



**BOR MİNERAL KATKILI POLİMERİK
MALZEMELERİN FİZİKSEL VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Burak SEZGİN

**Danışman
Atilla EVCİN**

**NANOBİLİM VE NANOTEKNOLOJİ
ANABİLİM DALI**

Şubat 2022

Bu tez çalışması 20.FEN. BİL.20 numaralı proje ile AKÜ-BAPK tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BOR MİNERAL KATKILI POLİMERİK MALZEMELERİN
FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Burak SEZGİN

Danışman

Prof. Dr. Atilla EVCİN

NANOBİLİM VE NANOTEKNOLOJİ ANABİLİM DALI

ŞUBAT 2022

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BOR MİNERAL KATKILI POLİMERİK MALZEMELERİN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Burak SEZGİN

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Nanobilim ve Nanoteknoloji Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Atilla EVCİN

Bu tez çalışmasında, bor mineralleri katkılı polimer kompozitlerin mekanik ve fiziksel özellikleri incelenmiştir. Matriks malzeme olarak polyester reçine kullanılmış olup takviye elemanı olarak da 100 µm boyutunda kolemanit, üleksit ve tinkal olmak üzere bor mineralleri kullanılmıştır. Ağırlıkça farklı miktarlarda (0-5-10-15-20 gr) kolemanit, üleksit ve tinkal mineralleri, polyester reçine ile karıştırılarak kalıplara dökülmüştür ve oda sıcaklığında 1 gün bekletildikten sonra kalıptan çıkarılmıştır. Sonrasında numunelere fiziksel ve mekanik testler yapıp sonuçları incelenmiştir.

2022, ix + 39 sayfa

Anahtar Kelimeler: Kompozit, Bor Mineralleri, Polimer

ABSTRACT

M.Sc Thesis

INVESTIGATION OF THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF BORON MINERAL ADDED POLYMERIC MATERIALS

Burak SEZGİN

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Nanoscience and Nanotechnology

Supervisor: Prof. Atilla EVCİN

In this thesis, the mechanical and physical properties of boron added polymer composites were investigated. Polyester resin was used as the matrix material, and boron minerals such as colemanite, ulexite and tincal in 100 µm size were used as reinforcement elements. Colemanite, ulexite and tincal minerals in different amounts by weight (0-5-10-15-20 gr) were mixed with polyester resin and poured into molds and were removed from the mold after 1 day at room temperature. Afterwards, physical and mechanical tests were performed on the samples and the results were examined.

2022, ix + 39 pages

Keywords: Composite, Boron minerals, Polymer.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Atilla EVCİN, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen Sayın Prof. Dr. İbrahim GÜNEŞ'e her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Burak SEZGİN
Afyonkarahisar 2022

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
RESİMLER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	2
2.1 Kompozit Malzemeler	2
2.1.1 Kompozit Malzemelerin Matris Türüne Göre Sınıflandırılması.....	3
2.1.1.1 Seramik Matrisli Kompozitler.....	4
2.1.1.2 Metal Matrisli Kompozitler.....	4
2.1.1.3 Polimer Matrisli Kompozitler	5
2.2 Bor ve Bor Mineralleri.....	5
2.2.1 Bor Mineralleri.....	6
2.2.1.1 Kolemanit	7
2.2.1.2 Üleksit	7
2.2.1.3 Tinkal.....	7
2.2.2 Dünyada ve Türkiye’de Bor.....	8
2.2.3 Bor Mineralinin Kullanım Alanları.....	9
3. MATERYAL ve METOT	11
3.1 Kullanılan Malzemeler	11
3.2 Kompozitlerin Üretimi.....	12
3.2.1 Malzemelerin Hazırlanması	13
3.2.2 Öğütme ve Eleme	13
3.2.3 Karışım Oranları ve Karışımların Hazırlanması	14
3.2.4 Karışımların Kalıba Dökülmesi	15
3.3 Kompozitlerin Karakterizasyonu	17
3.3.1 Mekanik Özellikler.....	17
3.3.1.1 Sertlik Deneyi.....	17

3.3.1.2 Çekme Dayanımı	17
3.3.2 Fiziksel Özellikler	19
3.3.2.1 Su Emme ve Gözeneklilik	19
3.3.2.2 Yoğunluk	22
3.3.2.3 Temas Açısı	23
4. BULGULAR	25
4.1 Mekanik Özellikler	25
4.1.1 Sertlik Ölçüm Değerleri	25
4.1.2 Çekme Dayanımı Sonuçları	26
4.2 Fiziksel Özellikler	29
4.2.1 Su Emme ve Gözeneklilik Sonuçları	29
4.2.2 Bulk Yoğunluk Sonuçları	31
4.2.2 Temas Açısı Sonuçları	32
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	34
6. KAYNAKLAR	36
ÖZGEÇMİŞ	39

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Pa	Paskal
Kg	Kilogram
Cm ³	Santimetreküp
°C	Santigrat derece
µm	Mikrometre

Kısaltmalar

OPK	Odun Polimer Kompozit
-----	-----------------------



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Kompozit malzemelerdeki matris ve takviye elemanları.....	2
Şekil 2.2 Matrislerine göre kompozit malzemelerin kategorilenmesi.....	3
Şekil 2.3 Polimer matrisli kompozit örnekleri	5
Şekil 2.4 Dünya bor rezervleri dağılımı.....	8
Şekil 4.1 Kolemanit katkılı kompozit numunelerin çekme grafiği	27
Şekil 4.2 Üleksit katkılı kompozit numunelerin çekme grafiği	28
Şekil 4.3 Tinkal katkılı kompozit numunelerin çekme grafiği.....	29
Şekil 4.4 Kompozit numunelerin katkılarına göre su emme grafiği	30
Şekil 4.5 Kompozit numunelerin katkılarına göre görünür gözeneklilik grafiği	31
Şekil 4.6 Kompozit numunelerin katkılarına göre yoğunluk grafiği.....	32
Şekil 4.7 Kompozit numunelerin temas açısı değerleri.....	33
Şekil 4.8 Kompozit numunelerin temas açısı görselleri.....	33

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Bor minerallerinin kullanıldığı alanlar	9
Çizelge 3.1 Kolemanit kullanılarak hazırlanan reçeteler	14
Çizelge 3.2 Üleksit kullanılarak hazırlanan reçeteler.....	14
Çizelge 3.3 Tinkal kullanılarak hazırlanan reçeteler.....	14
Çizelge 4.1 Kolemanit katkılı kompozit numunelerin sertlik değerleri	25
Çizelge 4.2 Üleksit katkılı kompozit numunelerin sertlik değerleri	25
Çizelge 4.3 Tinkal katkılı kompozit numunelerin sertlik değerleri.....	26



RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 3.1 Çalışmalarda kullanılmış polyester reçine	11
Resim 3.2 Çalışmalarda kullanılmış kolemanit ve üleksit tozları.....	12
Resim 3.3 Bilyalı jet değirmen.....	13
Resim 3.4 Karışımların kalıba dökülmesi.....	15
Resim 3.5 Kalıptan çıkarılan numuneler.....	16
Resim 3.6 Çekme testi için kaşık kalıplara döküm	16
Resim 3.7 Kurşun kalem sertlik seti	17
Resim 3.8 Çekme deney cihazı	18
Resim 3.9 Su emme testine bırakılmış numuneler.....	20
Resim 3.10 Hassas terazi.....	21
Resim 3.11 Yoğunluk ölçme cihazı	23
Resim 3.12 Temas açısı cihazı	24

1. GİRİŞ

Günümüzde teknolojinin ilerlemesi ile birlikte insanların ihtiyaçları doğru oranda artmıştır. Bu nedenle uzay, savunma ve yapı sektörü gibi farklı alanlarda büyük ilerlemeler yapılmıştır. Sürekli olarak yeni ve kaliteli malzemelere ihtiyaç artmaktadır. Yeni gelişmelere uyum sağlamak amacıyla, çeşitli alanlarda kullanılmak üzere malzemelerin üstün özellikleri bir araya getirilerek daha iyi malzemeler üretme eğilimi artmıştır. Bu nedenle metal, plastik ve seramik gibi geleneksel malzemeler yerini kompozitlere bırakmaya başlamıştır (Avcı 2020). Kompozit malzeme; Fiziksel, kimyasal ve mekanik olarak birbirlerinden farklı özellikler bulunduran iki veya daha çok malzemenin birleştirilmesiyle oluşturulmuş yeni ve bu malzemelerin kendi hallerinden daha iyi özellikler bulundurur hale gelmiş malzeme olarak isimlendirilebilir. Kompozitler artık otomotiv endüstrisi, havacılık, savunma, gıda, tekstil endüstrisi gibi çok fazla yönde yaygın bir şekilde tercih edilmektedirler (Asi 2018).

Kompozit malzemeler kullanım alanlarına göre farklılıklar gösterse de genel olarak dayanıklılık, korozyon direnci, hafiflik, aşınma direnci, yüksek termal ve ısı iletkenlik gibi birçok özelliği tek bir malzemedede elde edecek şekilde geliştirilmektedir (Asi 2018).

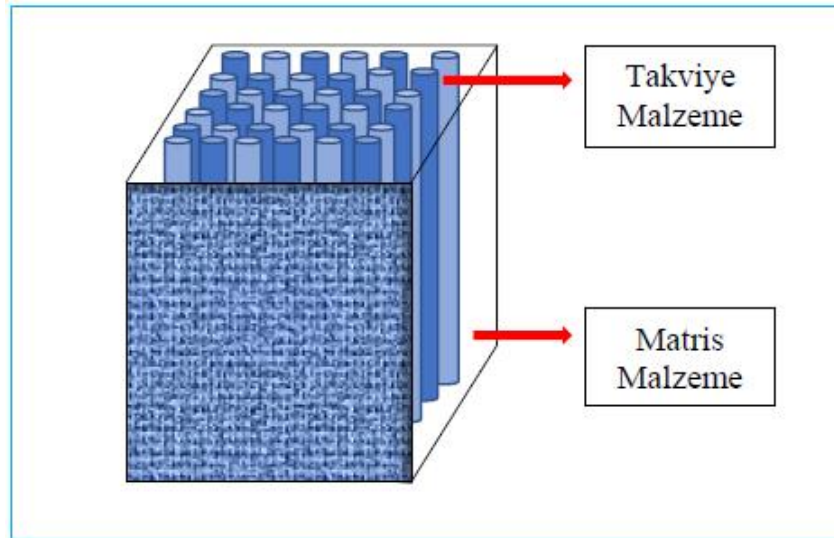
Bu tez çalışmasında Polyester Reçine'ye katkısız, 5 gram, 10 gram, 15 gram, 20 gram şeklinde farklı miktarlarda Kulemanit, Üleksit ve Tinkal olmak üzere Bor Mineralleri eklenerek kompozit malzeme oluşturulmuş ve sonrasında fiziksel, mekanik özellikleri incelenmiştir.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler karakteristik olarak makro veya nano ölçeklerde bir araya getirilen iki ya da ikiden çok çeşitli malzemelerden oluşmaktadırlar. Bu teknoloji son 20-30 yılda gelişim göstermiştir, fakat bu malzemeler çok eskilerden bu yana kullanılmaktadır. Örnek olarak ilk kompozitler arasında yer alan kerpiç evler saman ve çamurdan oluşmaktadır (Gibson 2011, Kaw 2006, Mallick 2008).

Kompozit malzemeler çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Günümüzde kompozit malzemeler savunma sanayii, havacılık uygulamalarında, spor malzemeleri üretiminde, denizcilik uygulamalarında ve altyapılarda kullanılmaktadır. Kompozit malzemelerin yaygın kullanımı, metal gibi diğer malzemelere göre yüksek modül, yüksek mukavemet/ağırlık oranı, düşük yoğunluk ve sertlik gibi özelliklerinden dolayıdır (Gibson 2011, Kaw 2006, Mallick 2008). Şekil 2.1’de kompozit malzemelerdeki matris ve takviye elemanları gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Kompozit malzemelerdeki matris ve takviye elemanları.

- Matris malzemeler

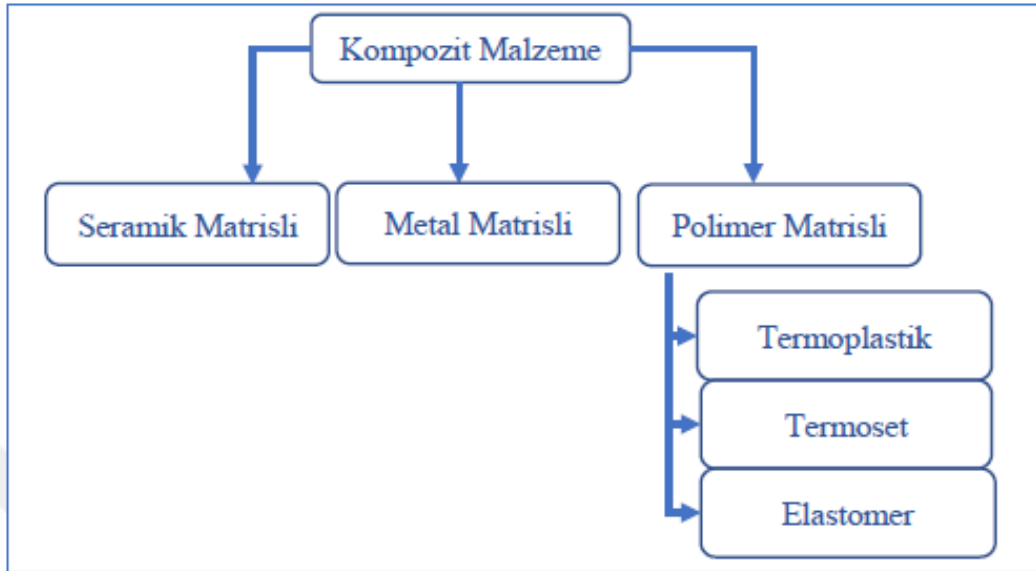
Matris, kompozitlerde takviye elemanlarının birlikte bulunmasını sağlayan malzemedir. Kompozitler matrislerinin tipine göre 3 ana sınıfa ayrılır: polimer, metal ve seramik matris malzemeler (Avcı 2020).

- Takviye malzemeler

Genel olarak güçlendirme malzemeleri taşıyıcı görevi gören malzemelerdir. Kompozit malzemeler, takviye tipine göre tanecikli, sürekli lifli ve süreksiz lifli olarak sınıflandırılır. Lif takviyeleri doğal, sentetik ve inorganik olarak sınıflandırılır (Avcı 2020).

2.1.1 Kompozit Malzemelerin Matris Türüne Göre Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler bulundurduğu matrislere göre üç sınıfta kategorilendirilirler. Şekil 2.2’de matrislerine göre kompozit malzemelerin kategorilenmesi gösterilmektedir. Matris olarak polimer kullanılmış kompozitler, kompozit malzemeler içinde en çok tercih edilen türlerindendir. (Asi 2018)



Şekil 2.2 Matrislerine göre kompozit malzemelerin kategorilenmesi.

2.1.1.1 Seramik Matrisli Kompozitler

Seramik kompozitler, karbon fiber veya silisyum karbür ile güçlendirilmiş bir temel malzeme olarak Al_2O_3 gibi seramik malzemelerden oluşur. Bu tür kompozit malzemelerin örnekleri, silikon karbür (SiC) takviyeli silikon nitrür (Si_3Ni_4) ve karbon fiber takviyeli cam kompozittir (Muhidin 2021).

Seramik matrisli kompozitler, yüksek dayanıklılık, ısı direnç, sertlik ve yüksek sıcaklıklarda yüksek oksidasyon direnci ile karakterize edilir. Mekanik özelliklerinden dolayı uçak türbinlerinin imalatı gibi birçok endüstride kullanılmaktadırlar (Muhidin 2021).

2.1.1.2 Metal Matrisli Kompozitler

Metalik kompozitler, fiber takviyeli temel malzeme olarak metalden oluşur. Metal örnekleri alüminyum, magnezyum ve titanyumdur. Fiber örnekleri, karbon fiberler ve silisyum karbür fiberlerdir. Bu malzemeler, tasarım ihtiyaçlarına göre mekanik özellikleri iyileştirmek için fiber ile güçlendirilmiştir. Bu mekanik özelliklere bir örnek, fiberin eklenmesiyle ve silikon karbür gibi fiberlerin eklenmesiyle artırılabilen metalin esnekliği, kablo demeti ve gücüdür, metalin termal genleşme katsayısı ve elektriksel ve termal iletkenliği, azaltılabilir. Metal kompozit malzemeler, yüksek sıcaklık direnci, neme duyarlılık, en fazla elektriksel iletkenliği ayrıca termal iletken olmalarıyla bilinirler. (Muhidin 2021).

Metal matrisli kompozitler, metal maddelerin ana malzeme olarak tercih edildiği uçak endüstrisi ve otomotiv endüstrisinde yararlanılan kompozitlerdir ve genellikle ikincil eleman olarak seramikler kullanılmaktadır (Deniz 2005). Metalik matrisli kompozit malzemelerin tercih edilme nedenleri aşınmaya dayanıklılık, yüksek sıcaklık direnci, hafiflik, ısı iletkenlik, spesifik sertlik ve yüksek mukavemetin gerekli olduğu durumlardır (Chung 2010). Ancak maliyetleri yüksek oldukları için fazla tercih edilmemektedirler (Bakkal 2011).

2.1.1.3 Polimer Matrisli Kompozitler

Polimer matrisli kompozitlerin avantajlarının fazla olmasından dolayı teknolojik ve akademik açıdan üzerine düşülen bir alan halini almıştır. Hafif olmaları, yüksek özgül mukavemetleri, kimyasal inertlikleri, kolay işlenebilmeleri ve kolay geri dönüştürülebilmeleri nedeniyle bu malzemelerin kullanımı zamanla artmıştır. Polimerlerin üretimlerinde yüksek sıcaklıklara ve basınca ihtiyaç duyulmaz. Bu nedenle karmaşık şekillere sahip ürünlerin üretilmesi zor değildir. Düşük sıcaklıklar sayesinde takviye elemanlarının yapılarında herhangi bir değişim meydana gelmez ve polimer matrisli kompozitlerin elde edilmeleri için ihtiyaç duyulan ekipmanlar basittir (Atagür 2016). Polimerlerdeki farklı zincir bağ desenleri nedeniyle termoset, termoplastik ve elastomerlere ayrılırlar. (Tutar 2018). Şekil 2.3’de bazı polimer matrisli kompozit örnekleri yer almaktadır.



Şekil 2.3 Polimer matrisli kompozit örnekleri.

2.2 Bor ve Bor Mineralleri

Bor, periyodik tabloda "B" sembolüne sahiptir. Atom numarası 5'tir ve atom kütlesi 10,81'dir. Özkütlesi $2,84 \text{ gr/cm}^3$, erimesi $2.200 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de gerçekleşir ve kaynaması ise $2.250 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de gerçekleşmektedir. Ayrıca bor metal-metalik yarı iletken bir malzemedir. Periyodik tabloda 3A grubunda ilk, aynı zamanda en hafif olan üyedir. Temel durum elektron konfigürasyonu $1s^2 2s^2 2p^1$ 'dir. En kararlı izotopları 10B ve 11B'dir. Bu izotopların doğal oluşum oranları sırasıyla %19,1-20,3 ve %79,7-80,9'dur. (İnt. Kyn. 1)

Bor madeni görünüş olarak beyaz bir kayaya benzemektedir. Çok sert ve ısıya dayanıklıdır ve diğer elementlere olan yüksek kimyasal afinitesi nedeniyle doğada

serbest element olarak bulunmayıp mineraller halinde bulunmaktadır. Tabiatta takribi olarak 230 tür bor içeren mineral bulunmaktadır. “O” elementi ile bağlanma eğiliminden dolayı birçok bor-oksijen bileşiği vardır.

Bor’un farklı metal ve ametal elementlerle bileşiklerinin spesifik özellikleri nedeniyle birçok farklı endüstriyel alanlarda kullanılmaktadır. Endüstriyel olarak önemi bulunan borlu bileşikler arasında datolit, kolemanit (kalsiyum içeren), üleksit (sodyum-kalsiyum içeren), probertit, szyabelit, tinkal ana gruplandırması altında yer almaktadır. Tabiattaki bor madenlerinin değerli olup olmadığı genel olarak içerisinde bulundurduğu boroksit miktarı ile ölçülür ve yüksek boroksit içerenler daha değerli olarak kabul edilmektedir. (İnt. Kyn. 2).

Dünyadaki en önemli bor yatakları Amerika, Türkiye ve Rusya’da bulunmaktadır. Türkiye, ham bor cevheri ihracatının yanı sıra rafine bor ürünleri ihracatına da odaklanmaktadır. Türkiye’deki borat yatakları Eskişehir Kırka, Balıkesir Bigadiç, Bursa Kestelek ve Kütahya Emet’te yer almaktadır. Yüksek öneme sahip ham bor içeren mineraller ise kolemanit, üleksit v tinkaldir. Ayrıca; Borik asit, per boratlar, penta hidratlar gibi rafine bor elemanları da üretilmekte ve ticari olarak değerlendirilmektedirler. Türkiye’de değerli tinkal rezervleri Kırka’da, önemli kolemanit rezervleri ise Bigadiç ve Emet dolaylarında yer almaktadır. Ve üleksit Bigadiç’te bulunmaktadır. (İnt. Kyn. 3).

2.2.1 Bor Mineralleri

Tabiatta B_2O_3 içeren ikiyüzden fazla mineral vardır. Bor mineralleri, B_2O_3 ve H_2O içeriğine ve kristal yapılarına göre, alkali veya toprak alkali olmalarına göre farklı şekillerde isimlendirilmektedir. Bu minerallerden sadece bazıları ticari öneme sahiptir. Bunlar; tinkal, sasolit, pandermi, howlite, kernit’tir. Aslında sanayide tercih edilen boratların çok büyük bir kısmını üç mineral oluşturmaktadır. Bu üç mineral; tinkal, sodyum ve üleksit ve kolemanittir (Kister ve Helvacı 1994).

Sanayide tercih edilen bor ürünleri, üretim süreçleri, kullanıldığı sektörler dikkate

alındığında; Ham bor, konsantrasyonu yüksek bor, rafine edilmiş bor, spesifik bor şeklinde dört gruba ayrılabilir. Bor maden yataklarından ekstraksiyonu ile elde edilen ve zenginleştirme ve sınıflandırma gibi işlemlere sokulmamış ham bor, bor oksit oranı artırılarak doğrudan veya dolaylı olarak kullanılır hale gelir. Konsantre bor uygun yapıya sahip ham veya konsantrasyonu yüksek bor cevherinin kalsinasyon ile yabancı minerallerin ve yapıdaki suyun uzaklaştırılması ile üretilir (Helvacı 2005, Hawthorne vd. 1996).

2.2.1.1 Kolemanit

Mineral olarak yüksek değerinde bor çeşidi olarak bilinen kolemanit; Monoklinik kristal yapıda bulunur. Sertlik değeri Mohs sınıflandırmasına göre 4-4,5, yoğunluğu ise 2.42 gr/cm³tür. En fazla bulunan bor mineralidir. Cevher olarak büyük, parlak, şeffaf kristaller olarak bulunmaktadır. Saf Kolemanit su içerisinde yavaş, hidroklorik asitte hızlı çözünmektedir. Ülkemizde Kütahya-Emet, Balıkesir-Bigadiç ve Bursa-Kestelek yataklarında, dünyada ise Amerika'da bulunmaktadır (İnt. Kyn. 5).

2.2.1.2 Üleksit

Üleksit; Masif, karnabahar, lifli, külâh, rozet, pamuk top ve çubuk görünümü ile doğada bulunur. Boroksit oranı %43.0'tür. Sertlik değeri Mohs'a göre 2,5, yoğunluğu 1,95-2 gr/cm³tür. Emet'teki bor yataklarında üç değişik seviyede bulunan üleksit, bu rezervlerde kolemanit ve hidroborasit ile beraber yer almaktadır. Kırka'daki borat yataklarında boraks, kolemanit ve iniyonit ile yanyana bulunur. Bu mineral Türkiye'den farklı olarak Arjantin'de de bulunur (İnt. Kyn. 5).

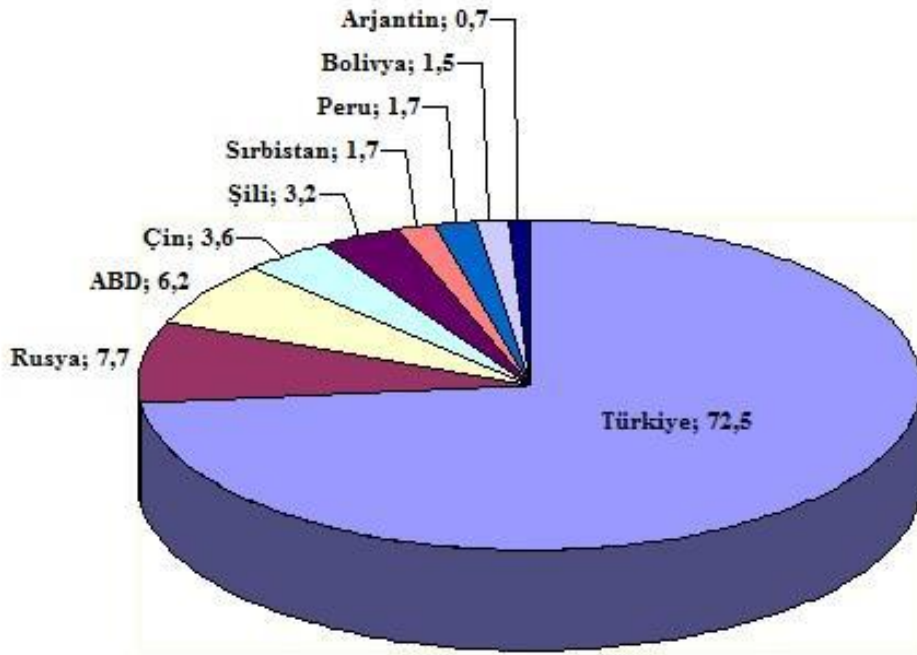
2.2.1.3 Tinkal

Tinkale renksiz ve şeffaf olmasına rağmen bileşimindeki birçok safsızlıklardan dolayı pembe, sarımsı, gri renklerde rastlanabilir. Boroksit oranı %36.5'tir. Sertlik değeri Mohs'a göre 2-2,5, yoğunluğu ise 1,7 gr/ cm³tür. Tinkal hızla ayrışır ve suyunu yapısından atarak tinkalkonite dönüşür. Yataklarda kil ile beraber şekilde tinkalkonit ve

üleksit ile birlikte bulunmaktadır. Türkiye'de Eskişehir-Kırka yatağında yer almaktadır (İnt. Kyn. 5).

2.2.2 Dünyada ve Türkiye’de Bor

Türkiye, ABD ve Rusya dünyanın en yüksek yüzdeye sahip bor rezervlerine sahiptir. Özellikle ülkemiz, dünya bor rezervlerinin %73'üne sahip olması nedeniyle stratejik olarak çok önemli bir bölgededir. Dünya bor üretiminin takribi olarak yüzde yetmişini karşılayan bor üretiminde EtiMaden ve RioTinto en önemli iki işletmedir (İnt.Kyn.6). Aşağıda Şekil 2.4’de Dünya’daki bor rezervlerinin ülkelere göre dağılımı 2012 verileri gösterilmiştir (İnt.Kyn.7).



Şekil 2.4 Dünya’daki bor rezervlerinin ülkelere göre dağılımı.

Rafine bor ürünlerinin en önemli kullanım alanları olarak cam endüstrisi, temizlik endüstrisi, seramik endüstrisi, yangın geciktiriciler, tarım endüstrisi, metal endüstrisi, ilaç ve kozmetik endüstrisi, elektronik ve bilgisayar endüstri dalları gösterilebilir (Koçak 2010).

2.2.3 Bor Mineralinin Kullanım Alanları

Oldukça geniş ve birçok alanda ticari şekilde kullanımı olan bor mineralleri ve bunlardan elde edilen ürünlerin kullanıldığı alanlar gitgide genişlemektedir. Bor mineralinin kullanım alanları Çizelge 2.1.'de verilmiştir (Evcin 2010).

Çizelge 2.1 Bor mineralinin kullanım alanları

Sanayi	Örnek
Cam Sanayii	Borosilikat camları, izole cam elyafı düz camlar
Seramik Sanayii	Emaye ve sır porselen boyaları
Nükleer Sanayii	Reaktör kontrol çubukları, nükleer atık depolayıcı
Uzay ve Havacılık Sanayii	Sürtünmeye-aşınmaya ve ısıya dayanıklı malzemeler
Askeri ve Zırhlı Araçlar	Zırh plakalar
Elektronik-Elektrik Sanayiinde	Elektrik kondansatörleri, yarı iletkenler
İletişim Araçlarında	Cep telefonları, modemler, televizyonlar
İnşaat Çimento Sektöründe	Mukavemet artırıcı ve yalıtım amaçlı olarak
Metalürji	Paslanmaz ve alaşımlı çelik, lehimleme
Enerji Sektörü	Güneş enerjisinin depolanması, güneş pilleri
Otomobil Sanayii	Hava yastıklarında, hidroliklerde, plastik aksamda
İlaç ve Kozmetik Sanayii	Dezenfekte ediciler, antiseptikler, diş macunları
Tıp	Alerjik hastalıklarda, psikiyatride
Kimya Sanayii	Kimyasalların indirgenmesi, elektrolitik işlemler
Temizleme ve Beyazlatma Sanayii	Toz deterjanlar, toz beyazlatıcılar, parlaticılar
Tarım Sektörü	Gübreler böcek-bitki öldürücüler
Kauçuk ve Plastik Sanayii	Naylon, plastik malzemeler
Koruyucu	Boya ve vernik kurutucularında
Patlayıcı Maddeler	Fişek
Diğer Kullanım Alanları	Fotoğrafçılık, zımpara ve aşındırıcılar, yapıştırıcılar, spor malzemeleri, mumyalama, manyetik cihazlar, kompozit malzemeler

Teknolojinin genişlemesiyle bor kullanımı ve bora olan ihtiyaç gitgide artmakta, bu nedenle borunun stratejik mineral özelliği giderek daha fazla ortaya çıkmaktadır. Dünyada çıkarılan bor minerallerinin takribi olarak yüzde onu direkt mineral olarak, arta kalan kısım ise rafine ürünlerin üretimi amacıyla değerlendirilmektedir (Uzun 2002).

Amerika, Avrupa ve Uzak Doğu'da bor mineralleri tüketim miktarları farklıdır. ABD'de en yüksek tüketim fiberglass yalıtım sektöründedir. Batı Avrupa'da sabun ve deterjan

sektörü bor tüketiminde önde gitmektedir. Japonya'da en büyük bor tüketimi tekstil ve cam elyafı endüstrisindedir (Evcin 2010).

Tanrıkulu ve ekibi (2017) yapmış olduğu çalışmasında bor mineralleri katkılı PE (polietilen) ve PÜ (poliüretan) kompozitlerinin mekanik özellikleri ile termal özelliklerini araştırmışlardır. Farklı oranlarda kolemanit ve üleksit katkısıyla poliüretan ve polietilen kompozitlerini ekstrüder ve enjeksiyon kalıplama ile elde etmişlerdir. Üretilen numunelere çekme dayanım deneyleri ve darbe dayanım deneyleri yapmışlardır.

Terzi (2015) yapmış olduğu çalışmasında bor minerallerinin ve yangın önleyicilerin masif ahşap ve ahşap polimer kompozitlerde (APK) yangın geciktiricilikte etkinliğini incelemiştir. Ahşap polimer kompozit numunelerinin yanma geciktirici ve termal bozunma özelliklerinin araştırılması hedeflenerek eliptik kalorimetre, sınır O₂ e ndeks ve termogravimetrik testler gerçekleştirmiştir.

3. MATERYAL ve METOT

3.1 Kullanılan Malzemeler

- Polyester Reçinesi

Polimer olarak düşük viskoziteye sahip, çift bileşenden oluşan, ultra şeffaf polyester döküm reçinesi kullanılmıştır. Çalışmalarda kullanılan polyester reçine Resim 3.1’de verilmiştir.



Resim 3.1 Çalışmalarda kullanılan polyester reçine

- Kolemanit

Etibor’dan temin edilmiş Kolemanit ($2\text{CaO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) minerali kullanılmıştır. Kullanılan mineral toz halinde bulunmaktadır.

- Üleksit

Etibor'dan temin edilmiş Üleksit $\text{NaCaB}_5\text{O}_6(\text{OH})_6 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ minerali kullanılmıştır. Kullanılan mineral toz halinde bulunmaktadır.

- Tinkal

Etibor'dan temin edilmiş Tinkal ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) minerali kullanılmıştır. Kullanılan mineral taş halinde bulunmaktadır.

Çalışmalarda kullanılan Kolemanit ve Üleksit tozları Resim 3.2'de verilmiştir.



Resim 3.2 Çalışmalarda kullanılan kolemanit ve üleksit tozları.

3.2 Kompozitlerin Üretimi

3.2.1 Malzemelerin Hazırlanması

Verpol firmasından alınan polyester reçine, hızlandırıcısı, Viky marka kalıp ayırıcı wax ve Eti Maden Müdürlüğünden temin edilen (Tinkal, Kolemanit, Üleksit) mineralleri hazırlandı.

3.2.2 Öğütme ve Eleme

Çalışmalarda kullanılacak kolemanit ve üleksit hazır toz halde bulunuyordu fakat Tinkal taş halde bulunduğu için ilk başta Polimer Kompozit Laboratuvarında yer alan Refsan marka bilyalı jet değirmende 212 μm altına öğütülmesi ile deneyler için uygun hale getirilmiştir. Resim 3.3’de bilyalı jet değirmen gösterilmiştir.



Resim 3.3 Bilyalı jet değirmen.

3.2.3 Karışım Oranları ve Karışımların Hazırlanması

Polyester+Kolemanit (PK), Polyester+Üleksit (PÜ), Polyester+Tinkal (PT) olmak üzere farklı mineral katkılarıyla üç farklı reçete grubu hazırlanıp numuneler oluşturulmaya başlanmıştır. Kolemanit, Üleksit ve Tinkal kullanılarak hazırlanan reçeteler sırası ile Çizelge 3.1, Çizelge 3.2, Çizelge 3.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 Kolemanit kullanılarak hazırlanan reçeteler.

Kod	Polyester	Hızlandırıcı	Kolemanit
P1K0	9,8 gr.	0,2 gr.	0 gr.
P2K5	9,8 gr.	0,2 gr.	5 gr.
P3K10	9,8 gr.	0,2 gr.	10 gr.
P4K15	9,8 gr.	0,2 gr.	15 gr.
P5K20	9,8 gr.	0,2 gr.	20 gr.

Çizelge 3.2 Üleksit kullanılarak hazırlanan reçeteler.

Kod	Polyester	Hızlandırıcı	Üleksit
P1Ü0	9,8 gr.	0,2 gr.	0 gr.
P2Ü5	9,8 gr.	0,2 gr.	5 gr.
P3Ü10	9,8 gr.	0,2 gr.	10 gr.
P4Ü15	9,8 gr.	0,2 gr.	15 gr.
P5Ü20	9,8 gr.	0,2 gr.	20 gr.

Çizelge 3.3 Tinkal kullanılarak hazırlanan reçeteler.

Kod	Polyester	Hızlandırıcı	Tinkal
P1T0	9,8 gr.	0,2 gr.	0 gr.
P2T5	9,8 gr.	0,2 gr.	5 gr.
P3T10	9,8 gr.	0,2 gr.	10 gr.
P4T15	9,8 gr.	0,2 gr.	15 gr.
P5T20	9,8 gr.	0,2 gr.	20 gr.

İlk başta tez öneri raporunda bor bileşen katkılarının katkısız, 10 gram, 20 gram, 30 gram ve 40 gram olacağı belirtildi fakat belirtilen bu miktarlarda istenen çözelti karışımı sağlanamadı. Yapılan denemeler sonunda reçetelerde de belirtildiği gibi katkısız, 5 gram, 10 gram, 15 gram ve 20 gram miktarında bor minerali katkısı kullanılması

gerektiđi tespit edildi.

Karışımında ilk başta 9,8 gr. Polyester ve hızlı reaksiyon oluşması için ağırlıkça %2 (0,2 gr.) hızlandırıcı katıldı. Sonra bor bileşenleri reçetelerde belirtildiği gibi eklendi ve yaklaşık 5 dakika homojenlik sağlanabilmesi için karıştırıldı.

3.2.4 Karışımların Kalıba Dökülmesi

Deneyde kullanılan numuneler kalıba su emme-gözeneklilik numuneleri, temas açısı numuneleri, sertlik testi numuneleri, bulk yoğunluk testi numuneleri olmak her karışımdan 4 adet hazırlanarak öncesinde kalıp ayırıcı sürülerek dökülmüştür. Karışımların kalıba dökülmesi Resim 3.4’de görölmektedir.



Resim 3.4 Karışımların kalıba dökülmesi.

1 gün boyunca kurumaya bırakıldıktan sonra hazırlanan örnekler kalıptan çıkarılmıştır. Kalıptan çıkartılan numuneler Resim 3.5’de gösterilmektedir.



Resim 3.5 Kalıptan çıkarılan numuneler.

Çekme testi için tekrar aynı reçeteler kullanılarak karışımlar oluşturuldu ve sonra çekme testinin Resim 3.6'daki kaşık kalıbına önce kalıp ayırıcı sürülerek numuneler döküldü.



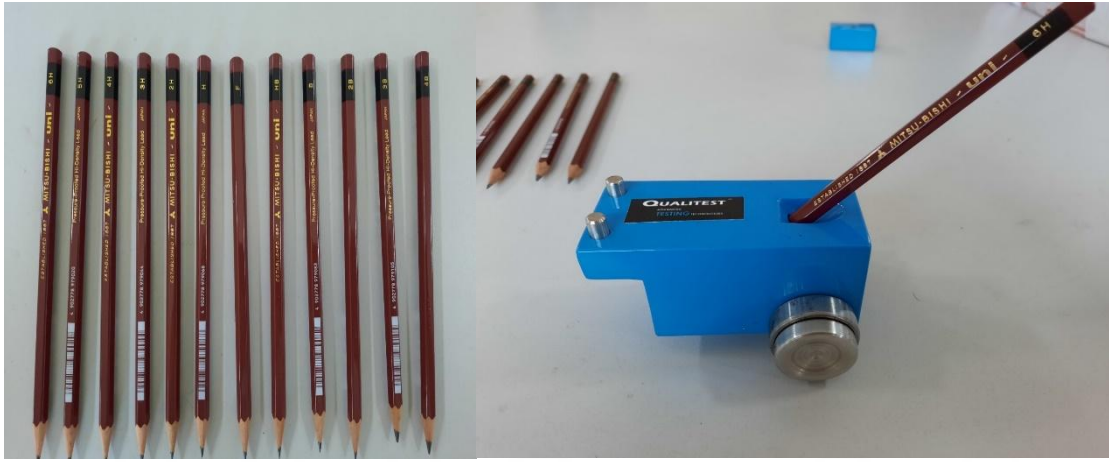
Resim 3.6 Çekme testi için kaşık kalıplara döküm.

3.3 Kompozitlerin Karakterizasyonu

3.3.1 Mekanik Özellikler

3.3.1.1 Sertlik Deneyi

Sertlik testi, Malzeme Bilimi Laboratuvarında “Mitsubishi” marka kalem ve “Qualitest” olarak adlandırılan kalem sertlik seti ile yapılmıştır. Örneklerin sertlik değerleri ölçümü yapılmış ve veriler kaydedilmiştir. Kurşun kalem sertlik seti Resim 3.7’de verilmiştir.



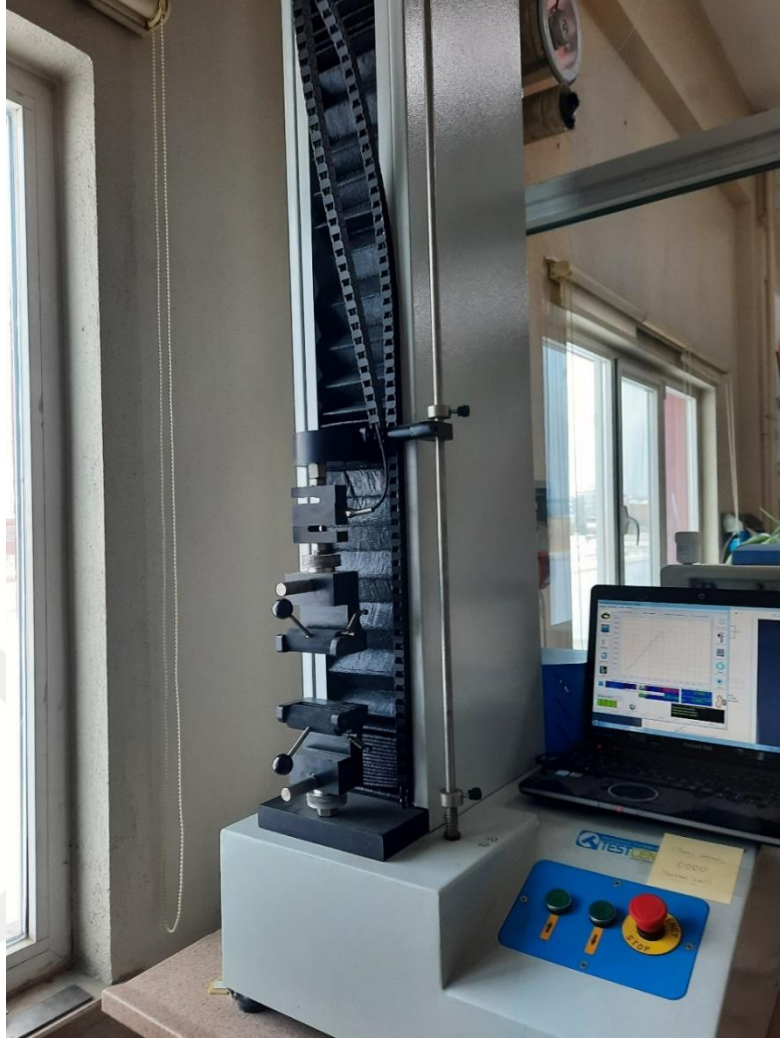
Resim 3.7 Kurşun kalem sertlik seti.

Kurşun kalem Sertlik Sıralaması;

6H<5H<4H<3H<2H<H<F<HB<B<2B<3B<4B<5B<6B 6H En yumuşak – 6B En sert

3.3.1.2 Çekme Dayanımı

Çekme testi, örneğin başlangıçtaki ebatından güç uygulayarak kırıldığındaki anlık kuvveti ve kırıldığı andaki boyutunu ölçmek amaçlı yapılan bir testtir. Çekme test cihazı Resim 3.8’de verilmiştir.



Resim 3.8 Çekme deney cihazı.

Öncelikle çekme testi için kaşık şeklindeki numuneler cihaza yerleştirildi ve uygulama başlatılarak çekme işlemi yapıldı. Cihaz numuneyi alır almaz uygulama üzerinden ekstraksiyon anı takip edilmiş ve numunede kılcal çatlak veya kırılma olduğunda sistem otomatik olarak durmuştur. Numunenin yüzde uzama ve çekme mukavemeti sistemde (pratikte) görünür ve bu değerler not edilir.

Çekme gerilmesi birim yüzeye denk gelen çekme kuvvetidir,

$$\sigma = F/A_0 \quad (3.1)$$

formülü kullanılarak hesaplanabilir.

Çekme uzamasıysa örnekteki toplam uzama miktarının, numunenin ilk boyuna bölünmesi ile bulunmaktadır ve

$$\varepsilon = \Delta L/L_0 \quad (3.2)$$

formülüyle hesaplaması yapılabilir (Işık 2005).

Malzemenin kırılma gerçekleşmeden önceki kayıt altına alınan gerilmeye gösterdiği dirence maksimum çekme dayanımı denilmektedir. Maksimum gerilmeyse malzemede kopma anında oluşmaktadır.

Sertlik ölçümünü veren

$$E = \sigma/\varepsilon \quad (3.3)$$

Formülüyle hesap edilen gerilme, çekme modülü şeklinde de isimlendirilebilir (Işık 2005).

3.3.2 Fiziksel Özellikler

3.3.2.1 Su Emme ve Gözeneklilik

Malzemenin gözenekliliğini saptamak amacıyla su emme testi uygulanmıştır. Öncelikle 1 gün oda koşullarında bekletilen test numuneleri ± 0.01 g duyarlılıktaki hassas terazi ile tartım alınmıştır. Sonrasında numuneler suya yerleştirilmiş ve numuneler iyice suya daldırılmıştır. Test numuneleri $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 'de 2 gün suda tutulmuştur. Suda tutulma süresi tamamlandıktan sonra çıkartılan örneklerin üzerinde kalan suları, sünger veya nemli bez ile alarak yine hassas terazide tartımları alınmıştır. Örneklerin su emme değerleri TS EN 12390-7'de belirlenmiş standartlara uygun olarak ölçülmüştür. Su alma miktarlarının bulunmasında;

$$\%SE = [(M_s - M_o)/M_o] \times 100 \quad (3.4)$$

formülü kullanılmıştır.

Burada;

SE: Su emme miktarı (%)

Mo: Örneğin ilk ağırlığı (g)

Ms: Örneğin suya bırakıldıktan sonra alınan ağırlığı (g)

Su emme testine bırakılmış numuneler Resim 3.9’da verilmiştir.



Resim 3.9 Su emme testine bırakılmış numuneler.

Deney numunelerinin tartımlarının alınmasında kullanılmış hassas terazi Resim 3.10’da gösterilmiştir.



Resim 3.10 Hassas terazi.

Görünen gözeneklilik, numunedeki boşluk hacmini hesaplama amacıyla yapılmaktadır. İlk olarak numuneden kuru tartım alınmış, sonra su emdirilmiş numunenin tartımı alınmış ve su içerisindeki asılı haldeki tartımı alınmıştır. Numunelerin görünür gözeneklilik oranı TS EN 12390-7'de belirtilen standartlara göre bulunmuştur. Görünür gözeneklilik oranının belirlenmesinde;

$$\%GP = [(W_d - W_k) / (W_d - W_a)] \times 100 \quad (3.5)$$

Formülünden yararlanılmıştır. Burada;

W_k = Kuru örneğin havadaki ağırlığı

Wa = Su emmiş örneğin suda askıdaki ağırlığı

Wd = Su emmiş örneğin havadaki ağırlığı

3.3.2.2 Yoğunluk

Numunelerin bulk yoğunluk testi “And” marka yoğunluk ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Teste başlamadan önce numunelerin kuru ağırlıkları tartılmış ve not edilmiştir. Daha sonra numuneler sırayla cihaz içindeki sıvı içinde süspanse edilerek yerleştirildi ve ağırlıkları not edildi. Cihazda kullanılan sıvı suyun yoğunluğu 1 gr/cm³ şeklinde ele alındı. Yoğunluk ölçme cihazı Resim 3.11’de verilmiştir.

Yoğunluk hesaplamalarında;

$$\rho_{\text{numune}} = (W_k / (W_d - W_k)) \cdot \rho_{\text{su}} \quad (3.6)$$

formülü kullanılmıştır. Burada;

Wd: Kuru numunenin havadaki ağırlığı

Wk: Numunenin su içindeki ağırlığı

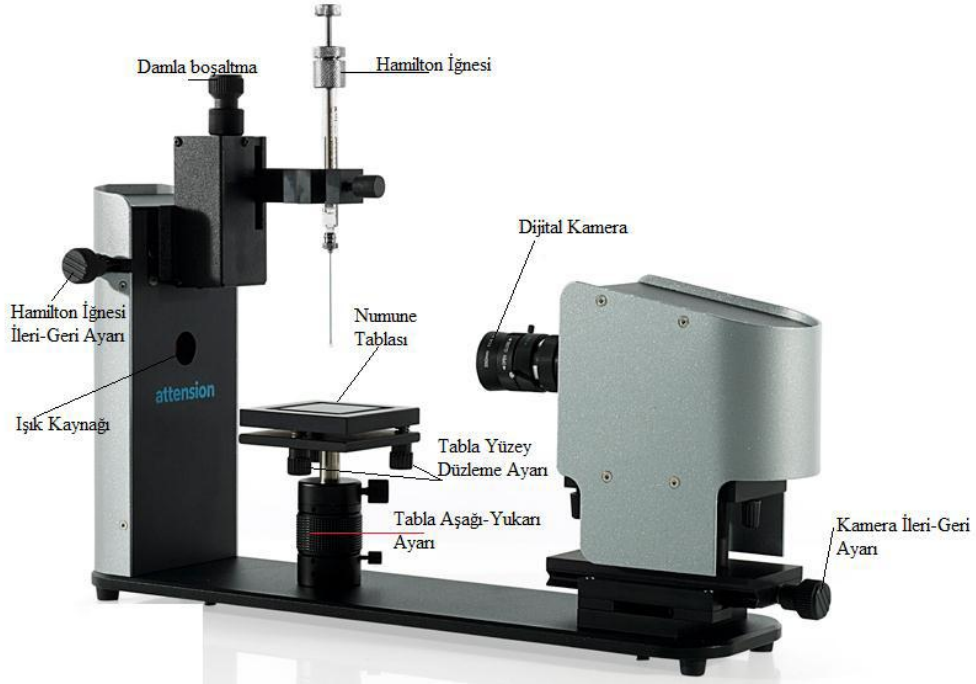
ρ_{su} : Suyun Yoğunluğu (1gr/cm³)



Resim 3.11 Yoğunluk ölçme cihazı.

3.3.2.3 Temas Açısı

“KSV Attension” marka “ThetaLite TL 101 Optik Tansiyometre” cihazı ile numuneler üzerinde damla yayılımı tekniğiyle temas açısı analizi yapılmıştır. Bu cihaz, belirli bir yüzey gerilimi (veya enerjisi) ile sıvının bir Hamilton mikro şırıngası aracılığıyla katı yüzeye damla halinde bırakılması, damlanın yüzey ile arasında oluşturduğu açının katı yüzey üzerinde optik bir kamera ile görsel hale getirilmesi ve daha sonra dijital bir gonyometre yardımıyla bu görüntü üzerindeki temas açısının ölçülerek bulunması sağlanır (Resim 3.12).



Resim 3.12 Temas açısı cihazı.

Sıvı yüzeye damla bırakıldıktan hemen sonra (mili-sn. aralıklarla) arka arkaya on farklı görüntü kayıt altına alınmaktadır. Sonrasında alınan her görüntüde su damlasının yüzeye yaptığı açı bulunmaktadır. Temas açısı, sıvı damlasının yüzeye her iki yönde yaptığı açının ortalama değeri alınarak bulunmaktadır. Daha sonra diğer görüntülerin temas açıları ölçülmekte ve bütün alınan ölçümlerin aritmetik ortalaması alınmaktadır. Böylece örnek yüzeyi üzerinde üç değişik noktada temas açısı bulunur ve bu açıların tekrar bu değerlerin ortalaması alınarak numunenin en son temas açısı bulunmaktadır (Arsoy 2014).

4. BULGULAR

4.1 Mekanik Özellikler

4.1.1 Sertlik Ölçüm Değerleri

Çizelge 4.1’de Kolemanit katkılı kompozit numunelerin sertlik değerleri verilmiştir. Kolemanit katkısı arttıkça sertlik değerlerinin düştüğü gözlemlenmiş fakat önemli ölçüde bir etki oluşturmamıştır. En sert değer PK0 kodlu (katkısız) ve PK10 kodlu (%10 Kolemanit katkılı) değerlerde 4B olarak saptanmıştır. En yumuşak değer de PK5 kodlu (%5 Üleksit katkılı) numunede 2B-3B olarak saptanmıştır.

Çizelge 4.1 Kolemanit katkılı kompozit numunelerin sertlik değerleri.

Numune Kodu	Sertlik Değeri
PK0 (Katkısız)	4B
PK5 (%5 Kolemanit Katkılı)	2B-3B
PK10 (%10 Kolemanit Katkılı)	4B
PK15 (%15 Kolemanit Katkılı)	3B
PK20 (%20 Kolemanit Katkılı)	3B

Çizelge 4.2’de Üleksit katkılı kompozit numunelerin sertlik değerleri verilmiştir. Üleksit katkısı arttıkça sertlik değerlerinin belirgin olarak düştüğü gözlemlenmiştir. En sert değer PÜ0 kodlu katkısız numunede 4B olarak saptanmıştır. En yumuşak değer de PÜ15 (%15 Üleksit katkılı) ve PÜ20 (%20 Üleksit katkılı) numunelerde B olarak saptanmıştır.

Çizelge 4.2 Üleksit katkılı kompozit numunelerin sertlik değerleri.

Numune Kodu	Sertlik Değeri
PÜ0 (Katkısız)	4B
PÜ5 (%5 Üleksit Katkılı)	3B
PÜ10 (%10 Üleksit Katkılı)	3B
PÜ15 (%15 Üleksit Katkılı)	B
PÜ20 (%20 Üleksit Katkılı)	B

Çizelge 4.3’te Tinkal katkılı kompozit numunelerin sertlik değerleri verilmiştir. Tinkal katkısı arttıkça sertlik değerlerinin düştüğü gözlemlenmiştir. En sert değer PT0 kodlu katkısız numunede 4B olarak saptanmıştır. En yumuşak değer de PT20 kodlu (%15

Üleksit katkılı) numunede HB olarak saptanmıştır.

Çizelge 4.3 Tinkal katkılı kompozit numunelerin sertlik değerleri.

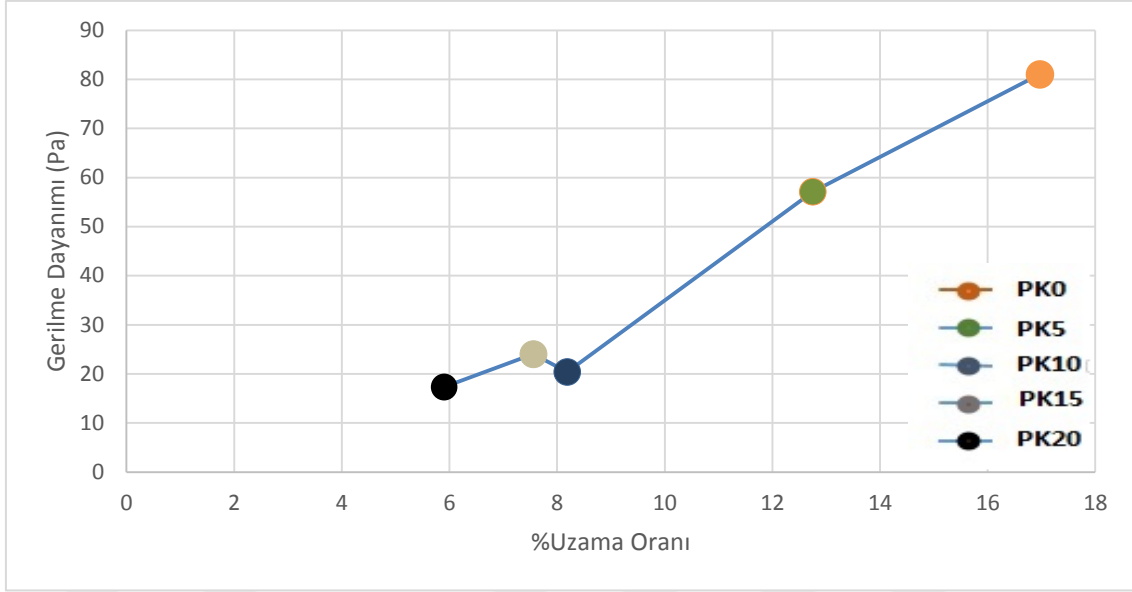
Numune Kodu	Sertlik Değeri
PT0 (Katkısız)	4B
PT5 (%5 Tinkal Katkılı)	2B
PT10 (%10 Tinkal Katkılı)	2B-3B
PT15 (%15 Tinkal Katkılı)	B-2B
PT20 (%20 Tinkal Katkılı)	HB-B

Tüm sertlik sonuçlarını gözden geçirdiğimizde mineral katkısı arttıkça sertlik değerlerinin azaldığı anlaşılmaktadır.

Literatür incelendiğinde Dağ (2010) lisansüstü çalışmasında kompozitlerin sertlik deneylerinin yapıldığı tüm kompozitlerde mermer atığının varlığının saf reçinenin sertliği yükselttiği görülmüştür. Zerda ve Lesser (2001) çalışmalarında interkalasyonlu nanokompozitleri sentezlediler. Hazırlanmasında modifikasyon çalışması yapılmış montmorillonit türü kil ve polimer olarak epoksi reçine kullanılmıştır. Sertlik değerinin değiştirilmemiş epoksiye göre iki kattan fazla artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Akıncı (2010) çalışmasında düşük yoğunluklu polietilene ikincil eleman olarak silikon dioksit katkısı yapmış ve katkı miktarının artmasıyla sertlik değerinin arttığı saptanmıştır.

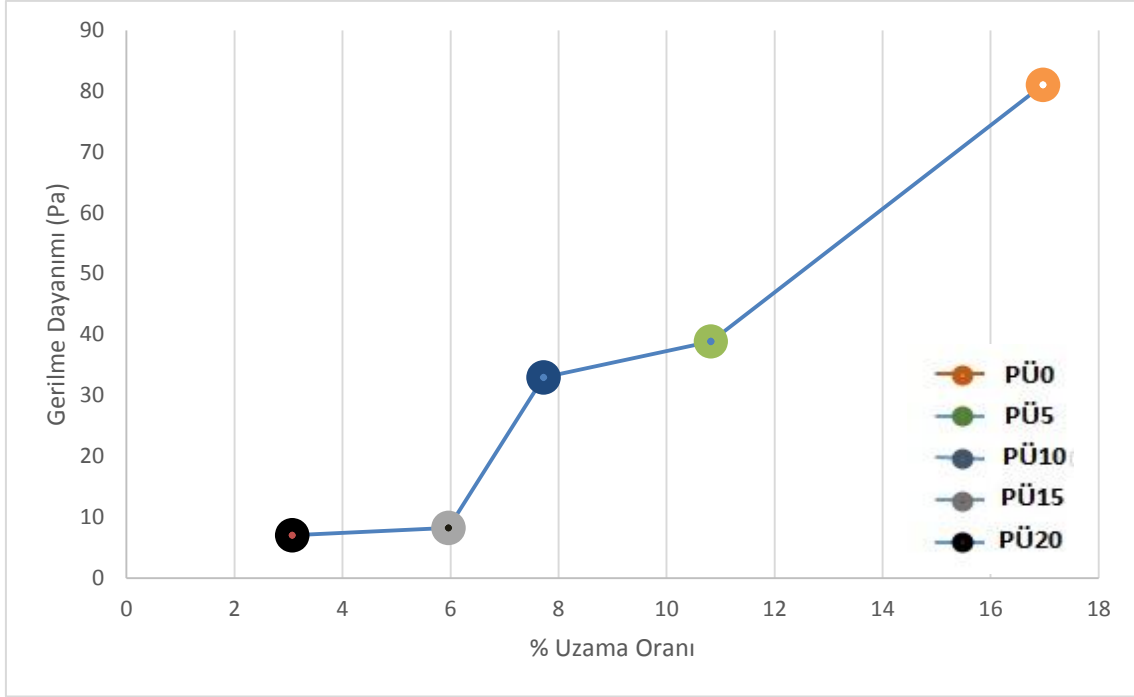
4.1.2 Çekme Dayanımı Sonuçları

Şekil 4.1’de Kolemanit katkılı kompozit numunelerin çekme grafikleri görülmektedir. En iyi uzama oranı ve gerilme dayanımı değerleri yine katkısız numunelerde gözlemlenmiştir. Katkılı numuneler kıyaslandığında en iyi uzama oranı PK5 kodlu 5 gram Kolemanit katkılı numunede %12,75 olarak en iyi gerilme dayanımı ise yine PK5 kodlu 5 gram Kolemanit katkılı numunede 57,12 Pa olarak gözlemlenmiştir.



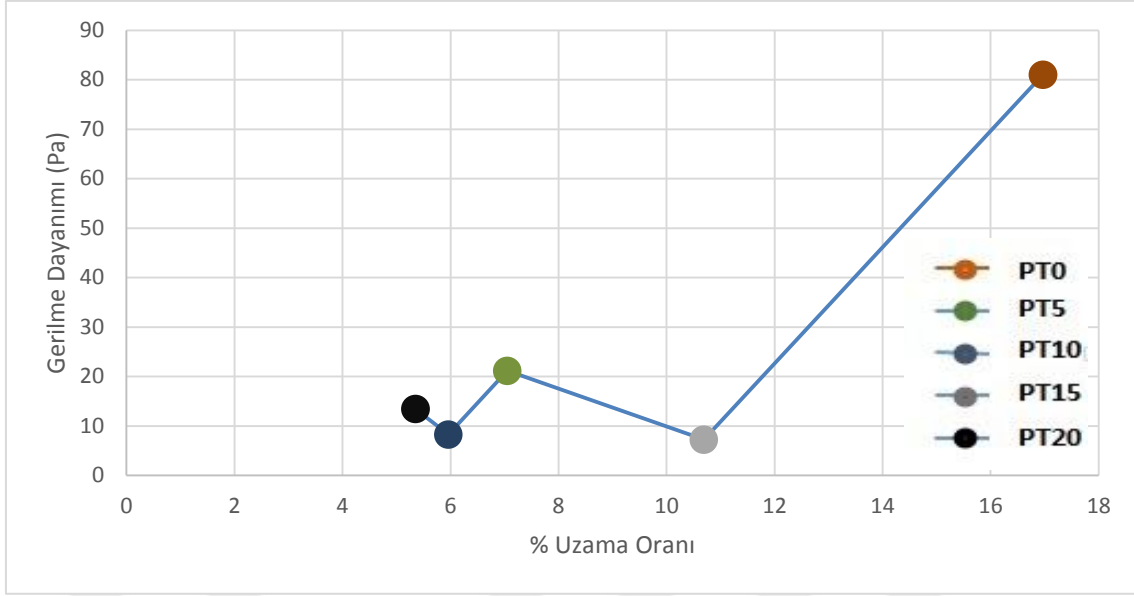
Şekil 4.1 Kevlanit katkılı kompozit numunelerin çekme grafiği.

Şekil 4.2’de Üleksit katkılı kompozit numunelerin çekme grafikleri görülmektedir. Grafikten de anlaşılacağı gibi Üleksit katkı miktarı arttıkça uzama oranlarında düşüş meydana gelmiştir. Deney numunelerinde en yüksek uzama oranı PÜ0 kodlu katkısız numunede %16,97 olarak gözlemlenmiştir. En yüksek gerilme dayanımı da PÜ0 kodlu katkısız numunede 81,03 Pa olarak gözlemlenmiştir. Katkılı numuneleri kendi arasında kıyasladığımızda en yüksek uzama oranı PÜ5 kodlu 5 gr Üleksit katkılı numunede %10,82 olarak gözlemlenmiştir. En yüksek gerilme dayanımı ise yine PÜ5 kodlu numunede 38,88 Pa olarak bulunmuştur.



Şekil 4.2 Üleksit katkılı kompozit numunelerin çekme grafiği.

Şekil 4.3'te Tinkal katkılı kompozit numunelerin çekme grafikleri görülmektedir. En iyi uzama oranı ve gerilme dayanımı değerleri yine katkısız numunelerde gözlemlenmiştir. Katkılı numuneler kıyaslandığında en iyi uzama oranı PT15 kodlu 15 gram Tinkal katkılı numunede %10,69 olarak en iyi gerilme dayanımı ise yine PT5 kodlu 5 gram Tinkal katkılı numunede 21,15 Pa olarak gözlemlenmiştir.



Şekil 4.3 Tinkal katkılı kompozit numunelerin çekme grafikleri.

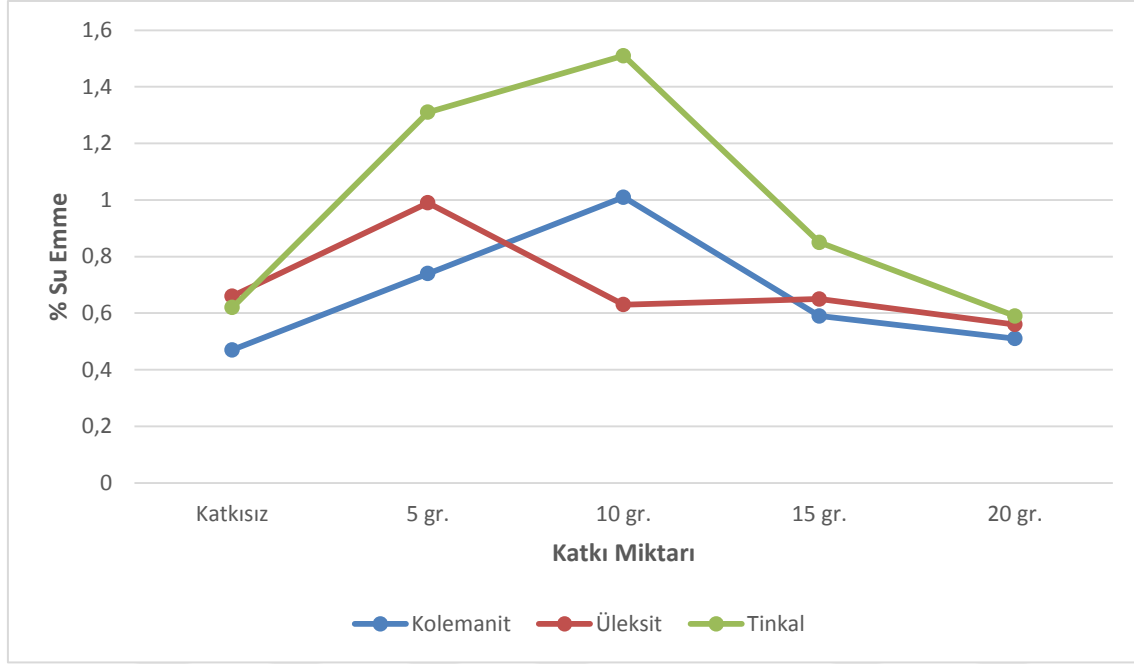
Literatür incelendiğinde, Liu ve ark. (2005) ESBO(epoksi soya yağı) / smektit nanokompozitleri üretmişler ve epoksi matrise %0-5-8-10 şeklinde kil ekleyerek mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Çekme mukavemeti için en iyi bulgular %8 kil katkılı kompozitlerde bulunmuştur. Ho ve diğerleri (2006), epoksi reçinesine %0-8 nanokil ekleyerek Araldite GY 251'in mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Epoksi ile yapılan araştırmada en iyi mekanik özellikler %5 kil katkılı kompozit numunelerinde görülmüştür. Qi ve ark. (2006) çalışmasında epoksi (dgeba) reçinesi %2, %5, %10 kil ile katkılanmış ve 80-90°C'de 2 saat mekanik olarak karıştırılmış ve çekme testlerine göre en iyi sonuçlar %5 kil katkılı örnekler görülmektedir. Bağcı (2006) yüksek lisans tezinde ana eleman (matris) olarak epoksi, ikincil eleman (takviye) olarak da silika ve modifiye aracı olarak polieter polyol kullanmış ve silika oranının artmasıyla çekme dayanımının ve çekme uzamasının azaldığını belirlemiştir.

4.2 Fiziksel Özellikler

4.2.1 Su Emme ve Gözeneklilik Sonuçları

Şekil 4.4'de Kompozit numunelerin katkılarına göre yüzde su emme grafiği verilmiştir. Grafikte düzenli bir artış veya azalış gözlemlenmemekte fakat kolemanit katkılı numunelerde 10 gr. katkıya kadar artış sonrasında azalma, üleksit katkılı numunelerde

sadece 5 gr. katkıda artış sonrasında azalma, tinkal katkıli numunelerde ise 10 gr. katkıya kadar artış sonrasında ise yine azalma gözlemlenmiştir. En yüksek yüzde su emme değeri 10 gr. Tinkal katkıli numunede (PT10 kodlu) %1,51 olarak gözlemlenmiştir.

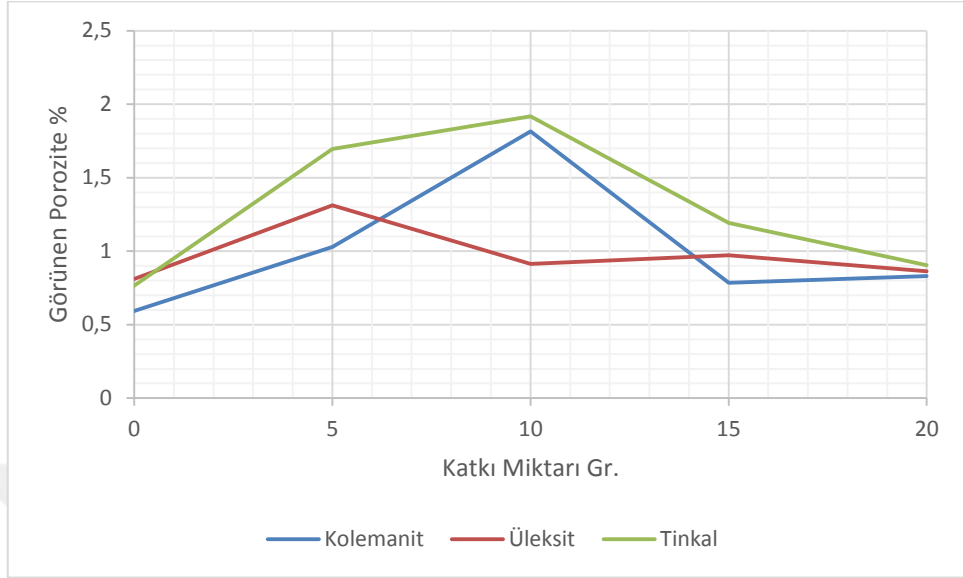


Şekil 4.4 Kompozit numunelerin katkılarına göre su emme grafiği.

Literatür incelendiğinde Ferreira ve ark. (2013) nanokil ile katkılanmış epoksinin enerji absorbe etme davranışını araştırmış, üretilen kompozitlerin su emme miktarlarını bulmuşlardır. Epoksi reçineye %0-1-3 nanokil katkısı yapmış ve kil katkısının artışı ile birlikte su emme miktarlarında artışlar görülmüştür. Su emme oranının değişiklik göstermesi bor atıklarının ve tuf maddesinin özlü ham madde, kum ile mermer tozunun özsüz hammadde oluşundan dolayı olduğu ifade edilebilir.

Şekil 4.5'te kompozit numunelerin katkılarına göre görünür gözeneklilik grafiği verilmiştir. Su emme oranında olduğu gibi görünür gözeneklilik oranlarında da benzer davranışlar gözlemlenmiştir. Kolemanit katkıli numunelerde 10 gr. katkıya kadar gözeneklilikte artış sonrasında ise azalma gözlemlenmiştir. Üleksit katkıli numunelerde 5 gramlık katkıda artış 10-15-20 gramlık katkılarda da azalmayla birlikte benzer sonuçlar gözlemlenmiştir. Tinkal katkıli numunelerde ise kolemanit katkıli numunelerde

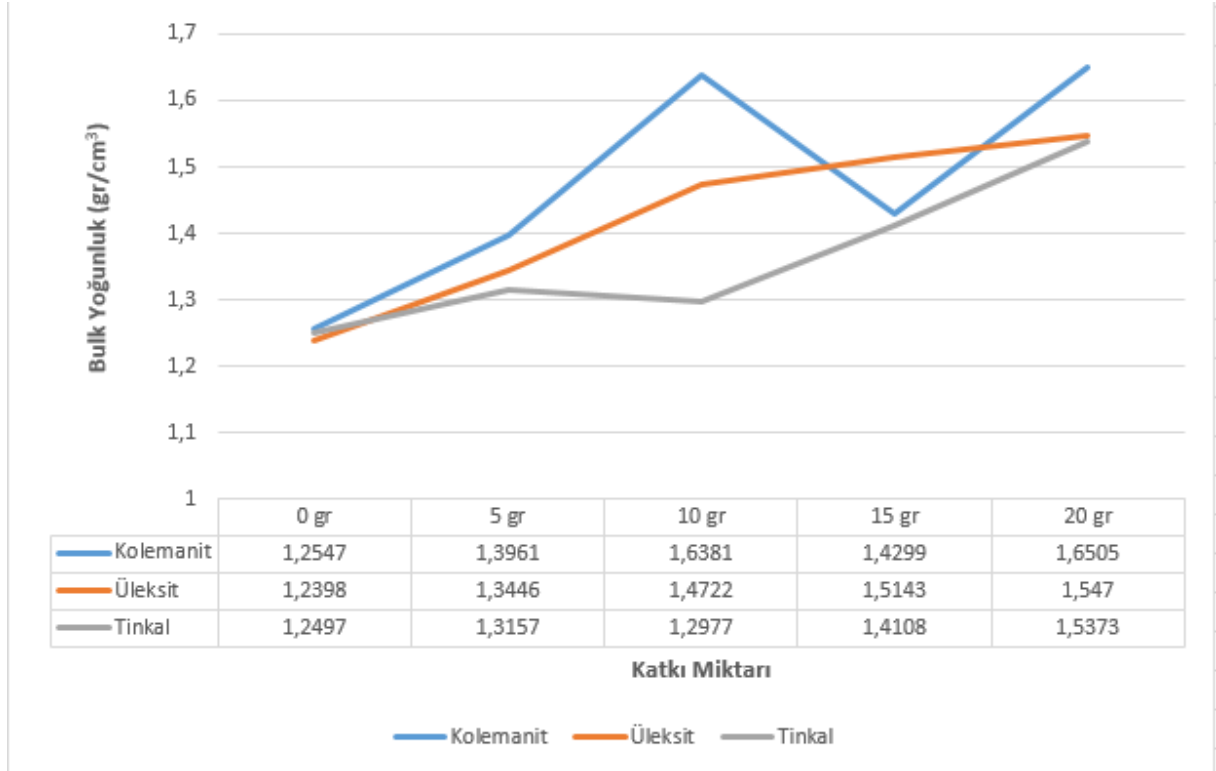
olduğu gibi 10 gram katkıya kadar artış sonrasında ise azalma gözlemlenmiştir.



Şekil 4.5 Kompozit numunelerin katkılarına göre görünür gözeneklilik grafiği.

4.2.2 Bulk Yoğunluk Sonuçları

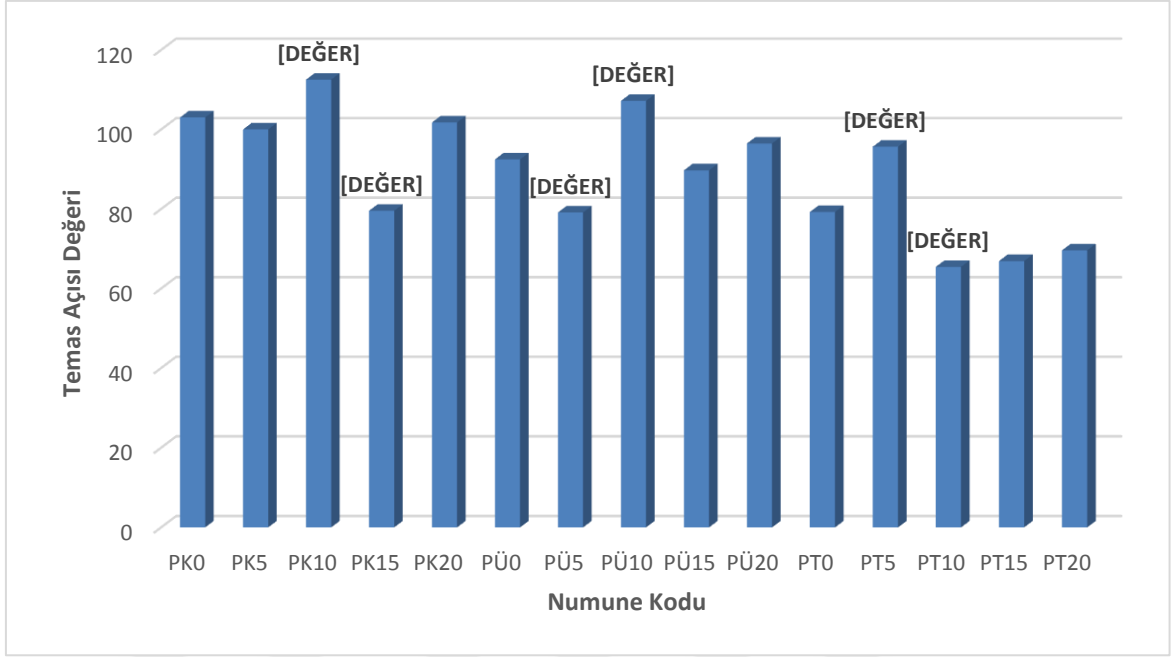
Şekil 4.6’da kompozit numunelerin katkılarına göre yoğunluk grafiği görülmektedir. Üleksit ve Tinkal katkılı kompozit numuneler için katkı miktarı arttıkça yoğunluk değerinde artış olduğu grafikten anlaşılmaktadır. Kolemanit katkılı kompozit numunelerde ise düzenli bir artış veya azalış bulunmamaktadır. En yüksek yoğunluk değeri 20 gram Kolemanit katkılı PK20 kodlu numunede $1,6505 \text{ gr/cm}^3$ şeklinde bulunmuştur.



Şekil 4.6 Kompozit numunelerin katkılarına göre yoğunluk grafiği.

4.2.2 Temas Açısı Sonuçları

Şekil 4.7’de kompozit numunelerin temas açıları grafikte görülmektedir. Kompozit numunelerin temas açıların katkı miktarlarıyla orantılı şekilde artma veya azalma gözlemlenmemiştir. En yüksek temas açısı ölçümü 10 gram Kolemanit katkılı PK10 kodlu numunede 112,54° olarak gözlemlenmiştir. En düşük temas açısı değeri ise 65,45° olarak 10 gram Tinkal katkılı PT10 kodlu numunede gözlemlenmiştir.



Şekil 4.7 Kompozit numunelerin temas açısı değerleri.

Hazırlanan kompozit numunelerin temas açısı görselleri Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.8 Kompozit numunelerin temas açısı görselleri.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu tez çalışmasında, bor mineralleri ilaveli polimer kompozit numunelerin mekanik-fiziksel davranışları araştırılmıştır. Mekanik özelliklerin belirlenmesi için kurşun kalem sertlik deneyi ve çekme dayanımı testi yapılmıştır. Fiziksel özelliklerin belirlenmesi için ise su emme, yoğunluk, temas açısı testleri yapılmıştır. Deneysel çalışmalar sonrasında sırasıyla şu sonuçlar gözlemlenmiştir.

Bor mineralleri katkılı polimer kompozitlerin sertlik değerlerini incelediğimizde, kolemanit katkılı polimer kompozit numunelerde katkı miktarı arttıkça sertliğin düştüğü görülmektedir, üleksit katkılı polimer kompozit numunelerde ise katkı miktarı arttıkça sertliğin belirgin bir şekilde düştüğü fark edilmektedir ve tinkal katkılı polimer kompozit numunelerde ise katkı miktarının sertlik değerlerinde düşüş sağladığını söyleyebiliriz. Tüm sertlik sonuçlarını göz önüne aldığımızda mineral katkı miktarının sertlik değerinin düşmesiyle doğru orantılı hareket ettiğini söyleyebiliriz.

Çekme testi sonuçlarını incelediğimizde, en yüksek çekme gerilmesi ve uzama oranı katkısız polimer kompozit numunede görülmektedir. Bor mineralleri katkısı yapılan numunelerde çekme değerlerinde düşüş meydana geldiği, katkı miktarının artmasıyla düşüşün de arttığı gözlemlenmektedir. Bor mineral katkılı kompozit numuneler arasındaki sonuçlar kendi arasında kıyaslandığında en iyi sonuç, Kolemanit katkılı serideki 5 gram Kolemanit katkılı kompozit numunede görülmüştür. Genel olarak çekme sonuçlarını ele aldığımızda bor mineral katkısının artmasıyla gerilme dayanımının ve uzama oranının azaldığı anlaşılmaktadır.

Su emme sonuçlarını incelediğimizde, kolemanit katkılı polimer kompozit numunelerde 10 gram katkıya kadar artış sonrasında tekrar azalma, üleksit katkılı numunelerde 5 gramda artış sonrasında azalma ve 10-15-20 gramlık üleksit katkılarında birbirine yakın sonuçlar, tinkal katkılı numunelerde ise 10 gramlık katkıya kadar artış sonrasında azalma meydana gelmiştir. Tüm kompozit numuneler kıyaslandığında en yüksek su emme değeri 10 gram tinkal katkılı kompozit numunede görülmüştür.

Gözeneklilik sonuçlarına bakıldığında su emme sonuçlarına benzer davranışlar görülmüştür. Kolemanit katkılı numunelerde 10 grama kadar gözeneklilikte artış sonrasında azalma, üleksit katkılı numunelerde 5 gramda artış sonrasında birbirine yakın sonuçlar, tinkal katkılı numunelerde ise diğer katkılı kompozitlere göre daha yüksek gözeneklilik görülmüş ve en fazla gözenek 10 gramlık tinkal katkılı numunede görülmüştür.

Bulk yoğunluk sonuçlarını incelediğimizde Üleksit ve Tinkal katkılı numunelerde katkı miktarının artmasıyla özkütle değerlerinin doğru orantılı bir şekilde yükseliş gösterdiği gözlemlenmiştir. Kolemanit katkısında ise 10 grama kadar artış, 15 gram katkıda azalma ve 20 gramlık katkı ile tekrar yoğunluk değerinde artış gözlemlenmiştir. Tüm yoğunluk sonuçları dikkate alındığında yoğunluk değeri en yüksek numune 20 gram Kolemanit katkılı numunede görülmüştür.

Temas açısı sonuçlarında katkı miktarıyla orantılı şekilde yükselme veya düşme saptanmamıştır. En yüksek temas açısı 10 gram Kolemanit katkılı numunede görülmüştür.

6. KAYNAKLAR

- Asi D, 2018, Polimer Matrisli Kompozit Malzemelerde İlave Olarak Kullanılan Parçacıkların Geometrisinin Kompozit Malzemelerin Fiziksel ve Mekaniksel Özelliklerine Etkisinin Araştırılması. Doktora Tezi, Uşak Üniversitesi, Uşak.
- Atagür M, 2016, Farklı Yapıya Sahip Kil Mineralleri ile Termoplastik Poliüretan Kullanılarak Polimer Matrisli Kompozit Malzeme Üretimi ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Avcı Z, 2020, Epoksi Kompozitlerde Uçucu Kül Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Konya.
- Bakkal M, 2011, Kompozitler, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Sekizinci baskıdan çeviri, Kenan Genel, Nobel Yayınevi, Türkiye, 629-655
- Choorackal E, Riviera P P, Santagata E, 2019, Mix Design and Mechanical Characterization of Self-Compacting Cement-Bound Mixtures For Paving Applications, Construction and Building Materials, 229, Article number 116894.
- Chung D L, 2010, Composite Materials Science and Materials, Second edition, Springer, New York, 14-21, 25-26
- Deniz M E, 2005, Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri ve Isıl İşleme Presleme Tekniğini Kullanarak Kompozit Malzeme Üretecek Bir Düzenegın Tasarım ve İmalatı, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, 4,32-47
- Evcin A, 2010, CaSO₄ İçerikli Bor Minerali İşlem Atıklarının Yapı Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Sonuç Raporu, Afyonkarahisar.
- Gibson R F, 2011, Principles of Composite Material Mechanics. Boca Raton: CRC Press.
- Hawthorne F C, Burns P C, Grice J D, 2016, The Crystal Chemistry of Boron, Boron Mineralogy, Petrology and Geology. Mineral Society American, MSA Reviews in Mineralogy 33:2
- Helvacı C, 2005, Borates, Encyclopedia of Geology, 2nd Edition, Vol.1

- Isık, F 2005. Nanocomposites Based On Blends of Polyethylene. Degree of Master of Science, The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, Ankara.
- Kaw A K, 2006, Mechanics of Composite Material Mechanics. (2th ed.). Boca Raton: CRC Press.
- Koçak H Ş 2010, Kütahya Emet Borik Asit İşletmesi Bor Atıklarının Alçı Levha Üretiminde Kullanılması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Mallick P K, 2008, Fiber-Reinforced Composites: materials, manufacturing and design. (3th ed.) Boca Raton: CRC Press.
- Mozafari N, Tikhomirov D, Sumer Ö, Özkaymak Ç, Uzel B, Yeşilyurt S, vd., 2019, Dating of Active Normal Fault Scarps In The Büyük Menderes Graben (Western Anatolia) and Its Implications For Seismic History, Quaternary Science Reviews, 220, 111–123.
- Muhidin A A, 2021, The Investigation of the Environmental Effects on Composite Materials, Master's Thesis, Altınbas University, Istanbul
- Tanırkulu Y E, Yaşar A, 2017, Investigation of Mechanical and Thermal Properties of Boron Minerals Doped Plastic Materials, Çukurova University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture.
- Terzi E, 2015, Yanmayı Geciktirici Madde Olarak Bor Minerallerinin Odun ve Odun-Plastik Kompozitlerde Kullanımı, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul
- Tutar H H, 2018, Uçucu Kül Epoksi Kompozitlerin Hazırlanması ve Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Konya.
- Uzun H A, 2002, Borlama İle Yüzeyleri Sertleştirilen Çeliklerin Aşınma ve Korozyona Karşı Dayanımları. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta

İnternet Kaynakları

- 1- <https://boren.tenmak.gov.tr/tr/bor-elementi.html>, 17.12.2021
- 2- <https://tesam.org.tr/bor-raporu/>, 17.12.2021
- 3- <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/bor>, 17.12.2021
- 4- <https://boren.tenmak.gov.tr/tr/calisma-alanlari/bor-mineralleri.html>, 21.12.2021
- 5- <https://www.etimaden.gov.tr/bor-mineralleri>, 21.12.2021
- 6- <http://www.etimaden.gov.tr/bor-urunleri-hakkinda-genel-bilgi-193s.htm>, 21.12.2021
- 7- <http://boren.gov.tr/tr/bor/bor-rezervleri>, 21.12.2021

