



**BORİK ASİT KATKISININ ALÇI SIVANIN MİKROYAPISINA
ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Emre ARNAVUTOĞLU

**YÜKSEK LİSANS
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2024

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Emre ARNAVUTOĞLU

19/07/2024

BORİK ASİT KATKISININ ALÇI SIVANIN MİKROYAPISINA ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Emre ARNAVUTOĞLU

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2024

ÖZET

Bu çalışmada borik asit ilavesinin alçı sıvanın mikro yapısı üzerine etkisi araştırılmıştır. Borik asit içermeyen alçı ve borik asit katkılı (alçı miktarına göre ağırlıkça %0-0,5) alçı sıvaların mekanik dayanımları, basınç ve eğilme dayanımları açısından değerlendirilmiştir. Farklı borik asit ekleme prosedürlerinin (%0,1 ağırlıkça) alçı levhanın yanmaya dayanıklılığı üzerindeki etkileri de değerlendirilmiştir. Borik asit katkılı (%0,1 ağırlıkça) alçı levhanın X-ışını radyasyonunu zayıflatma özellikleri de araştırılmıştır. Alçı sıvanın mikroyapısal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla XRD, ATR-FTIR, Helyum piknometresi, N₂ adsorpsiyon-desorpsiyonu ve SEM analizleri yapılmıştır. XRD ve ATR-FTIR analizlerinden elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde borik asidin alçı sıvanın kalsiyum sülfat dihidrat yapısını değiştirmediği sonucuna ulaşılmıştır. Helyum piknometresi, N₂ adsorpsiyonu-desorpsiyonu ve SEM analizlerinden elde edilen sonuçlar ise borik asit ilavesinden sonra alçıtaşının fiziksel özelliklerinin gözenek hacmi, iskelet yoğunluğu ve parçacık boyutunun artmasıyla değiştiğini göstermiştir. Gözenek hacminin ve parçacık boyutunun artması sonucunda ise alçıtaşının mekanik dayanımının azaldığı görülmüştür. Fakat alçı sıva levha üzerine özellikle püskürtme yöntemiyle borik asit ilavesi alçının yanma dayanımını arttırdığı sonucu elde edilmiştir. Ayrıca borik asit, alçı levhanın X-ışını radyasyonunu zayıflatma özelliklerini biraz arttırdığı (%0,7) sonucuna ulaşılmıştır.

Bilim Kodu : 91213
Anahtar Kelimeler : Borik asit, alçı sıva katkısı, mikro yapı, mekanik dayanım, yanma dayanımı, X-ışını radyasyonunu zayıflatma
Sayfa Numarası : 55
Danışman : Prof. Dr. Hüseyin ARBAĞ

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF BORIC ACID ADDITIVE ON THE MICROSTRUCTURE OF GYPSUM PLASTER

(M. Sc. Thesis)

Emre ARNAVUTOĞLU

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2024

ABSTRACT

In this study, the effect of boric acid addition on the microstructure of gypsum plaster was investigated. The mechanical strengths of bare gypsum and boric acid added (0-0,5% by weight with respect to gypsum amount) gypsum plasters were evaluated in terms of compressive and bending strengths. The effects of the different addition procedures of boric acid (0,1% by wt.) on the fire resistance of the gypsum plasterboard were also evaluated. X-ray radiation attenuation properties of boric acid-added (0,1% by wt.) gypsum plasterboard were investigated as well. XRD, ATR-FTIR, Helium pycnometer, N₂ adsorption-desorption, and SEM analysis were performed to determine the microstructural properties of gypsum plaster. XRD and ATR-FTIR analysis revealed that boric acid did not change the calcium sulfate dihydrate structure of gypsum plaster. Whereas, Helium pycnometer, N₂ adsorption-desorption, and SEM analysis showed that the physical properties of gypsum changed with an increase in pore volume, skeletal density, and particle size after boric acid addition. The increase in the pore volume and particle size decreased the mechanical strength of gypsum. However, boric acid addition on the gypsum plaster plate, especially using the spraying method, enhanced the fire resistance of gypsum. Additionally, boric acid slightly enhanced the X-ray radiation attenuation properties (0,7%) of the gypsum plasterboard.

Science Code : 91213
Key Words : Boric acid, gypsum plaster additive, microstructure, mechanical strength, fire resistance, X-ray radiation attenuation
Page Number : 55
Supervisor : Prof. Dr. Hüseyin ARBAĞ

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim boyunca değerli bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşarak yol gösteren, birlikte çalışmaktan onur ve mutluluk duyduğum Sayın Prof. Dr. Hüseyin ARBAĞ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım süresince bilgi ve tecrübeleri ile bana yol gösteren Sayın Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ, Prof. Dr. Nail YAŞYERLİ, Doç. Dr. Mehmet TAŞDEMİR ve Doç. Dr. Alpay Şahin hocalarıma en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bugünlere gelmemi sağlayan, her anımda yanımda olan, yardım ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen annem Rukiye ARNAVUTOĞLU, babam Mertol ARNAVUTOĞLU ve kardeşim Eren ARNAVUTOĞLU'na tüm desteklerinden dolayı teşekkürü borç bilirim.

Yüksek lisans hayatım boyunca yardımlarını benden esirgemeyen meslektaşlarım ve sevgili arkadaşlarım Doğa ŞAHİN, Hale AKANSU, Mert Yekta DOĞAN, Pınar DEĞİRMENCİOĞLU, Rabia TİYAKİ, Cansu Deniz YILDIRIM, Ogün TAŞTAN, Sercan TANSU'ya ve mesleki bilgi ve deneyimlerini içtenlik ile paylaşan Gökhan Mirza DOĞAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım süresince kinetik laboratuvarında çalışan arkadaşlarıma desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Bu çalışmaya sağladıkları finansal destekten dolayı Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (Proje No: BAP FYL-2022-8279) teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
2.1. Çimentoda Kullanılan Katkı Maddeleri ile İlgili Çalışmalar	3
2.2. Alçıda Kullanılan Katkı Maddeleri ile İlgili Çalışmalar	6
2.3. Bor Bileşiklerinin Alev Geciktirici Olarak Kullanılması ile İlgili Çalışmalar....	8
2.4. Yapı Malzemeleri ve Borlu Polimerde Radyasyon Geçirgenliği ile İlgili Çalışmalar	8
3. GENEL BİLGİLER.....	13
3.1. Alçı Tarihi ve Genel Bilgileri	13
3.2. Alçının Kimyasal Özellikleri.....	13
3.3. Alçının Özellikleri	14
3.4. Alçı Tipleri	16
3.4.1. Alfa tipi alçı.....	16
3.4.2. Beta tipi alçı	17
3.5. Alfa ve Beta Alçıların Özellikleri.....	18
3.6. Türkiye Alçı Rezervleri	19
3.7. Alçı Kullanım Alanları	19
3.8. Bor Elementinin Tarihçesi ve Genel Özellikleri	20

	Sayfa
3.9. Bor Mineralleri.....	22
3.10. Dünya’da Bor Rezervler	24
3.11. Türkiye’de Bor Rezervleri.....	25
3.12. Borun Kullanım Alanları.....	26
4. DENEYSEL	31
4.1. Borik Asit Katkılı Alçı Sıva Malzemelerinin Hazırlanması ve Mekanik Testler	31
4.2. Borik Asit Katkılı Alçı Sıva Malzemelerin Yanma Dayanıklılık Testi.....	32
4.3. Alçı Levhanın X-ışını Radyasyonu Geçirgenlik Testi.....	33
4.4. Numunelerin Karakterizasyonu	34
4.4.1. X-ışını kırınım analizi (XRD)	34
4.4.2. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR)	35
4.4.3. N ₂ Adsorpsiyon-desorpsiyon analizi	35
4.4.4. Taramalı elektron mikroskopisi (SEM).....	36
4.4.5. Helyum piknometresi	36
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	39
5.1. Karakterizasyon Sonuçları	39
5.2. Alçı Malzemelerin Mekanik Dayanım Sonuçları.....	42
5.3. Alçı Malzemelerin Yanma Dayanıklılık Test Sonuçları	44
5.4. Alçı Malzemelerin X-ışını Radyasyon Zayıflama Testi Sonuçları	45
5.5. Sonuçlar.....	46
KAYNAKLAR	47
ÖZGEÇMİŞ	55

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Alçı ve çimentonun mekanik dayanım, yanma dayanımı ve radyasyon geçirgenliği üzerine yapılmış çalışmalar	10
Çizelge 3.1. Alfa ve beta alçıların özellikleri.....	19
Çizelge 3.2. Borun fiziksel özellikleri	21
Çizelge 3.3. Endüstriyel önem taşıyan bazı bor bileşikleri.....	22
Çizelge 3.4. Dünya bor rezervlerinin dağılımı (2020).....	24
Çizelge 3.5. Türkiye bor rezervlerinin dağılımı.....	26
Çizelge 3.6. Enerji kaynakları ve bu kaynaklardan elde edilen enerji değerleri.....	29
Çizelge 5.1. Alçı sıvaların fiziksel özellikleri	41

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Otoklavda alfa alçısının üretimi.....	16
Şekil 3.2. Alfa alçısının SEM görüntüsü.....	17
Şekil 3.3. Döner fırında beta alçısı üretimi	17
Şekil 3.4. Beta alçısının SEM görüntüsü	18
Şekil 3.5. Rafine bor ürünlerinin üretim	24
Şekil 3.6. 2020 dünya bor üretiminin (% ton bazında) üreticilere göre dağılımı	25
Şekil 4.1. Borik asit katkılı alçı malzemelerinin hazırlanması	32
Şekil 4.2. Alçı levhaya uygulanan mekanik (eğilme ve basınç) testler	32
Şekil 4.3. Yanma dayanım testi.....	33
Şekil 5.1. Katkısız alçı ve borik asit katkılı alçının XRD modeli.....	39
Şekil 5.2. Katkısız alçı ve borik asit katkılı alçının ATR/FT-IR spektrumu	40
Şekil 5.3. Katkısız alçı sıva ve borik asit katkılı alçı sıvanın gözenek boyutu dağılımı	41
Şekil 5.4. Borik asit ilavesinin alçı sıvanın basınç ve eğilme dayanımına etkisi.....	43
Şekil 5.5. Katkısız ve borik asit katkılı alçı sıvanın SEM görüntüleri.....	43
Şekil 5.6. Katkısız alçı sıva (GP) ve borik asit katkılı alçı sıvaların yanma dayanım süresi	45

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılan simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
D	Paralel düzenler arası mesafe
L	Kristal partikül boyutu, nm
n	Şekil faktörü
θ	Kırınım açısı
λ	X-ışını dalga boyu, Å
β	En yüksek pik uzunluğunun yarısının genişliği, radyan
Kısaltmalar	Açıklamalar
BAB	Borlu aktif belit
BJH	Barret-Joynes-Halenda
CW	Kil atığı
FTIR	Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi
GP	Saf alçı
GP-B	Borik asit katkılı alçı
MPC	Magnezyum fosfat çimentosu
RHA	Pirinç kabuğu külü
SEM	Taramalı elektron mikroskopisi
STPP	Sodyum tripolifosfat
UFC	Ultra ince çimento
XRD	X-ışını kırınım analizi

1. GİRİŞ

Bilinen en eski bağlayıcı maddelerden birisi olan alçı, kalsiyum sülfatın çözünen ve çözünmeyen türlerinin karışımından meydana gelmektedir. Alçıtaşı, kimyasal bileşimi kalsiyum sülfat olan bir mineral olup, bileşiminde iki molekül kristal suyu bulunan türü ise jips ($\text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$) olarak isimlendirilmektedir. Alçıtaşına kalsinasyon işlemi uygulanması sonucunda suyunun %75'inin uzaklaştırılarak alçı elde edilmektedir. Alçı ile su ile karıştırıldığında kısa bir süre içerisinde katılaşmaktadır [1]. Yapı malzemesi olan alçının pişirme sıcaklığı düşük ve öğütülmesinin kolay olmasının yanında aynı zamanda enerji maliyeti açısından da düşüktür. Doğada kolay bir şekilde bulunabilmesinden kaynaklı ucuz bir yapı malzemesidir. Alçı taşının sahip olduğu mukavemet, ses yalıtımı, yüzey gerginliği, basma ve eğilme dayanımı gibi özellikleri sayesinde yaygın kullanım alanlarına sahiptir. Uygulamaya bağlı olarak inşaat sektöründe yüksek mukavemetli alçı sıvaya ihtiyaç duyulabilmektedir. Bu sebepten dolayı alçının özelliklerini arttırmak amacıyla yapısına lifli malzemeler eklenmektedir. Bu zamana kadar alçı katkı maddesi olarak çeşitli katkı maddeleri kullanılmıştır [2-3]. Endüstride sahip olduğu mekanik verimlilik sayesinde en sık kullanılan katkı maddesi fiberglastır. Sıvaya fiberglas ilavesi sonucunda sıvanın viskozitesi artmaktadır. Ancak fiberglas pahalı bir katkı maddesi olmasının yanında aynı zamanda biyolojik olarak parçalanamadığından dolayı çevreye zararlıdır [3]. Bu özelliklerinden dolayı alçı sıvanın mekanik özelliklerini geliştirebilecek, çevre dostu bir katkı maddesi belirlenmelidir. Literatürde kum, pirinç kabuğu, silika jel, sodyum sülfat, kalsiyum karbonat, sodyum tripolifosfat gibi çeşitli alçı katkı maddelerinin kullanımına ilişkin çalışmalar bulunmaktadır. Kullanılan katkı maddelerinin alçıtaşının mekanik özelliklerine doğrudan etki ettiği bilinmektedir [4-7].

Bor ürünleri günümüzde çeşitli endüstri alanlarında kendisine kullanım alanı bulmaktadır. Türkiye'nin dünya bor rezervlerinin yaklaşık %73'üne sahip olması sebebi ile bor ürünlerinin farklı endüstrilere yayılarak kullanım alanının artması ekonomik anlamda büyük önem taşımaktadır [8]. Dünyada en yaygın tüketilen bor ürünleri rafine bor ürünleridir. Dolayısıyla rafine bor ürünlerinin kullanım alanlarını genişletmek, katma değeri yüksek bor ürünleri geliştirmek ve üretmek ihracat gelirinin artmasına faydalı olacaktır. Bor rezervleri, bor bileşikleri ve benzersiz bor ürünlerine işlendikten sonra cam, deterjan, metalurji ve tarımda daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca tekstil, sağlık, porselen/seramik, yanmayı geciktirici malzemeler ve nükleer enerji alanlarında da kullanılmaktadır [9].

Özellikle literatürde bor ilavesinin çimentonun mekanik dayanımına etkisini araştıran bazı çalışmalar bulunmaktadır. Ancak borik asit ilavesinin alçının mikro yapısı üzerindeki etkilerini araştıran bir araştırma bulunmamaktadır.

Alçı sıvalar, alçının yoğunluğunu ve ısı iletkenlik değerini azaltan gözenekli bir yapıya sahiptir. Alçı sıva yanmaya maruz kaldığında, alçı sıvadaki gözenekli yapı içerisinde bulunan serbest su ve kristal su, 100°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda kademeli olarak uzaklaştırılmaktadır. Alev ile sıva arasında ayrılan ve buharlaşan sudan bir buhar tabakası oluşmaktadır. [10-11]. Öte yandan, daha önce de tartışıldığı gibi bor aynı zamanda yanmayı geciktirici/önleyici bir malzeme olarak da değerlendirilmektedir. Farklı çalışmalarda çeşitli bor bileşikleri kullanılarak polyester kompozitin ve pamuklu kumaşın alev geciktirici özelliklerini iyileştirildiği sonucuna varılmıştır [12-13].

Biyolojik varlıkların radyasyona maruz kalmanın zararlı etkilerinden korunması, nükleer teknolojinin uygulanmasında temel gerekliliktir. Günümüzde tarım, kanser tedavi merkezleri, nükleer araştırma reaktörleri, nükleer enerji santralleri ve araştırma tesisleri gibi pek çok alanda nükleer teknolojinin kullanıldığı uygulamalar, tesislerin çevresindeki insanları ve çevreyi iyonlaştırıcı radyasyona ciddi şekilde maruz bırakmaktadır. Bu nedenle, nükleer tesislerin çevresindeki insanların ve çevrenin radyasyonun zararlı etkilerinden korunmasını sağlamak için yeterli korumaya ihtiyaç vardır. Radyasyona maruz kalma, zaman, mesafe ve korumayı içeren yöntemlerle önlenabilir [14]. Beton, düşük maliyetli olması ve her türlü inşaat tasarımına göre ayarlanabilmesi nedeniyle en yaygın kullanılan kalkan malzemesidir. Beton kullanılarak nötronların korunması konusunda bugüne kadar pek çok çalışma yapılmıştır. Bazı araştırmacılar borik asit, boraks gibi bor bileşiklerini betona ekleyerek betonun ekranlama etkinliğini arttırmaya çalışmışlardır. Bor minerallerinin en önemlilerinden biri kolemanit olup hem hidrat hem de bor içerdiğinden hızlı ve termal nötronları korumak için kullanılabilir [15]. Borun izotoplarından biri olan ^{10}B , termal nötronlar için yüksek bir yakalama kesitine sahip olduğundan, betonların nötron koruma etkinliğini arttırmaktadır [14].

Bu çalışmada borik asit ilavesinin alçı sıvanın mikroyapısı, mekanik dayanımı, yanma dayanımı ve radyasyon geçirgenliği özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Saf alçı sıvaya ve borik asit katkılı alçı sıvalara mekanik testler (basınç ve eğilme dayanımı), yanmaya karşı dayanıklılık testleri ve radyasyon geçirgenlik testleri uygulanmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Çimentoda Kullanılan Katkı Maddeleri ile İlgili Çalışmalar

Palta ve arkadaşları borik asitin kendiliğinden yerleşen betonun mekanik özelliklerine ve yapısal karakterizasyonuna etkisi üzerine çalışma gerçekleştirmiştir. Numunelerin mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimlerinin kıyaslanması amacı ile basınç ve eğilme dayanımı testleri uygulanmıştır. Aynı zamanda yapısında meydana gelen değişimlerin gözlenmesi amacı ile SEM ve XRD analizleri yapılmıştır. Referans numuneye ağırlıkça %0,5, %1,0, %1,5, %2,0, %2,5 borik asit eklenmiştir. %1,0 borik asit oranına kadar basınç dayanımında artış meydana gelmekteyken, borik asit miktarının artmasının sonucunda basınç dayanımında azalma meydana geldiği sonucuna ulaşılmıştır. Borik asit katkılı numuneler arasında %0,5 borik asit katkılı betonun en yüksek basınç dayanımına sahip olduğu görülmüş olup, eklenen borik asit miktarının artışının eğilme dayanımını azaltan bir etki gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır. XRD analizi sonucundaki pikler incelendiği zaman 30°'de gözlenen baskın piklerin %0,5 borik asit katkısından sonra arttığı görülmüştür. %1,0, %1,5, %2,0 ve %2,5 borik asit içeren numunelerinin kırınım pikleri arasında referans numuneye göre anlamlı bir fark görülmemiştir. Borik asit ilavesi betonun kristal yapısını değiştirmemiş olup numuneler aynı açılarda kırınım pikleri oluşturmuştur. SEM analizleri sonucunda borik asit ilavesinin morfolojik yapıyı önemli bir şekilde değiştirmedeği görülmüştür. SEM ve XRD sonuçları %0,5 borik asit katkılı beton numunelerinde basınç dayanımının arttığını desteklemektedir [16].

Davraz'ın yapmış olduğu bor bileşiklerinin taze çimento harcının başlangıç-son priz süreleri, pH düzeyi, elektriksel iletkenlik ve sıcaklık değerleri üzerine etkileri incelenmiştir. Aynı zamanda farklı konsantrasyonlardaki borik asit (kütleye %0,5, %1,0, %1,5 ve %2,0) kullanımının sertleşmiş beton numunelerinde 3, 7, 28 ve 90 günlük basınç ve eğilme dayanımlarına etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar Portland çimentosu ve borlu aktif belit (BAB) çimentosu içeren beton kontrol numuneleriyle karşılaştırılmıştır. Maksimum bor trioksit/çimento oranına göre en yüksek basınç dayanımı değerleri BAB çimentosu içeren beton örneklerinden elde edildiği sonucuna ulaşılmıştır [17].

Chintalapudi ve arkadaşları, grafen oksit ile geliştirilmiş Portland çimentosunun dayanımını araştırmışlardır. Katkı malzemesi olarak çimento ağırlığına göre %0,01, 0,02, 0,03, 0,04,

0,05 oranlarında grafen oksit kullanılmıştır. Çimentonun 28 günlük kürleme sonrasında grafen oksit eklenmesi ile sahip olduğu basınç dayanımının grafen oksit içermeyen çimentoya göre artış gösterdiği görülmüştür. Ancak %0,03 oranından sonra basınç dayanımdaki artış oranının azaldığı sonucuna ulaşılmıştır. %0,02 grafen oksit ilavesinde basınç dayanımı %28,5 artıyorken %0,03 oranında ise basınç dayanımı %46,4 arttığını bildirmişlerdir [18].

Lavagna ve arkadaşları, grafenin sahip olduğu oksijen içeriğinin çimentonun mekanik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. %0-45 oksijen içeriğine sahip grafen kullanılmış olup en yüksek dayanım verisinin ise %5 oksijen içeren grafen ile elde edildiği sonucuna ulaşılmıştır [19].

Zhao ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada grafen katkılı çimento malzemelerinin mekanik özellikleri araştırılmıştır. Çimento bazlı malzemelerin makro-mekanik özelliklerinin uygun miktarda grafen eklenmesi sonucunda belirli bir dereceye kadar arttığı sonucuna varılmıştır. Ağırlıkça %0,06 grafen eklenmesi ile elde edilen çimentonun eğilme ve basınç dayanımlarında %10 oranında artış olduğu görülmüştür [20].

Özdemir ve Öztürk'ün gerçekleştirdiği çalışmada çimentoya %0-20 boron katkılı kil eklenerek mekanik özellikleri ve prizlenme süreleri araştırılmıştır. %1,5 haricinde atık kil oranı arttıkça basınç ve eğilme dayanımlarında azalma meydana geldiği görülmüştür. Aynı zamanda kil atık miktarının ağırlıkça oranındaki artış sonucunda, çimento karışımlarının ilk ve son priz sürelerinde de artış gözlenmiştir [21].

Özdemir ve Uğurlu'nun yapmış olduğu bir diğer çalışmada bor içeren kil atıklarının çimento katkı maddesi olarak kullanılması araştırılmıştır. Klinker ve alçıtaşına bor içeren kil atıkları (CW) ilave edilerek elde edilen çimento harcının, %1 CW1 içeren numune hariç, Portland çimentosundan daha düşük çekme ve basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür. Ancak bu harç numunelerinin çekme ve basınç dayanımı değerleri %10 CW1 içeren numune hariç TS değerlerinden yüksek çıkmıştır [22].

Prentice ve arkadaşları borik asit (%1, %2, %4, %8) ve fosforik asidin (%1, %2, %3, %7) cam iyonomer simanların basınç dayanımına etkisi üzerine araştırma yapmışlardır. Borik asit ilavesinin ve aynı zamanda ilave edilen borik asit miktarındaki artışın basınç dayanımını

azalttığı görülmüştür. Fosforik asit içeren çimentolarda ise basınç dayanımının %1 ve %2 fosforik asit için katkısız çimentoya göre yüksek olduğu görülmüştür. Ancak daha yüksek fosforik asit konsantrasyonlarında basınç dayanımının azaldığı sonucuna ulaşılmıştır [23].

Rai ve arkadaşları gerçekleştirdikleri çalışmada farklı oranlardaki borik asitin (%0,2, %0,5, %0,8, %1) pirinç kabuğu külü karışımı Portland çimentosunun hidrasyonuna etkisi araştırılmıştır. Borik asit konsantrasyonunun artması sonucunda çimentonun başlangıç ve son priz sürelerinin arttığı görülmüştür. Elde edilen bu sonuçlar, borik asidin RHA katkılı çimentonun hidratasyonunu geciktirdiğini göstermektedir [24].

Zayed ve arkadaşlarının çalışmasında borik asidin (çimento ağırlığına göre %0,1 ve %3) serpatin betonun fiziksel, mekanik, mikroyapısal ve radyasyondan koruma özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Serpatin betonun su emme ve gözenekliliğinin borik asit ilavesi ile arttığı ve borik asit miktarındaki artışın ise borik asit içermeyen serpatin betona göre basınç ve çekme dayanımlarını azalttığı sonucuna ulaşılmıştır. Aynı zamanda sınırlı oranlarda kullanılan borik asitin serpatin betonun ısı ve hızlı nötronlara karşı kalkanlama özelliği gösterdiği görülmüştür [25].

Mollamahmutoğlu ve arkadaşı borik asit katkısı içeren ultra ince çimento (UFC) enjeksiyonlu kumun mukavemetini incelemişlerdir. Borik asit katkısı oranları %0,25, %0,50, %0,75, %1,0, %2,2 ve %3,0 kullanılmıştır. UFC harçlarının borik asit ilavesi ile başlangıç priz sürelerinin %66 ile %427 aralığında, son priz sürelerinin ise %29 ile %230 aralığında arttığı sonucuna ulaşılmıştır. Borik asit ilavesi sonucunda ise serbest basınç dayanımlarının azaldığı gözlemlenmiştir [26].

Koumpouri ve arkadaşı düşük enerjili belit çimentolarının üretimine bor oksit ilavesinin etkisini araştırmışlardır. Ağırlıkça %1,5 borik asit, %1,0 ve %6,5 bor atığı ilavesi ile üç tip klinker hazırlamışlardır. 28 günlük hidrasyon sonucunda ağırlıkça %1,0 ve %1,5 bor ilavesinin basınç dayanımını arttığı sonucuna ulaşmışlardır. Elde edilen sonuçlar, kontrollü miktarda kullanılan bor oksit miktarının belit çimentosu üretiminde faydalı olabileceğini göstermiştir [27].

Riberio ve arkadaşlarının çalışmasında geciktirici katkı maddesi olarak borik asit kullanımının magnezyum fosfat çimentolarında (MPC) faz oluşumu, priz süresi ve gözenek

boyutu dağılımı gibi özelliklerine etkisi değerlendirilmiştir. Çalışmada kütlece %70 ve %55 oranlarında magnezyum oksit ve katkı maddesi olarak kütlece %10,15,25 ve 40 oranlarında borik asit kullanılmıştır. Kalsine edilmiş magnezyum oksitin kalsinasyon sıcaklığının artmasıyla yoğunluğunun da kademeli olacak bir şekilde arttığı, yüzey alanının ise azaldığı görülmüştür. Daha yüksek kalsinasyon sıcaklığına bağlı olarak ortalama parçacık boyutunda bir artış gözlemlenmiştir. Borik asit konsantrasyonundaki artışla beraber magnezyum fosfat çimentosunun priz süresinin de o kadar uzun olduğu görülmüştür. Daha yüksek geciktirici konsantrasyonu ile beraber fazların daha iyi oluşumu, magnezyum fosfat çimentosunun eksenel sıkıştırmaya karşı mekanik dayanımını arttırmaktadır [28].

2.2. Alçıda Kullanılan Katkı Maddeleri ile İlgili Çalışmalar

Serna Jara ve arkadaşları, grafen katkılı alçının bükülmeye karşı direnci üzerine gerçekleştirdikleri çalışmada alçıya kütlece %0,05, %0,08 ve %0,1 grafen tozu ilave etmişlerdir. Grafen katkılı alçı harcının eğilme dayanımı testinde elde ettikleri sonuçları, farklı katkı malzemeleri kullanılarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırdıklarında eğilme dayanımında önemli bir artışın meydana geldiği sonucuna ulaşmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, referans alçı harcına herhangi bir oranda grafen tozu eklenmesi ile eğilme dayanımının arttığı ve en iyi sonucun ise eğilme dayanım değeri 5.35 N/mm^2 olan %0,1 oranında elde edildiği sonucuna varılmıştır. Elde edilen bu değer ise referans alçıya göre %22,43 oranında artış sağlandığını ifade etmektedir [29].

Doğan ve arkadaşlarının çalışmasında grafen bazlı katkı malzemesinin alçı sıvaya eklenmesiyle mekanik dayanım ve mikro yapı üzerindeki değişimleri incelenmiştir. Mekanik dayanım testleri incelendiğinde grafen oksitin alçı sıvanın mekanik dayanımlarını azalttığı görülmüşken, indirgenmiş grafen oksit ilavesinin ise alçı sıvanın eğilme ve basınç dayanımlarını arttırdığı görülmüştür. Ağırlıkça %0,1 indirgenmiş grafen oksit ilavesi, alçı sıvanın eğilme dayanımında %15,1, basınç dayanımında ise %3,7 iyileşme sağlamıştır. Bor katkılı indirgenmiş grafen oksit ilavesi ise basınç dayanımını arttırıyorken eğilme dayanımını ise azalttığı sonucuna ulaşılmıştır. %0,1 bor katkılı indirgenmiş grafen oksit ilavesi basınç dayanımını %8,6 artırırken eğilme dayanımını olumsuz yönde etkilemiştir [30].

Yıldız ve arkadaşları yapı alçısının (kartonpiyer alçısı) SiFeCr baca tozu ile hacimce %5, %10, %15, %20 ve %25 oranlarında yer değiştirilmesi sonucunda elde edilmiş olan numunelerin, birim ağırlığı ve eğilmede çekme dayanımı kontrol numuneleri ile karşılaştırılmıştır. Gerçekleştirilen çalışma sonucunda %15 silis dumanı kullanım miktarına kadar birim ağırlıkta bir azalma gerçekleşiyorken eğilme dayanımında ise %7,70 iyileşme görülmüştür. Ancak silis dumanı kullanımı %15 üzerine çıktığında birim ağırlıkta pek bir değişiklik gözlenmezken eğilme dayanımında %2'ye yakın bir azalma meydana geldiği sonucuna ulaşmışlardır [31].

Serna ve arkadaşları gerçekleştirdikleri çalışmada lastiğin geri dönüşümüyle elde edilmekte olan farklı hacim oranlarındaki kauçuk parçacıkların (%1, %3 ve %5) alçı sıvaya eklenmesinin, alçı sıvanın mekanik dayanımının üzerinde nasıl bir etki göstereceğini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar doğrultusunda alçı sıvanın eğilme dayanımında ortalama %16 ve basınç dayanımında ortalama %18.3 azalma gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır [32].

Gökçe ve arkadaşlarının çalışmasında yalnızca öğütülmüş diatomit ile diatomitin ağırlığına göre farklı oranlarda kartonpiyer alçısı (%15, 25 ve 35) ve su kullanılmıştır. Elde edilen karışıma basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve su emme testleri uygulanmıştır. Alçı miktarının artmasıyla beraber numunelerin birim ağırlığında, basınç ve eğilme dayanımlarında ciddi bir artış elde edilmiştir. Ancak alçı miktarındaki artışın numuneler üzerinde su emme değerlerini azalttığı görülmüştür [33].

Aizi ve arkadaşı yapmış oldukları çalışmada takviye malzemesi olarak kullanılmakta olan cam elyafın yerini alacak bir alternatif bulmak amacı ile alçı kompozitlerin hazırlanmasında farklı uzunluklarda (0, 10, 15 ve 20 cm) ve yoğunluklarda (%0,5, %1 ve %1,5) Retama monosperma elyafları (Rtam) kullanmışlardır. Retama monosperma elyafları ile güçlendirilmiş alçı numuneleri üzerinde gerçekleştirilen mekanik testler sonucunda, 15cm uzunluğunda ve %1 fraksiyona sahip elyafların eğilme ve basınç dayanımları açısından en iyi performansı sergilediği sonucuna ulaşılmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, elyaf dozaj miktarı ve uzunluğunun artması (15 cm'ye kadar) sonucunda basınç ve eğilme dayanımlarında da önemli ölçüde arttığı gözlemlenmiştir [3].

Moghadam ve Mirzaei'nin çalışmasında sodyum tripolifosfat (STPP) ve sodyum sülfat (SS) katkılarının alçı sıva özelliklerine etkisi araştırılmıştır. STPP'nin alçıtaşının hidrasyonunda geciktirici görevi gösterdiği ve ağırlıkça %0,3 STPP eklenmesinin priz süresini 5 kattan fazla arttırdığı, hidrasyon hızlandırıcı olarak ağırlıkça %0,4 SS eklenmesiyle priz süresinin önemli ölçüde azaldığı bulunmuştur [34].

2.3. Bor Bileşiklerinin Alev Geciktirici Olarak Kullanılması ile İlgili Çalışmalar

Uslu ve arkadaşları ağırlıkça farklı oranlarda (%5, %10 ve %20) borik asit ile hazırlanan su bazlı iç mekân boyalarında alev geciktirici katkı maddesi olarak kullanılmıştır. Boya numunelerinin yanmazlık davranışları karşılaştırıldığında ise, %20 oranında borik asit içeren numunenin yanmaya karşı en yüksek dayanıklılık gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır. Termogravimetrik analiz sonuçları ise borik asit katkılı boyaların B_2O_3 ve suya ayrılarak yanmayı bastırdığı görülmüştür [35].

Borazan ve arkadaşının çalışmasında çam kozalağı ve farklı bor bileşiklerinin (bor oksit, boraks pentahidrat ve boraks dekahidrat) katkısı polyester kompozitlerinde mekanik ve yanıcılık özelliklerinin değişimi incelenmiştir. Mekanik ve fiziksel özellikler değerlendirildiğinde bor oksitin diğer bor minerallerinden daha iyi özelliklere sahip olduğu görülmüştür. Çam kozalağının miktarının artmasının eğilme dayanımını azalttığı görülmüştür. Polimer kompozitlerde bor oksit kompozitlerin yanma dayanım değerini yaklaşık %10 arttığı sonucuna ulaşılmıştır. Bor oksit ve çam kozalağının birlikte kullanımının ise aleve dayanıklılık özelliklerini olumlu yönde etkilediği sonucuna varılmıştır [12].

2.4. Yapı Malzemeleri ve Borlu Polimerde Radyasyon Geçirgenliği ile İlgili Çalışmalar

Kharita ve arkadaşları tarafından karbonat ve hematit agregalarından oluşan iki beton malzemesine üç farklı ticari bor bileşiği olan borik asit, borik frit ve boraks ilavesinin radyasyon koruma özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sonuçlar, ağırlıkça %0,5-1 oranında borik asit ve borik fritin ilavesinin çimentonun prizini olumsuz yönde etkilediği sonucuna ulaşılmıştır. Ağırlıkça %1'e kadar boraks ilavesinin ise betonun dayanımının

üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı ancak 100 cm kalınlığındaki betonda gama ışınlarını boratsız betonlara göre %80 daha iyi yakaladığı görülmüştür [36].

Sarkawi ve arkadaşları sıradan betondaki termal nötronların zayıf Emilimi nedeniyle, betonun radyasyondan korunma özelliklerini geliştirmek amacıyla betona ek olarak ferro-bor bileşimini kullanmışlardır. Standart betona eklenen ferro-bor içeriğinin artması ile betonun yoğunluklarında önemli bir artış olduğunu gözlemlemişlerdir. Ferro-bor içeren betonun gama radyasyonuna kıyasla termal nötron için daha iyi koruma özelliklerine sahip olduğu da görülmüştür. Dolayısıyla ferro-bor'un betonun koruyuculuk özelliklerini geliştirebildiği sonucuna varılmıştır [14].

Nagaraja ve arkadaşları farklı bor polimerlerinde X-ışını, gama ve nötron koruma özelliklerini araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda feniletanilboronik asidin diğer bor polimerlerine göre daha iyi bir X-ışını, gama radyasyonu ve nötron emici olduğu sonucuna ulaşılmıştır [37].

Alabsy ve arkadaşları mikro-PbO ve nano-PbO tozları ile güçlendirilmiş alçı-kireç-atık mermer bazlı harçların gama radyasyonundan korunma özelliklerini araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında nano-PbO eklenmesinin gama radyasyonundan koruma yeteneğini geliştirildiği sonucuna ulaşılmıştır [38].

Orak ve Baysoy'un çalışmasında bor ve kolemanit ilavesinin Portland betonunun nötron kalkanlama özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Bor ve kolemanit katkılı betonlar için deney ve simülasyon sonuçları karşılaştırıldığında bor katkısının nötron koruma etkinliğini arttırdığı sonucuna varılmıştır [15].

Hernandez-Murillo ve arkadaşları beton ve alçıtaşının X-ışını ve gama ışını koruma özelliklerini araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlar beton blokların Portland betonuna benzer şekilde foton zayıflama katsayılarına sahip olduğunu ve alçıdan daha iyi özelliklere sahip olduğu görülmüştür [39].

Çizelge 2.1. Alçı ve çimentonun mekanik dayanım, yanma dayanımı ve radyasyon geçirgenliği üzerine yapılmış çalışmalar

Yazar	Malzeme	Gözlemler
Palta ve diğerleri [16]	Kendiliğinden yerleşen beton	%1.0 borik asit ilavesine kadar basınç dayanımında artış gözlenmiştir. %1.0'den fazla borik asit ilavesi basınç dayanımında azalmaya neden olduğu görülmüştür. Borik asit ilavesinin eğilme dayanımını azaltan yönde etki gösterdiği gözlemlenmiştir
Chintalapudi ve diğerleri [18]	Grafen oksit katkılı portland çimentosu	Çimentoya grafen oksit ilavesinin basınç dayanımını arttığı sonucuna ulaşılmıştır.
Zhao ve diğerleri [20]	Grafen katkılı çimento	Ağırlıkça %0,06 grafen ilavesinin çimentonun basınç ve eğilme dayanımını %10 oranında arttığı sonucuna ulaşılmıştır.
Özdemir ve diğerleri [21]	Boron içeren kil katkılı çimento	%1,5 haricinde atık kil oranı arttıkça basınç ve eğilme dayanımlarında azalma meydana geldiği görülmüştür. Aynı zamanda kil atık miktarının ağırlıkça oranındaki artış sonucunda, çimento karışımlarının ilk ve son priz sürelerinde de artış gözlenmiştir.

Çizelge 2.1. (devam) Alçı ve çimentonun mekanik dayanım, yanma dayanımı ve radyasyon geçirgenliği üzerine yapılmış çalışmalar

Yazar	Malzeme	Gözlemler
Prentice ve diğerleri [23]	Borik asit ve fosforik asit katkılı cam iyonomer simanı	Borik asit oranındaki artışla beraber basınç dayanımında azalma gözlenmiştir.
Rai ve diğerleri [24]	Portland çimentosu	İlk ve son sertleşme süreleri BA konsantrasyonunun artmasıyla artmıştır. Borik asidin çimentonun hidratasyonunu geciktirdiğini görülmüştür.
Zayed ve diğerleri [25]	Borik asit katkılı serpatin beton	Borik asit serpatin betonun su emme ve gözenekliliğini arttırmıştır. Borik asit serpatin betonun basınç ve çekme dayanımına olumsuz etki göstermiştir. Sınırlı oranlarda borik asit kullanımı betonun ısı ve hızlı nötronlara karşı kalkanlama özelliği göstermiştir.
Mollamahmutoğlu ve diğerleri [26]	Borik asit katkılı ultra ince çimento	BA ilavesi ile priz süreleri uzamıştır. UFC enjeksiyonlu kum numunelerinin serbest basınç dayanımı ve geçirgenliği BA katkısı ile azaltılmıştır.
Jara ve diğerleri [29]	Grafen katkılı alçı	Referans alçıya göre grafen eklenen alçının eğilme dayanımında artış meydana gelmiştir.

Çizelge 2.1. (devam) Alçı ve çimentonun mekanik dayanım, yanma dayanımı ve radyasyon geçirgenliği üzerine yapılmış çalışmalar

Yazar	Malzeme	Gözlemler
Doğan ve diğerleri [30]	Grafen katkılı alçı sıva	Grafen oksit ilavesi alçının mekanik dayanımı azalttığı, indirgenmiş grafen oksit ilavesinin ise eğilme ve basınç dayanımlarını arttırdığına ulaşılmıştır. Bor katkılı indirgenmiş grafen oksit ise alçının basınç dayanımını arttırmaktayken eğilme dayanımını ise azalttığı sonucuna ulaşılmıştır.
Serna ve diğerleri [32]	Kauçuk katkılı alçı sıva	Alçı sıvaya geri dönüştürülmüş lastiğin ilavesi sonucunda eğilme dayanımında artış elde edilmekteyken, basınç dayanımında ise azalma gözlenmiştir.
Aizi ve diğerleri [3]	Retama monospema elyafı katkılı alçı	Alçıya eklenen elyafın dozajının ve uzunluğunun artması ile mekanik dayanımının önemli ölçüde arttığı gözlenmiştir.

3. GENEL BİLGİLER

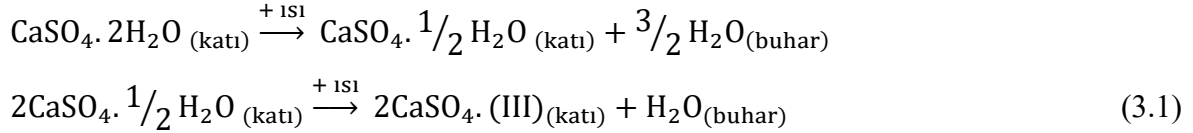
3.1. Alçı Tarihi ve Genel Bilgileri

Kimyasal bileşimi kalsiyum sülfat olan alçıtaşı, alçının hammaddesidir. Normalde renksiz ve saydam olarak bulunmakta olan alçıtaşının yapısında yabancı maddelerin bulunması sonucunda zaman zaman gri, sarı veya kahverengi gibi farklı renklerde de görülebilmektedir. Yapısında iki molekül su bulunan türüne jips ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) denir. Jipsin pişirilmesi sonucunda yapısındaki suyun belli bir kısmının uzaklaştırılması ile elde edilmekte olan beyaz renge sahip olan alçının kimyasal formülü $CaSO_4 \cdot \frac{1}{2} H_2O$ 'dur. Bağlayıcı özelliğe sahip bir malzeme olmasından dolayı alçı, su ile bir araya getirildiğinde katılaşmaktadır [1]. Yapı malzemesi olan alçı, Eski Mısır uygarlığında birçok yapıta bağlayıcı madde olarak, Yunan ve Roma yapılarında ise duvar sıvası olarak kullanılmıştır. 14. Yüzyılda İtalya'da stucco (su, alçı, boya ve mermer tozu) adı altında kullanılmıştır. 1666 yılında Londra'da meydana gelen yangın sonrasında ahşap binaların alçı sıva sayesinde yangından korunduğu gözlemlenince Fransa'da alçı sıva uygulaması zorunlu hale getirilmiş olup sıva alçısı Plaster of Paris adını almıştır. 1700 yılından sonra kalsiyum ve kükürt ihtiyacını karşılamak amacı ile tarım alanında gübre olarak kullanılmaya başlanmıştır. 19. Yüzyıl itibariyle iç mekân tavan süslemelerinde kartonpiyer adı altında kullanılmaya başlanmıştır [40-41].

Alçı yapı malzemesinin pişirme sıcaklığı ve enerji maliyetinin düşük olmasının yanında aynı zamanda öğütülmesi de kolaydır. Bu özelliklerine ek olarak doğada kolay bulunmasından dolayı ucuz bir malzemedir. Darbeye karşı dayanımı düşük olan alçı, kolay bir şekilde kırılabilmektedir. Bunun yanında aynı zamanda suya karşı olan dayanımı da düşük bir malzemedir. Sahip olduğu bu kırılğan yapısını ve mekanik özelliklerini iyileştirmek amacı ile, alçıya ek olarak doğal ve sentetik lifli malzemeler katılmaktadır. Günümüzde üretim şekli ve kullanım alanına göre çeşitli özelliklere sahip alçılar üretilmektedir [2-3].

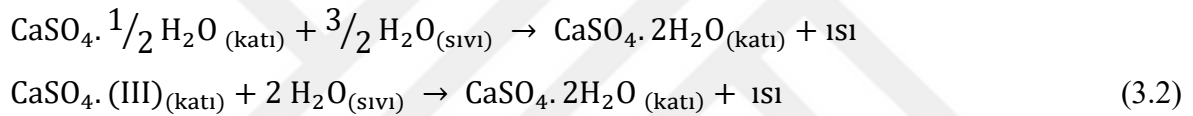
3.2. Alçının Kimyasal Özellikleri

Yarım hidrat kalsiyum sülfat ($CaSO_4 \cdot \frac{1}{2} H_2O$) olarak isimlendirilen alçı, yapısında iki molekül su bulunan kalsiyum sülfatın ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) suyunun uzaklaştırılması (dehidrasyonu) sonucunda elde edilmektedir. Hidratasyon süreci iki adımda gerçekleşmekte olup, formülü Eş. 1.1'de gösterilmiştir.



Kalsiyum sülfat dihidratın 160-200°C’de ısıtılmasıyla, alçıyı oluşturan kalsiyum sülfat yarım hidrat ve su ortaya çıkmaktadır. Elde edilen kalsiyum sülfat yarım hidrata kırma ve öğütme işlemleri uygulanarak belirli bir inceliğe ulaşılır. Bu ürün adi alçı, yapı alçısı olarak isimlendirilir. Kalsiyum sülfat yarım hidratın 205°C üzerinde ısıtılması sonucunda ise kristal suyunu tamamen kaybederek kalsiyum sülfat anhidriti oluşturmaktadır.

Kristal yapıya sahip olan alçının su ile karşılaşması sonucunda ise kaybetmiş olduğu kristal suyunu tekrardan alarak katılaşmaktadır. Bu olay hidrasyon olarak bilinmektedir. Formülü Eş. 1.2’de gösterilmiştir.



Hidrasyon esnasında suda çözünen yarım hidrat kalsiyum sülfat, kalsiyum ve sülfat iyonlarını vermektedir. Bu iyonların su ile birleşmesi sonucunda jips meydana gelmektedir. Alçıtaşının oluşumu sonucunda bir miktar ısı enerjisi ortaya çıkmaktadır [42].

3.3. Alçının Özellikleri

Alçının cinsine, içermiş olduğu katkı maddesine ve su miktarına göre priz sürelerinde değişkenlik görülmektedir. TS EN 13279-1 standardına göre priz süreleri, adi alçı kullanımında 8 dakikadan daha az olmaması gerekiyorken, alçı sıvada kullanımında ise 30 dakikadan daha az olmamalıdır.

Mohs sertliğine göre ikinci sırada bulunan alçının sertlik değeri ise 1,5-2,5 arasında değişkenlik göstermektedir.

Alçıtaşının özgül ağırlığı 2,3 g/cm³’tür. Alçının ise özgül ağırlığı, türüne göre farklılık göstermektedir [43].

- *Mukavemeti:* Alçının mukavemet özelliğini etkileyen en önemli parametrelerden birisi su/alçı oranıdır. Sahip olunan su/alçı oranındaki su miktarının artması sonucunda alçının gözenekliliğinde de artış meydana gelmektedir. Alçının yapısında meydana gelen bu gözeneklere suyun girmesiyle beraber, alçının içinde bulunan suyun buharlaşıp yüzeye çıkması sonucu ile yüzey gerilimini etkilemektedir. Yüzey gerilimindeki artış alçının mekanik dayanımı olumsuz yönde etkilemektedir. Alçının mukavemetinin artırılması amacı ile yapısına lifli malzemeler eklenmektedir. Alçı içerisindeki lif miktarının artması mukavemette pozitif bir etki göstermektedir [44].
- *Yanma dayanımı:* İnorganik bir madde olduğundan dolayı alçılar yanmamaktadır. Yanıcılık açısından değerlendirildiğinde, 'A1 Sınıfı Yanmaz' bir malzeme olarak sınıflandırılmaktadır. Yanma esnasında alev ile karşılaşan alçı, gözeneklerindeki nem ile bünyesinde bulunan kristal suyu ayrıştırmak amacı ile enerjisinin büyük bir bölümünü absorbe etmektedir. Ayrışan ve buharlaşan su, alev ile alçı arasında bir buhar tabakası oluşturmaktadır. Yanma başladıktan yaklaşık 2 saat sonrasında yangın ile temas eden yüzeyin sıcaklığı 1040°C'ye ulaşırken, 5 cm'lik alçı duvarın arka yüzeyindeki ölçülen sıcaklık değeri ise 54 °C'dir. Yapı alçıları ve alçı levhalar yanmaya yaklaşık 2 saat dayanmaktadır [44].
- *Nem düzenleyici özelliği:* Alçı gözenekli yapıya sahip olmasından dolayı ortamdaki nem dengesini düzenlemektedir. Ortamdaki nem miktarı azaldığı takdirde sahip olduğu nemi ortama vererek ortamın nem dengesini sağlamaktadır [44].
- *Ses geçirgenliği:* Sahip olduğu gözenekleri sayesinde gelen ses dalgalarını azaltarak yansıtmaktadır ve bu sayede ses yalıtımı sağlamaktadır. 700 Hz düzeyindeki bir sesi %50'ye kadar azaltmaktadır. Alçının yapısına lifli malzemeler eklenmesi ile ses geçişini yaklaşık %90'a kadar azalttığı bilinmektedir [44].
- *Hafiflik:* Alçı, sahip olduğu gözenekli yapısı sayesinde yoğunluğunun azalmasına neden olmaktadır. Alçının hafif olmasının temel nedenlerinden biri gözenekli yapısıdır. Bu özelliği ile yapıların yükünü azalmaktadır. Normal bir duvar ile alçıpenden yapılmış olan duvarın ağırlıkları karşılaştırıldığı takdirde alçıpen duvar normal duvara göre 4 kat daha hafiftir [44].
- *Isı iletkenliği:* Isıl iletkenliği düşük olan alçı, gözenekli yapısı sayesinde ortam ısıtıldığında duvarların hızla ısınmasını sağlayarak kışların daha sıcak geçirilmesine olanak sağlamakta olup, yazların ise daha serin geçirilmesini sağlamaktadır [44].

3.4. Alçı Tipleri

Öğütölme işlemi gerçekleştirildikten sonra alçı taşlarının döner fırın veya otoklavda kalsinasyon işlemine tabi tutularak yapısında bulunan suyun uzaklaştırılması sonucunda alfa (α) ve beta (β) alçısı olarak isimlendirilen iki çeşit alçı meydana gelmektedir.

3.4.1. Alfa tipi alçı

Yüksek dayanıma sahip olan alfa alçısı, ıslak yöntemle yüksek sıcaklıkta ve kısmi su buharı basıncı altında (otoklavlama) dihidrattan hazırlanmaktadır. Basınç altında sıcaklığın yükselmesiyle beraber alfa alçısının sertleşmesi de artmaktadır. Dihidrat yapıya sahip alçı taşı 160-180 °C sıcaklığa ulaştığı zaman basıncın da etkisi sonucunda yapısında bulunan su uzaklaşarak α -hemihidrat yapıya geçmesi sonucunda alfa alçısı meydana gelmektedir. Alfa alçısının üretimi sırasında kullanılan otoklav Şekil 3.1’de görülmektedir [45,46]. Şekil 3.2.’de alfa alçısının SEM görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.1. Otoklavda alfa alçısının üretimi [47].



Şekil 3.2. Alfa alçısının SEM görüntüsü [46]

3.4.2. Beta tipi alçı

Hızlı priz yapmakta olan beta alçısı, düşük basınca sahip döner fırınlarda ya da düşük su basıncı altında ısıtılması ile kuru yöntemle, normal koşullarda elde edilmektedir. Şekil 3.3'te beta alçısının elde edilmesinde kullanılan döner fırın gösterilmektedir.



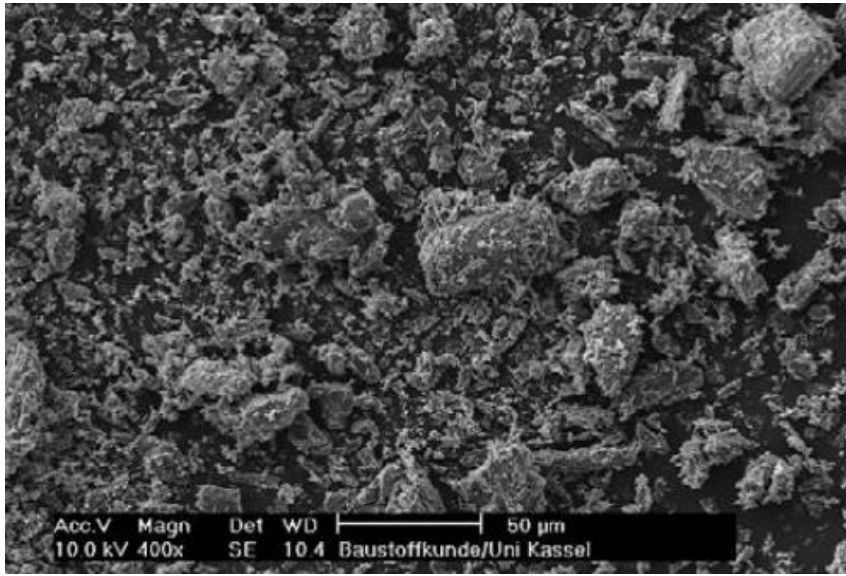
Şekil 3.3. Döner fırında beta alçısı üretimi [48].

Beta hemihidrat yapı yüksek yüzey alanına sahip olmasından dolayı daha hızlı nemlenmektedir. İşlem kuru hava veya vakum altında 45-200 °C aralığında gerçekleşmektedir. Dihidrat yapıya sahip alçı taşı 120-160 °C sıcaklığa ulaştığı zaman

basıncında etkisi ile yapıdaki suyun uzaklaşarak β -hemihidrat yapıya geçmesi ile beta alçısı meydana gelmektedir.



Aşağıda yer alan Şekil 3.4'te beta hemihidratın SEM görüntüsü görülmektedir. Bu SEM görüntüsü incelendiği zaman beta hemihidrat yapısının pul pul parçacık halinde küçük kristallerden oluştuğu görülmektedir. Sahip olduğu bu yapı ise beta alçısının dayanımını azaltmaktadır.



Şekil 3.4. Beta alçısının SEM görüntüsü [46]

3.5. Alfa ve Beta Alçıların Özellikleri

Alfa hemihidrat iğne yapılı kristallerden meydana gelmekteyken, beta hemihidrat ise pirinç tanelerine benzeyen kristallerden meydana gelmektedir. Beta alçısının yoğurma suyu oranı, katılaşma süresi ve hidrasyon ısıları değerleri alfa alçısına göre daha yüksektir. Ancak alfa alçısının katılaşma genleşme oranı, basınç dayanımı ve yoğunluğu ise beta alçısı ile karşılaştırıldığında daha yüksek değerlere sahiptir. Alfa hemihidrat beta hemihidrata göre suya daha az ihtiyaç duymaktadır. Alfa alçısı kristalize hemihidrat, beta alçısı ise mikro gözenekli hemihidrat olarak isimlendirilmektedir. Sahip oldukları bu farklılığın temeli kristal yapılarından kaynaklanmaktadır. Kullanım yerlerine göre farklı şekilde üretilen alçılar tercih edilmekte olup ülkemizde ise alfa ve beta tipi alçıların üretimi TS-370

standartlarında yapılmaktadır. Kalıplık alçılar alfa tipi iken, adi alçı olarak isimlendirilen kartonpiyer alçılar ise beta tipi alçıdır. [45,49]

Çizelge 3.1. Alfa ve beta alçıların özellikleri [49].

	Alfa Tipi	Beta Tipi
Kristal Yapı	Uzun, iğne	Kısa, yuvarlak pirinç tanesi
Katılma Süresi, (dk)	20-30	25-30
Katılma Genleşme Oranı	0,003	0,0018
Kuru Basınç Dayanımı (mPa)	55	20
Yoğunluk (g/cm ³)	2,75-2,78	2,60-2,64
Hidratasyon Isısı (cal.mol.g)	4100	4600
Yoğurma Suyu Oranı	0,40-0,43	0,64-0,65

3.6. Türkiye Alçı Rezervleri

Türkiye'nin sahip olduğu jips rezervi milyonlarca ton olmak ile beraber başlıca rezerv sahaları ise Beypazarı Havzası, Tuz Gölü havzası, Çankırı Çorum-Yozgat havzası, Karabük-Pürçükören, Sivas havzası, Güneydoğu Anadolu havzası, Kars Kağızman-Tuzluca, Erzurum çevresi, Denizli çevresi, Balıkesir Susurluk sahası ve Kütahya-Gediz sahasıdır. Ülkemizin sahip olduğu alçıtaşı maden işletmeleri ise, Ankara (Beypazarı, Şereflikoçhisar, Ayaş ilçeleri) Balıkesir-Susurluk, Niğde-Ulukışla, Eskişehir Sivrihisar, Denizli-Honaz ve Erzurum-Aşkale'de yer almaktadır. Bunun dışında sahip olunan alçıtaşı rezervleri aynı zamanda İç Anadolu, Güney ve Güney Doğu Anadolu'da yaygın bir şekilde mevcuttur [50].

3.7. Alçı Kullanım Alanları

Alçının yanmaz oluşu, ısı yalıtım ve ses yalıtım özelliklerinin iyi olması, hafif olması ve nem dengeleyici olması gibi özelliklerinden dolayı günümüzde geniş kullanım alanlarına sahiptir. Sahip olduğu bu geniş kullanım alanlarının en başında inşaat alanında onarım, duvar dolgusu olarak kullanılmaktadır. İnşaat sektöründe sıva alçısı, kartonpiyer alçı, saten perdah alçısı ve makine sıva alçısı olarak kullanımı yaygındır [51]. Ham jips, çimento endüstrisinde

prizlenmeyi geciktirici olarak kullanılmaktadır. Bira sanayisinde mayalandırma amacıyla kullanılmaktadır. Kimya sanayisinde amonyum sülfat, kükürt ve kükürt oksit elde etmek için kullanılmaktadır. Jips; beyaz boya ve dolgu maddesi olarak kâğıt ve pamuklu tekstil maddelerinde dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır. Jips, toprağın tuz ve kireç oranını dengeleyerek toprak kalitesini arttırmada kullanılmaktadır. Alçı aynı zamanda tıpta, cerrahide, dişçilikte, cam sanayisinde, hayvan yemi ve böcek ilaçlarında, tutkal ve plastik üretimi gibi çeşitli alanlarda da kullanılmaktadır [52-54].

3.8. Bor Elementinin Tarihçesi ve Genel Özellikleri

Tarihte ilk kez 4000 yıl önce Babiller tarafından altın işlemeciliğinde kullanılmış olmakla beraber eski Mısırda ise tıp (mumyalama alanında) ve metalürjide borun kullanıldığı bilinmektedir. Boraks ilk olarak Tibet göllerinden temin edilmiştir. Borlu bileşikler Eski Yunan ve Roma İmparatorluklarında temizlik malzemesi olarak kullanılıyorken, Arap doktorlar tarafından ise ilaç olarak kullanılmıştır [55].

13. yüzyıl sonlarında Marco Polo tarafından Avrupa'ya bor getirilerek modern bor endüstrisinin başlaması sağlanmıştır. Borik asit (H_3BO_3) ilk kez 1702 yılında kimya öğretmeni olan William Homberg tarafından boraks ve demir sülfatın ısıtılması sonucunda elde edilmiştir. 1771 yılında İtalya'nın Toskana bölgesinde katı borik asit (sasalit) bulunmuş olup elementel bor ise %50 saflıkta 1808 yılında Sir Humphry Davy ve Joseph Louis Gay-Lussac tarafından elde edilmiştir. Ticari anlamda bor madenciliğine ilk defa Şili'de 1852 yılında başlanmıştır. Türkiye'de bor madenciliğine ilk olarak 1865 yılında başlanmıştır. Sonrasında 1870 yılında bor, boraks ve borik asit olarak gıda sanayisinde gıdaları korumak amacıyla kullanılmaya başlanmıştır. 1909 yılında Ezekiel Wintroub tarafından yüksek saflıkta bor sentezlenmiştir. Maden arama ve işletme faaliyetlerinin gerçekleştirilme amacı ile 1935 yılında Türkiye'de Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü ve Etibank kurulmuştur. 1950 yılında kanser tedavisinde kullanılmıştır. Bor madeni ile ilişkili klinik araştırmalar ise 1987 yılında başlamıştır [56].

Amorf ya da kristal yapıda bulunan bor yeryüzünde en yaygın bulunan 51. elementtir. Amorf bor siyah-kahverengi rengine ve toz halde iken, kristalin bor ise siyah renkte olup sert ve kırılğan bir yapıya sahiptir. $^{10}_{5}B$ ve $^{11}_{5}B$ izotopları bor elementinin en kararlı

izotoplarındandır. Doğada borun ^{11}B izotopu daha yaygın olarak görülmektedir. ^{10}B izotopu ise yüksek nötron tutma özelliği sayesinde nükleer enerji santrallerinde kullanılmaktadır.

Atom ağırlığı 10,81 g/mol ve atom numarası 5 olan bor elementi periyodik cetvelin 3A grubunda yer almaktadır. Elementel bor, B ile simgelenmektedir. Her ne kadar ametal olarak kabul ediliyor olsa da metalik özelliklere de sahip olmasından dolayı metaloid olarak isimlendirilmektedir. Doğada tek başına element halinde bulunmayan bor genellikle Mg, Na, Ca gibi metaller ile bileşik olarak bulunmaktadır. Isıya dayanıklı olan bor cevheri çok sert olup, beyaz bir kayaya benzemektedir. Kristal görünümüne sahip borun, görünüm ve optik özellikleri elmasa benzemektedir. Elmaştan sonra gelen en sert elementtir. Bor elementinin bazı özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir [57,58].

Çizelge 3.2. Borun fiziksel özellikleri [57]

Özellik	Değeri
Atom Numarası	5
Atom Ağırlığı	10,811 g/mol
Fiziksel Hal	Katı
Erime Noktası	2200°C
Kaynama Noktası	4.275 K - 4.002°C
Buharlaştırma Isısı	489.7 kJ/mol
Termal Genleşme Katsayısı	0.0000083 cm/cm/°C (0°C)

Yeryüzünde toprakta, kayalarda ve suda yaygın olarak bulunan borun, yeryüzündeki konsantrasyonu ortalama 10-20 ppm düzeyindedir. Deniz sularında bor konsantrasyonu 0,5-9,6 ppm düzeyinde görülmekteyken, tatlı sularda ise bu konsantrasyon değeri 0,01-1,5 ppm aralığındadır [59].

Bor elementinin kimyasal yapısı, morfolojisine ve tane büyüklüğüne bağlıdır. Mikron büyüklüğündeki amorf yapıya sahip bor kolay bir şekilde fakat nadir olarak şiddetli reaksiyona girmektedir. Kristalin bor ise kolay bir şekilde reaksiyona girmemektedir. Yüksek sıcaklıklarda su ile reaksiyona girmesi sonucunda borik asit ve yan ürünleri meydana getirmektedir.

3.9. Bor Mineralleri

Çeşitli alanlarda kullanılan bor ve borlu bileşikler ülke ekonomisi için önemli olmasının yanında endüstride bor mineralleri genellikle ham, rafine ve bor kimyasalları şeklinde kullanılmaktadır. Cevher zenginleştirme yöntemleri ile ham bor, bir takım fiziksel ve kimyasal işlemlerden geçirilmesinin ardından rafine bor ürünleri elde edilmektedir. Uygulanan zenginleştirme teknikleri ise cevher çeşidi ve operasyon ölçeğine göre değişiklik göstermektedir [60].

Türkiye ve ABD’de daha çok (B_2O_3) halinde hidrotermal ve volkanik aktiviteye sahip bölgelerde bulunmaktadır. Doğada bor bileşiklerinin 250’den fazla olduğu bilinmektedir. Bor minerallerinin sınıflandırması yapılarındaki Ca, Na ve Mg elementlerine göre yapılmaktadır. Ca içerikli olanlara kolemanit, Na içerikli olanlara tinkal (boraks) ve Na-Ca içerikli olanlara ise üleksit denmektedir. Endüstriyel ve ticari açıdan ise tinkal, kolemanit, kernit ve üleksit önemli bor mineralleri arasındadır [60]. Endüstriyel önem taşıyan bazı bor bileşikleri Çizelge 3.3’te verilmiştir.

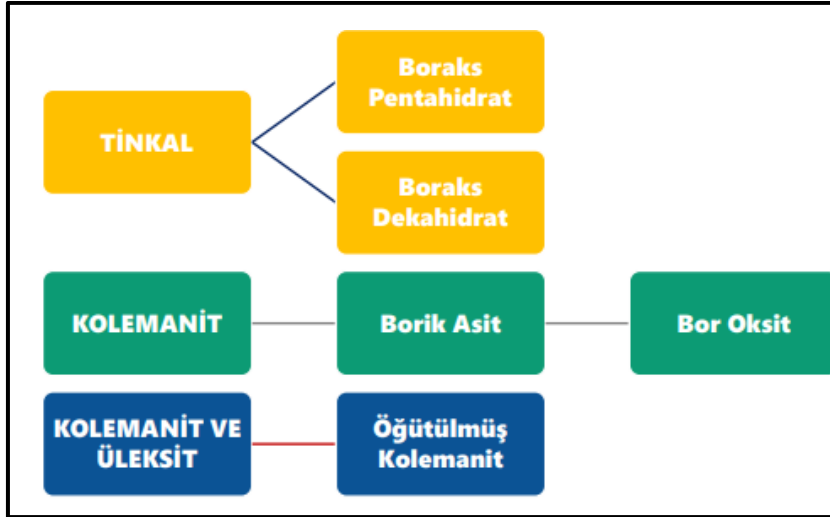
Çizelge 3.3. Endüstriyel önem taşıyan bazı bor bileşikleri [59]

Bileşiğin Adı	Bileşiğin Formülü
Tinkal	$Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$
Kolemanit	$Ca_2B_6O_{11} \cdot 5H_2O$
Kernit	$Na_2B_4O_7 \cdot 4H_2O$
Üleksit	$NaCaB_5O_9 \cdot 8H_2O$
Aşarit	$Mg_2B_2O_5 \cdot H_2O$
Borasit	$Mg_3B_7O_{13} \cdot Cl$
Pandermit	$Ca_4B_{10}O_{19} \cdot 7H_2O$
Sassolit	H_3BO_3

- **Kolemanit:** $Ca_2B_6O_{11} \cdot 5H_2O$ molekül formülüne sahip olan kolemanit, iri, parlak ve saydam halde bulunmaktadır. 4-4,5 Mohs sertliğe sahip olmakla beraber özgül ağırlığı ise $2,42 \text{ g/cm}^3$ ’tür. Bor bileşikleri arasında en çok bulunanıdır. Saf kolemanit suda yavaş çözünmekteyken, HCl ile hızlı çözünmektedir. Türkiye’de Emet, Bigadiç, Kestelek yataklarında bulunmaktadır [59].

- *Tinkal*: $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ molekül formülünde ve ‘tinkal’ olarak bilinen bor minerali doğada renksiz ve saydam halde bulunmaktadır. Ancak içermiş olduğu bazı maddeler dolayısı ile pembe, sarı veya gri renklerde de bulunabilmektedir. 2-2.5 Mohs sertliğine sahip olup, özgül ağırlığı ise $1,7 \text{ g/cm}^3$ ’tür. Çabuk bozunmakta olup suyunu kaybederek tinkalkonite dönüşebilmektedir [59].
- *Kernit*: $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ molekül formülüne sahip kernit, beyaz, saydam ve renksiz halde bulunmaktadır. 3 Mohs sertliğe sahip olmakla beraber özgül ağırlığı ise $1,95 \text{ g/cm}^3$ ’tür. Soğuk suda az çözünmektedir [59].
- *Pandermit*: $\text{Ca}_4\text{B}_{10}\text{O}_{19} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ molekül formülüne sahip pandermit beyaz renkte olup kireç taşına benzemektedir. B_2O_3 içeriği %49,8 olup özgül ağırlığı ise $2,4 \text{ g/cm}^3$ ’tür. Ülkemizde Bigadiç yataklarında bulunmaktadır [59].
- *Üleksit*: $\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ molekül formülüne sahip olan üleksit doğada masif, karnabahar şeklinde bulunmaktadır. Saf olan hali, beyaz renginin tonlarındadır. B_2O_3 içeriği %43’tür. Ülkemizde Kırka, Bigadiç ve Emet yataklarında bulunmaktadır [59].
- *Sassolit (Borik Asit)*: Molar kütlesi $61,81 \text{ g/mol}$, B_2O_3 içeriği %56,3, ergime noktası 169°C olan borik asitin molekül formülü H_3BO_3 şeklinde olup kristalin yapıya sahiptir. Oda sıcaklığında çözünürlük değeri düşük olmasına karşın, sıcaklık değeri yükseldikçe çözünürlüğü de artmaktadır. Kullanım alanının çok çeşitli olmakla beraber genellikle cam, seramik ve can yünü sanayiinde kullanılmaktadır. Kolemanit cevherinin sülfürik asit ile çözeltisinin kristalizasyonu sonucu elde edilmektedir [61].

Borun daha çok rafine ürünleri kullanılmakta olup rafine bor ürünlerinin temel kullanım alanları ise cam sanayi, temizlik sanayi, seramik, nükleer uygulamalar, ilaç ve kozmetik sektörleridir. Dünyada ticari anlamda en çok üretilen ticari rafine bor ürünleri boraks pentahidrat, boraks dekahidrat, susuz boraks, borik asit, sodyum perborat, sodyum metaborat ve sodyum oktaborattır. Şekil 3.5’te bor mineralinden rafine bor ürünlerinin ilişkisi gösterilmektedir [60].



Şekil 3.5. Rafine bor ürünlerinin üretim [60].

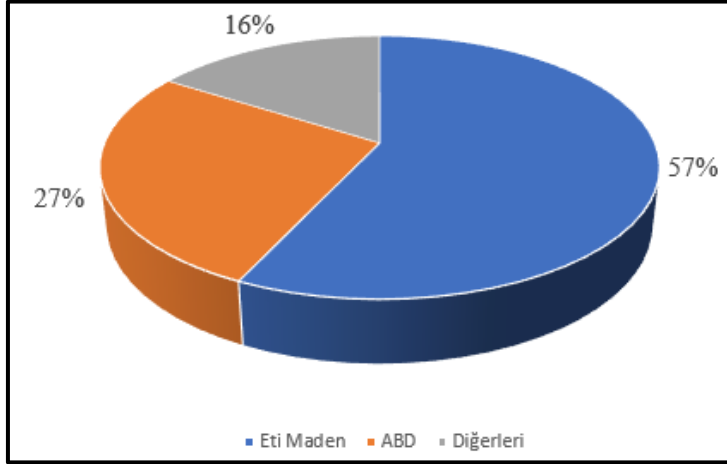
3.10. Dünya’da Bor Rezervler

Dünya’daki bor rezervlerinin büyük bir kısmına sahip olan Türkiye’yi sırası ile Rusya ve ABD takip etmektedir. Fakat Türkiye’nin sahip olduğu rezerv büyüklüğü diğer ülkeler ile kıyaslanamayacak kadar fazladır. Dünya bor rezervlerinin dağılımı Çizelge 3.4’te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Dünya bor rezervlerinin dağılımı (2020) [60].

Ülke	Toplam Rezerv (Milyon ton B ₂ O ₃)	Dağılım (%)
Türkiye	956	73,6
Rusya	100	7,7
ABD	80	6,2
Şili	41	3,2
Çin	36	2,8
Peru	22	1,7
Sırbistan	21	1,6
Bolivya	19	1,5
Kazakistan	15	1,2
Arjantin	9	0,7
Toplam	1.299	100

Toplam bor rezervlerine bakıldığında Türkiye en fazla paya sahip ülke iken dünyadaki bor ticaretine ise ABD hakimdir. Şekil 3.6'da 2020 yılına ait dünya bor üretimi yüzdeleri verilmiştir [60].



Şekil 3.6. 2020 dünya bor üretiminin (% ton bazında) üreticilere göre dağılımı [60].

3.11. Türkiye’de Bor Rezervleri

Dünyanın en büyük bor rezervleri Türkiye’de bulunmaktadır. Türkiye’de bilinen bor yatakları özellikle Eskişehir’in Kırka ilçesinde, Balıkesir’in Bigadiç ilçesinde, Bursa’nın Kestelek ilçesinde ve Kütahya’nın Emet ilçesinde bulunmaktadır. Türkiye’de bor madenlerinin üretimi, işletilmesi ve pazarlanması ETİ Maden tarafından gerçekleştirilmektedir. Türkiye’de bor minerali daha çok tinkal ve kolemanit olarak bulunmaktadır. Tinkal yatakları Kırka’da, kolemanit yatakları ise Bigadiç, Kestelek ve Emet’te bulunmaktadır. Bunun dışında Bigadiç’te aynı zamanda kolemanit dışında üleksitte çıkartılmaktadır [60]. Türkiye’nin sahip olduğu bor rezervlerinin dağılımı Çizelge 3.5’te verilmektedir.

Çizelge 3.5. Türkiye bor rezervlerinin dağılımı [60].

Havza Adı	Cevher Cinsi	Miktar (TON)
Emet	Kolemanit-Üleksit-Probertit	1.804.886.171
Kırka	Tinkal	618.761.479
Bigadiç	Kolemanit-Üleksit	815.398.134
Kestelek	Kolemanit	5.254.923
Toplam		3.244.300.707

3.12. Borun Kullanım Alanları

Farklı kullanım alanlarına sahip olmasıyla beraber bor bileşiklerinin kullanım alanları ve önemi her geçen gün artış göstermektedir. Bor bileşikleri genellikle içermiş olduğu B_2O_3 miktarına göre sınıflandırılarak satışı yapılmaktadır. Boraks pentahidrat ve borik asit satışı en çok yapılan bor ürünlerinin başında gelmektedir. Kullanıldığı sektöre göre bor, hem rafine bor ürünleri hem de konsantre bor olarak direkt olarak kullanılabilir. Bor ürünlerinin sektörel olarak tüketimi incelendiği zaman daha çok cam, seramik, tarım ve deterjan sektörlerinde olduğu görülmektedir. Bu alanlar dışında ise kimya, böceklerle karşı koruyucu ve yapı malzemesi sektöründe de kendisine yer bulmaktadır [60].

Cam Sanayi: Borun en yaygın kullanım alanı cam sanayidir. Ergimiş halde bulunan cam ara mamulüne bor ilavesi sonucunda akışkanlığı arttırarak, elde edilen ürünün dayanıklılığını ve yüzey sertliğini arttırmaktadır. Özellikle borosilikat camlarda ve izolasyon tipi cam elyaflarında bor oksit oldukça sık bir şekilde kullanılmaktadır. Bu tip camlar fırınlarda, uçak camlarında, laboratuvar ve endüstriyel cam malzemelerin üretiminde kullanılmaktadır. Cam fiberleri kullanılarak binaların ısıya karşı yalıtılması sağlanmaktadır [62].

Seramik Sanayi: Seramik sanayisinde bor bileşikleri çoğunlukla seramik sırlarda ve fritlerde kullanılmaktadır. Kullanılmakta olan ağırlıkça bor oksit oranı ise %8-24 arasında değişmektedir. Sırlarda bor oksit kullanımının en önemli amacı, cam ile malzeme arasındaki ısı uyumu sağlayarak sıranın ısıl genleşme katsayısını düzenlemektir. Aynı zamanda seramik ve fayanslarda fiziksel özelliklerin güçlendirilmesi içinde tercih edilmektedir. Bor bileşikleri kullanılarak hazırlanan seramikler, fiziksel darbelere ve kimyasallara karşı daha dayanıklı bir hale gelmektedir. Aynı zamanda yüzeye daha pürüzsüz bir görünüm sağlamaktadır.

Seramiği çizilmez yapan bor, sıra %3-24 oranlarında kolemanit formunda eklenmektedir [62].

Temizleme ve Ağartma Sanayi: Sabun ve deterjanlara mikrop öldürücü ve su yumuşatıcı etkiye sahip olmasından dolayı %10 boraks dekahidrat ve beyazlatıcı etkisini arttırmak amacıyla toz deterjanlara ise %10-20 oranlarında sodyum perborat ilave edilmektedir. Petrol çeşitlerinden elde edilen deterjanların insan ve çevre sağlığı açısından dezavantajı düşünüldüğü zaman bor ürünlerinin kullanımı daha çok ön plana çıkmaktadır [63].

Tarım Sektörü: Az miktarda uygulanan bor ilavesi, bitkilerin büyümesine ve gelişmesine yardımcı olmaktadır. Sahip olduğu bu özelliğinden dolayı gübrelere de eklenmektedir. Ancak, yüksek miktarlarda bor ilave edilmesi sonucunda bitkiler üzerinde öldürücü özellik göstermektedir. Borun sahip olmuş olduğu bu özelliği sayesinde istenmeyen yabancı otlara karşı mücadele etmek amacı ile kullanılmaktadır [64].

Nükleer Sanayi: Bor bileşiklerinin yüksek nötron tutma özelliğine sahip olmasından dolayı nükleer santrallerde reaksiyonun meydana geldiği kısmın çevresinde katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Alınan radyasyon dozajını minimum seviyeye indirmek amacı ile korunma zırhları yapımında da borlar kullanılmaktadır. Bunların dışında nükleer atıkların depolanması amacıyla kolemanit kullanılmaktadır [65].

Alev Geciktirici: Bor bileşikleri toksik gaz salınımı yapmadıklarından dolayı çevre dostudur. Borlu bileşiklerden elde edilen alev geciktiriciler yanan yüzeyi örterek alevin oksijen ile temasını kesmektedir. Borik asit ve inorganik boratlar malzeme üzerinde koruyucu katman oluşturmaktadır. Selülozik yalıtımda, boraks pentahidrat ve borik asit enerji verimliliğini arttırmak, mikro organizma gelişimini engellemek ve alev direncini arttırmak amacıyla kullanılmaktadır. Boraks ve borik asit, tekstil sektöründe alev geciktirici olarak kullanılmaktadır. Floroboratlar alev geciktirici olarak kullanılan özel bor bileşiklerindendir [66].

Savunma Sanayi: Savunma sanayinde bulunan araçların, teçhizatların ve silahların yapımında bor ve rafine bor ürünleri kullanılmaktadır. Yüksek korozyon direnci, yüksek sertlik, düşük yoğunluk ve yüksek ısıya dayanım özelliklerine sahip olan bor karbür, savunma sanayinde çokça tercih edilen bir bor ürünüdür. Ayrıca bor karbürden üretilen askeri

zırhlar kurşun geçirmez levha yapımında da kullanılmaktadır. Bunun dışında aşınmaya karşı daha dirençli makine parçalarının üretiminde de kullanılmaktadır [67].

Sağlık Sanayi: İnsan vücudu için bor çok az miktarda da olsa ihtiyaç duyulan bir element olup hücrelerde sentezlenemediğinden dolayı dışarıdan alınması gerekmektedir. Kalsiyum, magnezyum ve fosfor dengesini ayarlayarak sağlıklı kemik oluşumuna yardımcı olmaktadır. Kanser tedavisinde sağlıklı hücrelerin zarar görmemesi amacıyla kanser hücrelerinin yok edilmesi amacıyla bor kullanılmaktadır [68].

Teknoloji Sektörü: Bor bileşikleri kullanılarak elde edilen cam elyafı, fotonların iyi bir şekilde iletilmesini sağlamaktadır. LCD ekran üretiminde ise borik asit önemli malzemeler arasında bulunmaktadır. Borlu bileşikler enerjiyi depolamak ve yanıp sönen ışıkların enerjisini dağıtmak amacıyla bilgisayar, araba ve mobil cihazlardaki kondansatörleri yapmak için de kullanılmaktadır. Bor, nadir toprak elementleri ve demir elementi ile beraber kullanıldığında yüksek enerji tasarrufu sağlayan ürün (METGLAS) oluşturmaktadır. Manyetik olarak çok güçlü olan bu ürün, bilgisayar, ev tipi elektrikli eşyalar ve otomobillerde kullanılmaktadır [67].

Metalürji Sanayi: Yüksek sıcaklıklarda pürüzsüz ve yapışkan olması, korucuyu tabaka oluşturması sebebiyle boratlar demir dışı metallerin kullanıldığı endüstrilerde koruyucu cüruf oluşturucu katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Alaşımların sertlik özelliğini arttırmak amacıyla borlu bileşikler kullanılmaktadır. 50 ppm ferrobör eklenmesi sonucunda çeliğin sertleşme özelliği artırılmaktadır [69].

Bor Fiberler: Mekanik özellikleri sayesinde havacılık ve savunma sanayisinde yüksek performanslı kompozit malzeme olarak kullanılmaktadır. Ancak sahip oldukları yüksek maliyet dezavantajından dolayı kullanım alanı görece daha kısıtlıdır. Golf, kayak gibi spor dallarında kullanılan spor ekipmanlarında bor fiberler kullanılmaktadır [69].

Enerji Üretimi: Enerji elde etmek amacıyla bor dört farklı alanda kullanılmaktadır. Bunlar hidrojen üretimi, yakıt pili, motor yakıtı ve motor yakıtı katkı malzemesi olarak kullanımlarıdır. Yakıt olarak sodyum borhidrür kullanan yakıt hücreleri mevcuttur. Bu yakıt hücresi yoğun güç gerektirmeyen telefon, radyo gibi cihazlarda kullanılmaktadır. Borun yanması sonucunda çıkarmış olduğu enerjisi miktarının diğer yakıt sistemleri ile

karşılaştırıldığında en üst sıralarda olduğu görülmüştür. Çizelge 3.6’da bazı enerji kaynakları ve sahip oldukları enerji değerleri gösterilmiştir [70].

Çizelge 3.6. Enerji kaynakları ve bu kaynaklardan elde edilen enerji değerleri [70].

Enerji Kaynakları	Elde Edilen Enerji Değerleri (MJ/L)
Bor	92,77
Berilyum	86,15
Alüminyum	57,42
Karbon	54,01
Silikon	51,55
Fosfor	43,01
Magnezyum	29,52
Lityum	15,69
Hidrojen	8,03

Diğer Kullanım Alanları: Bor, bahsedilmiş olan alanlarının dışında aynı zamanda farklı sektörlerde hem ana ürün olarak hem de katkı maddesi olarak da kullanılmaktadır. Atık suların içerisinde bulunan ağır metallerin uzaklaştırılması için sodyum bor hidratlar kullanılmaktadır. Fotoğrafçılık alanında ise fotoğraf makinası, kamera ve dürbünlerde borosilikat camlar kullanılmaktadır. Çimentoda direnç artırıcı bir katkı madde olarak inşaat sektöründe kullanılmaktadır. Kauçuk ve plastik sanayinde naylon ve plastiklerde ağartma maddesi olarak bor kaynaklarından faydalanılmaktadır. Ahşap malzemelere ilave edilen sodyum oktoborat sonucunda malzeme uzun bir süre boyunca bozulmadan ve küflenmeden kullanılabilir. Otomobillerin antifiriz ve hidrolik aksamalarında da kullanılmaktadır. Aynı zamanda araçlarda sıcaklık ve ses yalıtımının sağlanması amacıyla kullanımı bulunmaktadır. Kimya sanayisinde bazı kimyasalların indirgenmesinde, dezenfektanlarda ve elektrolitik işlemlerde kullanılmaktadır [67].

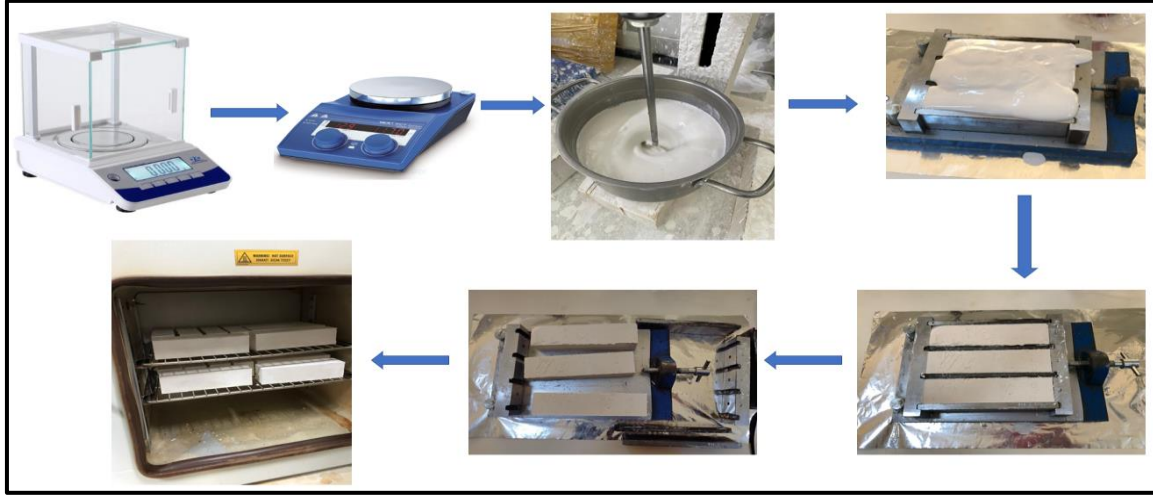


4. DENEYSEL

Yüksek lisans tez çalışması kapsamında borik asit katkılı alçı malzemeleri hazırlanmıştır. Hazırlanan malzemelerin yapısal ve fiziksel özelliklerinin belirlenebilmesi doğrultusunda XRD, ATR-FTIR, N_2 Adsorpsiyon- Desorpsiyon, Helyum piknometresi ve SEM analizleri gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan alçı sıvaların mekanik dayanım testleri olarak eğilme ve basınç dayanım testleri yapılmıştır. Ayrıca yanma dayanımı testi ve radyasyon geçirgenlik testi de yapılmıştır. Gerçekleştirilen deneysel çalışmalar ve analizler hakkında detaylı bilgiler aşağıda verilmiştir.

4.1. Borik Asit Katkılı Alçı Sıva Malzemelerinin Hazırlanması ve Mekanik Testler

Bu çalışmada, farklı miktarlardaki borik asit (alçı miktarına göre ağırlıkça %0-0,5) ile alçı karıştırılmak üzere alçı numuneleri hazırlanmıştır. Öncelikle Eti Maden tarafından temin edilen borik asit (H_3BO_3 , %99,8) 720 ml su içerisinde çözdürülmüştür. Ardından, borik asit-su karışımı ile ABS Alçı'dan temin edilen alçı 3 dakika boyunca 215 rpm'lik bir karışma hızında mekanik karıştırıcı kullanılarak karıştırılmıştır. Hazırlanan alçı karışımı TSE standartlarına uygun alçı kalıplarına (4x4x20cm) dökülmüştür. Kalıptaki alçı karışımının fazlalığı ilk donma süresinden sonra spatula yardımı ile alınmıştır. Alçı tamamen donduktan sonra ise kalıplardan çıkartılarak, etüvde 40°C sıcaklıkta 7 gün boyunca kurumaya bırakılmıştır (Şekil 4.1). Borik asit içermeyen alçı örneği GP olarak isimlendirilmiştir. Borik asit katkılı alçı numuneler ise içermiş oldukları yüzde borik asit miktarına göre isimlendirilmiştir. Örneğin, kütlece %0,1 borik asit kullanılarak hazırlanan alçı GP-0,1B olarak isimlendirilmiştir. Mekanik testler (eğilme ve basınç dayanımı) ABS Alçı ve Blok San. A.Ş. Gölbaşı Fabrikası'nda bulunan eğilme ve basma test cihazları (Toni Teknik TonicompII) kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.2).



Şekil 4.1. Borik asit katkılı alçı malzemelerinin hazırlanması



Şekil 4.2. Alçı levhaya uygulanan mekanik (eğilme ve basınç) testler

4.2. Borik Asit Katkılı Alçı Sıva Malzemelerin Yanma Dayanıklılık Testi

Aynı sentez prosedürü, borik asit eklenmemiş alçı (GP) ve borik asit katkılı alçı (GP-0,1B) için kullanılmıştır. Ancak, alçı sıva plaka hazırlanırken kalıbın boyutu (300x75x10mm) olarak kullanılmıştır. Hazırlanan alçı plakanın kuruması amacıyla 40°C 'de 7 gün boyunca etüvde bekletilmiştir. Aynı zamanda, borik asit ekleme prosedürünün alçının yanma dayanımı üzerine etkisinin incelenmesi amacıyla, borik asit (ağırlıkça %0,1) yeterli su içinde

çözdürülmüştür. Ardından çözünmüş borik asit 7. günün sonunda etüvden alınan alçı plakanın iki yüzeyine de püskürtülerek 40°C sıcaklıkta 3 gün daha etüvde kurumaya bırakılmıştır. Bu prosedüre sahip olan alçı plaka GP-0,1 B/S olarak isimlendirilmiştir.

Yanma dayanıklılık testi sırasında, iki brülör arasına yerleştirilen ve brülör alevi ile ısıtılan alçı sıva plakasına bir eğilme momenti uygulanmıştır. Testi yapılacak alçı plakanın, uzun tarafı (300 mm) yatay, kısa tarafı (75 mm) dikey olmak üzere brülörlerin arasına yerleştirilmiştir. Eğilme momentini uygulamak için test numunesinin diğer tarafına 300g'lık bir kütle yerleştirilmiştir. Yük, numune tutucusundan 260 mm uzakta bir noktadan uygulanmıştır. Yüklenen kütlenin altına 10 mm'lik bir mesafe ile bir platform yerleştirilmiştir (Şekil 4.3). Borik asit içermeyen ve borik asit katkılı alçı numunelerinin yanma dayanım testleri TS EN 12664 standardına göre yapılmıştır.



Şekil 4.3. Yanma dayanım testi

4.3. Alçı Levhanın X-ışını Radyasyonu Geçirgenlik Testi

Mekanik dayanım testi için hazırlanan sentez prosedürünün aynısı borik asit içermeyen boş alçı (GP) ve borik asit katkılı alçı (GP-0.1B) için uygulanmıştır. Ancak alçı levhanın

sentezinde kullanılan kalıbın boyutu (110x150 mm) ve 13 mm kalınlığında dikdörtgen şeklinde olacak şekilde değiştirilmiştir. Uygulanan radyasyon geçirgenlik testi, TENMAK-Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu'nun TS EN 61331-1:2014 Standardında açıklanan Dar Işın geometrisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Test için 100 kV X-ışını kalibrasyon sistemi tüp voltaj değeri kullanmıştır. Zayıflama oranı değeri TS EN 61331-1'e göre hesaplanmıştır. Alçı malzemelerin zayıflama oranı değeri, aynı zayıflama oranına sahip referans kurşun kalınlığı ile karşılaştırılmıştır.

4.4. Numunelerin Karakterizasyonu

Çalışma doğrultusunda hazırlanmış malzemelerin fiziksel ve yapısal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla çeşitli karakterizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan alçı numunelerine X-ışını kırınım desenleri (XRD), Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (ATR-FTIR), N_2 Adsorpsiyon- Desorpsiyon, Taramalı elektron mikroskopisi (SEM) ve Helyum piknometresi analizleri gerçekleştirilmiştir.

4.4.1. X-ışını kırınım analizi (XRD)

X-ışını kırınım analizi (XRD), malzemenin kristal yapısı ve kristal boyutunun belirlenmesi amacıyla kullanılan bir analiz yöntemidir. Analizi yapılacak olan malzeme üzerine gönderilen X ışınları demetleri, kristallerin yapısındaki atomlara çarparak yansımaktadır. Düzlemler arası mesafenin belirlenmesi için Bragg yasası kullanılmaktadır (Eş. 4.1).

$$\lambda n = 2d \sin \theta \text{ (Bragg yasası)} \quad (4.1)$$

Burada;

- λ : Dalga boyu (1,5406 Å)
- n : Analizde kullanılan cihazlara ve çalışılan numuneye bağlı olan bir sabit (XRD desenlerinin yorumlanması esnasında 1,0 olarak kabul edilmiştir.)
- d : Kristal örgü düzlem arasındaki mesafe
- θ : Kırınım açısı

Malzemenin kristal boyutunun belirlenmesi amacıyla Scherrer denklemi kullanılmaktadır (Eş. 4.2).

$$L = \frac{n\lambda}{B_{gercek} \cos \theta} \quad (\text{Scherrer denklemi}) \quad (4.2)$$

Burada;

- L: Kristal boyutu
- n: Analizde kullanılan cihaza ve numuneye bağlı olan birimsiz şekil faktörü (Hesaplamalarda 0,89 olarak alınmıştır.)
- λ : Dalga boyu
- B_{gercek} : XRD deseninde incelenen metale ait en yüksek pik uzunluğunun yarısının genişliğidir, radyan
- θ : Kırınım açısı

Çalışma kapsamında sentezlenen malzemelerin X-ışını kırınımı desenleri, Cu-K α radyasyonu ($\lambda=0.15406$ nm, 40 kV ve 30 mA) Orta Doğu Teknik Üniversitesi Merkez Laboratuvarı'nda bulunan Rigaku Ultima-IV difaktometre cihazı kullanılarak yapılmıştır. Analizler 10 -80° tarama aralığında ve 2°/dakika tarama hızında yapılmıştır.

4.4.2. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR)

Organik veya inorganik bileşiklerin karakterizasyonunda kullanılan bir analiz yöntemidir. Katı, sıvı, gaz veya çözelti halinde bulunan organik bileşiklerin yapısındaki fonksiyonel grupları, yapıdaki bağların durumu ve bağlanma yerleri hakkında bilgi vermektedir. FTIR analizleri, Gazi Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nde bulunan JASCO FT-IR/4700 cihazı kullanılarak yüksek çözünürlüklü (4cm^{-1}) orta kızılötesi bölgede ($4000\text{-}400\text{ cm}^{-1}$) gerçekleştirilmiştir.

4.4.3. N₂ Adsorpsiyon-desorpsiyon analizi

Katı yüzeylerde N₂ gazının adsorpsiyonuna dayanan bir analiz yöntemidir. Bu analiz yöntemi, sentezlenen malzemelerin yüzey alanlarının, gözenek boyut dağılımlarının ve

gözenek hacimlerinin belirlenebilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Merkez Laboratuvarı'nda bulunan QuantoChrome-Autosorb-1C cihazı kullanılarak N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon analizi yapılmıştır. Analize başlanmadan önce numuneler gözeneklerinde bulunan nemin bertarafı için için 120°C 'de 3 saat boyunca işleme tabi tutulmaktadır. Bu işlemin ardından numune tartımı alınarak, analiz bölümüne yerleştirilir. Analiz başlatılmadan önce cihazdaki iki devarın da sıvı azot ile doldurulmuş olması gerekmektedir. Analizin başlatılması ile sıvı azot bulunan devar yukarıya çıkarak numune kabını içerisine alır ve devarın içerisinde numune bulunurken gaz karışımı gönderilmektedir. Bu sayede gaz karışımındaki N_2 malzeme yüzeyine adsorplanmaktadır. Bu işlemin sonrasında sıvı azot bulan devar aşağıya iner. Daha sonra cihaz numunenin bulunduğu kaba sıcak hava üfleyerek yüzeyinde adsorplanmış azotun desorpsiyonunu sağlar. Ardından cihaz tarafından desorplanan azotun yüzey alanı belirlenmektedir. Elde edilen yüzey alanı, degaz işlemine tabi tutulan numunenin ağırlığına bölünerek yüzey alanı m^2/g olarak hesaplanır.

4.4.4. Taramalı elektron mikroskopisi (SEM)

Yüksek enerjiye sahip elektronların numune ile etkileşimi sonucunda elektron ve foton sinyalleri oluşmaktadır. Farklı açılarda saçılmış olan elektronlar, dedektör vasıtası ile toplanan sinyallerin yazılım sonucunda işlenmesiyle görüntüler elde edilmektedir. Yüzey topografyasını, yüzeyin kimyasal kompozisyonunu, faz geçişlerini ve yabancı maddelerin tortulaşmasını belirlemek için kullanılan bir analizdir. SEM analizleri Orta Doğu Teknik Üniversitesi Merkez Laboratuvarı'nda yer alan QUANTA 400F Field Emission cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

4.4.5. Helyum piknometresi

Helyum piknometresi, Arşimet'in akışkan taşması prensibini ve Boyle Kanunu'nu kullanarak hacim ve gerçek yoğunluğu bulmayı amaçlar. Ölçümlerin doğruluğunun maksimum olması için taşan akışkan, en küçükleri dışındaki tüm gözeneklere girebilen bir tesirsiz gaz olmalıdır. Bu yüzden, ölçümler için küçük atomik boyutları 0.25 nm çapındaki girinti ve gözeneklere yaklaşan Helyum gazı uygun görülmektedir. Bir diğer tercih nedeni ise helyumun ideal gaz olarak davranmasıdır. Başka gazlar kullanıldığında da (azot gibi), genellikle ölçülebilir bir fark meydana gelmemektedir. Helyum geçirgenliğine sahip yapılar

için (düşük yoğunluklu polimerler ve bitki kökenli malzemeler gibi) azot veya SF_6 gazı kullanılması gereklidir. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Merkez Laboratuvarı'nda bulunan Quantachrome Ultrapycnometer 1000 cihazı kullanılarak Helyum piknometrisi analizi gerçekleştirilmiştir.

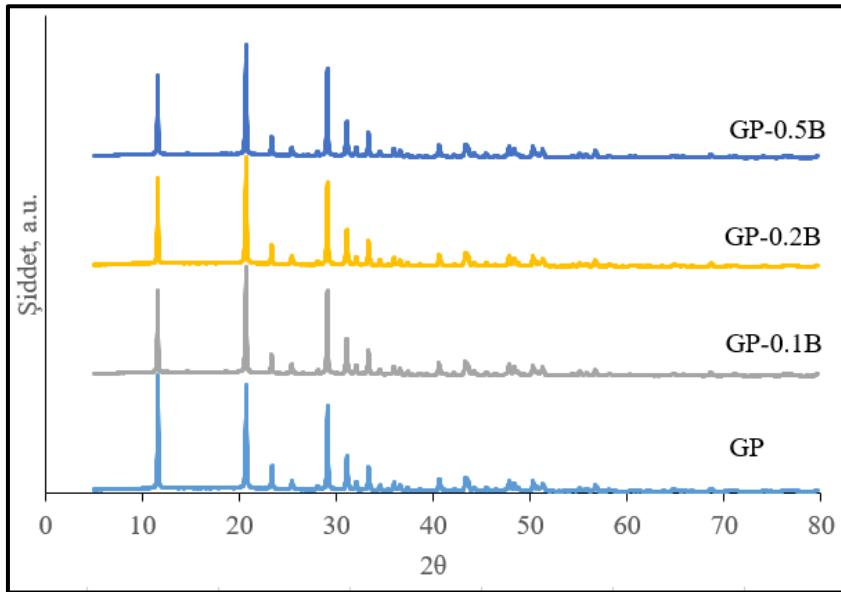




5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

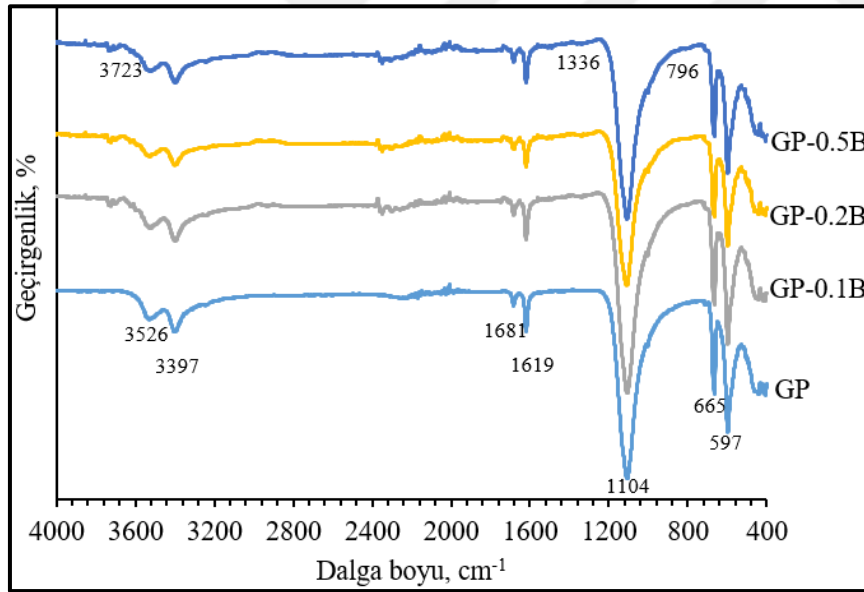
5.1. Karakterizasyon Sonuçları

Bu çalışmada borik asit (H_3BO_3) ilavesinin alçı sıvanın mikro yapısına etkisi araştırılmış olup borik asit içermeyen alçı sıvanın (GP) ve borik asit katkılı alçı sıvanın (GP-B) kristalinitesinin belirlenmesi amacıyla XRD analizi yapılmıştır (Şekil 5.1). Borik asit içermeyen alçı (GP) numunelerinin XRD deseni, 2θ 'da 11.60° , 20.70° , 23.36° , 29.06° , 31.08° ve 33.34° 'de beş karakteristik kırınım zirvesini temsil etmekteyken; bu, kalsiyum sülfat dihidratın ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) oluşumunu göstermektedir [14,36,39,71]. Borik asit katkılı alçı numunelerinin XRD desenleri incelendiği zaman borik asit ilavesiyle yeni bir kırınım pikinin ortaya çıkmadığı görülmüştür. Elde edilmiş olan sonuçlar alçı sıvanın borik asit ilavesi sonrasında kalsiyum sülfat dihidrat yapısını koruduğunu göstermiş olmasının yanında borik asit ilavesinden sonra kırınım piklerinin yoğunluğunun borik asit eklenmemiş alçı numunesine göre 1'den 0,75 civarına düştüğü sonucuna ulaşılmıştır. Sonuçlar, borik asit ilavesinin alçının kürlenme süresini arttırmasına bağlı olarak alçı sıvanın kristalinitesini azalttığını göstermiştir. Doğan ve arkadaşları, bor ilaveli indirgenmiş grafen oksitin, alçıtaşı ve indirgenmiş grafen oksit kompozitin kürlenme süresini azalttığını bildirmişlerdir [30]. Davraz ise borik asit ilavesinin taze harçların priz sürelerini arttırdığını bildirmiştir [72].



Şekil 5.1. Katkısız alçı ve borik asit katkılı alçının XRD modeli

Borik asit içermeyen alçı ve borik asit katkılı alçının fonksiyonel gruplarını ve yapısal bağlarını belirlemek amacıyla $4000\text{--}400\text{ cm}^{-1}$ orta kızılötesi bölgede ATR-FTIR analizi yapılmıştır. 3526 ve 3397 cm^{-1} 'deki bantlar, alçı numunelerindeki H_2O moleküllerinin gerilme titreşimlerine atfedilmiştir ve bu da alçıda hidrasyon suyunun varlığına işaret etmektedir (Şekil 5.2) [73-75]. Benzer şekilde, 1681 ve 1619 cm^{-1} 'deki bant suyun bükülme titreşim modlarına atfedilmiştir. 1100 cm^{-1} 'deki güçlü bant ile 665 ve 598 cm^{-1} 'deki bantlar SO_4^{2-} gruplarına atanmıştır [76-78]. Borik asit katkılı alçı örneklerinde H_2O moleküllerine atfedilen 3722 cm^{-1} 'de yeni bir küçük bant gözlenmiştir. Ceylan ve Çiçek, yapısında büyük miktarda B_2O_3 , CaO ve MgO içeren bor atığı örneğinin FTIR analizinde 3720 cm^{-1} 'in OH grubunu doğruladığını gözlemlemişlerdir [75]. BO_3^{-3} gruplarına 796 ve 1336 cm^{-1} 'deki küçük bantlar atanmıştır. Albayrak, BO_3^{-3} gruplarının sırasıyla 783 cm^{-1} 'lik simetrik bükülmeye ve 1304 cm^{-1} 'lik bandın antisimetrik gerilmesine karşı olduğunu gözlemlemiştir [79].



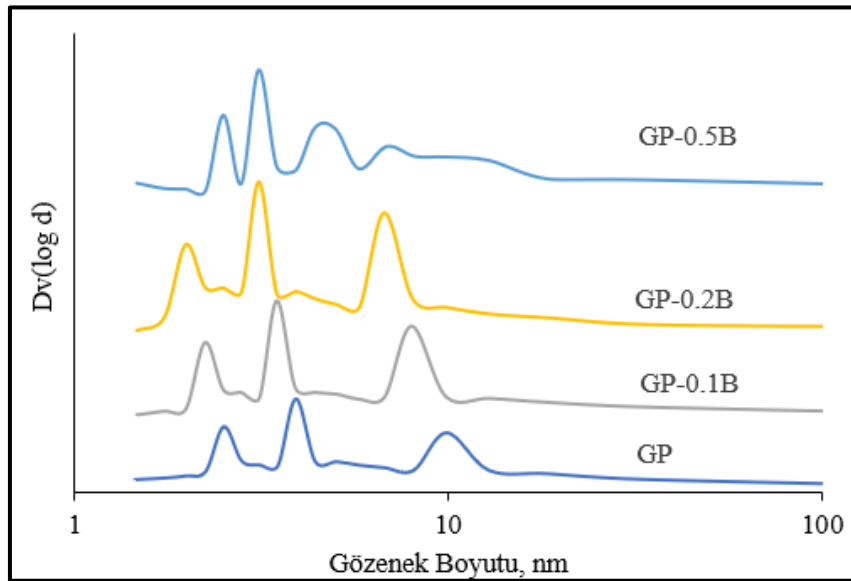
Şekil 5.2. Katkısız alçı ve borik asit katkılı alçının ATR/FT-IR spektrumu

Alçı numunelerinin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla helyum piknometresi ve N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon analizleri gerçekleştirilmiştir. N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon analizi kullanılarak numunelerin yapısal özellikleri belirlenmiştir. Aynı zamanda alçı örneklerinin iskelet yoğunlukları ise helyum piknometresi kullanılarak belirlenmiştir. Çizelge 5.1'de alçının toplam gözenek hacmini ve iskelet yoğunluğunun yanı sıra ortalama gözenek boyutunu da göstermektedir. Çizelge 5.1'de görüldüğü gibi esas olarak eklenen borik asit

miktarının artması sonucunda alçı sıvanın toplam gözenek hacminin ve iskelet yoğunluğunun da arttığı görülmüştür. Ayrıca ortalama gözenek çapı da artmıştır. Alçı sıvanın gözenek büyüklüğü dağılımı, alçı sıvanın farklı gözenek yapılarına sahip olduğunu göstermektedir (Şekil 5.3). Borik asit ilavesi, düşük borik asit konsantrasyonu için gözenek boyutu dağılımını fazla değiştirmiyorken, eklenen borik asit miktarının artması sonucunda gözenek boyutu dağılımının ise önemli ölçüde değiştiği görülmüştür. Palta, borik asidin malzemenin gözenekliliğinin azalmasına neden olduğunu bildirirken Zayed ise, borik asidin serpantin betonun yoğunluğu üzerinde ihmal edilebilir bir etkiye sahip olduğunu ve gözenekliliğin arttığını gözlemlemiştir [16,25]. Borik asit ilavesi ile yapısal değişikliğin alçı sıvaların basınç ve eğilme dayanımına etkisi ayrıca tartışılacaktır.

Çizelge 5.1. Alçı sıvaların fiziksel özellikleri

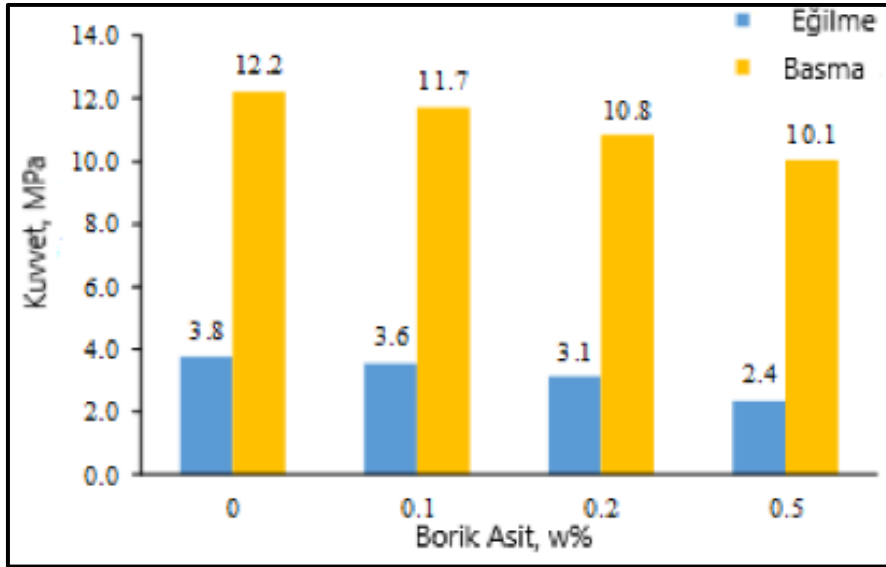
Örnek	Ortalama BJH adsorpsiyon gözenek çapı, nm	Toplam Gözenek Hacmi (g/cm^3)	İskelet yoğunluğu (g/cm^3)
GP	2.5	0.043	2.54
GP-0.1B	2.2	0.047	2.81
GP-0.2B	3.1	0.067	2.96
GP-0.5B	3.1	0.053	2.91



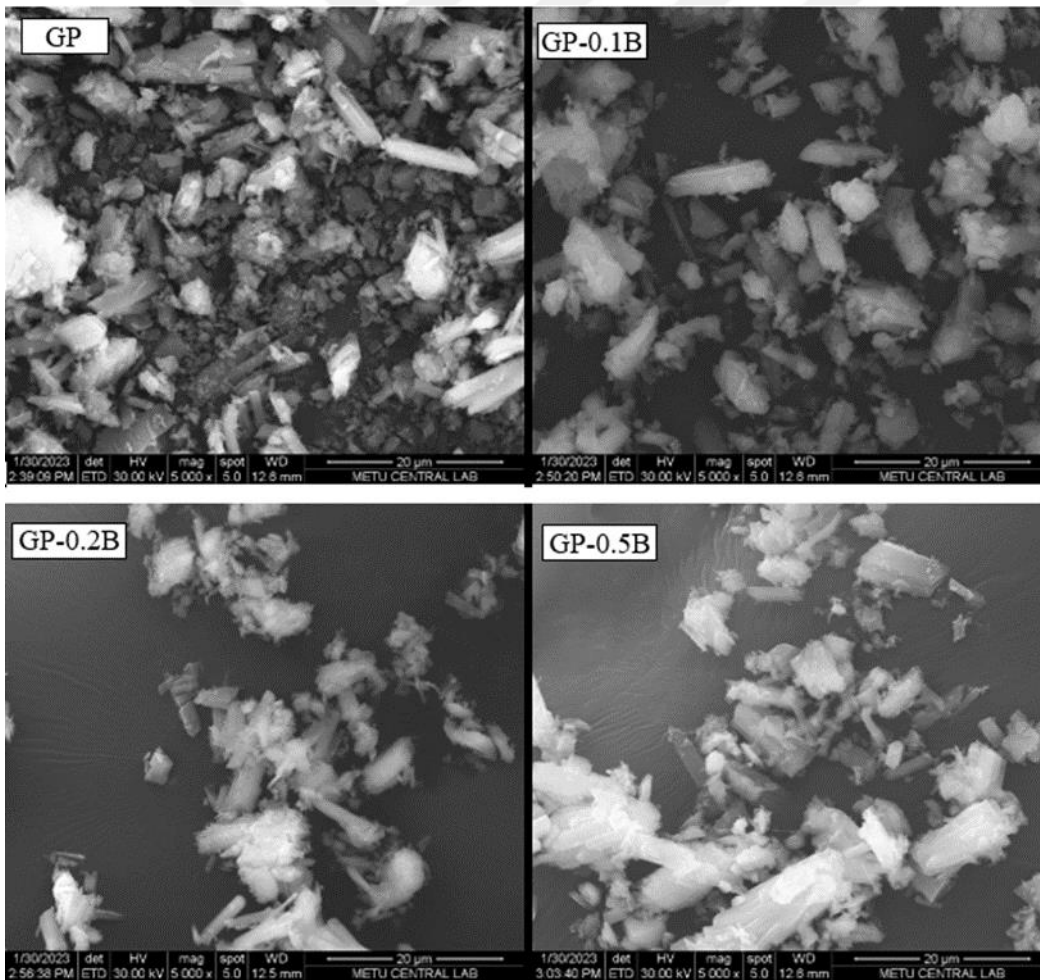
Şekil 5.3. Katkısız alçı sıva ve borik asit katkılı alçı sıvanın gözenek boyutu dağılımı

5.2. Alçı Malzemelerin Mekanik Dayanım Sonuçları

Bu çalışmada borik asit ilavesinin alçı sıvanın mekanik dayanımına etkisi araştırılmış olup, alçı sıva ve farklı miktarlarda borik asit katkılı alçı sıvanın eğilme ve basınç dayanım sonuçları Şekil 5.4'te verilmiştir. Şekil 5.4'te görüldüğü gibi en yüksek basınç ve eğilme dayanımları borik asit içermeyen alçı sıva ile elde edilmişken, borik asit ilavesinin alçı sıvanın hem basınç hem de eğilme dayanımını azalttığı sonucuna ulaşılmıştır. Borik asit ilavesi sonrasında meydana gelen eğilme ve basınç dayanımlarındaki azalmanın alçının mikro yapısındaki bazı fiziksel değişiklikler olduğunu göstermiştir. XRD ve FTIR analizleri alçı yapısının kimyasal özelliklerinde önemli bir değişiklik gözlemlenmediğini ve kalsiyum sülfat dihidrat yapısını koruduğunu göstermekteyken, N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon analizi ve Helyum piknometresi ise, borik asit ilavesinin alçı sıvanın iskelet yoğunluğunu ve gözenek hacmini (gözeneklilik) arttırdığını göstermiştir. Sonuçlar, borik asit ilavesinin, yeni açık gözenekler ve birbirine bağlı gözenekler oluşturarak alçı matrisinde bir değişikliğe yol açtığını göstermektedir. Ayrıca alçının ortalama gözenek büyüklüğünde de artış meydana gelmiştir. Gözenek hacmindeki ve gözenek boyutundaki artış, eğilme ve basınç dayanımındaki azalmanın bir nedeni olarak değerlendirilmiştir. Özellikle GP-0.5B numunesindeki gözenek boyutu dağılım değişimi çok belirgin olmak ile beraber hazırlanan alçı numuneleri arasında en düşük mekanik dayanım elde edilmiştir. Ayrıca borik asit içermeyen ve borik asit katkılı alçıların SEM görüntülerinde borik asit katkısı miktarının artmasının tane boyutunu da arttığı görülmüştür (Şekil 5.5.). Bu parçacıkların daha büyük olması, alçı sıvanın gözenekliliğinin artmasına ve alçı parçacıklarının mekanik dayanımının azalmasına neden olmuştur. Benzer şekilde Zhou, ortalama gözenek çapı ve toplam gözenekliliğin artmasıyla betonun eğilme dayanımının azaldığını bildirmiştir [80]. Aksine Doğan, indirgenmiş grafen oksitin alçının iskelet yoğunluğunu arttırdığını fakat gözenekliliğini azalttığını gözlemlemiştir. Ağırlıkça %0,1 oranında B-rGO ilavesi, alçı sıvanın basınç dayanımını arttırırken eğilme dayanımını azalttığı görülmüştür [30]. Benzer şekilde Davraz, B_2O_3 ilavesinin çimentolu kompozit numunelerin basınç dayanımlarını arttırdığını, eğilme dayanımlarını ise azalttığını gözlemlemiştir [72].



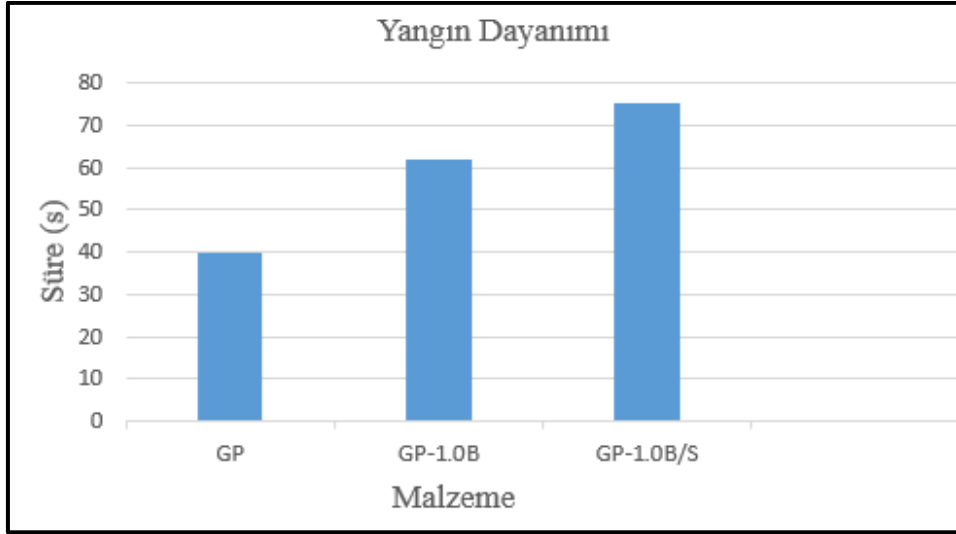
Şekil 5.4. Borik asit ilavesinin alçı sıvanın basınç ve eğilme dayanımına etkisi



Şekil 5.5. Katkısız ve borik asit katkılı alçı sıvanın SEM görüntüleri

5.3. Alçı Malzemelerin Yanma Dayanıklılık Test Sonuçları

Borik asit içermeyen alçı ve borik asit katkılı alçı sıvanın yanma dayanımının ölçülmesi amacıyla alçı levhanın iki yüzeyi ateşe maruz bırakılmıştır. Borik asit ilavesi işleminin alçının yanma dayanımı üzerindeki etkisinin gözlemlenmesi için alçının yapısına iki farklı prosedürde borik asit katkısı uygulanmıştır. Uygulanan ilk yöntemde öncelikli olarak borik asit (ağırlıkça %0,1) su içerisinde çözdürüldükten sonra kuru toz alçı ile karıştırılmıştır. Bu şekilde elde edilen alçı numunesi daha önceden de bildirildiği üzere GP-0.1B olarak isimlendirilmiştir. İkinci prosedürde ise borik asit (ağırlıkça %0,1) uygun miktarda su içerisinde çözdürülmüştür. Ardından etüvde kurutma aşamasında bulunan alçı levhanın 7. gününün sonunda, önceden su içerisinde çözüldürülmüş olan borik asit, alçı levhanın iki yüzeyine püskürtülmüştür. Püskürtme işleminden sonrasında alçı levha 40 °C'de 3 gün daha etüv içerisinde kurumaya bırakılmıştır. Hazırlanmış olan bu alçı levha ise GP-0.1B/S olarak isimlendirilmiştir. Borik asit içermeyen alçı sıva (GP) ve borik asit katkılı alçı sıvaların (GP-0.1B ve GP-0.1B/S) yanma dayanıklılık süreleri Şekil 5.6'da verilmiştir. Borik asit içermeyen alçı sıva örneğinin (GP) yanmaya karşı dayanıklılık süresi 40 saniye olarak ölçülmüştür. Borik asit ilavesi alçı sıvanın yanmaya karşı dayanımını arttırmıştır. Özellikle borik asit püskürtmeli alçı sıva (GP-0.1B/S), GP-0.1B numunesine göre yanmaya daha fazla direnç göstermiştir. Rojo ve arkadaşları, alçı sıvanın bir yüzüne uygulanan standart ateşin, büyük bir levha numunesinin kalınlığı boyunca gözeneklilik dağılımı üzerindeki etkisini araştırmıştır. Çok yüksek sıcaklıklarda kristal morfolojisinin değişmesi nedeniyle çatlakların gözlemlendiği sonucuna ulaşmışlardır [81]. Borazan ve Gökdaı, polyester kompozit malzemelerin farklı bor bileşikleriyle alev geciktirme özelliklerini test etmiş olup, bor oksidin çam kozalağı/polyester kompozitin alev geciktirici özelliğini arttırdığını gözlemlemişlerdir [12]. Rajpoot ve arkadaşları pamuklu kumaşa kalsiyum borat ilavesinin kumaşın aleve karşı dayanıklılığını arttırdığını bildirmiştir [13].



Şekil 5.6. Katkısız alçı sıva (GP) ve borik asit katkılı alçı sıvaların yanma dayanım süresi (GP-0.1B ve GP-0.1B/S)

5.4. Alçı Malzemelerin X-Işını Radyasyon Zayıflama Testi Sonuçları

Borik asit içermeyen alçı ve borik asit katkılı alçı sıvanın radyasyona karşı kalkan özelliklerinin değerlendirmesi amacıyla, alçı levhanın bir yüzeyinden X-ışını radyasyon zayıflama testleri uygulanmıştır. Karakterizasyon sonuçlarının değerlendirildiği bölümünde tartışıldığı gibi borik asit ilavesinin alçı numunelerinin gözenekliliğini arttırdığı görülmüştür. Zayed ve arkadaşları serpantin betonuna borik asit ilavesiyle gözenekliliğin artmasının γ ışınlarına karşı zayıflama özelliklerini önemli ölçüde azalttığını bildirmişlerdir [25]. Borik asit ilavesinin alçı sıvadaki yapısal değişiklikler üzerindeki etkisini en aza indirmek amacıyla, X-ışını radyasyonu geçirgenlik testleri için ağırlıkça %0,1 borik asit katkılı alçı numunesi (GP-0.1B) seçilmiştir. Test sonuçları, az miktarda borik asit ilavesinin (ağırlıkça %0,1) borik asit içermeyen alçı levhanın X-ışını radyasyon zayıflamasını %0,7 oranında az bir miktarda arttırdığını göstermiştir. Alçı malzemelerin zayıflama oranı değeri, aynı zayıflama oranına sahip referans kurşun kalınlığı ile karşılaştırılmıştır. GP-0.1B numunesi için eşdeğerlik kalınlığı $83,5 \pm 3,5 \mu\text{m Pb}$ olarak bulunmuştur. Borik asit ilavesi çimentonun γ -ışınlarını geçirgenlik özelliklerini önemli ölçüde azaltmıştır ve alçı sıvadaki fiziksel değişim ve mekanik dayanımının azalması nedeniyle sınırlı bor oranlarının kullanılması gerekmektedir [25].

5.5. Sonuçlar

Bu çalışmada borik asitin, alçı sıva katkı malzemesi olarak kullanılması değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında yapısında borik asit bulunmayan ve borik asit katkılı alçı sıvaların XRD desenleri incelenmiş olup, borik asit katkısının alçı sıvanın kalsiyum sülfat dihidrat yapısını değiştirmediği sonucuna varılmıştır. ATR-FTIR analizi sonucunda, borik asit içermeyen alçı ve borik asit katkılı alçının neredeyse benzer fonksiyonel gruplarını ortaya çıkararak XRD analiz sonuçlarını desteklemiştir. Ancak borik asit ilavesinin alçının gözenek hacmini ve gözenek boyutunu arttırarak alçı sıvanın eğilme ve basınç dayanımının azalmasına neden olmuştur. Yapısına az miktarda katılan borik asit, alçı sıvanın mekanik dayanımını pek değiştirmemiş olmasının yanında özellikle püskürtme yöntemiyle elde edilen alçı sıva levhanın yanma dayanım süresini neredeyse iki katına çıkartmıştır. Ayrıca az miktarda borik asit ilavesi sonucunda, borik asit içermeyen alçı sıvanın X-ışını radyasyonu zayıflatmasını %0,7 oranında bir miktar arttırmıştır. Sonuçlar borik asidin alçı sıva için yanmaya karşı dayanıklı ve radyasyon engelleyici bir katkı maddesi olarak kullanılabileceğini sonucunu göstermiştir.

KAYNAKLAR

1. Gürdal, E. (2010). Bir yapı malzemesi olarak alçı. *Restorasyon ve Konservasyon Çalışmaları Dergisi*, 4, 37-43.
2. Rosato, L., Stefanidou, M., Milazzo, G., Fernandez, F., Livreri, P., Muratore, N. and Terranova, L. M. (2017). Study and evaluation of nano-structured cellulose fibers as additive for restoration of historical mortars and plasters. *Materials Today: Proceedings*, 4(7), 6954-6965.
3. Aizi, D.E., Kaid-Harche, M. (2021). Mechanical behavior of gypsum composites reinforced with retama monosperma fibers. *Proceedings*, 63(1), 40.
4. Moghadam, H. A. and Mirzaei, A. (2020). Comparing the effects of a retarder and accelerator on properties of gypsum building plaster. *Journal of Building Engineering*, 28, 101075.
5. Khalil, A. A., Tawfik, A. and Hegazy, A. A. (2018). Plaster composites modified morphology with enhanced compressive strength and water resistance characteristics. *Construction and Building Materials*, 167, 55-64.
6. Khalil, A.A., Tawfik, A., Hegazy, A.A. and El-Shahat, M.F. (2014). Effect of some waste additives on the physical and mechanical properties of gypsum plaster composites. *Construction and Building Materials*, 68, 580–586.
7. Singh, S., Dalbehera, M. M., Kumar, A. A., Maiti, S., Balam, N. B., Bisht, R. S. and Panigrahi, S. K. (2023). Elevated temperature and performance behaviour of rice straw as waste bio-mass based foamed gypsum hollow blocks. *Journal of Building Engineering*, 69, 106220.
8. İnternet: Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı (2024). Bor. URL: <https://enerji.gov.tr/bilgimerkezi-tabiiikaynaklar-bor>, Son Erişim Tarihi: 18.01.2024
9. Turkbay, T., Bongono, J., Alix, T., Laratte, B. and Elevli, B. (2022). Prior knowledge of the data on the production capacity of boron facilities in Turkey. *Cleaner Engineering and Technology*, 10, 100539.
10. Ang, C. N. and Wang, Y. C. (2009). Effect of moisture transfer on specific heat of gypsum plasterboard at high temperatures. *Construction and Building Materials*, 23(2), 675-686.
11. Yue, K., Liang, B., Liu, J., Li, M., Pu, Y., Lu, W. and Li, Z. (2022). Fire resistance of light wood frame walls sheathed with innovative gypsum-particle composite: Experimental investigations. *Journal of Building Engineering*, 45, 103576.
12. Borazan, A.A. and Gokdai, D. (2018). Pine cone and boron compounds effect as reinforcement on mechanical and flammability properties of polyester composites. *Open Chemistry*, 16(1), 427-436.

13. Rajpoot, Y., Sharma, V., Basak, S. and Ali, W. (2022). Calcium borate particles: synthesis and application on the cotton fabric as an emerging fire retardant. *Journal of Natural Fibers*, 19(13), 5663-5675.
14. Sarkawi, M. S., Zain, M. R. M., Rabir, M. H., Idris, F. M. and Zainal, J. (2018). Radiation shielding properties of ferro-boron concrete. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 298, No. 1, p. 012037). Bristol: Institute of Physics Publishing.
15. Orak, S. and Baysoy, D. Y. (2013). Neutron shielding properties of concrete with boron and boron containing mineral. *Academic Platform-Journal of Engineering and Science*, 1(1), 15-19.
16. Palta, E., Çağlar, H. and Çağlar, A. (2020). The effect of boric acid on mechanical properties and structural characterization of self-compacting concrete. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 9(Özel Sayı), 160-166.
17. Davraz, M. (2010). Bor bileşiklerinin çimento priz süresine etkisi ve denetlenebilirliği. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 5(3), 17, 1
18. Chintalapudi, K. and Pannem, R. M. R. (2021). Strength properties of graphene oxide cement composites. *Materials Today: Proceedings*, 45, 3971-3975.
19. Lavagna, L., Massella, D., Priola, E. and Pavese, M. (2021). Relationship between oxygen content of graphene and mechanical properties of cement-based composites. *Cement and Concrete Composites*, 115, 103851.
20. Zhao, Y., Liu, Y., Shi, T., Gu, Y., Zheng, B., Zhang, K. and Shi, S. (2020). Study of mechanical properties and early-stage deformation properties of graphene-modified cement-based materials. *Construction and Building Materials*, 257, 119498.
21. Özdemir, M. and Uygan Öztürk, N. (2003). Utilization of clay wastes containing boron as cement additives. *Cement and Concrete Research*, 33(10), 1659-1661.
22. Özdemir, M. and Uğurlu, A. (2011). Evaluation of boron containing clay wastes in cement production. *Materials and Manufacturing Processes*, 26(9), 1130-1135.
23. Prentice, L. H., Tyas, M. J. and Burrow, M. F. (2006). The effects of boric acid and phosphoric acid on the compressive strength of glass-ionomer cements. *Dental Materials*, 22(1), 94-97.
24. Rai, S. and Tiwari, S. (2017). Effect of boric acid on the hydration of rice husk ash blended cement. *Materials Today: Proceedings*, 4(4), 5613-5619.
25. Zayed, A. M., Masoud, M. A., Shahien, M. G., Gökçe, H. S., Sakr, K., Kansouh, W. A. and El-Khayatt, A. M. (2021). Physical, mechanical, and radiation attenuation properties of serpentine concrete containing boric acid. *Construction and Building Materials*, 272, 121641.
26. Mollamahmutoğlu, M. and Avcı, E. (2021). Strength and permeability of boric acid-tempered ultrafine cement grouted sand. *Construction and Building Materials*, 284, 122812.

27. Koumpouri, D. and Angelopoulos, G.N. (2016). Effect of boron waste and boric acid addition on the production of low energy belite cement. *Cement and Concrete Composites*, 68, 1-8.
28. Ribeiro, D., Paula, G. and Morelli, M. (2019). Effect of boric acid content on the properties of magnesium phosphate cement. *Construction and Building Materials*, 214, 557-564.
29. Jara, L. M. S., Yepes, J. A. F. and Pérez, J. J. P. (2021). Analysis of the resistance to bending of gypsum with added graphene. *Coatings*, 11(6), 650.
30. Dogan, G. M., Arbag, H. and Koyuncu, D. D. E. (2022). Effect of graphene-based additives on mechanical strength and microstructure of gypsum plaster. *Materials Today Communications*, 33, 104555.
31. Yıldız, S., Yalınbaş, M. ve Keleştemur, O. (2005). Silis dumanı katkılı yapı alçılarında eğilmede çekme dayanımının araştırılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 20(3), 395-399.
32. Serna, Á., del Río, M., Palomo, J. G. and González, M. (2012). Improvement of gypsum plaster strain capacity by the addition of rubber particles from recycled tyres. *Construction and Building Materials*, 35, 633-641.
33. Gökçe, M.V. ve Akçaözoğlu, S. (2017). Alçı katkısının diatomit esaslı hafif yapı elemanının mekanik özelliklerine etkisi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(1), 283-289.
34. Moghadam, H. A. and Mirzaei, A. (2020). Comparing the effects of a retarder and accelerator on properties of gypsum building plaster. *Journal of Building Engineering*, 28, 101075.
35. Uslu, B., Toğay, Ş. M. E. and Dilsiz, N. (2021). Improvement on flame retarding performance: Preparation and characterization of water-based indoor paints with addition of boric acid. *Journal of Boron*, 6(2), 309-315.
36. Kharita, M.H., Yousef, S. and AlNassar, M. (2011). Review on the addition of boron compounds to radiation shielding concrete. *Progress in Nuclear Energy*, 53(2), 207-211.
37. Nagaraja, N., Manjunatha, H. C., Seenappa, L., Sathish, K. V., Sridhar, K. N. and Ramalingam, H. B. (2022). Gamma, X-ray and neutron shielding properties of boron polymers. *Indian Journal of Pure & Applied Physics*, 58(4), 271-276.
38. Alabsy, M. T., Gouda, M. M., Abbas, M. I., Al-Balawi, S. M. and El-Khatib, A. M. (2023). Enhancing the gamma-radiation-shielding properties of gypsum–lime–waste marble mortars by incorporating micro-and nano-PbO particles. *Materials*, 16(4), 1577.
39. Hernandez-Murillo, C. G., Contreras, J. R. M., Escalera-Velasco, L. A., de Leon-Martínez, H. A., Rodriguez-Rodriguez, J. A. and Vega-Carrillo, H. R. (2020). X-ray and gamma ray shielding behavior of concrete blocks. *Nuclear Engineering and Technology*, 52(8), 1792-1797.

40. İnternet: Celal Bayar Üniversitesi (2024). Yapı Malzemesi Alçı. URL: http://insaatumuh.cbu.edu.tr/db_images/file/yapii-malzemesi-alcı-4118TR.pdf 08.02.2019 Son Erişim Tarihi: 18.01.2024
41. İnternet: ALÇIDER (2024). Alçı Tanıtımı. URL: http://www.alcider.org.tr/docs/alcı_tanitim.pdf, Son Erişim Tarihi: 18.01.2024.
42. Erdem, S. (2013). *Geri dönüştürülmüş pet lifi-alçı kompozitlerin özelliklerinin belirlenmesi*. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 14-26.
43. Sağlam, G. (2012). *Çimento üretiminde atık mermer tozu ve atık alçının kullanılabilirliği*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 11-19.
44. İnternet: ALÇIDER (2024). Alçı. URL: http://www.alcider.org.tr/docs/alcı_tanitim.pdf, Son Erişim Tarihi: 18.01.2024.
45. İpekçi, C.N.A. (2009). Seramiklerin şekillendirilmesinde kullanılan kalıp alçısı özelliklerinin iyileştirilmesi. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 17-24.
46. Singh, N.B. and Middendorf, B. (2007). Calcium sulphate hemihydrate hydration leading to gypsum crystallization. *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials*, 53(1), 57-77.
47. İnternet: GYPMAC (2024). Alçı Fabrikası. URL: <https://www.gypmac.com.tr/tr/alcı-fabrikasi.html>, Son Erişim Tarihi: 18.01.2024
48. İnternet: Visigt (2024). Alpha Gypsum Powder VS Beta Gypsum Powder. URL: <https://www.vi-sight.com/alpha-gypsum-powder-vs-beta-gypsum-powder/>, Son Erişim Tarihi: 18.01.2024
49. İpekçi, A. C. (2012). Geleneksel bir yapı malzemesi olan alçının özellikleri ve seramik endüstrisindeki yeri. *Alçı Dergi*, 11, 24-27.
50. İnternet: İMİB, İstanbul Maden İhracatçıları Birliği (2024). Alçı Taşı URL: <https://imib.org.tr/maden/jips/>, Son Erişim Tarihi: 31.01.2024
51. İnternet: Docplayer (2024). Alçı. URL: <https://docplayer.biz.tr/15306214-.html>, Son Erişim Tarihi: 31.01.2024
52. Bilgin, Ö. (2019). Balıkesir bölgesine ait jips(alçıtaşı) örneğinin karakteristik özellikleri ve kullanım alanları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 15, 55-60.
53. İnternet: Marbleport (2024). Alçı Taşı. URL: <http://www.marbleport.com/dogal-kaynaklar/89/alitasi-jips>, Son Erişim Tarihi: 31.01.2024
54. İnternet: MTA (2024). Alçı Taşı. URL: <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/alcı-tası>, Son Erişim Tarihi: 31.01.2024

55. Helvacı, C. (2015). Bor yataklarının mineral ve kimyası yönünden genel değerlendirilmesi ve gelecek öngörüsü. *Madencilik ve Yerbilimleri Dergisi*, 6(47), 66-78
56. Kuru, R. ve Yarat, A. (2017). Bor ve sağlığımıza olan etkilerine güncel bir bakış. *Clinical and Experimental Health Sciences*, 7(3), 107-114.
57. İnternet: Tenmak, Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü (2024). Bor Elementi. URL: <https://boren.tenmak.gov.tr/tr/calisma-alanlari/bor-elementi.html>, Son Erişim Tarihi: 31.01.2024
58. Yakıncı, Z. D. ve Kök, M. (2016). Borun sağlık alanında kullanımı. *İnönü Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu Dergisi*, 4(1), 36-44.
59. Devlet Planlama Teşkilatı (2021). “Endüstriyel hammaddeler alt komisyonu kimya sanayii hammaddeleri”, sekizinci beş yıllık kalkınma planı, madencilik özel ihtisas komisyonu raporu; DPT, 2608-ÖİK:619. Ankara (2001)
60. İnternet: Eti Maden İşletmeleri (2022). Bor Sektör Raporu. URL: https://www.etimaden.gov.tr/storage/2021/Bor_Sektor_Raporu_2020.pdf, Son Erişim Tarihi: 31.01.2024
61. Koçak, H.Ş. (2010). *Kütahya Emet borik asit işletmesi bor atıklarının alçı levha üretiminde kullanılması*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 7-21.
62. İnternet: Tenmak, Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü (2024). Cam ve Seramik Sanayi. URL: <https://boren.tenmak.gov.tr/tr/calisma-alanlari/kullanim-alanlari/cam-ve-seramik-sanayi.html>, Son Erişim Tarihi: 31.01.2024
63. İnternet: Tenmak, Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü (2024). Temizleme ve Beyazlatma Sanayii. URL: <https://boren.tenmak.gov.tr/tr/calisma-alanlari/kullanim-alanlari/temizleme-ve-beyazlatma-sanayii.html>, Son Erişim Tarihi: 31.01.2024
64. İnternet: Tenmak, Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü (2024). Tarım. URL: <https://boren.tenmak.gov.tr/tr/calisma-alanlari/kullanim-alanlari/tarim.html>, Son Erişim Tarihi: 31.01.2024.
65. İnternet: Tenmak, Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü (2024). Enerji. URL: <https://boren.tenmak.gov.tr/tr/calisma-alanlari/kullanim-alanlari/enerji.html>, Son Erişim Tarihi: 31.01.2024
66. İnternet: Tenmak, Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü (2024). Alev Geciktiriciler. URL: <https://boren.tenmak.gov.tr/tr/calisma-alanlari/kullanim-alanlari/alev-geciktiriciler.html>, Son Erişim Tarihi: 31.01.2024
67. Ayar, B. (2007). *Çinko borat sentezi ve yüksek sıcaklıkta pigment olarak kullanılabilirliği*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 16.

68. İnternet: Tenmak, Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü (2024). Sağlık. URL: <https://boren.tenmak.gov.tr/tr/calisma-alanlari/kullanim-alanlari/saglik.html>, Son Erişim Tarihi: 31.01.2024
69. İnternet: Tenmak, Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü (2024). Metalurji. URL: <https://boren.tenmak.gov.tr/tr/calisma-alanlari/kullanim-alanlari/metalurji.html>, Son Erişim Tarihi: 31.01.2024
70. Yılmaz, E. (2023). *Baryum floroborat sentezi, karakterizasyonu ve uygulanabilirliğinin araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 6-15.
71. Büermann, L. (2016). Determination of lead equivalent values according to IEC 61331-1: 2014—Report and short guidelines for testing laboratories. *Journal of Instrumentation*, 11(09), T09002.
72. Davraz, M. (2010). The effects of boron compounds on the properties of cementitious composites. *Science and Engineering of Composite Materials*, 17(1), 1-18.
73. Wang, X., Wang, L., Wang, Y., Tan, R., Ke, X., Zhou, X., Geng, J., Hou, H. and Zhou, M. (2017). Calcium sulfate hemihydrate whiskers obtained from flue gas desulfurization gypsum and used for the adsorption removal of lead. *Crystals*, 7(9), 270.
74. Wang, Y.W., Kim, Y.Y., Christenson, H.K. and Meldrum, F.C. (2012). A new precipitation pathway for calcium sulfate dihydrate (gypsum) via amorphous and hemihydrate intermediates. *Chemical Communications*, 48(4), 504-506.
75. Pandey, A., Yang, T.S., Cheng, S.L., Huang, C.S., Brangule, A., Kareiva, A. and Yang, J.C. (2021). A novel one-pot synthesis and characterization of silk fibroin/ α -calcium sulfate hemihydrate for bone regeneration. *Polymers*, 13(12), 1996.
76. Ma, Y.Q., Peng, Z.K., Yang, J., Xiao Y.K. and Zhang Y.L. (2017). Determination of boron content and isotopic composition in gypsum by inductively coupled plasma optical emission spectroscopy and positive thermal ionization mass spectrometry using phase transformation. *Talanta*, 175, 250-255.
77. Böke, H., Akkurt, S., Özdemir, S., Göktürk, E. H. and Caner Saltık, E. N. (2004). Quantification of $\text{CaCO}_3\text{-CaSO}_3\cdot 0.5\text{H}_2\text{O-CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ mixtures by FTIR analysis and its ANN model. *Materials Letters*, 58(5), 723-726.
78. Ennaciri, Y., Mouahid, F. E., Bendriss, A. and Bettach, M. (2013). Conversion of phosphogypsum to potassium sulfate and calcium carbonate in aqueous solution. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 5, p. 04006). EDP Sciences.
79. Ceylan, İ. and Çiçek, B. (2022). Temperature-driven phase transformation of Ca-rich boron waste into CaB_2O_4 : Investigation of microstructure, crystallinity and thermal characteristics. *Materials Chemistry and Physics*, 287(1), 26278.
80. Zhou, S.B., Shen, A.Q., Li, X. and Li, G.F. (2015). A relationship of mesoscopic pore structure and concrete bending strength. *Materials Research Innovations*, 19(sup10), 10-100.

81. Rojo, A., Mélinge, Y. and Guillou, O. (2013). Kinetics of internal structure evolution in gypsum board exposed to standard fire. *Journal of Fire Sciences*, 31(5), 395-409.







Gazili olmak ayrıcalıktır