



**SODYUM FELDSPAT VE BOR KARBÜR
İÇERİKLİ KOMPOZİT ÜRETİMİ VE
KARAKTERİZASYONU**

Burak Can TÖNGÜR

**2022
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Melik ÇETİN**

**SODYUM FELDSPAT VE BOR KARBÜR İÇERİKLİ KOMPOZİT
ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU**

Burak Can TÖNGÜR

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Melik ÇETİN**

**KARABÜK
Haziran 2022**

Burak Can TÖNGÜR tarafından hazırlanan “ SODYUM FELDSPAT VE BOR KARBÜR İÇERİKLİ KOMPOZİT ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Melik ÇETİN

Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 09/06/2022

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ (ÇAKÜ)

Üye : Prof. Dr. Melik ÇETİN (KBÜ)

Üye : Prof.Dr. Hayretin AHLATÇI (KBÜ)

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Burak Can TÖNGÜR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SODYUM FELDSPAT VE BOR KARBÜR İÇERİKLİ KOMPOZİT ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU

Burak Can TÖNGÜR

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Melik ÇETİN

Haziran 2022, 60 sayfa

Bu tez çalışmasında, farklı derişimlerde mikronize bor karbür ve numune hazırlaması yapıp mikronize hale getirilen sodyum feldspat cevheri harmanlandıktan sonra preslenmiş ve pelet haline getirilmiştir. Kompozit oluşturmada sinterleme yöntemi kullanılmıştır. Sinterleme 1000 °C'de 30,45,60,90 ve 120 dakika gibi farklı zaman sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Sinterlenen numuneler üzerinde yoğunluk, porozite, dayanımlarını belirlemek için disk makaslama ve cherchar aşındırma testleri yapılmıştır. Testlerden sonra kompozitler karakterize edilmiştir. İlk etapta yapılan yoğunluk, porozite ve disk makaslama testlerinde en iyi sonuçlar %75 sodyum feldspat içerikli numune grubundan elde edilmiştir. Aşındırma testine bakıldığında ise en iyi sonuçları 1:1 harmanlanan kompozit grubu vermiştir. Bor karbür içeriğinin artması ile elde edilmesi planlanan düşük yoğunluklu, yüksek dayanımlı kompozitler için olumsuz etki yaratırken, maliyeti bor karbüre oranla daha düşük olan sodyum feldspat içeriğinin artması ile daha verimli sonuçlar elde edilmiştir.

Bütün bunlar göz önüne alındığında gerek testlerde gereksede fiziksel olarak bakıldığında bor karbür içeriğinin artmasıyla numunelerin gevrek kırılma özelliği sergilemekte olduğu gözlenmiştir. Tüm numune gruplarında sinterleme süresinin artmasına bağlı olarak tek eksenli basma dayanımlarının arttığı görülmüştür.

Üretilen kompozitleri karakterize etmek için FTIR, XRD ve XRF yapılmış ve incelenmiştir. FTIR sonucunda farklı gruplarda karbon-karbon üçlü bağ yapısının değişiklik gösterdiği görülmüştür. XRD sonuçlarına bakıldığında üretilen kompozitler arasında faz değişimi olmadığı saptanmıştır. Çıkan XRF değerlerinin mekanik testlerin sonuçlarıyla paralel olduğu, en iyi sonucu veren kompozitte en yüksek Al_2O_3 ve SiO_2 oranı görülürken aynı zamanda en düşük Na_2O oranına sahip olduğu görülmüştür.

Anahtar Sözcükler : Bor karbür, sodyum feldspat, sinterleme, yoğunluk, aşınma dayanımı, porozite, tek eksenli basma dayanımı, XRD, XRF, FTIR

Bilim Kodu : 91530

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

PRODUCTION OF SODIUM FELDSPAR AND BORON CARBIDE COMPOSITES AND THEIR CHARACTERIZATION

Burak Can TÖNGÜR

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Manufacturing Engineering**

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Melik ÇETİN

June 2022, 60 pages

In this thesis, micronized boron carbide with different concentrations was made in preparation for samples with sodium feldspar ore then by blending. After that those were pressed and pelletized. Sintering was carried out at 1000 °C for different time periods such as 30,45,60,90, and 120 minutes. Disc shear and chercar abrasion tests were performed to determine the density, porosity, and strength of sintered samples. After the tests, the composites were characterized. In the first stage, samples with %75 sodium feldspar content gave the best result in the density, porosity, and disc shear tests. Considering the abrasion strength, the best results were given by the 1:1 blended composite group.

While the increase in boron carbide content has a negative effect on the low density, high strength composites planned to be obtained, it is more efficient with the increase of sodium feldspar content, which has a lower cost compared to boron carbide.

Considering all these, it has been observed that the samples exhibit brittle fracture characteristics with the increase in boron carbide content, both in tests and physically. It was observed that uniaxial compressive strengths increased in all sample groups depending on the increase in time.

In order to characterize the composites created, FTIR, XRD and XRF were made and studied. As a result of FTIR, it was observed that the structure of the carbon-carbon triple bond in different groups has changed. When the XRD results were examined, it was determined that there was no phase change between the produced composites. It was observed that the XRF values obtained were in parallel with the results of the mechanical tests, while the highest Al₂O₃ and SiO₂ ratio was observed in the composite that gave the best results, it also had the lowest Na₂O ratio.

Key Word : Boron carbide, Sodium Feldspar, sintering, density, porosity, abrasive strength uniaxial compressive strength, XRD, XRF, FTIR

Science Code : 91530

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Prof. Dr. Melik ÇETİN'e sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Numune hazırlama, yoğunluk testleri deneylerinin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen, ARGETEST Cevher Zenginleştirme ve Analiz Hizmetleri'ne ve sayın Burak KÖSE'ye teşekkür ederim.

Çalıőmam için gerekli yardımını ve desteğini esirgemeyen değerli meslektaőım ve büyüğüm Ehsan SAMET'e teşekkür ederim.

Yaptığım çalışmalarda yol gösteren sayın yöneticim Ahad HARZANAGK'a ve yaptığım testlerde teknik desteğini esirgemeyen Mesud RUSTAMI'ye teşekkür ederim. Çalıőmalarımnda bilgisi ve tecrübesiyle destek vermesinden dolayı da Emre YILDIZ ve Burçin ALTAN NURLU'ya ayrıca teşekkür ederim.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımını esirgemediğim yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ VE AMAÇ	1
BÖLÜM 2	3
BOR MİNERALLERİ	3
2.1. BOR KARBÜR.....	5
2.1.1. Bor Karbür Kristal Yapısı.....	6
2.1.2. Bor Karbür Mekanik Özellikleri.....	7
2.1.3. Bor Karbür Kullanım Alanları.....	8
BÖLÜM 3	10
FELDSPATLAR.....	10
3.1. FELDSPAT MİNERALLERİ VE YAPISAL ÖZELLİKLERİ.....	11
3.1.1. Feldspat Kullanım Alanları ve Özellikleri.....	12
3.1.2. Feldspat Üretimi	13
BÖLÜM 4	14
KOMPOZİT MALZEMELER.....	14
4.1. POLİMER ESASLI KOMPOZİTLER (PMC).....	15
4.2. METAL ESASLI KOMPOZİTLER (MMC).....	15
4.3. SERAMİK ESASLI KOMPOZİTLER (CMC).....	16

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 5	18
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	18
5.1. NUMUNE HAZIRLAMA	18
5.2. SİNERLEME	23
5.3. YOĞUNLUK VE POROZİTE TESTİ.....	27
5.4. DİSK MAKASLAMA TESTİ.....	32
5.5. CHERCAR AŞINMA TESTİ	35
5.6. KARAKTERİZASYON ÇALIŞMALARI	37
5.6.1 FTIR.....	37
5.6.2 XRD.....	39
5.6.3 XRF	41
BÖLÜM 6	43
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	43
6.1. SİNERLEME	43
6.2. YOĞUNLUK ve POROZİTE TESTLERİ.....	43
6.3. DİSK MAKASLAMA TESTİ.....	44
6.4. CHERCAR AŞINMA TESTİ	45
6.5. KARAKTERİZASYON ÇALIŞMALARI	45
BÖLÜM 7	50
SONUÇLAR.....	50
KAYNAKLAR	53
ÖZGEÇMİŞ	60

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Kristal yapılı bor minerali örneği.....	3
Şekil 2.2. Dünya bor rezervi dağılımı	4
Şekil 2.3. Mikronize ve plaka bor karbür.....	6
Şekil 2.4. Bor karbür kafes yapısı.	6
Şekil 2.5. Bor karbür bazı kullanım alanları	8
Şekil 3.1. Feldspatların isimlendirilmesi ve aralarındaki ilişki.....	11
Şekil 3.2. Triklinik ve monoklinik kristal sistemleri.....	11
Şekil 4.1. Kompozit malzeme bileşenleri	14
Şekil 5.1. Zirve ocağı feldspat aynası.	19
Şekil 5.2. Pişme sonuçları.	20
Şekil 5.3. Harman numunesi elek analizi sonucu.	21
Şekil 5.4. Laboratuvar ölçekli çeneli kırıcı.	21
Şekil 5.5. Laboratuvar ölçekli merdaneli kırıcı.....	22
Şekil 5.6. Laboratuvar ölçekli seramik değirmen ve halkalı öğütücü.....	22
Şekil 5.7. Pres makinası.	23
Şekil 5.8. Numunelerin beslendiği kül fırını.....	24
Şekil 5.9. Homojenizasyon için Kullanılan Değirmen.....	24
Şekil 5.10. Platin kroze ve magnezyum tabla ile testler	25
Şekil 5.11. Sinterlenmiş numunelerin makro görüntüleri.	27
Şekil 5.12. Bor karbür ve sodyum feldspat gerçek yoğunluk sonuçları.....	28
Şekil 5.13. Piknometre ile yapılan yoğunluk testleri.	29
Şekil 5.14. Gaz piknometresi ile yapılan gerçek yoğunluk testi sonuçları.	29
Şekil 5.15. ACCUPYC 2 1340 ile yapılan gerçek yoğunluk testleri.	30
Şekil 5.16. Yerinde yoğunluk testi sonuçları.	30
Şekil 5.17. Yerinde yoğunluk test düzeneği.	31
Şekil 5.18. Porozite oranları.....	31
Şekil 5.19. Disk makaslama test düzeneği.	32
Şekil 5.20. Disk makaslama test düzeneğine yerleştirilmiş kompozit numune.	33
Şekil 5.21. Disk makaslama testi yapılmış numune.....	33

Sayfa

Şekil 5.22. Farklı içeriklerin dayanıma etkisi.	34
Şekil 5.23. Farklı sinterleme sürelerinin dayanıma etkisi.	34
Şekil 5.24. Cherchar test düzeneği.	35
Şekil 5.25. Mikroskop görüntü örneği ve kullanılan mikroskop.	36
Şekil 5.26. Örnek cherchar hesaplama.	36
Şekil 5.27. Cherchar aşınma testlerinin sonuçları.	37
Şekil 5.28. Numelerin FTIR sonuçları.	38
Şekil 5.29. A1 numunesinin XRD sonuçları.	39
Şekil 5.30. B1 numunesinin XRD sonuçları.	40
Şekil 5.31. C1 numunesinin XRD sonuçları.	40
Şekil 5.32. Y1 numunesinin XRD sonuçları.	40
Şekil 5.33. X1 numunesinin XRD sonuçları.	41
Şekil 6.1. Sodyum feldispat FTIR sonucu.	46
Şekil 6.2. Bor karbür FTIR sonucu.	46
Şekil 6.3. A1 FTIR sonucu.	47
Şekil 6.4. B1 FTIR sonucu.	47
Şekil 6.5. C1 numunesi FTIR sonucu.	48

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Bor mineralinin kullanım alanları.....	5
Çizelge 2.2. Bor karbür özellikleri.....	7
Çizelge 3.1. Feldspat mineralleri grupları.....	12
Çizelge 3.2. Sodyum feldspat özellikleri.....	13
Çizelge 4.2. MMC’lerde yaygın kullanılan matris ve takviye elemanları.....	16
Çizelge 5.1. Doğu ve Zirve ocağı XRF analiz sonuçları.....	18
Çizelge 5.2. Numune İsimleri ve Sinterlenme Koşulları.....	26
Çizelge 5.3. FTIR Spektroskopisine Verilen Numuneler.....	38
Çizelge 5.4. XRF Sonuçları.....	42

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

B_4C	: Bor Karbür
B	: Bor
Na	: Sodyum
Ca	: Kalsiyum
Mg	: Magnezyum
c-BN	: Kübik Bor Nitrür
TiO_2	: Titanyum Dioksit
SiO_2	: Silisyum Dioksit
Al_2O_3	: Aliminyum Oksit
K_2O	: Potasyum Oksit
Na_2O	: Sodyum Oksit
$KAlSi_3O_8$: Potasyum Feldspat
$NaAlSi_3O_8$: Sodyum Feldspat
$CaAl_2Si_2O_8$: Kalsiyum Feldspat
Fe_2O_3	: Hematit
MPa	: Megapaskal
mm	: Milimetre

KISALTMALAR

ASTM : American Society for Testing and Materials (Amerika Deneme ve Malzeme Topluluğu)

Ar-Ge : Araştırma ve Geliştirme

Ür-Ge : Ürün Geliştirme

PMC : Polymer matrix composites (Polimer matrisli kompozitler)

MMC : Metal matrix composites (Metal matrisli kompozitler)

CMC : Ceramic matrix composites (Seramik matrisli kompozitler)

PVD : Physical vapour deposition (Fiziksel buhar biriktirme)

CVD : Chemical vapour deposition (Kimyasal buhar biriktirme)

ISRM : International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering
(Uluslararası Kaya Mekaniği ve Mühendisliği Topluluğu)

UCS : Uniaxial Compressive Strength (Tek Eksenli Basma Dayanımı)

AFNOR: Association Française de Normalization (Fransız Değerlendirme ve Sertifikalandırma Kuruluşu)

XRF : X-ray Fluorescence (X ışını floresansı)

XRD : X-ray Diffraction (X-Işını Difraktometresi)

FTIR : Fourier Transform Infrared Spektrofotometre (Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi)

BÖLÜM 1

GİRİŞ VE AMAÇ

Anorganik malzemelerin şekil verilip sertleşene kadar ısı işleme sokulması sonucu ortaya çıkan ürüne seramik denir. Seramiklerin kullanımı 10 bin yıl kadar öncesine dayanmaktadır. Eski dönemlerde basit günlük rutin hayatta kullanılan kap kacak vb. gibi eşyalarda kullanılırken, günümüzde teknolojinin de gelişmesiyle beraber çok farklı alanlarda kullanıma sahiptir [1]. Gösterdiği üstün özellikler sayesinde kullanım alanları giderek artmakta hatta metalle yapılan malzemelerin yerine de kullanılmaya başlanmıştır [2].

Uçaklar ve helikopterlerin zırhlarında, balistik uygulamalar gibi daha bir çok alanda ileri teknoloji seramik olan bor karbür kullanılır [1]. Bor karbür ısı dayanımı yüksek, yüksek sertlik özelliği öne çıkmasına karşın hem üretim prosesi kompleks hem de maliyeti yüksek bir malzeme olarak öne çıkmaktadır [3]. Ülkemiz adına yerli bir üretim şu anda bulunmamaktadır ve ithal etmektedir. Bu durum milli sermaye için külfet konumundadır.

Sosyom feldspat da bor karbür gibi düşük yoğunluğa sahip, yüksek ergime sıcaklığına sahip bir malzemedir. Ülkemiz önemli feldspat rezervlerine sahiptir. Seramik hammaddesi olan feldspat, seramik sektörünün gelişmesi için önem bir yere sahiptir [4]. Maliyeti bor karbüre göre çok daha az olan feldspat ileri teknoloji seramik yapımında kullanılması gereken bir malzemedir. Bu yüzden hem yüksek sertlikte olması hem ergitildiğinde homojen yapının oluşması için flaks özellik göstermesi hem de kimyasal analizine bakıldığında dayanım sağlayabilecek Al_2O_3 , TiO_2 ve SiO_2 gibi bileşikler bünyesinde bulundurması önemli parametredir [4].

Bir kompozit, makroskopik seviyede birleştirilen ve birbirleriyle çözünmeyen iki veya daha fazla bileşenden oluşan yapısal bir malzemedir. Kompozit sistemlere

örnek olarak çelikle güçlendirilmiş beton ve grafit elyaflarla güçlendirilmiş epoksi verilebilir [5]. Teknolojinin gelişmesiyle beraber, hem artan hammadde fiyatları ve kaliteli cevherler rezervlerinin azalması sonucu hem de çağın gerektirdiği üzere daha ergonomik malzemelerin üretilmesi için, malzemede istenilen karakteristik özellikler elde edilebilmesi adına kompozit malzeme üretimleri yapılmaktadır. Bu nedenlerden dolayı son yıllarda dünyada kompozit malzemelere, araştırma geliştirme faaliyetlerine olan ilgi gittikçe artmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, bor karbür ve sodyum feldspat takviyeli, dayanıklı ve maliyeti düşük seramik matrisli kompozit malzeme üretimi yapmaktır. Her iki takviye katkısının, seramik esaslı kompozit malzemenin mekanik özelliklerine etkisi araştırılacaktır. Bu çalışmada yapılmak istenen geleneksel seramik malzemelerinin ileri teknoloji seramiklere adapte olmasını sağlayıp, başta savunma ve otomotiv sanayisinde, endüstrinin farklı kollarında bir yer edinmesi adına, kullanılabilir üstü özellikli yeni ürün yaratmaktır.

Ülkemizde düşük kimyasal içeriklere sahip ekonomik sebeplerle zenginleştirilemeyen veya uygun zenginleştirme teknolojilerinin mevcut olmadığı cevherlerin stoklarda bekletilmesi yerine farklı kullanım alanları yaratılarak milli kaynaklarımızın verimli bir şekilde kullanılması, hem ülkemiz hem de dünya pazarına yeni katma değerli ürünlerin kazandırılması mümkün olabilecektir. Farklı bir çok iş kolunda kullanılan üstün özellikli ve pahalı bir hammadde olan bor karbürle oluşturacağı kompozitlerle, üstün teknolojiye sahip olabilecek, ekonomik ve teknik fayda sağlayabilecektir.

Hazırlanan bu çalışma, genel itibarıyla literatür taraması ve deneysel çalışmalar olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Hem literatür taraması, hem de deneysel çalışmalar kendi içinde üç konu başlığı altında oluşturulmaya çalışılmıştır. Bunlardan birinci bölüm “Giriş” olup burada çalışmanın kısa özeti verilmiştir. İkinci bölümde, bu çalışmada kullanılan bor minerali ve bor karbür literatür taramasıyla anlatılmıştır. Üçüncü bölümde bu çalışmada kullanılan sodyum feldspat detaylı bir biçimde anlatılmıştır. Literatür taramasının yapıldığı son bölüm olan dördüncü bölümde ise seramik kompozitlerle ilgili literatür çalışması anlatılmıştır.

Beşinci bölümde, çalışmanın amacının belirlenmesinin yanında, deneysel çalışmalarda kullanılan malzemeler, kullanılan metodlar, seramik kompozit parametreleri ve uygulanan testler ve testlerin uygulanış parametreleri tanıtılmıştır.

Çalışmanın altıncı bölümünde, seramik kompozit numunelere uygulanan mekanik testlerden elde edilen veriler, elde edilen grafikler yardımıyla değerlendirilmiştir. Ayrıca, karakterizasyon çalışmaları (FTIR, XRD, XRF) sonucu elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır. Deneysel çalışmalar sonucu elde edilen bulgular, daha önceden yapılmış benzer çalışmalarla sebep-sonuç ilişkisi ile kıyaslanmıştır.

Deneysel çalışmaların nihai sonuçlarının açıklandığı yedinci ve son bölümde, deneysel çalışmalar sonucu elde edilen bulgular, deneysel çalışmanın amacına uygun bir biçimde yorumlanarak sonuçlandırılmıştır.

BÖLÜM 2

BOR MİNERALLERİ

Kimyasal sembolü “B” olan ve atom numarası 5 olan bor elementi 1800’lü yıllarda Fransız kimyagerler Joseph Gay-Lussac ve Louis Thenard tarafından bulunmuştur. Yerküre’nin en dış katmanında toprak, kayalar ve suda yaygın olmakla beraber miktarı ortalama olarak 10ppm civarında görülmektedir. Bor, iki karalı izotopun karışımı olarak 10 ve 11 kütle numarasıyla yer yüzünde bulunur [6]. 2.30-2.46 g/cm³ arasında yoğunluk değerine, yaklaşık olarak 2300°C ergime sıcaklığına sahiptir. Şekilsiz (amorf) katı toz hali koyu-kahverengi olmakla beraber monoklinik kristal hali sarımsı-kahverengidir. Monoklinik kristal hali gevrek ve sert yapıdadır [7].

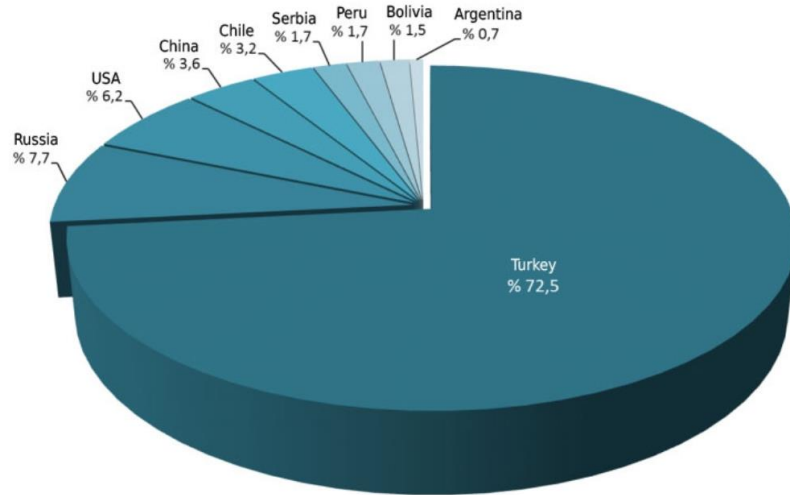
Bor minerallerinin oluşum jeolojisine baktığımızda ise senozik yaşlı sedimanter tabakalar arasında oluşum göstermektedir. Bor olan bölgelerde volkanik kayalar da görülmektedir. Bu volkanik kayalar andezit ve dasitler olarak görülmektedir. Bor mineralleri bir alkali katyonla birleşmiş sulu borattır. Alkali katyonlara Na⁺¹, Ca⁺² ve Mg⁺² örnek olabilir [8]. Şekil 2.1.’de Kristal yapıları bor minerali örneği verilmiştir.



Şekil 2.1. Kristal yapıları bor minerali örneği.

Doğal bileşik olan bor minerallerinin yapısında farklı oranlarda bor oksit mevcuttur. Bu sebeple yer kabuğunda 230'dan farklı bor minerali görülmektedir. Ancak her bor minerali ekonomik olarak üretilmemektedir [9]. Tinkal, Kolemanit, Kernit, Üleksit, Pandermit, Borasit, Szaybelit ve Hidroborasit mineralleri ticari açıdan en önemli olanlarıdır [10].

Türkiye, Rusya ve ABD dünyada önemli bor yataklarına sahip olan ülkelerdir. Bor minarellerinden Tinkal Eskişehir'in Kırka, Kolemanit Kütahya'nın Emet, Balıkesir'in Bigadiç, Bursa'nın Kestelek ilçelerinde ve Uleksit ise Balıkesir'in Bigadiç ilçesinde işletilmektedir [11]. Şekil 2.2.'de Dünya bor rezervi dağılımı verilmiştir.



Şekil 2.2. Dünya bor rezervi dağılımı [12].

Bor mineralleri doğada birçok farklı şekilde bulunmaktadır. Örneğin başka mineral ve kayalarla masif halinde ya da suda çözelti olarak bulunabilmektedir. Bulunduğu şekle ve derinliğe göre üretim yöntemi değişmektedir. Örneğin masif halindeki cevherin bulunduğu şekle ve derinliğe göre açık ocak, kapalı ocak yöntemi ve çözelti madenciliği yöntemi kullanılarak üretilmektedir [13].

Konsantre bor üretiminde bor minerallerinden kırma, eleme yıkama, öğütme ve sınıflandırma gibi işlemler uygulanmaktadır [9].

Bor mineralleri ülkemizde ve dünyada yaygın olarak farklı alanlarda kullanılmaktadır. Son yıllarda borla ilgili ileri teknoloji ürünlerin Ar-Ge ve Ür-Ge çalışmaları giderek artmaktadır. Çizelge 2.1’de bor mineralinin kullanım alanları verilmiştir.

Çizelge 2.1. Bor mineralinin kullanım alanları [6].

Askeri & Zırhlı Araçlar	Kimya Sanayi	Nükleer Sanayi
Cam Sanayi	Makine Sanayi	Otomobil Sanayi
Elektronik Sanayi	Metallürji	Seramik Sanayi
Enerji Sektörü	Patlayıcı Maddeler	Tarım Sektörü
İlaç Sanayi	İnşaat Sektörü	Tekstil Sektörü
Kağıt Sanayi	İletişim Araçları	Tıp
Plastik Sanayi	Koruyucu Malzemeler	Uzay ve Havacılık Sanayi

2.1. BOR KARBÜR

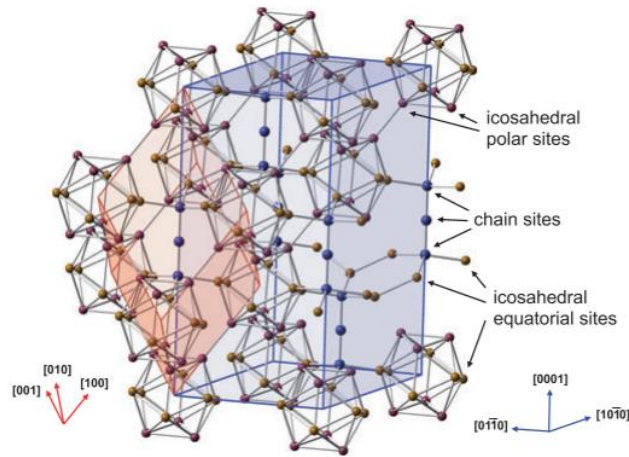
Metalik olmayan, sert ve yüksek teknoloji seramik malzemeler grubunda yer alır [14]. Bor karbür, Tetrabor, siyah elmas şeklinde birden fazla isme sahiptir. [15]. İlk üretimi 1883 yılında yapılmıştır. Ancak B_4C yapısına nihai olarak 1934 yılında ulaşmıştır. Günümüzde bor karbür üretimi $B_{4,3}C$ ile $B_{10,4}C$ arasında gerçekleşirken ticari satılabilir bor karbürün ise orijinal stokiyemtrik yapısına yani B/C 4/1 oranına yaklaşması beklenir. Bor karbürün yapısında bulunan atom miktarı %8,8–20 arasında karbon derişiminde, tek bir faz oluşturmasına bilinirler. Bor karbür yapısı itibariyle en kararlı bileşiklerden biri olması sebebiyle asit ya da bazlar ile tepkimeye girmesi nadirdir [14]. Kuşoğlu (2004)’na göre bor karbür diğer karbürlere kıyasla ergimeden doğrudan buharlaşarak bozulma eğilimi göstermemektedir. Aksine bor karbür ergiyerek sıvı faz oluşumu gözlenen ender bileşiklerdendir. Şekil 2.3.’de Mikronize ve plaka bor karbür örneği verilmiştir.



Şekil 2.3. Mikronize ve plaka bor karbür.

2.1.1. Bor Karbür Kristal Yapısı

Subramanian vd. (2007)'e göre rombohedral, bor karbürün yapı olarak en kabul görenidir. Bor karbürün kafes yapısına baktığımızda 12 atomlu ikosahedra birincil yapı birimleri olarak görülmektedir. Bu ikosahedralik yapı trigonal bir eşkenar dörtgenin köşelerinde (R3m uzay grubu) bulunur. Bu atomların oluşturduğu trigonal simetrik doğrusal zincirler eksen boyunca ikosahedraları birleştirir. Oluşan bu yapı aslında altıgen bir kafes olarak da tanımlanabilir. Şekil 2.4'de görüldüğü üzere altıgen kafesin (0001) eksenini (111) eşkenar dörtgen yönüne karşılık gelmektedir [16].



Şekil 2.4. Bor karbür kafes yapısı [11].

2.1.2. Bor Karbür Mekanik Özellikleri

İleri teknolojiye önemli bir yere sahip olan bor karbür birçok özelliğe sahiptir. Molekül yapısı B₄C olarak bilinmekle beraber çok güçlü kovalent bağ oluşturabilmektedir. Ergime sıcaklığı (2450 °C) yüksek, yoğunluk olarak ise düşüktür (2,52 gr/cm³). Kimyasal formülüne bakıldığında teorik bor içeriği %78,3 olan bor karbür sertlik açısından elmas ve kübik bor nitrürden (c-BN) sonra en sert ileri teknoloji seramik ürünüdür. İleri teknoloji hammaddesi olmasının başlıca sebepleri arasında yukarıda da bahsedildiği gibi yüksek ergime sıcaklığı ve düşük yoğunluk gibi özellikler gösterilebilir. Bunlara ilaveten yüksek sertlik, kimyasal maddelere karşı üstün direnç, üstün mekanik özellikleri eklenebilir [17]. Çizelge 2.2.'de Bor karbür'ün özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.2. Bor karbür özellikleri [18-20].

Renk	Siyah
Görünüm	Kristal katı
Ergime sıcaklığı	2450 °C
Kaynama sıcaklığı	3500 °C
Yoğunluk	2,52 g/cm ³
Molekül ağırlığı	55,25 g/mol
Knoop sertliği	2750 kg/mm ²
Vickers sertliği	27,5-34,3 GPa
Elastise Modülü	441 GPa
Poisson Oranı	0,21
Isı iletkenliği	30 W/m.K
Basma Dayanımı	1300-3400 MPa
Çekme Dayanımı	350 MPa

2.1.3. Bor Karbür Kullanım Alanları

Bor karbürün kullanım alanlarına bakıldığında pek çok farklı alanda kullanıldığı görülmektedir. Bor karbür aşındırıcı bir malzeme olmasından dolayı metallerin ve seramiklerin parlatılması/ düzeltilmesi ve su jeti ile kesilmesi gibi işlemlerde aşındırıcı özelliğinden yararlanılmaktadır. Endüstride, askeri alanda yüksek ısı üretim kapasitesinden dolayı katı yakıt olarak, zırh malzemelerinin yapısında kullanılmakta, aşınmaya dirençli makine parçalarına ihtiyaç olduğu alanlarda ve nötron tutucu olarak nükleer sanayisinde kullanılmaktadır [21].

B₄C düşük yoğunluğa sahip olduğu için toplam ağırlığını etkilemeden üretilecek kompozitin mekanik özelliğini artırması bu bağlamda bir avantaj yaratmaktadır [22]. Bor karbür diğer karbürlere kıyasla sert olmasının yanı sıra dezavantajı da bulunmaktadır. Bu dezavantajın kısıtlayıcı etkisinden dolayı aşındırma sanayisinde yaygınlaşamamıştır. Ancak yine de bağlayıcı kullanılmadığı durumlarda dahi yüksek sıcaklık ve yüksek basınçta kalıplanabilmekte, kaplanabilir daha yumuşak olan karbürlerin önemini arttırmakta ve şekilli parça üretiminin önünü açmaktadır. Başta savunma sanayisi olmak üzere, yüksek derecede sertlik ve dayanıklılık gereken alanlarda kullanımı gittikçe artmaktadır [23,24]. Şekil 2.5.'de Bor karbür'ün yaygın olan kullanım alanları verilmiştir.



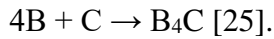
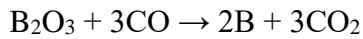
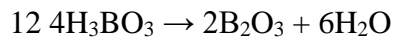
Şekil 2.5. Bor karbür bazı kullanım alanları [17].

2.1.4. Bor Karbür Üretimi

Endüstriyel açıdan bakıldığında ise bor karbür “Karbotermik Yöntem” yani borik asidin elektrik ark fırınında karbon ile redüklenmesi yöntemiyle üretilmektedir [21]. Karbotermik indirgeme reaksiyonu aşağıdaki gibidir:



Bu reaksiyon üç adımda yürür;



Dünya geneline bakıldığında bor karbür üretimi 12.000 - 15.000 ton arasında üretilmektedir. Başta Çin olmak üzere Almanya, Hindistan, Japonya, ABD, Ukrayna, Güney Kore ve İngiltere gibi birçok ülkede de bor karbür üretiminin yapıldığı bilinmektedir. Yüksek kalite bor karbürün ithalat durumu ülkemizde 500 tona yakın olmakla beraber, ayrılan bütçe ise 10 milyon dolara yakındır. Balıkesir’in Bandırma ilçesinde Eti Maden’nin girişimiyle bor karbür üretim tesisi çalışmalarına başlanmıştır [26].

BÖLÜM 3

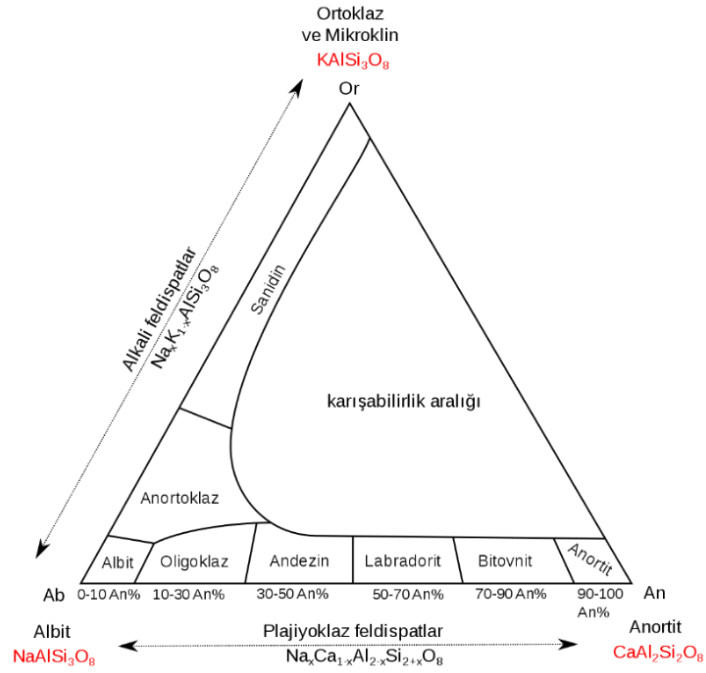
FELDSPATLAR

20 triklinik veya monoklinikten oluşan gruba feldspat denmektedir. Feldspat grubunun başlıca 9 çeşit minerali yer kabuğuna dağılmıştır. K⁺ yani büyük çaplı kation monoklinikte, Na⁺ ise triklinik yapıda daha çok görülmektedir [27].

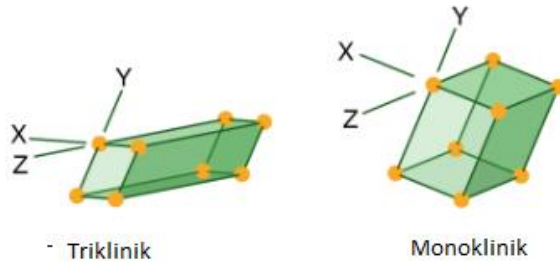
Yer kabuğunun %60'ını oluşturan feldspatlar yapılarındaki minareller sayesinde kayaç oluşumuna yardımcı olurlar. Genel formülleri $XAl_{(1-2)}Si_{(3-2)}O_{(8)}$ olup X mineralin türüne göre sodyum, potasyum veya kalsiyum olabilmektedir. K-feldspat (potasyum feldspat) K₂O değeri %10'dan büyük olanlar, Na-feldspat (sodyum feldspat) yada albit Na₂O oranı %7'den büyük olanlardır. Alümina-silikatlar şeklinde de karşımıza çıkan feldspatlar silikatlar grubunda yer alırlar. Feldspat zonları ve yataklarını oluşturan sebeplerden biri ise magma kütlelerinde farklı şekilde bulunan minerallerin soğuyarak kristalleşmesidir [28].

Magmatik kayalara bakıldığında feldspatların bu kayaç türlerinin temel bileşenini oluşturduğu görülür. Örneğin magmatik kayaç olan granit %60'a yakın oranda feldspat içerir. Kalite olarak üstün feldspat elde edilmek isteniyorsa ve bu üretiminde granitik kayaçlar kullanılacak ise renk verici safsızlıkların (demir, titanyum vb.) ve kuvars türü mineraller ayrılmalıdır. Alkali toplamı ve demir-titan içeriği bu iki şart sağlandığında uygun hale gelmektedir. Daha temiz potasyum feldspat elde edebilmek için sodyum ve kalsiyum gibi içeriklerin de uzaklaştırılması zenginleştirme için önemli faktörlerden biridir. Belirli bir sıcaklık arasında ergimesinden dolayı, seramik reçetesinde bulunan kil ve kuvarsın sıvı faz oluşturmaya daha düşük sıcaklıklarda olanak sağlamaktadır. Pişirme uygularken eritici (flaks) kullanımı aslında seramik oluşumunda camsılaşma derecesini belirlemektedir [29].

Feldspatlar yüksek sıcaklıklarda ve çeşitli derinliklerde oluşabilmektedirler [30]. Yüksek sıcaklıklardaki karışımlarla oluşan feldspatların sınıflandırılması Şekil 3.1 de verilmiştir. Ayrıca Şekil 3.2.'de Triklinik ve Monoklinik kristal sistemleri gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Feldspatların isimlendirilmesi ve aralarındaki ilişki [30].



Şekil 3.2. Triklinik ve monoklinik kristal sistemleri.

3.1. FELDSPAT MİNERALLERİ VE YAPISAL ÖZELLİKLERİ

Feldspatlar kimyasal bileşim ve yapılarına göre iki gruba ayrılmaktadır. Bunlar:

- 1-Plajiyoklaz Feldspatlar
- 2-Potasyum (Alkali) Feldspatlardır.

Alkali ve Plajiyoklaz feldspat grubunda bir çok mineral bulunmaktadır. Çizelge 3.1.'de Feldspat mineralleri grupları verilmiştir.

Çizelge 3.1. Feldspat mineralleri grupları [29,31].

Feldpat Türü	Mineral Adı	Yapısal Bileşim
Alkali Feldspat	Mikroklin	$KAlSi_3O_8$
	Ortoklaz	$KAlSi_3O_8$
	Sanidin	$KAlSi_3O_8$
Plajiyoklaz Feldspat	Albit	$NaAlSi_3O_8$
	Oligoklaz	$(Na,Ca)(Al,Si)_4O_8$
	Andezin	$(Na,Ca)(Al,Si)_4O_8$
	Labrador	$(Ca,Na)(Al,Si)_4O_8$
	Bitovnit	$(Ca,Na)(Al,Si)_4O_8$
	Anortit	$CaAl_2Si_2O_8$

Mikroklin, Ortoklaz ve Sanidinin Çizelge 3.1.'de görüldüğü üzere kimyasal formulleri aynıdır fakat kristal yapıları farklılık göstermektedir.

3.1.1. Feldspat Kullanım Alanları ve Özellikleri

Birçok sanayide önemli bir endüstriyel hammadde olarak kullanılan feldspat, beyaz, gri, pembe, krem ve kırmızı gibi renklerde görülmektedir. Görünümü ise düzgün olmamakla beraber parlaktır. Feldspat türleri içerdiği alkali türü baz alınarak kategorilendiğinde en yaygın olanları potasyumlu feldspat, sodyum feldspat ve anortit feldspattır. Kil, kaolen, kuvars, feldspat maddelerinin birleşimiyle seramik oluşmaktadır [32]. Feldspat mineralleri seramik üretiminde yıllardır kullanılmaktadır [33]. Potasyumlu feldspat seramik sektörü için en önemlisidir [32].

Feldspatlar özel bir erime noktasına sahip değildirler. Fakat belirli sıcaklık aralığında erime göstermektedir. Belirli sıcaklık arasında erime özelliğinden dolayı içinde kil ve kuvarsın bulunduğu seramik karışımının homojenize olmasına, eridiğinde sıvı faz oluşumu göstererek sıcaklığın düşürülmesinde rol oynadığı için seramik reçetesinde önemli rol oynar. Sodyum feldspat Na_2O , Fe_2O_3 ve TiO_2 içeriğine göre ayrı kalitelere ayrılmaktadır ve bu içeriklere göre farklı zenginleştirme metodları uygulanmakta, farklı spektlerde malzeme üretimi gerçekleştirilmektedir. Sodyum feldspatın kullanım

alanlarına bakıldığında tane boyutu ince olduğunda boya, plastik ve kauçuk gibi alanlarda dolgu malzemesi, seramik ve cam sanayisinde sinterlemede flaks görevini üstlenmektedir. Albit içerdiği Al_2O_3 ve Na_2O içeriklerine göre farklı davranışlar sergilemektedir. İçeriğinde ki Al_2O_3 kimyasal direnç ve sinterleme kararlılığı oluşmasını sağlarken, düşük sıcaklıklarda eriyebilme özelliği Na_2O sayesinde gerçekleşmektedir [33]. Çizelge 3.2.'de Sodyum feldspat özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.2. Sodyum feldspat özellikleri [28].

Renk	Renksiz, yarı saydam, beyaz, camı, inci,
Yoğunluk	2,60-2,62 g/cm ³
Mohs Setliği	6-6,5
Ergime sıcaklığı	1150-1225 °C

3.1.2. Feldspat Üretimi

Ülkemizde feldspat yatakları üç bölgede görülmektedir. Bunlardan ilki Batı'da ki Aydın ve Muğla illerindeki ihracat yapılan (ya da ekonomiye katkı sağlayan) ekonomik kategorisine dahil edilebilir yataklar, ikincisi üretim yapılabilen ve yine Batı'da yer alan Çine-Milas Yatağan-Bozdoğan yataklarıdır [34].

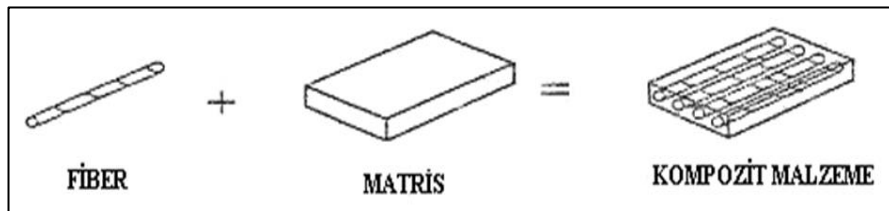
Feldspat, fayans ve seramik gibi malzemelerin üretiminde temel hammadde olarak kullanılmakta ancak kullanılan feldspatın safsızlık derecesi fayans ve seramiğin üretimi ve kalitesini etkilemektedir. Ülkemiz sodyum feldspatta (albitte) rezerv ve üretimde dünya sıralamasında önemli bir yere sahiptir. Türkiye seramik sektörü açısından, ürünlerin kalitesinde ve üretilen miktar açısından Avrupa ülkelerine yaklaşmış durumdadır. Türkiye, Ortoklas (potasyum feldspat) sadece granitik ve siyenik kayalardan üretim yapılabilecek kadar büyük rezervlere sahiptir. Onun dışında büyük rezervlere sahip değildir. 2000 yılından beri yapılan albit cevheri üretimiyle ülkemiz en büyük feldspat üreticisi konumuna yerleşmiştir [35].

BÖLÜM 4

KOMPOZİT MALZEMELER

Kompozit malzeme iki veya daha fazla malzemenin bir araya gelmesiyle sentezlenen ve oluşan bu yeni malzemede fiziksel ve kimyasal olarak farklı özellikler gösteren malzeme grubudur. 1960’larda kompozit malzemelerle ilgili çalışmalar başlamıştır. Kompozitlerin mühendislik uygulamaları açısından önemi hafif olmaları ve yüksek mekanik özelliklerinden kaynaklanmaktadır. İki fazdan meydana gelir; matris malzeme tüm malzemeleri bir arada tutar ve malzemenin katı durmasını sağlar, böylece fiberlerin bireysel hareket etmesine engel olmaktadır. Kullanılan fiber malzemeler takviye malzemeleridir ayrıca kompozite rijitlik, dayanım ve diğer mekanik özellikleri sağlar [36]. Kompozit malzemeler uygun şekilde seçilerek, çeşitli özelliklere göre uyarlanabilir. Bu özellikler; bileşenleri, oranları, dağılımları, morfolojileri, kristalografik dokuları, yapı ve bileşenler arasındaki arayüzün bileşimi. Bu güçlü uyarlanabilirlik sayesinde, kompozit malzemeler, havacılık, otomobil, elektronik, inşaat, enerji, biyomedikal ile ilgili teknolojilerin ihtiyaçlarını karşılamak için üretilir. Sonuç olarak kompozit malzemeler en çok kullanılan, mühendislik malzemeleridir [37].

Kompozit malzemeler kullanılan takviye ya da matris malzemesine göre sınıflandırılmaktadır [38]. Fiber ve matris bileşeninden oluşan kompozit Şekil 4.1.’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Kompozit malzeme bileşenleri

4.1. POLİMER ESASLI KOMPOZİTLER (PMC)

Polimer esaslı kompozitler (PMC), kendi içinde iki sınıfa ayrılır, bunlar plastik polimer ve elastomerlerdir. Plastik polimerler kendi arasında termoset ve termoplastik polimer olarak adlandırılır. Termoset matrisli kompozitler genel olarak çok daha yaygındır, ancak günümüzde termoplastik matris kompozitlerin hızlı gelişimi odak noktasıdır. Termoplastik kompozitlerin, termoset matrisli kompozitlerle karşılaştırıldığında daha düşük üretim maliyeti ve daha iyi performansa sahiptir [37].

Polimer matrisli kompozitlerin imalatı, ister termoset ister termoplastik olsun, metal matrisli, karbon matrisli ve seramik matrisli kompozitlere göre çok daha kolaydır. Bunun nedeni, polimer matrisli kompozitleri imal etmek için gereken nispeten daha düşük işlem sıcaklıklarıdır [37].

Lifli polimer matrisli kompozitler liflerinin kısa veya sürekli olmasına göre sınıflandırılabilirler. Sürekli liflerin kısa liflere göre, kompozitin mekanik özellikleri, elektrik özdirenci, termal iletkenlik gibi özelliklerde çok daha etkilidir [37].

Polimer matrisli kompozitler yaygınlık açısından bakıldığında en çok kullanılan termoset matrislerdir. Termoset matrislere örnek vermek gerekirse polyeşter, poliüretan, fenolik, epoksi, silikon ve yüksek sıcaklık reçineleridir [39].

Sanayi alanına bakıldığında ise termoplastik matrisli kompozitlerde en sık kullanılanlar poliamid (nylon), polikarbonat, polipropilen, polietilen, polivinilklorür, poliasetaldir, akrilik şeklinde sıralanabilir [40].

4.2. METAL ESASLI KOMPOZİTLER (MMC)

Metal esaslı kompozitler, arayüzey tarafından birbirinden ayrılan, fiziksel ve kimyasal olarak birbirinden farklı fazın; yumuşak metal matris ile matris içerisinde bulunan takviyenin oluşturduğu malzeme grubuna verilen isimdir [41,42].

Metal matrisli bir kompozitin işlenmesi, yüksek işleme sonucu elde edilen polimer matristen daha pahalı ve daha yüksek sıcaklık gereklidir [37].

Üstün mekanik ve fiziksel özellikleri olan metal bazlı kompozitlerin bazı özellikleri şunlardır; yüksek sertlik, aşınma dayanımı, düşük termal genleşme, sürtünme katsayısı, yüksek termal iletkenlik gibi ihtiyaçları karşılayan niteliklere sahiptir. Diğer malzemelere kıyasla farklı alanlarda da kullanılabilmesi dolayısıyla artı özelliğe sahiptir. Buna ek olarak uygun takviye ve matris malzemesiyle işlevselliği artırılabilir ve istenilen amaca uygun tasarlanabilir [41,42].

Çizelge 4.1.'de metal esaslı kompozitlerde yaygın olarak kullanılan matris ve takviye elemanları verilmiştir. Takviye elemanları karbon esaslı malzemeler içeririr [43,44].

Çizelge 4.1. MMC'lerde yaygın kullanılan matris ve takviye elemanları.

Matris	Takviye Elemanı
Al	Al ₂ O ₃
Ti	SiC
Mg	B ₄ C
Cu	TiB ₂
Mo	TiC
Ni	WC
Co	W
Fe	MgO

4.3. SERAMİK ESASLI KOMPOZİTLER (CMC)

Seramik esaslı kompozitler bilinen en eski kompozit malzeme olarak bilinir. ABD, Fransa, Japonya gibi gelişmiş ülkelerde devlet ve sanayi kurumları, seramik bazlı kompozitler için yoğun bir Ar-Ge çalışması yapmıştır. Bu çalışmaların amacı, çok yüksek sıcaklıklar için yapısal malzemelerin önemini, genel teknolojik uygulamalarda göstermek istediler [45].

Seramiklerin yapısına bakıldığında hem kristal hem de kristal olmayan bileşikler şeklinde görülmektedir. Seramiklerin alt sınıflarından biri olan camlar kristal olmamaklar beraber, cam hariç geriye kalan seramikler kristal yapılıdır [46].

Seramik esaslı kompozitlerin endüstride yaygın olarak kullanılma sebepleri arasında yüksek sıcaklık ve zorlu şartlara karşı dayanıklı olmaları gösterilebilir. Seramik kompozitler, gelişmiş seramik kompozitlerdeki liflerin varlığı çatlak açılması, lif-matris arayüzeyinin kayması, sıyrılma gibi enerji harcanmasını sağlayan olayları da birlikte getirir ve bileşenlerine göre kompozitin tokluğunu artırmaktadır [47]. Seramik bazlı kompozit malzemeler yüksek sertliğe sahip oldukları için zırh malzemesi olarak endüstri de kullanılmaktadır [48]. Bunun yanısıra seramik kompozitler elektronikte, yarı iletken teknolojisinde ve katı cisim yakıt elemanı olarak kullanılır. Aktif lehimli veya difüzyon kaynaklı kombinasyonları olan seramik kompozitler implantlarda kullanılır.

PVD (physical vapor deposition) ve CVD (chemical vapor deposition) kaplamalar metal- seramik veya seramik kaplama örnekleridir. Karbon fiberle güçlendirilmiş plastikler havacılık, spor malzemelerinin yapısal bileşenlerinde kullanılır [49].

BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada kullanılan B₄C (bor karbür) numunesi Nevşehir Teknopark'da bulunan BC Teknoloji Firmasından satın alma yoluyla temin edilmiştir. Sodyum feldspat numunesi de Muğla-Milas Bölgesi feldspat ocaklarından alınmıştır.

5.1. NUMUNE HAZIRLAMA

Sodyum feldspat numunesi 2 farklı ocaktan alınmıştır. Numune isimleri sırasıyla Doğu ve Zirvedir. Doğudan alınan sodyum feldspat içerdiği yüksek Al₂O₃ ve Na₂O, aynı zamanda düşük Fe₂O₃ içeriği ile cam kalite ürün olarak geçmekte, cam sanayisinde kullanılmaktadır. Zirveden alınan ocakta sfenli zonlar bulunmaktadır. Bu titanca zengin sfenli zondaki sodyum feldspatları görünüm olarak pembeleştirmekte, seramik içerisinde kullanıldığında seramiğin istenilen renk spektlerinin dışına çıkmasına neden olmaktadır. Bu zonlardan çıkan cevherler şuanlık ocaklarda iç stok olarak beklemektedir. İki ocaktan alınan numune de kimyasal kompozisyonunu belirlemek için XRF (X-ray fluorescence) ile analiz edilmiştir. Çizelge 5.1.'de Doğu ve Zirve Ocağı XRF analiz sonuçları verilmiştir.

Çizelge 5.1. Doğu ve Zirve ocağı XRF analiz sonuçları

Numune Adı	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
Doğu	68,71	18,78	0,069	0,332	0,69	0,04	11,00	0,33
Zirve	68,41	18,33	0,535	0,451	1,16	0,52	9,68	0,86

Çizelge 5.1.'den görüldüğü üzere Zirve numunesinde yüksek Fe₂O₃, TiO₂, SiO₂ içeriğine sahip olmasına rağmen doğudan daha düşük Na₂O içeriğe sahiptir.

Na_2O içeriğinin yüksek olması malzemeye kırılganlık kazandırmakta ve daha düşük sıcaklıklarda flaks özellik göstermesine yardımcı olmaktadır. Çalışılan kompozitte kullanılan feldspat numunesi zirve ve doğunun harmanıdır. Alümina (Al_2O_3) ve Rutil (TiO_2) ileri seramik malzemeler içerisinde en yüksek fayda-fiyat oranına sahip olan malzemelerden bazıları oldukları bilinmektedir. Seçilen numuneler mekanik özelliklerine katkı vermesi adına yüksek alimüna, rutil ve silis içeriklidir. Şekil 5.1.'de numunenin alındığı Zirve Ocağı cevher aynasının görseli verilmiştir.



Şekil 5.1. Zirve ocağı feldspat aynası.

Konveksiyonel seramik üretiminde feldspatların pişme testleri önem teşkil etmektedir. Sodyum içeriği ve içerisindeki safsızlıklara göre pişme sonucu farklı renklerde olabilmekte, ne kadar temiz bir sodyum feldspatsa o kadar beyaza yakın bir pişme

sonucu beklenmektedir. Doğu, Zirve ve Harman numunelerinin pişme renklerine de bakılmıştır. Şekil 5.2.'de pişme sonuçları verilmiştir.



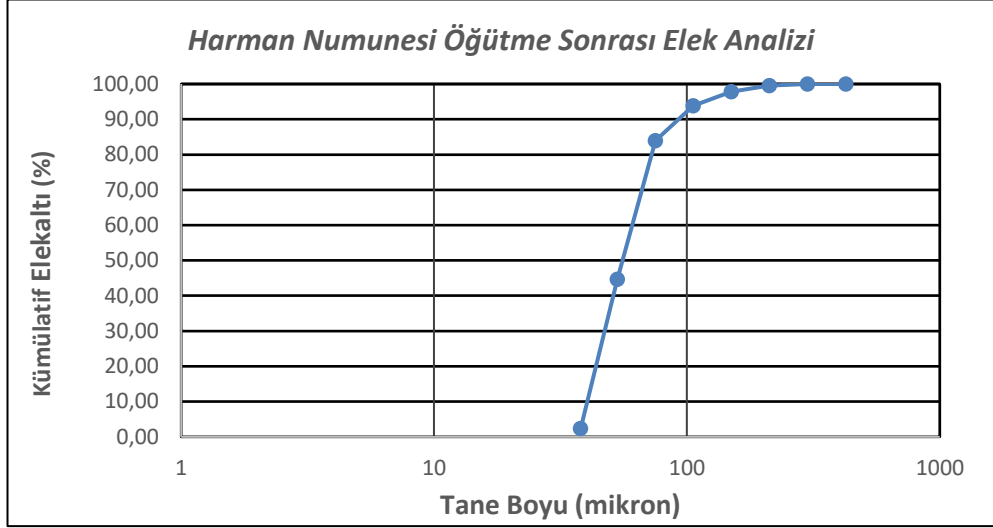
Şekil 5.2. Pişme sonuçları.

Numune hazırlama işlemi standartlara uygun, akredite laboratuvarlarda yapılmıştır. İlk olarak tüvenan cevher çeneli kırıcı P100 (yüzde yüzünün geçtiği elek açıklığı) 2.36 mm olacak şekilde kaba olarak kırılmış, her kırma işleminde 2.36'lık elekten geçirilmiş ve elek üstü tekrar kırıcıya beslenmiştir. Daha sonra numune merdaneli kırıcıda P80 (yüzde sekseninin geçtiği elek açıklığı) 1.18 mm olacak şekilde tekrar kırılmıştır.

P80 1.18 mm'e kırılan cevher, 10 dakika seramik bilyalı değirmende öğütülmüştür. Malzemenin kontamine olmaması adına seramik bilyalı değirmen kullanılmıştır. Ardından cevheri mikronize boyutlara indirmek için fast mill (halkalı öğütücü) kullanılmıştır. Öğütülen cevherden numune bölücü yardımıyla dörtlenerek temsili numune alınmış, Vlachopoulos ve Forbes (2016) yaptığı çalışmalara göre ASTM D6913'e göre yaş elek analizine tabi tutulmuştur.

ASTM E11'e göre elek analizinde Tyler Serisi elekler kullanılmıştır. Her bir elek bir alttakinin yaklaşık $\sqrt{2}$ (1.414) katıdır. Sırasıyla 425, 300, 212, 150, 106, 75, 53 ve 38 mikron açıklıklı elekler kullanılmıştır. Elek altına geçen miktarlar etüvde 24 saat 80 santigrat derecede kurutulup tartıldıktan sonra hesaplanmıştır. Toplam beslenen numuneye göre yüzde ağırlıkları bulunmuş, bunun sonucunda kümülatif elek altına geçen malzeme miktarı hesaplanmıştır. Sonuç olarak kümülatif elek altına geçen

malzemeye karşılık elek açıklığının grafiği çizilmiştir. P80 elde edilen grafik sonucu hesaplanmıştır. Şekil 5.3’de yapılan elek analizi sonucu verilmiştir.



Şekil 5.3. Harman numunesi elek analizi sonucu.

Ünal Makina Yaş Elek sallama cihazında ASTM standartlarına göre yapılan elek analizi sonucunda, P80 72.80 mikron çıkmıştır. Şekil 5.4.’de kullanılmış laboratuvar ölçekli çeneli kırıcı, Şekil 5.5.’de laborauvar ölçekli merdaneli kırıcı ve Şekil 5.6.’da seramik değirmen ve halkalı öğütücü verilmiştir.



Şekil 5.4. Laboratuvar ölçekli çeneli kırıcı.



Şekil 5.5. Laboratuvar ölçekli merdaneli kırıcı.



Şekil 5.6. Laboratuvar ölçekli seramik değirmen ve halkalı öğütücü

BC Teknolojiden alınan bor karbüre herhangi bir numune hazırlama işlemi yapılmamış, mikronize olarak gelmiştir. Temin edilen bor karbür P80 91 mikron ve %95 B₄C içeriğe sahiptir. Fiziksel özelliklerine bakıldığında görünüşünün koyu gri, yoğunluğunun 2.52 g/cm³, ergime sıcaklığının ise 2330-2350°C olduğu firma tarafından belirtilmiştir.

5.2. SİNERLEME

Diğer üretim metodlarına nazaran toz metalurjisi ile mikronize boyutlarda ve istenilen özelliklerde hızlı üretim yapılabilmektedir. Sağladığı ekonomik avantajlarla ülkemizde de yaygın bir şekilde kullanım alanı artmakta, gelişim göstermektedir [50]. Metaller, seramikler, alaşım gibi bir çok malzeme toz metalurjisinde kullanılmaktadır. Sinterleme toz metalurjisinde önemli bir yere sahip olmakla beraber preslenerek ısıl işleme sokulması prosesidir [51]. Isıl işlem sonucu malzeme mukavemet kazanmaktadır [52]. Endüstride toz metalurjisi geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bunun başlıca nedenleri ekonomik şartlarda üretim, üretilecek parçaların şekil durumu, yüksek ergime sıcaklığı gibi parametrelerdir. Özellikle şekil verilemeyen yüksek ergime sıcaklığındaki seramikler, refrakterler ve polimerlerde sinterleme yardımı ile üretilebilmektedir. Sinterleme yapmanın 3 yolu vardır. Bunlar; katı-faz sinterleme, sıvı-faz sinterleme ve basınçlı sinterlemedir [53].

Numune hazırlaması yapılan B_4C ve sodyum feldspat farklı oranlarda kütlece karıştırılmış ve 40 MPa altında 5 dakika preslenmiştir. Bu peletlerin herbirine farklı bir numune ismi verilmiştir. Şekil 5.7.'de Baz Makina'nın Pres Makinası verilmiştir.



Şekil 5.7. Pres makinası.

Basılan peletlerde numunelerin homojen dağılması adına karışım, Baz Makina'nın laboratuvar tipi değirmeni kullanılarak sağlanmıştır. Şekil 5.8.'de kullanılmış kül fırını ve Şekil 5.9.'da homojenizasyon için kullanılan Baz Makina markalı değirmen verilmiştir. Hazırlanmış 15 peletin herbiri Protherm markalı fırına beslenmiştir.



Şekil 5.8. Numunelerin beslendiği kül fırını.



Şekil 5. 9. Homojenizasyon için Kullanılan Değirmen

Platin krozelerle yapılan ilk testler olumlu sonuçlanmamış, krozeleri delmiştir. Platin krozelere alternatif olarak magnezyum tablalar kullanılmıştır. Magnezyum tablalarda numuneler desikatörde soğutulduktan sonra yapıştığı gözlenmiştir. Buda numuneleri çıkarırken kırılmasına yada numunenin arkasına tablanın parçalarının kalmasına neden olmuştur. Son olarak metal plaka denenmiş, numuneyi kolay ve hasarsız alma konusunda başarıya ulaşılmıştır. Şekil 5.10.'da testler esnasında oluşan güçlüklerin örnekleri verilmiştir.



Şekil 5.10. Platin kroze ve magnezyum tabla ile testler

Kül fırınına beslenen numuneler 30,45,60,90,120 dakika aralıklarında ve 1000°C derecede sinterlenmiştir. Kül fırını kademeli sıcaklık artışı yerine, direk 1000 °C derece başlatılmıştır. Fırından çıkan numunelerin nemlenmemesi adına desikatör yardımıyla soğutulmaya bırakılmıştır. Nihai ürünlere bakıldığında gevrek ve sert bir yapıda olduğu gözlenmiştir. Görünüş olarak da parlak, pürüzsüz ve peletlendikten sonraki antrasit olan renginin siyahlaştığı görülmüştür. Çizelge 5.1’de numunelerin isimleri ve sinterleme koşulları verilmiştir.

Çizelge 5.2. Numune İsimleri ve Sinterlenme Koşulları

Numune İsmi	İçerik (%)	Sinterleme Süresi (dakika)	Sinterleme Sıcaklığı (°C)
A1	%50 (Albit) %50 (B ₄ C)	30	1000
A2	%50 (Albit) %50 (B ₄ C)	45	1000
A3	%50 (Albit) %50 (B ₄ C)	60	1000
A4	%50 (Albit) %50 (B ₄ C)	90	1000
A5	%50 (Albit) %50 (B ₄ C)	120	1000
B1	%25 (Albit) %75 (B ₄ C)	30	1000
B2	%25 (Albit) %75 (B ₄ C)	45	1000
B3	%25 (Albit) %75 (B ₄ C)	60	1000
B4	%25 (Albit) %75 (B ₄ C)	90	1000
B5	%25 (Albit) %75 (B ₄ C)	120	1000
C1	%75 (Albit) %25 (B ₄ C)	30	1000
C2	%75 (Albit) %25 (B ₄ C)	45	1000
C3	%75 (Albit) %25 (B ₄ C)	60	1000
C4	%75 (Albit) %25 (B ₄ C)	90	1000
C5	%75 (Albit) %25 (B ₄ C)	120	1000

Çizelge 5.1’de verilen 15 adet numunelere ek olarak 7 tane daha pelet diğer 15 tane ile aynı şartlarda disk makaslama ve cherchar testlerinde kullanılmak üzere üretilmiştir. Şekil 5.11.’de sinterlenmiş nihai ürünler verilmiştir.



Şekil 5.11. Sinterlenmiş numunelerin makro görüntüleri.

Tüm numuneler 3 santimetrelik çapta ve 1 santimetre yüksekliğindedir. Özellikle B grubundaki ürünlerin hem daha gevrek hemde yüzeylerinin pürüzlü olduğu gözlenmiştir. A ve C grubundaki ürünlerin yüzeyleri oldukça pürüzsüzdür.

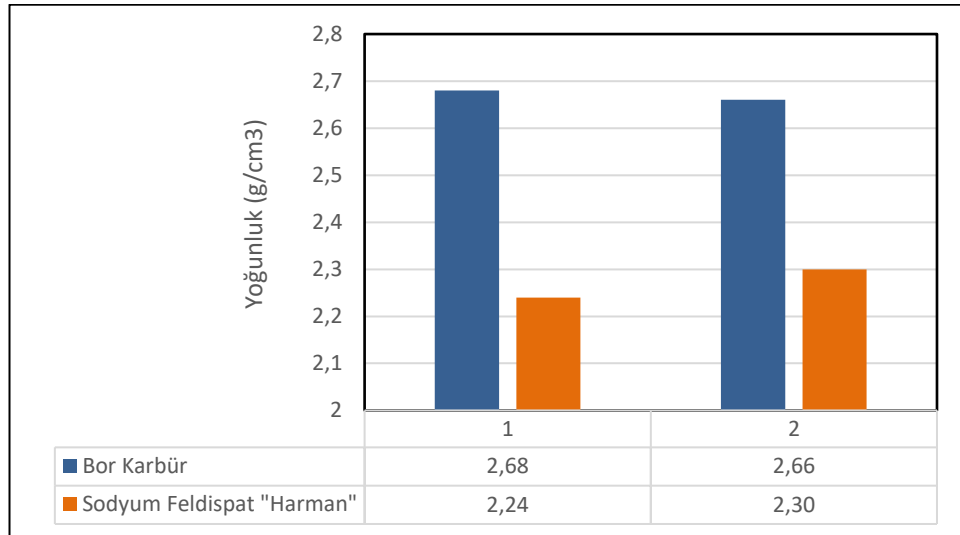
5.3. YOĞUNLUK VE POROZİTE TESTİ

Fiziksel bir özellik olan yoğunluk, bilindiği üzere kütlenin hacime oranıdır. Hafif olmasında dolayı birçok alanda kullanılan bor karbürün bu özelliğinin, oluşturulacak kompozitede olması istenmektedir. Bu bağlamda kompozitte kullanılan bor karbür ve harman sodyum feldspat numunesi üstünde piknometrik (gerçek) yoğunluk çalışması yapılmıştır. Sinterleme işleminden sonra oluşan ürünlere de hem yerinde yoğunluk testi yapılmış hemde gaz piknometresi ile gerçek yoğunluklarına bakılmıştır.

Kompozit numunelerinin gözeneklerini ölçmek için porozite hesaplaması yapılmış, bunun sonucunda porozite oranı hesaplanmıştır. Porozite oranı hesaplaması yapılırken kullanılan eşitlik;

$$\text{Porozite Oranı (\%)}: (1 - (\text{Yerinde Yoğunluk} / \text{Gerçek Yoğunluk})) * 100 \text{ [54].}$$

Temsili alınan bor karbür ve sodyum feldspat numunesine gerçek yoğunluk çalışmalarında paralel ikişer tane test yapılmıştır. Paralel yapılmasının amacı hem sinterlenecek numunenin yoğunluklarından emin olunması hemde standart gereğidir. Şekil 5.12.'de bor karbür ve sodyum feldspat numunelerinin piknometrik testlerinin sonucu verilmiştir. Şekil 5.13.'de bor karbür ve feldspata yapılan piknometrik yoğunluk testleri verilmiştir.

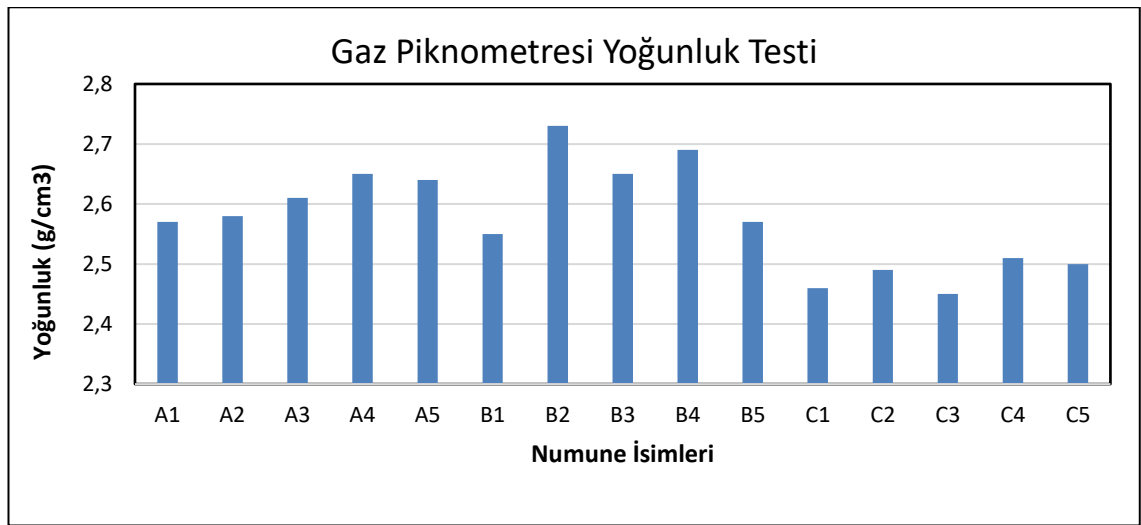


Şekil 5.12. Bor karbür ve sodyum feldspat gerçek yoğunluk sonuçları.



Şekil 5.13. Piknometre ile yapılan yoğunluk testleri.

Sinterlenmiş ürünlerin hepsine gerçek yoğunluk (AccuPyc 2 1340 gaz piknometresi), yerinde yoğunluk (Arşimet Yoğunluk Ölçer) yapılmıştır. Çıkan yoğunluk sonuçlarına göre poroziteleri hesaplanmıştır. Yapılan tüm testler tekrarlı yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Gerçek yoğunluk ve porozite sonuçlarına bakıldığında düşük yoğunluklarıyla C grubundaki ürünler öne çıkmış ve bu grupta en düşük porozite oranına sahip kompozitler olduğu görülmüştür. Şekil 5.14.'de gaz piknometresi ile yapılan yoğunluk testlerinin sonuçları verilmiştir. Raheem (2019) yaptığı çalışmalara göre yapılan tüm yoğunluk ve porozite testleri ASTM C20-00 standartına uygun yapılmıştır. Şekil 5.15.'de ACCUPYC 2 1340 modeli gaz piknometresi ekipmanı verilmiştir.

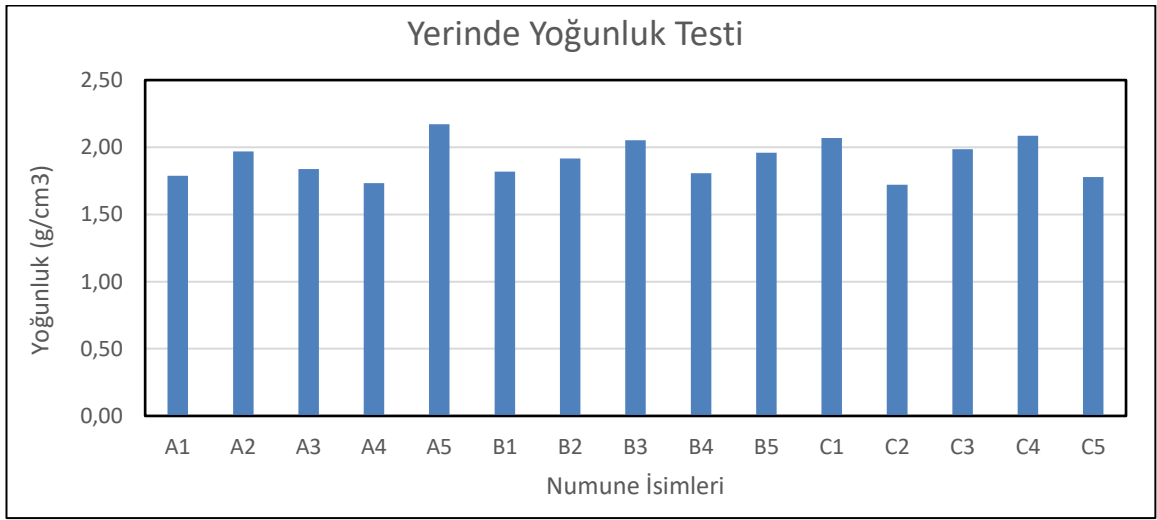


Şekil 5.14. Gaz piknometresi ile yapılan gerçek yoğunluk testi sonuçları.



Şekil 5.15. ACCUPYC 2 1340 ile yapılan gerçek yoğunluk testleri.

Ürünlerin porozite oranlarını karşılaştırmak için yerinde yoğunluk (arşimet/bulk yoğunluğu) testleri yapılmıştır. Hassas terazinin altına takılan bir kanca vasıtasıyla sepete koyulan numune, su dolu kovaya daldırıldıktan sonra kendi hacmi kadar su taşımakta ve bu değer hassas terazi yardımıyla okunmaktadır. Gerçek yoğunluğunun aksine boşluklarda yoğunluk hesabına dahil olmakta o yüzden gerçek yoğunluğundan farklı değerler bulunmaktadır. Şekil 5.16.'da yerinde yoğunluk test sonuçları verilmiştir. Şekil 5.17.'de kullanılmış yerinde yoğunluk ölçme düzeneği verilmiştir.

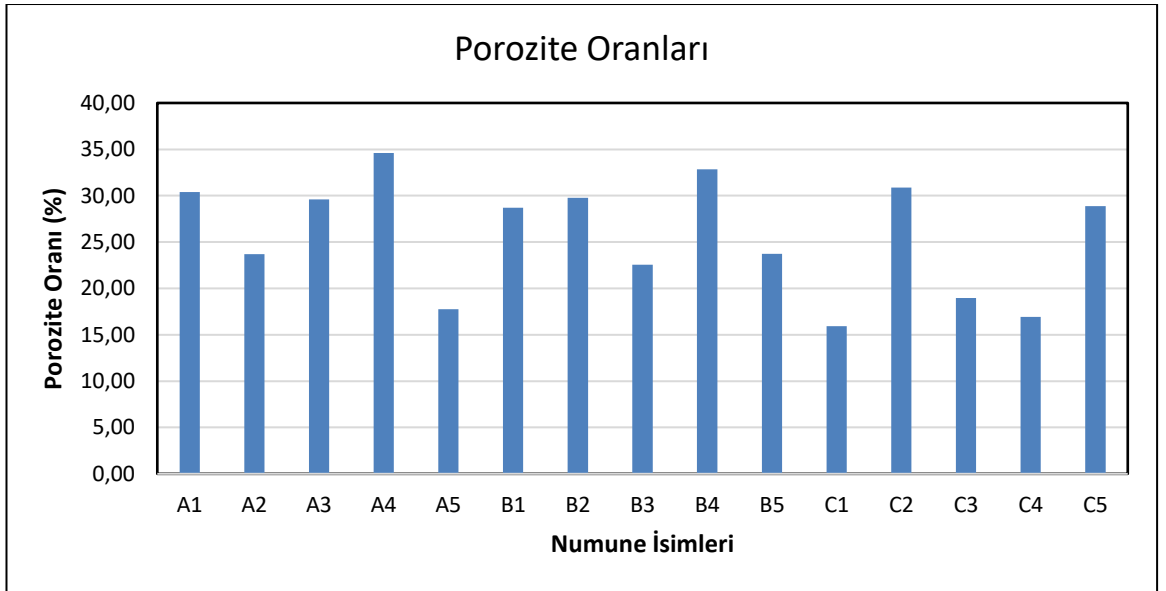


Şekil 5.16. Yerinde yoğunluk testi sonuçları.



Şekil 5.17. Yerinde yoğunluk test düzeneği.

Porozite oranları karşılaştırıldığında A5, C1 ve C4 ve numuneleri diğerlerine oranla daha az çıkmıştır. Şekil 5.18.'de hesaplamalar sonucunda porozite oranları verilmiştir.



Şekil 5. 18. Porozite oranları.

5.4. DİSK MAKASLAMA TESTİ

Dayanım mühendislik özelliklerinin belirlenmesinde ve malzelerin uygunluğunun karakterize edilmesinde kullanılan önemli bir husustur. Disk makaslama testi tek eksenli dayanım ölçülürken (UCS) kullanılan uluslararası bir metottur [55]. Üretilen numunelerin silindirik ve yüksekliğinin az olmasının (çap/boy oranı) sonucunda ASTM, TÜRKAK vb gibi standartlara uygun olmaması ve uygun ölçekte presin bulunamaması gibi etkenlerden dolayı disk makaslama testi tercih edilmiştir. Testler ISRM standartlarına göre yapılmıştır. Numuneler tablaya yerleştirildikten sonra hidrolik kol yardımıyla sıkıştırılmaya başlatılmıştır. Ürünler hat oluşturulacak şekilde kırıldıktan sonra göstergeden değerleri okunmuştur. Okunan kN değerlerinden tek eksenli dayanımları eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır;

$$BPI_c: 3499D^{-1.3926} * t^{-1.1265} * F_{tD}$$

$$UCS: 5.1 * BPI_s$$

BPI: Blok kuvvet indeksi

t: Kalınlık

F_{tD} : kN

D: Çap

[55].

Şekil 5.19.'da Disk Makaslama Test Düzeneği, Şekil 5.20.'de Disk makaslama test düzeneğine yerleştirilmiş kompozit numune ve Şekil 5.21.'de Disk makaslama testi yapılmış numune verilmiştir.



Şekil 5.19. Disk makaslama test düzeneği.

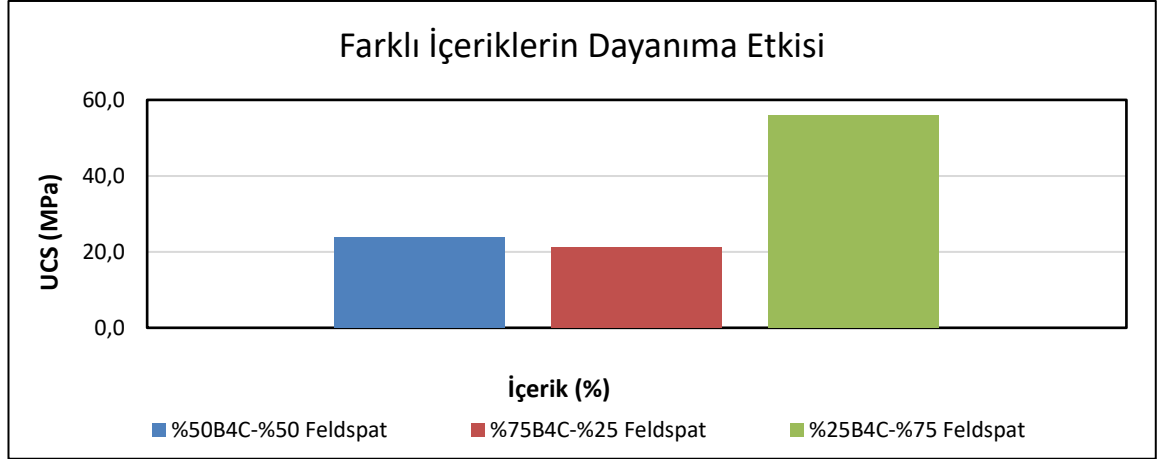


Şekil 5. 20. Disk makaslama test düzeneğine yerleştirilmiş kompozit numune.



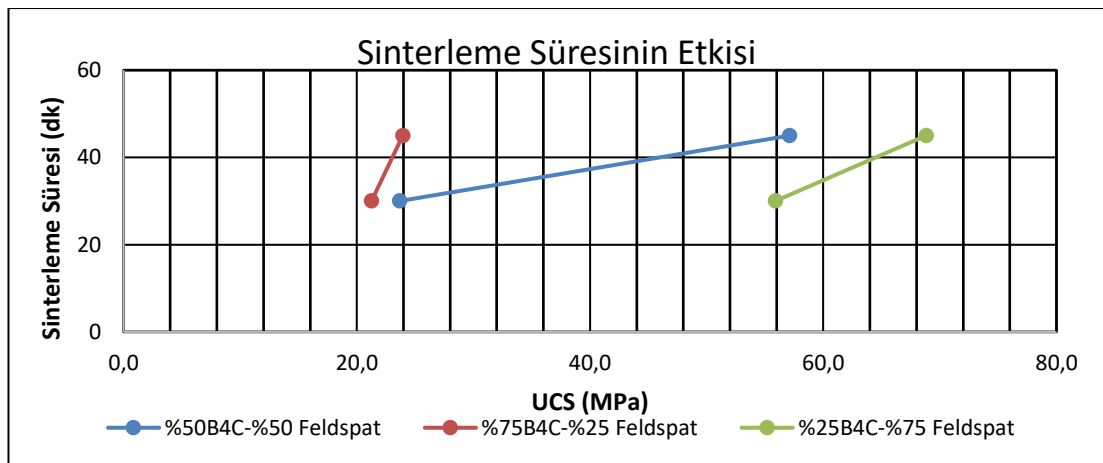
Şekil 5.21. Disk makaslama testi yapılmış numune.

Üretilen farklı içeriklere sahip kompozit numunelere aynı sinterleme süresinde disk makaslama testi yapılmış ve UCS değerleri hesaplanmıştır. Yapılan testler sonucunda içeriğin dayanıma etkisi incelenmiştir. Şekil 5.22.'de disk makaslama testlerinin sonuçları verilmiştir.



Şekil 5.22. Farklı içeriklerin dayanıma etkisi.

%50 B₄C-%50 feldspat, %75 B₄C-%25 feldspat ve %25 B₄C-%75 feldspat içeriğine sahip numunelere 30 ve 45 dakika sinterleme sonucu tek eksenli basma dayanımı testi yapılmış ve karşılaştırılmıştır. Şekil 5.23.'de 30 ve 45 dakika sinterleme süreleri arasında oluşan etki gösterilmiştir.



Şekil 5.23. Farklı sinterleme sürelerinin dayanıma etkisi.

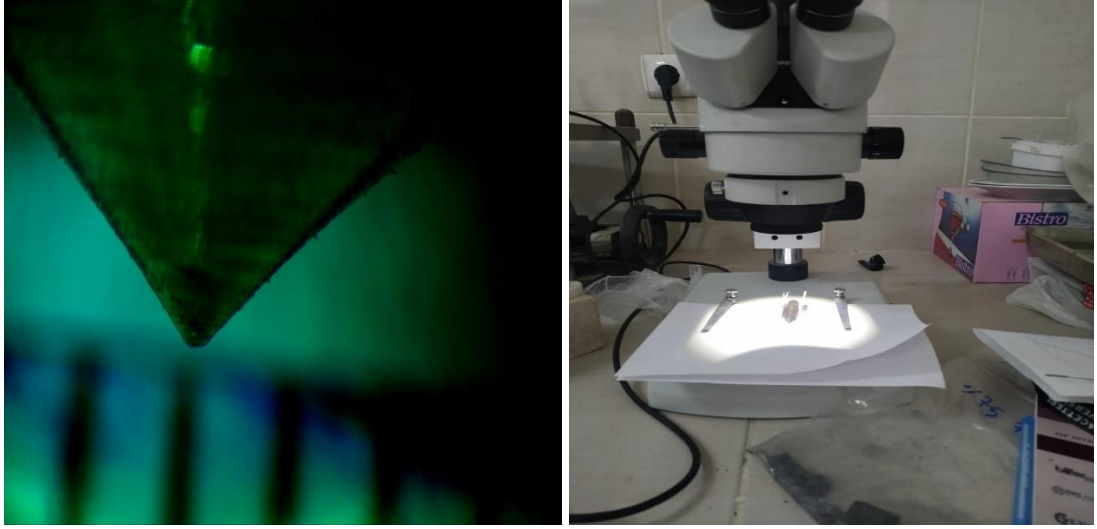
5.5. CHERCAR AŞINMA TESTİ

Test yöntemi H. Sievers tarafından 1950'lerde geliştirilmiştir. Testin amacı malzemelerin delinmeye karşı direncini bulmaktır. Test hem ASTM hemde AFNOR standartına göre yapılabilmektedir. Rockwell sertlik sertinde kullanılan HRC55 kodlu çelik uç vasıtasıyla numunelerin 70 N altında 10 mm delinmesi ile, oluşan değerler mikroskopta incelenip, okunmaktadır. Testler ISRM standartlarına göre yapılmıştır. Testler standart gereği numunelerin yüzüyünden 2 farklı noktasından yapılmış ve ortalaması alınmıştır. En son ölçülen değerler 10 ile çarpılarak deneylerin sonuçları bulunmaktadır [56]. Şekil 5.24.'de ErgoTech firmasına ait cherchar aşındırma test düzeneği verilmiştir.

Teste başlamadan önce HRC55 kodlu çelik uçlar sivriltilmiş ve mikroskop altında kontrol edilmiştir. Numune tablasına yerleştirildikten sonra üstüne ağırlıkları konulmuştur. Mekanik kol yardımıyla 10 kere çevrilmiştir. Her tur 1 mm delik açmaktadır. 10 tur çevrildikten sonra çelik ucun mikroskop altında aşınma derecesine bakılmıştır. Aşınma derecesine bakarken mikroskoptan bilgisayar ortamına görüntüleri atılmıştır. Uçlardan teğet çekerek sivri ucun ne kadar aşındığı bu şekilde hesaplanmıştır. Şekil 5.25.'de kullanılan mikroskop ve mikroskop görüntü örneği verilmiştir.

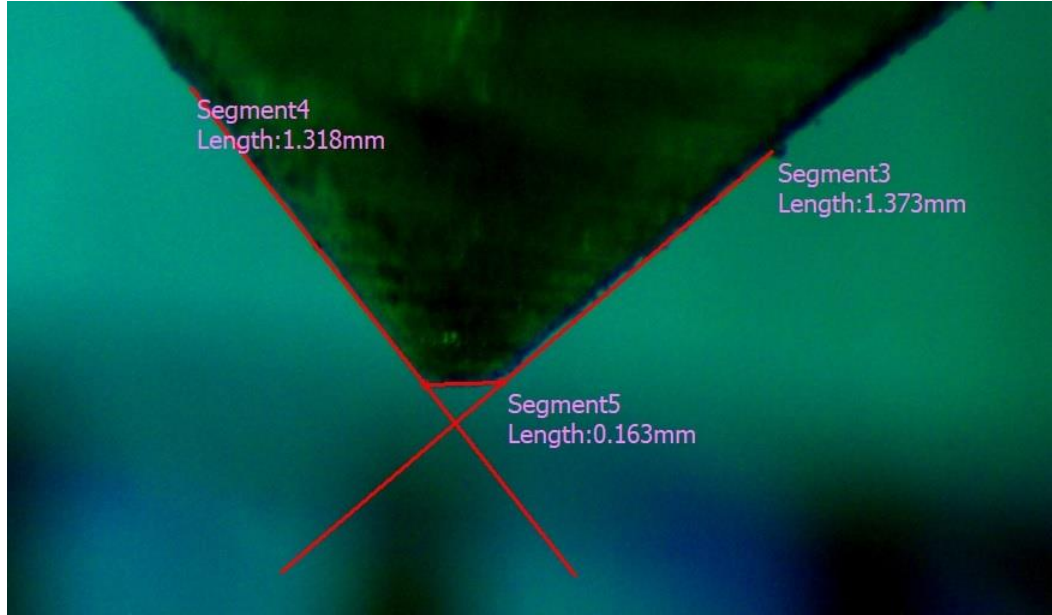


Şekil 5.24. Cherchar test düzeneği.



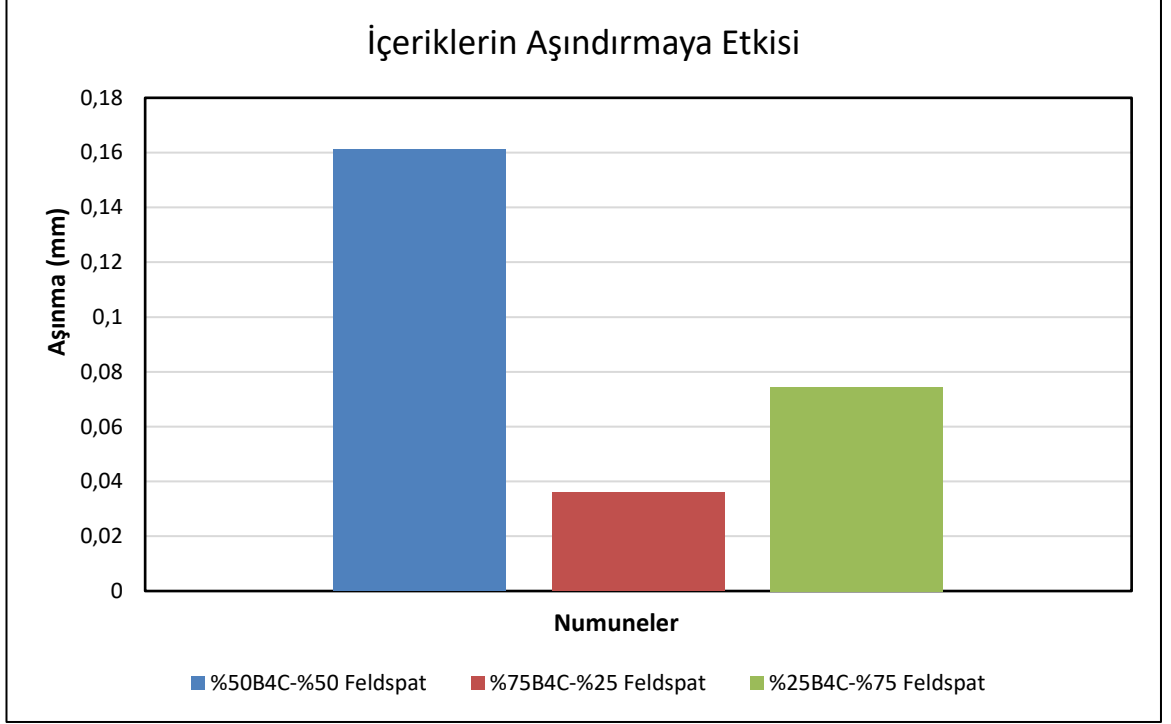
Şekil 5.25. Mikroskop görüntü örneği ve kullanılan mikroskop.

Mikroskop görüntüsü üzerinde bilgisayar programı vasıtasıyla yapılmış aşındırı ucun görüntüsü üzerinde teğet çizilerek yapılan örnek hesaplama Şekil 5.26.'da verilmiştir.



Şekil 5. 26. Örnek cherchar hesaplama.

Yapılan testler sonucunda içeriğin aşınma dayanımına etkisi incelenmiştir. Şekil 5.27.'de cherchar aşınma testlerinin sonuçları verilmiştir.



Şekil 5.27. Chercar aşınma testlerinin sonuçları.

5.6. KARAKTERİZASYON ÇALIŞMALARI

Numelere yapılan mekanik ve fiziksel testler ardından hedef kompozitleri karakterize etmek için FTIR, XRD ve XRF çalışmaları yapılmıştır. Bağ oluşumlarını görmek için FTIR, içerdiği fazları görmek için XRD analizi ve oluşan yapıların temel bileşenleri görmek adına XRF uygulanmıştır. XRD ve XRF akredite Argetest Cevher Zenginleştirme Analiz Laboratuvarlarında, FTIR Hacettepe Üniversitesi Hunitek bünyesinde yaptırılmıştır.

5.6.1 FTIR

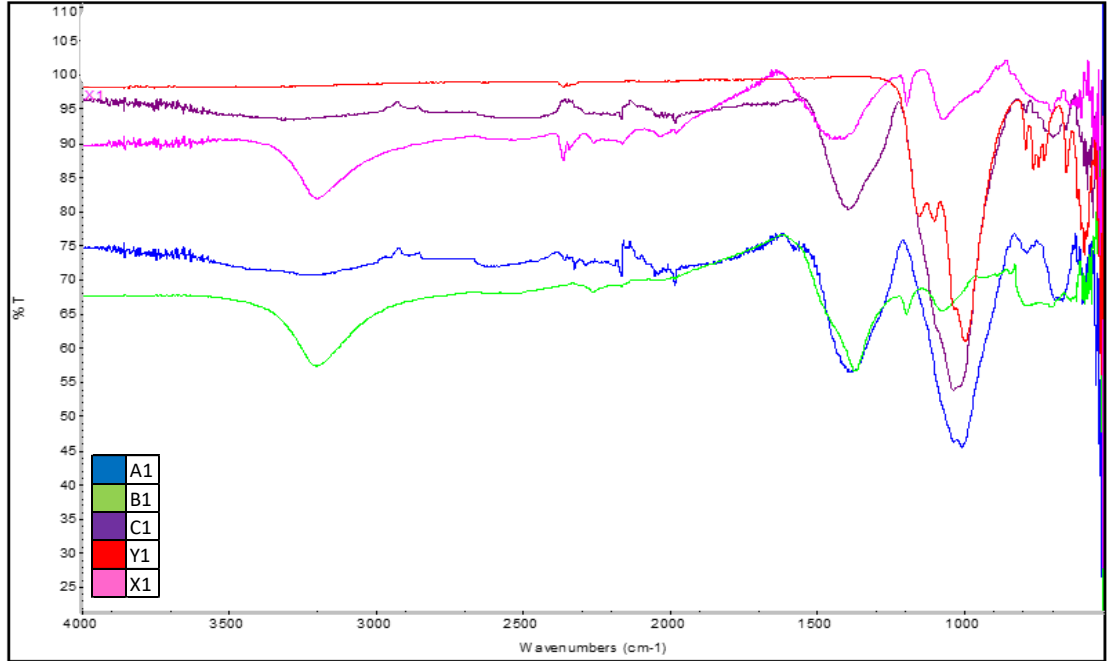
Fourier Dönüştürümlü Kızılötesi (FTIR) Spektroskopisi kızılötesi ışınlar yardımıyla organik veya inorganik yapıları karakterize etmek amacıyla kullanılmaktadır. Bağların yapısal değişimlerini görme ve incelemede yararlanılmaktadır. [57]. FTIR spektroskopisi matematiksel Fourier dönüşümlerini kullanarak hesaplanmaktadır. Üç farklı kızılötesi ışın demetiyle ana bölgelerden oluşmaktadır. Bunlar NIR (4000~14000 cm^{-1}), MIR (400~4000 cm^{-1}) ve FIR (4~400 cm^{-1})'dir [58].

FTIR spektroskopisi için 5 farklı numune analize verilmiştir. 400-4000 cm^{-1} dalga boylarında FTIR analizleri yapılmıştır. Çizelge 5.3.'de analize verilen numuneler ve özellikleri verilmiştir.

Çizelge 5.3. FTIR Spektroskopisine Verilen Numuneler

Numune Adı	İçerik (%)	Sinterlenme Süresi (dakika)	Sinterlenme Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
A1	%50 B_4C -%50 Albit	30	1000
B1	%75 B_4C -%25 Albit	30	1000
C1	%25 B_4C -%75 Albit	30	1000
Y1	%100 Albit	-	-
X1	%100 B_4C	-	-

Çizelge 5.3.'de FTIR okuması yapılan numunelerin sonuçları ayrı ayrı grafiklerde çizilmiş ve daha verimli karşılaştırılma yapılabilmesi adına veriler tek grafikte toplanmış, Şekil 5.28.'de verilmiştir.



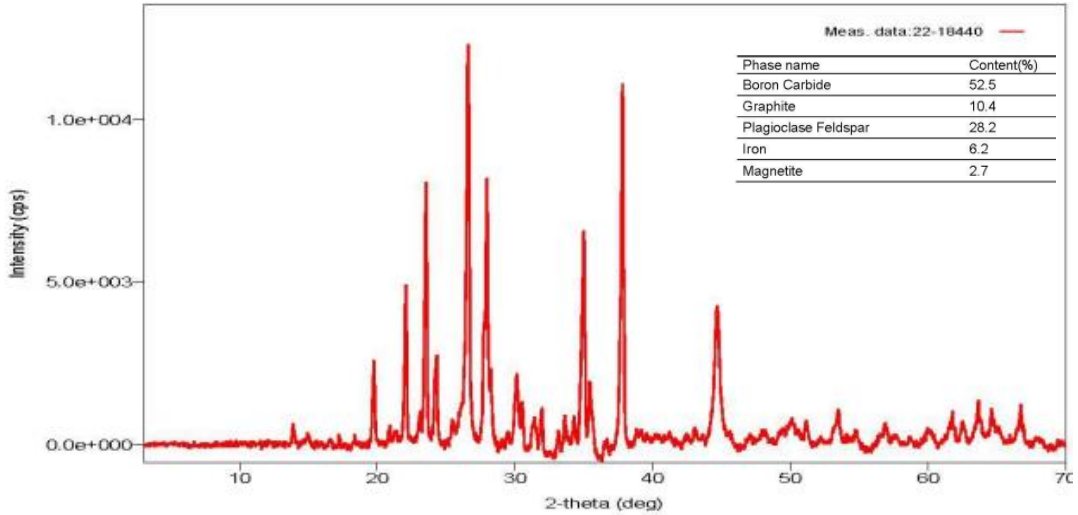
Şekil 5.28. Numelerin FTIR sonuçları.

5.6.2 XRD

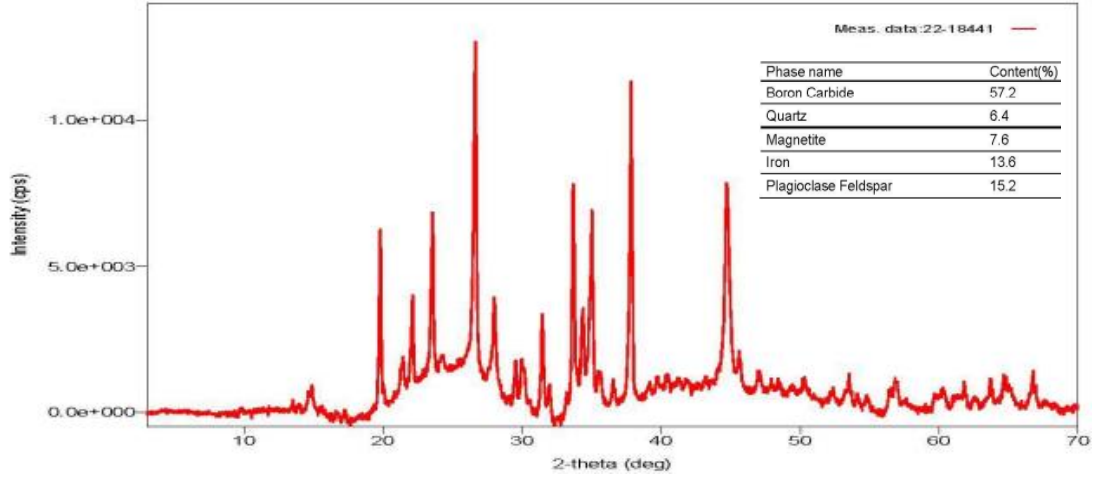
X-ışını kırınım yönteminde (X-Ray Diffraction) her kristalin kendine özgü atom dizilişinden yararlanarak, gönderilen X ışınlarının kırınım yapması sonucu bilinmeyen bir malzemeyi tanımlamada kullanılmaktadır. Kalitatif bir analiz yöntemi olan XRD’de kayaçların, kristal malzemelerin, ince filmlerin ve polimerlerin analizleri yapılabilmektedir [59].

Numune hazırlama işlemi yapılmadan önce temin edilen B₄C hem de sodyum feldspat için X-Ray Diffraction analizlerine tabi tutulmuştur. Sinterlenen kompozit numunelerin de mekanik testleri yapıldıktan sonra yapısal değişiklikleri belirleyebilmek için XRD çalışması yapılmıştır. Çizelge 5.3.’de verilen numunelere XRD analizleri yapılmıştır.

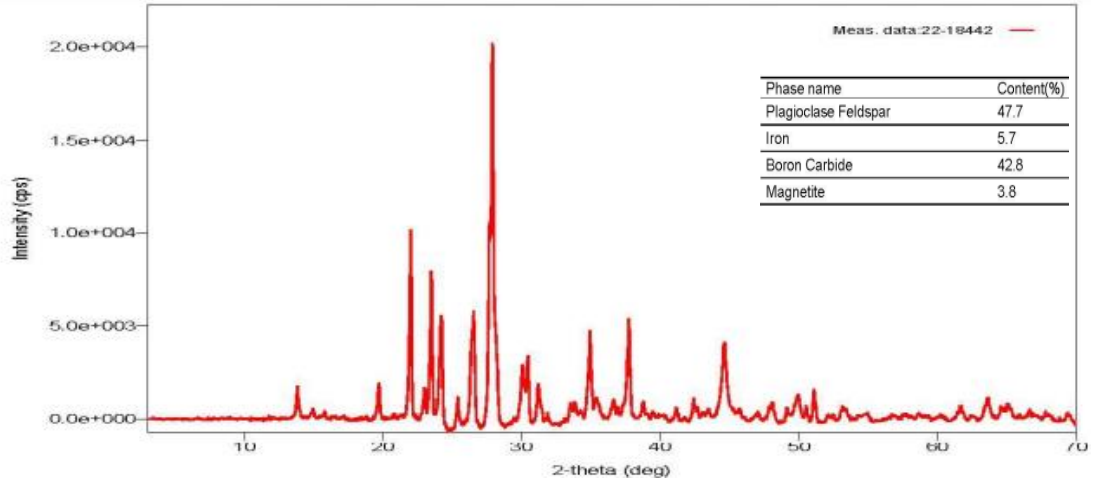
Şekil 5.29’ da A1, Şekil 5.30’da B1, Şekil 5.31’ de C1, Şekil 5.32’ de Y1, Şekil 5.33’ de X1 numunelerinin XRD sonuçları verilmiştir.



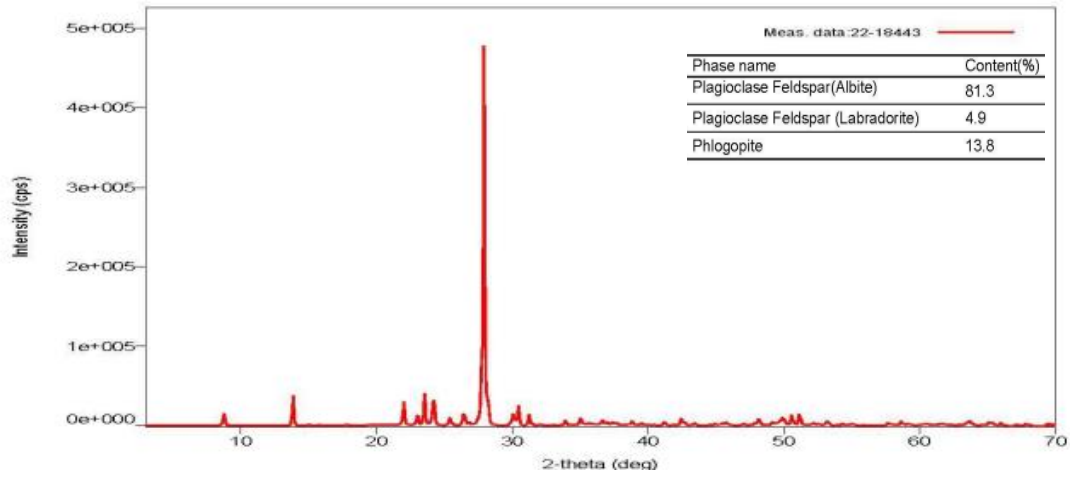
Şekil 5.29. A1 numunesinin XRD sonuçları.



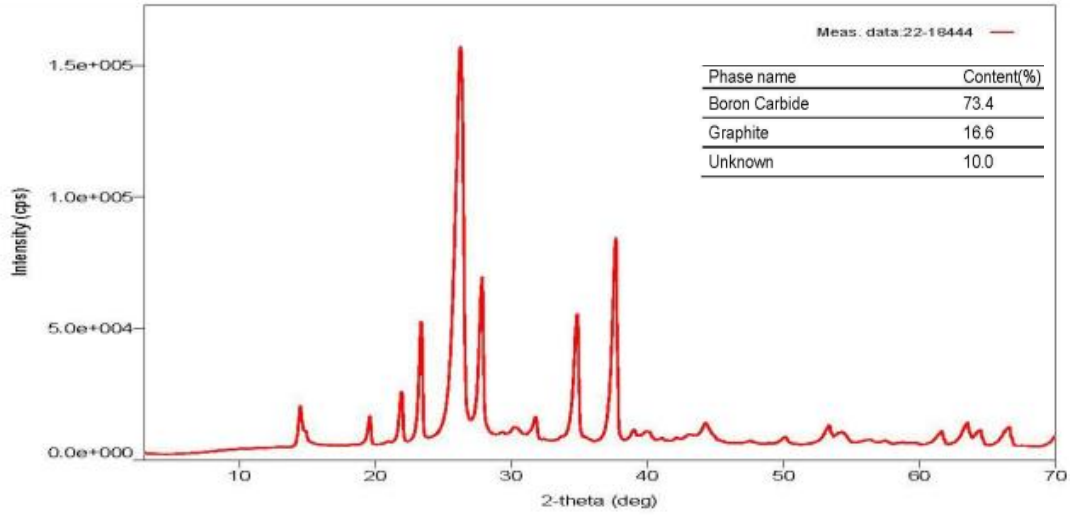
Şekil 5.30. B1 numunesinin XRD sonuçları.



Şekil 5. 31. C1 numunesinin XRD sonuçları.



Şekil 5. 32. Y1 numunesinin XRD sonuçları.



Şekil 5.33. X1 numunesinin XRD sonuçları.

5.6.3 XRF

Analizi yapılacak numunenin üzerine karakteristik X-ışını demeti yollanarak yapılan XRF, gelen x-ışınının soğurulmasına bağlı olarak dedektörler tarafından algılanmaktadır. Aynı zamanda x-ışınlarından fotoelektrik kayıba bağlı veri toplama ve işleme yaparak tamamen bilinmeyen bir numunenin içerisindeki elementlerin türünü ve miktarını belirleyerek elemental kestirim yapmaktadır [60]. Bu çalışmada; elemental ve kimyasal içeriklerini saptamak için kompozit ve kompozit bileşenlerine XRF (X-ray fluorescence) yapılmıştır. Çizelge 5.3.'de verilen numunelere XRF analizleri yapılmıştır. Çizelge 5.4.'de XRF sonuçları verilmiştir.

Çizelge 5.4. XRF Sonuçları

(%)	A1	B1	C1	Y1	X1
SO₃	0,38	0,33	0,38	0,16	0,04
Al₂O₃	14,42	9,95	17,73	20,58	70,53
CaO	2,04	2,07	2,04	2,03	1,45
MgO	0,65	0,67	0,72	0,69	0,64
Fe₂O₃	1,89	4,71	0,34	0,39	5,49
Na₂O	8,87	9,03	7,22	9,94	<0,01
SiO₂	53,55	53,76	55,66	64,33	2,21
SrO	0,07	0,07	0,08	0,07	<0,01
BaO	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cr₂O₃	0,15	0,15	0,15	<0,01	0,35
K₂O	0,52	0,51	0,57	0,64	0,37
MnO	0,13	0,19	0,07	<0,01	0,19
P₂O₅	0,25	0,27	0,25	0,27	<0,01
TiO₂	0,45	0,42	0,49	0,50	0,04
LOI (Ateş Zaiyatı)	0,27	0,23	0,27	0,38	0,33

BÖLÜM 6

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

6.1. SİNERLEME

Numune hazırlama aşamasından sonra bor karbürle sodyum feldspat oranları sırasıyla 1:1, 4:1 ve 1:4 karıştırılan mikronize toz numunelerin pelet kalınlıkları önem teşkil etmektedir. Pelet kalınlığının çok yüksek olması durumunda pelet pişme esnasında sıcaklığında etkisiyle boydan kırılmıştır. Bu durumun başlıca sebebi pelet makinasının basınç gücünün yeterli seviyede olmadığı düşünülmektedir. Pelet kalınlığının çok ince basılması durumunda ise yapılacak mekanik ve diğer testler için test standartlarını karşılamamakta, sinterleme esnasında tablaya yapışma/tabladan çıkmama gibi sorunlar yaşanmakta ve tabladan çıkarılsa dahi yapısı gereği çok kırılğan olduğu gözlemlenmiştir.

Sinterleme çalışmalarına baktığımızda başlarda laboratuvar altyapı eksikliği çekilmiş ve bu durum ilk test setini etkilemiştir. Kullanılan deney araç gereçleri denemeler ile farklı malzemelerle değiştirilmiş yaşanan olumsuzluklar giderilmiş ve başarıya ulaşılmıştır. Nihai ürünlere bakıldığında hepsi fiziksel olarak aynı gözükmektedir. Sadece B grubuna (%75 Bor Karbür-%25 Sodyum Feldspat) ait numunelerin yüzeyi daha pürüzlü bir görünüme sahip olduğu gözlemlenmiş ve Şekil 5.9.'da net bir şekilde gözükmektedir. Bu durumun sebebi bor karbür içeriğinin fazla olmasına paralel olarak yüksek sıcaklık altında farklı davranışlar göstermesinden kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

6.2. YOĞUNLUK ve POROZİTE TESTLERİ

Tüm üretilen kompozit numune gruplarına gaz piknometresi ile gerçek yoğunluklarına bakılmıştır.

Yoğunluk sonuçlarına genel olarak bakıldığında en düşük C (%25 Bor Karbür-%75 Sodyum Feldspat) grubu daha sonra A (%50 Bor Karbür-%50 Sodyum Feldspat) grubu en son B (%75 Bor Karbür-%25 Sodyum Feldspat) grubunun geldiği görülmüştür.

C grubunun kendi içinde bakılacak olursa sırasıyla düşükten yükseğe doğru C1-C3-C2-C5-C4 olduğu görülmektedir. C grubunda genel olarak bakıldığında yoğunluklarının sinterleme süresi arttıkça çok fazla değişmediği, değerlerin çok yakın olduğu gözlenmiştir.

A grubuna bakıldığında sinterleme süresi arttıkça gerçek yoğunluklarında lineer bir artış görülmektedir. Bunun sebebinin ise sinterleme süresiyle doğru orantılı olarak farklı yapıların oluşması olarak düşünülmektedir.

B grubunda bakıldığında sinterleme süresine bağlı olarak yoğunlukların doğrusal olarak değişmediği gözlenmiştir. İlk 30 dakikadan sonra arttığı ama ilerleyen zaman aralıklarında farklı yoğunluklarda pikler verdiği ve 120. dakika da düştüğü Şekil 5.14.'de görülmektedir. Bor karbürün kütlice fazla olması nedeniyle kompozitin tepkime kinetiğinin yavaş olması faz değişimi esnasında pikler verdiği şeklinde yorumlanmıştır.

Bulk/yerinde yoğunluk ölçümlerine bakıldığında A5, C1 ve C4 numuneleri en yüksek değeri vermiştir. Porozite ile bulk yoğunluğu arasında ters orantı bulunmaktadır. A5, C1 ve C4 kompozit numuneleri en düşük gözenekli yapıya sahiptir.

6.3. DİSK MAKASLAMA TESTİ

Tüm A, B ve C gruplarına 30 ve 45 dakika sinterleme sürelerine sahip kompozit numunelere disk makaslama testi yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. İçeriğin dayanıma etkisine bakıldığı zaman C (%25 Bor Karbür-%75 Sodyum Feldspat) grubu 55.9 MPa ardından A (%50 Bor Karbür-%50 Sodyum Feldspat) grubu 23.7 Mpa en son B (%75 Bor Karbür-%25 Sodyum Feldspat) grubunun 21.3 MPa ile geldiği görülmektedir. Sodyum feldspat içeriğinin yükselmesiyle beraber dayanımın arttığı

saptanmıştır. Bor karbür oranı fazla olan numunelerin sinterleme işlemi sonrası gevrekleştiği, yüzeylerinin pütürleştiği ve tabaka şeklinde çatlamların meydana gelmesi gibi nedenlerden dolayı dayanımı olumsuz yönde etkilediği düşünülmektedir.

Tüm test gruplarının sinterleme süresi artırıldığında süreye bağlı olarak dayanımlarının arttığı görülmüştür. Süre artışı sonrası en çok artışın %140 ile A grubu olduğu, sonrasında %23 ile C grubu geldiği ve son olarak %12 artışla B grubu olarak sıralanmaktadır.

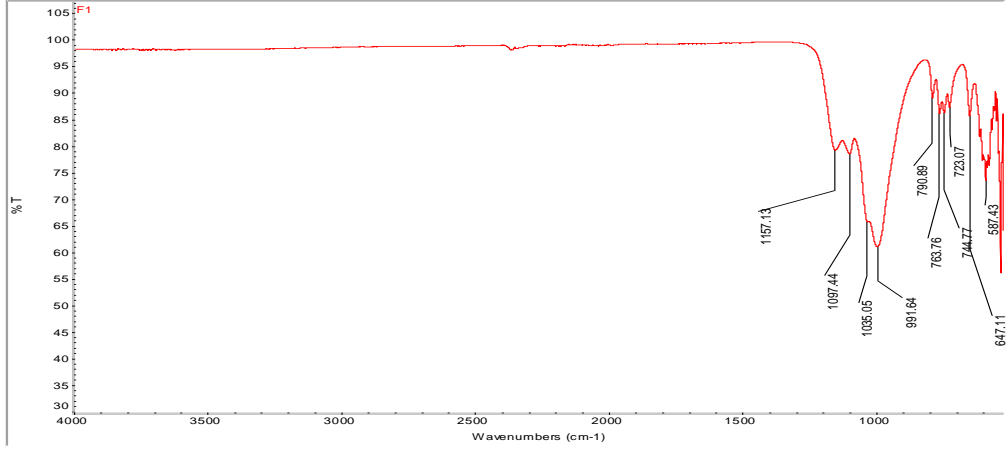
6.4. CHERCAR AŞINMA TESTİ

Chercar aşınma testi, disk makaslama testinde kullanılan 30 dakika sinterlenmiş numuneler ile yapılmıştır. Test sonuçlarına genel olarak bakıldığında A (%50 Bor Karbür-%50 Sodyum Feldspat) grubunun 0.161 milimetre en yüksek sonucu verdiği, ardından C (%25 Bor Karbür-%75 Sodyum Feldspat) grubunun 0.075 milimetre ile takip ettiğini ve son olarak da B (%75 Bor Karbür-%25 Sodyum Feldspat) grubunun 0.036 milimetre ile HRC55 kodlu uçları aşındırdığı saptanmıştır.

Sodyum feldspat içeriğinin azalması, bor karbür içeriğinin artması ile beraber oluşturulan kompozitlerin aşındırıcılık değeri artmakta fakat optimum bor karbür ilave miktarını aştığı zaman aşındırıcılık değerinin düştüğü görülmüştür.

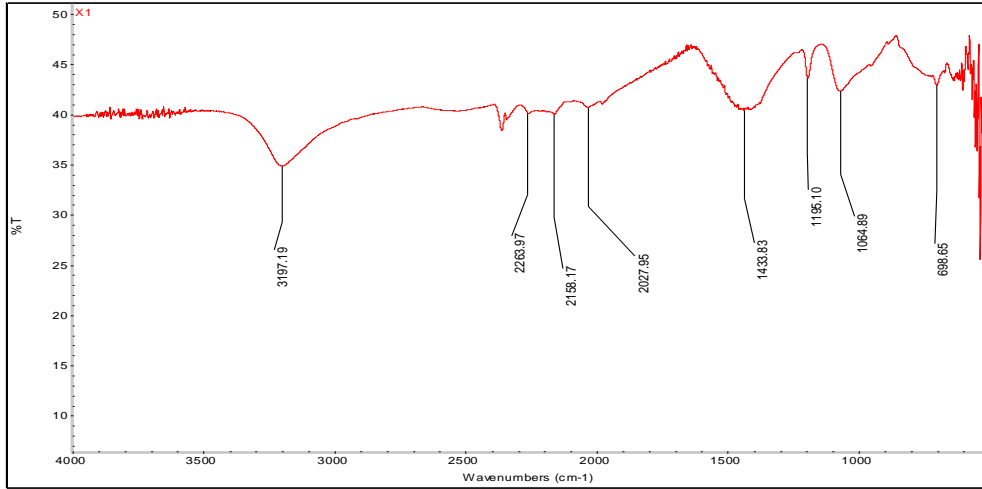
6.5. KARAKTERİZASYON ÇALIŞMALARI

Karakterizasyon çalışmaları kapsamında numunelere XRD, XRF ve FTIR analizleri yapılmıştır. Tüm analizlerde kullanılan sodyum feldspat, bor karbür ve üretilmiş olan farklı kütlece farklı derişimlerdeki kompozit numunelere yapılmıştır. Şekil 6.1.'de sodyum feldspat numunesine yapılan FTIR sonucu verilmiştir.



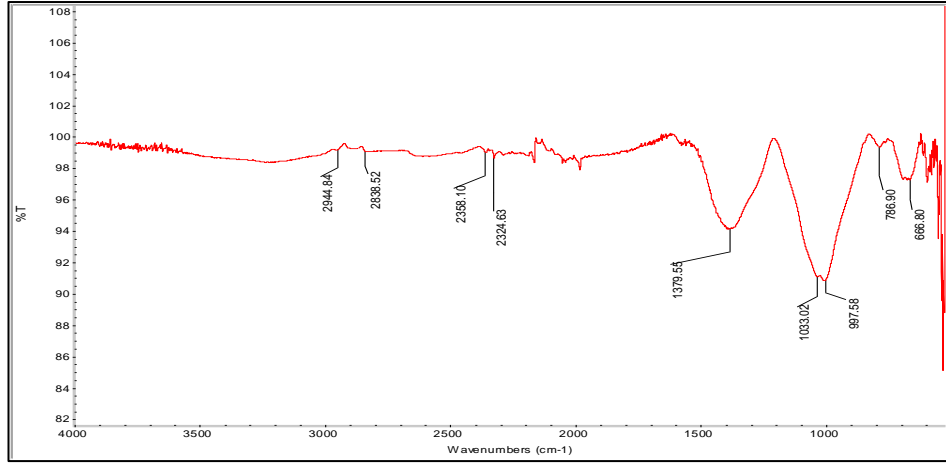
Şekil 6.1. Sodyum feldispat FTIR sonucu.

Şekil 6.1.'de görüldüğü üzere 640-690 cm^{-1} de O-Si-O bağları, 740-770 cm^{-1} de Si-Si bağları, yaklaşık 990 cm^{-1} de Al-O bağları, 1020-1100 cm^{-1} de Si-O bağının pikleri olduğu görülmektedir [61]. Şekil 6.2.'de bor karbür numunesine yapılan FTIR sonucu verilmiştir.



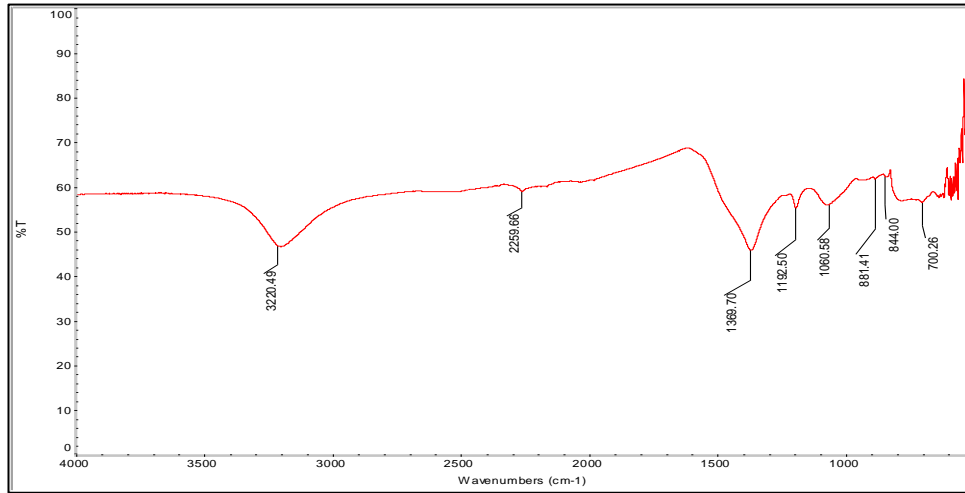
Şekil 6.2. Bor karbür FTIR sonucu

Şekil 6.2.'de görüldüğü üzere 698 cm^{-1} de B-B-C bağları, 1064 cm^{-1} de B-B bağları, 1195 cm^{-1} de B-C bağları, 1433 cm^{-1} de C-B-B bağları, 2158, 2027 ve 2263 cm^{-1} de karbon-karbon üçlü bağ yaptığı 3197'de C-H bağının pikleri olduğu görülmektedir [62]. Şekil 6.3.'de A1 numunesine yapılan FTIR sonucu verilmiştir.



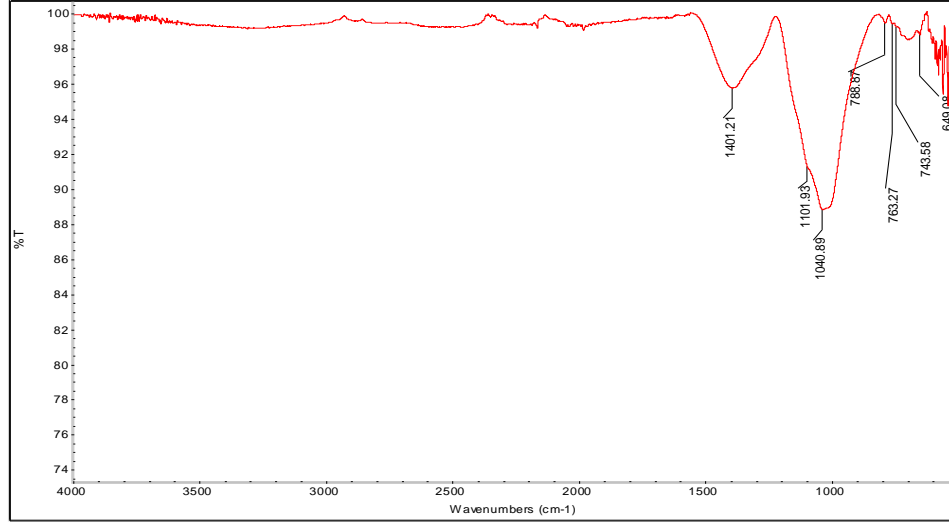
Şekil 6. 3. A1 FTIR sonucu.

Şekil 6.3.'de görüldüğü üzere A1 numunesinde 2000 cm^{-1} bor karbür ve sodyum feldspattaki gibi benzer pikler çıkmıştır. 2000 cm^{-1} sonrasında C-H bağlarının verdiği pikler daha düşük dalga boyunda verirken aynı zamanda iki noktadan pik vermesiyle bağ sayısının arttığı düşünülmektedir. Bor karbür'ün FTIR sonucuna bakıldığında üç farklı noktada karbon-karbon üçlü bağı pikinden ziyade iki noktadan piki vermiştir [63]. Şekil 6.4.'de B1 numunesine yapılan FTIR sonucu verilmiştir.



Şekil 6.4. B1 FTIR sonucu

Şekil 6.4.'de görüldüğü üzere B1 numunesinin A1 numunesinden farklı olarak karbon-karbon üçlü bağ yapan pikin azaldığı, bir noktadan verdiği görülmektedir [63]. Şekil 6.5.'de C1 numunesine yapılan FTIR sonucu verilmiştir.



Şekil 6.5. C1 numunesi FTIR sonucu.

Şekil 6.4.'de görüldüğü üzere C1 kompozit numunesinde hiç karbon-karbon üçlü bağ görülmemiştir. 2000 cm^{-1} sonra hiç pik vermediği, karbon-karbon üçlü bağ yapısına sahip yapıların saptanmadığı görülmüştür [63]. Ayrıca diğer numunelerde görünen C-H bağlarının da olmayışı Şekil 6.5.'de görülmektedir.

XRD sonuçlarına bakıldığında kompozit ana bileşin olan bor karbür (X1) ve sodyum feldspatın (Y1) literatürdeki piklerle aynı olduğu, zaten XRD cihazında kendi kütüphanesinde çıkan sonuçlarla birbirini doğruladığı saptanmıştır [64,65]. A1, B1 ve C1 numularının sonuçlarına bakıldığında faz değişiminin olmadığı, katkı maddelerinin piklerine bakılıp o yönden değerlendirildiğinde 2 teta 45 fazında pik verdiği görülmüştür.

XRF sonuçları değerlendirildiğinde, en yüksek SiO_2 oranının sodyum feldspat içeriğinin fazla olduğu C1 numunesinde çıktığı, diğerlerinin yakın olduğu görülmektedir. Aluminalarına bakıldığında ise basma dayanımları, yoğunluk ve porozite sonuçlarında en iyi sonucu veren C1 numunesinin en yüksek olduğu, ardından A1 ve B1 numunesinin takip ettiği saptanmıştır. Bu sonuçların iyi çıkması alumina oranlarıyla

doğrudan etkili olduğu olduğu düşünölmektedir. Na₂O oranlarına bakıldığında da tam tersi şekilde C1 de en az, en fazla B1 numunesinde çıkması basma dayanımlarıyla paralel sonuç vermesi önemli bir çıktı niteliğine sahiptir.

BÖLÜM 7

SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında sodyum feldspat ve bor karbür kullanılarak seramik matrisli kompozit elde edilmiş ve mekanik davranışları incelenmiştir. Ayrıca üretilen kompozit numuneler üzerinde karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır. Yapılan mekanik test ve karakterizasyon çalışmalarının sonuçlarına bakıldığında çalışmalar için sonuçlar ve devamında yapılacak çalışmalar için öneriler aşağıda verilmektedir:

1. Yapılan sinterleme prosesi sonrası, kompozitlerde bor karbür içeriği arttıkça porozite, yoğunluk ve dayanımı olumsuz yönde etkilediği tespit edilmiştir. Tüm kompozitlerde sinterleme süresinin artışıyla beraber dayanımlarının olumlu yönde arttığı tespit edilmiştir.
2. Aşındırma testi sonrası en iyi sonucu bor karbür içeriği %50-%50 olan C grubu kompozitinin verdiği; bu durumda yüksek bor karbür içeriği olduğu zaman ısıtılardan sonra yapısının daha fazla gevrekleşmesi, optimum koşulları aşmasıyla ilişkilendirilmiştir.
3. XRF sonuçlarında bakıldığında balistik malzemelerin yapısında da bulunan veya kullanılan alumina, silis, gibi fiyat fayda oranı yüksek olan minerallerin fazlalığı, kompozitler için önem teşkil etmektedir.
4. Yapılan XRD çalışmalarında, kompozitin ana komponentlerinden farklı pikler ortaya çıktığı; ilerleyen çalışmalarda daha yüksek sıcaklıklarda yapılacak araştırmalarla faz değişiminin oluşup oluşmayacağı ve bunların mekanik, fiziksel, kimyasal etkilerinin ortaya koyulması önerilmektedir.
5. FTIR sonuçlarına bakıldığında karbon bağlarının kopması, başka bağların oluştuğuna işaret etmekte; mikroyapılarında değiştiği ilişkisi gözönüne alınarak sonraki araştırmaların optik mikroskopisi çalışmaları ile desteklenebileceği düşünülmektedir.

6. Tezin ana motivasyonu bor karbüre ihtiyaç duyulan yada maliyeti sebebiyle tercih edilmeyen alanlarda kullanabilecek, bor karbürün özelliklerine yakın araürün niteliğinde daha ucuz bir kompozit malzeme üretmektir. Yapılan testlerde sodyum feldspat içeriği yüksek olan kompozitler iyi sonuç vermiştir. Ülkemizin sodyum feldspat konusunda hem yurtiçi hem yurtdışında lider konumda olması yapacağı araştırma ve geliştirme faaliyetleri için önemli bir girdidir. Üretim yapılan sahalarımıza zenginleştirme tesislerine beslenemeyecek kimyasal içeriğe sahip olmayan cevherler iç stoklarda bekletilmekte bunun sonucunda fayda sağlanamamaktadır. Bu cevherlerin değerlendirilmesi ile diğer bir yandan sodyum feldspatla ilgili katmadeğerli ürünler üretilebilir hal gelecektir.

Gelecekte yapılacak çalışmalar için öngörüler;

- ✓ Globalde baktığımızda enerji ve işletme maliyetlerinin artması, kaliteli cevher rezervlerinin azalması, kullanılan malzemelerin teknolojinde gelişmesiyle beraber ihtiyaçları karşılamaması gibi nedenler kompozit malzemelerin önemini gözler önüne sermektedir. Dünyada olduğu gibi ülkemizde de kompozit malzemeler üzerine yoğun bir çalışma gerçekleştirilmektedir.
- ✓ Bor karbür sağladığı fayda ile endüstriyel kullanımı çok geniş bir yelpazede değerlendirilmektedir. Özellikle savunma, nükleer ve otomotiv sanayi. gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmakta olan, sentetik ileri teknoloji seramik malzemedir. Bor karbür proses maliyeti yüksek, pahalı bir malzeme konumunda bulunmaktadır.
- ✓ Ülkemizde bor karbürle olan gelişmeleri yakından takip etmiş, borla ilgili araştırma geliştirme kamu kuruluşları kurmuş ve kaliteli bor rezervlerinede sahip olması avantajını kullanarak 2023’de devre alınması planlanan tesis için adımları atmıştır. Konveksiyonel seramik malzemesi olarak görülen sodyum feldspat (albit) flakslık göstermesi, düşük yoğunluğa sahip olması, düşük sıcaklıklarda ergimesi, bor karbür ve diğer üstün özellikli malzemelere karşı ucuz olması gibi farklı avantajlara sahip olması buna ek olarak yapılan teslerde

de iyi sonuçlar alınması ile ileri teknoloji hammaddelere adapte olması adına gelecekte kapsamlandırılacak çalışmalar için başlangıç niteliği taşımaktadır. Aynı zamanda yapacağı çalışmalarla gayri-milli hasılayada katkı sağlanmış olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Okumuş H., “Geçmişten ve günümüzde seramiğin kullanım alanları”, *Journal of Awareness*, 2-10 (2013).
- [2] Çağlar, A., “Seramik Termostat İzolatörlerin Üretimi ve Karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 3-6, (2010).
- [3] Telliöğlü, Ş. “Seramik Zırh Plaka Üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 12-25, (2007).
- [4] Terzi, M., “Esan-Eczacıbaşı Milas Feldspat tesisi atıklarından titanyum mineralleri kazanılması olanaklarının araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 3-26 (2012).
- [5] Kaw, A. K., “Mechanics of composite materials 2nd ed.”, *Taylor&Francis*, Florida, 2-16 (2006).
- [6] İnternet: TMMOB Malzeme Metalurji Mühendisliği Odası, “2003 Bor Raporu”, https://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi134/d134_1158.pdf (2003).
- [7] Smith, R., “Boric Oxide, Boric Acid, and Borates 5th ed.”, Ullmann’s Encyclopedia of Industrial Chemistry, *VCH publishers*, Germany, 263-280 (1995).
- [8] Uçar, A., “Kestelek tesis atıklarından borun kazanılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 5-10 (1989).
- [9] Yılmaz, N., “Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme” 1. baskı, *Ertem Basım*, Ankara, 877-890 (2014).
- [10] İnternet: Eti Maden İşletmeleri, “Bor Mineralleri”, <https://www.etimaden.gov.tr/bor-mineralleri>, (2019).

- [11] Güyagüller, T., “Türkiye bor potansiyeli”, *4.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir, 18-27 (2001).
- [12] Yenmez, N., “Stratejik bir maden olarak bor minerallerin Türkiye için önemi” *Coğrafya Dergisi*, 59–94 (2009).
- [13] Çebi, H., Erten A., Türköz, S., Ayaroğlu, B. H., Entok, Z., ve Kaymakçı, H., “Endüstriyel hammedeler alt komisyonu kimya sanayii hammaddeleri cilt II (bor tuzları-trona-kaya tuzu-sodyum sülfat-stronsiyum) Çalışma Grubu Raporu”, *Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu*, Ankara, 19-20 (2001).
- [14] Cho, N., “Processing of boron carbide”, Ph. D. Thesis, *Institute of Georgia*, Atalanta, 3-7 (2006).
- [15] Koçak, S., “Bor Kimyası Ders Notları”, *Ankara Üniversitesi Kimya Bölümü*, Ankara, (2017).
- [16] Domnich, V., Reynaud S., Haber, R., and Chhowalla, M., “Boron carbide: structure, properties, and stability under stress”, *Journal of the American Ceramic Society*, 94 [11] 3605–3628 (2011).
- [17] Geçkinli, E., “İleri Teknoloji Malzemeleri 1. Baskı”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Basımevi*, İstanbul, 20-30 (1992).
- [18] Kharat, W. S., Sidhu, J. S., “ Development of epoxy based composites filled with boron carbide (B₄C), tungsten disulphide (WS₂) and evaluation of its mechanical properties”, *International Journal of Mechanical Engineering Research*, vol. 6 No: 1 19-30 (2016).
- [19] Dodd, S., Saunders, G., and James, B., "Temperature and pressure dependences of the elastic properties of ceramic boron carbide (B₄C)", *Journal of Materials Science*, vol. 37 2731-2736 (2002).

- [20] Rodrigues, D. D., Broughton, J. G., “Silane surface modification of boron carbide in epoxy composites”, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, vol. 46 62-73 (2013).
- [21] Kiraz, K., Balcı, Ö., Coşut, Ö., Akbaşak, T., Çicek, B., ve Somer, M., “Bor karbür tozu üretiminde farklı karbon kaynaklarının faz oluşumu ve mikroyapı üzerindeki etkisi”, *Boren Bor Dergisi*, Cilt 4 Sayı 2 (2019).
- [22] Pul, M., Calin, R., and Cıtak, R., “An investigation of surface quality of turning in Al matrix MgO reinforced composite materials”, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 26(1) 81-88 (2011).
- [23] Küçük, A., “Bor karbür üretimi ve kullanım alanları”, Yüksek Lisans Tezi, *Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, (1994).
- [24] Özkan, A., “Dinamik karbotermal indirgeme ile bor karbür tozu üretim parametrelerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 16-25 (2019).
- [25] Pekdemir, D., “Bor’dan Bor Karbür’e” *Teknik Rapor*, 13-14 (2021).
- [26] İnternet: Eti Maden İşletmeleri, “Balıkesir Bandırma Bor Karbür Üretim Tesisi’nin Temel Atma Töreni Gerçekleşti”,
<https://www.etimaden.gov.tr/haber/balikesir-bandirma-bor-karbur-uretim-tesisi-nin-temel-atma-toreni-gerceklesti>
- [27] Deer, W. A., Howie, R. A., and Zussman, J., “An Introduction to the Rock-Forming Minerals”, 2nd edition, *Longman Scientific & Technical*, 153-163, (1992).
- [28] İnternet: Maden Teknik Arama Genel Müdürlüğü, “Feldspat”,
<https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/feldspat>

- [29] Bayraktar, İ., Ersayın, S., Gülsoy, Ö. Y., Ekmekçi, Z., ve Can, M., “Temel Seramik ve Cam Hammaddelerimizdeki (Feldspat, Kuvars ve Kaolin) Kalite Sorunları ve Çözüm Önerileri”, **3. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu**, İzmir, s. 22-33, (1999).
- [30] Gülgönül, İ., “Sodyum ve potasyum feldspatların katyonik flotasyon yöntemiyle ayırımında tek ve çift değerlikli iyonların etki mekanizmaları”, Doktora Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, (2004).
- [31] Günçelik, S., “K-Feldspat ile Na- Feldspatın flotasyonla seçimli ayırımında çok değerlikli iyonların etki mekanizmasının araştırılması”, Doktora Tezi, **Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kütahya, (2006).
- [32] Elssner, G., Hoven, H., Kiessler, G., Wellner, P., and Wert, R. “Ceramics and Ceramics Composites: Materialographic Preparation 1st ed.”, **Elsevier**, U.S.A, (1999).
- [33] İnternet: ESAN "Sodyum Feldspat"
<https://www.esan.com.tr/tr/faaliyetlerimiz/endustriyel-mineraller/uretim-urunleri/sodyum-feldspat>
- [34] Erdoğan, E., “Feldspat ve madencilğin altyapı problemleri”, **Teknik Rapor**, 6-9 (1999).
- [35] Demirbaş, E., “Kavşit (Çine-Aydın) yöresinin jeolojisi ve feldspat yataklarının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Konya, 3-14 (2010).
- [36] Hashin, Z., “Analysis of Composite Material” *Journal of Applied Mechanics*, **ASME**, vol 50 pp 481-505, (1983).
- [37] Chung, D. L., “Composite Materials Science and Materials 2nd ed.”, **Springer**, New York, 1-9 (2010).

- [38] Fidan, S., "Polimer matrisli kompozitlerin darbe davranışlarının incelenmesi ve oluşan hasarların mikro tomografi yöntemiyle incelenmesi", Doktora Tezi, **Kocaeli Üniversitesi**, Kocaeli, 4-30 (2011).
- [39] Sönmez, M., "Polimer matrisli kompozitlerin endüstri ürünleri tasarımında önemi ve geleceği: Türkiye'den dört örnek firma üzerine bir inceleme", Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 41-56 (2009).
- [40] Şahin, S., "Sürekli cam elyaf takviyeli polipropilen levhaların şekillendirilmesi ve karakterizasyonu", Yüksek Lisans Tezi, **Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 8-11 (2015).
- [41] Kabil, A., "Bor kabür takviyeli metal matrisli kompozit malzeme üretimi", Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 1-11 (2020).
- [42] Chawla, N. and Chawla, K. K., "Metal Matrix Composites 2nd ed.", **Springer**, New York, 164-211 (2013).
- [43] Uygur, İ. ve Saruhan, H., "Alüminyum esaslı metal matris kompozit malzemelerin mekanik özellikleri", **SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 16-174 (2004).
- [44] Ragab, K. A., Abdel-Karim, R., Farag, S., El-Raghy, S. M., and Ahmed, H. A., "Influence of SiC, SiO₂ and graphite on corrosive wear of bronze composites subjected to acid rain", **Tribology International**, 594-601 (2010).
- [45] Mileiko, S. T., "Metal and Ceramic Based Composites 1st ed.", R. B. Ripes, **Elsevier Science**, Amsterdam, 71-72 (1997).
- [46] Chawla, K. K. "Ceramic Matrix Composites 2nd ed.", **Springer**, New York, 11-15 (2003).

- [47] Bodurođlu, H., ve Ergün H., "Seramik kompozitlerde lastik ve sürtünmeli köprölenen çatlak problemi", *İ.T.Ü Dergisi*, 64-72 (2003).
- [48] Bitlisli, B., ve Yazıcı, M., "Araç zırhlamada kullanılan kompozit malzemelerin balistik performanslarının incelenmesi", *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 25-34 (2019).
- [49] Elssner, G., Hoven, H., Kiessler, G., and Wellner, P., "Ceramics and Ceramic Composites: Materialographic Preparation 1st ed.", *Elsevier Science*, Amsterdam, 106-116 (1999).
- [50] Çetinkaya, Ş., "Karbon Katkılı Alaşımli Demir Tozu Peletlerinin Sinterleme Sonrası Özellikleri", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-7 (2005).
- [51] Çivi, Ç., Atik E. "Bakır ve grafit içeren demir esaslı malzemelerin indüksiyon ile sinterlenmesinde sinterleme sıcaklığının malzeme dayanımına etkisi", *CBÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 13(2): 467-473 (2017).
- [52] Ulutaş, A., Turhan, H., Çinici, H., "Toz metalurjisi yöntemi ile üretilen ferrobor takviyeli bakır kompozitinin mekanik özelliklerinin belirlenmesi ", *BAUN Fen Bil. Enst. Dergisi*, 18(1): 10-20 (2016).
- [53] Çelik, Y., "Bor Karbür'ün Spark Plazma Yöntemiyle Sinterlenmesi, Çeşitli Sinterleme Katkılarının Sinterleme ve Malzeme Özelliklerine Etkileri", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 12-22 (2010).
- [54] İnternet: WikiHow "How the Calculate Porosity"
<https://www.wikihow.com/Calculate-Porosity>
- [55] Ulusay, R., Gökçeođlu, C., Sulukçü, S. "Draft ISRM suggested method for determining block punch strength index (BPI)" *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 38:1113–1119 (2001).

- [56] Alber, M., Yaralı, O., Dahl, F., Bruland, A., Kasling, H., Michalakopoulos T., Cardu, M., Hagan, P., Aydın, H., and Özarslan, A., "ISRM Suggested Method for Determining the Abrasivity of Rock by the CERCHAR Abrasivity Test" *Rock Mech. Rock Eng.*, 47:261-266 (2014).
- [57] Büyüksırt, T., Kuleşan, H., "Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektroskopisi ve gıda analizlerinde kullanımı" *Gıda*, 39(4): 235-241 (2014).
- [58] İnternet: "FTIR (Spektrometre Cihazı)"
<https://kitam.omu.edu.tr/2020/04/30/ftir-spektrometre-cihazı/>
- [59] İnternet: "X-Işını Difraktometresi"
<https://merlab.metu.edu.tr/tr/x-isini-difraktometresi>
- [60] İnternet: "X-Işını Floresans Spektometresi"
<https://merlab.metu.edu.tr/tr/x-isini-floresans-spektometres>
- [61] Weiqing W. ,Jinyao C., Jie D., Xiaoqing W., Yiming L., Yang H., Tiefeng P., "Developing Effective Separation of Feldspar and Quartz While Recycling Tailwater by HF Pretreatment" *Minerals*, 8(4):149 (2018).
- [62] Paviter S., Gurpreet K., Rohit K., Umesh K., Kulwinder S., Manjeet K., Rajni B., Ramovatar M., Akshay K., "Boron carbide nanostructures: a prospective material as an additive in concrete" *2nd International Conference On Condensed Matter And Applied Physics*, Bikaner, 2-4 (2017).
- [63] Won-Geun Y., Jeong-Hyon H., KimSeong-Gon K., Weon-Sik C., "Spectroscopic Determination of Alkyl Resorcinol Concentration In Hydroxyapatite Composite" *Journal of Analytical Science & Technology*, 7:9 (2016).

ÖZGEÇMİŞ

Burak Can TÖNGÜR Yenikent Ersin Bacaksız Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2013 yılında Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği (%100 İngilizce) Bölümü'nde öğrenime başlayıp 2019 yılında mezun oldu. 2019 yılında Eczacıbaşı ESAN şirketinde Üretim Uzman Yardımcısı olarak göreve ve aynı zamanda Karabük Üniversitesi İmalat Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı. 2020 Kasım ayında ARGETEST Cevher Zenginleştirme Laboratuvar'ında AR-GE biriminde Proses Mühendisi olarak projelerde çalıştı. 2021 yılında Koç Holding bünyesinde bulunan Demir Export A.Ş.'de Proje Mühendisi olarak göreve başladı ve halen burada görev yapmaktadır. Halen Atatürk Üniversitesi Bilgisayar Programlama bölümüne devam etmektedir. Aynı zamanda C sınıfı iş güvenliği uzmanı ve Anadolu Üniversitesi Adalet bölümü mezunudur.