



Bor Minerali Dolgulu Termoplastik Matrisli Kompozit Malzemelerin Mekanik ve Termal Özelliklerinin İncelenmesi

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans

Tevfik İzer GÜNGÖR

ORCID 0000-0002-5083-0999

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Kutlay SEVER

Mayıs 2023

İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi **Tevfik İzer Güngör** tarafından hazırlanan **Bor Minerali Dolgulu Termoplastik Matrisli Kompozit Malzemelerin Mekanik ve Termal Özelliklerinin İncelenmesi** başlıklı bu çalışma tarafımızca okunmuş olup, yapılan savunma sınavı sonucunda kapsam ve nitelik açısından başarılı bulunarak jürimiz tarafından YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

ONAYLAYANLAR:

Tez Danışmanı: **Prof. Dr. Kutlay Sever**
İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi

Jüri Üyeleri:

Doç. Dr. Seçkin Erden
Ege Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Ebubekir Atan
İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi

Savunma Tarihi: 05.05.2023

Yazarlık Beyanı

Ben, **Tevfik İzer GÜNGÖR**, başlığı **Bor Minerali Dolgulu Termoplastik Matrisli Kompozit Malzemelerin Mekanik ve Termal Özelliklerinin İncelenmesi** olan bu tezimin ve tezin içinde sunulan bilgilerin şahsıma ait olduğunu beyan ederim. Ayrıca:

- Bu çalışmanın bütünü veya esası bu üniversitede Yüksek Lisans derecesi elde etmek üzere çalıştığım süre içinde gerçekleştirilmiştir.
- Daha önce bu tezin herhangi bir kısmı başka bir derece veya yeterlik almak üzere bu üniversiteye veya başka bir kuruma sunulduysa bu açık biçimde ifade edilmiştir.
- Başkalarının yayımlanmış çalışmalarına başvurduğum durumlarda bu çalışmalara açık biçimde atıfta bulundum.
- Başkalarının çalışmalarından alıntıladığımda kaynağı her zaman belirttim. Tezin bu alıntılar dışında kalan kısmı tümüyle benim kendi çalışmamdır.
- Kayda değer yardım aldığım bütün kaynaklara teşekkür ettim.
- Tezde başkalarıyla birlikte gerçekleştirilen çalışmalar varsa onların katkısını ve kendi yaptıklarımı tam olarak açıkladım.

Tarih: 05.05.2023

Bor Minerali Dolgulu Termoplastik Matrisli Kompozit Malzemelerin Mekanik ve Termal Özelliklerinin İncelenmesi

ÖZ

Günümüz plastik endüstrisinde çeşitli dolgu malzemeleri uzun yıllardır kullanılmaktadır. İlk zamanlarda sadece maliyet düşürme amacıyla kullanılan dolgu malzemeleri; üretim ve proses tekniklerinin gelişmesi, malzeme tedarik maliyetinin düşmesiyle beraber, polimerlerin özelliklerini geliştirmek amacıyla çalışmalar hız kazanmıştır. Buna paralel olarak son yıllarda hızla tükenen kaynaklar, iklim değişikliği gibi konular; çevreye zararı olmayan, doğal kaynaklardan elde edilen boratlar, silikatlar gibi mineral dolgu malzemelerini ön plana çıkarmış ve kompozit malzeme üretiminde kullanımını hızlandırmıştır. Bu tez kapsamında takviye dolgu malzemesi olarak, bor minerallerinin iki çeşidi olan, kolemanit ve üleksit mineralleri; matris malzemesi olarak ise yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) kullanılmış ve ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranlarında dolgu malzemesi içerecek şekilde kompozit numuneler üretilmiştir. Üretilen kompozit numunelere; çekme ve üç nokta eğilme testleri, dinamik mekanik analiz (DMA), termogravimetrik analiz (TGA), diferansiyel taramalı kalorimetre analizi (DSC) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemeleri uygulanmış olup bor minerallerinin YYPE'nin çeşitli mekanik ve termal özelliklerini geliştirdiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Bor minerali, kolemanit, üleksit, polietilen, DSC, TGA

An Investigation of the Mechanical and Thermal Properties of Boron Minerals Filled Thermoplastic Matrix Composites

Abstract

In the present plastic industry, various fillers have been used for a long time. While the fillers were used merely for reducing the cost of materials, with the improvement of the production and the process techniques, today the studies are highly increased for the purpose of the fillers that are used to improve the polymers' properties. In the meantime, due to the reasons for such issues as climate change, and disappearance in the world, the usage of environmentally friendly mineral fillers like naturally resourced borates, and silicates has been highlighted and is caused to be used these materials to produce the composites. In the scope of this thesis, two types of boron minerals which are colemanite and ulexite as the fillers, and high-density polyethylene (HDPE) as a matrix material were selected. The composite specimens so as to be contained per boron minerals and their mixture by weight %10, %20, %30 were produced. The tensile test, three points bending test, dynamic mechanical analysis (DMA), thermogravimetric analysis (TGA), dynamic scanning calorimetry analysis (DSC), and scanning electron microscope test (SEM) were performed. It was observed that the boron minerals contributed to the improvement of the mechanical and thermal properties of HDPE.

Keywords: Boron mineral, colemanite, ulexite, polyethylene, DSC, TGA

Değerli babam, değerli annem ve canım kardeşime...

Teşekkür

Tez çalışmam boyunca hiçbir zaman desteğini esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Kutlay SEVER'e ve değerli Arş. Gör. Dr. Metehan ATAGÜR'e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, tez çalışmamda kullanmış olduğum bor minerali tedariki konusunda gösterdikleri ilgi ve desteklerinden dolayı Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü yetkililerine, kompozit test numunelerinin hazırlanması ve üretimindeki yardımları sebebiyle Öğr. Gör. Mustafa ÖNCÜL'e teşekkür ederim.

İçindekiler

Yazarlık Beyanı.....	ii
Öz	iii
Abstract	iv
Teşekkür.....	vi
Şekiller Listesi.....	x
Tablolar Listesi.....	xiii
Kısaltmalar Listesi	xiv
Semboller Listesi.....	xv
1 Kompozit Malzemeler.....	1
1.1 Giriş	1
1.1.1 Kompozit Malzemelerin Tanımı ve Yapısı.....	2
1.1.2 Kompozit Malzemelerin Avantajları.....	4
1.1.3 Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları	5
1.1.4 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	5
1.2 Polimer Matris Malzemeleri.....	9
1.2.1 Termoset Matrisler	10
1.2.2 Termoplastik Matrisler.....	11
1.3 Takviye ve Dolgu Malzemeleri	13

1.3.1	Endüstriyel Bor Mineralleri	17
2	Tezin Kapsamı, Önemi ve Literatür Araştırması	20
2.1	Amaç	21
2.2	Araştırmanın Önemi	21
2.3	Literatür Araştırması	21
3	Materyal ve Yöntem.....	28
3.1	Kullanılan Malzemeler	28
3.1.1	Matris Malzemesi.....	28
3.1.2	Dolgu Malzemeleri.....	29
3.2	Kompozit Test Numunelerinin Üretilmesi	29
3.3	Uygulanan Test ve Analizler	31
3.3.1	Parçacık Boyut Analizi	31
3.3.2	Çekme ve Eğilme Testleri.....	31
3.3.3	Dinamik Mekanik Analiz (DMA).....	32
3.3.4	Termogravimetrik Analiz (TGA).....	32
3.3.5	Diferansiyel Taramalı Kalorimetre Analizi (DSC).....	33
3.3.6	Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) İncelemeleri.....	33
4	Bulgular ve Tartışma	34
4.1	Parçacık Boyut Analizi Sonuçları	34
4.2	Çekme ve Eğilme Testi Sonuçları	35
4.3	Dinamik Mekanik Analiz (DMA) Sonuçları.....	47

4.4	Termogravimetrik Analiz (TGA) Sonuçları	57
4.5	Diferansiyel Taramalı Kalorimetre Analizi (DSC) Sonuçları	59
4.6	Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) İnceleme Sonuçları	61
5	Sonuçlar ve Öneriler	65
	Kaynaklar	68
	Ekler	76
	Ek A Tezden Üretilmiş Yayınlar.....	77
	Ek B Dış Cilt Kapağı	78
	Özgeçmiş	80

Şekiller Listesi

Şekil 1.1: Mühendislik malzemeleri	1
Şekil 1.2: Kompozit malzeme temel yapısı	3
Şekil 1.3: Kompozit malzemelerin bazı monoklinik malzemelerle karşılaştırılması .	5
Şekil 1.4: Matris, takviye yapısına göre kompozit malzemelerin sınıflandırılması	6
Şekil 1.5: Lif (takviye) ve reçine (matris) yapılarından oluşan kompozit malzeme ...	6
Şekil 1.6: Sürekli ve kesikli lif takviyeli kompozit malzemeler	7
Şekil 1.7: Tanecik takviyeli kompozit malzeme	7
Şekil 1.8: Matris malzemelerinin sıcaklık ve yoğunluk özellikleri	8
Şekil 1.9: Termoset matrislerde şekil verme esnasında oluşan çapraz bağlar	10
Şekil 1.10: (a) Amorf ve (b) Yarı kristal yapıdaki polimerlerin molekül dizilişleri	11
Şekil 1.11: Etilen ve polietilen kimyasal yapıları	12
Şekil 2.1: Polimer kompozitlerin genel formülasyonu	23
Şekil 3.1: Yüksek hızlı termokinetik mikser.....	29
Şekil 3.2: (a) Üretilen kompozit plaka (b) Kompozit plakadan elde edilen test numuneleri.....	30
Şekil 3.3: (a) Üç nokta eğilme testi (b) Çekme testi	31
Şekil 3.4: Dinamik mekanik analiz (dma).....	32
Şekil 4.1: Kolemanit minerali parçacık boyutu dağılımı	34
Şekil 4.2: Üleksit minerali parçacık boyutu dağılımı	34
Şekil 4.3: Kolemanit mineral dolgu oranına göre çekme dayanımı değerleri.....	36
Şekil 4.4: Kolemanit mineral dolgu oranına göre elastisite modülleri.....	36
Şekil 4.5: Üleksit mineral dolgu oranına göre çekme dayanımı değerleri.....	37
Şekil 4.6: Üleksit mineral dolgu oranına göre elastisite modülleri.....	37
Şekil 4.7: %10 mineral dolgu oranına göre çekme dayanımı değerleri	38
Şekil 4.8: %20 mineral dolgu oranına göre çekme dayanımı değerleri	39

Şekil 4.9: %30 mineral dolgu oranına göre çekme dayanımı değerleri	39
Şekil 4.10: %10 mineral dolgu oranına göre elastisite modülleri	40
Şekil 4.11: %20 mineral dolgu oranına göre elastisite modülleri	41
Şekil 4.12: %30 mineral dolgu oranına göre elastisite modülleri	41
Şekil 4.13: Kolemanit mineral dolgu oranına göre eğilme dayanımı değerleri	42
Şekil 4.14: Kolemanit mineral dolgu oranına göre eğilme modülleri.....	42
Şekil 4.15: Üleksit mineral dolgu oranına göre eğilme dayanımı değerleri	44
Şekil 4.16: Üleksit mineral dolgu oranına göre eğilme modülleri.....	44
Şekil 4.17: %10 mineral dolgu oranına göre eğilme dayanımı değerleri.....	45
Şekil 4.18: %20 mineral dolgu oranına göre eğilme dayanımı değerleri.....	45
Şekil 4.19: %30 mineral dolgu oranına göre eğilme dayanımı değerleri.....	45
Şekil 4.20: %10 mineral dolgu oranına göre eğilme modülleri	46
Şekil 4.21: %20 mineral dolgu oranına göre eğilme modülleri	46
Şekil 4.22: %30 mineral dolgu oranına göre eğilme modülleri	46
Şekil 4.23: Kolemanit mineral dolgu oranına göre depolama modülleri	48
Şekil 4.24: Kolemanit mineral dolgu oranına göre kayıp modülleri.....	48
Şekil 4.25: Kolemanit mineral dolgu oranına göre tan delta eğrileri	48
Şekil 4.26: Üleksit mineral dolgu oranına göre depolama modülleri	50
Şekil 4.27: Üleksit mineral dolgu oranına göre kayıp modülleri.....	51
Şekil 4.28: Üleksit mineral dolgu oranına göre tan delta eğrileri	51
Şekil 4.29: %10 mineral dolgu oranına göre depolama modülleri.....	52
Şekil 4.30: %20 mineral dolgu oranına göre depolama modülleri.....	52
Şekil 4.31: %30 mineral dolgu oranına göre depolama modülleri.....	53
Şekil 4.32: %10 mineral dolgu oranına göre kayıp modülleri	54
Şekil 4.33: %20 mineral dolgu oranına göre kayıp modülleri	54
Şekil 4.34: %30 mineral dolgu oranına göre kayıp modülleri	54
Şekil 4.35: %10 mineral dolgu oranına göre tan delta eğrileri	55
Şekil 4.36: %20 mineral dolgu oranına göre tan delta eğrileri	56
Şekil 4.37: %30 mineral dolgu oranına göre tan delta eğrileri	56
Şekil 4.38: YYPE ve kolemanit minerali dolgulu numunelerin TG eğrileri	58
Şekil 4.39: YYPE ve üleksit minerali dolgulu numunelerin TG eğrileri.....	58
Şekil 4.40: YYPE ve kolemanit minerali dolgulu numunelerin DSC eğrileri	60
Şekil 4.41: YYPE ve üleksit minerali dolgulu numunelerin DSC eğrileri	61
Şekil 4.42: (a) Kolemanit ve (b) Üleksit minerallerinin SEM görüntüleri	62

Şekil 4.43: (a) Saf YYPE (b) %10 kolemanit dolgulu (c) %10 üleksit dolgulu (d) %5 kolemanit %5 üleksit dolgulu numunelerin SEM görüntüleri	62
Şekil 4.44: (a) %20 kolemanit dolgulu (b) %20 üleksit dolgulu (c) %10 kolemanit %10 üleksit dolgulu numunelerin SEM görüntüleri.....	63
Şekil 4.45: (a) %30 kolemanit dolgulu (b) %30 üleksit dolgulu (c) %15 kolemanit %15 üleksit dolgulu numunelerin SEM görüntüleri.....	63

Tablolar Listesi

Tablo 1.1: Çeşitli matris, takviye ve kompozit yapı tipleri	3
Tablo 1.2: Bazı termoset matris malzemelerinin malzeme özellikleri	11
Tablo 1.3: Bazı termoplastik matris malzemelerinin özellikleri	12
Tablo 1.4: Bazı takviye elemanlarının malzeme özellikleri	13
Tablo 1.5: Cam lifi yapımında kullanılan bazı cam türleri ve özellikleri	14
Tablo 1.6: Yaygın kullanılan doğal liflerin bazı mekanik ve fiziksel özellikleri	15
Tablo 1.7: Türkiye'de mineral bazında rezerv miktarları	18
Tablo 1.8: Bor cevheri kullanım alanları	18
Tablo 3.1: PETİLEN YY I 668 (UV) malzeme özellikleri	28
Tablo 3.2: Kullanılan mineral dolgu türüne göre karışım oranları	30
Tablo 4.1: YYPE ve kompozit numunelerin çekme, eğilme deney sonuçları	35
Tablo 4.2: YYPE ve mineral dolgulu kompozit numunelerin depolama modülleri ..	47
Tablo 4.3: YYPE ve mineral dolgulu numunelerin TGA sonuçları.....	57
Tablo 4.4: YYPE ve mineral dolgulu numunelerin DSC sonuçları.....	59

Kısaltmalar Listesi

YYPE	Yüksek Yoğunluklu Polietilen
PET	Polietilen Tereftalat
PP	Polipropilen
IPP	İzotaktik Polipropilen
PEEK	Polieter Eter Keton
PPS	Polifenilen Sülfür
UV	Ultraviyole
ASTM	Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu
DMA	Dinamik Mekanik Analiz
TGA	Termogravimetrik Analiz
DSC	Diferansiyel Taramalı Kalorimetre Analizi
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
Kol	Kolemanit Minerali Dolgulu Kompozit Numuneler
Üle	Üleksit Minerali Dolgulu Kompozit Numuneler
KolÜle	Kolemanit ve Üleksit Hibrit Mineral Dolgulu Kompozit Numuneler

Semboller Listesi

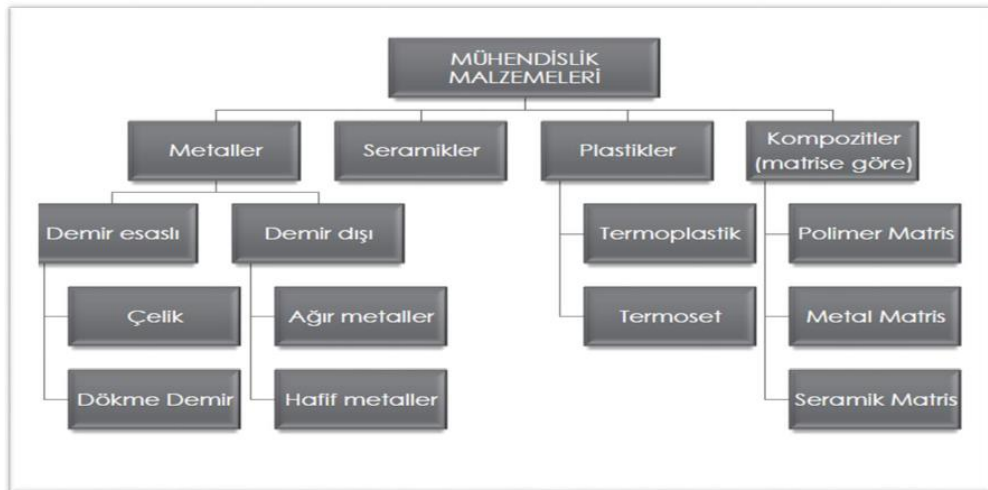
$\sigma_{\text{ç}}$	Çekme Dayanımı
E_m	Elastisite Modülü
$KU_{\text{ç}}$	Kopma Uzaması
σ_e	Eğilme Dayanımı
E_m	Eğilme Modülü
T_m	Erime Sıcaklığı
T_c	Kristalizasyon Sıcaklığı
ΔH_c	Kristalizasyon Entalpisi
ΔH_m	Erime Entalpisi
X_c	Kristalinite Derecesi

Bölüm 1

Kompozit Malzemeler

1.1 Giriş

Günümüzde mühendisler için çeşitli uygulamaların dizayn ve üretiminde kullanılmak üzere 50.000'den fazla malzeme mevcuttur. Bu malzemeler, birkaç yüzyıldır mevcut olan sıradan malzemelerden (bakır, pirinç, dökme demir vb.) yakın zamanda geliştirilen ileri malzemelere (seramikler, kompozitler, yüksek performans çelikleri vb.) kadar giden bir aralığa sahiptir. Çok sayıda malzeme çeşitliliğinden dolayı, günümüz mühendisliğinde uygun malzeme ve üretim metodu seçimi zorlaşmaktadır. Bu malzemelerin her birinin karakteristik özelliklerini incelemek oldukça zordur ve bu durum, malzemelerin genel anlamda sınıflandırılmasını ve karakterize edilmesini gerektirmektedir [1].



Şekil 1.1: Mühendislik malzemeleri [2]

Mühendislik malzemeleri temel olarak Şekil 1.1’de görüldüğü üzere; metallere, plastikler, seramikler ve kompozitler olmak üzere 4’e ayrılmaktadır. Bu malzemelerin seçiminde kullanım şartlarındaki durumlar göz önünde bulundurulmalıdır. Ek olarak güvenilirlik, imal edilebilirlik, elde edilebilirlik, tamir kabiliyeti, maliyet, uyumluluk gibi unsurların da malzeme seçiminde dikkate alınması son derece önemlidir [2].

1960’lı yılların başından itibaren; havacılık, enerji, inşaat gibi alanlarda daha rijit, dayanımı daha yüksek ve aynı zamanda daha hafif malzemelere artan bir talep meydana gelmiştir. Artan bu talep sonucunda malzemelerden beklenen daha üstün özelliklerin standart ve tek bir malzeme türü ile karşılanamayacağı fark edilmiştir. Bu durum, malzemelerin birbirleriyle çeşitli şekillerde kombine edilmesi ile kompozit malzemeleri ortaya çıkarmıştır [3].

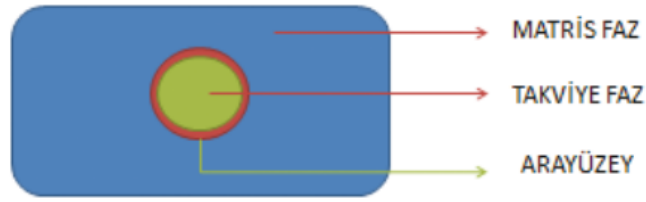
1.1.1 Kompozit Malzemelerin Tanımı ve Yapısı

Birbirinden farklı kimyasal ve fiziksel özellikleri olan, iki veya daha fazla malzemenin aralarında kimyasal bağ oluşmaksızın ve ara yüzey oluşturarak meydana getirdikleri malzemeler grubuna kompozit malzemeler denir. Kompozit malzemeleri oluşturan bileşenler birbirleri içerisinde çözünmezler ve makroskobik olarak homojen yapıdadırlar [4]. Alaşımlar mikro yapıdan oluştuğu için kompozit malzeme olarak kabul görmemektedirler [5].

Genel anlamda bir kompozit malzeme, kendisini oluşturan malzemelerin her birinden karakteristik özellikler bakımından daha iyi olması amacıyla elde edilen bir yapıdır. Bazı özel durumlarda ise kompozit yapıyı oluşturan malzemelerden daha zayıf karakteristik özelliklere sahip yapılarda elde edilebilmektedir [5].

Şekil 1.2’de görüldüğü üzere kompozit malzemeler; takviye elemanı, takviye elemanın etrafını çevreleyen arayüzey ve matris yapısından meydana gelmektedir. Matrisin temel fonksiyonu, kompozit yapıyı bir arada tutmak ve onları çevresel etkilerden muhafaza etmekle birlikte; takviye elemanının temel görevi ise matris yapının rijitlik ve dayanımı arttırmaktır [6]. Matris yapı ve takviye elemanı birbirine bağlayan arayüzey bağı, esasında kırılğan bir yapıda olmasına rağmen kompozit yapının maruz kaldığı kuvvetleri çözülmeye ve deformasyona uğramadan takviye elemanına iletmektedir. Bu bölge, malzemenin elastisite modülünü etkileyen en kritik kısımdır.

Bu sebeple kompozit malzemenin dayanımı ara yüzey bağının istenilen biçimde olmasına bağlıdır [7].



Şekil 1.2: Kompozit malzeme temel yapısı [7]

Tablo 1.1’de, kompozit malzemelerin matris yapılarında kullanılan bazı mühendislik malzemeleri, takviye elemanının kompozit içerisinde bulunduğu bazı formlar ve kompozit yapı tipleri görülmektedir.

Tablo 1.1: Çeşitli matris, takviye ve kompozit yapı tipleri [8]

Matris Malzemeleri	Takviye Elemanları	Kompozit Yapının Şekli
Polimerler	Lifler	Tabakalar
Metaller	Granül	Kaplamalar
Seramikler	Whiskers	Film-Folya

Matris yapı ve takviye elemanının temel görevlerine ek olarak, kompozit malzeme içerisindeki diğer fonksiyonları şu şekildedir:

Matris yapının fonksiyonları,

- Kompozit malzemeye uygulanan gerilimin matris yapıdan takviye elemana transferini sağlar.
- Kompozit malzemenin katı bir şekilde durmasını sağlar.

Takviye elemanının fonksiyonları,

- Kompozit malzeme içerisinde çatlak yayılmasını önler.
- Yüksek sıcaklıklarda ısı dayanımının artmasını sağlar.
- Dolgu malzemesi olarak kullanılması bazı durumlarda maliyeti düşürür.
- Kompozit malzemenin mekanik özellikleri dışında elektrik iletkenliği ya da yalıtım özellikleri kullanılan takviye elemanına bağlıdır [8-9].

Kompozit malzemelerin özellikleri bileşenlerden, bu bileşenlerin dağılımından ve bileşenler arasındaki etkileşimden büyük ölçüde etkilenmektedir. Konsantrasyon, genellikle kompozit malzeme özelliklerini en fazla etkileyen parametre olarak kabul edilmektedir. Konsantrasyon, kütleli veya hacimsel oran olarak ölçülmektedir [10].

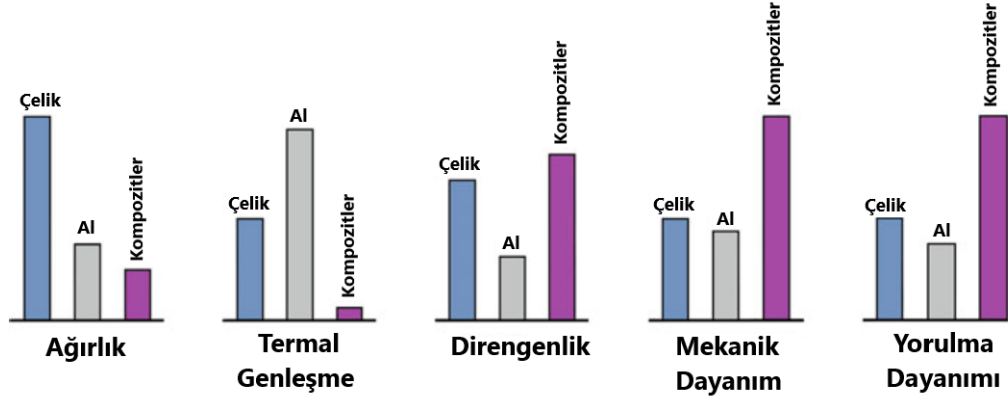
1.1.2 Kompozit Malzemelerin Avantajları

Kompozit malzemelerin önemli avantajları bulunmaktadır. Bu avantajlardan önemli olanları ise şunlardır:

- 1) Kompozit malzemelerin özgül dayanımları (dayanım-yoğunluk oranı) çok yüksektir. Özellikle polimer matrisli kompozitlerin özgül dayanım değerleri çelik ve alüminyum alaşımlara kıyasla 3 ila 5 kat daha yüksektir. Bu avantajın getirdiği düşük ağırlık sayesinde özellikle hava ve kara taşıtlarındaki yakıt sarfiyatını düşürmektedirler.
- 2) Karbon fiber/epoksi gibi kompozit malzemeler çelik ve alüminyum alaşımlara göre %40'lara varan oranlarda daha iyi yorulma dayanımına sahiptir.
- 3) Polimer matrisli kompozitler, metal malzemelere kıyasla korozyona ve kimyasallara karşı daha iyi direnç gösterirler.
- 4) Kompozit malzemelerin darbe ve titreşim sönümlenme yetenekleri özellikle metallere kıyasla daha yüksektir, bu sayede oluşabilecek çatlakların yayılması en aza indirilebilmektedir.
- 5) Kompozit malzemelerin üretiminde, son ürün şekline yakın veya son ürün şeklinde üretimin mümkün olması sebebiyle ilave üretim süreçlerine ihtiyaç duyulmamakta, böylece üretim maliyeti ve çevrim süreleri düşürülebilmektedir. Ayrıca, bazı durumlarda geleneksel mühendislik malzemeleriyle tek parça olarak üretilemeyen karmaşık parçalar kompozit malzemeler kullanılarak perçin veya kaynak gibi birleştirme işlemleri yapılmadan elde edilmektedir.
- 6) Kompozit malzemeler, tasarım aşamasında ciddi seviyede esneklik sağlarlar. Uygun matris ve takviye elemanı seçimi, bunların uygun şekilde yerleştirilmesi ile termal genişleme katsayısı sıfıra indirilebilir ve böylece yüksek boyutsal kararlılığa sahip kompozit malzemeler üretilebilir. Kalıplama özellikleri

sayesinde ise arzu edilen bölge ve yönde mukavemetleri arttırılabilir ve malzemeden tasarruf edilmesi sağlanabilir [11].

Şekil 1.3'de görüldüğü üzere, bazı geleneksel çelik, alüminyum gibi monoklinik malzemeler ile kompozitlerin karşılaştırılması ve çeşitli malzeme özelliklerinin diğerlerine göre kompozit malzeme kullanımı ile iyileştirme olanakları görülmektedir. Bu durum, kompozit malzemelerin geliştirilmesi için gösterilen büyük uğraşların sebebini açık bir şekilde ortaya koymaktadır [3].



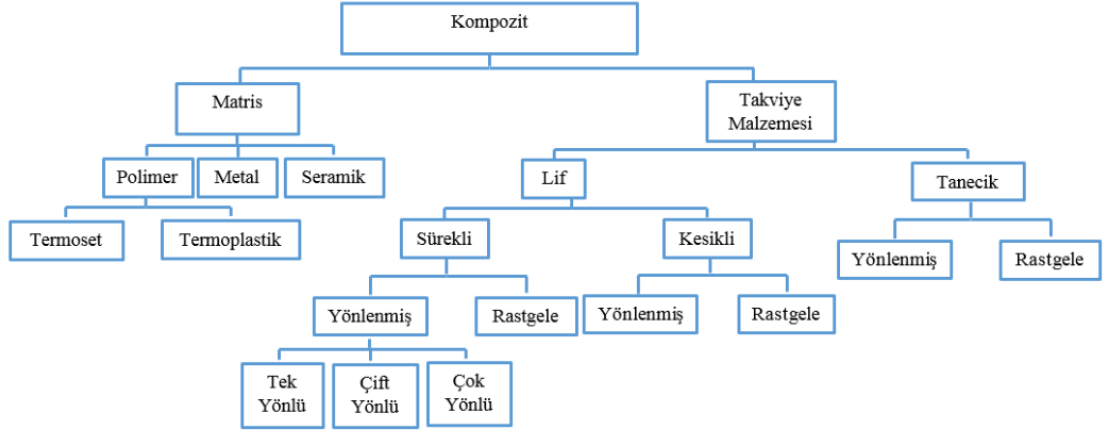
Şekil 1.3: Kompozit malzemelerin bazı monoklinik malzemelerle karşılaştırılması [3]

1.1.3 Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları

Polimer matrisli kompozitler mühendislik uygulamalarında çok sık tercih edilen malzeme özelliklerine sahiptir. Özgül dayanım, darbe dayanımı, aşınma direnci gibi özellikler, bu malzemeleri özellikle uçak sanayii, gemi imalat ve otomotiv endüstrisi için avantajlı duruma getirmektedir [10].

1.1.4 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

En yaygın sınıflandırma kompozit malzeme yapısını oluşturan matris ve takviye bileşenlerine göre yapılmaktadır [7]. Şekil 1.4'de gösterildiği üzere kompozit malzemeler matris yapısına göre polimer, metal, seramik matrisli kompozitler olarak üçe ayrılırlar. Takviye yapısına göre sınıflandırıldıklarında ise lif ve tanecik takviyeli olarak ikiye ayrılırlar.



Şekil 1.4: Matris, takviye yapısına göre kompozit malzemelerin sınıflandırılması [12]

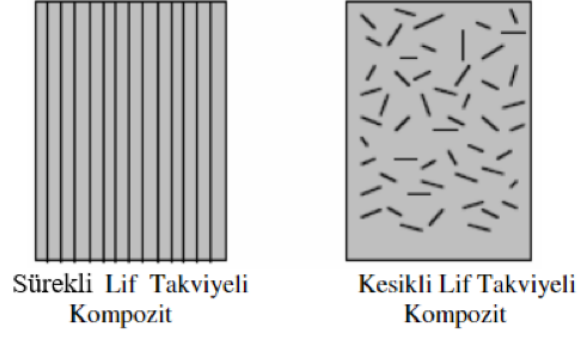
1.1.4.1 Takviye Malzemesine Göre Sınıflandırma

Lif takviyeli kompozitler, ince liflerin matris içerisinde yer almasıyla meydana gelmektedir. Liflerin kompozit yapı içerisindeki oryantasyonu (yönlenmiş, rastgele) kompozit malzemenin mukavemetini ciddi derecede etkileyen bir durumdur. Tipik bir lif takviyeli kompozit malzeme Şekil 1.5’de görüldüğü üzere takviye liflerinin matris içerisine yerleştirilmesiyle oluşmaktadır.



Şekil 1.5: Lif (takviye) ve reçine (matris) yapılarından oluşan kompozit malzeme [1]

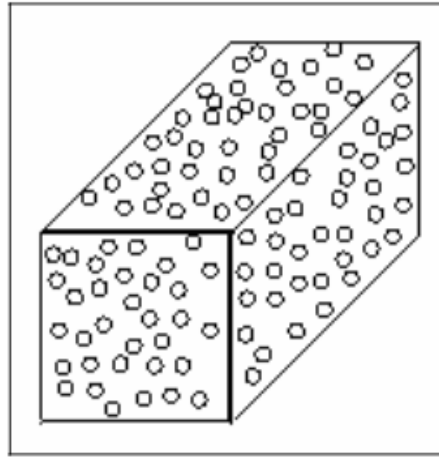
Yükü lifler taşımaktadır ve lif eksenine boyunca kompozit malzemenin dayanımı en üst seviyededir. Uzun liflerin matris yapı içerisinde birbirlerine paralel olarak yerleştirilmesiyle lifler doğrultusunda yüksek mukavemet sağlanırken, liflere dik doğrultuda ise mukavemet oldukça düşüktür. Sürekli haldeki lifler kısa lif haline getirildiğinde (kesildiğinde) daha düşük özellikler göstermektedirler. Matris içerisine homojen biçimde dağılmış kısa liflerle ise izotropik bir yapı oluşturmak mümkündür [10-12]. Şekil 1.6’da sürekli ve kesikli lif takviyeli kompozit yapılar görülmektedir.



Şekil 1.6: Sürekli ve kesikli lif takviyeli kompozit malzemeler [1]

Tanecik takviye elemanlarının matris yapıya kıyasla sahip olduğu sertlik nedeniyle, kompozit malzemenin sertlik değerini arttırmakta etkili olurken, dayanımı artırma konusunda etkileri sınırlı olmaktadır. Tanecik yaygın olarak ısıl ve elektriksel iletkenliği değiştirmek, sürtünmeyi azaltmak, makinede işlenebilirliği arttırmak, aşınma dayanımını geliştirmek ve büzülme (çekme)yi azaltmak gibi amaçlarla kullanılsa da birçok durumda sadece maliyeti düşürmek amacıyla kullanılmaktadır [5].

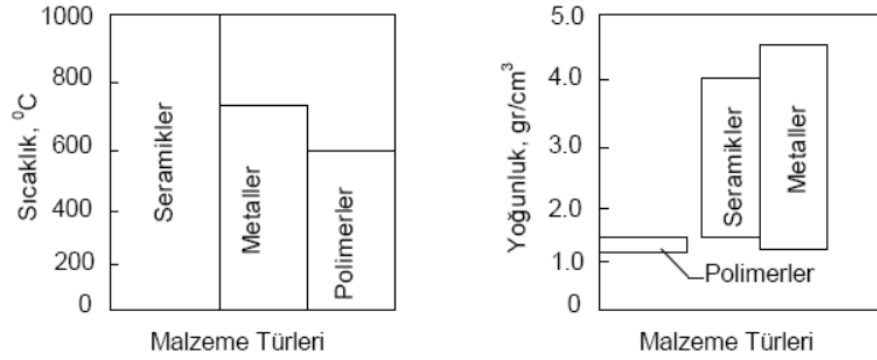
Şekil 1.7’de tanecik takviyeli kompozit görülmektedir. Tanecik takviyeli kompozitlerde, taneciklerin üç yöndeki boyutları arasında belirgin bir fark bulunmamaktadır. Küre, granül, pelet, disk, pul gibi geometrilerdeki ya da şekilsiz küçük kırıntılar bu grupta yer almaktadır [5].



Şekil 1.7: Tanecik takviyeli kompozit malzeme [13]

1.1.4.2 Matris Malzemesine Göre Sınıflandırma

Matris malzemeleri kompozitin üretim yöntemine ve kullanım amacına göre metal, seramik veya polimer malzemeden oluşabilirler [7]. Matris seçimi kimyasal, ısı, elektriksel, çevresel ve maliyet gibi faktörler göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmektedir. Malzemenin işletme şartlarında maruz kaldığı sıcaklık ve üretim parametreleri yine matris malzemeye bağlıdır [1]. Şekil 1.8’de matris malzeme türlerinin sıcaklık ve yoğunluk özellikleri gösterilmiştir.



Şekil 1.8: Matris malzemelerinin sıcaklık ve yoğunluk özellikleri [5]

Metal matrisli kompozitler, metalik bir matris yapı (çoğunlukla alüminyum, magnezyum, bakır ve titanyum) ve takviye elemanı olarak ise oksitler, karbürler gibi seramikler ya da dağınık yapıdaki tungsten, molibden gibi metalik parçacıklardan oluşmaktadır [14]. Bu kompozitler takviye edildikleri metal malzemelere göre daha iyi özelliklere sahiptirler. Seramiklerin yüksek elastisite modülü ve metallerin plastik şekil değiştirme özellikleri kombine edilerek aşınmaya dirençli, yüksek mukavemetli malzemeler elde edilebilir [7].

Seramik matrisli kompozitler iyonik veya iyonik-kovalent bağ karışımına sahip oldukları için çok kararlıdır ve bundan dolayı da gevrek, çok sert yapıda olup yüksek sıcaklığa dayanıklıdır [6]. Kırılgan ve sert yapıda olmaları sebebiyle çok düşük süneklik ve tokluk değerlerine sahiptirler. Termal şoklara karşı dayanımları düşüktür. Bu nedenlerle takviye elemanları kullanılarak bu özellikleri iyileştirilmeye çalışılır. Buna karşılık, çok iyi elektriksel yalıtım özelliğine, çok yüksek çalışma sıcaklıklarına ve elastisite modülüne sahiptirler [7].

Polimer matrisli kompozit malzemeler genellikle petrokimya esaslı ürünlerdir ve günümüzde en yaygın kullanım alanına sahip malzemelerdir. Polimer kompozitler uzun süreli kullanıma elverişli, korozyon dayanımına sahip, şekillendirilmesi ve işlenmesi kolay, birim kütle başına yük kapasitesi yüksek malzemelerdir. Termoplastik ve termoset olmak üzere ikiye ayrılırlar [7].

Bu çalışmada polimer matris malzemesi kullanılmasından dolayı, tezin bir sonraki başlığında polimer matris malzemeleri hakkında daha ayrıntılı bilgi verilmektedir.

1.2 Polimer Matris Malzemeleri

Polimerler, monomer yapılardan meydana gelen zincir şeklinde bir forma sahip sentetik malzemelerdir. Monomerler polimerizasyon yoluyla diğer monomer molekülleri ile birleşerek tekrarlanan yapılardan oluşan, çok uzun zincir şeklinde bir makro-molekül meydana getirir [6]. Polimer, tek tip monomerlerden oluşuyorsa homopolimer; birden fazla monomerden oluşuyorsa kopolimer olarak isimlendirilir [11].

Polimerler, karbon temelli olduklarından dolayı kovalent bağlar içermektedirler. Molekül içindeki atomlar arası kovalent bağlar güçlü olmasına rağmen; polimer yapısını oluşturan moleküller arası bağlar zayıftır. Bu durum, polimerlerin ergime noktalarının düşük olması, mukavemetlerinin de zayıf olmasının temel nedenidir. Polimerler, moleküllerinin iç yapılarına göre 3 ana gruba ayrılırlar: Çapraz bağlı, yarı kristalin ve amorf polimerler. Amorf yapıdaki polimerlerde, moleküller birbirleri arasında rastgele bağlanmış uzun zincirler halinde bulunurlar ve herhangi bir çapraz bağ oluşturmazlar. Yarı kristalin polimerler kristalin ve amorf yapıların beraber buldukları polimerlerdir. Atomların düzgün olarak sıralandığı kristalin bölgeler polimerlere katılık, amorf bölgeler ise polimere tokluk kazandırmaktadır. Bu polimerlerin dayanımı ve yumuşama sıcaklığı kristallik derecesiyle doğru orantılıdır. Çapraz bağlı polimerlerde zincir yapıları arasında malzeme özelliklerini belirleyen kovalent bağlar mevcuttur. Çapraz bağ sayıları kontrol edilerek birçok farklı malzeme elde edilebilmektedir. Çapraz bağlanmanın artması, polimerlerin sertliğini de arttırmaktadır [11].

Termoplastiklere ısı olarak enerji verildiğinde polimer zincirlerinde bir hareketlilik meydana gelir. Başlangıçta zincirin küçük kısımlarında başlayan bu hareketlilik, verilen ısı arttıkça giderek zincirin tümüne yayılır. Bu noktada, polimer zincirler birbirleri üzerinden kaymaya başlar ve katı polimer ergiyerek akmaya başlar. Bazı polimerler, istenildiğinde ısıtılıp ergitilebilir, soğutulup katılaştırılabilir ve tamamen fiziksel, tersinir olan bu döngü tekrarlanabilir [5].

Buna ilaveten, ısı verildiğinde farklı bir davranış gösteren ikinci bir polimer türü de termosetlerdir. Isı ile bir kez şekil verilmesi ardından tekrar ısıtıldıklarında yumuşamaz ve ergimezler; ancak polimer zincirlerindeki bağlar yüksek sıcaklıklarda belirli bir limit değeri aşıldığında kopabilir ve malzeme bozularak tersinmez olarak tepkime verir [5].

Her iki polimer türü de takviye edilebilir özelliktedir. Kompozitlerin ilk gelişme aşaması termosetler alanında olmuştur. Buna ek olarak, son zamanlarda takviyeli termoplastik polimerlerin kullanımında da hızlı bir büyüme yaşanmıştır. Termoplastiklerin özellikleri ve maliyet faktörlerindeki olumlu ilerlemelere paralel şekilde bu gelişmenin devam etmesi beklenmektedir [15].

1.2.1 Termoset Matrisler

Termoset matrisler, Şekil 1.9'daki üç boyutlu moleküler zincirlerden meydana gelen çapraz bağlardan dolayı ısıtıldığında atomlar birbirleri üzerine kayamazlar, esnek değildirler ve tekrar eritilip şekil verilemezler. Oluşan çapraz bağların sayısının artması ile daha rijit ve ısı olarak kararlı malzemeler elde edilir [1-8].



Şekil 1.9: Termoset matrislerde şekil verme esnasında oluşan çapraz bağlar [1]

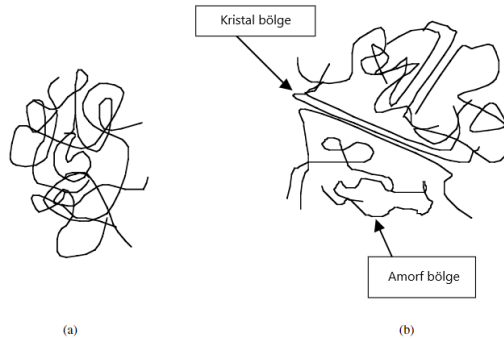
Düşük yoğunluk, kimyasal direnç, ısıl stabilizasyon termosetlerin avantajlarıdır. Katılaşmaları için gereken uzun zaman, düşük kopma uzaması ve kırılmalık ise dezavantajlarıdır [10]. Kompozit malzemelerde en çok kullanılan termoset matris malzemeleri epoksi, polyester ve fenoliktir. Tablo 1.2’de bazı termosetlerin fiziksel ve mekanik özellikleri verilmiştir [5].

Tablo 1.2: Bazı termoset matris malzemelerinin malzeme özellikleri [5]

Malzeme Özellikleri	Epoksi	Polyester	Fenolik
Yoğunluk (g/cm ³)	1,11	1,04-1,46	1,24-1,32
Elastisite Modülü (MPa)	7000	3400	4800
Çekme Dayanımı (MPa)	70	41-90	34-62
Kopma Uzaması (%)	3-6	42	1,5-2
Isıl İletkenlik	0,19	0,19	0,15
Isıl Genleşme (1/°C)	45-65	55-100	68

1.2.2 Termoplastik Matrisler

Termoplastik matris malzemeleri, genel olarak termosetlerden daha tok ve sünek özellik gösterirler. Termoplastik matrisler, sıcaklık ile tekrarlanabilir olarak yeniden şekillendirilebilir ve form verilebilirler. Molekül zincirleri birbirlerine zayıf Van der Waals bağları ile bağlı olduklarından sıcaklık arttıkça yumuşar ve viskozitesi düşer. Termoplastik matrisler, Şekil 1.10’da görüldüğü üzere amorf veya yarı kristal yapıda bulunurlar. Amorf yapıda termoplastik moleküller rastgele dizilirler, yarı kristal yapıda ise moleküller belirli bir düzende sıralanırlar. Moleküllerinin karmaşık yapılarından dolayı %100 kristal yapıda bulunamazlar [1-6].



Şekil 1.10: (a) Amorf ve (b) Yarı kristal yapıdaki polimerlerin molekül dizilişleri [1]

Özellikle yüksek sıcaklıklarda termoplastik malzemeler, termosetlere göre düşük sürünme direnci gösterirler ve kimyasallara karşı daha az dayanıklıdırlar. Birbirleriyle bağlantı, kaynak yapabilme özellikleri termoset malzemelere kıyasla daha kolaydır [10-12].

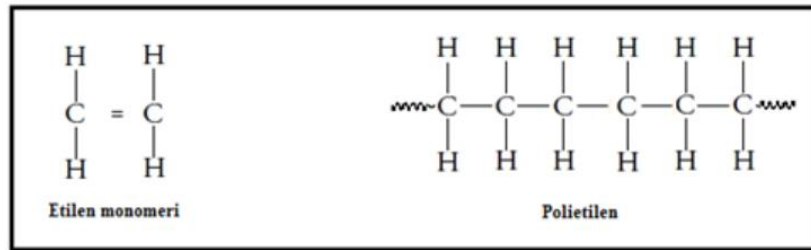
Tablo 1.3: Bazı termoplastik matris malzemelerinin özellikleri [12]

Polimer Malzeme	Yoğunluk (g/cm ³)	Elastisite Modülü (GPa)	Çekme Dayanımı (MPa)
Naylon	1,1	1,3-3,5	55-90
PEEK	1,3-1,35	3,5-4,4	100
PPS	1,3-1,4	3,4	80
Polikarbonat	1,2	3,5	55-70
Asetal	1,4	0,7-1,4	70
Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE)	0,94	1-1,2	19-20

Tablo 1.3’de bazı termoplastik matris malzemelerinin genel özellikleri gösterilmektedir. Tez çalışması kapsamında, termoplastik matris malzemesi olarak yüksek yoğunluklu polietilen seçilmiştir.

Düşük su tutma kapasitesi, yüksek deformasyon direnci, kimyasal kararlılık, düşük maliyet ve kolay işlenebilmesi gibi özellikler polietilenin kullanımını cazip kılmaktadır [6].

Poliolefin sınıfına ait bir termoplastik polimer olan polietilen, diğer polimerlere kıyasla yüksek performans göstermesi sebebiyle çok yönlü bir kullanıma sahiptir. Polietilen; Şekil 1.11’de görüldüğü üzere çift bağ ile bağlanmış iki adet CH₂ molekülünden meydana gelen etilen monomerlerinden oluşmaktadır [16].



Şekil 1.11: Etilen ve polietilen kimyasal yapıları [16]

Polietilen; dallanma yapısına, molekül ağırlığına ve yoğunluğuna göre sınıflandırılır. Bunlardan en çok kullanılanlar; ultra yüksek moleküler ağırlıklı polietilen ve yüksek, orta, düşük, doğrusal düşük, çok düşük yoğunluklu polietilenlerdir. YYPE, yaklaşık olarak $0,942 \text{ g/cm}^3$ ile $0,965 \text{ g/cm}^3$ arasında değişen yoğunluklara sahiptir. Diğer polietilen türlerine göre mukavemeti daha yüksek ve daha rijittir. Özellikle ambalaj endüstrisinde çeşitli içecek, gıda, deterjan, kimyasal, kozmetik gibi ürünlerde şişe ve kapların üretiminde tercih edilmektedir. Ek olarak; boru, oyuncak, izolasyon malzemeleri, kablo ve ev eşyalarının üretiminde de büyük önem taşımaktadır [16].

Söz konusu geniş kullanım alanları göz önünde bulundurulduğunda, malzemenin mekanik ve fiziksel özelliklerinin geliştirilmesi büyük önem arz etmektedir.

1.3 Takviye ve Dolgu Malzemeleri

Günümüz polimer matris malzemelerinin takviye edilmesi noktasında çok farklı malzemeler kullanılmaktadır. Kompozitlerin ilk ortaya çıktığı zamanlarda, polimer matrislerde takviye malzemesi olarak tekstil ve kumaş türevi malzemeler bulunmaktaydı. İlerleyen yıllarda takviye malzemeleri çeşitlenerek kompozit malzemelerin üretimlerinde ve kullanımları esnasında karşılaşılan zorluklar neticesinde; bağlayıcılar, kaplamalar ve kaydırıcılar gibi ek ilave malzemeler ortaya çıkmıştır [11].

En çok kullanılan takviye malzemeleri: Cam, karbon ve aramid lifleridir. Tipik lif çapları ise $5 \mu\text{m}$ ile $20 \mu\text{m}$ arasında değişmektedir [10]. Bu liflerin bazı malzeme özellikleri Tablo 1.4'de görülmektedir.

Tablo 1.4: Bazı takviye elemanlarının malzeme özellikleri [5]

Takviye Türleri	Gerilme Dayanımı (MPa)	Gerilme Modülü (MPa)	Özgül Ağırlık	Özellikler
Cam	3000-5000	72-82	2,48-2,6	Yüksek Dayanım, İyi Kalıplama Özellikleri, Düşük Maliyet
Karbon/Grafit	2500-3000	200-700	1,75-1,96	Yüksek Modül, Elektriksel İletkenlik, Yüksek Maliyet
Aramid	2750-3000	82-124	1,44	İyi Spesifik Özellikler, Orta Maliyet
Boron	3500	400	2,55	Yüksek Modül, Yüksek Maliyet

Cam lifinin aslını silis-kum (SiO_2) oluşturmakla beraber belirli oranlarda; sodyum, kalsiyum, alüminyum, bor ve demir gibi elementlerin oksitlerinden oluşmaktadır. Polimer matrisli malzemelerde yaygın kullanılan en ucuz takviye elemanıdır [6]. Cam lifleri, polimer matrisli kompozitlerde kullanılan ilk takviye elemanlarıdır. Cam lifleri, yüksek kimyasal ve ısı kararlılık, yüksek çekme dayanımı, yüksek elektriksel yalıtım, düşük çekme gerinimi ve düşük ısı genleşme katsayısı gibi özelliklerle karakterize edilirler [17]. Çeşitli lif yapımında kullanılan cam türleri ve sahip oldukları özellikler Tablo 1.5’de verilmiştir.

Tablo 1.5: Cam lifi yapımında kullanılan bazı cam türleri ve özellikleri [5]

A Camı	Yüksek Alkali Oranı-Düşük Maliyet
C Camı	Kimyasal Dayanım
E Camı	Elektriksel Özellikler
L Camı	Radyasyona Karşı Kurşun İçerir
M Camı	Yüksek Elastik Modül
S-2 Camı	Yüksek Çekme Dayanımı
W-2 Camı	Paneller için Yarı Şeffaf
AR Camı	Alkali Dayanım
R Camı	Yüksek Çekme Dayanımı

Karbon liflerinde, mukavemet/ağırlık ve modül/ağırlık oranları çok yüksektir. Yüksek yorulma dayanımı, ısıya karşı boyutsal kararlılık, yüksek rijitlik, yüksek erime noktası karbon liflerin başlıca avantajlarından. Yüksek elektriksel iletkenlik, düşük darbe direnci ise dezavantajlarıdır [10].

Aramid ailesi içerisinde, Amerikan Dupont firmasının geliştirip piyasaya sunduğu Kevlar lifleri bugün en fazla kullanılan çeşitlerdir. Kevlar liflerinin son derece yüksek mukavemet/ağırlık oranına sahip olmaları bu liflerin oldukça fazla alanda kullanılmasını sağlar [10]. Dezavantajları ise basma mukavemetlerinin düşük olması ve korunmadığı sürece UV ışığına maruz kalmaları durumunda özelliklerinde düşüş gözlemlenmesidir [6-8]. Son on yıl içerisinde, yenilenebilir ve doğal kaynaklardan lif eldesi yapılarak kompozit malzemelerde kullanımına yönelik çok sayıda çalışma yapıldığı görülmektedir. Çalışmaların ortak amacı, doğada bozunabilirliği düşük olan yapay lifler yerine biyobozunurluğu yüksek doğal lifler kullanılarak, çevresel

sorunlara neden olmayacak yeni kompozit malzemeler geliştirmek ve yenilenebilir kaynaklara yönelmektir. Doğal lifler, hayvansal ve bitkisel olmak üzere iki grup içerisinde sınıflandırılabilirler. Kompozit malzeme üretiminde ise genellikle selülozik karakterli bitkisel lifler sınıfında yer alan meyve ve yaprak lifleri kullanılmasına rağmen, az miktarda da hayvansal lif olan ipek lifi kullanımı da görülmektedir. Cam, karbon, aramid gibi klasik takviye lifleri istenilen özelliklere sahip olacak şekilde üretilebilmesine rağmen, doğal liflerin özellikleri; üretim yeri, iklim, lifin elde edildiği bitkinin özellikleri gibi faktörlere bağı olarak çeşitlilik göstermektedir. Ayrıca doğal liflerin hidrofobik özelliğe sahip polimer matrisle uyumsuzluğuna sebep olan hidrofil karakter göstermesi ve bozunma olasılığı nedeni ile işlem sıcaklığının düşük derecelerde gerçekleştirilmesi doğal liflerin kullanımındaki sınırlayıcı özelliklerdir. Yüksek performans gösteren liflerle karşılaştırıldığında, doğal liflerin dayanımlarının daha düşük değerlere sahip olduğu görülmektedir. Bu sebepten dolayı kullanım alanları yüksek mekanik performans gerektiren alanlar yerine raf, kapı, masa gibi iç mekân uygulamaları gibi düşük ve orta yükleri taşıyabilecek yapılar olduğu belirtilmektedir. Tablo 1.6’da kompozit malzeme üretiminde çoğunlukla kullanılan doğal liflerin bazı mekanik ve fiziksel özellikleri gösterilmiştir [12-18].

Tablo 1.6: Yaygın kullanılan doğal liflerin bazı mekanik ve fiziksel özellikleri [18]

Lif	Yoğunluk (g/cm ³)	Kopma Mukavemeti (MPa)	Young Modülü (GPa)	Kopma Uzaması (%)	Çap (µm)	Fibriller Açı (°)	Polimerizasyon Derecesi	Nem İçeriği (%)
Pamuk	1,5-1,6	287-800	5,5-12,6	7-8	11,5-17	20-30	2020-4700	8,5
Jüt	1,3-1,45	393-773	13-26,5	1,16-1,5	15,9-20,7	8	1920-4700	12,6
Keten	1,50	345-1100	27,6	2,7-3,2	17,8-21,6	10	2190-4700	10
Kenevir	1,48	690	70	1,6	17-22,8	6,2	2200-4800	10,8
Rami	1,50	400-938	61,4-128	1,2-3,8	28,1-35	7,5	2660-5800	8
Sisal	1,45	468-640	9,4-22	3-7	18,3-23,7	20	2160	11
Hindistan Cevizi	1,15	131-175	4-6	15-40	16,2-19,5	39-49	-	8
Ananas Yaprağı	1,52-1,56	413-1627	34,5-82,51	1,6	20-80	14	-	11,8

Kompozit malzemelerden elde edilen parça ya da ürünler, sadece takviye ve matris malzemelerinin belirli oranlarda ve şartlarda birleştirilmesiyle oluşmamaktadır. Takviye ve matris malzemelerinin yanında birçok fazladan malzeme; bitmiş üründen

istenen performans, kalite ve görselliğin artırılması amacıyla kompozit malzeme içerisinde dahil edilmektedir. Polimer matrisli kompozitlerde en çok kullanılan ilave malzemeleri; dolgular, renklendiriciler, katalizörler, kalıp ayırıcılar, inhibitörler ve diğer katkı malzemeleri olarak sıralanabilir. İlave malzemeler kompozit malzemeleri bir anlamda geliştiren, sağladıkları avantajlara katkıda bulunan ve kompozitlerin üretimlerini kolaylaştırmak amacıyla kullanılan malzemelerdir. Bu ilave malzemeler, malzeme maliyetini arttırmasına rağmen, kazandırdıkları özellikler ve verimliliği arttırmaları nedeniyle üreticiler tarafından tercih edilmektedirler [11].

Kullanılan dolgular, kompozit malzeme üretim maliyetini düşürmekle beraber sadece matris ve takviye malzemeleri kullanılarak elde edilen özelliklere kıyasla performans artışı da sağlamaktadırlar. Dolgu malzemelerinin kullanımı ile kompozit malzeme içerisindeki organik madde içeriği azaltılarak alev dayanımı ve duman çıkışı performansı arttırılabilir. Yüzey kalitesi, boyutsal kararlılık, sertlik ve ısı dayanımı gibi önemli malzeme özellikleri dolgu malzemesi kullanımı ile geliştirilebilmektedir. Dolgu malzemelerinin özelliklerindeki gelişmeler sayesinde, kompozit malzeme uygulamalarında eskiye nazaran daha fazla miktarda dolgu malzemesi kullanılmaktadır [15].

Kalsiyum karbonat, en yaygın kullanımı olan inorganik dolgu malzemesidir [15]. Hacimsel olarak en önemli dolgu malzemesi olmasına rağmen değer olarak nispeten düşüktür. Plastik endüstrisinde başlıca Polivinil klorür bileşenlerinde kullanılır; ancak poliolefinlerin sahip olduğu modifiye edilebilir (istenilen şekilde üretilebilir partikül boyutları, yüzeyleri ve geometrileri) özellikleri sayesinde, kalsiyum karbonat dolgu malzemesi ile poliolefinlerin beraber kullanımı büyük bir market potansiyelini beraberinde getirmektedir. Kullanım amacı ise sadece hacim arttırmak yerine çevrim süresini azaltmak, fiziksel özellikleri geliştirmek gibi malzeme özelliklerini iyileştirmektir [19].

Alüminyum silikat ve killer, ikinci en yaygın kullanıma sahip dolgu malzemeleridir. Kompozit endüstrisinde yaygın olarak kil olarak bilinmektedir. Piyasada çok farklı partikül boyutlarında bulunmaktadır [15]. Diğer mineral dolguların tercih edilirliliği ve kullanımı da gittikçe önem kazanmaktadır. Talk, mika, wollastonit gibi mineraller katılık, ısı kararlılık gibi özellikleri arttırmaktadır [19].

Dolgu malzemelerinin polimerlerin kristalleşmesini etkileyebileceği yaygın olarak kabul edilmektedir. Eklenen dolgu malzemesi, soğuma hızını arttırarak kristalleşmeyi etkileyebilir. Tercihen belirli sıcaklık aralığında soğutulan bazı polimerler birden fazla tipte kristal yapıya sahip olabilirler. Diğer durumlarda ise dolgu malzemesi çekirdeklenme etkisi ile polimer içerisindeki kristal yapının büyümesine neden olabilir [20].

Mineral dolguların termoplastikler içerisinde kullanılmasının ana sebeplerinden biri de malzemenin modülünü (rijitliğini) arttırmaktır. Malzeme modülü, eklenen dolgu malzemesinin hacim oranının artmasıyla artış gösterir. Çoğu durumda, modül-dolgu oranı arasındaki ilişki yaklaşık olarak %20 dolgu oranına kadar lineer özellik gösterir. Eklenen dolgunun malzeme içerisindeki oryantasyonu malzeme modülünü ciddi şekilde etkiler. Ayrıca, polimer fazı içerisinde artan kristallik oranı da daha yüksek malzeme modülü elde edilmesine sebebiyet verebilir, bunun nedeni ise kristal yapının amorf yapıdaki bölgelere kıyasla daha rijit olmasındandır [20].

1.3.1 Endüstriyel Bor Mineralleri

Endüstriyel anlamda önemi bulunan bor bileşikleri arasında datolit, szaybelit, probertit, tinkal, kolemanit, üleksit bulunmaktadır. Sanayide tercih edilen boratların çok büyük bir kısmı üç mineralden oluşmaktadır, bunlar: Kolemanit (kalsiyum içeren), üleksit (sodyum-kalsiyum içeren), tinkaldir (sodyum içeren) [23].

Türkiye, ABD ve Rusya dünyadaki en önemli bor yataklarına sahiptir. Dünyada bor üretiminin yaklaşık %70'ini gerçekleştiren Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü (Türkiye) ve Rio Tinto (ABD) bor üretiminde en önemli iki kuruluştur [21]. Dünya bor rezervlerinin %73'üne sahip olan Türkiye'de bilinen bor rezervleri; Kestelek/Bursa, Bigadiç/Balıkesir, Kırka/Eskişehir ve Emet/Kütahya'da bulunmaktadır. Rezerv bakımından ise Türkiye'de en çok bulunan bor mineralleri kolemanit ve tinkal mineralleridir [22]. Tinkal yatakları Kırka/Eskişehir'de; kolemanit yatakları Bigadiç/Balıkesir, Emet/Kütahya, Kestelek/Bursa'da bulunmaktadır. Ek olarak, Bigadiç/Balıkesir'de üleksit minerali rezervi olup, Kestelek/Bursa'da zaman zaman üleksit minerali yan ürün olarak çıkartılmaktadır [22]. Tablo 1.7'de bor mineral türüne göre 2012 rezerv miktarları gösterilmektedir [21].

Tablo 1.7: Türkiye'de mineral bazında rezerv miktarları [21]

Cevher Cinsi	Toplam (Milyon Ton)	Pay (%)
Kolemanit	2257	76
Üleksit	47	2
Tinkal	739	22
Toplam	3043	100

Bor mineralleri ve ürünlerinin kullanım alanları; yanmayı önleyici (geciktirici) madde yapımı, cam, seramik, deterjan, ilaç ve kimya sanayii, tarım, enerji depolama, metalurji, pigment ve kurutucu olarak, su arıtma, otomotiv sanayii (hava yastıkları, hidrolik fren vb.) nükleer uygulamalar ve diğer kullanım alanlarıdır. Teknolojinin gelişmesiyle bora olan ihtiyaç gittikçe artmaktadır. Bu sebepten dolayı, bor minerallerinin stratejik önemi giderek ön plana çıkmaktadır. Dünyada çıkarılan bor minerallerinin yaklaşık %10'u mineral olarak, kalan kısmı ise rafine bor ürünlerinin üretimi için kullanılmaktadır [23]. Aşağıdaki Tablo 1.8'de bor cevherinin kullanım alanları gösterilmiştir.

Tablo 1.8: Bor cevheri kullanım alanları [21]

Ürün	Kullanım Alanları
Amorf Bor ve Kristalin Bor	Askeri piroteknik, nükleer silahlar ve nükleer güç reaktörleri
Bor Halojenürleri	İlaç sanayii, katalizörler, elektronik parçalarda, bor filamentleri ve fiberoptiklerde
Özel Sodyum Boratlar	Fotoğrafçılık kimyasalları, yapıştırıcılar, tekstil, deterjan ve temizlik malzemelerinde
Sodyum Bor Hidrürler	Özel kimyasalları saflaştırma, kâğıt hamurunu beyazlaştırma, metal yüzeylerinin temizlenmesi
Bor Esterleri	Polimerizasyon reaksiyonları için katalizör ve yangın geciktirici maddelerde kullanılmaktadır
Kalsiyum Bor Cevheri (Kolemanit)	Tekstil, cam elyafı, bor alaşımları, nükleer atıkların depolanması
Borik Asit	Antiseptikler, bor alaşımları, yangın geciktirici, naylon, tekstil, gübre, cam, cam elyafı
Susuz Boraks	Gübre, cam elyafı, yangın geciktirici
Sodyum Metaborat	Yapıştırıcı, deterjan, tarımsal ilaç, fotoğrafçılık

1.3.1.1 Tinkal

Renksiz ve saydam bir görünüşe sahip olmasına rağmen, içerisindeki çeşitli safsızlıklar nedeniyle pembe, gri, sarımsı renklerde bulunabilir. Sertliği 2-2,5 mohs, özgül ağırlığı ise 1,7 g/cm³'tür [24]. Yapısındaki bor oksit içeriği %36,6'dır [25]. Monoklinik kafes yapısında kristalleşir. Tıpta antiseptik ve koruyucu yapımında, yıkamada ve temizlikte, metal oksitlerin kaynaklanmasında ve laboratuvar işlemlerinde oldukça fazla kullanılmaktadır. Ek olarak, metal dışı alaşım yapımında kullanılabilir ve oksitlenmeyi engeller. Atomik reaktörler için nötron yakalayıcı olarak ve roket yakıtında kullanılması ise stratejik kullanım alanlarıdır [21].

1.3.1.2 Kolemanit

Mineral bakımından oldukça zengin bir bor çeşidi olan kolemanit monoklinik kafes yapısına sahiptir. Sertliği 4-4,5 mohs, özgül ağırlığı 2,42 g/cm³'tür. Bor oksit içerik oranı %50,8'dir [25].

Bor bileşikleri içinde en yaygın olanıdır. Saf kolemanit hidroklorik asit içerisinde hızlı, suda ise yavaş bir biçimde çözünür. Cam ve seramik sektörlerinde kullanılarak malzemenin kullanım ömrünü arttırmaktadır. Ayrıca metalurji, cam elyafı, gübre, deterjan ve kozmetik sektörlerinde de sıklıkla tercih edilmektedir [26].

1.3.1.3 Üleksit

Mohs sertlik sınıflandırmasına göre sertliği 2,5 mohs, özgül ağırlığı ise 1,95-2 g/cm³'tür. Isı ve ses yalıtımında, seramik, cam ve gübre endüstrisinde kullanılmaktadır [27]. Doğada iğnemsî kristal, nodüller veya merceksi yapıda bulunabilmektedir. Triklirik kristal yapıya sahiptir. Renksiz, beyaz ya da şeffaf renklerde bulunabilmektedir. İçerdiği bor oksit oranı ise %43'tür [28].

Bölüm 2

Tezin Kapsamı, Önemi ve Literatür Araştırması

Günümüz şartlarında büyük bir hızla ilerleyen endüstriyel ve teknolojik gelişmeler ışığında ihtiyaç duyulan malzeme gereksinimleri doğru orantılı bir şekilde artmış ve bu durum kompozit malzemelerin kullanımını büyük ölçüde yaygınlaştırmıştır. Kompozit malzemeler, ihtiyaçlar doğrultusunda en uygun şekilde optimize edilip uygun ve maliyet odaklı üretim prosesleri yardımıyla kullanım oranı gün geçtikçe artan bir malzeme grubudur [29].

Artan nüfus, buna istinaden son yıllarda hızlı bir biçimde yükselen tüketim nedeniyle çevreye verilen zarar ve küresel ısınmanın da beraberinde getirdiği iklim değişikliği çevreye duyarlı malzeme bileşenlerinin kullanımını, üretim safhalarında ise meydana gelen atıkların minimum düzeye indirilmesi gibi regülasyonların uygulanmasını mecbur kılmıştır. Akademide ise “yüzde yüz geri dönüştürülebilir bileşenlerin kullanıldığı malzemeler”, “üretim proseslerinde sıfır atık” gibi konuların araştırılması üzerine yapılan çalışmalar oldukça hız kazanmıştır [30-31].

Termoset matrisli kompozit malzemeler geri dönüşümü kısıtlı olan malzemelerdir. Termoplastik esaslı kompozit malzemelerin kullanımı otomotiv, beyaz eşya gibi sektörlerde geri dönüştürülebilir olması nedeni ile daha yaygındır [32].

Özellikle son yıllarda takviye elemanları bakımından hayvansal, bitkisel ve mineral esaslı malzemelerin kullanımına yönelik çalışmalar artarak devam etmektedir. Doğada bulunan minerallerin kompozit malzemelerde dolgu malzemesi olarak kullanılması özellikle ülkemizde çok yüksek seviyelerde rezervleri bulunan bor mineralinin de

kompozit üretiminde değerlendirilmesi ve bununla ilgili yapılacak çalışmalar ciddi önem arz etmektedir [18-21].

2.1 Amaç

Son yıllarda çevreye duyarlı ve geri dönüşümü yüksek kompozit malzemelerin öneminin artması ile beraber yapılan çalışmalarda hız kazanmıştır. Bu bağlamda, inorganik mineraller çeşitli polimerlere belirli oranlarda dolgu bileşeni olarak dâhil edilmekte ve polimerlerin termal ve mekanik özellikleri geliştirilebilmektedir.

Ülkemizde zengin rezervleri bulunan bor minerallerinin iki çeşidi olan kolemanit ve üleksitin yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) içerisine belirli oranlarda dolgu malzemesi olarak eklenmesi neticesinde YYPE'nin termal ve mekanik özelliklerinde olacak değişimin incelenmesi amaçlanmaktadır.

Ağırlıkça %10, %20 ve %30 üleksit ve kolemanit minerali ihtiva edecek şekilde üretilen YYPE matrisli kompozit malzemelerin saf YYPE'e göre termal ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi ve kullanılan mineral dolgu oranı ile birlikte YYPE polimer oranının azaltılarak çevre duyarlılığının artırılması hedeflenmektedir.

2.2 Araştırmanın Önemi

Endüstriyel açıdan önemli iki bor minerali olan kolemanit ve üleksitin günümüzde en çok kullanılan termoplastik malzemelerden biri olan YYPE'nin termal ve mekanik özelliklerine etkisinin ortaya konması oldukça önemlidir.

Literatürde bor mineralleri ile ilgili çalışmalar incelendiğinde YYPE ile yapılan bilimsel çalışmaların çok sınırlı düzeyde olduğu tespit edilmiştir ve bu bakımdan, bu çalışmanın yapılmasının önem arz ettiği görülmüştür.

2.3 Literatür Araştırması

Birden fazla malzemenin birleşimiyle oluşan ve kendisini oluşturan malzemelerin her birinden daha yüksek karakteristik özelliklerine sahip olan malzemeler kompozit

malzemeler olarak tanımlanabilir [33]. Kompoziti oluşturan malzemeler kimyasal olarak birbirinden farklı olmalıdır ve bir arayüz ile birbirlerinden ayrılmalıdır [34].

Kompozit malzemeler, genel anlamda matris fazı içerisine dağılmış takviye veya dolgu fazından meydana gelir [33]. Takviye fazı kompozit malzeme içerisinde pul, fiber gibi formlarda bulunabilir ve bu formlar mekanik performansı direkt olarak etkiler. Matris fazı ise genellikle sürekli ve takviye fazını bir arada tutmak, takviye fazını çevresel koşullardan ve kullanıma bağlı olarak meydana gelebilecek hasarlardan muhafaza etmek gibi fonksiyonlara sahiptir [35].

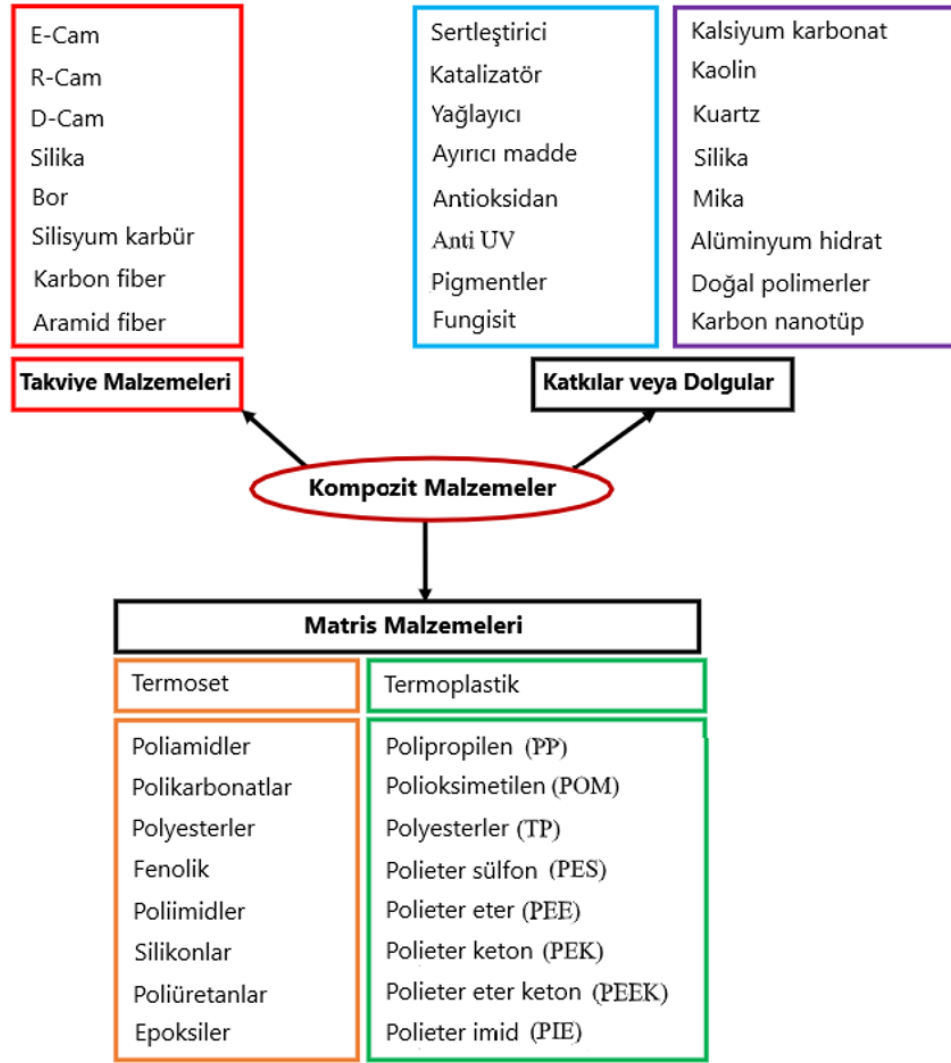
Havacılık ve uzay, ulaşım, biyomühendislik gibi yüksek teknoloji gerektiren alanlarda spesifik ve olağandışı malzemelerin kullanılması gerekmektedir. Örneğin uçak yapımında kullanılan yapısal malzemelerde düşük yoğunluk, yüksek mukavemet yanında aşınma, darbe dirençlerinin yüksek olması ve korozyona karşı dayanıklı olması gibi birden çok kritik özelliğin birlikte bulunması tercih edilmektedir. Bütün bu özelliklerin kombinasyonu ise geleneksel malzemelerden ziyade kompozit malzemelerin kullanımını ve geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır [34].

Kompozit malzemelerin geliştirilmeye devam edilmesiyle birlikte elde edilen malzeme özelliklerinin kombinasyonları da artmaktadır. Genel olarak, bir kompozit malzeme herhangi bir ikili malzeme fazından oluşabilir ve kompozit malzemeyi oluşturan malzeme fazlarının özelliklerinden daha iyi malzeme özellikleri sergiler [34].

Kompozit malzemeyi oluşturan matris ve takviye fazları metalik, seramik veya polimerik malzemelerden oluşabilirler [33].

Polimer kompozitlerin metallere göre pek çok avantajları bulunmaktadır. Bunlardan başlıcaları yüzeysel olarak karmaşık, düşük yoğunluklu parçaların üretimine imkân tanımasıdır. Böylece havacılık, otomotiv gibi sektörlerde düşük yakıt tüketimini sağlarlar. Ulaşım, nakliye gibi alanlarda ise taşıma kapasitesinin artırılmasına olanak verirler [33].

Buna ek olarak polimer kompozitler, çekme/darbe dayanımı, rijitlik, aşınma direnci, termal iletkenlik, termal yalıtım, korozyon direnci gibi iyileşmiş malzeme özelliklerine sahiptir [36].



Şekil 2.1: Polimer kompozitlerin genel formülasyonu [33]

Şekil 2.1’de polimer kompozitlerde genel olarak kullanılan matris, takviye ve katkı/dolgu elemanları gösterilmektedir.

Mineral dolgular, termoplastik polimerlerin kullanımının ciddi oranda artmasında önemli katkıda bulunmuşlardır [37]. Dolgular katı formda olan katkı maddeleridir ve temel olarak polimer matrislerden kompozisyon ve yapı bakımından farklıdır [38]. Termoplastik polimerler özellikle yüksek sıcaklıklarda düşük direngenliğe (ısı çarpılma) sahiptirler. Belirli dolgu tipleri bu gibi malzeme özelliklerinin artırılmasında oldukça iyidir [37].

Genellikle mineral dolgular maliyeti düşürmek için kullanılırlar [38]. Kullanılan polimerlerin maliyeti zamanla düştüğü için mineraller ile malzeme özelliklerinin artırılmasına giderek daha fazla odaklanılmıştır [37]. Dolgu malzemelerinin düzgün

bir şekilde seçilip optimize edilmesiyle ekonomik olarak ve malzeme özellikleri bakımından gelişim sağlanabilir. Mineral dolgular şekillerinden spesifik özelliklerine kadar birçok sınıflandırmaya sahip olsa da basit olarak bileşimin maliyetini azaltıcı ve fonksiyonel amaçlı kullanılan mineral dolgular olarak ikiye ayrılabilirler. Günümüzde fonksiyonel dolgu malzemeleri polimerlerin direnç, tokluk, boyutsal kararlılık gibi özelliklerin optimize edilmesinde kullanılırlar [38].

Mineral dolgular boya, kâğıt, plastik endüstrileri dâhil olmak üzere birçok uygulamada da kullanılırlar [38]. 1986 yılı Batı Avrupa'da bir milyon tonun üzerinde mineral dolgunun termoplastik uygulamalarında kullanıldığı tahmin edilmektedir ve bu rakamın günümüzde çok daha yüksek olduğu bilinmektedir [37].

Atilla'nın yapmış olduğu çalışmada, epoksi matrise ağırlıkça %0,5, %1 ve %3 oranlarında grafen ve huntit mineralleri eklenmiş ve numunelere mekanik, termal ve titreşim testleri uygulanmıştır. Mineral dolgulu kompozitlerin mekanik ve termal özelliklerinde iyileşmeler gözlemlenmiştir. Polimerin depolama ve kayıp modüllerinin mineral dolgu ilavesiyle arttığı belirtilmiştir [39].

Bir diğer çalışmada, polietilen tereftalat (PET) atıklarından oluşan matris yapısına %3 ağırlık oranında kil, bor, zeolit, ponza mineralleri dolgu bileşeni olarak katılmış ve üretilen kompozit numunelerin morfolojik, mekanik (çekme, elastisite modülleri) ve termal (bozunma, erime, kristalleşme sıcaklıkları vb.) özellikleri incelenmiştir. Kompozitlerin camsı geçiş, erime, kristalizasyon sıcaklık değerlerinde artışlar gözlemlenirken, erime ve kristalizasyon entalpi değerlerinde azalışlar tespit edilmiştir. En yüksek entalpi değerleri bor dolgulu kompozit numunelerde bulunmuştur. Kil dolgulu kompozitlerde kopma uzaması ve mukavemet değişiminin oldukça yüksek olduğu görülmüştür [40].

Özörak'ın yaptığı çalışmada, epoksi matrise 75 µm boyutunda ve ağırlıkça %0-%60 oranlarında bor atığı minerali ilave edilerek kompozit numuneler üretilmiş, aşınma ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Mineral dolgulu kompozitlerin darbe tokluğunun saf epoksiye göre daha düşük olduğu görülmüştür. Bor atığı dolgulu kompozit numunelerin basma dayanımının atık miktarı arttıkça yüksek değerlere ulaştığı belirtilmiştir. Dolgu maddesinin artmasıyla sertlik değerlerinde de artış gözlemlenmiştir [21].

Öztürk'ün yapmış olduğu bir diğer çalışmada, polipropilen (PP) matris içerisine dolgu olarak ağırlıkça %10-%40 oranlarında bor atığı minerali katılarak üretilen kompozit numunelerin fiziksel, mekanik, tribolojik ve mikroyapısal özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre farklı oranlarda değişen bor mineral atığı içeren kompozitlerin kopma, çekme mukavemetleri ve sürtünme katsayılarında azalış gözlemlenirken; elastisite modülü, aşınma direnci ve sertlik değerlerinde ise artış görülmüştür [25].

Başka bir çalışmada, polyester içerisine 100 µm boyutundaki kolemanit, üleksit ve tinkal bor mineralleri ağırlıkça 0-20 g olacak şekilde katılmıştır. 5 g katkılı kolemanit polyester kompozitinde, 5 g üleksit polyester kompozitinde ve 5 g tinkal polyester kompozit numunelerinde en iyi mekanik dayanım elde edilmiştir [23].

Çankaya'nın yaptığı çalışmada, PP içerisine ağırlıkça %5, %7,5, %11,25, %16,88, %25,31 oranlarında çinko borat ve kolemanit mineralleri dolgu malzemesi olarak eklenmiştir. Oksitlenmeyi engellemek amacıyla %0,2 oranında antioksidan eklenmiştir. Üretilen kompozit numunelerin termal ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Çekme deney sonuçlarına göre, artan çinko borat ve kolemanit dolgu oranlarıyla beraber çekme ve kopma dayanımlarının %0,93-%22,63 arasında ve % uzama değerinin ise %20,96-%48,65 arasında azaldığı görülmüştür. Kompozitlerin başlangıç ve bitiş erime sıcaklıklarında da mineral dolgu oranının artmasıyla 1°C-4°C arasında artış görülmüştür [41].

Turan'ın yaptığı çalışmada, PP içerisine kolemanit minerali ile birlikte talk, kalsiyum karbonat, maleik anhidrit ve wax gibi dolgularda katılmıştır. Üretilen numunelerin kırılma tokluğu özellikleri incelenmiş ve kolemanit mineralinin belirli ağırlık oranında ve partikül boyutlarında PP'nin içerisine katılmasıyla birlikte PP'nin kırılma tokluğunda artış görülmüştür [42].

Başar ve diğ. tarafından yapılan çalışmada; ağırlıkça %4, %8 ve %12 oranlarında kolemanit ve boraks minerallerinin birlikte kullanıldığı fren balatası numuneleri üretilmiş ve numunelerin aşınma, sürtünme performansları test edilmiştir. Buna ek olarak, numunelerin sertlik, yoğunluk ve özgül aşınma oranları da belirlenmiştir. En fazla aşınma, ağırlıkça %12 oranında kolemanit-boraks minerali dolgulu kompozit numunede ve en az aşınma ise ağırlıkça %8 oranında kolemanit-boraks minerali

dolgulu kompozit numunede gözlemlenmiştir. En iyi sürtünme katsayı değeri ağırlıkça %4 oranında kolemanit-boraks içeren kompozit numunelerde tespit edilmiştir [43].

Şahin yaptığı çalışmada, PP içerisine ağırlıkça %12,19, %22,6, %31,76 oranında kolemanit ekleyerek kompozit numuneler üretmiş ve bu numunelerin termal ve mekanik özelliklerini incelemiştir. PP içerisine katılan kolemanit minerali oranının artmasıyla beraber elastisite modülünde artış gözlemlenmiştir. Dolgu oranının artmasıyla beraber akma dayanımında ise düşüş görülmüştür. PP içerisine katılan kolemanit oranının artması ile birlikte PP'nin kristalinite derecesinin, başlangıç erime sıcaklığının ve ısıl genleşme katsayısının düştüğü belirtilmiştir [44].

Soykan ve Veliyeva yaptıkları çalışmada, izotaktik polipropilen (IPP) içerisine ağırlıkça %5, %10, %15, %20, %30 oranlarında ve 45 µm partikül boyutunda kolemanit mineral dolgu kullanmışlardır. Elde edilen numuneler çekme ve darbe testlerine tabii tutularak mekanik özellikleri belirlenmiştir. Saf IPP ile kıyaslandığında çekme dayanımı, elastisite modülü ve darbe dayanımı özellikleri bakımından en iyi sonuçlar %10 mineral dolgulu numunelerde gözlemlenmiş olup, artış oranları sırasıyla %7,4, %24,9, %6,7 olarak belirlenmiştir. %10'dan fazla mineral dolgu kullanımının mekanik özellikleri düşürdüğü tespit edilmiştir. Yüzde uzamanın ise dolgu miktarı arttıkça sürekli düştüğü gözlemlenmiştir [45].

Yücel'in yaptığı çalışmada, polipropilen homopolimer ve polipropilen kopolimer termoplastik matris malzemeleri içerisine ortalama 20,596 µm, 13,192 µm, 6,473 µm tane boyutlarında kolemanit mineralini, %5-%25 oranlarında değişen şekilde kombine ederek numuneler elde etmiştir. Polipropilen homopolimer matris kullanımında kolemanit dolgu oranı ve tane büyüklüğünün erime, yumuşama sıcaklıklarında bir değişime sebep olmadığı görülmüştür. Polipropilen kopolimer içerisinde ise değişen kolemanit oranı ve tane büyüklüğünün erime sıcaklığında bir değişime sebep olmadığı, yumuşama sıcaklığında ise çok az bir düşüşe neden olduğu gözlemlenmiştir [46].

Altay ve diğ. tarafından yapılan çalışmada, PP içerisine %1, %2, %4 dolgu oranlarında üleksit minerali içeren numunelerin mekanik, termal ve alev geciktirici özellikleri test edilmiştir. Üleksit mineral dolgu oranının artmasıyla beraber çekme dayanımında az miktarda bir artış, elastisite modülünde ise ciddi bir artış gözlemlenmiştir. Kristalinite derecesi üleksit oranının artışıyla düştüğü belirtilmiştir. Malzemelerin alev geciktirici

özelliğini belirleyen limit oksijen indeks değeri ise üleksit mineralinin ilavesiyle büyük ölçüde artmış ve en yüksek limit oksijen indeks değeri %57 olarak %4 üleksit minerali içeren numunede görülmüştür [47].

Soykan yaptığı çalışmada, 45 µm ve 75 µm partikül boyutlarında üleksit minerali kullanarak %5, %10, %15, %20, %30 üleksit-IPP kompozit numuneler üretmiş ve bu malzemelerin termal ve mekanik özelliklerini incelemiştir. 45 µm partikül boyutunda %5 dolgu oranında ve 75 µm partikül boyutunda %15 dolgu oranında en yüksek akma ve çekme dayanımları ve elastisite modülü tespit edilmiştir. Darbe dayanımlarında en iyi değerler ise 45 µm partikül boyutunda %5 dolgu oranında ve 75 µm partikül boyutunda %10 dolgu oranında gözlemlenmiştir. Ayrıca 45 µm partikül boyuta sahip üleksit minerali ile üretilen IPP kompozit numunelerde daha iyi çekme dayanımı, elastisite modülü ve darbe dayanımları elde edilmiştir [48].

Bir diğer çalışmada, ağırlıkça %3, %5, %10, %20 oranlarında üleksit ve kolemanit mineralleri epoksi matris içerisine katılmıştır. Epoksi içerisindeki üleksit ve kolemanit mineral oranının %5'den fazla olması durumunda kompozitin çekme dayanımının ve elastisite modülünün düştüğü görülmüştür. Üleksit mineral dolgulu kompozit numuneler, kolemanit mineral dolgulu kompozitlere göre daha iyi mekanik performans göstermiştir [49].

Bölüm 3

Materyal ve Yöntem

3.1 Kullanılan Malzemeler

Çalışma kapsamında matris malzemesi olarak yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) ve dolgu malzemeleri olarak ise kolemanit ve üleksit bor mineralleri kullanılmıştır.

3.1.1 Matris Malzemesi

Matris malzemesi olarak Petkim Petrokimya Holding A.Ş. tarafından üretilen “PETİLEN YY I 668 (UV)” ürün kodlu YYPE kullanılmıştır. Malzeme özellikleri aşağıdaki Tablo 3.1’de gösterilmiştir.

Tablo 3.1: PETİLEN YY I 668 (UV) malzeme özellikleri [50]

Malzeme Özellikleri	Metot	Karakteristik Değerler
Erime Akış Hızı (190°C, 2,16kg)	ASTM D1238	5,5 (g/10 dk)
Yoğunluk, 23°C	ASTM D1505	0,965 (g/cm ³)
Akmada Gerilme Dayanımı	ASTM D638	30 (MPa)
Kopmada Gerilme Dayanımı	ASTM D638	17 (MPa)
Kopmada Uzama	ASTM D638	1250 (%)
Eğilme Modülü, 23°C	TS EN ISO 178	1100 (MPa)
Izod Darbe Dayanımı, (çentikli) 23°C	ASTM D256	50 (J/m)
Sertlik (Shore D)	ASTM D2240	66
Vicat Yumuşama Noktası	ASTM D1525	124 (°C)
Erime Sıcaklığı	ASTM D3417	134 (°C)

3.1.2 Dolgu Malzemeleri

Dolgu malzemeleri olarak kullanılan kolemanit ve üleksit bor mineralleri Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü'nden, öğütülmüş şekilde 45 µm olarak temin edilmiştir.

3.2 Kompozit Test Numunelerinin Üretilmesi

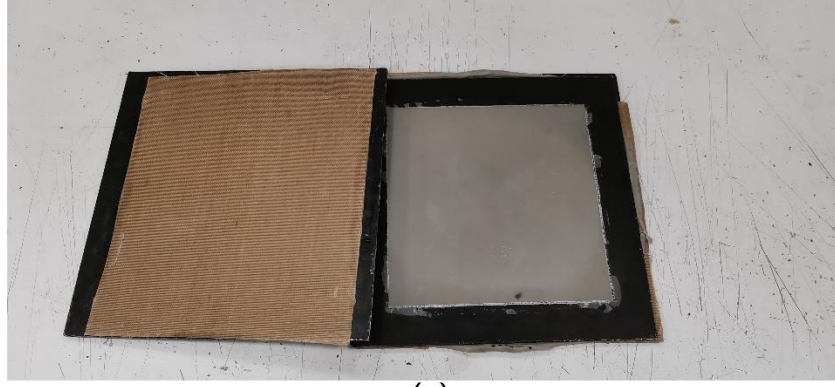
Test numunelerinin üretim aşamasına geçilmeden önce, matris ve dolgu malzemelerinin içerisindeki nemin giderilmesi ve sonraki aşamaya hazır hale getirmek için 80°C sıcaklıkta 24 saat boyunca etüv içerisinde kurutulmuştur.



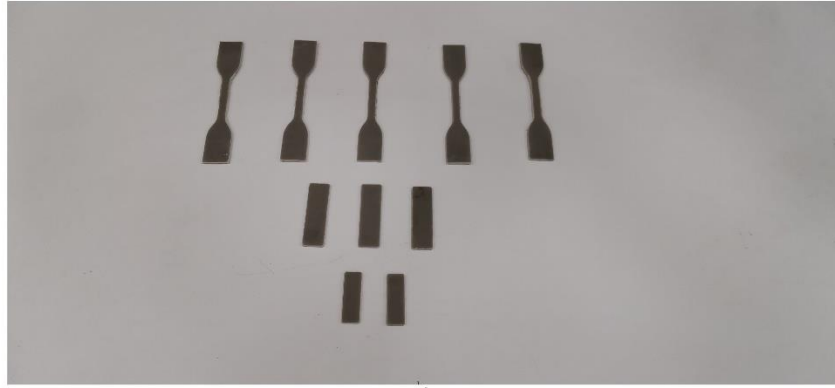
Şekil 3.1: Yüksek hızlı termokinetik mikser

Kolemanit (Kol) ve üleksit (Üle) mineralleri ayrı ayrı ve hibrit şekilde (KolÜle) ağırlıkça oranları %10, %20, %30 olmak üzere, toplam 70 g hazneye sahip yüksek hızlı termokinetik mikser (Gülнар Makine, Türkiye) içerisine konulup, hamur kıvamına gelinceye kadar 2000 devir/dakika'da yaklaşık 30-40 saniye boyunca karıştırılmıştır. Şekil 3.1'de kullanılan yüksek hızlı termokinetik mikser gösterilmiştir.

Hamur kıvamına getirilen malzemeler, 150 mm x 150 mm x 1 mm ölçülerindeki kalıp plakaya alınmış, ardından sıcaklık ve basınç kontrollü sıcak-soğuk hidrolik pres (Gülнар Makine, Türkiye) yardımıyla 180°C sıcaklıkta ve 120 bar basınç altında, 180 saniye boyunca sıcak presleme; sonrasında oda sıcaklığında, 120 bar basınç altında, 120 saniye boyunca da soğuk presleme işlemi uygulanmıştır. Üretilen kompozit plakalardan testler için gerekli numuneler elde edilmiştir. Kompozit plaka ve plakadan elde edilen test numuneleri Şekil 3.2'de görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 3.2: (a) Üretilen kompozit plaka (b) Kompozit plakadan elde edilen test numuneleri

Bu işlemler sonucunda elde edilen numuneler, kullanılan bor mineral türüne ve karışım oranlarına göre Tablo 3.2’de gösterilmiştir.

Tablo 3.2: Kullanılan mineral dolgu türüne göre karışım oranları

Numune Adı	YYPE (%)	Kolemanit (%)	Üleksit (%)
Kol10	90	10	-
Kol20	80	20	-
Kol30	70	30	-
Ule10	90	-	10
Ule20	80	-	20
Ule30	70	-	30
Kol5Ule5	90	5	5
Kol10Ule10	80	10	10
Kol15Ule15	70	15	15

3.3 Uygulanan Test ve Analizler

Tez kapsamında üretilen kompozit test numuneleri ve dolgu malzemelerine, kullanılan bor minerallerinin değişen ağırlık oranlarına bağlı olarak, YYPE matris malzemesi üzerindeki termal ve mekanik etkilerinin kıyaslanabilmesi amacıyla; parçacık boyut analizi, çekme ve eğilme mekanik testleri, dinamik mekanik analiz (DMA), termogravimetrik analiz (TGA), diferansiyel taramalı kalorimetre analizi (DSC) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemeleri uygulanmıştır.

3.3.1 Parçacık Boyut Analizi

Numuneye gönderilen lazer ışığının, analiz numunesi içerisindeki partiküllerden yansıması ve kırılması sonucu lazer ışığının şiddeti ve saçılma açısı dikkate alınarak parçacık boyutunun belirlenmesi prensibine dayanmaktadır [51]. Bor minerallerinin ortalama mikron boyutlarının saptanması için İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarlarında bulunan “Master Sizer Hydro 3000” cihazı ile gerçekleştirilmiş ve kuru dispersiyon yöntemi kullanılmıştır.

3.3.2 Çekme ve Eğilme Testleri

Malzemelerin modül ve dayanım gibi önem arz eden mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan çekme ve üç nokta eğilme statik testleri, temel prensip olarak belirli şekillerde mesnetlenen parçalara uygulanan kuvvetler altında meydana gelen çekme, eğilme gerilmeleri ve şekil değiştirme davranışlarının grafiğe dökülüp ilgili değerlerin okunmasına dayanmaktadır.

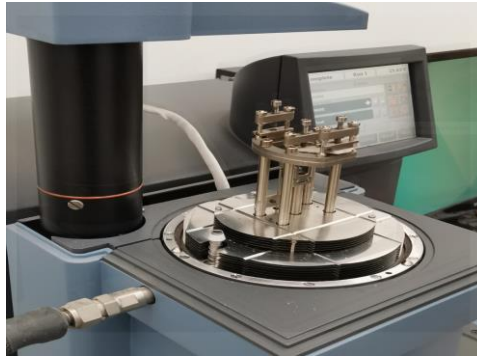


Şekil 3.3: (a) Üç nokta eğilme testi (b) Çekme testi

Uygulanan çekme ve eğilme testlerinde, İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Makine Mühendisliği bünyesinde bulunan, 5 kN yük hücreesine sahip “Shimadzu AG-IC” test cihazı kullanılmış ve Şekil 3.3’de gösterilmiştir. Üç nokta eğilme testlerinde “ASTM D790” standardından; çekme testlerinde ise “ASTM D638” standardından yararlanılmıştır. Üç nokta eğilme testinde çene hareket hızı 1 mm/dakika olarak; çekme testinde ise çene hareket hızı 50 mm/dakika olarak belirlenmiştir. Numunelere uygulanan çekme ve eğilme testleri sonucunda: Eğilme modülü, eğilme dayanımı, elastisite modülü, çekme dayanımı, kopma uzaması gibi mekanik özelliklerin tespiti yapılmış; standart sapmanın dikkate alınması amacıyla her karışım oranı ve mineral türü için çekme testleri en az beş kez, eğilme testleri ise en az üç kez tekrar edilmiştir.

3.3.3 Dinamik Mekanik Analiz (DMA)

Dinamik mekanik analiz için İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Makine Mühendisliği Laboratuvarında bulunan “TA Instruments Q800 DMA” analiz cihazı kullanılmış; numunelerin depolama, kayıp modülleri ve tan delta özellikleri elde edilmiştir. Analizlerde, numunelerin yerleştirilmesi için tek noktali tutucu kullanılmış ve analizler 35°C-150°C sıcaklık aralığında gerçekleştirilmiştir. Analiz süresince ısıtma hızı 3°C/dakika olarak belirlenmiştir. Şekil 3.4’de numunelere uygulanan dinamik mekanik analiz gösterilmiştir.



Şekil 3.4: Dinamik mekanik analiz (dma)

3.3.4 Termogravimetrik Analiz (TGA)

Numunelerin termal kararlılıkları ve sıcaklığa bağlı olarak meydana gelen ağırlık kayıplarının belirlenmesi için Ege Üniversitesi Merkezi Araştırma Test ve Analiz Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi bünyesinde bulunan “TA Instruments

SDT Q600” analiz cihazı kullanılmıştır. Analizler; azot gazı atmosferinde (gaz akış hızı 100 ml/dakika), 30°C-600°C sıcaklık aralığında ve 10°C/dakika ısıtma hızında yapılmıştır.

3.3.5 Diferansiyel Taramalı Kalorimetre Analizi (DSC)

Numunelerin kristalizasyon sıcaklığı, kristalizasyon entalpisi, erime sıcaklığı, erime entalpisi ve kristalinite derecesi gibi özelliklerinin belirlenmesi için, Ege Üniversitesi Merkezi Araştırma Test ve Analiz Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi bünyesinde bulunan “TA Instruments Q20 DSC” cihazı kullanılmıştır. Numunelerin termal izlerini gidermek için öncelikle azot gazı atmosferinde (gaz akış hızı 50 ml/dakika), 20°C’den 200°C’ye kadar, 10°C/dakika ısıtma hızında ısıtılmış; 3 dakika kadar bekletilmiş ve ardından tekrar 20°C sıcaklığa kadar soğutulmuştur. Numunelerin termal izlerinin silinmesinin ardından asıl analiz aşamasına geçilmiş ve numuneler 20°C’den 200°C’ye kadar, 10°C/dakika ısıtma hızında ısıtılmıştır.

3.3.6 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) İncelemeleri

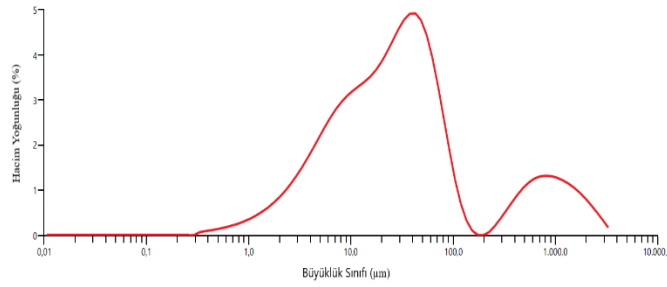
Tez kapsamında bor minerallerinin (kolemanit, üleksit) ve üretilen numunelerin çekme testi sonrasında oluşan kopma yüzeylerinin iç yapısının incelenmesi için İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarlarında bulunan “Carl Zeiss 300VP SEM” cihazı kullanılmıştır. SEM görüntülemesi öncesinde numunelerin yüzeyleri “QUORUM Q150 RES” cihazı ile homojen olacak biçimde altın kaplanmıştır.

Bölüm 4

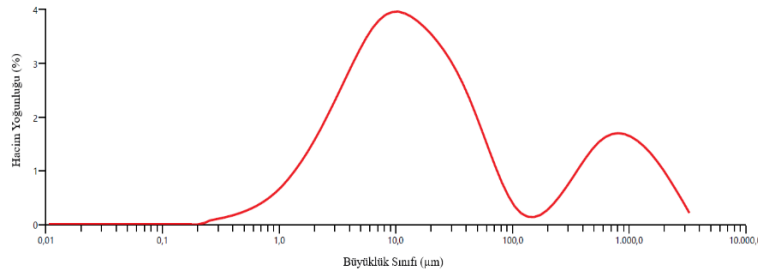
Bulgular ve Tartışma

4.1 Parçacık Boyut Analizi Sonuçları

Kolemanit ve üleksit minerallerine uygulanan, Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de gösterilen parçacık boyutu analizi sonuçlarına göre, kolemanit mineralinin D50 partikül boyutu 28,1 μm , D10 ve D90 partikül boyutları sırasıyla 4,09 μm ve 673 μm ’dir. Üleksit mineralinin ise D50 partikül boyutu 15,6 μm , D10 ve D90 partikül boyutları ise 2,50 μm ve 858 μm ’dir. Üleksit minerali ortalama partikül boyutunun kolemanit mineraline kıyasla daha küçük olduğu görülmektedir. Ek olarak, kolemanit mineralinin %25,12’si 10 μm ’den küçük partikül oranına sahipken, üleksit mineralinde bu oranın %38,76 olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.1: Kolemanit minerali parçacık boyutu dağılımı



Şekil 4.2: Üleksit minerali parçacık boyutu dağılımı

4.2 Çekme ve Eğilme Testi Sonuçları

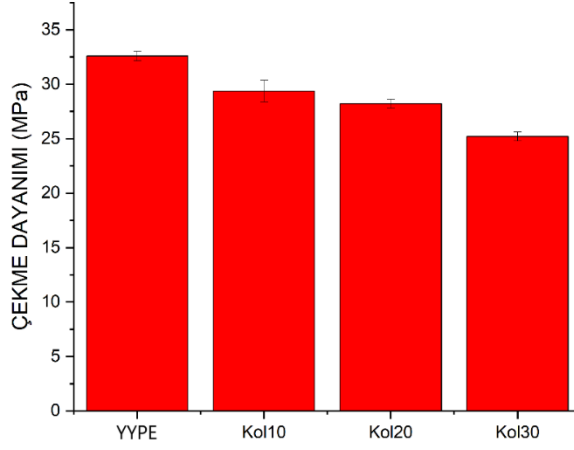
Çekme dayanımı, eğilme dayanımı, elastisite modülü, eğilme modülü, kopma uzaması (çekme deneyi) gibi mekanik özellikleri gözlemek amacıyla sonuçlar, kolemanit minerali dolgulu, üleksit minerali dolgulu olarak ayrılmış ve hibrit etkisini görmek için ise karışım oranlarına göre (%10, %20, %30) değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.1’de gösterilmiştir.

Tablo 4.1: YYPE ve kompozit numunelerin çekme, eğilme deney sonuçları

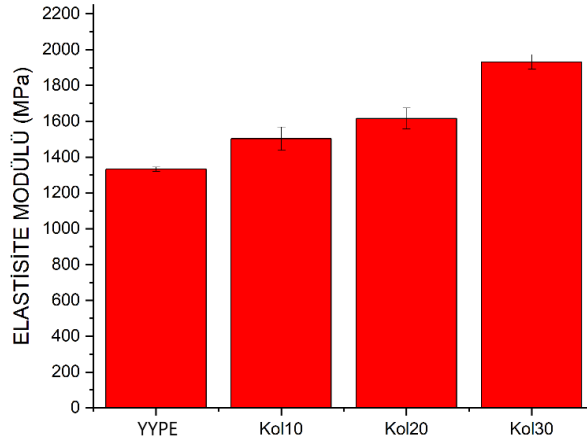
Numune Adı	σ_c (Mpa)	E_{lm} (Mpa)	KU_c (%)	σ_e (Mpa)	E_m (Mpa)
YYPE	32,58±0,44	1331,96±13,08	8,37±0,26	35,49±0,67	1382,66±71,29
Kol10	29,35±0,98	1503,17±65,01	6,71±0,48	33,71±0,47	1592,23±90,14
Kol20	28,21±0,40	1615,54±58,54	5,62±0,31	36,73±1,19	1596,98±33,63
Kol30	25,20±0,41	1931,58±41,28	3,60±0,30	33,99±0,65	1962,63±109,35
Ule10	28,76±0,28	1404,48±23,32	5,70±0,27	37,97±0,05	1609,02±1,94
Ule20	28,70±0,17	1582,13±38,33	5,13±0,08	37,12±1,19	1805,91±29,95
Ule30	26,80±0,33	1960,77±49,48	3,09±0,15	36,36±1,08	1915,86±129,59
Kol5Ule5	30,10±0,33	1520,05±35,96	6,09±1,06	33,18±0,81	1212,00±104,72
Kol10Ule10	27,99±0,15	1752,22±40,10	5,05±0,09	33,49±1,10	1510,06±64,14
Kol15Ule15	25,88±0,20	1790,07±29,75	3,81±0,08	33,97±0,50	1990,05±3,61

σ_c : Çekme Dayanımı, E_{lm} : Elastisite Modülü, KU_c : Kopma Uzaması, σ_e : Eğilme Dayanımı, E_m : Eğilme Modülü

Kolemanit minerali dolgulu kompozit numunelerin çekme dayanımları ve elastisite modülleri Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’de görülmektedir. Dolgu oranı arttıkça numunelerin çekme dayanımı değerlerinin düştüğü gözlemlenmiştir. Kolemanit mineral dolgulu numuneler içerisinde en yüksek değer, %10 kolemanit minerali dolgulu numunede görülmüş olup, saf YYPE’ye oranla %9,91 düşüş göstermiştir. Çekme dayanımının düşmesinin sebepleri; dolgu partiküllerinin matris içerisinde homojen olarak dağılması, partiküllerin matris içerisinde kümelenmeleri, dolgu partikülleri ile matris arasındaki arayüzey bağının zayıf olması ve bu durumun yükün matristen partiküllere doğru aktarılamamasına yol açması olarak gösterilebilir [52].



Şekil 4.3: Kolemanit mineral dolgu oranına göre çekme dayanımı değerleri

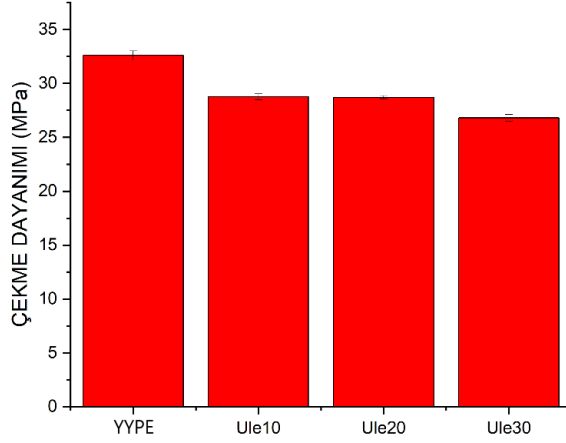


Şekil 4.4: Kolemanit mineral dolgu oranına göre elastisite modülleri

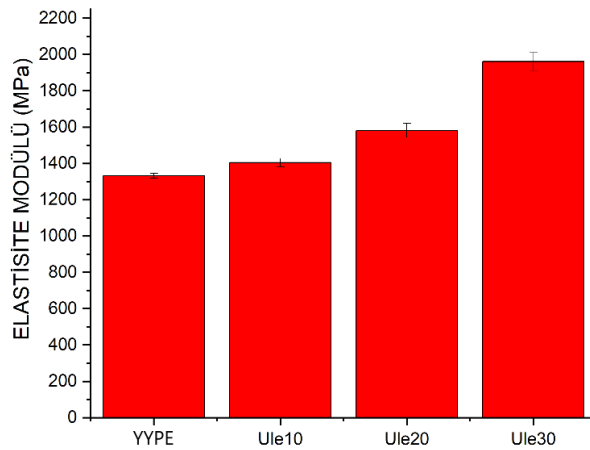
Elastisite modülü, çekme dayanımının aksine kolemanit dolgu oranı arttıkça sürekli bir artış göstermiş olup, en yüksek elastisite modülü ise saf YYPE'ye kıyasla %45,02'lik artışla, %30 kolemanit dolgulu numunede elde edilmiştir. Artan mineral dolgu oranıyla beraber elastisite modülünde artış meydana gelmesi, mineral partiküllerinin rijitliğinin saf YYPE'ye göre yüksek olması ve mineral partikül oranının artması ile kompozit numunelerin elastisite modülünü arttırması ile ilişkilendirilebilir [53].

Üleksit mineral dolgulu numunelerin çekme dayanımı ve elastisite modülleri Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Kolemanit minerali dolgulu numunelere benzer şekilde, üleksit minerali dolgulu numunelerin dolgu oranı arttıkça çekme dayanımında düşüş gözlemlenmiştir. Numuneler içerisinde en yüksek çekme dayanımı ise saf YYPE'ye kıyasla %11,72 oranında düşüş gösteren %10 üleksit minerali dolgulu numunede tespit

edilmiştir. Kompozit içerisinde meydana gelen topaklanmaların kuvvet altında kolayca deforme olması ve dolgu miktarının artmasıyla beraber çekme dayanımının bu etkiye bağlı olarak sürekli azaldığı söylenebilir [54].



Şekil 4.5: Üleksit mineral dolgu oranına göre çekme dayanımı değerleri

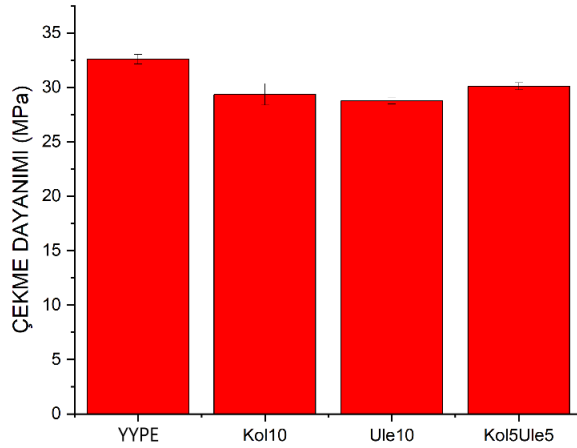


Şekil 4.6: Üleksit mineral dolgu oranına göre elastisite modülleri

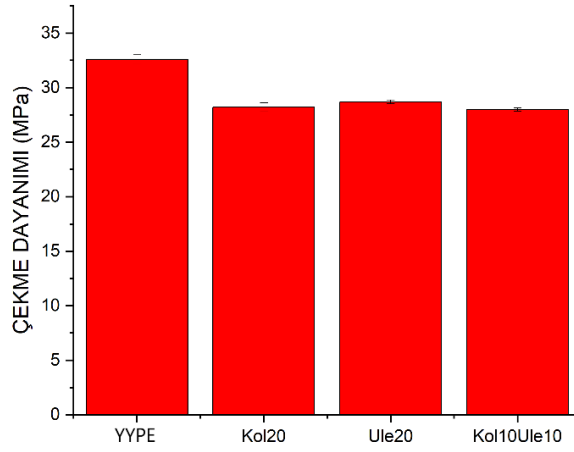
Üleksit mineral dolgulu numunelerin elastisite modülleri incelendiğine ise dolgu oranının artmasıyla beraber elastisite modülünde sürekli bir artış gözlemlenmiş olup, en yüksek modül değeri, %30 üleksit dolgulu numunede gözlemlenmiş ve saf YYPE'ye oranla %47,21'lik bir artış elde edilmiştir. Üleksit ve kolemanit mineral dolgulu numunelerin elastisite modülleri ve çekme dayanımları karşılaştırıldığında %10 oranındaki mineral dolgulu numune dışında, üleksit minerali dolgulu numunelerin kolemanit mineral dolgulu numunelere göre görece daha iyi bir performans gösterdiği görülmektedir. Bu durum, üleksit mineralinin daha düşük ortalama mineral tane boyutuna sahip olması ile açıklanabilir. Partikül boyutunun düşmesi; partikül temas

yüzeyinin artması, güçlü fiziksel etkileşim ve daha etkili kovalent bağ oluşumu gibi faktörleri etkilemesiyle birlikte daha iyi bir arayüzey bağlanmasının oluşmasını sağladığı düşünülmektedir [37-48]. Buna ek olarak, ortalama partikül boyutu dışında, genellikle partiküllerin uzunluk dağılımının matris malzemenin dayanımını arttırmada daha önemli bir rol oynadığı bilinmektedir. Özellikle 10 µm altı partiküller kompozit dayanımını kritik bir şekilde etkilemektedir [37]. Partikül boyut analizi sonuçları kısmında elde edilen bulgulardan yola çıkılarak; üleksit mineralinin 10 µm altı partikül boyut dağılımının %38,76, kolemanit mineralinde ise bu dağılım oranının %25,12 olduğu görülmektedir. Bu durum, üleksit minerali dolgulu numunelerin çekme testi performansının daha iyi olduğunun bir diğer nedeni olarak gösterilebilir.

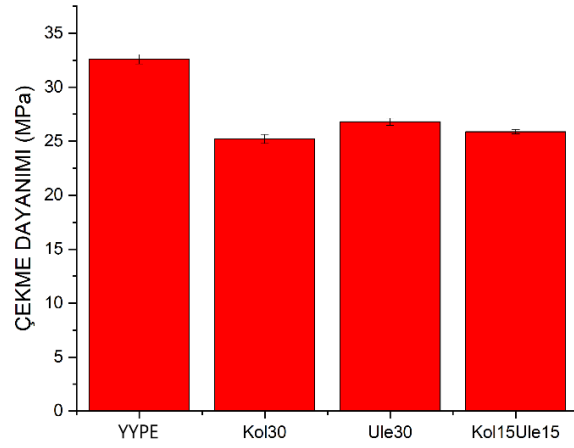
Hibrit kompozit numunelerin elastisite modülü ve çekme dayanımı performansını değerlendirebilmek için sonuçlar dolgu oranlarına göre (%10, %20, %30) grafik haline getirilmiştir. Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da %10, %20 ve %30 oranlarına göre çekme dayanımları gösterilmiştir.



Şekil 4.7: %10 mineral dolgu oranına göre çekme dayanımı değerleri



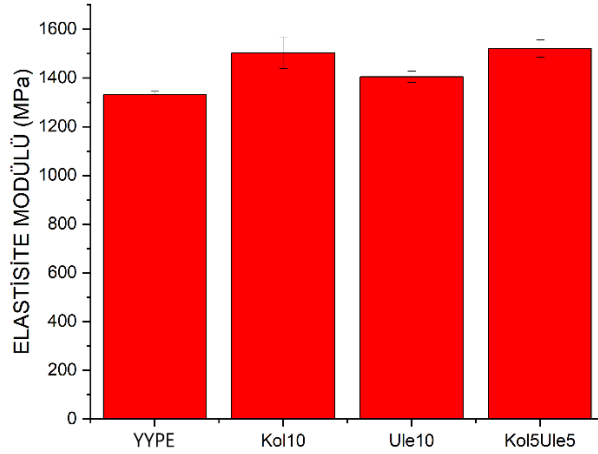
Şekil 4.8: %20 mineral dolgu oranına göre çekme dayanımı değerleri



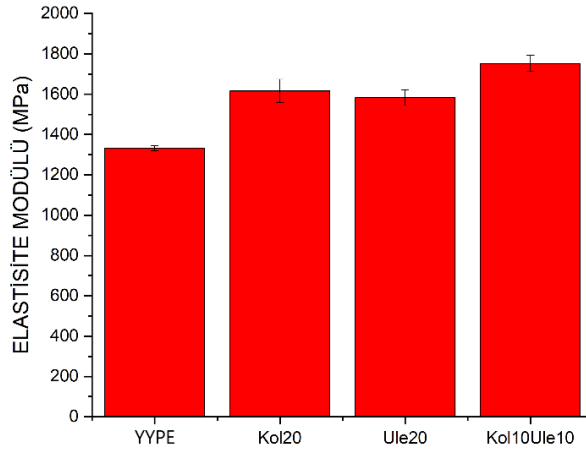
Şekil 4.9: %30 mineral dolgu oranına göre çekme dayanımı değerleri

Hibrit kompozitlerin çekme dayanımları, diğer mineral kompozit numunelerde olduğu gibi saf YYPE'ye kıyasla düşme eğilimi göstermiştir. %10 mineral dolgulu kompozit numuneler içerisinde, %5 kolemanit %5 üleksit dolgulu hibrit kompozit numune, saf YYPE'ye göre %7,61'lik düşüş ile tüm numuneler içerisinde en yüksek çekme dayanımına sahip olduğu görülmüştür. %20 ve %30 mineral dolgu oranlarına sahip kompozit numunelerde ise hibrit kompozitlerin çekme dayanımında diğerlerine kıyasla artış gözlemlenmemiştir. %10 oranında mineral dolgulu numuneler içerisinde, %5 kolemanit %5 üleksit dolgulu hibrit kompozit numunesinin daha yüksek çekme dayanımına sahip olması, partiküllerin matris içerisinde diğerlerine kıyasla daha homojen bir şekilde dağılması sebebiyle açıklanabilir. Partiküllerin matris içerisinde homojen bir dağılım göstermesi, çatlak ilerlemesini engellediğinden dolayı dayanımı arttırmaktadır [55].

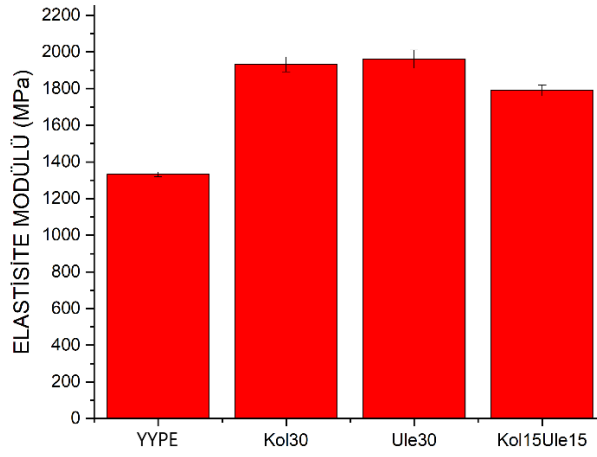
Hibrit kompozit numunelerin elastisite modülüne etkisi ve diğer mineral dolgulu numunelerle karşılaştırmak amacıyla Şekil 4.10, Şekil 4.11, Şekil 4.12’de dolgu oranına göre elastisite modülleri gösterilmiştir. %10 ve %20 dolgulu kompozit numunelerin elastisite modülleri incelendiğinde, hibrit kompozit numunelerin (Kol5Ule5, Kol10Ule10), kolemanit ve üleksit mineral dolgulu kompozit numunelere oranla en yüksek elastisite modülüne sahip oldukları görülmüştür. %5 kolemanit %5 üleksit hibrit kompozit numune, saf YYPE’ye göre %14,12’lik, %10 kolemanit %10 üleksit hibrit kompozit numune ise saf YYPE’ye göre %31,55 oranında artış göstermiştir. Bu durumun sebebi, hibrit partikül kullanımının matris içerisinde çekirdeklendirici bir etki yaratması ve kristalinite derecesinin artmasıyla beraber malzemenin elastisite modülünde artışa sebep olması olabilir. Malzeme içerisindeki kristal faz, amorf yapıya göre daha rijit olmasından dolayı elastisite modülü üzerindeki etkisi büyüktür [20-55]. Çekme testi sonuçlarından elde edilen, Tablo 4.1’de gösterilen kopma uzama değerleri incelendiğinde ise mineral dolgu oranının artmasıyla beraber, tüm kompozit numunelerde kopma uzama değerlerinin düştüğü görülmüştür. Dolgu oranının artması ile beraber kompozit numunelerin gevrek kırılmaya benzer bir davranış sergilediği söylenebilir.



Şekil 4.10: %10 mineral dolgu oranına göre elastisite modülleri



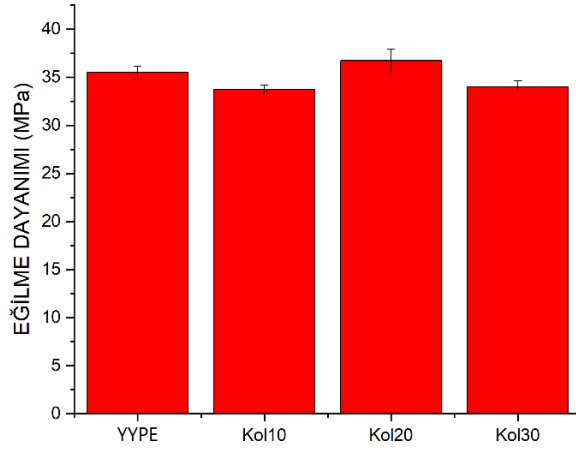
Şekil 4.11: %20 mineral dolgu oranına göre elastisite modülleri



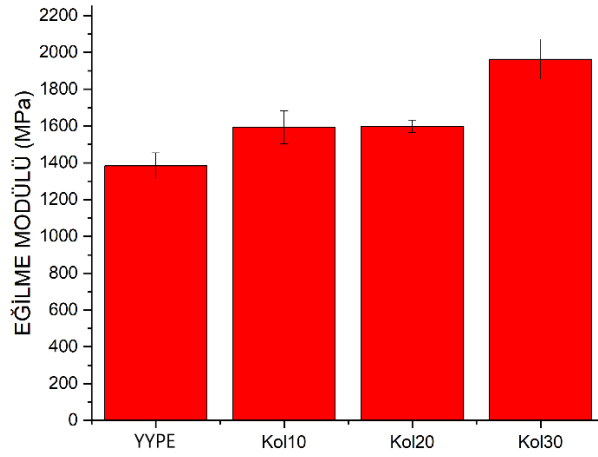
Şekil 4.12: %30 mineral dolgu oranına göre elastisite modülleri

Üç nokta eğilme testi sonuçlarına göre kompozit numunelerin eğilme dayanımı değerleri ve eğilme modülleri tespit edilmiştir. Kolemanit minerali dolgulu kompozit numunelerin eğilme dayanımı değerleri ve eğilme modülleri Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'de gösterilmiştir.

%10 ve %30 kolemanit minerali dolgulu kompozit numunelerin eğilme dayanımı saf YYPE'nin eğilme dayanımına kıyasla düşüş göstermesine rağmen %20 kolemanit minerali dolgulu numunenin eğilme dayanımı saf YYPE'ye kıyasla %3,49 oranında artış göstererek, kolemanit mineral dolgulu numuneler içerisinde en yüksek eğilme dayanımına sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 4.13: Kolemanit mineral dolgu oranına göre eğilme dayanımı değerleri



Şekil 4.14: Kolemanit mineral dolgu oranına göre eğilme modülleri

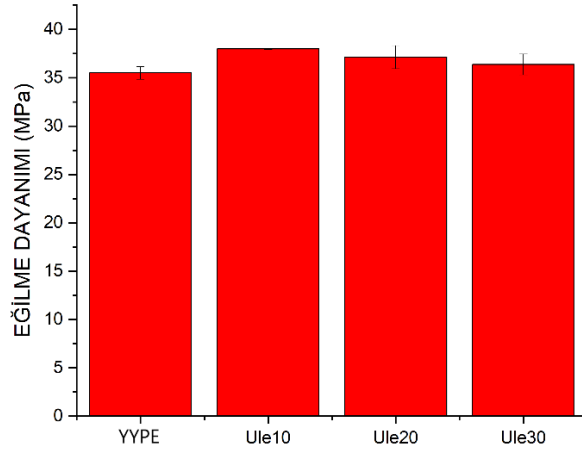
Çekme dayanımı sonuçlarıyla kıyaslandığında ise eğilme dayanım değerlerinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum; numunenin çekme deneyi esnasında tüm kesitinin yüke maruz kalması ve çekme dayanımının numune içerisindeki kusurlardan daha hassas bir şekilde etkilenmesine yol açar. Eğilme deneyinde ise sadece numunenin belirli bir kısmı çekme yüküne maruz kalmaktadır [56]. Kolemanit minerali dolgulu numunelerin eğilme modülleri incelendiğinde ise elastisite modülündeki gibi dolgu oranı arttıkça eğilme modülünde de buna paralel olarak artış görülmektedir. En yüksek eğilme modülü, saf YYPE'ye kıyasla %41,95'lik artışla %30 kolemanit dolgulu numunede gözlemlenmiştir. Eğilme modülü ve elastisite modülleri çoğu zaman birbirlerine oldukça yakın değerler olmalarına rağmen, minerallerin anizotropik yapıları ve numune içerisindeki düzensizlikler bu durumu değiştirmektedir [20-57].

Üleksit minerali dolgulu kompozit numunelerin, eğilme dayanım değerleri ve eğilme modülleri Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da verilmiştir. Eğilme dayanım değerleri incelendiğinde, tüm dolgu oranlarında, eğilme dayanım değerlerinde artış meydana geldiği görülmüştür. En yüksek artış ise, yaklaşık %7 ile %10 oranında üleksit mineral dolgulu numunede elde edilmiştir.

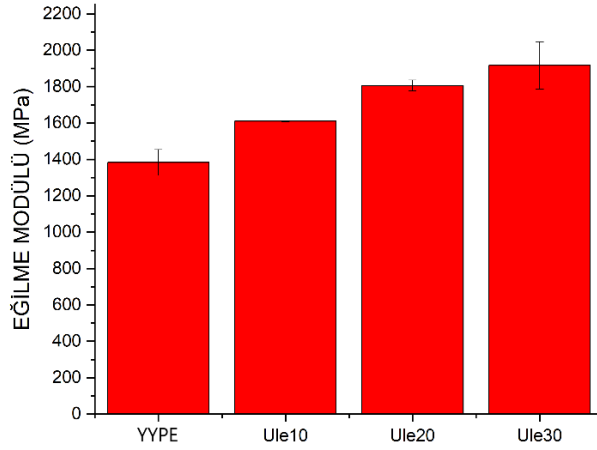
Genel olarak kolemanit ve üleksit minerali dolgulu numuneler karşılaştırıldığında ise; üleksit minerali dolgulu numunelerin eğilme dayanım değerleri, kolemanit dolgulu numunelere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Üleksit mineralinin partikül boyutunun kolemanit mineraline göre düşük olmasının bu duruma sebep olduğu düşünülmektedir [57]. Üleksit minerali dolgulu kompozit numunelerin eğilme modüllerine bakıldığında; kolemanit dolgulu numunelere benzer şekilde sürekli arttığı görülmektedir. %30 üleksit minerali dolgusunun saf YYPE'nin modül değerini yaklaşık %39 oranında arttırdığı görülmüştür. Eğilme modülleri, kolemanit ve üleksit mineral dolgulu numuneler özelinde karşılaştırıldığında; %10 ve %20 dolgulu numuneler arasında üleksit mineral dolgulu numunelerin çok daha yüksek eğilme modülüne sahip olduğu görülmüştür.

Partiküllerin şekli, kompozitlerin eğilme modülü üzerinde oldukça büyük bir etkiye sahiptir. Partiküllerin anizotropik yapıya ve yüksek en-boy oranına sahip olmaları, kullanıldıkları kompozitlerde mukavemet artırma kapasitelerini belirler. Kompozitlere uygulanan gerilimler, matris yapıdan, rijit ve sert dolgu durumundaki partiküllere transfer olur. Bu durumda da partiküllerin küçük boyutlarda olmaları yüzey alanını arttırmakta, ayrıca en-boy oranlarının yüksek olması ise söz konusu yük transferinin daha etkili bir şekilde gerçekleşmesine neden olur [37-38].

Üleksit mineralinin düşük partikül boyut dağılımına sahip olması ve taramalı elektron mikroskobu inceleme sonuçları kısmında, minerallerden elde edilen SEM görüntülerinden fark edileceği üzere, üleksit mineralinin en-boy oranı daha yüksek partiküllere sahip olduğu görülmekte ve bu faktörlerin üleksit mineral dolgulu kompozitlerin genel anlamda daha iyi bir eğilme modülüne sahip olmasının nedenleri olduğu düşünülmektedir.

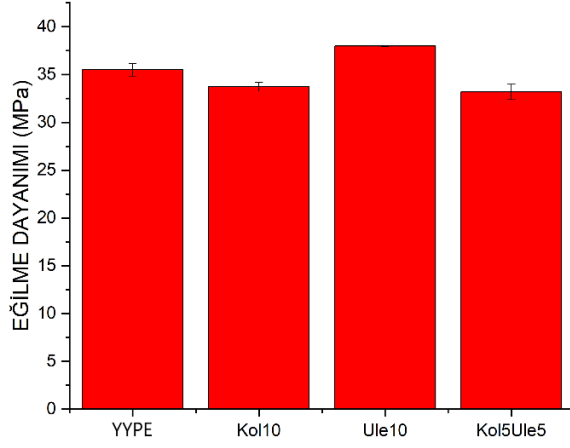


Şekil 4.15: Üleksit mineral dolgu oranına göre eğilme dayanımı değerleri

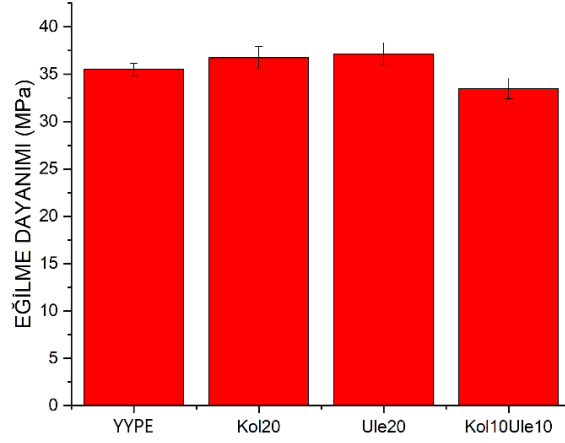


Şekil 4.16: Üleksit mineral dolgu oranına göre eğilme modülleri

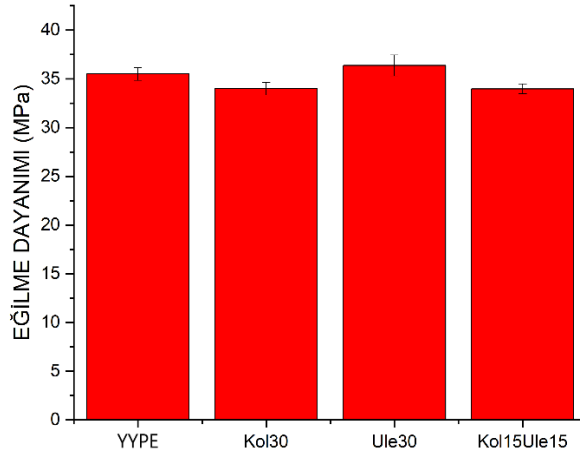
Hibrit mineral dolgulu kompozit numunelerinin eğilme dayanımına etkisi ve diğer mineral dolgulu numunelerle karşılaştırmak amacıyla, Şekil 4.17, Şekil 4.18 ve Şekil 4.19'da dolgu oranına göre eğilme dayanımları gösterilmiştir. Dayanım değerlerine bakıldığında, hibrit mineral dolgulu kompozit numunelerin kolemanit ve üleksit mineral dolgulu numunelere kıyasla daha düşük eğilme dayanım değerlerine sahip olduğu görülmüş ve herhangi bir hibritleşme etkisi gözlemlenmemiştir.



Şekil 4.17: %10 mineral dolgu oranına göre eğilme dayanımı değerleri

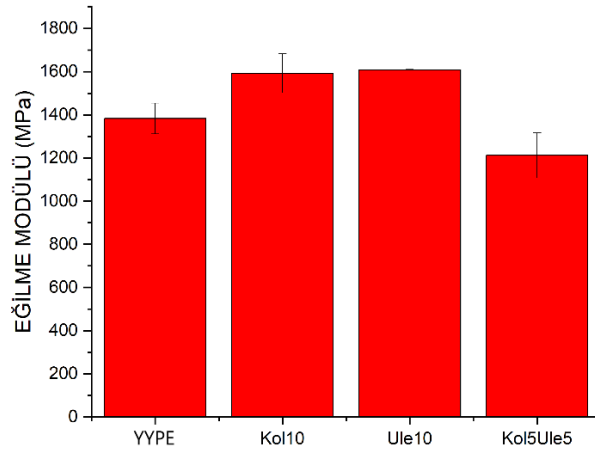


Şekil 4.18: %20 mineral dolgu oranına göre eğilme dayanımı değerleri

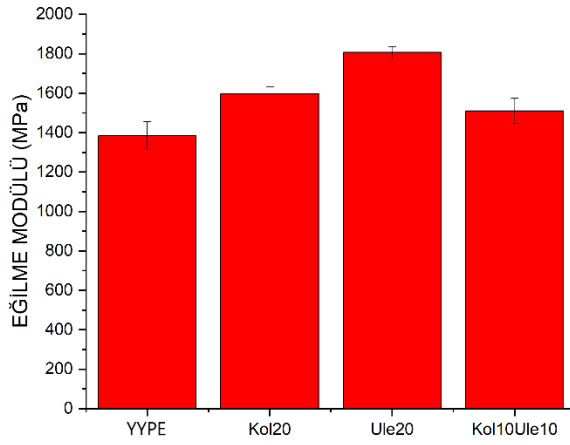


Şekil 4.19: %30 mineral dolgu oranına göre eğilme dayanımı değerleri

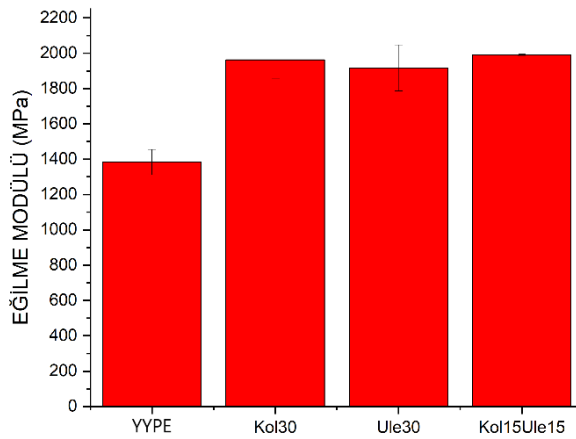
Hibrit mineral dolgulu kompozit numunelerinin eğilme modülüne etkisi ve diğer mineral dolgulu numunelerle karşılaştırmak amacıyla, Şekil 4.20, Şekil 4.21 ve Şekil 4.22'de dolgu oranına göre eğilme modülleri gösterilmiştir.



Şekil 4.20: %10 mineral dolgu oranına göre eğilme modülleri



Şekil 4.21: %20 mineral dolgu oranına göre eğilme modülleri



Şekil 4.22: %30 mineral dolgu oranına göre eğilme modülleri

Sonuçlar incelendiğinde, %30 dolgu oranına sahip numuneler içerisinde, %15 kolemanit %15 üleksit minerali içeren hibrit numunenin en yüksek eğilme modülüne sahip olduğu görülmüş, artış oranı ise saf YYPE'ye kıyasla %42,93 olarak elde edilmiştir. Diğer dolgu oranlarına bakıldığında herhangi bir hibritleşme etkisi gözlemlenmemiş ve özellikle %5 kolemanit %5 üleksit içeren hibrit mineral dolgulu numunenin eğilme modülünün saf YYPE'nin dahi altına düştüğü görülmüştür. Bu durumun, üretim esnasında partikül ve matrisin iyi karışım göstermemesi ve üretim prosesinde meydana gelen hatalardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

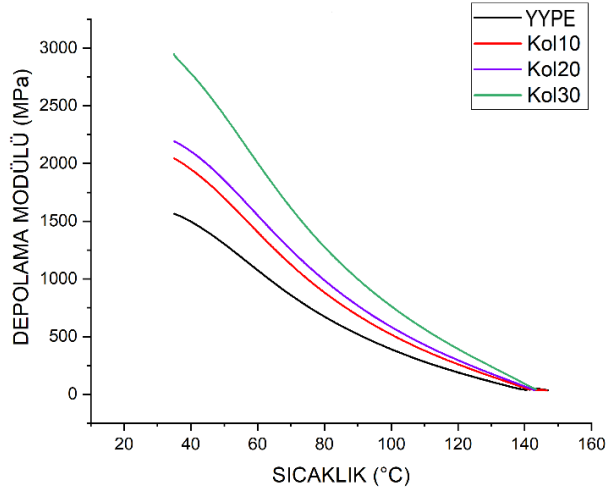
4.3 Dinamik Mekanik Analiz (DMA) Sonuçları

Saf YYPE ve mineral dolgulu kompozit numunelerin viskoelastik davranışlarını gözlemlenmek amacıyla numunelere dinamik mekanik analiz uygulanmıştır. Analiz sonucunda elde edilen, numunelerin depolama modülleri Tablo 4.2'de gösterilmiştir.

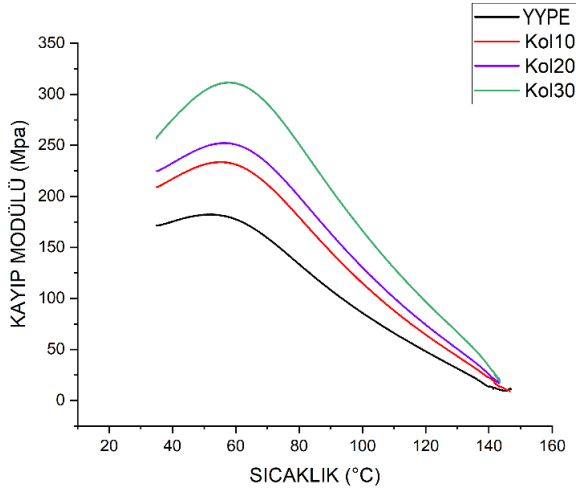
Tablo 4.2: YYPE ve mineral dolgulu kompozit numunelerin depolama modülleri

Numune Adı	Depolama Modülü (Mpa)				
	35°C	50°C	75°C	100°C	135°C
YYPE	1565,20	1302,78	762,26	390,48	71,14
Kol10	2045,59	1699,72	997,49	517,49	104,79
Kol20	2192,47	1854,54	1113,89	583,15	122,93
Kol30	2940,35	2419,38	1435,93	764,80	165,28
Ule10	1941,89	1591,83	923,24	473,46	94,32
Ule20	2238,98	1849,54	1090,93	578,07	123,89
Ule30	2789,61	2320,88	1407,14	755,08	170,83
Kol5Ule5	2016,13	1648,05	962,22	503,82	109,27
Kol10Ule10	2265,95	1904,67	1136,60	598,43	125,89
Kol15Ule15	2631,98	2277,44	1402,89	753,71	188,21

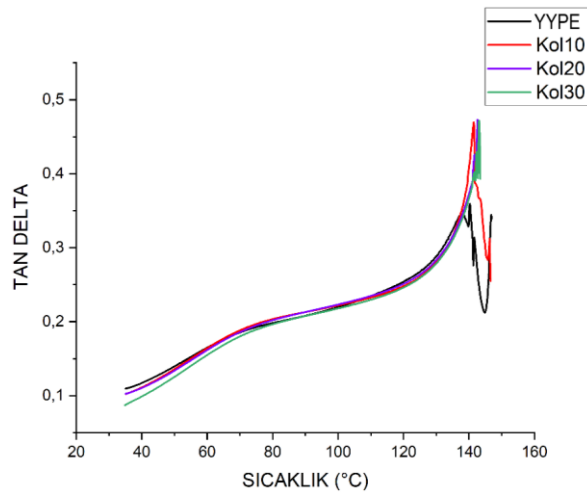
Kolemanit minerali dolgulu kompozit numunelerin dolgu oranı arttıkça depolama modülü, kayıp modülü ve tan delta değerindeki değişimler Şekil 4.23, Şekil 4.24 ve Şekil 4.25'de gösterilmiştir.



Şekil 4.23: Kolemanit mineral dolgu oranına göre depolama modülleri



Şekil 4.24: Kolemanit mineral dolgu oranına göre kayıp modülleri



Şekil 4.25: Kolemanit mineral dolgu oranına göre tan delta eğrileri

Kolemanit dolgu oranı arttıkça depolama modülünde de ciddi bir artış olduğu görülmüştür. Kolemanit mineral dolgulu kompozitler içerisinde en yüksek artış, %30 mineral dolgulu numunede görülmüş olup, 35°C'de depolama modülündeki artış oranı saf YYPE'ye göre %87,86'dır. 135°C'deki artış oranı ise saf YYPE'ye göre %132,33'dür. Sıcaklığın artmasıyla beraber depolama modüllerinde düşüş eğilimi açıkça gözlemlenmiştir. Sıcaklığın artmasıyla beraber depolama modülünün düşmesi; polimer malzemeyi oluşturan iç içe geçmiş yapıdaki zincirlerin artan sıcaklıkla deformasyona karşı iyi bir direnç gösterememesi, camsı geçiş sıcaklığı ve ardından kauçuğumsu bölgeye yaklaştıkça rijitliğin oldukça düşmesi olarak açıklanabilir [39-58].

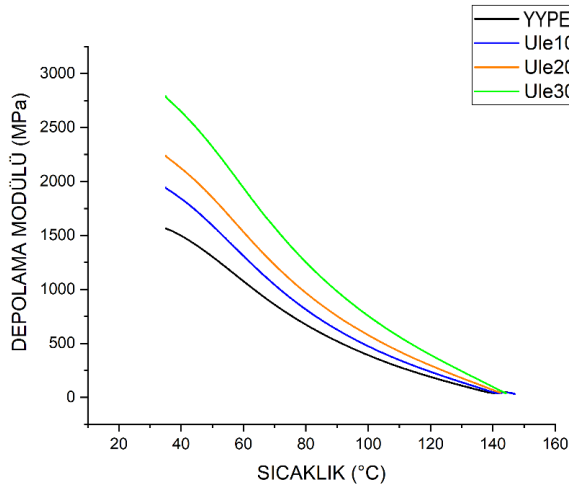
Kolemanit minerali dolgulu kompozit numunelerin kayıp modülleri incelendiğinde ise depolama modülüne benzer şekilde, dolgu oranı arttıkça kayıp modülünün de arttığı görülmüştür. En yüksek kayıp modülü, kayıp modülü-sıcaklık grafiğinden de görüleceği üzere %30 kolemanit minerali dolgulu numunede gözlemlenmiştir. Mineral dolgu oranının artmasıyla birlikte, kayıp modülünün de yükselmesi, mineral partikülleri ve matris arasında iç sürtünme kuvveti sebebiyle elastik enerjinin ısı enerjisine dönüşerek viskoz davranışa sebep olması olarak açıklanabilir. Artan dolgu oranı ile matris içerisinde daha fazla mineral partikül bulunur ve bu durum, toplam iç sürtünme kuvvetini arttırarak, kayıp modülünü yükseltmektedir [39].

Ayrıca, kayıp modüllerinin kısa bir sıcaklık aralığında yükselerek pik yaptığı ve sonrasında düşmeye başladığı tespit edilmiştir. Kayıp modülü, polimer içerisindeki enerji kaybını göstermektedir. Camsı geçiş sıcaklığından itibaren amorf yapı, yumuşak ve kauçuğumsu davranışa geçişe başladığından dolayı, rijitliği düşük olan bu yapıda daha az gerilme oluşmakta ve buna bağlı olarak da daha az enerji kaybı meydana gelmektedir. Kayıp modülü, bu noktadan sonra düşmeye başlamaktadır. Kayıp modülünün grafikte en yüksek değere ulaştığı sıcaklık, camsı geçiş sıcaklığını göstermekte olup numunelerin camsı geçiş sıcaklıkları bu değer kullanılarak tespit edilmiştir [39-58]. Camsı geçiş sıcaklıkları YYPE, %10, %20, %30 kolemanit minerali dolgulu kompozit numuneler için sırasıyla, 52,58°C, 55,78°C, 56,09°C, 57,35°C olarak bulunmuştur. Saf YYPE'ye göre, kolemanit mineral dolgulu numunelerde camsı geçiş sıcaklığında artış sağlanmıştır. Matris içerisinde artan partikül yoğunluğu, matris-partikül arasındaki arayüzey bağlarını arttırarak polimer içerisindeki hareketsiz

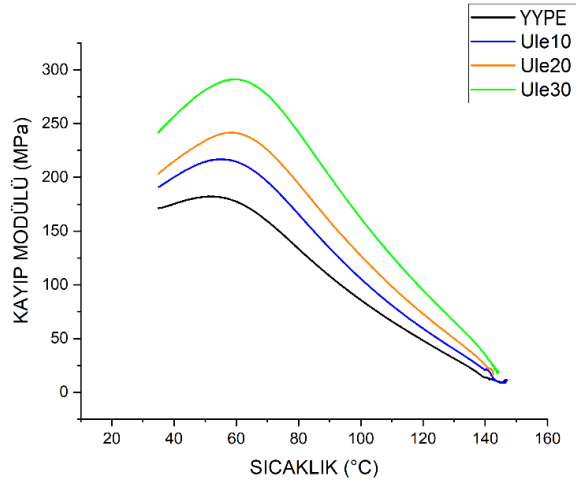
zincir sayısını çoğalttığı ve buna bağlı olarak da camsı geçiş sıcaklığını yükselttiği düşünülmektedir [59].

Kolemanit minerali dolgulu kompozit numunelerin tan delta eğrilerine bakıldığında, tan delta eğrilerinin birbirlerine oldukça yakın pik yüksekliklerine sahip olduğu görülmektedir. En yüksek pik değerinin, nispeten %20 kolemanit minerali dolgulu kompozit numunede, en düşük pik değerinin ise %10 kolemanit dolgulu kompozit numunede elde edildiği gözlemlenmiştir. Mineral dolgulu kompozit numunelerin tan delta pik değerleri, saf YYPE'ye oranla ciddi bir artış göstermiştir. Bu durum, matris-partikül dolgu arasındaki arayüzey bağının kuvvetli olması hakkında bilgi verebilir. Partikül-matris arayüzeyindeki polimer zincirlerinin iç sürtünme kuvvetinin yüksek olması, kötü bir arayüzey bağlanmasının ve tan delta pik değerinin artması sonucunu doğurur. Tan delta pik değerinin düşük olması, arayüzeydeki polimer zincirlerinin hareketlerinin kısıtlanması ve böylece iç sürtünme kuvvetinin azalması anlamına gelmektedir [59-60].

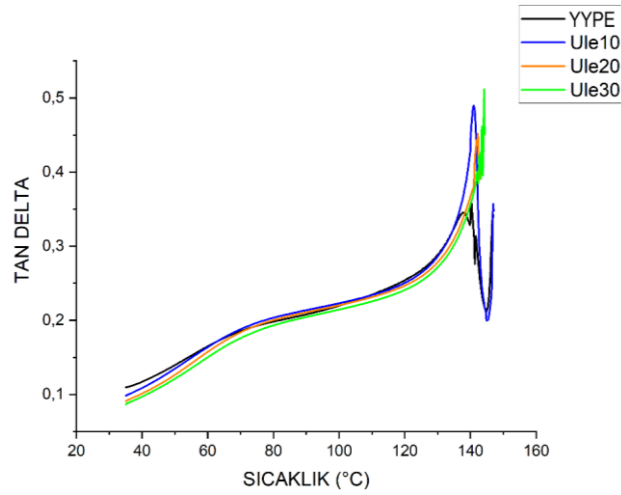
Üleksit minerali dolgulu numunelerin dolgu oranı arttıkça depolama modülü, kayıp modülü ve tan delta değerindeki değişimler Şekil 4.26, Şekil 4.27 ve Şekil 4.28'de gösterilmiştir.



Şekil 4.26: Üleksit mineral dolgu oranına göre depolama modülleri



Şekil 4.27: Üleksit mineral dolgu oranına göre kayıp modülleri

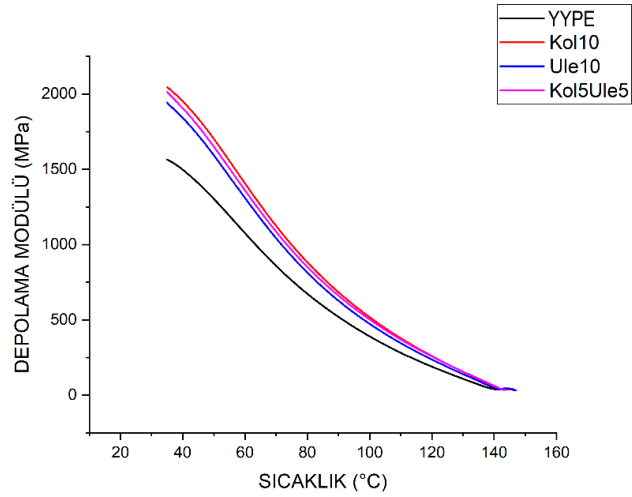


Şekil 4.28: Üleksit mineral dolgu oranına göre tan delta eğrileri

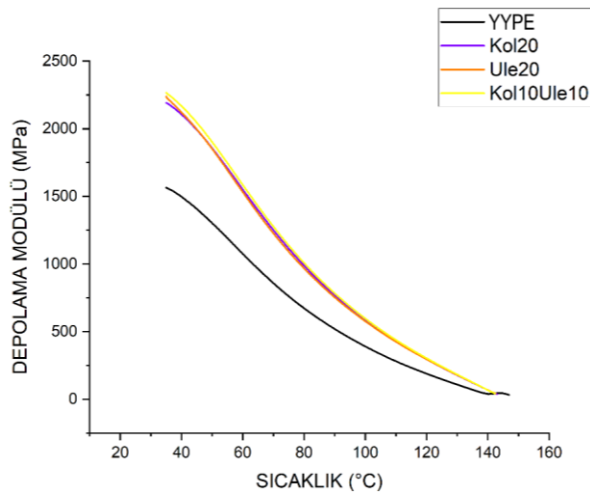
Üleksit minerali dolgu oranı arttıkça depolama modülünde, kolemanit dolgulu numunelere benzer şekilde bir artış görülmüştür. 35°C'deki depolama modülleri incelendiğinde en yüksek artış, üleksit mineral dolgulu kompozitler içerisinde, %30 mineral dolgulu numunede görülmüş olup, artış oranı ise saf YYPE'ye göre %78,23 olarak elde edilmiştir. 135°C'deki artış oranı ise saf YYPE'ye göre %140,13'dür. Üleksit minerali dolgulu kompozit numunelerin kayıp modülleri incelendiğinde, dolgu oranı arttıkça, kolemanit dolgulu kompozit numunelere çok benzer şekilde kayıp modülünün de arttığı görülmüştür. En yüksek kayıp modülü, Şekil 4.27'den görüleceği üzere %30 üleksit minerali dolgulu kompozit numunede gözlemlenmiştir. Camsı geçiş sıcaklıkları YYPE, %10, %20, %30 üleksit minerali dolgulu kompozit numuneler için sırasıyla, 52,58°C, 53,94°C, 58,68°C, 58,44°C olarak bulunmuştur. Saf YYPE'ye göre, üleksit mineral dolgulu kompozit numunelerde camsı geçiş sıcaklığında artış

sağlanmıştır. Üleksit mineral dolgulu numunelerin tan delta pik yükseklikleri incelendiğinde, saf YYPE'ye göre oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Kolemanit minerali dolgulu kompozit numunelerin aksine, pik değerleri arasında oldukça belirgin farklar mevcut olmakla birlikte, en yüksek pik değerinin %30 üleksit minerali dolgulu kompozit numunede, en düşük pik değerinin ise %20 üleksit minerali dolgulu kompozit numunede olduğu tespit edilmiştir. Buna istinaden, %20 üleksit minerali dolgulu numunenin, %10 ve %30 dolgu oranına göre daha iyi bir arayüzey bağlanmasına sahip olduğu söylenebilir.

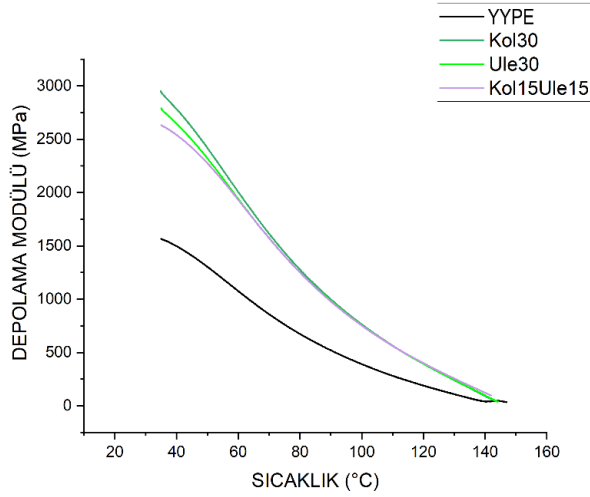
Hibrit etkisinin incelenmesi ve farklı minerallerinin dolgu oranlarına göre kıyaslanması amacıyla; %10, %20, %30 dolgu oranlarına göre depolama modülleri Şekil 4.29, Şekil 4.30 ve Şekil 4.31'de gösterilmiştir.



Şekil 4.29: %10 mineral dolgu oranına göre depolama modülleri



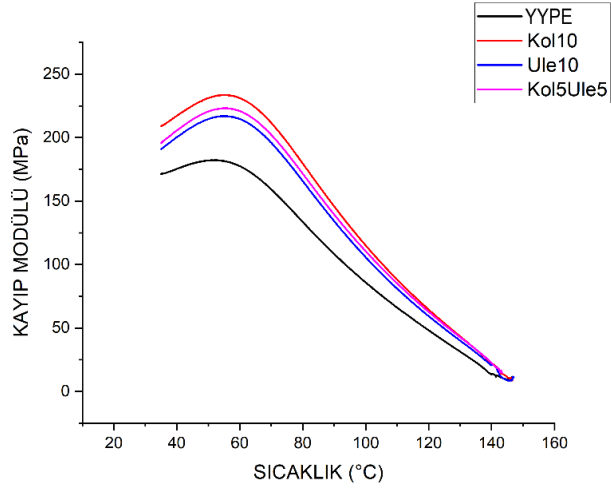
Şekil 4.30: %20 mineral dolgu oranına göre depolama modülleri



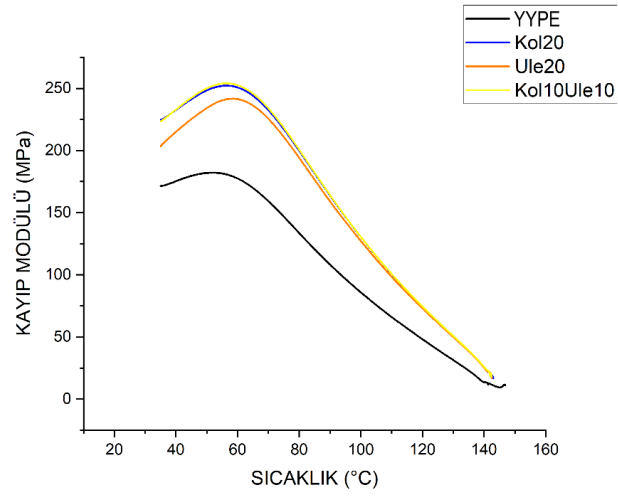
Şekil 4.31: %30 mineral dolgu oranına göre depolama modülleri

%10 dolgu oranına göre depolama modülleri incelendiğinde, %5 kolemanit %5 üleksit hibrit numunenin %10 üleksit minerali dolgulu kompozit numuneye göre daha yüksek depolama modülüne sahip olduğu görülmüş ve %10 kolemanit minerali dolgulu kompozit numuneye benzer depolama modülüne sahip olduğu görülmüştür. 135°C'deki depolama modülleri incelendiğinde ise en yüksek depolama modülü hibrit numunede elde edilmiştir. %20 dolgu oranına göre depolama modülleri incelendiğinde, %10 kolemanit %10 üleksit hibrit numunenin en yüksek depolama modülüne sahip olduğu görülmesine rağmen Şekil 4.30'dan görüldüğü gibi %20 üleksit ve kolemanit numuneleri de oldukça yakın depolama modülüne sahip olduğu gözlemlenmiştir. %30 oranında mineral dolgulu kompozit numunelere bakıldığında, %15 kolemanit %15 üleksit hibrit numunenin %30 kolemanit ve üleksit dolgulu kompozit numunelere kıyasla daha düşük depolama modülüne sahip olduğu görülmesine rağmen, 135°C'de tüm kompozit numuneler arasındaki en yüksek depolama modülüne sahiptir.

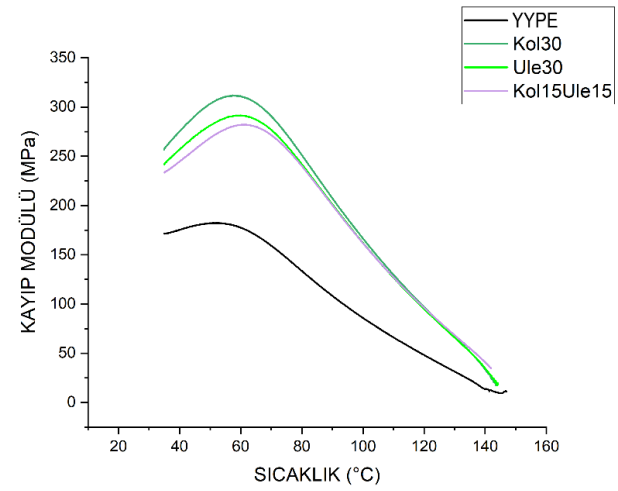
Şekil 4.32, Şekil 4.33 ve Şekil 4.34'de gösterilen, dolgu oranlarına göre kayıp modüllerine bakıldığında; %10 ve %30 oranlarında hibrit numunelerin kolemanit ve üleksit mineral dolgulu kompozit numunelere göre daha düşük kayıp modüllerine sahip olduğu görülmüş, %20 dolgu oranında ise kolemanit dolgulu kompozit numuneye benzer şekilde en yüksek kayıp modülüne sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 4.32: %10 mineral dolgu oranına göre kayıp modülleri



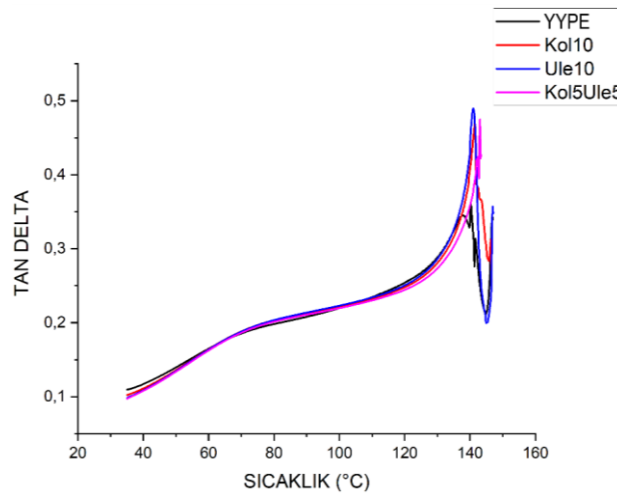
Şekil 4.33: %20 mineral dolgu oranına göre kayıp modülleri



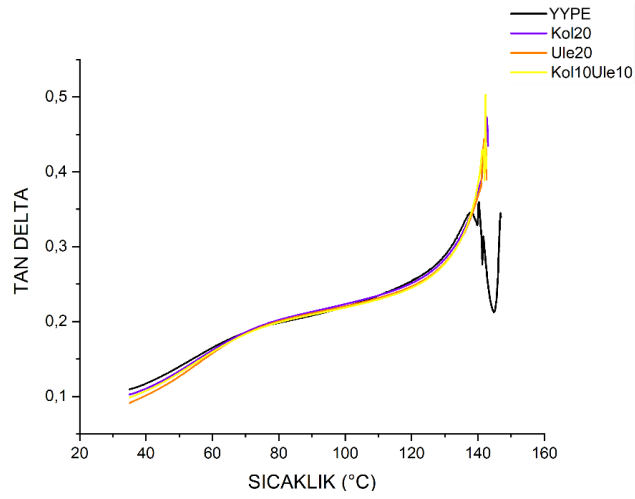
Şekil 4.34: %30 mineral dolgu oranına göre kayıp modülleri

Üleksit ve kolemanit dolgulu kompozit numunelerin kayıp modülleri kıyaslandığında ise tüm karışım oranlarında kolemanit dolgulu kompozit numunelerin, üleksit dolgulu kompozit numunelere göre daha yüksek kayıp modüllerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Matris ve mineral partikülleri arasındaki mikroyapısal deformasyonun fazla olması durumunda kayıp modülünün arttığı söylenebilir [61]. Camsı geçiş sıcaklıklarına bakıldığında ise %5 kolemanit %5 üleksit, %10 kolemanit %10 üleksit ve %15 kolemanit %15 üleksit hibrit numunelerin camsı geçiş sıcaklıkları sırasıyla 55,95°C, 56,40°C, 61,55°C olarak tespit edilmiştir. Özellikle %30 dolgulu numuneler içerisinde hibrit dolgulu numunede, tüm numuneler arasında en yüksek camsı geçiş sıcaklığı tespit edilmiştir. Saf YYPE'ye (52,58°C) kıyasla oldukça yüksek bir camsı geçiş sıcaklığına sahip olduğu görülmüştür. Benzer şekilde, %10 mineral dolgulu numuneler arasında da hibrit dolgulu numune en yüksek camsı geçiş sıcaklığına sahiptir. Bu durum, artan partikül yoğunluğunun daha fazla hareketsiz polimer zincir yapıya sebep olarak camsı geçiş sıcaklığını arttırması olarak yorumlanabilir [59].

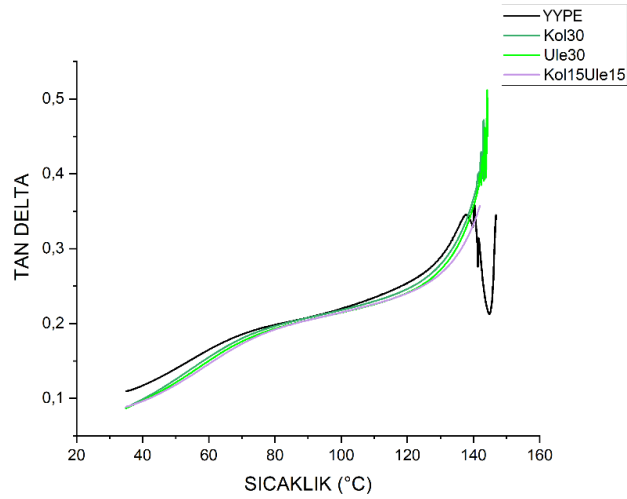
Dolgu oranlarına göre tan delta eğrileri Şekil 4.35, Şekil 4.36 ve Şekil 4.37'de gösterilmiştir.



Şekil 4.35: %10 mineral dolgu oranına göre tan delta eğrileri



Şekil 4.36: %20 mineral dolgu oranına göre tan delta eğrileri



Şekil 4.37: %30 mineral dolgu oranına göre tan delta eğrileri

Tan delta pik yükseklikleri incelendiğinde, %10 mineral dolgulu numuneler arasında hibrit mineral dolgulu numunenin, üleksit minerali dolgulu numuneye göre daha iyi bir arayüzey bağlanmasına sahip olduğu söylenebilir. %20 mineral dolgulu kompozit numuneler incelendiğinde ise en yüksek pik yüksekliğinin hibrit mineral dolgulu numunede olduğu tespit edilmiştir. Buna göre, %10 kolemanit %10 üleksit dolgulu hibrit numunede iyi bir arayüzey bağlanması elde edilememiştir. %30 oranında mineral dolgulu numuneler incelendiğinde, hibrit mineral dolgulu kompozit numunenin tan delta eğrisinin bittiği noktanın pik değeri olduğu görülmüştür. Bu durumdan dolayı arayüzey bağlanması hakkında sağlıklı bir yorum yapılamayacağı söylenebilir.

4.4 Termogravimetrik Analiz (TGA) Sonuçları

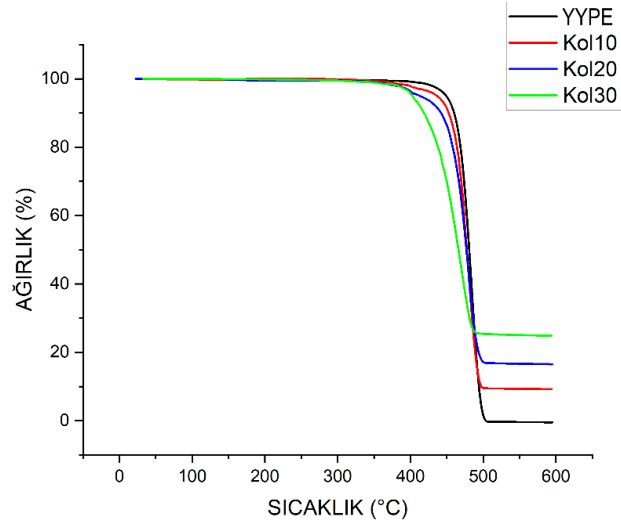
Kolemanit ve üleksit mineral dolgulu kompozit numunelerin bozunma başlangıç sıcaklıkları, maksimum bozunma sıcaklıkları, bozunma bitiş sıcaklıkları ve bozunma miktarları TGA eğrilerinden elde edilmiş ve Tablo 4.3’de gösterilmiştir. Tüm numunelerin bozunma başlangıç sıcaklıkları, toplam kütle kaybının %5 oranındaki sıcaklık olacak şekilde kabul edilmiştir.

Tablo 4.3: YYPE ve mineral dolgulu numunelerin TGA sonuçları

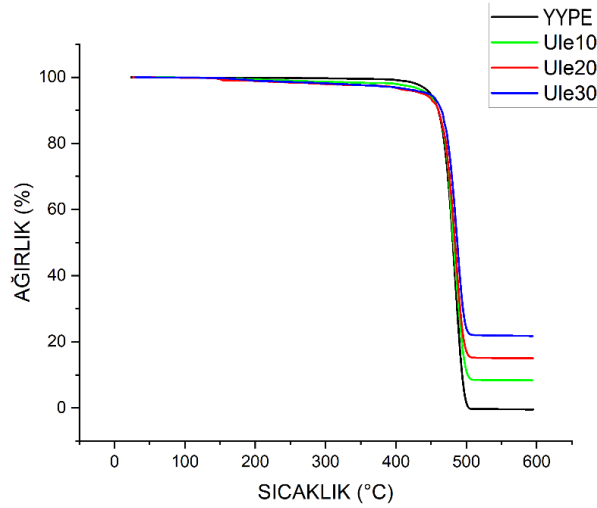
Numune Adı	Bozunma Başlangıç Sıcaklığı (°C)	Maks. Bozunma Sıcaklığı (°C)	Bozunma Bitiş Sıcaklığı (°C)	Bozunma Miktarı (%)
YYPE	465,51	483,49	496,35	99,53
Kol10	460,05	476,88	491,82	90,76
Kol20	454,92	479,26	491,69	83,47
Kol30	430,26	469,51	483,76	75,12
Ule10	465,56	478,76	495,36	91,64
Ule20	466,94	485,23	496,02	85,02
Ule30	469,80	486,98	497,01	78,25

Kolemanit ve üleksit minerali dolgulu kompozit numunelerin TGA eğrileri Şekil 4.38 ve Şekil 4.39’da gösterilmiştir. Numunelerin termal bozunma eğrileri incelendiğinde, YYPE ve mineral dolgulu kompozit numunelerin tek aşamada bozunduğu görülmektedir.

Kolemanit minerali dolgulu kompozit numunelerin bozunma başlangıç sıcaklığı incelendiğinde %10, %20, %30 dolgulu numunelerin başlangıç sıcaklıklarında saf YYPE’ye göre sırasıyla 5,46°C, 10,59°C, 35,25°C düşüş tespit edilmiştir. Maksimum bozunma sıcaklıklarına bakıldığında %10, %20, %30 mineral dolgulu numunelerin saf YYPE’ye kıyasla sırasıyla; 6,61°C, 4,23°C, 13,98°C düşüş görülmüştür. Ek olarak, bozunma bitiş sıcaklıkları ve bozunma miktarlarına bakıldığında ise benzer bir davranış gözlemlenmektedir. Bu durumda, kolemanit mineralinin saf YYPE’nin termal kararlılığı üzerinde olumlu bir etkisinin olmadığı söylenebilir.



Şekil 4.38: YYPE ve kolemanit minerali dolgulu numunelerin TG eğrileri



Şekil 4.39: YYPE ve üleksit minerali dolgulu numunelerin TG eğrileri

Üleksit minerali dolgulu kompozit numunelerin bozunma başlangıç sıcaklıklarına bakıldığında, kolemanit minerali dolgulu kompozit numunelerin aksine %10, %20, %30 üleksit minerali dolgulu kompozit numunelerin saf YYPE'ye oranla sırasıyla; 0,05°C, 1,43°C, 4,29°C arttığı gözlemlenmiştir. Maksimum bozunma sıcaklıkları karşılaştırıldığında %10 üleksit dolgulu kompozit numunenin saf YYPE'ye göre; 4,73°C düşüş gözlemlenmiş olup, %20 ve %30 üleksit dolgulu kompozit numunelerde sırasıyla 1,74°C ve 3,49°C artış gözlemlenmiştir. Benzer şekilde, bozunma bitiş sıcaklıklarında da %10 ve %20 üleksit dolgulu kompozit numunelerde, kolemanite kıyasla çok az bir düşüş gözlemlenmiştir. %30 üleksit dolgulu kompozit numunenin

bozunma bitiş sıcaklığında az da olsa bir artış görülmüştür. Bozunma miktarları da kolemanit dolgulu numunelere benzer şekilde düşmüştür.

TGA verilerine bakarak üleksit mineralinin kolemanite kıyasla YYPE'nin termal kararlılığını arttırdığı söylenebilir. Termal kararlılığın artması, matris-partikül arasındaki etkileşim sebebiyle polimer zincirlerinin kırılması için gereken sıcaklığın daha yüksek derecelere çıkması anlamına gelmektedir [62].

Üleksit dolgulu kompozit numunelerin daha iyi termal kararlılık göstermesinin, üleksit mineralinin daha düşük partikül boyutuna sahip olması sebebiyle matris-partikül arasındaki toplam yüzey alanını artırarak daha iyi bir arayüzey bağlanması elde edilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir [63]. Bir diğer sebep ise kolemanit mineralleri partiküllerinin matris içerisinde kötü bir dağılım göstermesi olabilir [62-64]. Partiküllerin matris içerisinde topaklanmaları durumunda, partikül-matris arasındaki mevcut yüzey alanının düşmesi de termal kararlılığı olumsuz etkileyen bir değer nedendir [65].

4.5 Diferansiyel Taramalı Kalorimetre Analizi (DSC) Sonuçları

DSC sonuçlarından elde edilen erime sıcaklığı, kristalizasyon sıcaklığı, kristalizasyon entalpisi, erime entalpisi ve kristalinite derecesi Tablo 4.4'de verilmiştir.

Tablo 4.4: YYPE ve mineral dolgulu numunelerin DSC sonuçları

Numune Adı	T _m (C°)	T _c (C°)	ΔH _c (J/g)	ΔH _m (J/g)	X _c (%)
YYPE	137,24	117,52	222,20	218,40	74,54
Kol10	137,37	119,84	198,00	198,10	75,12
Kol20	135,01	121,02	170,00	162,60	69,37
Kol30	135,96	120,50	150,70	147,70	72,01
Ule10	137,26	119,06	194,80	194,00	73,57
Ule20	135,06	120,35	183,20	179,30	76,49
Ule30	135,12	120,61	160,70	158,50	77,28

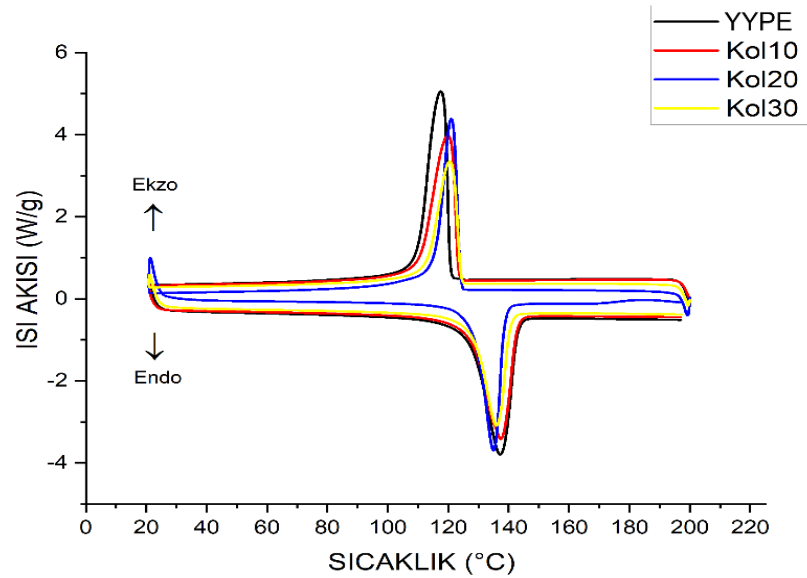
T_m: Erime Sıcaklığı, T_c: kristalizasyon sıcaklığı, ΔH_c: kristalizasyon entalpisi, ΔH_m: erime entalpisi,
X_c: kristalinite derecesi

YYPE ve mineral dolgulu kompozit numunelerin kristalinite derecesi aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanmıştır.

$$X_c = \frac{\Delta H_m / \phi_{yype}}{\Delta H^{\circ m}} \times 100 \quad (4.1)$$

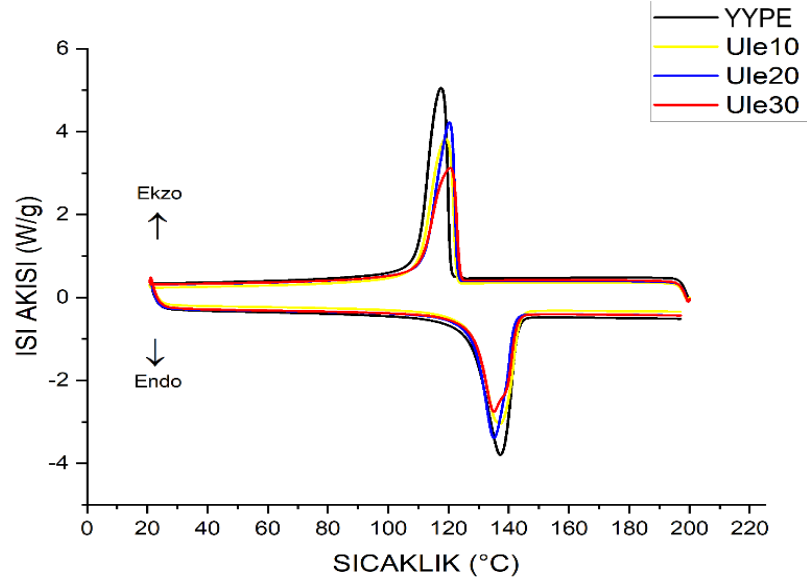
Burada $\Delta H^{\circ m}$, %100 kristal YYPE'nin erime entalpisidir. ϕ_{yype} ise YYPE'nin numune içerisinde ağırlıkça yüzdesidir. Kompozit numunelerin kristalinite derecesi hesaplanırken %100 kristal YYPE'nin erime entalpsi 293 J/g olarak alınmıştır [66].

Şekil 4.40 ve Şekil 4.41'de kolemanit ve üleksit minerali dolgulu kompozit numunelerin DSC eğrileri verilmiştir.



Şekil 4.40: YYPE ve kolemanit minerali dolgulu numunelerin DSC eğrileri

Kolemanit ve üleksit mineral dolgulu tüm kompozit numunelerin erime sıcaklıklarına bakıldığında saf YYPE'ye kıyasla çok az miktarda değişim gözlemlenmektedir. Bu durum, YYPE'nin iç yapısındaki kristal boyutunda mineral dolgu eklenmesiyle önemli bir değişim olmadığı şeklinde yorumlanabilir [52]. Benzer şekilde, mineral dolgu oranlarının artmasıyla beraber erime entalpilerinde saf YYPE'ye göre ciddi bir düşüş tespit edilmiştir. Kolemanit ve üleksit partiküllerinin dolgu miktarı arttıkça daha fazla ısı enerjisini absorbe ederek kompozit malzemenin termal kararlılığını arttırdığı söylenebilir [67].



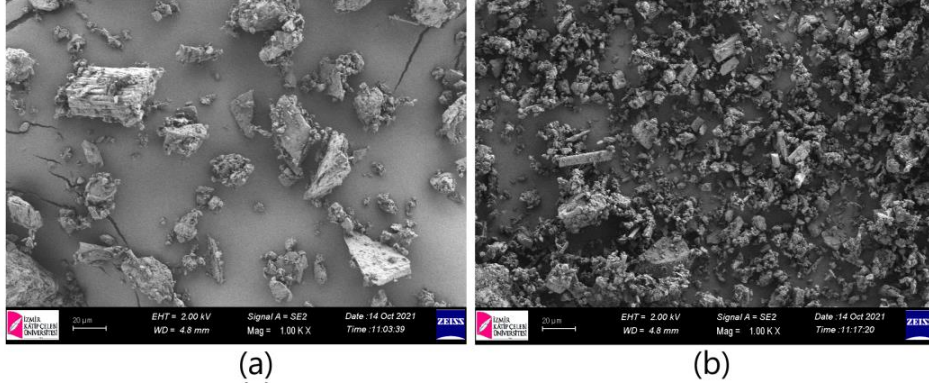
Şekil 4.41: YYPE ve üleksit minerali dolgulu numunelerin DSC eğrileri

Kristalizasyon sıcaklıkları incelendiğinde ise tüm mineral dolgulu kompozit numunelerde saf YYPE'ye göre 1,5°C-3,5°C arasında değişen bir artış gözlemlenmiştir. Bu durumun sebebi olarak, matris içerisinde mineral dolgu eklenmesiyle gerçekleşen heterojen çekirdeklenme gösterilebilir [68]. Kristalinite dereceleri incelendiğinde, %10 kolemanit mineral dolgulu, %20 ve %30 üleksit minerali dolgulu kompozit numunelerde saf YYPE'ye göre bir artış görülmüştür. Bu durumun, minerallerin matris içerisinde çekirdeklenme etkisi yaratarak kristalinite derecesini artırması ile açıklanabilir [67]. Bazı durumlarda matris içerisindeki dolgular polimer kompozitlerde çekirdeklendirici etkide bulunabilirler. Termoplastik malzemelerde kristalinite derecesi; elastisite modülü, akma dayanımı, boyutsal kararlılık ve özgül ısı kapasitesi gibi malzeme özelliklerine etkisi büyüktür [44].

4.6 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) İnceleme Sonuçları

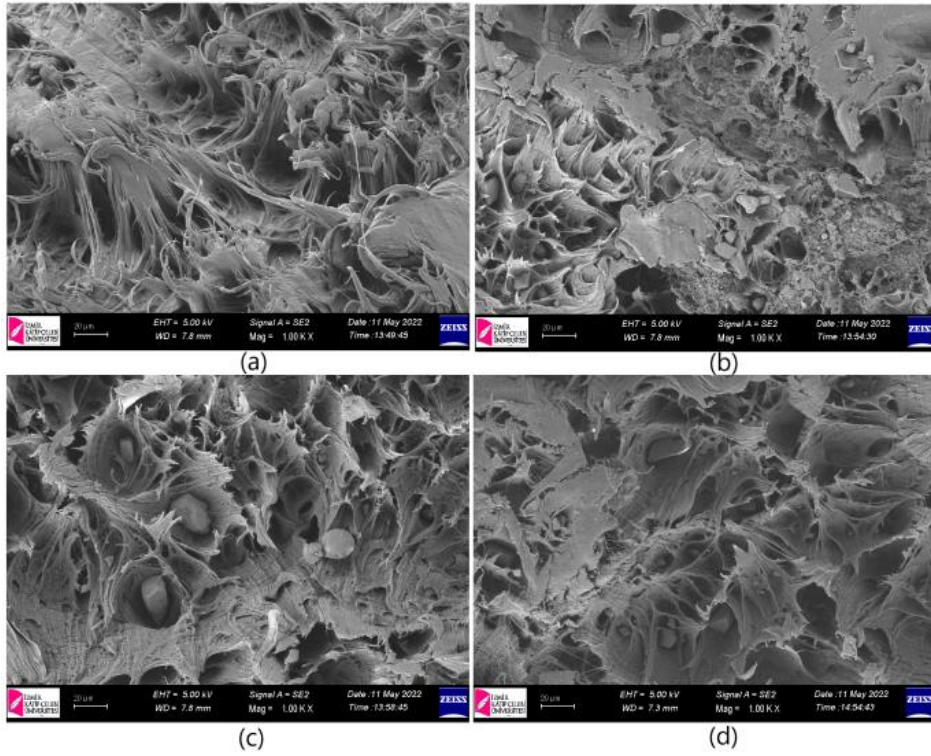
Şekil 4.42'de kolemanit ve üleksit minerallerinin 1000x büyüklüğündeki SEM görüntüleri gösterilmiştir. Her iki mineral partiküllerinin de anizotropik yapıda oldukları görülmektedir. Partikül boyutu analiz sonuçlarından da tespit edildiği üzere üleksit mineralinin ortalama partikül boyutunun daha düşük olması ve çok daha küçük partikül yoğunluğuna sahip olduğu görülmektedir. Bu durum, üleksit minerali dolgulu

kompozit numunelerin mekanik analiz sonuçlarında da açıklandığı üzere elastisite modülü, çekme ve eğilme dayanımı gibi mekanik özelliklerinin genel olarak daha iyi olmasını desteklemektedir.

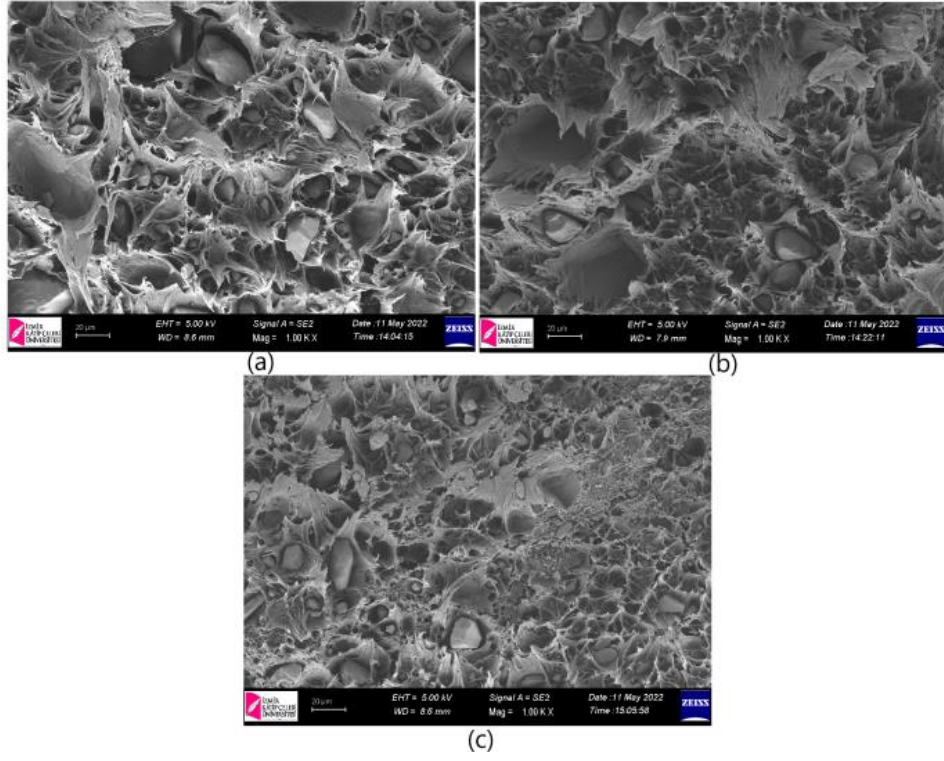


Şekil 4.42: (a) Kolemanit ve (b) Üleksit minerallerinin SEM görüntüleri

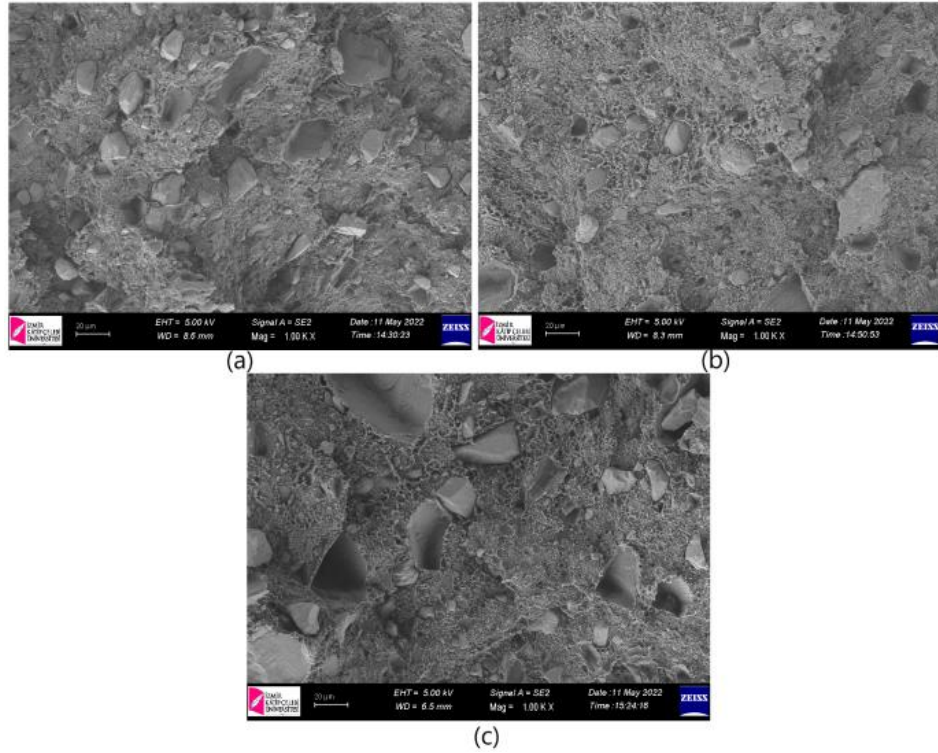
Çekme testi sonrasında kırılan yüzeylerden elde edilen 1000x büyüklüğündeki SEM görüntüleri Şekil 4.43, Şekil 4.44 ve Şekil 4.45’de verilmiştir. Saf YYPE’nin SEM görüntüsü incelendiğinde, çekme testi ardından deforme olmuş lifimsi yapı açıkça gözükmemektedir.



Şekil 4.43: (a) Saf YYPE (b) %10 kolemanit dolgulu (c) %10 üleksit dolgulu (d) %5 kolemanit %5 üleksit dolgulu numunelerin SEM görüntüleri



Şekil 4.44: (a) %20 kolemanit dolgulu (b) %20 üleksit dolgulu (c) %10 kolemanit %10 üleksit dolgulu numunelerin SEM görüntüleri



Şekil 4.45: (a) %30 kolemanit dolgulu (b) %30 üleksit dolgulu (c) %15 kolemanit %15 üleksit dolgulu numunelerin SEM görüntüleri

%10 mineral dolgulu kompozit numunelerin SEM görüntüleri incelendiğinde, matris içerisinde zayıf partikül-matris arayüzeyi sebebiyle yüzeyde kalan partiküllerin etrafındaki boşluklar meydana gelmiştir. Zayıf arayüzey etkisi sebebiyle, matris içerisindeki partiküllerin kuvvet etkisiyle koparak büyük boşluklar oluşturduğu gözlemlenmiştir. %10 kolemanit ve %10 üleksit minerali dolgulu kompozit numunelerde, partiküllerin matris içerisinde homojen dağılmadığı ve kümelendikleri görülmüştür. %5 kolemanit %5 üleksit hibrit kompozit numunede nispeten daha homojen bir partikül dağılımı elde edilmiştir. %20 mineral dolgulu numunelerin SEM görüntülerine bakıldığında, her üç kompozit numunede daha homojen bir partikül dağılımı elde edildiği görülmektedir. %30 mineral dolgulu numunelerin SEM görüntüleri incelendiğinde ise özellikle %30 kolemanit minerali ve %15 kolemanit %15 üleksit hibrit numunede büyük boyutlu partiküllerin kötü arayüzey sebebiyle matris içerisinde koptuğu ve oluşturduğu çok büyük boşluklar açıkça gözükmektedir.

Ek olarak, %10 ve %20 mineral dolgulu kompozit numunelerde görülen lifimsi yapının %30 mineral dolgulu kompozit numunelerde görülmediği gözlemlenmiştir. Bu durum, çekme testi sonuçlarında açıklandığı üzere artan mineral dolgu oranıyla beraber, kopma uzama değerlerinin düştüğü ve kompozit numunelerin gevrek kırılma davranışı gösterdiği bulgusunu desteklemektedir.

Bölüm 5

Sonuçlar ve Öneriler

Çekme testi sonuçlarına göre, tüm kompozit numuneler arasında en yüksek çekme dayanımı saf YYPE'ye kıyasla %7,61 oranında düşüş gösteren %5 kolemanit %5 üleksit hibrit mineral dolgulu kompozit numunede elde edilmiştir. En yüksek elastisite modülü ise saf YYPE'ye göre %47,21'lik artışla %30 üleksit minerali dolgulu kompozit numunede tespit edilmiştir.

Üç nokta eğilme testi sonuçlarına göre, tüm kompozit numuneler içerisinde en yüksek eğilme dayanımı saf YYPE'ye göre yaklaşık %7 artış ile %10 üleksit minerali dolgulu kompozit numunede elde edilmiştir. En yüksek eğilme modülü, %42,93 artış oranı ile %15 kolemanit %15 üleksit hibrit mineral dolgulu numunede görülmüştür.

DMA sonuçlarına göre, depolama modülleri tüm numuneler için sıcaklık arttıkça düştüğü gözlemlenmiştir. 35°C'de en yüksek depolama modülü, tüm numuneler içerisinde, %87,86 artış ile %30 kolemanit minerali dolgulu kompozit numunede elde edilmiştir. 135°C'de ise en yüksek depolama modülü, %15 kolemanit %15 üleksit hibrit mineral dolgulu kompozit numunede gözlemlenmiştir. Dolgu oranının artmasıyla beraber kayıp modüllerinin arttığı ve kolemanit minerali dolgulu kompozit numunelerin, üleksit minerali dolgulu kompozit numunelere göre daha yüksek kayıp modülüne sahip olduğu tespit edilmiştir. Buna bağlı olarak, en yüksek camsı geçiş sıcaklığı 61,55°C ile %15 kolemanit %15 üleksit hibrit mineral dolgulu numunede elde edilmiştir. Tan delta pik yüksekliklerine bakıldığında ise dolgu oranı arttıkça pik yüksekliklerinin de arttığı görülmüştür.

DSC sonuçlarına bakıldığında, tüm mineral dolgulu kompozit numunelerin erime sıcaklığında önemli bir değişim gözlemlenmemiştir. Mineral dolgu oranlarının artmasıyla beraber erime ve kristalizasyon entalpilerinde saf YYPE'ye göre ciddi bir

düşüş tespit edilmiştir. Kristalizasyon sıcaklıklarında ise tüm mineral dolgulu kompozit numunelerde saf YYPE'ye göre 1,5°C-3,5°C arasında değişen bir artış gözlemlenmiştir. Kristalinite derecelerinde, %10 kolemanit mineral dolgulu, %20 ve %30 üleksit minerali dolgulu kompozit numunelerde saf YYPE'ye göre bir artış görülmüştür.

TGA sonuçları incelendiğinde, YYPE ve mineral dolgulu kompozit numunelerin tek aşamada bozunduğu gözlemlenmiştir. Üleksit mineralinin kompozit numunelerin termal kararlılığını arttırdığı söylenebilir. Kolemanit mineralinin ise saf YYPE'nin termal kararlılığı üzerinde olumlu bir etkisinin olmadığı söylenebilir.

Bor minerallerinin dolgu olarak kullanılması, YYPE'nin mekanik ve termal özelliklerine etkisinin yanında, bu minerallerin kullanılmasının tedarik maliyetleri göz önünde bulundurulduğunda;

- Saf YYPE'nin maliyetine kıyasla, %10 kolemanit mineral dolgu kullanımı %8,12 oranında, %20 kolemanit mineral dolgu kullanımı %15,83 oranında, %30 kolemanit mineral dolgu kullanımı ise %23,95 oranında daha avantajlı olduğu hesaplanmıştır.
- Saf YYPE'nin maliyetine kıyasla, %10 üleksit mineral dolgu kullanımı %8,32 oranında, %20 üleksit mineral dolgu kullanımı %16,23 oranında, %30 üleksit mineral dolgu kullanımı ise %24,55 oranında daha avantajlı olduğu hesaplanmıştır.
- Saf YYPE'nin maliyetine kıyasla, %10 hibrit mineral dolgu kullanımı %8,22 oranında, %20 hibrit mineral dolgu kullanımı %16,03 oranında, %30 hibrit mineral dolgu kullanımı ise %24,25 oranında daha avantajlı olduğu hesaplanmıştır.

Bu çalışma sonuçlarına bakılarak, benzer karışım oranlarında, arayüzey arttırıcı ve çekirdeklendirici katkı maddeleri belirli oranlarda kullanılarak daha iyi mekanik ve termal sonuçlar elde edilebilir.

Üretim prosesi ve dolgu oranları optimize edilerek matris-partikül arasındaki arayüzey bağında iyileşmeler ve matris içerisinde daha homojen bir partikül dağılımı

sağlanabilir. Buna bağlı olarak mekanik ve termal performansın geliştirilmesi hedeflenebilir.

Daha dūřuk ortalama partikūl boyutuna sahip kolemanit ve ūleksit mineralleri kullanılarak mekanik ve termal özellikler geliřtirilebilir. Őzellikle partikūl boyutlarının deđiřkenliđi dūřürölerek daha iyi ve kararlı bir boyut dađılımını elde edilebilir, böylece matris-partikūl arasındaki yüzey alanı arttırılabilir.

Yeni matris malzemeleri ve endüstriyel bor mineralleri kombine edilerek ūlkemiz için önemi büyük bor mineralinin efektif ve yeni alanlarda kullanımını ağısından literatüre katkı sağlanabilir.

Kaynaklar

- [1] Mazumdar SK. Composites Manufacturing: Materials, Product and Process Engineering. CRC Press; 2002.
- [2] Al-Kubati A. Kompozit Malzemeler. ResearchGate 2019. DOI:10.13140/RG.2.2.15696.53768
- [3] Chawla KK. Composite Materials: Science and Engineering, 4th ed. Springer; 2019.
- [4] Baydar DG, Bekem A, Dođu M, Gemici Z, Ünal A. PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF CONTINUOUS E-GLASS FIBER REINFORCED POLYPROPYLENE COMPOSITES. Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi 2012; Sigma30: 120-132.
- [5] Şardan B. PLASTİK MATRİSLİ HİBRİT KOMPOZİTLERDE DOKU BİLEŞENLERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ (yüksek lisans tezi). İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi; 2009.
- [6] Şahin Y. KOMPOZİT MALZEMELERE GİRİŞ. Gazi Kitabevi; 2000.
- [7] Kaya Aİ. Kompozit Malzemeler ve Özellikleri. ResearchGate 2016.
- [8] Yıldızhan H. POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ (yüksek lisans tezi). Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi; 2008.
- [9] Akay M. An introduction to polymer-matrix composites, 1st ed. Bookboon; 2015.

- [10] Ersoy MS. LİF TAKVİYELİ POLİMERİK KOMPOZİT MALZEME TASARIMI (yüksek lisans tezi). Kahramanmaraş: Sütçü İmam Üniversitesi; 2005.
- [11] Sönmez M. POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN ENDÜSTRİ ÜRÜNLERİ TASARIMINDA ÖNEMİ VE GELECEĞİ: TÜRKİYE'DEN DÖRT ÖRNEK FİRMA ÜZERİNE BİR İNCELEME (yüksek lisans tezi). İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi; 2009.
- [12] Bodur MS. DOĞAL LİF TAKVİYELİ KOMPOZİTLERDE LİF / MATRİS ARA YÜZEY İYİLEŞTİRME ÇALIŞMALARI VE ÇEVRESEL KOŞULLARA GÖRE KARAKTERİZASYONU (doktora tezi). İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi; 2016.
- [13] Academia. General Introduction [İnternet]. California; 2022 [erişim tarihi 09.10.2022].
https://www.academia.edu/7487930/Module_1_General_Introduction_M1_General_Introduction.
- [14] Rajak DK, Pagar DD, Kumar R, Pruncu CI. Recent progress of reinforcement materials: A comprehensive overview of composite materials. *Journal of Materials Research and Technology* 2019; 8(6): 6354–6374. DOI: 10.1016/j.jmrt.2019.09.068
- [15] Ergin MF. YIĞIN KALIPLAMA BİLEŞİMİ İLE ELDE EDİLEN MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ (yüksek lisans tezi). İstanbul: İstanbul Üniversitesi; 2005.
- [16] Yanmaz L. EKSTRÜZYON ŞİŞİRME KALIPLAMA UYGULAMALARI İÇİN YÜKSEK YOĞUNLUKLU POLİETİLEN KOMPOZİT MALZEME GELİŞTİRİLMESİ VE KARAKTERİZASYONU (yüksek lisans tezi). İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi; 2016.
- [17] Yi XS (Ed.), Du S (Ed.), Zhang L (Ed.). *Composite Materials Engineering, Volume 1: Fundamentals of Composite Materials*. Springer; 2018.

- [18] Bulut Y, Erdoğan ÜH. SELÜLOZ ESASLI DOĞAL LİFLERİN KOMPOZİT ÜRETİMİNDE TAKVİYE MATERYALİ OLARAK KULLANIMI. The Journal of Textiles and Engineer 2011; 18(82): 26-35.
- [19] Murphy J. Additives for Plastics Handbook, 2nd ed. Elsevier; 2003.
- [20] Rothon RN (Ed.). Particulate-Filled Polymer Composites, 2nd ed. Rapra Technology Limited; 2014.
- [21] Özorak C. BOR ATIĞI KATKILI POLİMER KOMPOZİTLERİN AŞINMA VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ (yüksek lisans tezi). Afyon: Afyon Kocatepe Üniversitesi; 2014.
- [22] Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü. Türkiye’de Bor [İnternet]. Ankara; 2022 [erişim tarihi 10.11.2022]. <https://www.etimaden.gov.tr/turkiyede-bor>.
- [23] Sezgin B. BOR MİNERAL KATKILI POLİMERİK MALZEMELERİN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ (yüksek lisans tezi). Afyon: Afyon Kocatepe Üniversitesi; 2022.
- [24] Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü. Tinkal [İnternet]. Ankara; 2022 [erişim tarihi 11.11.2022]. <https://www.etimaden.gov.tr/tinkal>.
- [25] Öztürk M. BOR MİNERALİ ATIĞI KATKILI POLİPROPİLEN KOMPOZİT MALZEMELERİN MEKANİK VE TRİBOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ (yüksek lisans tezi). Sakarya: Sakarya Üniversitesi; 2018.
- [26] Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü. Kolemanit [İnternet]. Ankara; 2022 [erişim tarihi 11.11.2022]. <https://www.etimaden.gov.tr/kolemanit>.
- [27] Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü. Üleksit [İnternet]. Ankara; 2022 [erişim tarihi 11.11.2022]. <https://www.etimaden.gov.tr/uleksit>.
- [28] Dedeoğlu S. MAGNEZYUM ve KALSİYUM BORATLARIN SENTEZİ ve KONVEYÖR BANTLARDA YANMA GECİKTİRİCİ ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI (yüksek lisans tezi). Afyon: Afyon Kocatepe Üniversitesi; 2020.

- [29] Gökdemir B. ŞEKER PANCARI POSASININ BİYOKOMPOZİT ÜRETİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI (yüksek lisans tezi). İzmir: İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi; 2020.
- [30] Yılmaz M. HİBRİT ORGANİK-İNORGANİK DOLGULU POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN HAZIRLANMASI VE KARAKTERİZASYONU (yüksek lisans tezi). İzmir: İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi; 2019.
- [31] Dönmez Çavdar A, Boran S. Doğal Liflerin Otomotiv Sanayinde Kullanımı. Kastamonu Üni. Orman Fakültesi Dergisi 2016; 16(1): 253-263.
- [32] Akkaya E, Olgun ÖH, Çavdar U. Termoplastik Malzemelerin Kullanım Alanları ve Avantajları. IES'21: International Engineering Symposium; 2021 December 13-18; Izmir. 31-37.
- [33] Hsissou R, Seghiri R, Benzekri Z, Hilali M, Rafik M, Elharfi A. Polymer composite materials: A comprehensive review. Composite Structures 262 2021; 113640: 2-15. doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.113640.
- [34] Callister WD, Rethwisch DG. Materials Science and Engineering an Introduction, 8th ed. Wiley; 2009.
- [35] Kaw AK. Kompozit Malzeme Mekaniği, 1. baskı. Efil Yayınevi; 2014.
- [36] Saba N, Jawaid M. A review on thermomechanical properties of polymers and fibers reinforced polymer composites. Journal of Industrial and Engineering Chemistry 2018; 67: 1–11. doi.org/10.1016/j.jiec.2018.06.018.
- [37] Rothon RN. Mineral Fillers in Thermoplastics: Filler Manufacture and Characterisation, Advances in Polymer Science Vol.139. Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 1999.
- [38] Ismail H (Ed.), Sapuan SM (Ed.), Ilyas RA (Ed.). Mineral-Filled Polymer Composites, 1st ed. CRC Press; 2022.

- [39] Atilla D. DETERMINATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIALS REINFORCED BY MINERAL (yüksek lisans tezi). İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi; 2019.
- [40] Kılıç H. NANOPARTİKÜL TAKVİYELİ GERİ DÖNÜŞÜM PET (RPET) POLİMERİ ESASLI CİPS VE LİF FORMUNA SAHİP NANOKOMPOZİT ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU (yüksek lisans tezi). Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi; 2016.
- [41] Çankaya A. ÇİNKO BORAT VE KOLEMANİT KATKILI POLİPROPİLEN KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU (doktora tezi). Ankara: Gazi Üniversitesi; 2014.
- [42] Turan U. KOLEMANİT KATKILI POLİPROPİLEN MALZEMELERİN KIRILMA DAVRANIŞI (yüksek lisans tezi). Kocaeli: Kocaeli Üniversitesi; 2012.
- [43] Başar G, Buldum BB, SUGÖZÜ İ. Kolemanit ve Boraks Takviyeli Fren Balatalarının Sürtünme Performansı. El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2018; 5(2): 635-644. doi.org/10.31202/ecjse.395957.
- [44] Şahin T. Mechanical and Thermal Properties of Colemanite Filled Polypropylene. KGK Rubberpoint 2011; 64(9): 16-21.
- [45] Soykan U, Valiyeva F. THE EFFECT OF COLEMANITE ADDITION ON THE MICROSTRUCTURAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF IPP. Eskişehir Technical University Journal of Science and Technology 2020; Vol. 21: 28–39. doi.org/10.18038/estubtda.818451.
- [46] Yücel E. MİKROPARTİKÜL TANELİ KOLEMANİT BOR MADDESİNİN POLİPROPİLEN MALZEMESİNİN TERMAL ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ (yüksek lisans tezi). Kocaeli: Kocaeli Üniversitesi; 2012.
- [47] Altay L, Seki Y, Uysalman T, Sevig Tantug G, Isbilir A, Sarikanat M. Effect of Ulexite on Mechanical, Thermal, and Flame Properties of Halogen-Free Fire Retardant Polypropylene. Acta Physica Polonica 2019; Vol. 135, No. 5: 1143-1146.

- [48] Soykan U. Role of boron mineral size on thermal, microstructural and mechanical characteristic of IPP. *Sakarya University Journal of Science* 2020; 24(1): 205-219. DOI: 10.16984/saufenbilder.629629.
- [49] Guzel G, Sivrikaya O, Deveci H. The use of colemanite and ulexite as novel fillers in epoxy composites: Influences on thermal and physico-mechanical properties. *Composites Part B* 100 2016: 1-9.
- [50] Petkim Petrokimya Holding A.Ş. Ürün Kataloğu [İnternet]. İzmir; 2022 [erişim tarihi 12.11.2022].
https://www.petkim.com.tr/UserFiles/file/uretim/urun_katalogu.pdf.
- [51] İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarları. Parçacık Boyut Analizi [İnternet]. İzmir; 2022 [erişim tarihi 16.11.2022].
<https://merkeziarastirmalab.ikcu.edu.tr/S/15403/master-sizer-parcacik-boyut-analiz-cihazı>.
- [52] Kaya N, Atagur M, Akyuz O, Seki Y, Sarikanat M, Sutcu M, ve diğ. Fabrication and characterization of olive pomace filled PP composites. *Composites Part B* 150 2018: 277-283. doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.08.017.
- [53] Shumigin D, Tarasova E, Krumme A, Meier P. Rheological and Mechanical Properties of Poly(lactic) Acid/Cellulose and LDPE/Cellulose Composites. *MATERIALS SCIENCE (MEDŽIAGOTYRA)* 2011; Vol. 17, No. 1: 32-37.
- [54] Chowdhury H, Rahman MM, Uddin MT, Rahman MM. Improvement of mechanical properties of polypropylene composite using filler, modifier and reinforcement. *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series* 1086 2018; 1-7. doi:10.1088/1742-6596/1086/1/012003.
- [55] Leong YW, Ishak ZAM, Ariffin A. Mechanical and Thermal Properties of Talc and Calcium Carbonate Filled Polypropylene Hybrid Composites. *Journal of Applied Polymer Science* 2004; Vol. 91: 3327–3336.
- [56] Li L, Khan M, Bai C, Shi K. Uniaxial Tensile Behavior, Flexural Properties, Empirical Calculation and Microstructure of Multi-Scale Fiber Reinforced

- Cement-Based Material at Elevated Temperature. *Materials* 2021; 14, 1827: 1-15. doi.org/10.3390/ma14081827.
- [57] Nwosu MC, Onyechi PC, Asiegbu KO, Igwegbe CA. EFFECT OF PARTICLE SIZE ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF PERIWINKLE SHELL REINFORCED POLYESTER COMPOSITE (PRPC). *International Journal of Scientific & Engineering Research* 2015; Vol. 6, Issue 3: 1064-1096.
- [58] The California State University. Modulus, Temperature, Time [Internet]. A.B.D; 2022 [erişim tarihi 21.12.2022]. [https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Organic_Chemistry/Book%3A_Polymer_Chemistry_\(Schaller\)/04%3A_Polymer_Properties/4.09%3A_Modulus_Temperature_Time](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Organic_Chemistry/Book%3A_Polymer_Chemistry_(Schaller)/04%3A_Polymer_Properties/4.09%3A_Modulus_Temperature_Time).
- [59] Bashir MA. Use of Dynamic Mechanical Analysis (DMA) for Characterizing Interfacial Interactions in Filled Polymers. *Solids* 2021; 2: 108–120. doi.org/10.3390/solids2010006.
- [60] Alzarrug FA, Dimitrijević MM, Jančić Heinemann RM, Radojević V, Stojanović DB, Uskoković PS, ve diğ. The use of different alumina fillers for improvement of the mechanical properties of hybrid PMMA composites. *Materials and Design* 86 2015: 575–581. doi.org/10.1016/j.matdes.2015.07.069.
- [61] Sung G, Kim JH. Influence of filler surface characteristics on morphological, physical, acoustic properties of polyurethane composite foams filled with inorganic fillers. *Composites Science and Technology* 2017: 1-20. doi.org/10.1016/j.compscitech.2017.04.029.
- [62] Kim D, Chung I, Kim G. Study on Mechanical and Thermal Properties of Fiber-Reinforced Epoxy/Hybrid-silica Composite. *Fibers and Polymers* 2013; Vol.14, No.12: 2141-2147. doi.org/10.1007/s12221-013-2141-9.
- [63] Rajkumar K, Nambiraj KM, Ramraji K, Khan BSH. Influence of silicon filler size and concentration on thermal stability and erosion wear resistance of polymer composite. *Silicon* 2022. doi.org/10.1007/s12633-022-01711-w.

- [64] Vaggar GB, Sirimani VB, Sataraddi DP, Hiremath NM, Bhajantri F. Effect of Filler Materials on Thermal Properties of Polymer Composite Materials: A Review 2021; Vol. 10, Issue 08: 1-5.
- [65] Chrissafis K, Bikiaris D. Can nanoparticles really enhance thermal stability of polymers? Part I: An overview on thermal decomposition of addition polymers. *Thermochim Acta* 2011; 523: 1–24. doi.org/10.1016/j.tca.2011.06.010.
- [66] Deepthi MV, Sharma M, Sailaja RRN, Anantha P, Sampathkumaran P, Seetharamu S. Mechanical and thermal characteristics of high density polyethylene-fly ash Cenospheres composites. *Materials and Design* 31 2009: 2051–2060. doi.org/10.1016/j.matdes.2009.10.014.
- [67] Kaymakci A, Gulec T, Hosseinihashemi SK, Ayrilmis N. Physical, Mechanical and Thermal Properties of Wood/Zeolite/Plastic Hybrid Composites. *Maderas. Ciencia y tecnología* 2017; 19(3): 339-348. doi.org/10.4067/S0718-221X2017005000029.
- [68] Chen X, Yu J, Guo S. Structure and Properties of Polypropylene Composites Filled with Magnesium Hydroxide. *Journal of Applied Polymer Science* 2006; Vol. 102: 4943–4951. DOI: 10.1002/app.24938.

Ekler

Ek A

Tezden Üretilmiş Yayınlar

Konferans Bildirileri

1. “Bor Minerali Dolgulu Termoplastik Matrisli Kompozit Malzemelerin Mekanik ve Termal Özelliklerinin İncelenmesi”. 2. Uluslararası Malzeme Mühendisliği ve İleri İmalat Teknolojileri Kongresi (IMEAMTC'23). 12-13 Ocak 2023 / İstanbul – Türkiye.

Ek B

Dış Cilt Kapağı

T.C.

İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Bor Minerali Dolgulu Termoplastik Matrisli Kompozit Malzemelerin Mekanik ve Termal Özelliklerinin İncelenmesi

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans

Tevfik İzer GÜNGÖR

ORCID 0000-0002-5083-0999

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Kutlay SEVER

Mayıs 2023

Özgeçmiş

Adı Soyadı: Tevfik İzer Güngör

Eğitim:

2013–2017 Bursa Uludağ Üniversitesi, Otomotiv Müh. Bölümü

2020–2023 İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Makine Müh. Bölümü

İş Deneyimi:

2018 – 2023 ZF Lemförder Aks Modülleri Sanayi ve Ticaret A.Ş.

Yayımlar

1. “Bor Minerali Dolgulu Termoplastik Matrisli Kompozit Malzemelerin Mekanik ve Termal Özelliklerinin İncelenmesi”. 2. Uluslararası Malzeme Mühendisliği ve İleri İmalat Teknolojileri Kongresi (IMEAMTC'23). 12-13 Ocak 2023 / İstanbul – Türkiye.