T.C.
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BORİK ASİDİN KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONUN MEKANİK ÖZELLİKLERİ VE YAPISAL KARAKTERİZASYONUNA ETKİSİ

Emre PALTA

Danışman	**Dr. Öğr. Üyesi Hakan ÇAĞLAR**
Jüri Üyesi	**Prof. Dr. Savaş CANBULAT**
Jüri Üyesi	**Prof. Dr. Ahmet Celal APAY**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

KASTAMONU – 2020

TEZ ONAYI

Emre PALTA tarafından hazırlanan "**Borik Asidin Kendiliğinden Yerleşen Betonun Mekanik Özellikleri ve Yapısal Karakterizasyonuna Etkisi**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde savunulmuş ve **oy birliği** ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman	Dr. Öğr. Üyesi Hakan ÇAĞLAR Kastamonu Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Savaş CANBULAT Kastamonu Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Ahmet Celal APAY Düzce Üniversitesi	.....

13.01.2022

Enstitü Müdürü	Doç. Dr. Nur BELKAYALI	.....

TAAHHÜTNAME

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildirir ve taahhüt ederim.

Emre PALTA

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BORİK ASİDİN KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONUN MEKANİK ÖZELLİKLERİ VE YAPISAL KARAKTERİZASYONUNA ETKİSİ

Emre PALTA
Kastamonu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hakan ÇAĞLAR

Betonarme yapıların güvenliği yapıyı oluşturan malzemelerin kalitesi kadar, yapım aşamasında beton dökümünde uygulanan işçilik ile doğru orantılıdır. Betonun döküm esnasında doğru işlenmesi yapı durabilitesini etkileyen en önemli faktörlerdendir. Bu sebeple sık donatılı ve dar kesitli alanlarda beton dökümü esnasında işçilik hatalarını minimize etmek ve başarılı sonuçlar etmek için için ulaşılan çözümlerden bir tanesi yapılarda Kendiliğinden Yerleşen Beton kullanmaktır. Beton üretiminde kullanılan malzemelerde meydana gelen gelişim süreci ve Kendiliğinden Yerleşen Beton uygulamaları ve dizaynı için yapılan akademik çalışmalara bağlı olarak gelişim göstermiş ve yapılarda kullanımı yaygınlaşmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında, özellikle nükleer santraller ve radyasyona maruz olan diğer yapılarda kullanılabilecek borik asit katkılı Kendiliğinden Yerleşen Betonların üretilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, Kendiliğinden Yerleşen Beton olma şartlarını sağlayan ve borik asit ilavesiz bir referans numune üretilmiş olup, oluşturulan referans numune dizaynına ilave olarak beton suyuna ağırlıkça sırasıyla %0.5, %1.0, %1.5, %2.0, %2.5 borik asit ilave edilerek numuneler oluşturulmuştur. Bu numuneler üzerinde Kendiliğinden Yerleşen Beton olma şartlarında değişim olup olmadığını gözlemlemek için Taze Beton Deneylerinden Yayılma Tablası, V-Hunisi, L-Kutusu, U-Kutusu deneyi yapılmıştır. Elde edilen numunelerin mekanik özelliklerindeki değişimi kıyaslamak için basınç dayanımı ve eğilme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Ayrıca yapısal karakterizasyon değişimlerini gözlemlemek içinde SEM, XRD analizleri yapılmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde borik asit katkılı betonların Kendiliğinden Yerleşen Beton olma özelliği taşıdığı, basınç dayanımının referans numuneye oranla arttığı, eğilme dayanımının azaldığı, referans numuneye kıyasla malzemedeki gözenekli yapının azaldığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kendiliğinden Yerleşen Beton, Borik Asit, SEM, XRD

2020, 67 sayfa
Bilim Kodu: 91

ABSTRACT

MSc. Thesis

EFFECT OF BORİC ACİD ON MECHANİCAL PROPERTİES AND STRUCTURAL CHARACTERİZATİON OF SELF-COMPACTİNG CONCRETE

Emre PALTA
Kastamonu University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Material Science and Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Hakan ÇAĞLAR

Abstract: The safety of reinforced concrete structures is directly proportional to the quality of the materials that make up the structure, as well as the workmanship applied in concrete casting during the construction phase. Correct processing of concrete during casting is one of the most important factors affecting the durability of the building. For this reason, one of the solutions that are reached in order to minimize labor errors and successful results during concrete pouring in frequently equipped and narrow section areas is to use Self-Compacting Concrete in the structures.

The development process of the materials used in concrete production and self-compacting concrete applications and design has been developed depending on the academic studies have been developed and its use in buildings has become widespread. Within the scope of this thesis, it is aimed to produce boric acid doped concrete which can be used especially in nuclear power plants and other structures exposed to radiation. In this context, a reference sample without boric acid has been produced which meets the requirements of being self-compacting concrete. In addition to the reference sample design, %0.5, 1.0%, 1.5%, 2.0%, 2.5%, and 2.5% by weight boric acid were added to the concrete water sample. Spreading Table, V-Funnel, L-Box, U-Box were tested from Fresh Concrete Tests to observe the changes in the conditions of being self-compacting concrete on these samples. In order to compare the changes in mechanical properties of the obtained samples, compressive strength and flexural strength tests were performed. In addition, SEM, XRD, analyzes were performed to observe structural characterization changes. As a result of the studies, it was observed that boric acid doped concretes were self-compacting concrete, compressive strength increased compared to the reference sample, flexural strength decreased, porous structure decreased in comparison to the reference sample.

Key Words: Self Compacting Concrete, Boric Acid, SEM, XRD

2020, 67 pages
Science Code: 91

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada bana desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, bilimsel çalışmalarımda fikirleri ile beni yönlendiren çok değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Hakan ÇAĞLAR'a, çalışmam sırasında bana yardımlarından dolayı bölümdeki diğer hocalarıma teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarım boyunca, laboratuvar olanaklarının kullanmam konusunda her türlü desteği esirgemeyen, Karayolları 15. Bölge Müdürlüğü Ar-Ge Laboratuvarı, Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı ve Kastamonu DSİ 23. Bölge Müdürlüğü Laboratuvarları yöneticilerine ve görevli personellerine en içten şükranlarımı sunarım.

Hayatımın her alanında bana yardımcı ve destek olan eşim Nadiye Seniha'ya, hayatımı üç yıldır güzelleştiren oğlum Alp Eymen'e, anne ve babama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Emre PALTA
Kastamonu, Ocak, 2020

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
TABLOLAR DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1. Kendiliğinden Yerleşen Beton	4
2.1.1. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Tanımı	4
2.1.2. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Tarihçesi	5
2.1.3. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Özellikleri	6
2.1.4. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Bileşenleri	6
2.1.5. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Kullanım Alanları	8
2.2. Bor	9
2.2.1. Bor Elementi ve Özellikleri	9
2.2.2. Önemli Bor Mineralleri	10
2.2.3. Önemli Bor Bileşikleri	15
2.2.4. Bor Yataklarının Oluşumu	17
2.2.5. Bor Kullanım Alanları	18
2.2.6. Borun Betonda Kullanımı	19
3. MATERYAL VE METOT	21
3.1. Materyal	21
3.1.1. Çimento	21
3.1.2. Borik Asit	22
3.1.3. Agrega	23
3.1.4. Kimyasal Katkı	24
3.1.5. Su	25
3.2. Metot	25
3.2.1. Taze Beton Deneyleri	25
3.2.1.1. Yayılma Tablası Deneyi	26
3.2.1.2. V- Kutusu Deneyi	27
3.2.1.3. U- Kutusu Deneyi	28
3.2.1.4. L- Kutusu Deneyi	29
3.2.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri	30
3.2.2.1. Basınç Dayanımı Deneyi	31

3.2.2.2. Eğilme Dayanımı Deneyi 32
3.2.3. Diğer Deneyler..... 34
3.2.3.1 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)..... 34
3.2.3.2 X- Işınları Kırınım (XRD)..... 35
4. DENEYLERE AİT SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME..... 36
4.1. Taze Beton Deneyleri Sonuçları..... 36
4.1.1. Yayılma Tablası Deneyi Sonuçları..... 36
4.1.2. V- Kutusu Deneyi Sonuçları..... 37
4.1.3. U- Kutusu Deneyi Sonuçları..... 37
4.1.4. L- Kutusu Deneyi Sonuçları..... 38
4.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri Sonuçları..... 39
4.2.1. Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları..... 39
4.2.2. Eğilme Dayanımı Deneyi Sonuçları..... 41
4.3. Diğer Deneylere Ait Sonuçlar..... 42
4.3.1. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Görüntüleri..... 42
4.3.2. X- Işınları Kırınım (XRD) Analizleri..... 54
4.4. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması..... 55
4.4.1. Taze Beton Deneylerinin Karşılaştırılması..... 55
4.4.2. Sertleşmiş Beton Deneylerinin Karşılaştırılması..... 56
5. SONUÇLAR..... 58
KAYNAKLAR..... 61
ÖZGEÇMİŞ..... 67

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

°C	Santigrat
$B(OH)_3$	Sasolit
B_2O_3	Susuz borik asit
$Ca_2B_6O_{11}$. 5 H_2O	Kolemanit
H_3BO_3	Borik asit
MPa	Megapaskal
$Na_2B_4O_4$. H_2O	Sodyum metaborat
$Na_2B_4O_7$. 4 H_2O	Kernit
$Na_2B_4O_7$. 5 H_2O	Tinkalkonit
$Na_2B_4O_7$. 5 H_2O	Boraks pentahidrat
$Na_2B_4O_7$ .10 H_2O	Tinkal (ham boraks)
$Na_2B_4O_7$ .10 H_2O	Boraks dekahidrat
$Na_2B_4O_7$	Susuz boraks
$Na_2B_8O_{13}$	Sodyum oktaborat
$Na_2Ca2B_{10}O_{18}$. 16 H_2O	Üleksit
Na_2O. 2CaO. 5B_2O_3 . 1	Probertit
O	Oksijen
S	Kükürt
λ	Landa
Φ	Fi harfi

Kısaltmalar

KYB	Kendiliğinden Yerleşen Beton
BAK	Bor Asit Katkılı Numune
SAK	Süperakışkanlaştırıcı Katkı
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
XRD	X-Işını Kırınım Yöntemi
TS	Türk Standartları
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
AR-GE	Araştırma geliştirme
ASTM	Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu
μm	Mikrometre
Al	Alüminyum
cm	Santimetre
mm	Milimetre
dk	Dakika
S/Ç	Suyun Çimentoya Oranı
gr	Gram
kj	Kilojoule
eV	Elektronvolt
mol	Molekül Ağırlığı
amp-hour	Amper Saat

ŞEKİLLER DİZİNİ

		Sayfa
Şekil 2.1.	Yüksek Akışkan KYB	5
Şekil 2.2.	Boraks (Tinkal)	12
Şekil 2.3.	Kernit (Rozarit)	13
Şekil 2.4.	Üleksit	14
Şekil 2.5.	Kolemanit	14
Şekil 2.6.	Sasolit	15
Şekil 3.1.	KYB Üretimi Çimento Eklenmesi	22
Şekil 3.2.	Borik Asit Çözeltisi Hazırlanması	23
Şekil 3.3.	KYB Üretimi Agrega Eklenmesi	24
Şekil 3.4.	KYB Üretimi Süperakışkanlaştırıcı Katkı Eklenmesi	25
Şekil 3.5.	Yayılma Tablası	27
Şekil 3.6.	V- Kutusu Deney Aparatı	27
Şekil 3.7.	V- Kutusu Deney Yapılışı	28
Şekil 3.8.	U- Kutusu Deney Aparatı	29
Şekil 3.9.	U- Kutusu Deneyi Yapılışı	29
Şekil 3.10.	L- Kutusu Deney Aparatı	30
Şekil 3.11.	L- Kutusu Deneyi Yapılışı	30
Şekil 3.12.	Küp Numune Boyutları	31
Şekil 3.13.	Betonun Karışımı, Numune Alınması ve Basınç Dayanım Testi	32
Şekil 3.14.	Eğilme Deneyi Numunesi ve Yükleme Düzeneği	33
Şekil 3.15.	Eğilme Deneyi Numuneleri ve Eğilme Dayanımı Testi	33
Şekil 3.16.	SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu	34
Şekil 3.17.	XRD (X-Işını Difraksiyonu)	35
Şekil 4.1.	Basınç Dayanımı Deney Sonuçları Karşılaştırması	40
Şekil 4.2.	Eğilme Dayanımı Deney Sonuçları Karşılaştırması	42
Şekil 4.3.	Referans Numune SEM Görüntüleri	44
Şekil 4.4.	% 0.50 BAK Numune SEM Görüntüleri	45
Şekil 4.5.	% 1.00 BAK Numune SEM Görüntüleri	45
Şekil 4.6.	% 1.50 BAK Numune SEM Görüntüleri	46
Şekil 4.7.	% 2.00 BAK Numune SEM Görüntüleri	46
Şekil 4.8.	% 2.50 BAK Numune SEM Görüntüleri	47
Şekil 4.9.	Referans Numune Eds Görüntüleri	48
Şekil 4.10.	% 0.50 BAK Numune Eds Görüntüleri	49
Şekil 4.11.	% 1.00 BAK Numune Eds Görüntüleri	50
Şekil 4.12.	% 1.50 BAK Numune Eds Görüntüleri	51
Şekil 4.13.	% 2.00 BAK Numune Eds Görüntüleri	52
Şekil 4.14.	% 2.50 BAK Numune Eds Görüntüleri	53
Şekil 4.15.	XRD Grafiği	54
Şekil 4.16.	Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları karşılaştırması	57

TABLOLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1. Bor Elementinin Fiziksel Özellikleri 9
Tablo 2.2. Bor Elementinin Kimyasal Özellikleri 10
Tablo 2.3. Önemli Bazı Bor Mineralleri ve B_2O_3 İçerikleri 11
Tablo 2.4. Önemli Bazı Bor Bileşikleri ve B_2O_3 İçerikleri..... 12
Tablo 2.5. Borik Asidin Kimyasal Özellikleri 16
Tablo 2.6. Borik Asidin Fiziksel Özellikleri..... 16
Tablo 2.7. Türkiye'deki Borat Yatakları..... 18
Tablo 2.8. Bor Kullanım Alanları 18
Tablo 3.1. KYB Sınır Değerler 26
Tablo 4.1. Yayılma Tablası Deney Sonuçları 36
Tablo 4.2. V- Kutusu Deney Sonuçları ve T_{50} Süresi Tayini..... 37
Tablo 4.3. U- Kutusu Deney Sonuçları 38
Tablo 4.4. L- Kutusu Deney Sonuçları 39
Tablo 4.5. Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları..... 40
Tablo 4.6. Eğilme Dayanımı Deneyi Sonuçları 41
Tablo 4.7. Taze Beton Deneyi Sonuçları 55
Tablo 4.8. Sertleşmiş Beton Deneyi Sonuçları 56

1. GİRİŞ

Beton, dünyada en sık kullanılan koruma elemanıdır. Herhangi bir yapı dizaynı için uyarlanabilir ve ucuzdur [1,2]. İnşaat endüstrisinde en fazla ihtiyaç duyulan ve kullanılan taşıyıcı eleman betondur [3].

Beton üretiminin kolay olması, ömrünün uzun olması ve ucuz olması ve karşıladığı yüklere karşı yüksek dayanımlı olması onu yapı malzemeleri arasında üst sıralara taşımıştır [4]. Sektörlerin ihtiyaçlarını karşılamak ve teknolojinin de ilerlemesine paralel olarak beton sektöründe de gelişmeler meydana gelmiştir [5].

Betonları geliştirmek, olumsuzluklarını gidermek yeni özellikler ve fonksiyonel betonlar üretmek amacıyla yeni beton türleri meydana gelmiştir [6]. Beton sektöründeki gelişmeler neticesinde ortaya çıkan özel betonlardan biri de KYB' dir. Kendiliğinden yerleşen beton, sağladığı avantajlardan ziyade, KYB' yi geleneksel hale getirmek bir hedef olarak seçilmiş olup, önemli bulgular elde edilerek KYB gelişiminde büyük ilerlemeler kaydedilmiştir.

Birden çok araştırmanın özünü oluşturan nükleer enerji kullanımı, çevresel etkisi en başta olması ile beraber, toplum içerisinde yaşayan her bir canlının yaşamını direkt etkilediği için böyle bir güç günlük yaşamı etkileyen bir unsur olmuştur [7].

Dünya çapında insanlığın nükleer enerjiye olan ilgisi Takai nükleer santrali, Three mile Island nükleer santrali ve Çernobil nükleer santrallerinde oluşan kazalar ve bu kazaların kapsamlı bir şekilde ele alınması ile artış göstermiştir. İnsanlar olayların işleniş biçiminden etkilenerek kazaların nükleer santrallerde olma ihtimalinin çok fazla olduğunu düşünmektedir [8]. Bu tarz olaylar neticesinde insanlar nükleer enerji üretim tesislerine karşı bakış açıları olumsuz olmaktadır [9-13].

Nükleer enerji kullanımı ve bu enerjiyi açığa çıkaran teknolojilerde ilerlemeler kaydedilmiş ve bu ilerleme neticesinde radyasyon koruması çok önemli hale gelmiştir. Beton, radyoaktif radyasyon için çok önemli bir koruma malzemesi olduğunu göstermiştir [14]. Radyonüklidlerin birçok alanda açığa çıkması ile ilgili

yükselen küresel kaygı, nükleer teknolojilerin uygulama alanlarının genişlemesi ile artmış olup; radyasyona karşı korumanın önemini bir hayli arttırmıştır [16].

Bu sebeple beton tıbbi tesisler, nükleer enerji üretim santralleri ve araştırma reaktörlerinde kullanılmaktadır. Bundan dolayı beton içerisinde nötron ve fotonların güçsüzleştirilmesi için ağır ve hafif elementlerden meydana gelen bir karışım içermesi uygun olacaktır [15]. Beton, nötron yayılımının engellemesinde uygun ve yaygın olarak kullanılan malzemelerden biridir [17]. Radyasyonun zararlı olması bu duruma karşı korunmak için çok çeşitli koruma yöntemlerinin geliştirilmesine sebep olmuştur [18].

Beton çok kullanışlıdır. Kalıplara alınması kolay, ucuz ve diğer yapısal malzemelere oranla proton ve nötron koruması için yapısal olarak iyi ve uygun olması nedeniyle radyasyondan korunma malzemesi olarak kullanılmaktadır [19].

Betona katkı malzemesi olarak kullanılan bor elementi ise; Türkiye' nin fazla rezerve olması sebebiyle bor, önemli yer altı kaynakları arasında yer almaktadır. Sanayide çeşitli dallarda kullanılan bor madeni, nükleer enerji santrallerinde reaktörlerde, yüksek nötron emici özelliğinden dolayı nötron kalkanı olarak kullanılmaktadır [20]. Bor ve kolemanit, TSW, borik asit, palet atıkları probertit ve üleksit gibi bileşikleri radyasyon kalkanı olarak belirli alanlarda kullanılmıştır [21]. Bor, oksijen ile yüksek afiniteye sahiptir. Borat olarak bilinen bileşiklerinde güçlü bir şekilde kovalent bor-oksijen bağları oluşturur [22]

Ayrıca bor elementi için izotoplu tek hafif element olma özelliğini taşır. Bunlar B10 ve B11'dir [23] Çok iyi bir nötron emici yapan büyük bir yakalama alanı vardır [24].

Bu tez çalışmasında, nükleer enerji santrallerinde, tıp bilimlerinde, nükleer araştırma ve deney laboratuvarlarında radyasyon koruyuculuğu olan bir beton dizaynı yapılması planlanmıştır. Bu betonun, radyasyon koruyuculuğunu sağlayacak aynı zamanda üstün dayanıma sahip, sıkıştırma ve yerleştirme için vibrasyon gerektirmeyen yenilikçi ve işçilik hatalarını minimize eden kendiliğinden yerleşen beton olması planlanmıştır. Bu betona nötron emiciliği olan borik asit katkısı yapılarak radyasyon koruyuculuğu olan bir beton üretimi amaçlanmıştır.

Bu çalışmada kendiliğinden yerleşen beton olma kriterlerini sağlayan bir referans numune oluşturulmuştur. Oluşturulan referans numunenin S/Ç oranı değiştirilmeden suyun ağırlıkça yüzdesine göre %0.5, %0.1, %1.50, %2.0, %2.50 oranlarında borik asit (H_3BO_3) eklenerek 6 farklı kendiliğinden yerleşen beton numunesi elde edilmiştir. Bu numuneler üzerinde taze beton özelliklerini incelemede ve KYB kriterlerini kıyaslamak amacıyla, yayılma tablası deneyi, T_{50} süresi tayini ve V-kutusu deneyi, L-kutusu deneyi ve U-kutusu deneyi uygulanmıştır. Sertleşmiş beton deneylerinden basınç dayanımı ve eğilme dayanımı tespiti için, basınç dayanım ve 3 noktalı yükleme deneyi yapılmıştır. Yapısal karakterizasyonu hakkında yorumlama yapmak amacıyla SEM ve XRD deneyine tabi tutulmuştur.

2. GENEL BİLGİLER

Tezin bu bölümünde yapı malzemesi olarak kullanılan betonun bir türevi olan KYB'nin tanımı, tarihsel gelişimi, özellikleri ve kullanım alanları ile önemli bor bileşiklerinden olan Borik Asidin (H_3BO_3) meydana geldiği Bor elementinin (B) özellikleri, meydana getirdiği bileşikleri, kullanım alanları ve beton ile kullanımı hakkında bilgi verilmiştir.

2.1. Kendiliğinden Yerleşen Beton

2.1.1. Kendiliğinden Yerleşen Betonunun Tanımı

Kendiliğinden yerleşen betonlar (KYB) titreşime gereksinim duyulmadan istenilen noktalara yerleşebilen, homojen ve yerleşme yeteneği yüksek bunun yanı sıra segregasyon ve su atma (terleme) gibi sorunların oluşmadığı betondur. Segregasyon meydana gelmeden dar kesitlerden ve sık donatı aralıklarını kendi ağırlığı altında doldurarak boşlukları en az seviyeye indirerek yerleşen ve s/ç oranı üretimi esnasında azaltılabildiği için yüksek seviyede geçirimsiz yüksek kararlılıkta olan betonlardır. Ayrıca KYB kullanımı, vibrasyon kullanılmadığından işçiliği ve gürültü kirliliğini azaltmada yardımcı olur [25].

KYB'nin iki ana özelliği öne çıkmaktadır. Bunlar ayrışmaya karşı direnci ve doldurma yeteneğidir. Doldurma yeteneği kimyasal katkılar (süper akışkanlaştırıcı vb.) ile sağlanmaktadır. Ayrışmaya karşı direnci ise, beton dizaynın da kullanılan ince malzeme miktarının arttırılması ve viskozite ayarlayıcı kimyasal katkılar ile oluşturulur [26].



Şekil 2.1. Yüksek Akışkan KYB [26]

2.1.2. Kendiliğinden Yerleşen Betonunun Tarihçesi

1983 yılından itibaren Japonya'da beton yapıların dayanıklılığı en çok ilgilenilen konuların arasında yer almaktadır. Bunun ile beraber Japonya'nın inşaat alanında çalışan vasıflı işçi sayılarındaki azalmaya paralel olarak iş kalitesinde de düşüşler meydana getirmiştir. İşçilerin kalitesinden bağımsız bir şekilde kalıbın bütün noktalarına kendi ağırlığı ile vibratör uygulanmadan sıkıştırılabilir olan KYB 1986 yılında Okamura tarafından önerilmiştir. KYB geliştirme uğraşları Tokyo Üniversitesi'nde Ozawa ve Maekawa tarafından yapılmıştır [27].

KYB kullanımında, öncülüğü yapan Japonya'nın yanı sıra Dünya'nın birçok noktasında kullanılmaya başlanıldı. KYB dizaynı yapılırken s/ç oranının azaltılması gereklidir. Bunun için KYB' de su azaltıcı kimyasal katkılar kullanılmıştır. Bunlar, Polikarboksil etilen oksit (PCO) , sülfonat melamin formoldehit (SMF) , sülfonat naftalin formaldehit (SNF) üzerine oluşturulmuştur [28].

Günümüzde KYB kullanıldığında sağladığı avantajların ötesinde KYB' yi geleneksel hale getirmek, ulaşılması planlanan bir hedef olarak seçilmiştir. Dünya'da KYB ile yapılan çalışmalar taze ve sertleşmiş haldeki KYB' nin özelliklerini incelemek için yapılmıştır. Önemli bulgular elde edilerek KYB gelişiminde büyük ilerleme kaydedilmiştir [29].

2.1.3. Kendiliğinden Yerleşen Betonunun Özellikleri

KYB' nin taze haldeki sahip olacağı özellikler ile performansı arasında doğru orantılı bir ilişki bulunmaktadır. İşlenebilme ve reoloji değişkenleri KYB' nin uygulamadaki tasarruf performansını büyük ölçüde etkilemektedir. Kendi ağırlığı altında yerleşme özelliği 3 parametre ile ifade edilebilir. Bunlar; geçiş yeteneği, ayrışmaya karşı gösterdiği direnç, doldurma özelliğidir [30,71].

2.1.4. Kendiliğinden Yerleşen Betonunun Bileşenleri

KYB' lerde geleneksel betonda olduğu gibi çimento, su, agrega, mineral ve kimyasal katkılar kullanılarak elde edilmektedir [33]. Geleneksel betona göre ince malzeme oranı fazla s/ç oranı daha düşüktür [31,32]. KYB' bileşenleri aşağıda açıklanmıştır.

Çimento;

Çimento, Kalker taşı ve kil kullanılarak elde edilen bir bağlayıcıdır. Bazı durumlarda kalker taşı ve kil kum taşı ve demir cevheri karışarak 1400-1500 derecede pişirilir ve sonrasında klinker meydana gelir. Elde edilen Klinker ince taneler haline gelinceye kadar öğütülerek çimento imalatı tamamlanır [34].

Agrega;

Kırma taş, kum ve çakıl gibi doğal taşlardan meydana gelen beton içinde yer alan ve kimyasal bir reaksiyona girmesi beklenmeyen yapay ve doğal olan farklı boyutlardaki taneli malzemelere agrega denir.

Beton karışımı içine giren agregalar bazı özellikleri taşıması gerekmektedir. Bunların önemlilerinden birisi yeterli dayanıma sahip olmalarıdır. Beton içerisinde kullanılan agregalar aşınmaya ve basınca karşı belirli bir dayanımda olması gerekmektedir. Diğer olması gereken bir özellik ise beton içerisinde kullanılan herhangi bir malzeme ile agreganın zararlı bir reaksiyona girmemesidir. Agregalar organik malzeme içermemelidir [35].

Beton Karışım Suyu;

Beton karışım suyunun ana görevlerinin ilki hidratasyon tepkimesine girip çimento hamurunu meydan getirmektir. İkinci görevi ise betonun maksimum seviyede boşluksuz olarak yerleşmesini yani işlenmesini sağlamaktır [34]

Beton karışımı içerisinde TS EN 1008' e göre hiçbir test uygulanmadan içme suyu, karışım suyu olarak kullanılabilir [36].

Kimyasal Katkılar;

Beton dizaynı içerisinde bulunan, betonun sertleşmiş ve taze durumdaki özelliklerini iyileştirmek amacıyla geliştirilen ve üretilen kimyasal malzemelerdir.

Genel Kullanım Amaçları;

- Su tutma
- Su Azaltma
- Priz geciktirme veya Hızlandırma
- Pompalanabilirlik
- Dayanım Arttırma
- Dönme ve çözünmeye karşı direnç arttırma

- Aderans Arttırma
- Geçirimlilik Azaltma
- Hidratasyon Isısını Düşürme
- Kohezyon Arttırma
- Erken Mukavemet Arttırma
- Su Kusma (terleme) Kontrolü

Bunları sağlayan katkılar hava sürükleyiciler, akışkanlaştırıcılar, viskozite düzenleyiciler, süper akışkanlaştırıclar (SAK), su iticiler, köpük kesiciler, priz geciktiriciler olarak sınıflandırılır [37].

2.1.4. Kendiliğinden Yerleşen Betonunun Kullanım Alanları

KYB' lerin kendi ağırlığı altında yerleşme yetenekleri sayesinde vibrasyon gerektirmez. Zamandan ve işçilikten tasarruf elde edilmesini sağlar. Gürültü sorununun olmaması nedeniyle şehir merkezlerinde ve gece yapılan beton dökümlerinde avantaj sağlar. Ayrıca KYB' lerin diğer kullanıldığı yerler aşağıdadır.

Kullanım Alanları;

- Vibrasyonun yapılamayan yerlerde
- Sık donatılı kesitlerde
- Dar ve ulaşılamayan kalıplarda
- Estetik ve görselliğin önemli olduğu kalıplarda [30,38].

2.2. Bor

2.2.1 Bor Elementi ve Özellikleri

Periyodik cetvelde B harfi ile gösterilmekte olup; Bor elementinin atom numarası 5, atom ağırlığı ise 10,80 gr/mol dür. Yarı metal ve yarı iletken olan bor periyodik tabloda 3A grubundadır. 2 kararlı izotoptan oluşmakta olup; bunlar B10 ve B11 olarak adlandırılmışlardır. B11 doğada %79,7-80,9 B10 ise %19,1-20,3 oranında bulunmaktadır.

Tablo 2.1. *Bor Elementinin Fiziksel Özellikler [41].*

Atom Kütlesi	10,811(g/mol)
Kaynama Noktası	3 727 (°C)
Termal Genleşme Katsayısı	8,3 µm/(m.K), (0 °C ‘ de)
Elektriksel iletkenlik	1,0 E^{-12} µS/cm
Isıl İletkenlik	0,274 W/cm.K
Yoğunluğu	2,34 g/cm^3 , (25 °C ‘ de)
Görünüşü	Sarı – Kahverengi ametal kristal
Elastik Modülü	320/GPa
Atomizasyon Entalpisi	573,2 kJ/mol (25 °C ‘ de)
Füzyon Entalpisi	22,18 kJ/mol
Buharlaşma Entalpisi	480 kJ/mol
Sertliği	9,3 Mohs 49000 MN.m^{-2}
Buharlaşma Isısı	489,7 kJ/mol
Ergime Noktası	2075 °C
Molar Hacmi	4,68 cm^3/mol
Fiziksel Durumu	Katı, (20 °C ve 1 atm ‘de)
Spesifik Isısı	1,02 J/g.K
Buhar Basıncı	0,348 Pa (300 °C)

Bor elementi doğada serbest halde bulunmamaktadır. Ametal veya metaller ile birbirinden farklı özellikler sergileyen bileşikler oluşturmaktadır. Bunun sayesinde endüstrinin farklı alanlarında kullanımı gerçekleşmektedir [39].

Bor elementi sodyum (Na), Kalsiyum (Ca), Magnezyum(Mg) elementleri ile hidrat bileşikler oluşturur. Bu elementler ile ticari değeri olan bileşikler kolemanit ($Ca_2B_6O_{11}.5H_2O$), tinkal ($Na_2B_4O_7$ .10 H_2O) ve üleksittir ($NaCaB_5O_9.8H_2O$) [29].

Borun kimyasal özellikleri tanecik ebatlarına ve morfolojisine göre değişmektedir. Küçük ebattaki amorf bor basitçe ve bazen hızlı bir şekilde reaksiyona girerken kristal olan bor kolay reaksiyona girmez. Bor su ile yüksek ısıda reaksiyon oluşturarak yan ürünleri ve borik asidi meydana getirir [42].

Tablo 2.2. *Bor Elementinin Kimyasal Özellikleri [43]*

Elektro Kimyasal Eşdeğer	0,1344 g/amp-hr
Elektronegativite	2,04 Pauling
Füzyon Isısı	50,2 kJ/mol
İyonlaşma Potansiyelleri	
Birincil Potansiyeli	8,298 eV
İkinci Potansiyeli	25,154 eV
Üçüncü Potansiyeli	37,93 eV
Değerlik Elektron Potansiyeli	190 eV

2.2.2. Önemli Bor Mineralleri

Bor elementi mineralleri üçüncü zamanda tortul tabakalarda oluşmuştur. Borun fazlalıkla olduğu bölgelerde volkanik kayaçlarda görülmektedir. Bu kayaçlar genel itibariyle dasit ve andezitlerdir. Bor mineralleri sulu boratlar olup; genelde magnezyum (Mg++), sodyum(Na+), kalsiyum(Ca++) gibi alkali katyonlar ile birleşmişlerdir. Bor mineralleri doğada 2000’ i aşkın çeşitte bulunmakta olup;

bileşim itibariyle birbirlerine benzerler. Onları içerdikleri kristal su miktarındaki farklılık ayırmaktadır [44].

Bunların en önemlileri üleksit, tinkal ve kolemanittir. Çeşitli bor ürünleri kullanımında içerisindeki B_2O_3 miktarı önemli arz ettiğinden birbirlerinin alternatifi olarak kullanılmaktadır [45].

Endüstri ve ticari alanda önemli olan bor minerallerinden bazıları Tablo 2.3' de gösterilmektedir.

Tablo 2.3. *Önemli Bazı Bor Mineralleri ve B_2O_3 içerikleri [46]*

Mineral	**Kimyasal formülü**	**B_2O_3 , %**
Tinkal (ham boraks)	$Na_2B_4O_7.10\ H_2O$	36,6
Hidroborasit	$CaO.MgO.3B_2O_3.\ 6\ H_2O$	50,5
Kernit	$Na_2B_4O_7\ .4\ H_2O$	51,0
Üleksit	$Na_2Ca_2B_{10}O_{18}.16\ H_2O$	43,0
Kolemanit	$Ca_2B_6O_{11}.5\ H_2O$	50,9
Tinkalkonit	$Na_2B_4O_7.5\ H_2O$	47,8
Meyerhofferit	$Ca_2B_6O_{11}.7\ H_2O$	46,7
İnyonit	$Ca_2B_6O_{11}.13\ H_2O$	37,6
Pandermit	$Ca_4B_{10}O_{19}.7\ H_2O$	50,0
Kurnakovit	$Mg_2B_6O_{11}.15\ H_2O$	37,3
Borasit (stasfurit)	$2Mg_2B_8O_{15}.MgCl_2$	62,6
Datolit	$CaBSiO_4.(OH)$	21,8
Priseit	$4CaO.5B_2O_3.7\ H_2O$	49,8
İnderit	$2MgO.3B_2O_3.15H_2O$	37,3
Probertit	$Na_2O.2CaO.5B_2O_3.10\ H_2O$	49,6
Sasolit	$B(OH)_3$	56,3
Aşarit	$Mg_2B_2O_5.H_2O$	10,7

Bor mineralleri pratikte direkt olarak kullanılması ile birlikte genellikle endüstride bazı işlemlerin ardından eleme, yıkama, kalsinasyon ve fletasyon benzeri cevher zenginleştirme aşamalarından geçirilerek kullanılmaktadır. Bu şekilde daha değerli hale gelmektedirler. Bor bileşik ve içeriklerini gösteren Tablo 2.4' te gösterilmiştir [46].

Tablo 2.4. *Önemli Bazı Bor Bileşikleri ve B_2O_3 içerikleri [46]*

Ürün adı	**Kimyasal formülü**	**B_2O_3 , %**
Boraks dekahidrat	$Na_2B_4O_7$ .10 H_2O	36,5
Boraks pentahidrat	$Na_2B_4O_7$.5 H_2O	47,8
Susuz boraks	$Na_2B_4O_7$	69,2
Susuz borik asit	B_2O_3	100,0
Borik asit	H_3BO_3	56,3
Sodyum perborat	$NaBO_3$.4 H_2O	22,0
Sodyum metaborat	$Na_2B_4O_4.H_2O$	64,2
Sodyum oktaborat	$Na_2B_8O_{13}$	81,8

Boraks (Tinkal)

Borik asit üretiminde kullanılır. Saydam ve renksizdir. Bünyesinde bulunan bazı maddeler sebebiyle gri, pembe ve sarımsı renkleri de bulunmaktadır. Sertliği 2-2,5 mohs, B_2O_3 oranı %36.6'dır. Birim hacim ağırlığı 1,7 gr/cm^3'tür [47]. Kristal yapısı prizmatiktir.



Şekil 2.2. Boraks (Tinkal) [40]

Boraks minerali su kaybı sonucu Tinkalkonit'e dönüşebilir. Buharlaşmanın fazla olduğu yarı kurak-kurak alanlarda bulunan tuz seviyesi yüksek göllerde oluşur [47].

Kernit (Rozarit)

Kernit, doğada saydam, sivri, iğne şeklinde renksiz kümelenmiş kristaller halinde bulunmaktadır. Sertliği 3 mohs, B_2O_3 oranı % 51, Birim hacim ağırlığı 1.95 gr/cm^3'tür. Soğuk olan suda yavaş ve az çözünür [46,47].



Şekil 2.3. Kernit (Rozarit) [48]

Üleksit

Üleksit doğada masif, lifsi kristal topluluğu ve sütunlar şeklindedir. İpeksi parlaklıkta olan mineraller de vardır. Sertliği 2.5 mohs, B_2O_3 oranı %43, birim hacim ağırlığı 1.96 gr/cm^3'tür. Kuruyan, tuz oranı fazla göllerde ve kurak alanlarda rastlanır [46,47]. Üleksit ısıtılması halinde eriyerek rengi beyaza dönüşür [49]. Bor minerallerinin en önemlilerindir [50].



Şekil 2.4. Üleksit [51]

Kolemanit

Kristalleşmesi monoklinik sistemde olur. Kolemanit'in sertliği 4 - 4.5 mohs, B_2O_3 oranı %50.8, birim hacim ağırlığı 2.42 gr/cm^3'dür. Bor mineralleri içinde en çok mevcut olanıdır. Çözünmesi hidroklorik asitte ile hızlı gerçekleşmekte olup; suda çözünmesi yavaştır [47].

Kil bünyesinde cevher boşluklarında büyük saydam parlak kristaller olarak bulunmaktadır [39].



Şekil 2.5. Kolemanit [52]

Sassolit (Borik Asit) (H_3BO_3)

Sasolit katı haldeki doğal borik asittir. Sasolit sertliği 1.0 mohs, birim hacim ağırlığı 1.48 gr/cm3'tür. Doğada yağlı parlak beyaz renkli kristaller şeklinde amonyum tuzlarının ve bunlara ait kaynaklar etrafında bulunmaktadır [46].



Şekil 2.6. Sasolit [53]

2.2.3. Önemli Bor Bileşikleri

Borik Asit

Borik asit formülü H_3BO_3 tür. Bor elementinin oksiasididir. Beyaz kristal şeklinde, kokusuz tatsız bir malzemedir. Kaynama sıcaklığı 300 ^oC, molekül ağırlığı 61.83, birim hacim ağırlığı 1.46 gr/cm3 tür. Borik asit suda çözünmektedir. Ancak, soğuk sudaki çözünürlüğü sıcak sudakine göre daha azdır. Gliserin ve alkolde çözünmektedir.

Peroksoborat, borik asit ile sodyum peroksitin reaksiyona girmesi sonucu oluşur ve endüstride beyazlatıcı olarak kullanılır.

Belirli göllerde ve maden sularının birçoğunda magnezyum tuzları ve sodyum borat şeklinde bulunmaktadır. Tadı ekşidir. Mikrop üremesini yavaşlatır veya tamamen

durdur. Tıp alanında iltihaplı hastalıklarda merhem ve antiseptil olarak kullanılmaktadır.

Ticari amaçla üretilen borik asit klorür veya sülfürün borak çözeltisine eklenmesi sonucu elde edilmektedir.%99.9 saflıktadır [54]

Borik asit gıda alanında, nükleer alanda, tekstil, tarım, metal sanayinde, seramik ve cam endüstrisinde, temizlik ürün sanayinde geniş bir alanda kullanılmaktadır [47]

Tablo 2.5. *Borik Asidin Kimyasal Özellikleri [54]*

	Normal Sülfat	**Düşük Sülfat**
Saflık	99,90 % min	99,90 % min
SO_4	500 ppm max	130 ppm max
B_2O_3	56,25 % min	56,25 % min

Tablo 2.6. *Borik Asidin Fiziksel Özellikleri [54]*

	Kristal	**Toz**
Molekül Ağırlığı	61,83	61,81
Yığın Yoğunluğu	0,8	0,7 gr/cm^3
Özgül Ağırlığı	1,435 gr/cm^3	1,435 gr/cm^3
Tane Boyutu	+ 1 mm 4 %max	+ 1 mm 0 %max
	-0,06 mm 4 %max	-0,06 mm 30 %max

Boraks Deka Hidrat

Birim hacim ağırlığı 1.71 gr/cm^3, molekül ağırlığı 381,43 gr/mol, olan bu bor bileşiği 740 ^oC erimektedir. Su ile çözünmeye başladığında alkali bir çözelti oluşturmaktadır. Sıcaklıkla doğru orantılı olarak sudaki çözünürlüğü artmaktadır. İçeriğinde % 36,5 B_2O_3 bulunmaktadır [46]

Boraks Penta Hidrat

Aşındırıcılığı oldukça yüksektir. Birim hacim ağırlığı 1.88 gr/cm^3, molekül ağırlığı 291,35'tir. Bazik yapıda olan mineral rombohedral kristal tinkalkonit olarak da isimlendirilmektedir [47, 54, 55].

Susuz Boraks

Bir hacim ağırlığı 2.3 gr/cm^3, molekül ağırlığı 201.27 gr/mol, oluşma sıcaklığı 783.2 kcal/mol olup çok sert renksiz bir kristaldir. 741 ^oC erimektedir. 600-700 ^oC de boraks hidratların dehidrasyonu ile susuz boraks üretimi yapılabilmektedir [56].

2.2.4. Bor Yataklarının Oluşumu

Bor elementi yatakları genelde kurak alanlarda volkanik devinimlerin yoğun yaşandığı bölgelerde oluşmuşlardır. En çok rastlanan bor oluşumu evaporit türü yataklardır. Borca zengin alanlar magmatik akışlar kapalı göl alanında bulunan magnezyum kalsiyum sodyum iyonları ile etkileşimi neticesinde çökelmeler sonucu meydana gelmişlerdir [57].

En büyük rezerve sahip borat yatakları kumsal teressüp sonucu göl alanlarında oluşmuştur. Bunlar kireç taşı, kil, kil taşı, volkanik tüf ve benzer tortul katmanların arasındadır [46].

Bor madeninin stratejik öneminden ötürü ülkelerdeki bor rezerv miktarlarını net olarak belirtmek oldukça zordur [58].

Önemli bor madeni rezervleri Türkiye ABD ve Rusya da bulunmaktadır. Ticari alanda kullanılan bor yatakları ise 4 farklı bölgede toplanmaktadır. Bunlar ABD de bulunan "Mojove Çölünde" Güney Amerika da bulunan "And Kemerinde" Türkiye'yi de kapsayan "Güney Orta Asya Organik Kemerinde" ve "Doğu Rusya" da bulunmaktadır [59].

Türkiye deki borat rezervlerinin tamamı Batı Anadolu da bulunmaktadır. Bigadiç, Kestelek, Kırka, Sultançayırı ve Emet bölgelerindedir [54].

Tablo 2.7. *Türkiyedeki Borat Yatakları [46]*

Üretim yeri	**Cevher**	**Rezerv, milyon ton**	**Tenör % B_2O_3**	**Kapasite, ton/yıl**	**Üretim, ton/yıl**
Kırka	Tinkal	605,5	25,8	200 000	558
Bigadiç	Üleksit Kolemani	49,2 576,4	29,1 29,4	200 000 200 000	200 90
Emet	Kolemanit	835,6	27,5-	500 000	300
Kestelek	Kolemanit	7,7	25,0-	100 000	60
Toplam		2 074,4		1 200 000	1208

2.2.5. Bor Kullanım Alanları

Bor ve bor ürünlerinin ekonomik alanda getirisi çok yüksektir. Kullanıldığı sektörler bakımından da stratejik değeri bulunmaktadır. Boraks ve borik asit gibi birçok bileşik türü olarak yararlanılabilen bor faydalı ve çok özellikli bileşikler oluşturmaktadır. Ayrıca mineral ve bileşiklerin fiyat olarak ucuz olması kullanıldığı sektörleri bir hayli arttırmıştır [46].

Tablo 2.8. *Bor Kullanım Alanları[74]*

Ürün	**Kullanım Alanları**
Kalaiytım Borat Cevherleri	Cam, Metalürji, Nükleer, Tekstil Türü, Fiberglas
Rafine Boraks Pentahidrat ve Boraks Dekahidrat, Susuz Boraks	Gübre, Fiberglas, Metalürji, İzolasyon, Cam Ağartıcıları, Cam Ağartıcıları, Cam, Fotoğraf, Tarım, Kozmeik ve İlaç, Dericilik, Tekstil Boyaları, Emaye,Firit,Sır Yün Koruyucu
Kalsiyum Sodyum Borat Cevherleri	Selülozik, İzolasyon, Fiberglas, Metalürji, Nükleer, Cam
Borlu Göl Suları	Rafine Boraks Pentahidrat ve Boraks Dekahidrat, Susuz Boraks
Sodyum Borat Cevherleri	

Tablo 2.8.' *in Devamı*

Susuz Borik Asit	Yangın Söndürücü, Metalürji, Kozmetik, Yangın, Antiseptik, Böcek Mücadelesi, Fotograf, Sır Kaplama, Naylon ve Tekstil Sanayi, Sabun ve Deterjanlar
Sodyum Perborat	Cam Boyaları, Dezenfektan, Deterjan ve Ağartıcılar, Tekstil Boyaları
Borik Asit	Sabun ve Deterjanlar, Kozmetik, Aniseptik, Nükleer, Metalurji, Yangın Söndürücü, Sır Kaplama, Cam, Tekstil, Tekstil fiberglas, Fotoğraf, Sabun ve Deterjan, Naylon, Zirai Mücadele, Böcek Öldürücü, Ağaç Koruyucu, Sır Kaplama, Balmumu yumuşatıcı

2.2.5. Borun Betonda Kullanımı

Bor elementinin kullanım amaçlarından en önemlisi betonun mukavemetini arttırmaktır. Ayrıca, radyasyon korunumu, su ve ısıl izolasyon sağlanması gibi avantajları da sağlamaktadır.

Bor ilavesi ile üretilen çimentoların, su emme değeri ve hidratasyon ısısının düşük olması sayesinde, klor ve bazı kimyasal maddelere karşı geçirimsizliği sağlamaktadır. Ayrıca az düzeyde rötre çatlağı oluşturması sebebiyle beton performansını arttırması nedeniyle özellikle tercih sebebi olmaktadır [60].

Bor ile üretilmiş betonların kullanım alanları;

- Yüksek mukavemet göstermesi sebebiyle, hidroelektrik santrallerinde ve beton yollarda
- Hidrotasyon ısısının düşük olması sebebiyle, köprü, baraj ve tüp geçitlerde
- Nötron tutuculuğu sayesinde; nükleer enerji santralleri inşasında hastane röntgen odaları ve askeri depolama alanlarında ve atıklarının depolanmasında

- Yüksek binalar, petrol suyu inşaatlarında ve zemin betonlarında kullanılmaktadır [61].

3. MATERYAL VE METOT

Bu tezin materyal bölümünde deneysel çalışmalarda kullanılan çimento, borik asit, agrega ve su hakkında bilgiler verilmiştir. Metot bölümünde ise elde edilen KYB numuneleri üzerinde uygulanmış olan deneyler başlıklar halinde verilmiştir.

3.1. Materyal

Bu deneysel çalışmada CEM I 42,5 R sınıfı Portland Çimento, borik asit, SAK, agrega ve su kullanılmıştır.

3.1.1. Çimento

Deneysel çalışmalarda KYB numunelerinin üretiminde Bartın Çimento San. A.Ş. tarafından üretimi yapılan CEM I 42.5 R sınıfı portland çimentosu kullanılmıştır. Bu çimento, portland çimentosu için üretilmiş olan klinker ile max %5 e kadar minör ilave bileşen ve alçı taşının bir arada öğütülerek TS EN 197-1 "Çimento, Bileşim Özellikler ve Uygunluk Kriterleri" Standardına uygun bir şekilde imal edilmiştir. Bu çimentonun 2 günlük basınç dayanımı en az 20 MPA ve 28 günlük basınç dayanımı en az 42,5 MPA, en fazla 62,5 MPA' dır.



Şekil 3.1 KYB Üretimi Çimento Eklenmesi

3.1.2. Borik Asit

Deneysel çalışmalarda Bor katkılı KYB üretiminde kullanılan Borik Asit (H_3BO_3) Sigma Aldrich firmasından temin edilmiştir. Bor bileşiklerinden biri olan Borik Asit (H_3BO_3) beyaz taneli bir yapıdadır.



Şekil 3.2. Borik Asit Çözeltisi Hazırlanması

3.1.3. Agrega

Deneysel çalışmalarda KYB üretiminde kullanılan agrega Çankırı ili Ilgaz ilçesi Musaköy taş ocağından elde edilmiştir. Ocak alanını; çalışma alanı civarında gözlenen Karakaya Formasyonunun içinde gözlenen permiyen yaşlı kristalize kireçtaşları oluşturmaktadır. Boyları birkaç metreden, birkaç kilometreye kadar uzanabilen bu "Tektaşlar" Karakaya Melajına ait "Kireçtaşı Üyesi" olarak adlandırılmıştır. Ocak sahasını oluşturan kristalize kireçtaşları; beyaz, gri, bej renkli, çatlaklı, sık eklemli, sert ve sağlam yapıdadır. Çatlak aralıkları kil dolguludur.



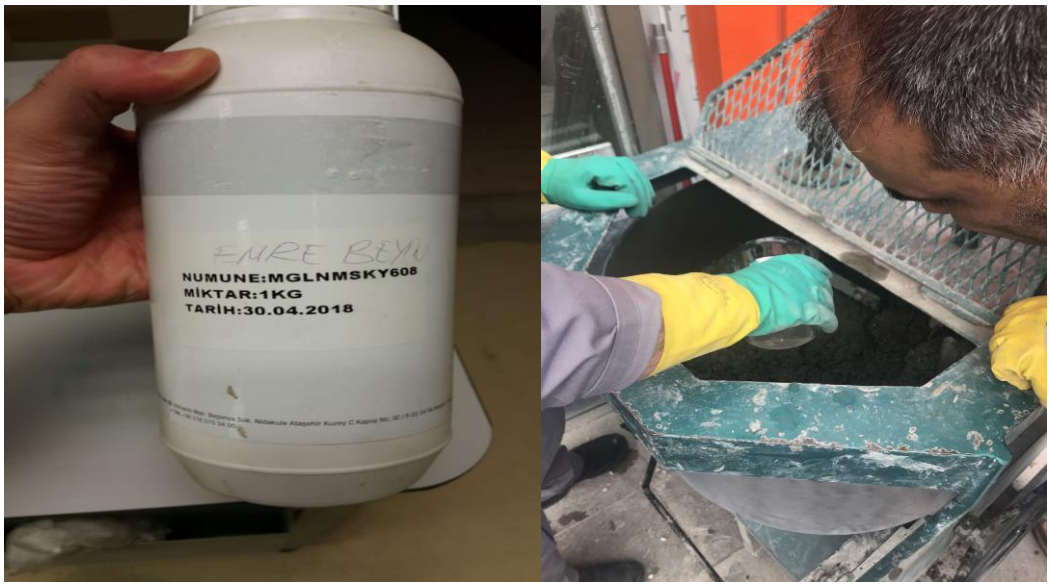
Şekil 3.3. KYB Üretimi Agrega Eklenmesi

Üretilen Malzemenin Özellikleri

Parçalanma Direnci % (Los Angeles)	: 23
Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık Magnezyum Sülfat ($MgSO_4$)	: 1,5
Aşınma Direnci % (Mikro-Deval)	: 14,8
Görünür Tane Yoğunluğu	: 2,72
Su Absorbsiyonu (%)	: 0,4

3.1.4. Kimyasal Katkı

Deneysel çalışmalarda KYB üretiminde BASF firmasından temin edilen polikarboksilik eter esaslı süperakışkanlaştırıcı Master Glenium SKY608 katkı malzemesi kullanılmıştır. Bu katkı malzemesi KYB üretiminde kullanılmakta olup; KYB karışımlarında kütlece 100 kg (bağlayıcı) için 0.8 - 1.5 kg civarında olması önerilmektedir.



Şekil 3.4. KYB Üretimi Süperakışkanlaştırıcı Katkı Eklenmesi

3.1.4. Su

Deneysel çalışmalarda KYB üretiminde kullanılan su organik madde ve madensel tuz bulunmayan Kastamonu içme suyu kullanılmıştır.

3.2. Metot

Taze ve Sertleşmiş beton numuneleri üzerinde yapılan deneyler Karayolları 15. Bölge Müdürlüğü AR-GE laboratuvarında, SEM, XRD, BET ölçümleri ise Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

3.2.1. Taze Beton Deneyleri

Taze haldeki beton deneyleri betonun akışkanlığını, sıkışmasını, yerleşmesini gözlemlemek ve değerlendirmek için yapılır. KYB' lerin taze haldeki özelliklerinin belirlenmesinde klasik yöntemler yetersiz kalmaktadır. Bu sebeple bazı deney metotları geliştirilmiş olup; KYB' ler için sınır değerler Tablo 3.1' de gösterilmiştir [26].

Tablo 3.1. *KYB Sınır Değerler [62,63]*

Deney Yöntemi	Ölçülecek Özellik	Birim	Sınır Değer	
			Min.	Max.
Yayılma Tablasında Yayılma	Doldurma Yeteneği	mm	650	800
Doldurma Kutusu	Geçme Yeteneği	%	90	100
Yayılma Tablasında İlk 50 cm İçin Geçen Süre	Doldurma Yeteneği	sn	2	5
V-Hunisi	DoldurmaYeteneği Ayrışmaya Karşı Direnç	sn	6	12
U-Kutusu Yükselme Miktarı Ölçümü(H)	Geçme Yeteneği	mm	30	-

3.2.1.1. Yayılma Tablası Deneyi

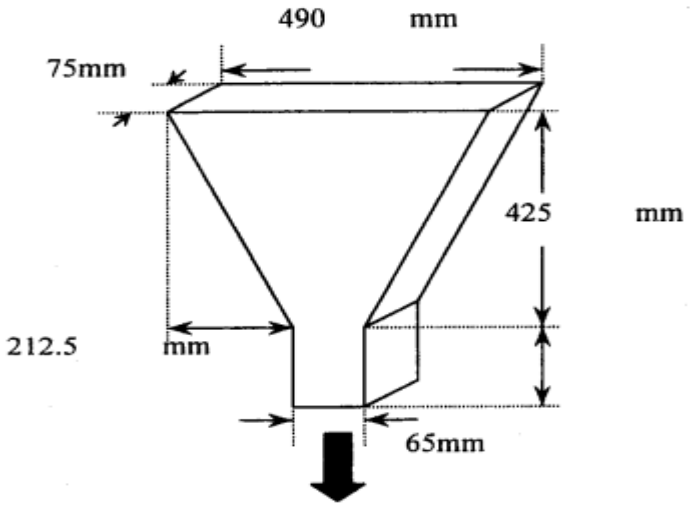
Yayılma Tablası deney yöntemi ile taze durumdaki KYB' nin kendi ağırlığı altında yayılarak meydana getirdiği çapın ölçülerek doldurma yeteneği hakkında fikir edinilmektedir. Deneyin yapılışında 80x80 cm boyutlarında tabla ve standart çökme hunisi (Abrams Konisi) kullanılmaktadır [63]. İçerisine taze beton doldurulan Abrams Konisi yayılma tablası üzerine konularak kaldırılır. Kendi ağırlığı ile yayılan taze KYB' nin farklı iki noktadan yayılma çapları ölçülür. Ayrıca önceden işaretlenmiş olan 50 cm'lik çapa ulaşma süresi (T_{50}) ölçülür [65]. Efnarc' a göre 650-800 mm yayılma sağlayan karışımlar uygun kabul edilmiştir. Ayrıca Avrupa KYB şartnamesinde Kendiliğinden Yerleşen Beton kullanımını genişletmek amacıyla bu değerlerde değişikliğe gidilmiştir [26].



Şekil 3.5. Yayılma Tablası [66]

3.2.1.2. V - Kutusu Deneyi

V - Kutusu deney yöntemi ile taze durumdaki KYB' nin kendi ağırlığı altında ebatları özel olarak belirlenmiş olan bir huninin şeklindeki kabın ağzından geçme zamanının ölçülmesidir. Deney sayesinde KYB' nin geçiş yeteneği ve viskozitesi hakkında yorumlama yapılabilmektedir. V- Hunisi içerisine taze haldeki KYB vibrasyon ve sıkıştırma yapılmaksızın doldurulduktan sonra huninin kapağı açılır ve huni içerisindeki betonun akma süresi ölçülür [65].



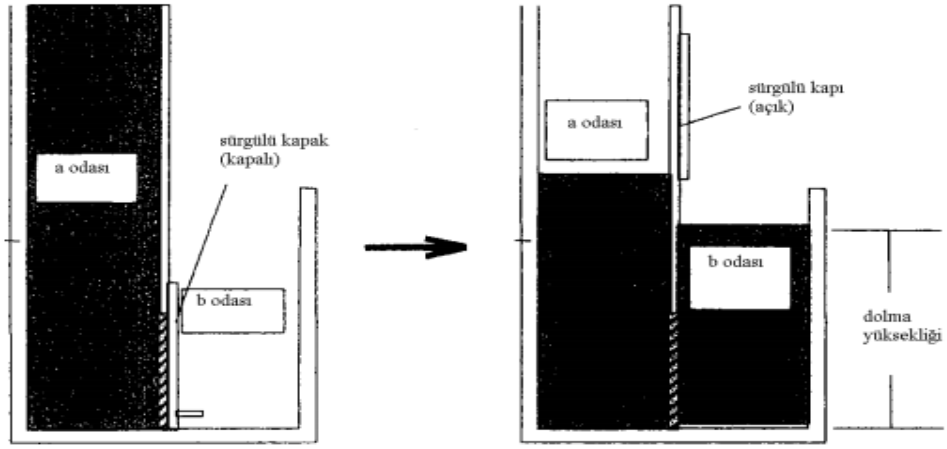
Şekil 3.6. V- Kutusu Deney Aparatı [64,71]



Şekil 3.7. V- Kutusu Deneyi Yapılışı

3.2.1.3. U- Kutusu Deneyi

U – Kutusu deney yöntemi ile taze durumdaki KYB' nin kendi haline yerleşme özelliğini özel olarak tasarlanmış bir kutu içerisinde kendi ağırlığı altında yükselmesidir. "U" şekline benzeyen ve alt kısmının ortasında kapak olan ve aynı zamanda metal dikmeler bulunan bir kutu kullanılmaktadır. (Şekil 3.8) Taze haldeki KYB' ye herhangi bir vibrasyon ve sıkışma uygulanmaksızın beton U kutusu kabına doldurulur ve 1 dk. beklenir. Kutunun alt kısmında bulunan kapak açılarak betonun öbür bölmede yükselmesi izlenir. Bölmeler arası yükselti farkları KYB' nin geçme yeteneği hakkında bilgi verir. İki bölme arasındaki yükseklik farkı maksimum 30 cm olması beklenir [26,67].



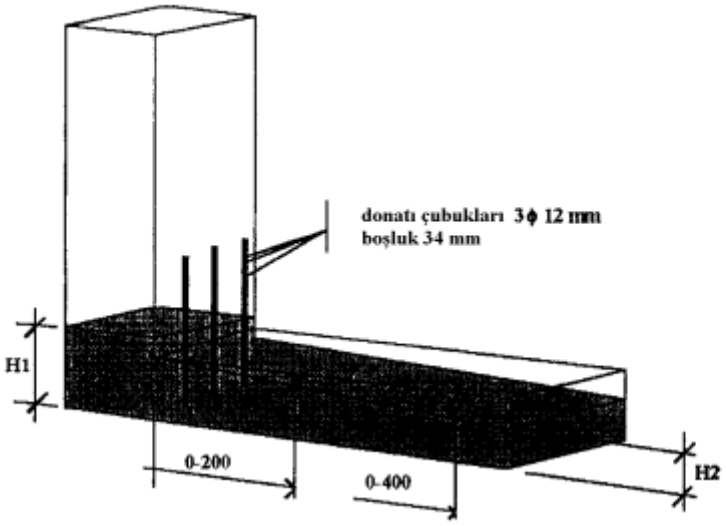
Şekil 3.8. U- Kutusu Deney Aparatı [71]



Şekil 3.9. U-Kutusu Deneyi Yapılışı

3.2.1.4. L- Kutusu Deneyi

L – Kutusu deney yöntemi ile taze haldeki KYB' nin yerleşme, geçiş becerisi ve ayrışma direncinin "L" şeklindeki bir kutu içinde gözlemlenmesidir. (Şekil 3.10) L-kutusunun alt kısmının ortasında bir kapak ve betona engel yaratmak amacıyla demir dikmeler vardır. L kutusu içerisine taze haldeki KYB doldurulduktan sonra kapak açılarak betonun diğer kısımda 20 cm ve 40 cm değerlerine ilerleme zamanları kaydedilir. ve iki kısım arasındaki yükseklik farkı ölçülür [63].



Şekil 3.10. L- Kutusu Deney Aparatı [71]



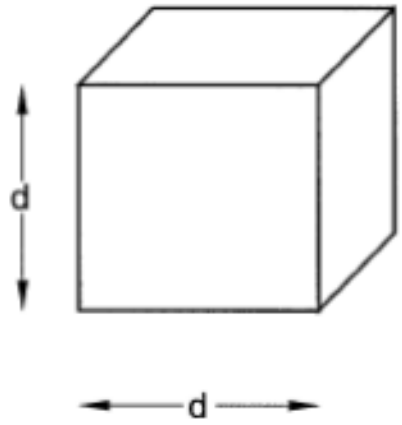
Şekil 3.11. L-Kutusu Deneyi Yapılışı

3.2.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri

3.2.2.1. Basınç Dayanımı Deneyi

Basınç dayanımının ölçülmesi için alınacak olan numuneler, TS EN 12504-1, TS EN 12390-1, TS EN 12390-2 veya TS EN 12350-1'e uygun, silindir şeklinde, küp şeklinde veya karot şeklinde olmalıdır. Alınan numuneler üzerinde yapılacak deney esnasında yükleme hızı 0,2 - 1,0 MPa /s (N/mm2.s) arasında sabit bir hız olmalıdır. Uygulanan yük, numuneye, darbe yapmadan, seçilen hızdan sapma, ± %10'u aşmayacak şekilde, max. değere gelinceye kadar sabit hızda uygulanmalıdır.

Bu deney yönteminde TS EN 12390-1'deki hususlara göre 150x150x150 mm boyutlarında küp numuneler alınmıştır. (Şekil 3.12) 7 ve 28 gün bekleyen numuneler U- test Basınç mukavemeti ölçüm presi ile 0,8 MPA/s sabit yükleme hızı ile kırılarak ve basınç dayanımları kaydedilmiştir.



Şekil 3.12. Küp Numune Boyutları [72]

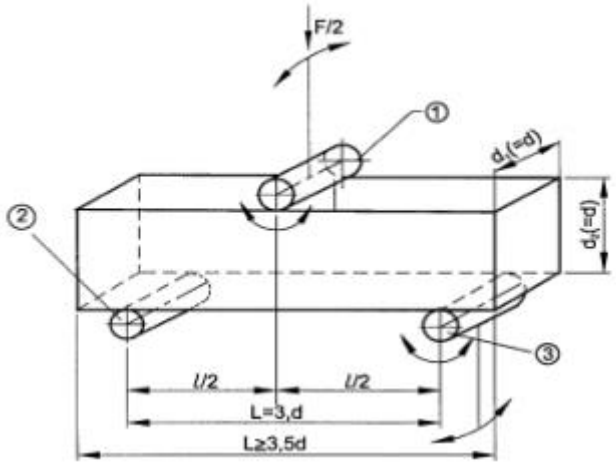


Şekil 3.13. Betonun Karışımı, Numune Alınması ve Basınç Dayanım Testi

3.2.2.2. Eğilme Dayanımı Deneyi

Eğilme dayanımının ölçülmesi için alınacak olan numuneler, TS EN 12390 -1'de belirtilen kriterlere uygun prizma şeklinde olmalıdır. Kalıplara dökümü yapılarak hazırlanan numuneler, TS EN 12390-2 TS EN 12350-1'deki kriterlere uygun olmalıdır. Beton döküm yönü, numunenin üzerinde işaretlenmiş olmalıdır. Deneyde, TS EN 12390-1'e uygun bir şekilde kesilmiş numuneler de kullanılabilir. Alınan deney numuneleri üzerinde gerekli incelemeler yapılmalı bir uygunsuzluk fark edilirse kaydedilmelidir.

Bu deney yönteminde TS EN 12390-1' e göre 100 x 100 x 400 mm ölçülerinde prizma şeklinde numuneler alınmıştır. (Şekil 3.15) Bu numunelere U- test cihazı ile orta nokta yükleme deneyi yapılarak kırılmış ve dayanımları kaydedilmiştir.



Şekil 3.14. Eğilme Deneyi Numunesi ve Yükleme Düzeneği [72]



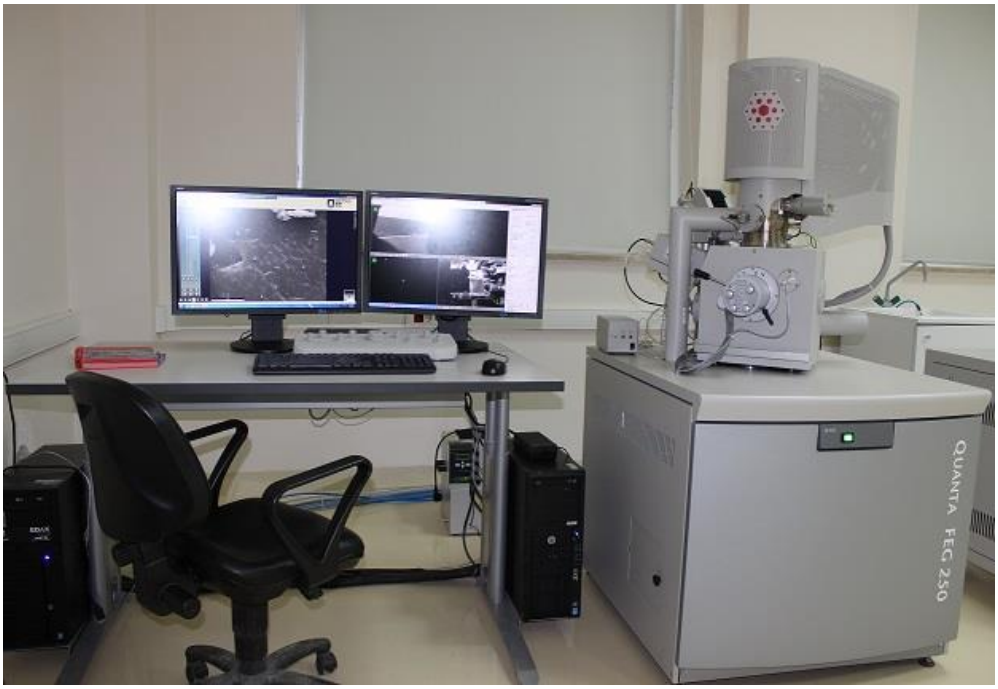
Şekil 3.15. Eğilme Deneyi Numuneleri ve Eğilme Testi

3.2.3. Diğer Deneyler

3.2.3.1. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

SEM' de görüntü oluşturma numune üzerine yollanan elektronların yansıması ve bu yansıma sonucu oluşan sinyallerin algılanması esasına dayanır. SEM kullanılması görüntülerde derinlik yaratmakta ve morfolojiyi göstermektedir [68].

SEM elektron ışını ile görüntüyü büyütmekte olup; çözünürlük kapasitesi dalga boyuna bağlı olarak değişmektedir [69].



Şekil 3.16. SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu)

Bu tez çalışmasında KYB numunelerine ait SEM görüntüleri Kastamonu Üniversitesi Laboratuvarlarında bulunan FEI markalı Quanta FEG 250 model numaralı cihaz kullanılarak elde edilmiştir.

3.2.3.2. X- Işınları Kırınımı (XRD)

X- Işınları kırınımı (XRD) kristallerin atomlarının birbirlerine olan uzaklıkları ve geometrik dağılımları hakkında bilgi vermektedir. Kristal yapıdaki bileşiklerin kalitatif belirlenmesini kolaylaştırmaktadır [70].



Şekil 3.17. XRD (X – Işını Difraksiyonu)

Bu tez çalışmasında KYB numuneleri üzerinde yapılan XRD ölçümleri Kastamonu Üniversitesi Laboratuvarlarında bulunan Bruker markalı Edge 3 model numaralı cihaz ile elde edilmiş olup; cihazın tarama hızı 2^0 dk ve smoting faktörü 4 tür.

4. DENEYLERE AİT SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

4.1. Taze Beton Deneyleri Sonuçları

4.1.1. Yayılma Tablası Deneyi Sonuçları

Yayılma tablosu deneyi, taze beton harcı hazırlanıp, karışımın tamamlanmasından hemen sonra yayılma tablası deneyi yapılarak toplam yayılma miktarları ölçülmüştür.

Tablo 4.1. *Yayılma Tablası Deney Sonuçları*

	Yayılma Tablası Deney Sonuçları (mm)
REF	780
%0.5 BAK	730
%1.0 BAK	720
%1.5 BAK	720
%2.0 BAK	700
%2.5 BAK	670

Deney sonuçları incelendiğinde, Borik asit katkısı olmayan referans numune Efnarc'a göre yayılma özelliği bakımından SF3 sınıfındadır [73].

Borik asit ilaveli numuneler borik asit ilavesindeki artışa paralel olarak yayılma miktarlarında azalma olduğu gözlemlenmiştir. Ancak bütün deney numuneleri yayılma tablası deneyi sonuçlarına bakıldığında Efnarc'a göre KYB özelliklerini sağlamakta ve SF-2 sınıfına girmektedir [73].

4.1.2. V- Kutusu Deneyi Sonuçları

V-kutusu deneyinde, hazırlanan taze haldeki beton karışımları V kutusu deney aparatına alınarak, içerisindeki betonun akma süreleri ayrı ayrı ölçülerek kaydedilmiştir.

Tablo 4.2. *V-Kutusu Deney Sonuçları Ve T-50 Süresi Tayini*

	T-50 Süresi (Sn)	V-Kutusu Deney Sonuçları (Sn)
REF	$2<T_{50}<4$	10
%0.5 BAK	$2<T_{50}<4$	13
%1.0 BAK	$2<T_{50}<4$	14
%1.5 BAK	$2<T_{50}<4$	15
%2.0 BAK	$2<T_{50}<4$	15
%2.5 BAK	$2<T_{50}<4$	17

Deney sonuçları incelendiğinde;

Referans numune ve borik asit katkılı bütün numuneler Efnarc'a göre T50 ve V-kutusu deneyi sonuçları KYB olma özelliği sağlamakta olup; bütün numuneler VS2/VF2 sınıfındadır.

Borik asit ilaveli numuneler, borik asit ilavesindeki artışa paralel olarak V kutusu akma sürelerinde artış olduğu, T50 sürelerinde de 1-2 ve 2-3 numuneler çok az oranda olmakla birlikte genel anlamda artış olduğu gözlenmiştir.

4.1.3. U- Kutusu Deneyi Sonuçları

U- kutusu deneyinde taze haldeki beton karışımlarından 20 dm3 beton alınarak U-kutusu deney aparatına eklenmiş ve 1 dk. beklenerek hazneler arası kapak açılıp yükselti farkları ölçülerek kaydedilmiştir.

Tablo 4.3. *U-Kutusu Deney Sonuçları*

	U-Kutusu Deney Sonuçları (Yükselti Farkı H_2-H_1)
REF	6
%0.5 BAK	7
%1.0 BAK	7
%1.5 BAK	9
%2.0 BAK	9,3
%2.5 BAK	12,5

Deney sonuçları incelendiğinde;

Referans numune ve borik asit katkılı diğer beton numuneleri incelendiğinde geçiş yeteneğinin en iyi referans numunede olduğu borik asit katkısının artışına paralel olarak geçiş yeteneğinin azaldığı gözlenmektedir.

4.1.4. L- Kutusu Deneyi Sonuçları

L- kutusu deney yönetiminde hazırlanan taze haldeki beton numuneleri 3 donatılı C-kutusu deney aparatına alınarak, 1 dakika beklenerek kapı açılmıştır. Betonun yatay olarak ilerlenmesi izlenmiş ve H_1 ve H_2 yükseklikleri ölçülerek kaydedilmiştir. Yükselti farkları PA= H_2/H_1 formülüne göre değerlendirilmiştir.

Tablo 4.4. *L-Kutusu Deney Sonuçları*

	L-Kutusu Deney Sonuçları (Yükselti Farkı PA= H_2/H_1)
REF	1
%0.5 BAK	1
%1.0 BAK	1
%1.5 BAK	1
%2.0 BAK	1
%2.5 BAK	1

Deney sonuçları incelendiğinde;

Referans numune ve borik asit katkılı bütün numuneler, PA=(H_2/H_1) oranı 1 çıkmış olup; L kutusu deney aparatında herhangi bir yükselti farkı oluşmamıştır.

Ancak yükselti farkının kapanması için geçen süreler, borik asit katkısındaki artışa paralel olarak artmıştır. Yani referans numune yükselti farkını daha kısa sürede tamamlamış ve hızlı yerleşme sergilemiştir.

Bu deney sonuçları Efnarc'a göre PA > 0.8 olduğu ve 3 donatılı L kutusu deney aparatında deney yapıldığı için numune sınıfı PA2'dir.

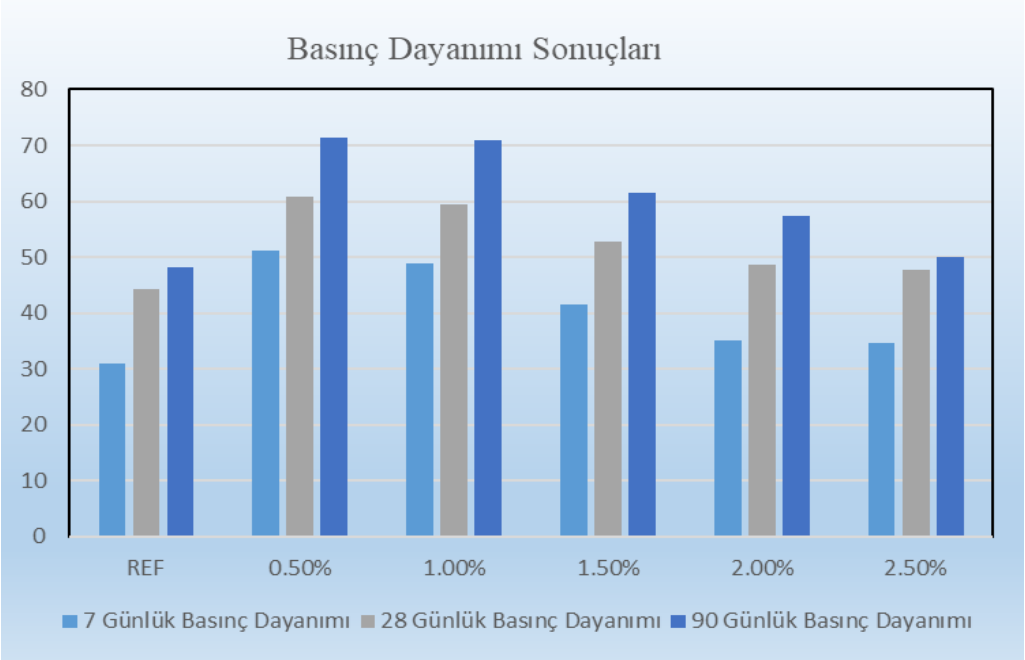
4.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri Sonuçları

4.2.1. Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları

Beton basınç dayanımı deneyleri, taze haldeki beton numuneleri 150*150*150 (mm) boyutlarındaki küp numuneleri alınarak 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımları ölçülerek kaydedilmiştir.

Tablo 4.5. *Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları*

	Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları (Mpa)		
	7 Günlük	28 Günlük	90 Günlük
REF	31,00	44,28	48,2
%0.5 BAK	51,18	60,82	71,30
%1.0 BAK	48,86	59,40	70,80
%1.5 BAK	41,62	52,78	61,50
%2.0 BAK	35,04	48,60	57,40
%2.5 BAK	34,55	47,80	50,10



Şekil 4.1. Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları Karşılaştırması

Deney sonuçları incelendiğinde;

Referans numunenin basınç dayanımı en düşüktür.

Borik asit katkılı numunelerin basınç dayanım değerleri, borik asit katkısının artmasına ters orantılı olarak azalma göstermiştir.

En yüksek basınç dayanımı %0.5 ve %1 borik asit katkılı deney numunelerinde gözlemlenmiştir.

Numuneler 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımları birbirini desteklemektedir. Şöyle ki 7 günlük basınç dayanımı 28 günlüğü, 28 günlük basınç dayanımı ise 90 günlük basınç dayanımı sonuçlarını desteklediği görülmüştür.

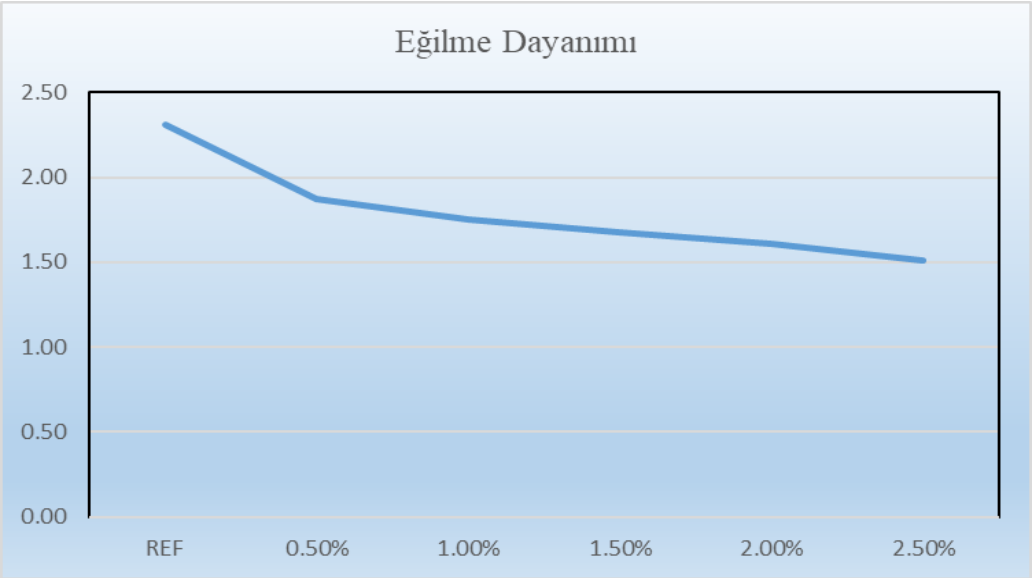
Bütün numuneler irdelendiğinde %0.5 ve %1.0 borik asit katkılı beton numuneleri basınç dayanımları arasında çok cüzi bir fark olup, en yüksek değerler bu numunelerde sağlanmıştır. Referans numune ve diğer %1.5 , %2.0 , %2.5 borik asit katkılı beton numunelerinde basınç dayanımı bariz bir şekilde azalma göstermiştir.

4.2.2. Eğilme Dayanımı Deneyi Sonuçları

Beton eğilme dayanımı deneyi, taze haldeki beton numunelerinin 100*100*400 (mm) boyutlarındaki numune kaplarına alınarak 3 noktalı eğilme deneyi yapılarak 28 günlük eğilme dayanımları ölçülerek kaydedilmiştir.

Tablo 4.6. *Eğilme Dayanımı Deney Sonuçları*

	Eğilme Dayanımı Deneyi Sonuçları (Mpa)
REF	2,31
%0.5 BAK	1,87
%1.0 BAK	1,75
%1.5 BAK	1,68
%2.0 BAK	1,61
%2.5 BAK	1,51



Şekil 4.2. Eğilme Dayanımı Deneyi Sonuçları Karşılaştırması

Deney sonuçları incelendiğinde;

En yüksek eğilme dayanımı referans numune verilmiştir.

Borik asit katkılı numunelerde en yüksek eğilme dayanımı sonucu %0,5 borik asit katkılı beton vermiştir.

Borik asit ilavesindeki artışa paralel olarak numunelerin eğilme dayanımları azalmıştır.

En yüksek eğilme dayanımı, referans numuneye yani borik asit ilavesiz betonda olması, borik asit ilavesinin betonun eğilme dayanımını azaltıcı etkisi olduğu gözlemlenmiştir.

4.3. Diğer Deneylere Ait Sonuçlar

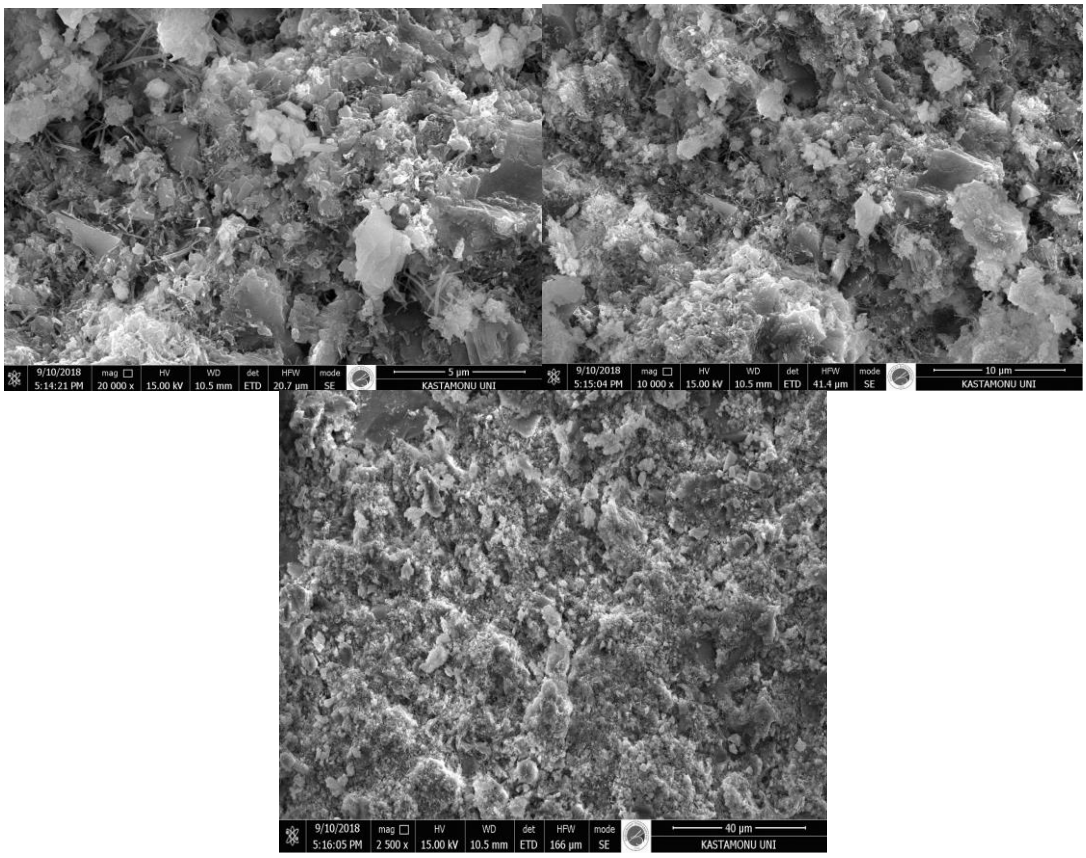
4.3.1. Taramalı Elektron Mikroskobu(SEM) Sonuçları

Kaba ve ince agrega ve çimento arasındaki ara yüzey geçiş bölgesinin (ITZ) etkileşimi için Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) analizi yapılmıştır. Kısaca açıklanırsa kendiliğinden yerleşen betonların SEM görüntülerinden parçacıkların

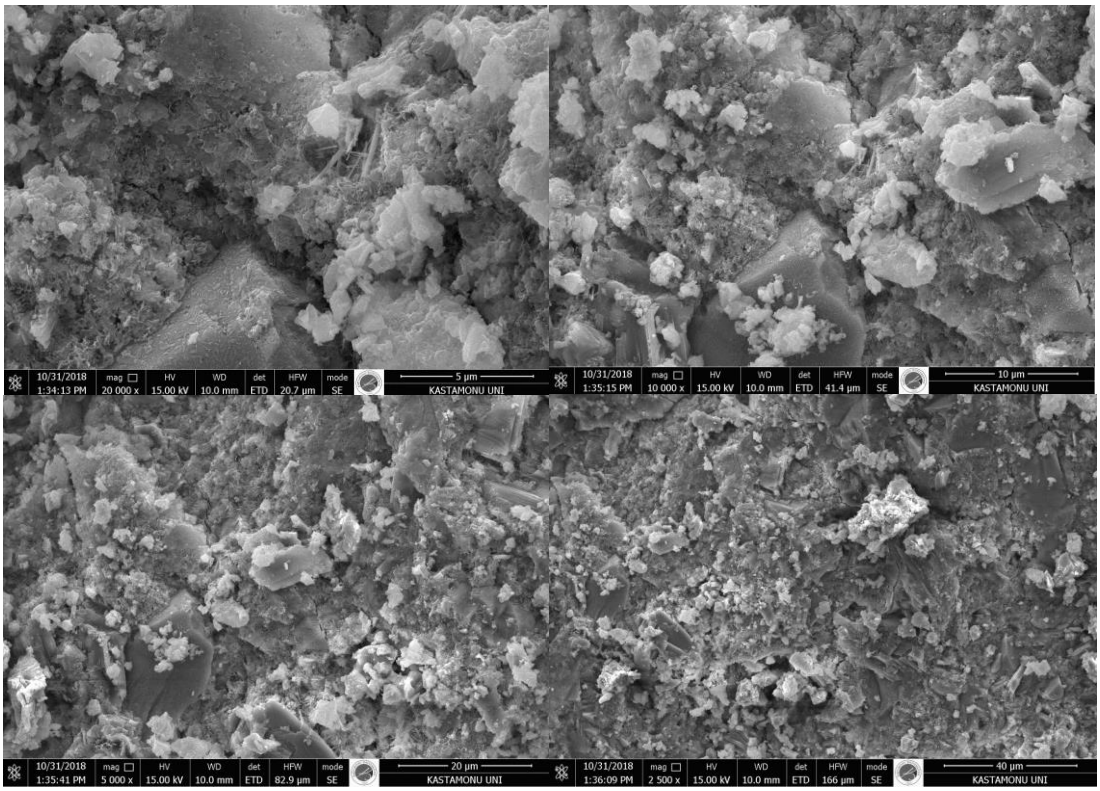
sahip olduğu şekil, doku, ara yüzey fazı, boşluklar ve çatlaklar hakkındaki tüm önemli bilgiler görülebilir. SEM görüntüleri dayanım testi sonrası kırılan numunelerden alınmıştır. Her bir beton karışımının performansı, mikro yapısı ile ilişkilendirilebilir. Betonda oluşan portlandit, kalsit, etrenjit ve kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) gibi farklı fazlar SEM görüntülerinde analiz için kullanıla bilinir. Kendiliğinden yerleşen beton, katı faz, boşluklar ve sudan oluşan kompozit bir yapıya sahiptir. SEM görüntüleri incelendiğinde agrega-macun ara yüzünün çok yoğun bir mikro yapıya sahip olduğu görülmüştür. Bu durumun temel sebebi kendiliğinden yerleşen beton karışımlarının davranışına bağlanır. Normal düz titreşimli betonda ise kaba agregalar ve çimento matrisi arasındaki ara yüzey geçiş bölgelerinin zayıf bağlantıya sahip olduğu bilinmektedir. 28 günlük SEM görüntülerinde C-H fazlarının kristallendiği, kaybolduğu ve yerini C-S-H jellerine bıraktığı görülmüştür.

Basınç dayanımı üzerinde temel faktör agrega-matris ara yüzeyidir. Borik asit %2.5 oranına kadar kullanılmış ve çimento bağının agrega etrafında oluşturduğu yapı incelenmiştir. Burada hidratasyon ürünleri, özellikle borik asit %0.5 ve %1 oranında kullanılması durumunda agrega etrafında güçlü bir şekilde yer aldığı görülmüştür. Ayrıca %0.5 ve %1 oranında borik asit kullanılması durumunda oluşan SEM görüntüsü kontrol numunesine göre daha sıkı ve boşluksuz bir halde olduğu görülmektedir. Borik asit C-H'ı zamanla kendine bağlayarak yeni C-S-H jellerinin oluşumunu hızlandırmış ve bu durum etkisiyle zamana bağlı olarak basınç dayanımda artış sağlanmıştır. Böylece borik asidin dolgu maddesi olarak ilave edilmesiyle yeni C-S-H jeli oluşumunun sağlanmasının yanı sıra yapının daha geçirimsiz ve dayanıklı olması sağlanmıştır. Ayrıca mikro yapının gözenek yapısında yoğunlaşmaya ve gözenekliliğin azalmasına yol açar. Kontrol karışımına kıyasla kompakt ve homojen bir yapıya neden olan eşit şekilde dağıtılmış C-S-H jeline sahip oldukları da görülmüştür. Daha yüksek oranlarda borik asit ikame edilmesi durumunda özellikle %2.5 borik asit ikamesinde boşluklar ve gözenekler belirgin bir şekilde artmaya başlamıştır. Mikro çatlak oluşumu da gözlenmiştir. Bu durum etkisiyle kontrol numunesine göre basınç dayanımı artışı düşmüştür.

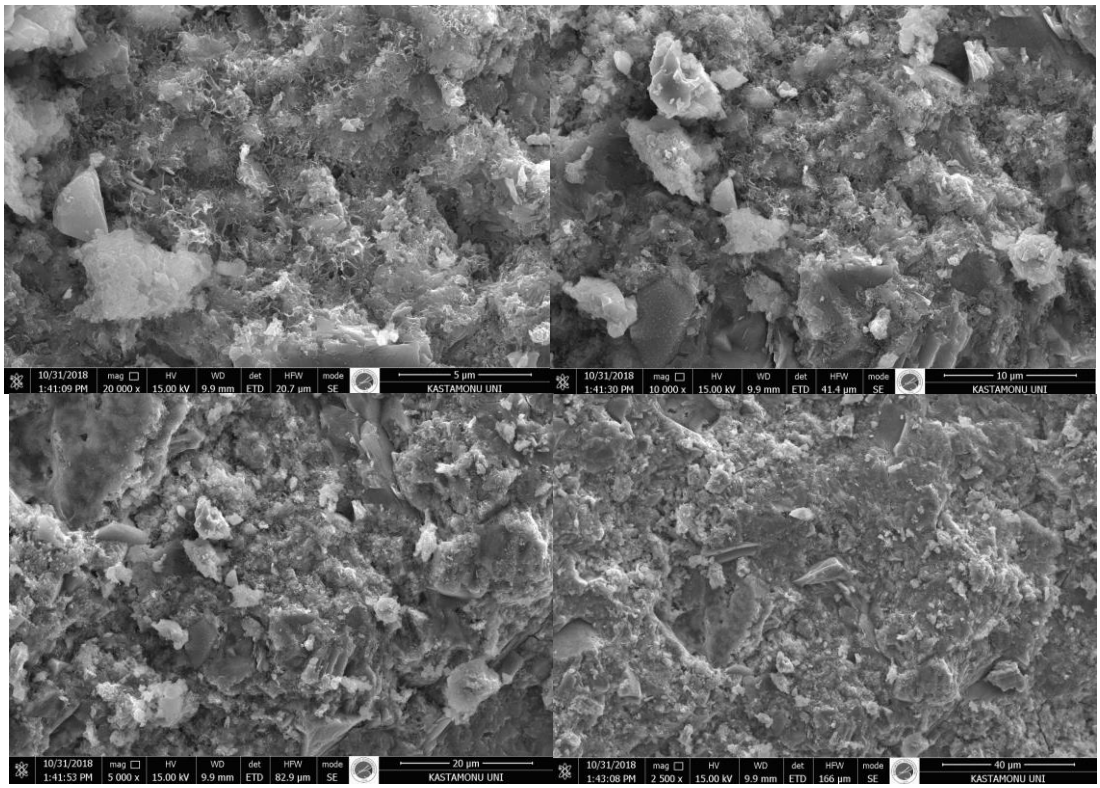
Ek olarak, %2.5 oranına kadar borik asit eklenmesi durumunda oluşan mevcut bileşiklerin belirlenmesi için EDS analizi yapılmıştır. EDS dedektörü, incelenen numunelerin sahip olduğu bileşimi açıklamak için yapılmıştır. Bu altı spektrum, EDS için alınan görüntülerindeki işaretli alanlara karşılık gelir. Spektrum, alkali-silika jel bileşiminin nasıl değiştiğini gösterir. Burada Si, Ca, Al, O için farklı tepe yoğunlukları gözlenmiştir. Bu elementler reaksiyonların önemli oranda oluştuğunu göstermektedir ve sonuçlarla da iyi bir korelasyon göstermektedir. Ayrıca daha yüksek oranda borik asit kullanılması durumunda Mg ve S gibi borik asidin özelliğinden kaynaklanan farklı tepe yoğunlukları da gözlenmiştir. Ayrıca Si elementinin yüksek oranda borik asit kullanılması durumunda kaybolmaya başladığı görülmüştür. Genel olarak incelendiğinde spektrumların tahmin edilen oranda element dağılımına sahip olduğu görülmüştür. Elde edilen basınç dayanımı sonuçlarıyla EDS analizi sonuçlarının uyumlu olduğu görülmüştür. Aşağıda numunelere ait SEM görüntüleri ve analizleri gösterilmektedir.



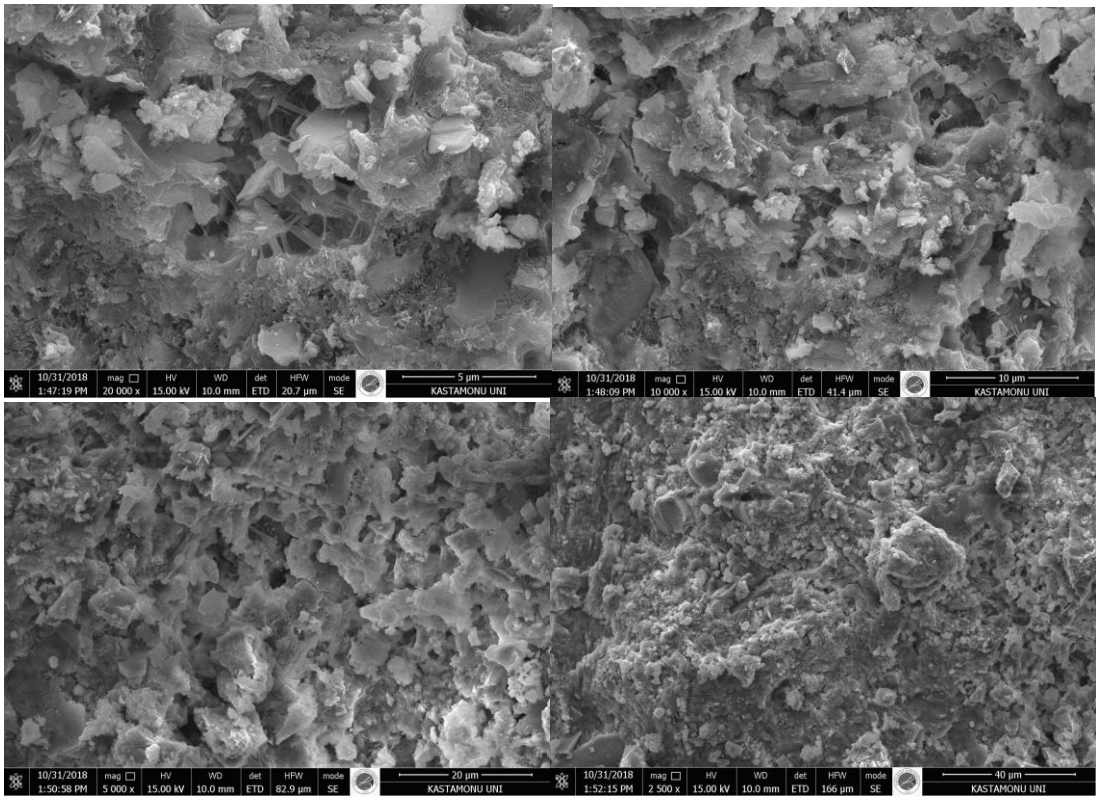
Şekil 4.3. Referans Numunesi SEM Görüntüleri



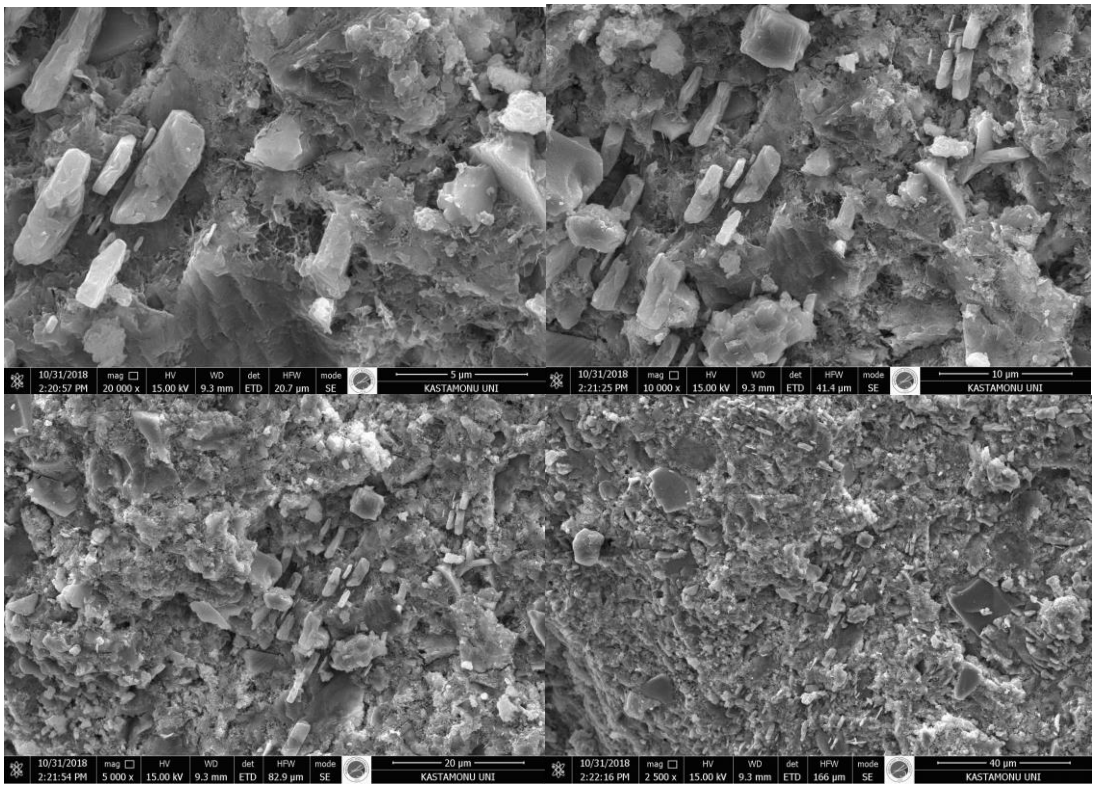
Şekil 4.4. % 0.5 Numunesi SEM Görüntüleri



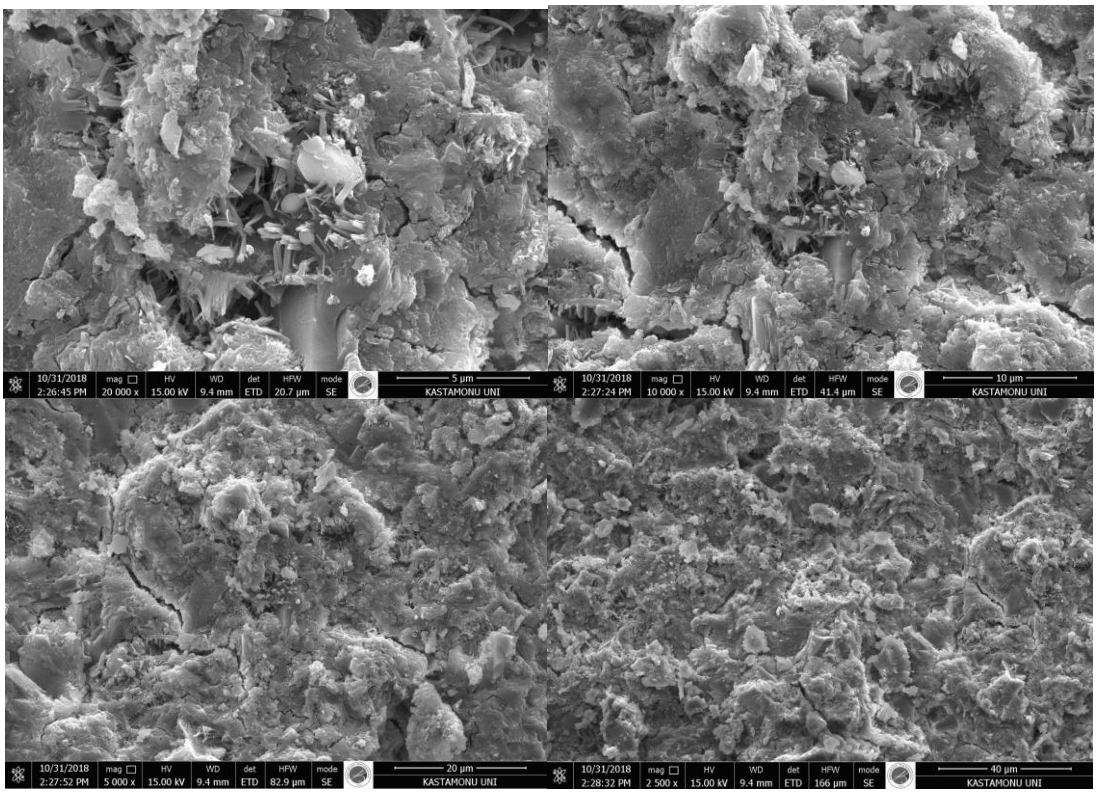
Şekil 4.5. % 1.0 Numunesi SEM Görüntüleri



Şekil 4.6. % 1.50 Numunesi SEM Görüntüleri

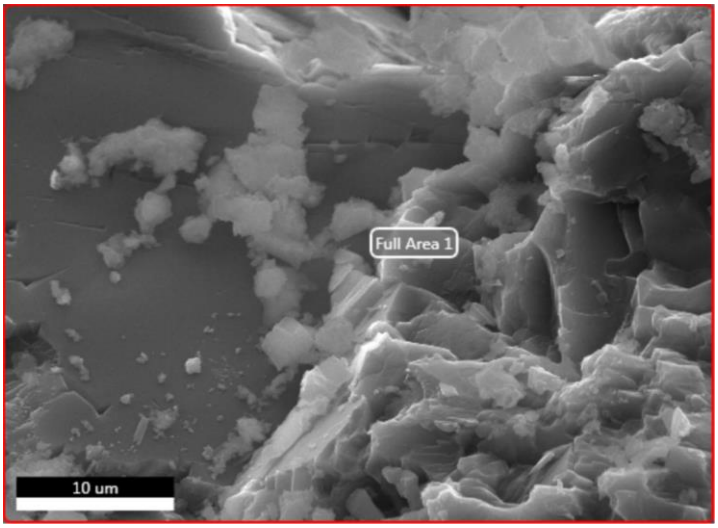


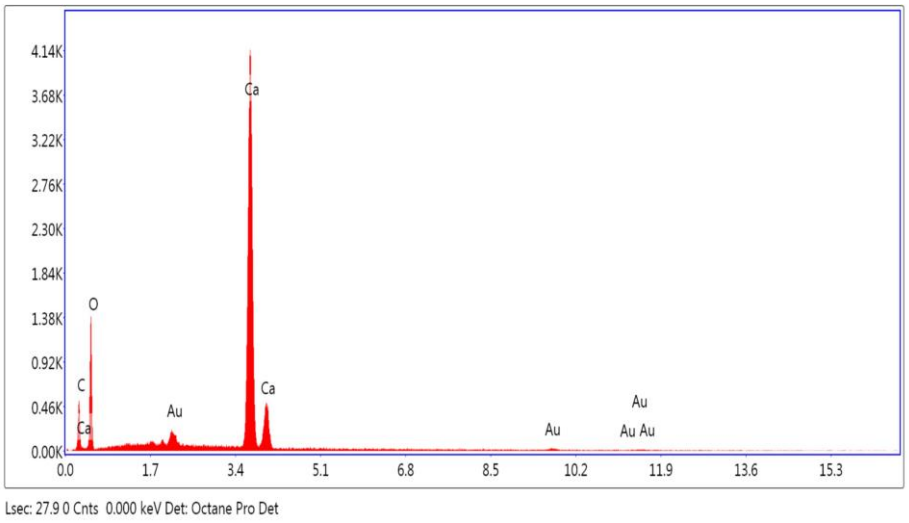
Şekil 4.7. % 2.0 Numunesi SEM Görüntüleri



Şekil 4.8. % 2.50 Numunesi SEM Görüntüleri

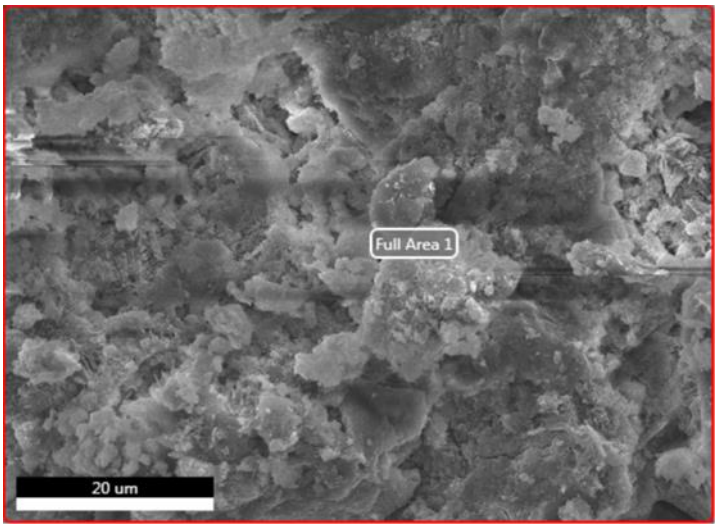
EDS Görüntüleri

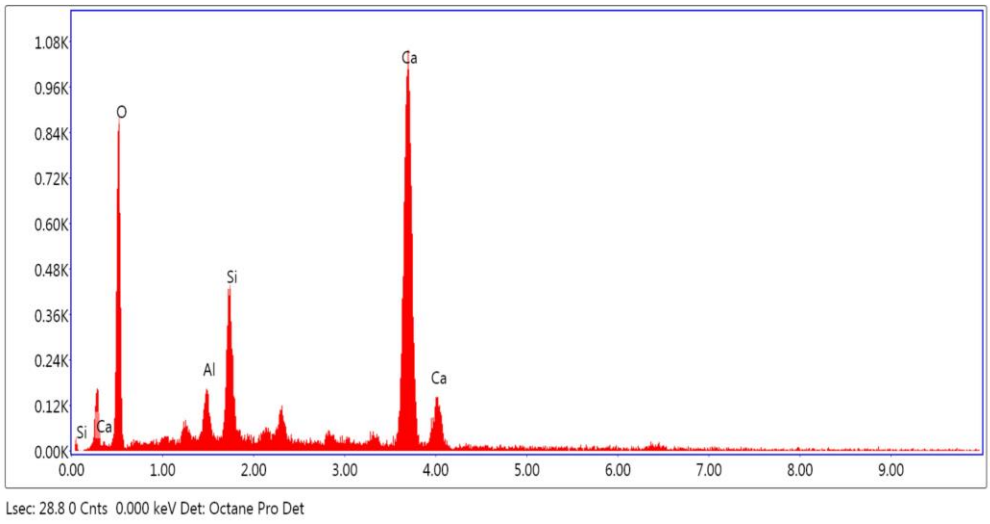




Element	Ağırlık %	Atom %	Net Int.	Hata %	Kratio	Z	R	A	F
C K	9.55	15.85	57.08	9.67	0.04	1.08	0.94	0.43	1
O K	53.30	66.40	234.94	10.94	0.07	1.04	0.96	0.12	1
CaK	35.33	17.57	1,546.70	1.47	0.33	0.91	1.05	1	1.01
AuL	1.82	0.18	9.84	44.65	0.01	0.59	1.23	1.06	1.28

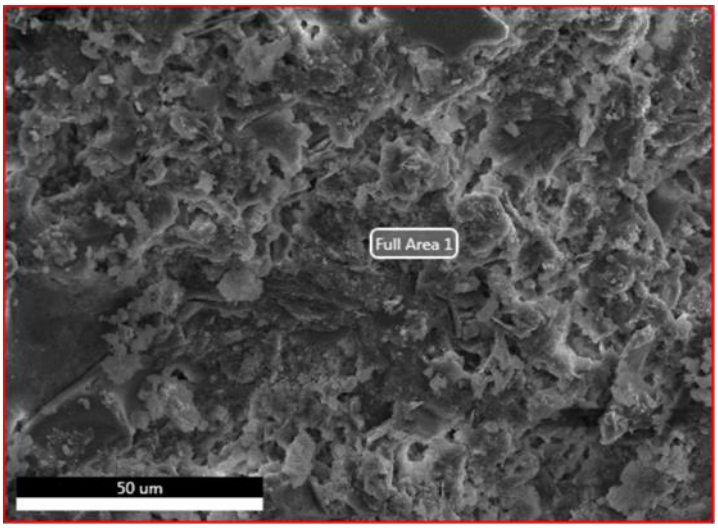
Şekil 4.9. Referans Numune Eds Görüntüleri

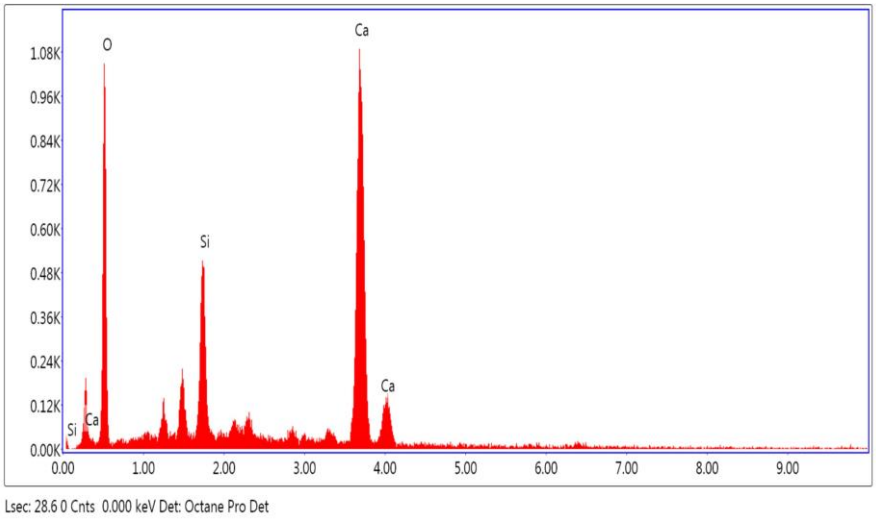




Element	Ağırlık %	Atom %	Net Int.	Hata %	Kratio	Z	R	A	F
O K	48.53	68.86	149.49	11.11	0.10	1.08	0.96	0.18	1
AlK	1.92	1.61	29.95	10.73	0.01	0.95	1	0.71	1.01
SiK	6.01	4.85	103.02	6.13	0.05	0.97	1.01	0.8	1.02
CaK	43.55	24.67	374.77	2.89	0.40	0.91	1.04	1	1.01

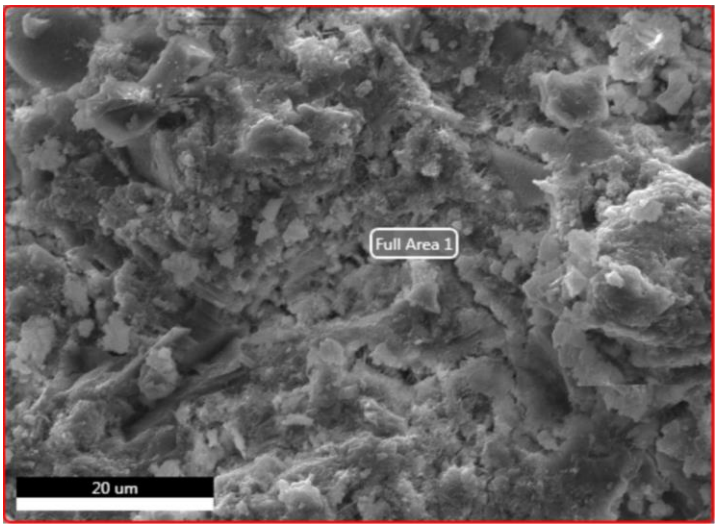
Şekil 4.10. %0.50 Numune Eds Görüntüleri

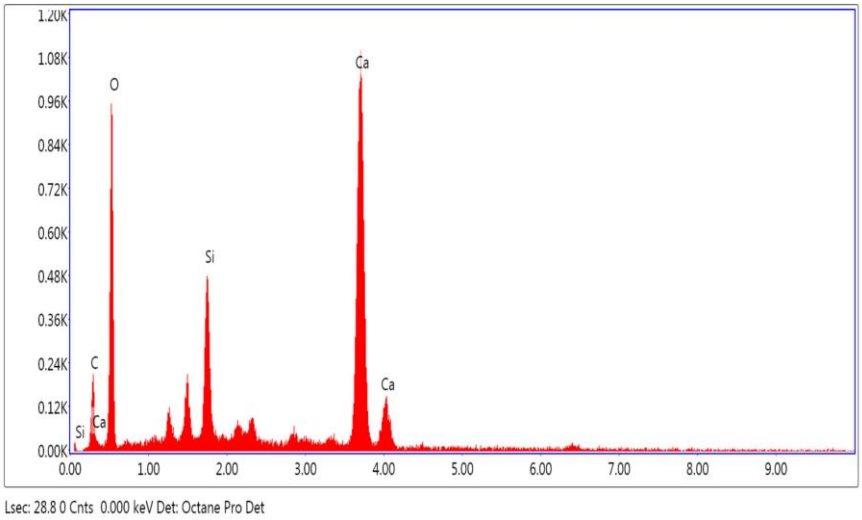




Element	Ağırlık %	Atom %	Net Int.	Hata %	Kratio	Z	R	A	F
O K	51.10	71.19	174.50	10.92	0.10	1.07	0.96	0.19	1
SiK	6.82	5.41	126.94	5.73	0.05	0.97	1.01	0.81	1.02
CaK	42.08	23.40	388.00	2.81	0.39	0.91	1.04	1	1.01

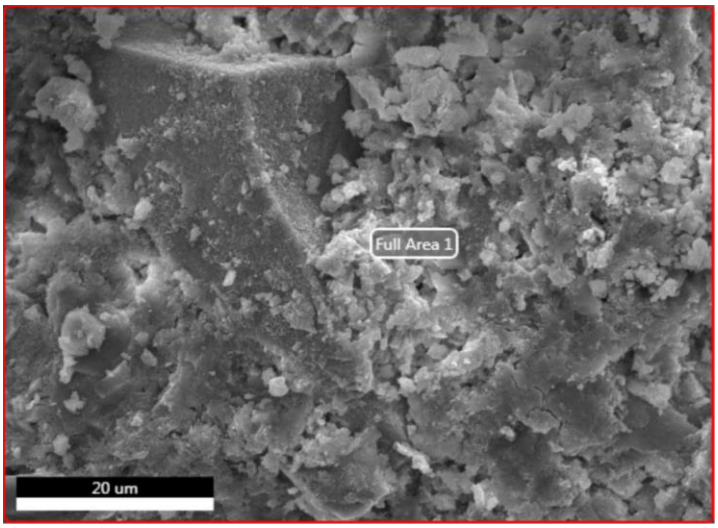
Şekil 4.11. % 1.0 Numune Eds Görüntüleri

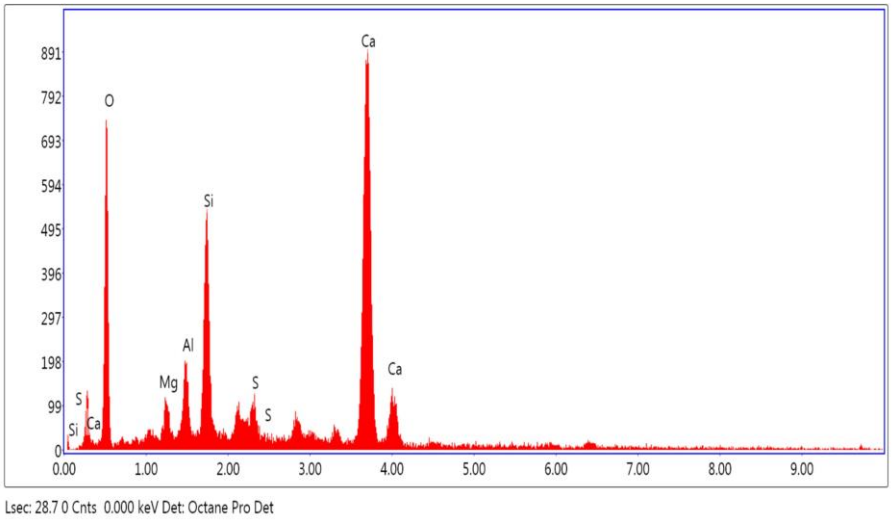




Element	Ağırlık %	Atom %	Net Int.	Hata %	Kratio	Z	R	A	F
C K	6.30	11.12	24.34	12.50	0.03	1.12	0.94	0.4	1
O K	47.87	63.47	154.27	11.08	0.09	1.06	0.96	0.18	1
SiK	5.09	3.84	93.62	6.74	0.04	0.96	1.01	0.82	1.02
CaK	40.75	21.57	369.67	3.10	0.37	0.9	1.04	1	1.01

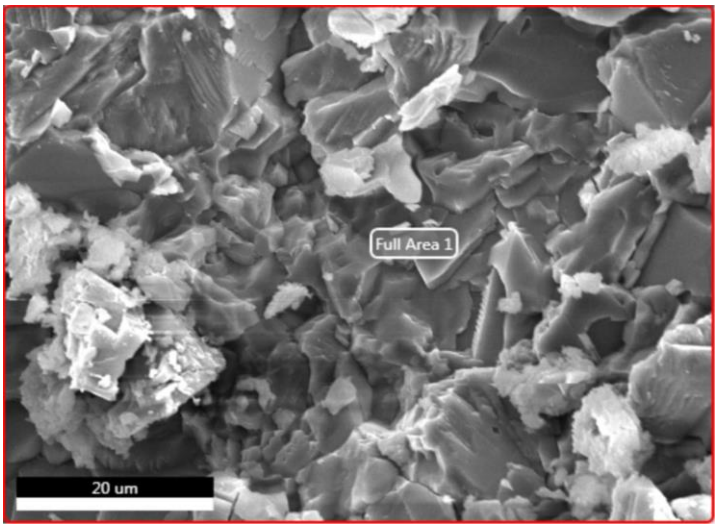
Şekil 4.12. % 1.50 Numune Eds Görüntüleri

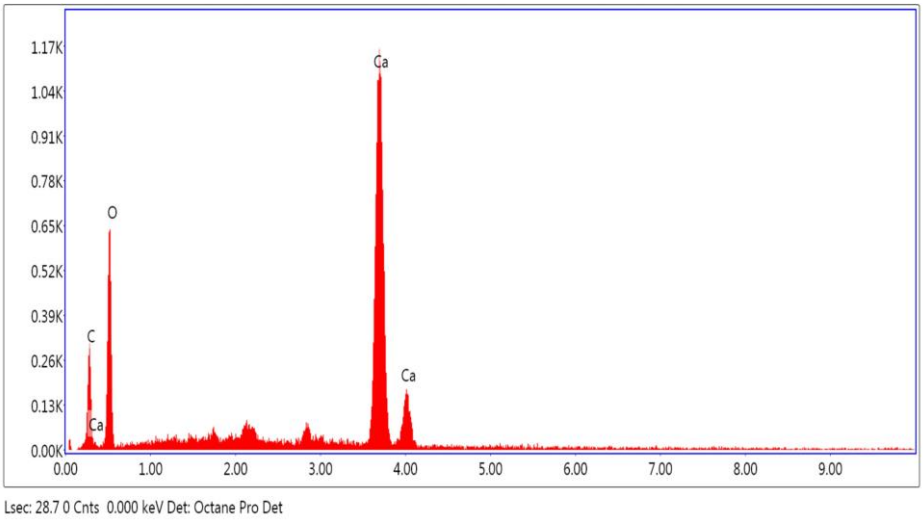




Element	Ağırlık %	Atom %	Net Int.	Hata %	Kratio	Z	R	A	F
O K	44.51	64.47	125.97	11.22	0.09	1.08	0.95	0.18	1
MgK	1.12	1.07	14.14	16.72	0.01	0.99	0.99	0.58	1.01
AlK	2.46	2.12	35.63	10.01	0.02	0.96	1	0.71	1.01
SiK	7.84	6.47	123.41	6.20	0.06	0.98	1	0.8	1.01
S K	2.74	1.98	36.83	10.10	0.02	0.95	1.02	0.89	1.04
CaK	41.32	23.89	324.08	3.11	0.38	0.92	1.04	0.99	1.01

Şekil 4.13. % 2.0 Numune Eds Görüntüleri



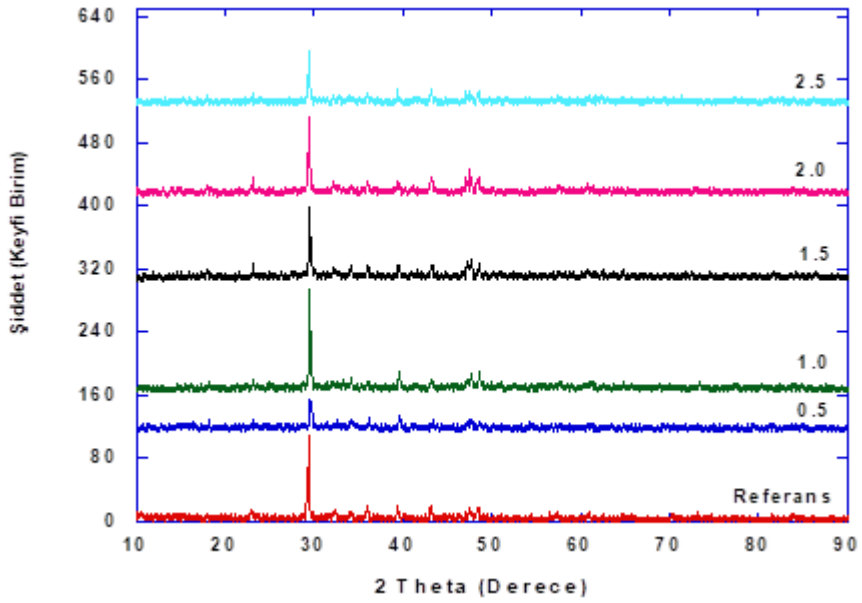


Element	Ağırlık %	Atom %	Net Int.	Hata %	Kratio	Z	R	A	F
C K	7.38	13.53	34.09	10.15	0.04	1.12	0.93	0.51	1
O K	43.01	59.20	112.45	11.62	0.07	1.07	0.96	0.16	1
CaK	49.61	27.26	429.55	2.75	0.46	0.91	1.04	1.01	1.01

Şekil 4.14. % 2.50 Numune Eds Görüntüleri

4.3.2. X- Işınları Kırınım (XRD) Analizleri

Malzemelerin kristal yapılarının ve örgü parametrelerinin belirlenmesi için X-ışını kırınım yöntemi kullanılmaktadır. Bragg yasasına göre işleyen bu yöntemde gönderilen ışının malzeme üzerinden yansıması algılanarak bir desen elde edilir.



Şekil 4.15. Xrd Grafiği

Referans numunesi ile kıyaslandığında ilk borik asit katkısında (%0.5) kırınım pikinin şiddeti azalmış olup borik asit miktarının artmasıyla şiddet değerleri artmıştır. Kırınım pikleri X- ışınının numunenin tanecikleri arasındaki düzlemlerde kırınıma uğraması sonucu oluşmaktadır. Tanecik boyutlarının artması ya da azalması bu piklerin şiddet değerlerini doğru orantılı olacak şekilde değiştirmektedir. Bu çalışmada üretilen örneklere ait XRD analizleri incelendiğinde ise borik asit katkısının artmasıyla, özellikle %0.5 katkı oranından sonra, yaklaşık 30o de gözlenen baskın pik şiddetleri önemli ölçüde artmıştır. Fakat referans numune ile kıyaslandığında %1, %1.5, %2 ve % 2.5 katkılı numunelerin kırınım pikleri arasında önemli bir farlılık gözlenmemiştir. Yapılan katkı kristal yapıyı değiştirmemiştir. Şekilden de görüldüğü gibi aynı açılarda kırınım pikleri oluşmuştur. Dikkate değer bir değişikliğe sebep olacak farklı bir faz gözlenmemiştir. Bu sonuç yapılan borik asit katkısının yapının içerisine büyük oranda girdiğinin bir göstergesidir. Bir miktar

katkı atomları da tanecikler arasına girmiş olabilir. Bu da tanecikler arasındaki poroziteyi yani gözenekliliği etkileyen bir faktördür. Bu sonuçlar aynı zamanda SEM analizleri ile desteklenmektedir. SEM analizleri incelendiğinde yapılan borik asit katkısıyla morfolojik yapının önemli bir değişime uğramadığı açıktır. XRD piklerine de bakıldığında % 0.5 katkı oranının pik şiddetinin düşük olmasını tanecik boyutundaki azalma ile ilişkilendirebiliriz. % 0.5 borik asit katkılı numuneye ait SEM görüntüsünde de taneciklerin diğer numunelere kıyasla daha küçük olduğunu söyleyebiliriz.

4.4. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

4.4.1. Taze Beton Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Taze haldeki beton numunesi üzerinde, L-kutusu deneyi, Yayılma deneyi, U-kutusu deneyi, V-kutusu deneyi yapılmış olup, aşağıda tabloda KYB kriterleri ile birlikte değerlendirme yapılmıştır.

Tablo 4.7. *Taze Beton Deneyi Sonuçları*

	Yayılma Tablası Deney Sonuçları (mm)	T-50 Süresi (Sn)	V-Kutusu Deney Sonuçları (Sn)	U-Kutusu Deney Sonuçları (Yükselti Farkı H_2-H_1)	L-Kutusu Deney Sonuçları (Yükselti Farkı H_2/H_1)
REF	780	$2<T_{50}<4$	10	6	1
%0.5 BAK	730	$2<T_{50}<4$	13	7	1
%1.0 BAK	720	$2<T_{50}<4$	14	7	1
%1.5 BAK	720	$2<T_{50}<4$	15	9	1
%2.0 BAK	700	$2<T_{50}<4$	15	9,3	1
%2.5 BAK	670	$2<T_{50}<4$	17	12,5	1

Tablodaki sonuçlar Efnarc'a göre irdelendiğinde referans numune ve borik asit katkılı bütün betonlar KYB özelliğini sağlamaktadır [73].

Borik asit katkısı olmayan referans numune ''SF3'' sınıfında olduğu görülmüş olup; yayılması en yüksek olan beton olmuştur [76].

Betonlara borik asit katkısı ile birlikte beton numuneleri borik asit katkısındaki artışa paralel olarak beton akıcılıklarında kademeli olarak azalma meydana gelmiştir. Yayılma sınıfı ''SF2'' olmuştur [76].

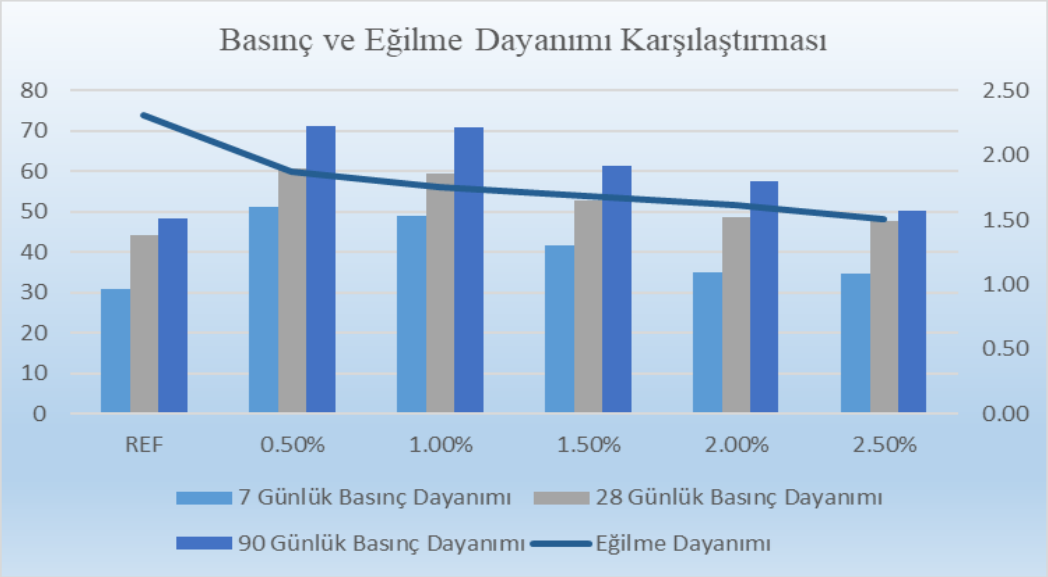
Sonuç olarak deney sonuçları irdelendiğinde bütün beton numuneleri KYB olma özelliği göstermektedir. Beton içerisindeki borik asit artışı betonların akıcılığını azalttığı görülmektedir.

4.4.2. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Taze haldeki beton numuneleri, standartlarda özellikleri tarif edilmiş olan 150*150*150 mm boyutlarındaki kalıplara basınç dayanımı, 100*100*400 (mm) boyutlarındaki kaplara eğilme dayanımı deneyi yapılması için doldurularak laboratuvar ortamında kür havuzunda bekletilerek kür sürelerinin tamamlanması ile deneyler yapılarak sonuçlar kaydedilmiştir.

Tablo 4.8. *Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları*

	Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları (Mpa)			Eğilme Dayanımı Deneyi Sonuçları (Mpa)
	7 Günlük	28 Günlük	90 Günlük	28 Günlük
REF	31,00	44,28	48,2	2,31
%0.5 BAK	51,18	60,82	71,30	1,87
%1.0 BAK	48,86	59,40	70,80	1,75
%1.5 BAK	41,62	52,78	61,50	1,68
%2.0 BAK	35,04	48,60	57,40	1,61
%2.5 BAK	34,55	47,80	50,10	1,51



Şekil 4.16. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları Karşılaştırması

Basınç Dayanımı deneylerinde en yüksek dayanım %0.5 bor katkılı beton numunesi vermiştir.

Borik asit katkısı artışı beton numunelerinin basınç dayanımında azalma meydana getirmiştir.

Bütün borik asit katkılı beton numunelerinin basınç dayanımı, borik asit ilavesi olmayan referans numuneden yüksek alınmıştır.

Eğilme dayanımı deneylerinde, en yüksek dayanım borik asit katkısı olmayan referans numunede meydana gelmiştir.

Borik asit katkısı artışına paralel olarak eğilme dayanımlarında azalma meydana gelmiştir.

5. SONUÇLAR

Bu tez çalışması esnasında yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar ve yapılan gözlemler aşağıda maddeler halinde açıklanmaktadır.

1. Taze haldeki beton deneylerinden, yayılma tablası deneyinde en yüksek yayılma değerinin Referans numunede olduğu görülmektedir. Betona Borik Asit katkısının artışı ile yayılmanın kademeli olarak azaldığı gözlemlenmiştir. Ancak beton numuneleri yayılma kriterleri bakımından Kendiliğinden Yerleşen Beton özelliklerini sağlamaktadır. Referans numune "SF1" sınıfında, diğer borik asit katkılı numuneler "SF2" sınıfında yer almaktadır.

2. Taze haldeki beton deneylerinden, V- Kutusu deneyi ve T_{50} süresi tayininde en hızlı V kutusundan akma değeri ve 500 mm çapa en hızlı ulaşma süresi Referans numunede olduğu görülmektedir. Betona Borik Asit katkısının artışı ile V kutusundan akma değeri ve 500 mm çapa ulaşma süresinin kademeli olarak arttığı gözlemlenmiştir. Ancak, bütün beton numuneleri V- kutusundan akma değeri ve 500 mm çapa ulaşma kriterleri bakımından Kendiliğinden Yerleşen Beton özelliğini sağlamaktadır. Bütün numuneler "VS2/VF2" sınıfındadır.

3. Taze haldeki beton deneylerinden, U- Kutusu deneyinde en az seviye farkı değerinin Referans numunede görülmektedir. Betona Borik Asit katkısının artışı ile iki tüp arasındaki seviye farkının kademeli olarak arttığı gözlemlenmiştir. Ancak beton numuneleri U- Kutusu deneyi kriterleri bakımından Kendiliğinden Yerleşen Beton özelliğini sağlamaktadır.

4. Taze haldeki beton deneylerinden, L - Kutusu deneyinde bütün deney numunelerinde yatayda L- kutusu deney aparatının başlangıç ve son kısımlarında seviye farkı çıkmamış olup, seviye oranı PA = (H_2 / H_1) =1 olmuştur. 3 çubuklu L- Kutusu deney aparatında PA ≥ 0,8 olması sebebiyle bütün deney numuneleri L- Kutusu deneyi kriterleri bakımından

Kendiliğinden Yerleşen Beton özelliğini sağlamaktadır. Bütün numuneler "PA2" sınıfındadır.

5. Taze haldeki beton sonuçları bütün olarak değerlendirildiğinde bütün deney numuneleri Kendiliğinden Yerleşen Beton özelliğini göstermektedir. Ancak betona ilave edilen borik asit katkısı etkisi ile beraber yayılmada azalmalar olduğu ve bununda diğer kriterlere direkt etki edeceği, bir noktadan sonra borik ait katkısı artışı ile beraber betonunun Kendiliğinden Yerleşen Beton olma kriterlerinin sağlamayacağı değerlendirilmektedir.

6. Sertleşmiş haldeki beton numunelerine uygulanan deneylerden olan basınç dayanımı deneyinde en yüksek dayanımı % 0,5 Borik Asit katkılı numune vermiştir. % 0,5' den sonra Borik Asit katkısı artışı ile beraber betonun basınç dayanımların da azalma meydana gelmiştir. Ancak, bütün Borik Asit katkılı deney numunelerinin basınç dayanımı değerleri Referans numuneden yüksek çıkmaktadır. Burada borik asit katkısının beton basınç dayanımına olumlu yönde etki ettiği görülmektedir.

7. Sertleşmiş haldeki beton numunelerine uygulanan deneylerden olan eğilme dayanımı deneyinde en yüksek dayanımı Referans numune vermiştir. Borik Asit katkısı ile beraber betonun eğilme dayanımların da azalma meydana gelmiştir. Burada borik asit katkısının betonun eğilme dayanımını azaltıcı yönde etki ettiği görülmektedir.

8. Borik asit oranındaki artış ile beraber, eğilme dayanımındaki azalışı literatürdeki örnekleriyle örtüştüğü görülmektedir.

9. SEM görüntüleri incelendiğinde Borik asidin zamanla C-H'ı kendine bağlayarak C-S-H jellerinin oluşumunu hızlandırmış ve bunun etkisiyle zamanla basınç dayanımında artış sağlanmıştır. Böylece borik asit ilavesi ile yeni C-S-H jeli oluşumu gerçekleşmiş ve yapının daha geçirimsiz ve dayanıklı olması sağlanmıştır. %2.5 borik asit ilavesi ile boşluklar ve gözenekler belirgin bir şekilde artmaya başlamıştır. Mikro çatlak oluşumu da

gözlenmiştir. Bu durum etkisiyle kontrol numunesine göre basınç dayanımı artışı düşmüştür.

10. XRD analizinde, XRD piklerine bakıldığında, özellikle % 0.5 Borik asit katkı oranından sonra, yaklaşık 30^{o} de görülen baskın pik şiddetleri etkin bir şekilde artmaya başlamıştır. % 0.5 Borik asit katkı oranının pik şiddetinin düşük olmasını tanecik boyutundaki ve gözeneklerdeki azalma ile ilişkilendirilebilir. % 0.5 borik asit katkılı numuneye ait SEM görüntüsünde de taneciklerin diğer numunelere kıyasla daha küçük olduğunu söylenebilir. SEM, XRD analizi sonuçları, özellikle % 0,5 Borik asit katkılı beton numunesinde basınç dayanımındaki artışı desteklemektedir.

11. Genel olarak değerlendirme yapıldığında, Borik asit ilave edilerek Kendiliğinden Yerleşen Beton üretimi yapılacağı görülmüştür. Yapılan SEM ve XRD analizlerinde, Borik asit ikamesinin beton içerisinde büyük oranda girdiği görülmüştür.

KAYNAKLAR

[1] Neville , A. M. (1989). *Properties of Concrete ELBS.*

[2] Singh, K. J., Signh, N., Kaundal, R. S., & Singh, K. (2008). Gamma-Ray Shielding and Structural Properties of Pbo-SiO2 Glasses. Nuclear Insturuments and methods in Physics Research. *Elsevier*, 944-948.

[3] Baradan, B. (1997). Yapı Malzemesi-II. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları*, 174–176

[4] Gül, M. (2018). Hafif Beton Agregası Olarak Atık Plastiklerin ve PET'in Kullanımının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Elâzığ.

[5] Gökçe H. S. (2010). Hafif Beton Üretiminde Ham Ve Genleştirilmiş Perlitin Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Ankara.

[6] Ünal, O. & Uygunoğlu T. (2007). Diyatomitin hafif beton üretiminde kullanılması. *İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergisi*, 1, 4025-4034.

[7] Sunal, C. S. & Sunal, D.W. (1999). Nuclear reactions: Studying peaceful applications in the middle and secondary school. *The Social Studies*, 90 (4),164–170.

[8] Arvai, J. L., Campbell, V. E. A., Baird, A., & Rivers, L. (2004). Teaching students to make better decisions about the enviroment: Lessons from the decision sciences. *Journal Of Enviromental Education*, 36 (1), 33–44.

[9] Katsuya, T. (2001). Public response to the Tokai nuclear accident. *Risk Analysis*, 21 (6), 1039–1046.

[10] Miden, C. J. H., & Verplanken, B. (1990). The stability of nuclear attitudes after Chernobyl. *Journal of Environmental Psychology*, 10, 111–119.

[11] Peters, H. P., Albrecht, G., Hennen, L., & Stegelmann, H. U. (1990). "Chernobyl" and the nuclear power issue in West German public opinion. *Journal of Environmental Psychology*, 10, 151–167.

[12] Renn, O. (1990). Publıc responses to Chernobyl accident. *Journal of Environmental Psychology*,10,151–167.

[13] Sjöberg, B. D., & Sjöberg, L. (1990). Risk perception and worries after Chernobyl accident. *Journal of Environmental Psychology*, 10, 135–149.

[14] Waly, E.S.A., & Bourham, M.A. (2015). Comparative study of different concrete composition as gamma-ray shielding materials. *Ann. Nucl. Energy* 85, 306–310.

[15] Joseph, F.L., & James, H.P. (2006). Significance of Test and Properties of Concrete and Concrete-Making Material. *ASTM International STP*, 169D

[16] Suzuki, A., Iida, T., Moriizumi, J., Sakuma, Y., Takada, J., Yamasaki, K., & Yoshimoto, T. (2001). Trace elements with large activation crosssection in concrete materials in Japan. *Journal of Nuclear Science Tecnology*.38 (7), 542–550.

[17] Thomas, R. H., Casey, W. R., Cossairt, J. D., O'Brien, K., Rohrig, N., Stapleton, G. B., et al. (2003). Radiation protection for particle accelerator facilities. NCRP Report No.144.

[18] Khanna, A., Bhatti, S.S., Singh, K.J., & Thind, K.S. (1996). Nuclear Instruments and Methods. B 114, 217.

[19] Yusof, A., Yusof, M.R., Muhamad, A., Samsu, Z., & Abdullah, N.E. (2010). Cement – Boron Carbıde Concrete As Radıatıon Shıelding Material. *Journal of Nuclear and Related Technologies*, 7(2), 74-79

[20] Demir, D., & Keleş, G. (2005). Radiation Transmission of concrete including boron waste for 59.4 and 80.99 keV gamma rays. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B*, 245(2), 501-504.

[21] Roslan, M.K.A., Ismail, M., Kueh, A.B.H., & Zin, M.R.M. (2019). High-density concrete: Exploring Ferro boron effects in neutron and gamma radiation shielding. *Construction and Buildings Materials*, 215, 718-725.

[22] Power, P.P., & Woods, W.G. (1997) Plant Soil. 193, 1.

[23] Hawthorne, M.F. (1993). The role of chemistry in the development of boron neutron capture therapy of cancer. *Angewandte Chemie International Edition in English*, 32(7), 950–984.

[24] Sun, Q., Li, J., & Wang, J. (2011). Nuclear Engineering and Design. 241, 4341.

[25] Ozawa, K., Maekawa, K., Kunishima, H., & Okamura, H. (1989). Performance of concrete based on the durability design of concrete structures'. *Proceedings of the second East-Asia-Pasific Conference on Structural Engineering and Construction* , 1 , 3-14.

[26] Topçu, İ.B., Bilir, T., & Baylavlı, H. (2008). Kendiliğinden Yerleşen Betonun Özellikleri. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi 21(1)*, 1-22.

[27] Okamura, H., & Ouchi, M. (2003). Self-Compacting Concrete. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 1(1), 5-15

[28] Reknes, K., & Petersen, B. G. (2003). Self Compacting Concrete with lignosulphonate based superplasticizer, *3rd International Symposium on SCC*, Reykjavik, Iceland.

[29] Walraven, J. (2003). Structural Aspects of Self Compacting Concrete. *Proceeding of 3rd International Rilem Symposium on Self Compacting Concrete*, Iceland.

[30] URL-1. Kendiliğinden Yerleşen Beton Özellikleri, 11/11/2019 tarihinde www.cimsa.com.tr adresinden alınmıştır.

[31] Özkul, M. H. (1997). Kendiliğinden Yerleşen Betonların Genel Özellikleri, *İ.T.Ü İnşaat Fakültesi*, 119-134, İstanbul

[32] Geiker, M. (2008). Self Compacting Concrete. S. Mindess (Eds.), İn Woodhead Series in Civil and Structural Engineering.

[33] TS EN 196-1/10. (2016). Çimento Deney Metot Bölüm1, Bölüm10 , Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

[34] Altındağ, İ. (2019). Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Uçucu Kül ve Kalker Tozu Kullanımının Durabilite Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.

[35] Sims, I., Lay, J., & Ferrari, J. (2019). Concrete Aggregates, Peter C. H., Martin L. (Eds.), M., *Lea's Chemistry of Cement and Concrete (Fifth Edition)*, (pp.699-778). Butterworth-Heinemann,

[36] TS EN 1008. (2003). Beton-Karma suyu-Numune alma, deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dahil, suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları,.Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

[37] TS EN 934-2. (2013). Kimyasal katkılar- Beton, harç ve şerbet için- Bölüm:2 Beton kimyasal katkıları- Tarifler, gerekler, uygunluk, işaretleme ve etiketleme. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

[38] Gürdal, H., & Yüceer, Z. (2004). Türkiye ve Dünyada Kendiliğinden Yerleşen Beton Uygulamaları

[39] URL-2. Bor Elementi ve Özellikleri, 11/09/2019 tarihinde www.etimaden.gov.tr adresinden alınmıştır.

[40] Çağlar, A. (2018). Geleneksel Kastamonu Evlerinde Kullanılan Harman Tuğlası Özelliklerinin Bor Atığı Katkısı İle İyileştirilmesi Üzerine Deneysel Araştırma, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.

[41] URL-3. Bor Elementi Fiziksel Özellikleri, 16/06/2019 tarihinde www.boren.gov.tr/tr/bor/bor-elementi adresinden alınmıştır.

[42] Elçiçek, H. (2012). Sulu ortamda karbondioksit basıncı altında üleksit cevherinin çözünme kinetiği ve optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum.

[43] Yegül, E. E. (2007). Bor zenginleştirme tesislerinde ara ürün tenörlerinin arttırılması için yöntemlerin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.

[44] Uçar, A. (1989). Kestelek tesis atıklarından borun kazanılması. Yüksek Lisans Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir.

[45] Sümer, G. (2003). Bor bileşikleri. *TMMOB Kimya Mühendisligi Dergisi*, 164-165.

[46] Çağlar, H. (2016). Radyoaktiviteden Kaynaklanan Çevresel Etkileri Azaltmak için Borik Asit ve Polivinil Alkol Katkılı Çimento Hamurunun Özelliklerinin Araştırılması. Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi*, Ankara

[47] Yiğitbaşıoğlu, H. (2004). Türkiye İçin Önemli Bir Maden: Bor. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 2(2), 13-25.

[48] URL-4. Kernit Minerali Hakkında Bilgi, 02/12/2019 tarihinde www.asahi-net.or.jp/~ug7s-ktu/e_kernit.htm adresinden alınmıştır.

[49] DPT. (2001). Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Kimya Sanayi Hammaddeleri Çalışma Grubu Raporu. 179, Ankara.

[50] Sümer, G. (2003). Bor bileşikleri. *TMMOB Kimya Mühendisliği Dergisi*, 164-165.

[51] URL-5. Üleksit Minerali Hakkında Bilgi, 02/12/2019 tarihinde www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/bor adresinden alınmıştır.

[52] URL-6. Kolemanit Minerali Hakkında Bilgi, 02/12/2019 tarihinde www.maden.itü.edu.tr/muze/images/BDolap7-8-9-10/j16.jpg adresinden alınmıştır.

[53] URL-7. Sasolit Minerali Hakkında Bilgi, 02/12/2019 tarihinde www.mebmineral.com/specimens/picshow.php adresinden alınmıştır.

[54] Boso, Ö. (2010). Killerin Mukavemeti Üzerine Bor Bileşiklerin Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi*, İstanbul.

[55] Gülçek, A. H., & Meriç, A. (2002). Boraks Pentahidrat Prosesinde Yapılan iyileştirme Çalışmaları. *Etibor A.Ş. Kırka Bor İşletme Müdürlüğü*, Eskişehir.

[56] Ediz, N., & Özdağ H. (2001). Bor Mineralleri ve Ekonomisi. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2*, 133-151

[57] İpekoğlu, Ü., & Polat, M. (1987). Bor Endüstrisine Genel Bakış. *Bilimsel Madencilik Dergisi, 26*, 5-16.

[58] Sarıhan, E. (2006). Bor sektör profili, İstanbul Ticaret Odası.

[59] Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü. (2016). Bor Sektör Raporu. Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı.

[60] TS EN 196-3. (2003). Methods of testing cement-part 3. *Determination of setting time and soundness*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara,

[61] Özer, N. (2018). Borik Asitin Beton Katkı Hammaddesi Olarak Kullanılması ile Üretim Süreçlerinde ve Maliyet Üzerinde Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Maltepe Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi,* İstanbul

[62] Sertbaş B. (2006). Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Polipropilen Lif Kullanımının İşlenebilirliğe Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

[63] Aykan, G., Gürol, G., Tezel, O. O., & Yüceer, Z. (2004). Kendiliğinden Yerleşen Beton Deney Metodları ve Uygulama Örnekleri. *Hazır Beton Kongresi*, 266-276, İstanbul.

[64] Bartos, P.J.M., Sonebi, M. And Tamim, A.K., Workability and Rheology of Fresh Concrete: Compendium of Tests, RILEM Technical Commitee TC 145-WSM Workability of Special Concrete Mixes.

[65] Efnarc. (2002). Specifications and Guidelines for Self-Compacting Concrete.

[66] Felekoğlu, B., & Baradan, B. (2004). Kendiliğinden Yerleşen Betonların Mekanik Özellikleri. *Beton 2004 Kongresi*, 234-243, İstanbul,

[67] Duyar, O. (2006). Avrupa Kendiliğinden Yerleşen Beton Şartnamesi Işığında Tanımlar, Dizayn Yöntemi, Deney Metotları ve Mühendislik Özellikleri. *THBB Hazır Beton Dergisi, 75*, 46-52.

[68] Yanez, M. J. & Barbosa, S. E. (2003). Changes In Particle Area Measurements Due To SEM Accelerating Voltage And Magnification. *Microscopy Research And Technique*, 61 (5), 463-468.

[69] Chescoe, D., & Goodhew, P. J. (1990). The Operation Of Transmission And Scanning Electron Microscopes In. *Microscopy Hanbooks*, England, Oxford Science.

[70] Skoog, D. A., West, D. M. & Holler, F. J. (1996). Chemical Methods Of Analysis. *Fundamentals Of Analytical Chemistry* (pp. 640-664). Orlando, Florida, Saunders Publishing.

[71] Skarendahl, A., & Petersson, Ö. (2000). Self Compacting Concrete. *State of the Art Report of RILEM Technical Comittee 174-SCC,* RILEM publication.

[72] Ünsal, A., & Şen, H., (2008). Kendiliğinden Yerleşen Beton Deneyleri. *Karayolları Beton ve Beton Malzemeleri Laboratuvar Deneyleri.* (pp. 177-184) Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.

[73] Efnarc. (2005). The European Guidelines for Self Compacting Concrete Specificiation, Production and Use. Self-Compacting Concrete European Project Group.

[74] Helvacı, C. (2015). Bor Yataklarının Mineral ve Kimyası Yönünden Genel Değerlendirilmesi ve Gelecek Öngörüsü, *Madencilik ve Yer Bilimleri Dergisi*, *47,* 66-78

ÖZGEÇMİŞ



Adı Soyadı : Emre PALTA
Doğum Yeri ve Yılı : Ereğli/KONYA
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : emrepalta_@hotmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Konya Ereğli Anadolu Lisesi, 2003
Lisans : Kırıkkale Üniversitesi, 2009

Mesleki Deneyim

İş Yeri : Artvin-Erzurum Devlet Yolu II. Kısım İnşaatı, 2009-2011
İş Yeri : Karayolları 15. Bölge Müdürlüğü. 2011 – Devam Ediyor.

Yayınları

- Çağlar, H., Palta E., & Çağlar A. (2019). Engineering and Natural Sciences. *International Symposium on Innovative Approaches in Scientifics Studies*. Ankara.