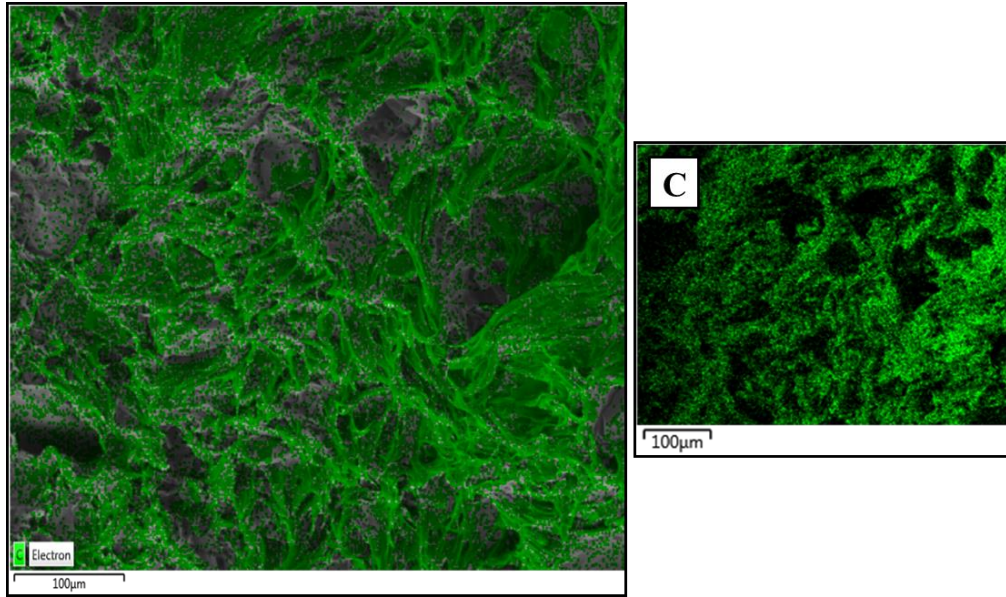
Şekil 4.19: 2 nolu YYPE kompozit numunesinin (%20 EVA ve %40 kalsit katkılı) SEM görüntüsü ve EDS analizi



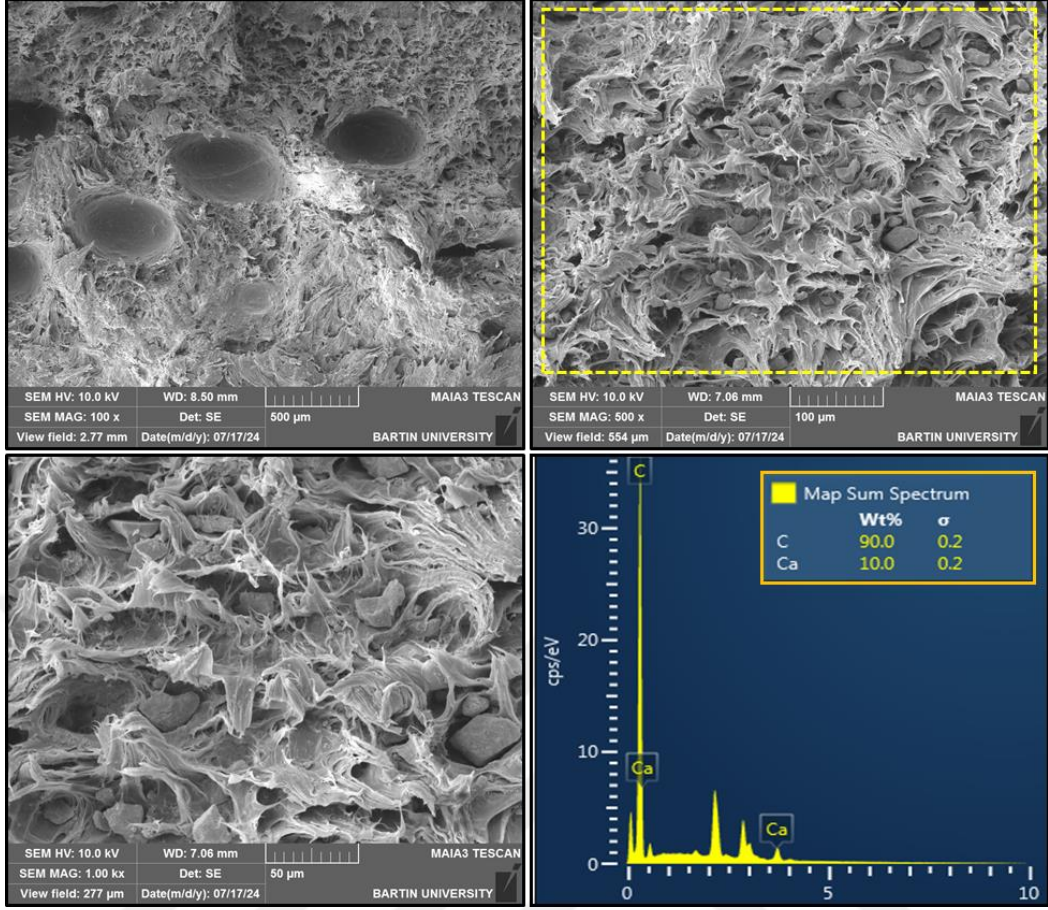
Şekil 4.20: 2 nolu YYPE kompozit numunesinin (%20 EVA ve %40 kalsit katkılı) elementel analizi (mapping)



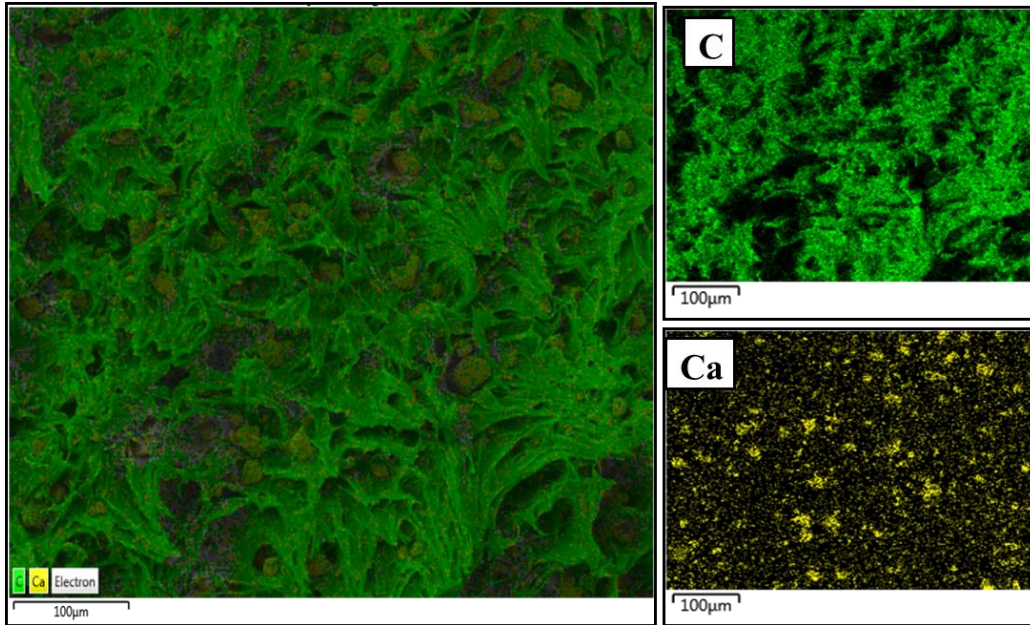
Şekil 4.21: 4 nolu YYPE kompozit numunesinin (%25 grafit ve %5 elastomer katkılı) SEM görüntüsü ve EDS analizi



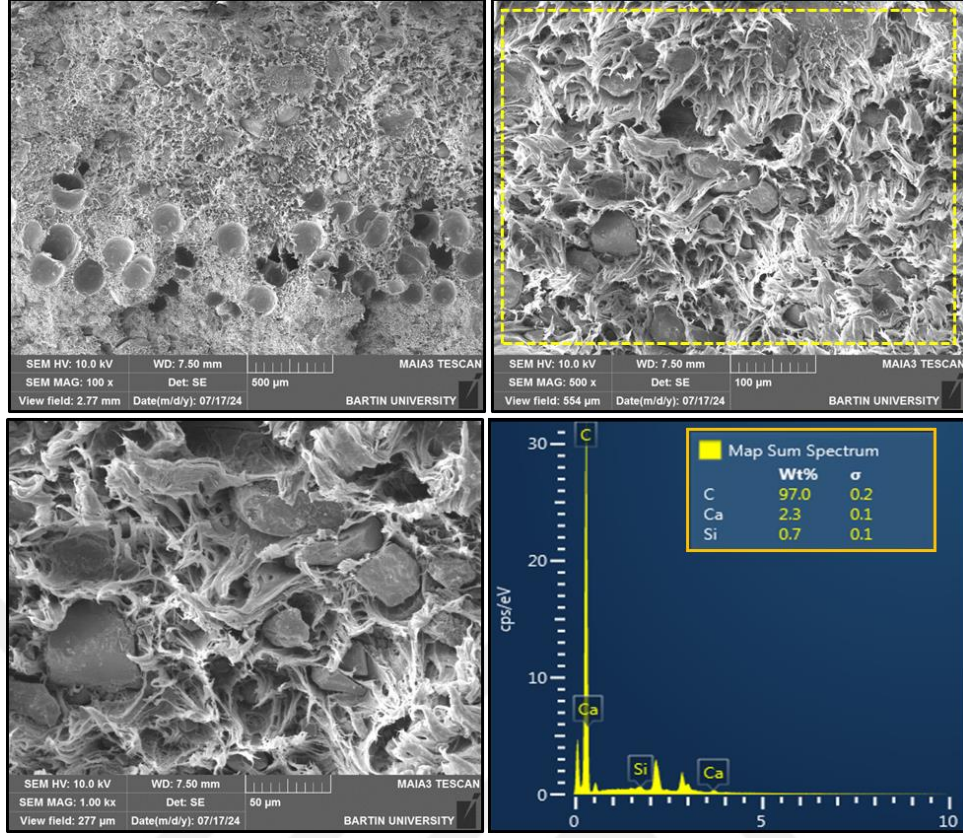
Şekil 4.22: 4 nolu YYPE kompozit numunesinin (%25 grafit ve %5 elastomer katkılı) elementel analizi (mapping)



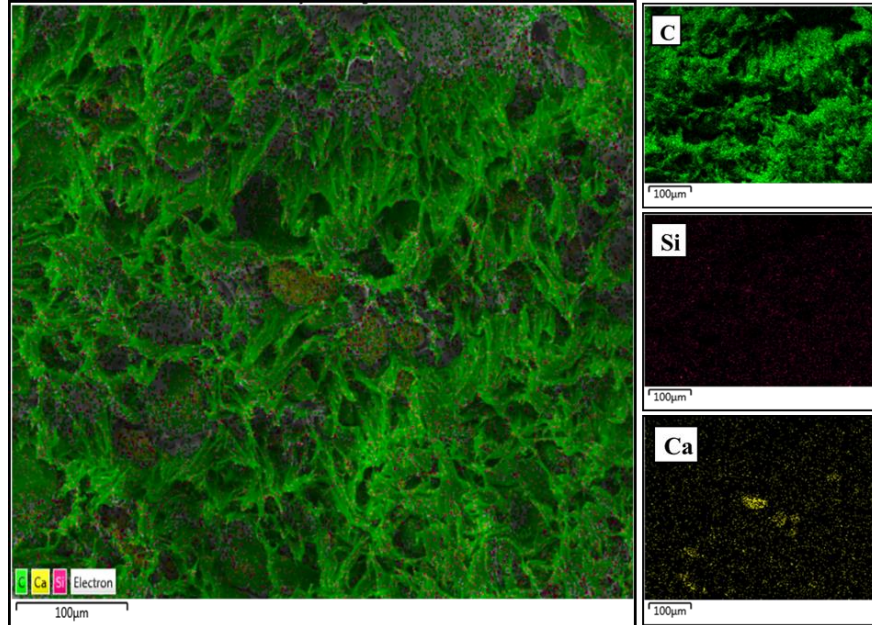
Şekil 4.23: 11 nolu YYPE kompozit numunesinin (%5 çapraz bağlayıcı ve %20 kalsit katkılı) SEM görüntüsü ve EDS analizi



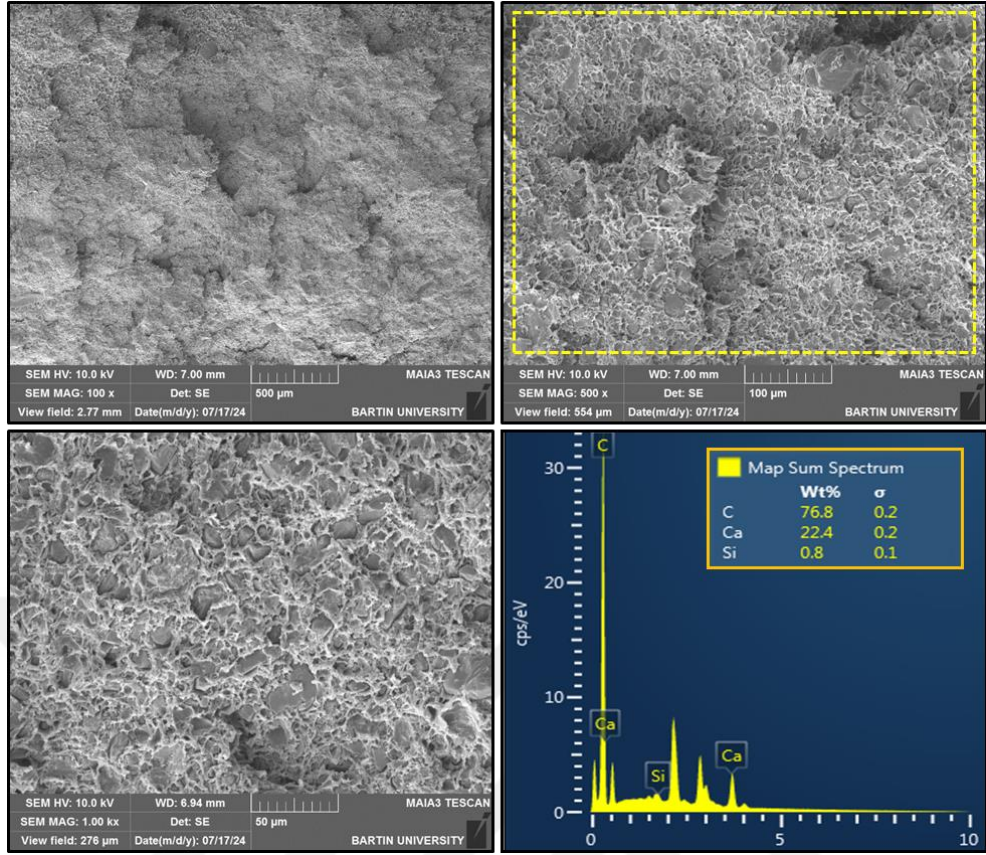
Şekil 4.24: 11 nolu YYPE kompozit numunesinin (%5 çapraz bağlayıcı ve %20 kalsit katkılı) elementel analizi (mapping)



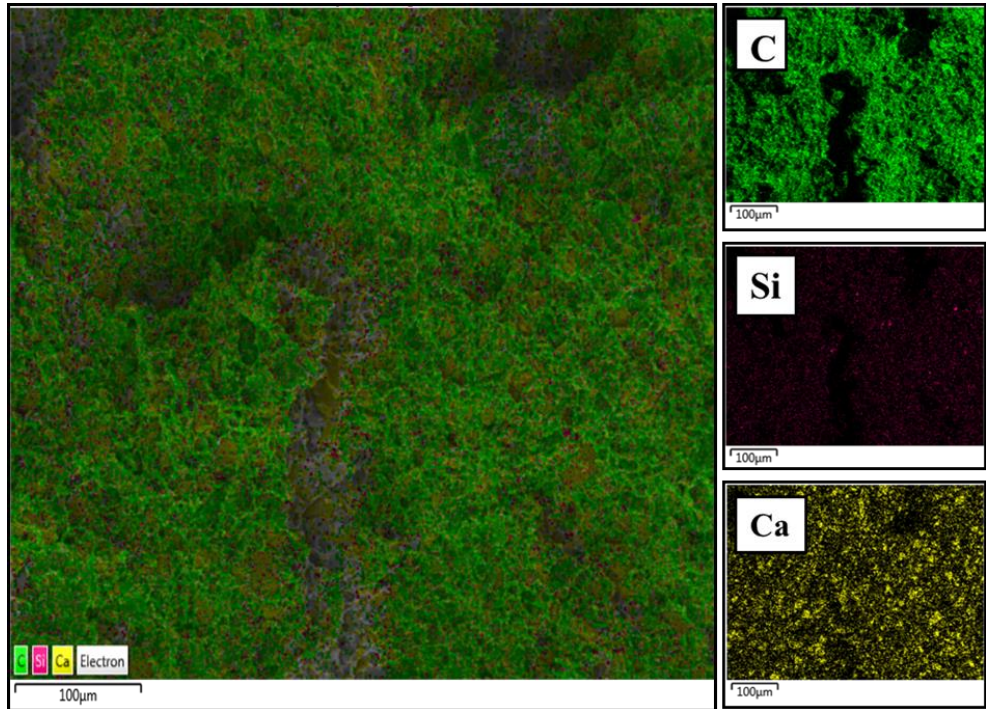
Şekil 4.25: 18 nolu YYPE kompozit numunesinin (%10 EVA, %5 çapraz bağlayıcı, %25 grafit, %40 kalsit ve %2,5 elastomer katkı) SEM görüntüsü ve EDS analizi



Şekil 4.26: 18 nolu YYPE kompozit numunesinin (%10 EVA, %5 çapraz bağlayıcı, %25 grafit, %40 kalsit ve %2,5 elastomer katkı) elementel analizi (mapping)



Şekil 4.27: 25 nolu YYPE kompozit numunesinin (%20 EVA, %2,5 çapraz bağlayıcı, %25 grafit ve %40 kalsit katkılı) SEM görüntüsü ve EDS analizi



Şekil 4.28: 25 nolu YYPE kompozit numunesinin (%20 EVA, %2,5 çapraz bağlayıcı, %25 grafit ve %40 kalsit katkılı) elementel analizi (mapping)

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında, planlanan deney tasarımına göre YYPE matris içerisine kalsit, grafit, EVA, elastomer ve çapraz bağlayıcı bileşenleri farklı oranlarda ilave edilerek 26 farklı numune hazırlandı. Üretilen YYPE kompozit numunelerin mekanik özellikleri ve elektrik dirençleri belirlendi. Elde edilen deneysel bulgular, varyans analizi ile (ANOVA) incelendi ve aşağıdaki sonuçlara ulaşıldı;

Saf YYPE'ye kıyasla kompozit bileşiminden dolayı numunelerin sertlik değerleri artış yada azalış göstermiştir. Sertlik üzerindeki en etkin bileşenin EVA olduğu belirlenmiştir. EVA gibi çapraz bağlayıcı ve elastomer bileşenleri sertlik üzerinde pozitif bir etkiye sahipken diğer bileşenlerin etkileri negatiftir. Bileşenlerin sertlik üzerindeki etki dereceleri büyükten küçüğe EVA > kalsit > grafit > elastomer > çapraz bağlayıcı şeklinde olduğu belirlenmiştir.

Benzer şekilde, gerilme dayanımı üzerinde de EVA en etkili bileşendir. Gerilme dayanımı açısından bileşenlerin etki derecelerinin EVA > elastomer > grafit > çapraz bağlayıcı > kalsit şeklinde olduğu tespit edilmiştir.

Uzama performansı üzerindeki en etkili bileşenin kalsit olduğu belirlenmiştir. Bileşenlerin uzama performansı üzerindeki etki dereceleri kalsit > çapraz bağlayıcı > grafit > EVA > elastomer şeklinde sıralanmaktadır.

ANOVA analizinden elde edilen regresyon model eşitliğine göre, kopma dayanımı üzerinde en etkili bileşen elastomer'dir. Bileşenlerin etki sıralaması elastomer > grafit > kalsit > EVA > çapraz bağlayıcı olarak belirlenmiştir.

Akma dayanımı üzerinde en etkili bileşen EVA olarak belirlenmiştir. Bileşenlerin akma dayanımı üzerindeki etki derecelerinin EVA > kalsit > çapraz bağlayıcı > elastomer > grafit olduğu bulunmuştur.

Numunelerin sertlik, gerilme dayanımı, uzama ve kopma dayanımına ait deneysel sonuçlar 2FI modeline (1. derece model) uyumluluk gösterirken akma dayanım sonuçları 2. derece model olan quadratic modele uyum sağlamıştır.

Numunelerin minimum elektriksel direnç değerleri arasında kayda değer bir fark görülmemiştir. Bununla birlikte, maksimum elektriksel direnç değerleri $14,93 \times 10^9$ ohm ile $23,51 \times 10^9$ ohm aralığında değişim sergilemiştir. Elektriksel direnç ölçüm sonuçları hali hazırda tez kapsamında kullanılan hiçbir model ile uyumluluk göstermemiştir.

SEM analiz sonuçlarına göre, katkı maddelerinin YYPE matris içerisinde homojen bir dağılım sergilemediği ve bunun bir sonucu olarak polimer matris ile partikül arasında zayıf bir etkileşimin olduğu görülmektedir.

Tez kapsamında, hazırlanan deney tasarımına göre (klasik deney tasarımıdan farklı), 5 farklı bileşenin kompozitin mekanik performansı ve elektriksel özelliği üzerindeki etkileri incelenmiştir. Dolayısıyla, mevcut bileşenler için daha gerçekçi ve hassas bir yaklaşım sergileyebilmek adına daha detaylı bir deney tasarımına ihtiyaç olabilir. Diğer taraftan, numuneler ekstrüzyon ve enjeksiyon prosesleri sonucunda üretilmiştir. Katkı maddelerinin polimer matris bünyesinde homojen bir şekilde dağılmadığı düşünülürse bu noktada ilgili prosesler için iyileştirmeler yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Abdulrahman Oyekanmi, A., Abd Latiff, A.A., Daud, Z., Saphira Radin Mohamed, R.M., Ismail, N., Ab Aziz, A., Rafatullah, M., Hossain, K., Ahmad, A. ve Kamoldeen Abiodun, A. (2019). Adsorption of cadmium and lead from palm oil mill effluent using bone-composite: Optimisation and isotherm studies. *Int. J. Environ. Anal. Chem.* 99, 707–725.
- Allaix, D.L. ve Carbone, V.I. (2011). An improvement of the response surface method. *Struct. Saf.* 33, 165–172.
- Altıntaş, B. (2004). Electrical and mechanical properties of carbon black reinforced high density polyethylene/low density polyethylene composites. Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 89.
- ASTM D. (2010). *ASTM D-2240*. Shore Hardness.
- Awad, A.H. ve Abdellatif, M.H. (2019). Assessment of mechanical and physical properties of LDPE reinforced with marble dust. *Compos. Part B Eng.* 106948.
- Awad, A.H., El-Gamasy, R., Abd El-Wahab, A.A. ve Abdellatif, M.H. (2020). Assessment of mechanical properties of HDPE composite with addition of marble and granite dust. *Ain Shams Eng. J.* 11, 1211–1217.
- Awad, A.H., El Gamasy, R., Abd El Wahab, A. ve Abdellatif, M.H. (2019). Mechanical and Physical Properties of PP and HDPE. *Eng. Sci* 4, 34.
- Bachir Djaffar, S. ve Kheirreddine, A. (2019). Effect of Ethylene Vinyl Acetate (EVA) Polymer on Rheological Properties of Bitumen Before and After Ageing. 3. *Conférence internationale sur la Mécanique des Matériaux et des Structures*, 13-15 Kasım 2019, Marrakech, MAROC
- Bakırcı, A., Koçak, C., Yamaç, Ö. ve Çakır, M.C. (2023). Aynı Yöne Dönen Çift Vidalı Ekstrüderli Tandem Bir Termoplastik Geri Dönüşüm Sisteminde Vida Yapılanmasının İncelenmesi. *Orclever Proc. Res. Dev.* 3, 659–671.
- Bartczak, Z. (2005). Effect of chain entanglements on plastic deformation behavior of linear polyethylene. *Macromolecules* 38, 7702–7713.
- Bedük, T. (2018). Lignin as an Antistatic Additive for Common Polymers. Yüksek Lisans Tezi, Bilkent Üniversitesi, Ankara, 68.
- Bellayer, S., Tavard, E., Duquesne, S., Piechaczyk, A. ve Bourbigot, S. (2009). Mechanism of intumescence of a polyethylene/calcium carbonate/stearic acid system. *Polym. Degrad. Stab.* 94, 797–803.
- Bezerra, M.A., Santelli, R.E., Oliveira, E.P., Villar, L.S. ve Escaleira, L.A. (2008). Response surface methodology (RSM) as a tool for optimization in analytical chemistry. *Talanta* 76, 965–977.

Burunkaya, M. (2008). Statik Elektriğe Karşı Koruma için Güvenli Bir Topraklama Sistemi ve Antistatik Çalışma İstasyonunun Kurulması. *Politek. Derg.* 11, 93–98.

Callister Jr, W.D. ve Rethwisch, D.G. (2020). *Materials science and engineering: an introduction*. John wiley & sons.

Can, S. ve Yılmaz, A.E., (2015). Elektrostatik Yük Boşalımı: Elektronik Üretim Sektöründeki Etkileri Ve Alınan Koruyucu Önlemler Üzerine Bir İnceleme. *Gazi Univ. J. Sci. Part C Des. Technol.* 3, 443–455.

Carraher Jr, C.E. (2017). *Introduction to polymer chemistry*. CRC press.

Chanda, M. (2006). *Introduction to polymer science and chemistry: a problem-solving approach*. CRC press.

Chawla, K.K. (2012). *Composite materials: science and engineering*. Springer Science & Business Media.

Cheng, J.J. (2008). Mechanical and chemical properties of high density polyethylene: effects of microstructure on creep characteristics. PhD Thesis, University of Waterloo, Ontario, Canada, 282

Cowie, J.M.G. ve Arrighi, V. (2007). *Polymers: chemistry and physics of modern materials*. CRC press.

Cuhadaroğlu, A.D. ve Kara, E. (2018). Grafit: Bir genel değerlendirme. *Tek. Bilim. Derg.* 8, 14–33.

Dağlı, M., Demirer, A. ve Yumat, E. (n.d.) Hdpe Boruların Alın Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Birleşme Mukavemetine Etkisinin Yüzey Cevap Metodu ile Optimizasyonu. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Uluslararası Mühendislik Teknol. ve Uygulamalı Bilim. Derg.* 6, 95–109.

Demirors, M. (2011). The history of polyethylene. E. T. Strom, S.C. Rasmussen (Ed.) *100+ Years of Plastics. Leo Baekeland and Beyond* içinde (pp. 115–145). ACS Publications,

Dixit, S., Yadav, V.L. (2019). Optimization of polyethylene/polypropylene/alkali modified wheat straw composites for packaging application using. *RSM. J. Clean. Prod.* 240, 118228.

Elleithy, R.H., Ali, I., Ali, M.A. ve Al-Zahrani, S.M. (2010). High density polyethylene/micro calcium carbonate composites: A study of the morphological, thermal, and viscoelastic properties. *J. Appl. Polym. Sci.* 117, 2413–2421.

Fabris, H.J. ve Knauss, W.G. (1989). Synthetic polymer adhesives. *Comprehensive Polymer Science and Supplements*, 131-177.

Feldman, D. (2008). Polymer history. *Des. monomers Polym.* 11, 1–15.

Givaja, G., Amo-Ochoa, P., Gómez-García, C.J. ve Zamora, F. (2012). Electrical conductive coordination polymers. *Chem. Soc. Rev.* 41, 115–147.

Gungor, A. (2007). Mechanical properties of iron powder filled high density polyethylene composites. *Mater. Des.* 28, 1027–1030.

Gürakin, H.K. (2020). Termoplastik polimerler için antistatik katkıları geliştirilmesi ve uygulamaları. Doktora Tezi. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 181.

Haseena, A.P., Unnikrishnan, G. ve Kalaprasad, G. (2007). Dielectric properties of short sisal/coir hybrid fibre reinforced natural rubber composites. *Compos. Interfaces* 14, 763–786.

Hassanien, M.S. ve Seedahmed, A.I. (2015). Mechanical and rheological properties of polypropylene (PP)/linear low density polyethylene (LDPE) blend filled with talc and calcium carbonate compositions. *Int J Eng Sci Res Technol* 2277, 383–387.

Henderson, A.M., (1993). Ethylene-vinyl acetate (EVA) copolymers: a general review. *IEEE Electr. Insul. Mag.* 9, 30–38.

Hiemenz, P.C. ve Lodge, T.P. (2007). *Polymer chemistry*. CRC press.

Karakus, K. (2016). Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE) Esaslı Polimer Kompozitlerin Mekanik Özellikleri Üzerine Nişasta Oranının Etkisi. *Kastamonu Univ. J. For. Fac.* 285–292.

Krupa, I., Novák, I. ve Chodák, I. (2004). Electrically and thermally conductive polyethylene/graphite composites and their mechanical properties. *Synth. Met.* 145, 245–252.

Kumar, B.N.R., Suresha, B. ve Venkataramareddy, M. (2009). Effect of particulate fillers on mechanical and abrasive wear behaviour of polyamide 66/polypropylene nanocomposites. *Mater. Des.* 30, 3852–3858.

Ladaci, N., Saadia, A., Belaadi, A., Boumaaza, M., Chai, B.X., Abdullah, M.M.S., Al-Khawlani, A. ve Ghernaout, D. (2024). ANN and RSM Prediction of Water Uptake of Recycled HDPE Biocomposite Reinforced with Treated Palm Waste W. filifera. *J. Nat. Fibers* 21, 2356697.

Li, L., Geng, Z., Huang, J., Xiao, H., Pei, Y. ve Liu, Y. (2021). Creating in-situ polymeric layer based on photocuring for various construction applications. *Constr. Build. Mater.* 273, 121732.

Liang, J.Z. ve Yang, Q.Q. (2009). Mechanical properties of carbon black-filled high-density polyethylene antistatic composites. *J. Reinf. Plast. Compos.* 28, 295–304.

Lu, S.Y., Qian, J.Q., Wu, Z.G., Ye, W.D., Wu, G.F., Pan, Y. Bin ve Zhang, K.Y. (2009). Application of statistical method to evaluate immobilization variables of trypsin entrapped with sol-gel method. *J. Biochem. Technol.* 1, 79–84.

Mahfoudh, A., Cloutier, A. ve Rodrigue, D. (2013). Characterization of UHMWPE/wood composites produced via dry-blending and compression molding. *Polym. Compos.* 34, 510–

Makhlouf, A., Belaadi, A., Boumaaza, M., Mansouri, L., Bouchak, M. ve Jawaid, M. (2022). Water absorption behavior of jute fibers reinforced HDPE biocomposites: Prediction using RSM and ANN modeling. *J. Nat. Fibers* 19, 14014–14031.

Menard, K.P. ve Menard, N. (2020). *Dynamic mechanical analysis*. CRC press.

Meriç, Z. (2011). *Antistatic applications: metal coated fibers by magnetron sputtering*. Izmir Institute of Technology.

Myers, R.H., Khuri, A.I. ve Carter, W.H. (1989). Response surface methodology: 1966–1988. *Technometrics* 31, 137–157.

Myers, R.H., Montgomery, D.C., Vining, G.G., Borror, C.M. ve Kowalski, S.M. (2004). Response surface methodology: a retrospective and literature survey. *J. Qual. Technol.* 36, 53–77.

Myers, R.H., Montgomery, D.C. ve Anderson-Cook, C.M. (2016). *Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments*. John Wiley & Sons.

Nigiz, F.U. (2018). Yüzey Yanıt Metodu İle Optimize Edilen Metil Laurat Üretiminin Membran Reaktörde Uygulaması. *Mühendislik Bilim. ve Tasarım Derg.* 6, 47–55.

Oktor, K., Yuzer, N.Y., Hasirci, G. ve Hilmioglu, N. (2023). Optimization of removal of phosphate from water by adsorption using biopolymer chitosan beads. *Water, Air, Soil Pollut.* 234, 271.

Overton, T., Rourke, J., & Armstrong, F. A. (2018). *Inorganic Chemistry*. Oxford University Press.

Pionteck, J. ve Wypych, G. (2007). *Handbook of antistatics*. ChemTec Publishing.

Poplavko, Y.M. (2018). *Electronic materials: principles and applied science*. Elsevier.

Rasmussen, S.C. (2018). Revisiting the early history of synthetic polymers: critiques and new insights. *Ambix* 65, 356–372.

Satapathy, M.K. ve Das, P. (2014). Optimization of crystal violet dye removal using novel soil-silver nanocomposite as nanoadsorbent using response surface methodology. *J. Environ. Chem. Eng.* 2, 708–714.

Sawalha, S.H., Mosleh, A. ve Manasrah, A. (2007). Tensile properties of extruded short glass fibre/low density polyethylene composites. *Iranian Polymer Journal* 16(10), 719-726

Sever, K., Tavman, I.H., Seki, Y., Turgut, A., Omastova, M. ve Ozdemir, I. (2013). Electrical and mechanical properties of expanded graphite/high density polyethylene nanocomposites. *Compos. Part B Eng.* 53, 226–233.

Shang, Q., Hao, S., Wang, W., Fu, D. ve Ma, T. (2013). Preparation and characterization of antistatic coatings with modified BaTiO₃ powders as conductive fillers. *J. Adhes. Sci. Technol.* 27, 2642–2652.

Smith, W.F. (2009). *Malzeme bilimi ve mühendisliği*. Literatür Yayınları.

Souza, P.S., Rodrigues, E.F., Prêta, J.M.C., Goulart, S.A.S. ve Mulinari, D.R. (2011). Mechanical properties of HDPE/textile fibers composites. *Procedia Eng.* 10, 2040–2045.

Srinath, G. ve Gnanamoorthy, R. (2007). Sliding wear performance of polyamide 6–clay nanocomposites in water. *Compos. Sci. Technol.* 67, 399–405.

Suárez-Ruiz, I. ve Crelling, J.C. (2008). *Applied coal petrology: the role of petrology in coal utilization*. Academic press.

Toktaş, F.Ü., Müh, E.Y. ve Müfettişi, Ç.İ.G.E. (2018). Statik Elektrik. Elektr. Mühendisleri Odası Dergisi, (Erişim Tarihi: 01.09.2024) http://www.emo.org.tr/ekler/cf64379eb6f29a4_ek.pdf.

Trivedi, B. (2013). *Maleic anhydride*. Springer Science & Business Media.

Tuttle, M.E. (2003). *Structural analysis of polymeric composite materials*. CRC Press.

Varma, M.R. ve Sebastian, M.T. (2007). Effect of dopants on microwave dielectric properties of Ba (Zn^{1/3}Nb^{2/3}) O₃ ceramics. *J. Eur. Ceram. Soc.* 27, 2827–2833.

Vasile, C. ve Pascu, M. (2005). *Practical guide to polyethylene*. iSmithers Rapra Publishing.

Vinson, J.E. ve Liou, J.J. (2000). Electrostatic discharge in semiconductor devices: protection techniques. *Proc. IEEE* 88, 1878–1902.

Zheng, W., Lu, X. ve Wong, S. (2004). Electrical and mechanical properties of expanded graphite-reinforced high-density polyethylene. *J. Appl. Polym. Sci.* 91, 2781–2788.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı :

Doğum Yeri ve Tarihi :

:

Eğitim Durumu :

Lisans Öğrenimi :

Yüksek Lisans :

Öğrenimi

Bildiği Yabancı Diller :

Bilimsel :

Faaliyet/Yayınlar

İş Deneyimi :

Stajlar :

Çalıştığı Kurumlar :

İletişim :

E-Posta Adresi :

Tarih :