KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KOLEMANİT KONSANTRATÖR ATIĞI KATKILI ÇİMENTO İLE ÜRETİLEN HARÇLARIN NORMAL PORTLAND ÇİMENTOSU İLE ÜRETİLEN HARÇLA SICAKLIK ETKİSİ YÖNÜNDEN KARŞILAŞTIRILMASI

GÜZİDE BAYTEKİN ÇİÇEK

KOCAELİ 2018

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KOLEMANİT KONSANTRATÖR ATIĞI KATKILI ÇİMENTO İLE ÜRETİLEN HARÇLARIN NORMAL PORTLAND ÇİMENTOSU İLE ÜRETİLEN HARÇLA SICAKLIK ETKİSİ YÖNÜNDEN KARŞILAŞTIRILMASI

GÜZİDE BAYTEKİN ÇİÇEK

Dr. Öğrt. Üyesi Adnan ÖNER
Danışman, Kocaeli Üniversitesi .....

Dr. Öğrt. Üyesi Erdinç KESKİN
Jüri Üyesi, Kırklareli Üniversitesi .....

Doç. Dr. Salih Taner YILDIRIM
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi .....

Tezin Savunulduğu Tarih: 16.10.2018

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu çalışmada endüstri atığı olan bir malzemenin başka bir alanda kullanılmasını sağlamak amaçlı olarak, Kütahya Emet ETİ Bor Tesislerinden temin edilen Kolemanit konsantratör atığının, belirli oranlarda portland çimentosu ile birlikte kullanılarak, elde edilen harçların yüksek sıcaklık etkisi altında, basınç ve eğilme dayanımları deneysel olarak incelenmiştir.

Yüksek lisans eğitimim boyunca, bütün çalışmalarımda, bilgi birikimiyle destek olan ve her türlü olanağı sağlayan değerli danışman hocam Sayın Dr.Öğr.Üyesi Adnan ÖNER' e teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmamda ve Yüksek lisans eğitimimde yapıcı ve yönlendiren bilgisi ile yardımlarını ve manevi desteğini esirgemeyen, değerli hocam Sayın Doç.Dr.Salih Taner YILDIRIM'a; Eğitimim boyunca bölüm derslerimde, benim için emek harcayan ve özveride bulunan tüm üniversite hocalarıma; Yüksek lisans eğitimine başlamam için beni teşvik eden ve bu süre zarfında maddi manevi her türlü desteği bana gösteren sevgili arkadaşlarım Tuğba ve Temel TEMİZ çiftine; Bilgi birikimi ve desteği ile her zaman yardımcı olan değerli arkadaşım, Araştırma Görevlisi Onur ÖZTÜRK' e; deneysel çalışmalarım için gerekli malzemelerin temininde bana yardımcı olan Kütahya Emet ETİ Maden Bor İşletmesi Müdürlüğü çalışanlarına, her zaman desteği ile yanımda olan ve koşulları benim için kolaylaştırmaya çalışan, sevgili eşim Murat ÇİÇEK'e; beni yetiştiren, bugünlere getiren, desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, hep yanımda olan değerli aileme; ayrıca çalışmalarımı bitirmem için beni sürekli çalışmaya teşvik eden, kıymetli dostlarım ve iş arkadaşlarıma saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Haziran-2018 Güzide BAYTEKİN ÇİÇEK

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
TABLOLAR DİZİNİ v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ vi
ÖZET viii
ABSTRACT ix
GİRİŞ 1
1. GENEL BİLGİLER 4
1.1. Çimento 4
1.1.1. Çimentonun hammaddeleri 4
1.1.1.1. Kalker(Kireçtaşı) 5
1.1.1.2. Kil 6
1.1.1.3. Marn 7
1.1.2. Çimento içerisinde kullanılabilen katkı maddeleri 7
1.1.2.1. Alçıtaşı 7
1.1.2.2. Puzolanik maddeler 8
1.1.2.3. Sülfatlar 8
1.1.2.4. Uçucu küller 9
1.1.3. Çimento üretimi 9
1.1.4. Çimentonun hidratasyonu 10
1.1.5. Çimentonun özelliklerini belirleyen faktörler 11
1.1.5.1. Priz başlama süresi 11
1.1.5.2. Standart basınç mukavemet 11
1.1.5.3. Kızdırma kaybı 12
1.1.5.4. Hacim genleşmesi 12
1.1.5.5. Birim hacim ağırlığı 12
1.1.5.6. Serbest kireç 12
1.1.5.7. Çözünmeyen kalıntı 13
1.1.5.8. Sülfat miktarı 13
1.1.6. Çimento çeşitleri 14
1.1.6.1. Portland çimento 14
1.1.6.2. Portland curuflu çimento 14
1.1.6.3. Portland silika füme çimento 14
1.1.6.4. Katkılı çimento 14
1.1.6.5. Traslı çimento 14
1.1.6.6. Uçucu küllü çimento 15
1.1.6.7. Portland kalkerli çimento 15
1.1.6.8. Portland kompoze çimento 15
1.1.6.9. Cüruflu çimento 15
1.1.6.10. Puzolanik çimento 16
1.1.6.11. Kompoze çimento 16
1.1.6.12. Beyaz çimento 16
1.1.6.13. Eken dayanımı yüksek çimento 16

1.1.6.14. Sülfatlara dayanıklı çimento 17
1.1.6.15. Süper sülfat çimentosu 17
1.1.6.16. Har çimentosu 17
1.2. Bor 17
1.2.1. Bor hakkında genel bilgiler.....17
1.2.2. Bor mineralleri 20
1.2.2.1. Boraks (Tinkal) ($Na_2B_4O_7.10H_2O$).....20
1.2.2.2. Kernit (Razorit) ($Na_2B_4O_7.4H_2O$).....20
1.2.2.3. Üleksit ($NaCaB_5O_9.8H_2O$) 20
1.2.2.4. Propertit ($NaCaB_50_9.5H_2O$).....21
1.2.2.5. Kolemanit ($Ca_2B_6O_{11}.5H_2O$).....21
1.2.2.6. Pandermit (Priseit) ($Ca_4B_{10}O_{19}.7H_2O$) 21
1.2.2.7. Hidroborasit ($CaMgB_6O_{11}.6H_2O$).....21
1.2.3. İleri teknoloji bor ürünleri.....22
1.2.4. Bor ham ve rafine ürünleri.....22
1.2.5. Bor kullanım alanları ve kullanıldığı sektörleri.....23
1.2.6. Dünyada ve Türkiye'de bor rezervleri.....26
1.2.7. İnşaat sektöründe bor kullanımı 28
1.3. Borlu Aktif Belit Çimentosu 29
2. ÖNCEKİ LİTERATÜR ÇALIŞMALARININ İNCELENMESİ 32
3. MALZEME VE YÖNTEM.....37
3.1. Malzeme.....37
3.1.1. Çimento.....37
3.1.2. Kolemanit.....37
3.1.2. Su.....38
3.1.4. Kum 38
3.2. Yöntem.....38
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....42
4.1. Kıvam (Yayılma) Deneyi.....42
4.2. Eğilme Dayanımı Deneyi.....43
4.3. Basınç Dayanımı Deneyi 44
4.4. Sıcaklık Testleri.....44
5. BULGULAR VE TARTIŞMA.....46
5.1. Kıvam (Yayılma).....46
5.2. Sıcaklığın Eğilme Dayanımına Etkisi.....46
5.3. Sıcaklığın Basınç Dayanımına Etkisi 48
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....51
KAYNAKLAR.....52
ÖZGEÇMİŞ.....56

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Bor minerali 18
Şekil 1.2. Bor minerali kristal görünümü 18
Şekil 1.3. Bor ürünleri şematik gösterimi 23
Şekil 3.1. Kırma kumun granülometri eğrisi 38
Şekil 3.2. Hobart mikser.....40
Şekil 3.3. Yayılma tablası 40
Şekil 3.4. 40x40x160mm çelik kalıp 41
Şekil 3.5. Kür havuzu.....41
Şekil 4.1. Eğilme dayanımı deneyi 43
Şekil 4.2. Eğilme dayanımı deneyi kırılma anı 43
Şekil 4.3. Basınç dayanımı deneyi.....44
Şekil 4.4. Deneylerde kullanılan küllü fırın 45
Şekil 5.1. Eğilme dayanımı sıcaklık ilişkisi grafiği 47
Şekil 5.2. Sıcaklık etkisi ile kolemanit atıklarının eğilme dayanımına etkisi 47
Şekil 5.3. Sıcaklık -Basınç dayanımı grafiği 50
Şekil 5.4. Sıcaklık etkisi ile kolemanit atıklarının basınç dayanımına etkisi 50

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Türkiye'de kullanılan kalkerlerin isimlendirilmesi 5
Tablo 1.2. CaCO3 içeriğine göre kalkerlerin sınıflandırılması 6
Tablo 1.3. Kalker ve Kil oranlarına göre marnların isimlendirilmesi 7
Tablo 1.4. Çimentonun ana bileşenleri 10
Tablo 1.5. Çimento bileşenlerinin özellikleri 11
Tablo 1.6. Ülkemizde ticari önemi olan bor mineralleri 19
Tablo 1.7. Dünyada ticari önem taşıyan bor mineralleri 20
Tablo 1.8. Dünya piyasasındaki ham bor ve rafine ürünler 22
Tablo 1.9. Bor mineralleri ve bileşiklerinin kullanım alanları 24
Tablo 1.10. Bor mineralleri ve bileşiklerinin kullanıldığı sektörler 25
Tablo 1.11. Dünya bor rezervleri 27
Tablo 1.12. Önemli bor mineralleri ve bulundukları yerler 27
Tablo 1.13. Ülkemizde yer alan bor mineralleri 28
Tablo 2.1. Özmal ve arkadaşlarının basınç dayanım deneyi sonucu 34
Tablo 3.1. Çimentoya ait kimyasal analiz sonuçları (%) 37
Tablo 3.2. Kullanılan çimentonun fiziksel analiz sonuçları 37
Tablo 3.3. Kolemanite ait kimyasal analiz sonuçları (%) 38
Tablo 3.4. Karışım oranları 39
Tablo 4.1. Karışım oranları 42
Tablo 5.1. Eğilme dayanımı test sonuçları 46
Tablo 5.2. Basınç dayanımı test sonuçları 49

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Al	: Alüminyum
Al_2O_3	: Alüminat
B_2O_3	: Bor Oksit
BN	: Bor Nitrit
Ca	: Kalsiyum
CaO	: Kalsiyum Oksit
$CaCO_3$	: Kalsiyum Karbonat
$Ca(OH)_2$	: Kalsiyum Hidroksit
$CaSO_4.2H_2O$	: Kalsiyum Sülfat
C_3A	: Trikalsiyum Alüminat
C_2S	: Dikalsiyum Silikat
C_3S	: Trikalsiyum Silikat
C_4AF	: Tetra Kalsiyum Alümina Ferrit
CO_2	: Karbondioksit
cm	: Santimetre
cm^2/gr	: Özgül Yüzey
Fe_2O_3	: Demir Oksit
gr	: Gram
gr/cm^3	: Özgül Ağırlık
H	: Hidrojen
H_2O	: Su
kg	: Kilogram
lt	: Litre
m	: Metre
mm	: Milimetre
$MgCO_3$	: Magnezyum Karbonat
MPa	: Megapaskal (Basınç Birimi)
Na	: Sodyum
Si	: Silisyum
SiO_2	: Silisyum Dioksit
SO_3	: Sülfat
%	: Yüzde
^oC	: Celcius Derecesi

Kısaltmalar

ASTM	: Amerika Test Materyalleri Topluluğu
BAB	:Borlu Aktif Belit
CÇ	: Curuflu Çimento
CL	: Kolemanit
ÇK	: Çözünmeyen Kalıntı
DPT	: Devlet Planlama Teşkilatı
DSİ	: Devlet Su İşleri

İMO : İnşaat Mühendisleri Odası
KK : Kızdırma kaybı
ODTÜ : Orta Doğu Teknik Üniversitesi
PÇ : Portland Çimento
TAKK : Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı
TÇMB : Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği
TMMOB : Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği
ZKÜ : Zonguldak Karaelmas Üniversitesi
(Bugünkü adı Bülent Ecevit Üniversitesi)

BORLU ÇİMENTO İLE ÜRETİLEN HARÇLARIN NORMAL PORTLAND ÇİMENTOSU İLE ÜRETİLEN HARÇLA SICAKLIK ETKİSİ YÖNÜNDEN KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

Yapılarda kalıcı hasarlara yol açan, betonun, fiziksel ve mekanik özelliklerini değiştirerek, dayanım ve dayanıklılığını düşüren en büyük faktörlerden biri yüksek sıcaklıktır. Ne zaman ortaya çıkabileceği tahmin edilemeyen bu faktör, önemli ölçüde can ve mal kaybına sebep olmaktadır. Betonarme yapıların, yüksek sıcaklığa maruz kalması durumun da, dayanımı artırarak, hasarı en aza indirmek ya da koruyucu önlemler alabilmek için mineral ve kimyasal katkılar ile atık malzemelerin de(uçucu kül, yüksek fırın curufu, kolemanit vd.) beton içerisinde kullanımı giderek önem kazanmıştır. Bu çalışma kapsamında yüksek sıcaklığa maruz kalmış, kolemanit konsantratör atığı katkılı harçların basınç ve eğilme kapasitelerindeki değişimler deneysel olarak araştırılmıştır. Bu amaçla kolemanit konsantratör atığı ile çimento, %0, %2, %3, %4, %5, %6, %7, %8, %9 ve %10 oranlarında yer değiştirilerek harç numuneleri hazırlanmıştır. Bu numuneler 20, 150, 300, 450, 600 ve 750°C sıcaklıklara maruz bırakılmış ve havada soğutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Numuneler üzerinde basınç ve eğilme deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda, basınç dayanımında kolemanit katkısız referans numunelerinde basınç dayanımı kaybı 750°C'de %68, %10 kolemanit konsantratör atığı katkılı numunelerde ise %12 olarak bulunmuştur. Kolemanit konsantratör atığı katkılı harç numunelerinde düşük sıcaklık seviyelerinde, basınç dayanımlarının arttığı ancak %4 kolemanit konsantratör atığı katkısı sonrası dayanımın azalma eğiliminde olduğu belirlenmiştir. Aynı şekilde, Eğilme dayanımı kaybı, kolemanit katkısız numunelerde 750°C'de %71, %10 atık katkılı numunelerde ise %59 olarak bulunmuştur. Düşük sıcaklık seviyelerinde, Kolemanit katkılı harç numunelerinde, eğilme dayanımlarının arttığı ancak %5 kolemanit konsantratör atığı katkısı sonrası dayanımın azalma eğiliminde olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Basınç Dayanımı, Eğilme Dayanımı, Harç, Kolemanit, Yüksek Sıcaklık.

COMPARISON OF MORTARS PRODUCED WITH BORON CEMENT AND NORMAL PORTLAND CEMENT IN TEMPERATURE TERMS OF INFLUENCE

ABSTRACT

One of the biggest factors that cause permanent damage on the buildings and change the physical and mechanical properties of the concrete and reduce its strength and durability is high temperature. This unpredictable factor, when it may occur, causes significant loss of life and property. The use of mineral and chemical additives as well as waste materials (fly ash, blast furnace slag, colemanite etc.) in concrete has become increasingly important in order to reduce the damage or protective measures, even when reinforced concrete structures are exposed to high temperatures. In this study, the changes of the compressive and flexural capacities at the colemanite concentrate waste mixed mortar exposed to high temperature were investigated experimentally. For this purpose, mortar samples were prepared with %0, %2, %3, %4, %5, %6, %7, %8, %9, %10 replacement rate among colemanite concentrate waste and cement. These samples were exposed to 20, 150, 300, 450, 600 and 750°C temperatures and air cooling was performed. Compressive and flexural experiments were performed on the samples. At the end of these experiments, it was determined that at 750^{o}C compressive strength loss at the reference sample is %68 while %10 colemanite concentrate waste additive sample is %12. As a conclusion, it is defined that compressive strength of colemanite concentrate waste additive sample was increased at the low temperature however it is aimed to decrease more than %4 additive rate. In the same situation, it was determined that at 750^{o}C flexural strength loss at the reference sample is %71 while %10 colemanite concentrate waste additive sample is %59. As a conclusion, it is defined that flexural strength of colemanite concentrate waste additive sample was increased at the low temperature however it is aimed to decrease more than %5 additive rate.

Keywords: Compressive Strength, Flexural Strength, Mortar, Colemanite, High Temperature.

GİRİŞ

İnsanoğlu yerleşik hayat düzenine geçtiğinden bu yana, hem barınma ve temel ihtiyaçlarını karşılamak hem de güvenli bir biçimde hayatını devam ettirebilmek için çeşitli malzeme türlerini kullanarak kalıcı yapılaşma düzenine geçmiştir. Günümüzde bunlardan en çok bilinen ve kullanılanı betonarme yapılardır. Sağlamlığı, ekonomikliği, kolay üretilebilirliği ve servis ömürlerinin uzunluğu nedeni ile tercih sebebidir.

Ancak yapı içerisinde yer alan betonun, her malzemede olabileceği gibi fiziksel, mekanik, biyolojik ve kimyasal etkenler altında aşınmaya ve bozunmaya uğradığı görülmüştür (Baradan, Yazıcı, & Un, 2010). Betona zarar veren en önemli fiziksel etkenlerden biri de yüksek sıcaklıktır. Diğer yapı malzemelerine kıyasla betonun, belirli bir süre boyunca, yüksek sıcaklık altında önemli bir zarar görmediği, yangın etkisine karşı daha dayanıklı bir malzeme olduğu tespit edilmiştir. Ancak bu dayanıklı kalma halinin, belirli sıcaklık dereceleri ve sınırlı süreler içinde olduğu anlaşılmıştır (Akman M. , 2001), (Yazıcı, Türkel, & Baradan, 2000).

Her zaman görülebilecek ve etkili bir fiziksel faktör olan yangın durumu, ortaya çıkardığı yüksek sıcaklık etkisi ile betonarme yapıların özelliklerinde bozulmalar meydana getirmiştir. Betonda, çatlamalar ve parçalanmalar başlamış dolayısıyla basınç, eğilme dayanımı ve elastisite modülünde azalmalar görülmüştür (Subaşı, İşbilir, & Ercan, 2011), (Kızılkanat & Yüzer, 2008), (Yüzer, Aköz, & Dokuzer Öztürk, 2004). Dayanım, dayanıklılık ve taşıma gücünü yüksek sıcaklık etkisi ile kaybetmeye başlayan beton, yapıda kalıcı hasarların ortaya çıkmasına, yapının kullanılamayacak duruma gelmesine ve en önemlisi, can ve mal kayıplarına neden olmaktadır (Aydın & Baradan, 2003).

Tüm bu olumsuzluklar göz önüne alındığında, normal dayanımlı betonun içeriğindeki bazı özelliklerini geliştirmek veya farklı nitelikler kazandırmak gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu amaçla, yıllar içerisinde betonun kompozit bir malzeme olduğu bilgisinden yola çıkarak, hammaddesi olan çimento ile birlikte çeşitli mineraller, kimyasallar ve atık malzemeler katkı maddesi olarak kullanılmak

suretiyle birçok deneysel çalışma yapıldığı bilinmektedir. Farklı kimyasal, fiziksel ve mineralojik özelliklere sahip katkı malzemelerinin çimentoya eklenmesi, yapısında büyük farklılıklara neden olmuştur. Bu nedenle farklı katkı maddeleri ilave edilen çimentolar ile üretilen betonların farklı özelliklere ve dayanım değerlerine, performansa sahip olmaları sağlanmıştır. Bu tür katkılı çimentolar günümüz toplumun ihtiyaçlarını karşılayan temel bir malzeme olarak tanımlanmıştır (Çelik, 2005).

Bunun yanın da, özellikle gelişmekte olan ülkelerin oldukça fazla miktarda enerji ve kaynak tüketimine sebep olması ve bununla paralel olarak fazla miktarda atık üretir duruma gelmesi çevre kirliliği ile beraber ekolojik dengenin bozulmasına yol açmakta, depolanması ise beraberinde, maliyeti getirmektedir. Atık malzemelerin katkı olarak kullanılarak, potansiyel hammadde olarak değerlendirilmesi, hem çevreye verilen zararın azaltılması yönünden, hem de ekonomik etkenlerden dolayı önem kazanmaktadır. Yapı malzemesi üretiminde de kimyasal ve fiziksel yapısı uygun olan ya da uygun hale getirilebilen atık materyaller, günümüzde çimento, harç, beton, tuğla, kiremit, yol vs. yapımında kullanılır duruma gelmiştir. Bu sayede ucuz ve kaliteli yapı malzemelerinin üretilmesi ile beraber atıkların değerlendirilmesi de sağlanmıştır (Uğurlu, Özdemir, & Topçu, 2004).

Büyük stratejik öneme sahip ve dünya rezervlerinin büyük kısmını elimizde bulundurduğumuz Bor cevheri atıklarının da bu alanda kullanılması yönünde çalışmalar bulunmaktadır. Ülkemizde yer alan en önemli bor mineralleri: Kolemanit, Boraks (Tinkal), Kemit, Üleksit, Pandermit, Hidroborasit'tir. Kütahya'nın Emet bölgesinde bulunmakta olan Kolemanit minerali, yaklaşık 173 milyon ton rezerve sahiptir (Alma & Acemioğlu, 2001). Bor bileşiklerinin içindeki B_2O_3 (bor oksit) oranına tenör adı verilmektedir. Oldukça fazla miktarda tesis atıkları, bu cevherin zenginleştirilmesi sonucunda değişik tenörlerde ve boyutlarda ortaya çıkmaktadır. Kütahya Hisarcık yöresinde bulunan konsantratör tesisinde işlenen tüvenan kolemanit cevherinin yaklaşık % 20'lik kısmının atık olarak atılmakta olduğu görülmüştür (Yıldız, 2008). Kolemanit($Ca_2B_6O_{11}.5H_2O$) mineralinin kimyasal yapısında %28 CaO, %6,5 SiO_2, %42 B_2O_3 ve %23,5 H_2O bulunmakta ve çimento içerisindeki hammaddeleri de bünyesinde barındırmaktadır. Bu mineral içerisinde yer alan kimyasal bileşenlerden hiçbiri, çimento özelliklerini olumsuz yönde

etkilememektedir. Yapılan bazı araştırma çalışmalarında, saf bor oksit(B_2O_3) kullanılarak üretilen çimentonun özelliklerinde önemli sayılabilecek iyileşmeler sağlandığı tespit edilmiştir. Bu zamana kadar yapılmış çalışmalar incelendiğinde, B_2O_3 yüzdesi aynı bor atıkları, çimento içerisine katılmış ve ağırlıkça farklı oranlarda hazırlanan, bu katkılı çimentolara, dayanım ve dayanıklılık deneylerinin yapıldığı görülmüştür. Bor atıklarının yapısında çimento özelliklerini olumsuz yönde etkileyebilecek herhangi zararlı bir bileşenin olmaması, çimento üretiminde kullanımı açısından büyük bir avantaj sağlamıştır (TAKK & Boren, 2009) .

Erdoğmuş ve arkadaşları Kolemanit konsantratör atığı ve Karabük cürufunun birlikte çimento harçlarına ilavesinin üzerinde çalışmalar yapmış ve mekanik özellikleri üzerine etkisini incelemiştir (Erdoğmuş, Yılmaz, Erdoğan, & Avcıata, 2004).

Erdoğan ve diğerlerinin bor içeren atıkların, portland çimentosu üretiminde çimento hammaddesi olarak kullanılabileceğine dayanarak, yaptıkları çalışmalarda, uçucu kül, taban külü, bentonit, kolemanit konsantratör atığı, tinkal konsantratör atığı ile bunların ikisinin veya üçünün birlikte oluşturduğu karışımları, çimentoya katkı maddesi olarak kullanmışlar, fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırmışlardır (Erdoğan, Genç, & Demirbaş, 1992), (Erdoğan, Zeybek, & Demirbaş, 1998), (Targan, Olgun, Erdoğan, & Sevinç, 2002).

Bu çalışmada, kolemanit konsantratör atığının, çimento da %0, %2, %3, %4, %5, %6, %7, %8, %9 ve %10 oranlarında yer değiştirilmesi ile numuneler hazırlanmıştır. Her bir numune 20, 150, 300, 450, 600 ve 750°C' deki sıcaklıklara maruz bırakılmıştır. Kullanılan çimento türü, su miktarı ve kum aynı olduğu için saptanacak değişiklikler katkı miktarına ve sıcaklığa bağlı olacaktır. Normal portland çimentosu ile Kolemanit konsantratör atığı katkılı çimentonun bu şartlar altında basınç ve eğilme dayanımlarındaki değişim sonuçları deneysel olarak incelenmiştir.

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Çimento

Silisyum(Si), Kalsiyum(Ca), Alüminyum(Al) ve Demir oksitleri ($Fe_2O_{3)}$ içeren hammaddelerin sinterleşme derecesine kadar pişirilmesi ile elde edilen yarı mamul madde klinkerin, bir veya birden fazla farklı katkı maddesiyle öğütülmesi sonucu ortaya çıkan hidrolik bağlayıcıdır (Pilevneli, 2003). Diğer bağlayıcı maddeler gibi çimentolar da, CaO, MgO gibi alkalin öğeler ve SiO_2, Al_2O_3 ve Fe_2O_3 gibi hidrolik bileşenlerden oluşur. Su ile tepkimeye girdikten sonra, bağlayıcılık kazandığı için, çimento hidrolik bağlayıcı olarak adlandırılır. Yapı malzemesinde, esas olarak kil ve doğal kalker taşlarının karışımının, yüksek sıcaklıkta pişirildikten sonra öğütülmesi ile elde edilen hidrolik bir bağlayıcı malzeme olarak tanımlanır. Su ve agrega ile karıştırıldığında harç ve betonun oluşmasını sağlayan bir malzemedir.

Çimento üretiminde, "hammadde" gerekli temel malzeme olup, hammaddenin eksik kaldığı yerde kullanılan maddelere de "katkı maddeleri" denilmiştir. Kimyasal içeriği klinkerin özelliklerine uygun, hammadde ve katkı maddelerine ek olabilecek, doğal ya da yapay malzemeler de "yardımcı maddeler" olarak adlandırılmıştır (Pilevneli, 2003).

1.1.1. Çimentonun hammaddeleri

Kireçtaşı, kil ve marn, çimento üretiminde kullanılan ana hammaddelerdir. Kalker (kireçtaşı) içerisinde yer alan CaO, kil mineralleri içerisinde yer alan SiO_2, Al_2O_3 ve Fe_2O_3, klinker üretiminde ana bileşenler için temel kaynaklardır. Marn gibi malzemelerde, bu dört oksidi kendi içerisinde bulundurduğundan çimento hammaddesi olarak kullanılmaktadır (Uğurlu, 2009).

1.1.1.1. Kalker(Kireçtaşı)

Yüzde olarak en yüksek miktarda çimento da kullanılan hammaddedir. Bileşiminde en az % 90 Kalsiyum karbonat ($CaCO_3$) bulunan kayaçlara kalker denilmektedir. Ayrıca yer bilimciler tarafından, kimyasal bileşiminde % 90'a kadar $CaCO_3$, mineralojik bileşiminde ise %90'a kadar kalsit içeren kayaçlar içinde Kireçtaşı kelimesi kullanılmaktadır.

Kalsiyum karbonatın, iki ayrı kristal sekli olan, kalsit ve aragonit, %56 CaO ve %44 CO_2 içerir. Bu mineraller hiçbir zaman saf olarak doğada bulunmaz. Görünümü sarı renkli olup, kahverengi ve siyah renklerde de ortaya çıkabilirler. Kalkerin sertlik derecesi 3, özgül ağırlığı 2,5–2,7 gr/cm^3 arasındadır.

Ülkemizde ve dünyada, çimento sanayisinde, kalkerlerin en çok içerdiği kil, kalsiyum ve magnezyum karbonatın % miktarlarına göre yapılan ayırım ve sınıflandırma kullanılmaktadır. Kalker, kayaca ait tüm kimyasal bileşimindeki Kalsiyum karbonat ($CaCO_3$) miktarı % 90'dan fazla olduğunda verilen isimdir. Bu yüzde 98,5'den fazla $CaCO_3$ olduğunda ise kalker saflık derecesi artar (Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, 2001). Türkiye' de kullanılan kalkerler ve içerdikleri kirece göre sınıflandırması Tablo 1.1 ve Tablo 1.2'de verilmiştir.

Tablo 1.1. Türkiye'de kullanılan kalkerlerin isimlendirilmesi (Madencilik Özel İhtisas Komisyonu)

% $CaCO_3$	**İsimlendirme**	**% $MgCO_3$**	
		5-30	**> 30**
90-100	Kalker	Dolomitik kalker	Dolomit
85-90	Marnlı kalker	Dolomitik marn	Marnlı dolomit
70-85	Kalkerli marn	Dolomitik kalkerli marn	Dolomitik marn
50-70	Marn	Dolomitli marn	Dolomitli marn
30-50	Killi marn	Dolomitik killi marn	Dolomitik killi marn
10-30	Marnlı kil	Dolomitik marn	Dolomitik marnlı kil
0-10	Kil	Kil	Kil

Tablo 1.2. CaCO3 içeriğine göre kalkerlerin sınıflandırılması (Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, 2001)

İsimlendirme	**% $CaCO_3$**	**% CaO**
Çok fazla saf kalkerler	> 98.5	> 55,2
Çok saf kalkerler	97-98,5	54,3-55,2
Orta saf kalkerler	93,5-97,5	52,4-54,3
Az saf kalkerler	85-93,5	47,6-52,4
Saf Olmayan Kalkerler	<85	< 47,6

1.1.1.2. Kil

Alüminyum silikat hidratlarından oluşmaktadırlar. Çimento içerisindeki alkalilerin ana kaynağıdır. Kil minerallerinin temel özelliği kimyasal bileşiminde Al_2O_3 bulunması ve sulu alüminyum silikattan oluşmasıdır. Kimyasal bileşimlerinde Al_2O_3 bulunması ve sulu alüminyum silikatlardan meydana gelmiş olması temel özelliğidir.

Killerin, çimento hammaddesi olarak kullanılmasında önemli üç özelliğe dikkat edilmektedir. Bunlar mineralojik ve kimyasal özellikler ile homojenliktir. Kimyasal analizde, içerisindeki, SiO_2, Al_2O_3, CaO, Fe_2O_3, MgO, K_2O, SO_3, Na_2O ve kızdırma kaybı % miktarlarının tespit edilmesi gerekir. Kil minerallerinin dışında bulunan saflığını etkileyen unsurlar ve bunların yüzde(%) miktarlarının belirlenmesine mineralojik analiz denir. Çimento yapımı için, kilin kimyasal bileşiminde bazı sınır değerler bulunmaktadır. Buna göre; Al_2O_3 (Alüminyum oksit) / Fe_2O_3 (Demir oksit) oranı 2/1 civarında olması, SiO_2 % miktarının belirli bir üst sınır değerde kalması ve alkali oksitlerin % 1'in altında olması gerekmektedir. Beyaz çimento yapımında, kaolin kullanılmakta, kil minerali olarak bu alanda ayrı bir önem taşımaktadır (Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, 2001).

Mineraller içerisindeki ayırt edici en önemli özelliklerden birisi plastisite olup, su kullanılarak şekillendirilme özelliğini tanımlamaktadır. Killerin, çimento sanayisinde kullanılabilmesi için plastisite sayıları % 15-20 arasında yer almalı ayrıca sinterleşme 900-1050 °C sıcaklıkta gerçekleşmelidir.

Kil örneklerinin, ülkemiz coğrafi bölgelerinde mineralojik yapıları incelendiğinde, çoğunlukla kuvars, kalsit, feldspat, dolomit, illit, muskovit ve klorit mineralojik ve kimyasal özellikleri bakımından bölgelere göre çok büyük farklılıklar göstermemektedir (Targan Ş. , 2001).

1.1.1.3. Marn

% 50-70 oranında kalker ve % 30-50 oranında kil karışımından, oluşmuş kayaca marn denilmektedir. Ortalama % 70 kalker ve % 30 kil içeren hammadde karışımının öğütüldükten sonra elde edilen çimento klinkerinin, yüksek sıcaklıklarda pişirilmesi ile meydana gelmektedir. Marn, doğal olarak bu bileşimi taşıdığından ideal çimento hammaddesidir; ayrıca yumuşak olması nedeniyle kolay öğütülebilmekte, kırma ve öğütme işlemleri sırasında enerji tüketimi kalkere göre daha az olmaktadır. Kalker ve kil oranına göre marnların isimlendirilmesi Tablo 1.3' de verilmektedir.

Tablo 1.3. Kalker ve Kil oranlarına göre marnların isimlendirilmesi

Kayaç Adı	**Kalker / Kil (max.)**
Kalker	9/1
Marnlı Kalker	7/3
Kalkerli Marn	1/1
Marn	1/3
Marnlı Kil	1/4
Kil	1/9 - 1/10

1.1.2. Çimento içerisinde kullanılabilen katkı maddeleri

1.1.2.1. Alçıtaşı

Alçı, çimento prizini düzenleyerek, ani prizlenmeye engel olması ve bu sayede betonu bir süre daha işlenebilir durumda tutabilmek için ilave edilir. Moleküler yapısı; içerisinde su bulunan kalsiyum sülfattır ($CaSO_4.2H_2O$). Çok sıcak iklim şartlarında, deniz suyunun buharlaşması ile beraber oluşan tortul kayaçlar halindedir. Ülkemizde yer alan alçıtaşı örnekleri, çoğunlukla Jips mineralinden oluşmuştur (Targan Ş. , 2001).

Rengi beyaz ve yumuşak bir mineraldir. Alçı, alçıtaşının 140-200°C arasında ısıtılarak atmosfer basıncı altında kısmi dehidrasyon işlemine uğratıldıktan sonra, öğütülerek elenmesi ile elde edilir.

1.1.2.2. Puzolanik maddeler

Silisli veya alüminyum silikatlı veya bileşimlerinden oluşan doğal maddelerdir. Suyun olduğu durumda, ince öğütüldüğünde, normal çevre sıcaklığında, çözünmüş kalsiyum hidroksitle ($Ca(OH)_2$), dayanımı geliştiren kalsiyum silikat(SiO_2) ve kalsiyum alüminat(Al_2O_3) bileşikleri oluşturmak üzere reaksiyona girerler. Puzolanik maddeler tek başlarına hidrolik bağlayıcı değillerdir. Bu grupta, doğal cüruflar yaygın olarak kullanılmaktadır.

Puzolanlar iki grupta incelenmektedir. 1. Doğal puzolanlardır. Bunlar: Volkanik camlar, volkanik küller, volkanik tüfler, kalsine killer ve şistler, opalin ve silika bu grup içerisindeki puzolanlardır. 2.Yapay puzolanlardır. Endüstriyel yan ürünler olarak bilinirler. Bunlar: Uçucu küller, silis dumanı ve granüle yüksek fırın cürufu bu gruptadır (Erdoğan T. , 2003).

Doğal cüruflar, tras ve bazik işlevli volkanik hareketlerin bir ürünü olarak oluşur. Çimento sanayinde doğal puzolanik katkı maddesi olarak kullanılmaktadır (Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, 2001).

Yapılan çalışmalarda, katkı maddelerinin çimento içerisinde, fazla miktarda katılabilir kalitede olmasının, çimento maliyetlerinin düşürülmesi açısından, önemli bir etken olduğu belirtilmiştir. Bunun yanında puzolonik maddelerin, katılım oranının genellikle %10–30 arasında değişmekte olduğu görülmektedir.

1.1.2.3. Sülfatlar

Portland çimentosu klinkerine, Jips veya jips anhidrit karışımını içeren değişik miktarlardaki sülfat mineralleri, son öğütme safhasında katılabilmektedir. Bu sayede çimentoda, donma süresinin kontrolü sağlanabilmektedir. Bu materyaller, % 3-5 oranında çimentonun öğütülmesi sırasında katılabilmektedir. Kimyasal formülü $CaSO_4.2H_2O$, anhidritin ise $CaSO_4$' tır (Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, 2001).

1.1.2.4. Uçucu küller

Bu malzeme termik enerji santrallerindeki kömürün ya da kömür ile enerji sağlayan fabrikalardaki kömürün yanmasıyla açığa çıkar. Baca gazları atmosfere bırakılmadan önce gaz içerisinde bulunan ince taneli küller süzülerek ayıklanır. Biçimleri küresel olup, SiO_2, Al_2O_3 ve Fe_2O_3 içerirler. Rutubetli ortamlarda kalsiyum iyonları ile reaksiyona giren uçucu kül, silikat hidrate oluşturan yarı kararlı alümin silikatlar oluşturur. $Ca(OH)_2$ ile tepkimelerinde, puzolanik maddeler gibi hidrolik bağlayıcı özellik kazanırlar. Külün çimentoda kullanılabilir koşulu, kızdırma kaybının % 5-7 arasında olmasıdır (Taşdemir, Şengül, & Sönmez, 2002).

Uçucu kül üretiminin yaklaşık %6'sı yapı malzemeleri karışımlarında puzolan olarak kullanılmaktadır.

1.1.3. Çimento üretimi

Portland çimentosunun üretiminde kireçtaşı, marn gibi kalkerli malzemeler ile içerisinde yüksek miktarda silis bulunan kil, şist, kum gibi malzemeler iki ana çimento hammaddesi olarak kullanılır. Bu hammaddeler, kimyasal bileşimlerine bağlı olarak iki grup içinden alınarak oranları doğrultusunda karıştırılırlar. "Farin " adı verilen kalkerli ve killi hammaddelerin uygun oranlarda bir arada öğütülmesiyle meydana gelen karışım, % 3-4 derece eğimle kendi ekseni etrafında dönen fırınlarda, 1350-1500^oC sıcaklıkta pişirilir. Fırına sürülmeden önce belirli oranda su katılarak ıslatılır. Fırın içerisindeki sıcaklığın etkisi ile ayrışan kalkerden, kireç (CaO), magnezyum oksit (MgO) ve ayrışan kilden ise silisyum dioksit (SiO_2), alüminat (Al_2O_3) ve demir oksit (Fe_2O_3) meydana gelir. Son aşamada fırın içerisindeki sıcaklığın artması ile oluşan reaksiyon sonucu çimentoya kendi bağlayıcılık özelliğini kazandıran ve yapısında silikatlar ve alüminatlar bulunan "Klinker" adındaki malzeme ortaya çıkar. Klinkerde, % 3 ile % 6 arasında alçıtaşı ($CaSO_4.2H_2O$) öğütülme esnasında ilave edilerek,90 ile 6.5 mikron arasında tane boyutu olan çimento elde edilir (Uğurlu, 2009).

1.1.4. Çimentonun hidratasyonu

Çimentoya su ilave edilmesi ile birlikte, aralarında meydana gelen kimyasal reaksiyona "Hidratasyon" denmektedir. Çimentonun bu reaksiyonları sonucunda, priz ve sertleşmesi meydana gelir. Çimento ve suyun birleşmesiyle, ana bileşenlerin oluşturduğu kimyasal reaksiyonlar: Kalsiyum silikatlar (C_3S - C_2S) ve su (H) tepkimeye girerek, kalsiyum silikat hidrat ($C_3S_2H_3$, kısaca C-S-H) denilen bir ürün ile kalsiyum hidroksitin oluşmasını sağlar. Çimentoya, C-S-H jeli bağlayıcılık özelliği kazandırır. Oluşan C-S-H'ın parçacıkları arasındaki çekim kuvveti, bağlayıcılık özelliği meydana getirmekte olup, bu C-S-H jeli çimentoya bağlayıcılık özelliğini katmaktadır (Erdoğan, Zeybek, & Demirbaş, 1998).

Tablo 1.4'te hidratasyon sonucu meydana gelen 4 ana bileşen, Tablo 2.5'te de çimento bileşenlerinin özellikleri gösterilmektedir (Erdoğan & Erdoğan, 2007).

Tablo 1.4. Çimentonun ana bileşenleri

Trikalsiyum Silikat (Alit) $3CaO.\ SiO_2$	C_3S
Dikalsiyum Silikat (Belit) $2CaO.\ SiO_2$	C_2S
Trikalsiyum Alüminat (Celit) $3CaO.\ Al_2O_3$	C_3A
Tetrakalsiyum Alüminoferrit (Felit) $4CaO.\ Al_2O_3.\ Fe_2O_3$	C_4AF

Çimentoyu oluşturan ana bileşenlerin özellikleri incelendiğinde; (Ağar, 2009)

C_2S bileşeni: 14. ve 28. gün arasındaki mukavemet artışında önemli bir yere sahip olup, hidratesi oldukça yavaştır. Çimentoların kimyasal etkilere karşı dayanıklılığı C_2S oranı daha fazla olanlarda artmaktadır.

C_3S bileşeni: Betonun erken dönemlerdeki mukavemetinde önemli bir yere sahiptir. Yüksek miktarda ısının ortaya çıkmasına neden olur.

C_3A bileşeni: Önemli miktarda ısı açığa çıkartır ve hidratasyonun hızlanmasını sağlar. Mukavemete etkisi neredeyse yoktur, ilk sertleşmenin oluşmasında etkilidir ve kimyasal etkenlere karşı dayanıksızdır.

C_4AF bileşeni: Diğer bileşenler ile karşılaştırıldığında, mukavemet ve sertleşmiş çimento hamuru özelliklerine renk haricinde katkısı yoktur.

Tablo 1.5'te de çimento bileşenlerinin özellikleri gösterilmektedir.

Tablo 1.5. Çimento bileşenlerinin özellikleri

Bileşen	Reaksiyon Hızı	Bağlayıcı Değer	Hidratasyon Isısı	Dayanıma Katkısı (İlk Günlerde)	Dayanıma Katkısı (Sonunda)
C_2S	Yavaş	Kuvvetli	Az	Düşük	Yüksek
C_3S	Orta	Kuvvetli	Orta	Yüksek	Yüksek
C_3A	Hızlı	Zayıf	Yüksek	Düşük	Düşük
C_4AF	Orta	Zayıf	Orta	Düşük	Düşük

1.1.5. Çimentonu özelliklerini belirleyen faktörler

Çimentoların kalitesini belirlemek amacıyla başlıca aşağıdaki özellikleri tayin edilir (Korçak, 2014).

1.1.5.1. Priz başlama süresi

Çimentoya su katılarak hamurun meydana gelmesi ile beraber, hamurun akışkanlığını ve plastikliğini kaybettiği ana kadar geçen süre olarak tanımlanmaktadır. Bu süreyi belirleyen deney, Vicat aleti ile yapılmaktadır. Deneyde, çimento ile suyun karıştırıldığı an itibari ile Vicat iğnesinin, cam levhaya 3-5 mm mesafe kalıncaya kadar inmesi için geçen süre, priz başlama süresi olarak belirlenir.

1.1.5.2. Standart basınç mukavemet

28 günlük basınç mukavemeti değerleri çimento kalitesini ve bu kaliteye göre çimento tipinin sembolünü belirler. Basınç mukavemeti değeri tespiti için çimento, kum ve suyun belirlenen bir karışım oranında bir araya getirilmesi standart kalıpların kullanılması ve kür koşullarının sağlanması gereklidir. 28 günlük standart basınç mukavemeti için Türk Standartları içerisinde, sınır değeri olarak 32,5 MPa, 42,5 MPa ve 52,5 MPa olmak üzere üç tip belirlenmiştir.

1.1.5.3. Kızdırma kaybı

Organik bileşikler, su ve karbondioksit gibi uçucu bileşiklerin belli bir değerden sonrasının çimento içinde bulunmaması istenir. Standartlarda belirlenen değer <% 5 olarak verilmiştir. Çimentolarda kızdırma kaybı tayini 975 ± 25°C sıcaklıktaki bir fırında 15 dakika kızdırılarak yapılır.

1.1.5.4. Hacim genleşmesi

Serbest kireç ve magnezyum oksit, çimento bileşiminde olması gerekenden fazla bulunması halinde hidratasyon olayı sırasında, ortaya çıkması istenmeyen hacim genleşmesi meydana gelebilir. Le Chatelier halkaları ile söz konusu hacim genleşmesi tayin edilir. Ölçüm yapılırken, çimento hamuru normal kürde 24 saat, sonra kaynamakta olan su içinde 4 saat bekletilir. Bu işlemlerden sonra çimento hamurunda ki genleşme aletin çubukları arasından (mm) olarak ölçülür. Çimentolarda, toplam genleşmenin en üst değeri 10 mm'dir, bu değerin geçilmemesi istenir.

1.1.5.5. Birim hacim ağırlığı

Standartlarda kriter olarak verilmemekle beraber, çimento fabrikalarında klinker üretim kalitesini hızlı şekilde kontrol etmek üzere klinker birim hacim ağırlığı ölçülür. Bu amaçla belli elekler örneğin, 11,2 mm-5,6 mm arasında kalan granüle haldeki klinkerin 1 lt. hacmindeki ağırlığı tartılarak sonuç g/L olarak belirlenir. Bu görünür yoğunluk değerinin belli bir değerden yüksek olması halinde klinkerin iyi pişirilmiş olduğuna karar verilir.

1.1.5.6. Serbest kireç

Çimento içinde silikat ve alüminat halinde bağlanmamış olarak bulunan CaO, serbest kireç olarak tanımlanır. Betonda genleşmelere neden olan serbest kirecin çimento içinde mümkün olduğunca az olması istenir. Klinkerin serbest kirecinin artmasının başlıca iki nedeni vardır. Bunlardan birincisi kireç doygunluk faktörünün gereğinden yüksek oluşudur. Normalde çimento hammadde karışımı içine teorik olarak gerekli olandan daha fazla CaO bulunması klinker oluşumunu kolaylaştırır. Ancak reaksiyonlarda kullanılmayan CaO klinker içinde kalır. Kireç doygunluk derecesi yüksek olması halinde yakıt sarfiyatı da artar. Ham karışımlarda, düşük kireç

doygunluk faktörü var ise, pişirme işlemi kolay olmakta ancak bunun yanında C_3S fazının az, C_2S fazının yüksek oranda oluşmasından dolayı mukavemetler düşük olur. Serbest kireç oluşumuna etki yapan ikinci olay, fırın içinde sinterleşme bölgesinden sonraki soğutma bölgesinde meydana gelir. Soğutma esnasında 1250 °C'nin altındaki sıcaklıklarda C_3S tersinir bir reaksiyon göstererek C_2S ve CaO'te ayrışır. Bu reaksiyon sonucu klinker bileşiminde serbest kireç oluştuğu gibi C_3S yüzdesi azalır. Bu durum çimento mukavemetini azaltıcı olarak etki yapar. Klinkerin soğutulması ne derece hızlı yapılırsa serbest kireç oluşması o derece önlenmiş olur.

1.1.5.7. Çözünmeyen kalıntı

Klinker bileşikleri alkali özellikte olup tamamı asitlerde çözünür. Ancak çimento içinde hammaddeden gelen başka inert bileşiklerde bulunabilir. Bunların belli bir değerden yüksek olması istenilmez. Standartlara çözünmeyen kalıntı yüzdesinin <%5,0 olması sınırı konulmuştur.

Asitlerde çözünmeyen maddelerin yüzde oranı, çimentoda çözünmeyen kalıntı deneyi ile belirlenir. Bu amaçla çimento numunesi hidroklorik asitte çözülür. Çözünmeyen maddeler süzülerek ayrılır. Sıcaklığı 975 ± 25°C olan fırında kızdırılır. Elde edilen miktar çimentoda çözünmeyen kalıntı olarak verilir

1.1.5.8. Sülfat miktarı

Çimento içine, alçı taşı ilave edilerek priz başlama süresinin geciktirilmesi gerekir. Aksi halde trikalsiyum alüminat çok hızlı çözünerek priz süresinin çok kısalmasına neden olur. Priz olayında kalsiyum sülfatın çözünme hızı büyük önem taşır. Bu nedenle iki mol kristal suyu olan alçı taşının kullanılması yoluna gidilir. Uygun miktarda alçı taşı klinker ile birlikte öğütülür. Çimento içine katılacak alçının gereğinden fazla olması sülfat korozyonuna neden olacağı için zararlıdır. Standartlarda alçı miktarının normal olarak % 3,5 SO_3'ten daha fazla olması istenilmez.

1.1.6. Çimento Çeşitleri

1.1.6.1. Portland çimento

Betonarme yapılarda en çok kullanılan çimento çeşididir. İçerisinde yer alan kalkertaşı ($CaCO_3$) ve kilin (SiO_2 ve Al_2O_3) belirli oranda karıştırılarak, klinkerde pişirilip, ardından öğütülmesiyle meydana gelir. Bir miktar alçı taşı, klinkere eklenerek, çimentonun sertleşmesinin geciktirilmesi sağlanır (TÇMB, 2007).

1.1.6.2. Portland cüruflu çimento

Klinkerle, cüruf ve az miktarda alçı taşının bir araya getirilerek öğütülmesi ile elde edilen çimento türüdür. İçerisinde yer alan katkı (cüruf) miktarına göre 2 sınıfa ayrılırlar. A sınıfında, kütlece %6 - 20 arasında cüruf bulunmaktadır. Kütlece % 21 - 35 arasında cüruf içerenler ise B sınıfıdır. Bu çimento, 28 günlük basınç dayanımlarına göre 6 tip olarak bulunmaktadır. Bu dayanımlar PCÇ 32.5, PCÇ 32.5R, PCÇ 42.5, PCÇ 42.5R, PCÇ 52.5, PCÇ 52.5R olarak gösterilmektedir. Avrupa standartlarından yeni alınan bir çimento çeşididir (TÇMB, 2007).

1.1.6.3. Portland silika füme çimento

Kütlece en fazla %10 oranında silika fümenin, klinker ve az miktarda alçı taşı ile birlikte öğütülmesi sonucu meydana gelir. Bu çimento Avrupa standartlarından yeni alınan bir çimento çeşididir. 28 günlük basınç dayanımına göre, tek bir sınıfı vardır. Bu dayanım PSFÇ 32.5 olarak gösterilmektedir (TÇMB, 2007).

1.1.6.4. Katkılı çimento

Kütlece en fazla %19 oranında puzolanik maddenin, klinker ve az miktarda alçı taşı ile birlikte öğütülmesi sonucu meydana gelir. 28 günlük basınç dayanımına göre tek bir sınıfı bulunmaktadır. Bu dayanım KÇ 32.5 olarak gösterilmektedir (TÇMB, 2007).

1.1.6.5. Traslı çimento

%20-40 arasında trasın, klinker ve az miktarda alçı taşı ile birlikte öğütülmesi sonucu

meydana gelir. 28 günlük basınç dayanımına göre tek bir sınıfı vardır. Bu dayanım TÇ 32.5 olarak gösterilmektedir (TÇMB, 2007).

1.1.6.6. Uçucu küllü çimento

Kütlece %10-30 arasında uçucu külün, klinker ve az miktarda alçıtaşıyla birlikte öğütülmesi ile meydana gelen çimentodur. 28 günlük basınç dayanımına göre tek bir sınıfı vardır. Bu dayanım UKÇ 32.5 olarak gösterilmektedir (TÇMB, 2007).

1.1.6.7. Portland kalkerli çimento

Klinkerle kalkerin ve az miktarda alçı tasının birlikte öğütülmesi sonucu meydana gelir. İçerisinde yer alan kalker miktarına göre 2 sınıfa ayrılırlar. A sınıfı olarak isimlendirilenler, kütlece %6-20 arasında kalker içermektedir. Kütlece %21-35 arasında kalker içerenler ise B sınıfıdır. 28 günlük basınç dayanımlarına göre 6 tipi bulunmaktadır. Bu dayanımlar PLÇ 32.5, PLÇ 32.5R, PLÇ 42.5, PLÇ 42.5R, PLÇ 52.5, PLÇ 52.5R olarak gösterilmektedir. Bu çimento Avrupa standartlarından yeni alınan bir çimento çeşididir (TÇMB, 2007).

1.1.6.8. Portland kompoze çimento

Puzolonik veya hidrolik maddelerin, klinker ve az miktarda alçı taşıyla beraber öğütülmesi ile meydana gelir. İçerisindeki toplam katkı maddesinin miktarına göre 2 sınıfa ayrılırlar. A sınıfı olarak isimlendirilenlerde, içerisinde kütlece % 6-20 arasında kalker bulunmaktadır. Kütlece % 21-35 arasında kalker içerenlerde B sınıfında yer almaktadır. 28 günlük basınç dayanımlarına göre 6 tipi bulunmaktadır. Bu dayanımlar PKÇ 32.5, PKÇ 32.5R, PKÇ 42.5, PKÇ 42.5R, PKÇ 52.5, PKÇ 52.5R olarak gösterilmektedir. Bu çimento Avrupa standartlarından yeni alınan bir çimento çeşididir (TÇMB, 2007).

1.1.6.9. Cüruflu çimento

Kütlece %20-80 arasında cürufun, klinkerle ve az miktarda alçı taşıyla birlikte öğütülmesi ile meydana gelmektedir. 28 günlük basınç dayanımlarına göre CÇ 32.5 ve CÇ 42.5 olmak üzere iki tipi bulunmaktadır (TÇMB, 2007).

1.1.6.10. Puzolanik çimento

Bu çimento tipi, puzolonik maddelerin, klinkerle ve az miktarda alçı taşıyla birlikte öğütülmesi ile meydana gelmektedir. İçerisinde yer alan toplam katkı maddesinin miktarına göre 2 sınıfa ayrılırlar. Bunlardan; A sınıfı, kütlece %11-35 arasında puzolanik madde içerir, kütlece %36-55 arasında puzolanik madde içerenler ise B sınıfı olarak tanımlanır. 28 günlük basınç dayanımlarına göre 6 tip Puzolanik çimento mevcuttur. Bu dayanımlar PZÇ 32.5, PZÇ 32.5R, PZÇ 42.5, PZÇ 42.5R, PZÇ 52.5, PZÇ 52.5R olarak gösterilmektedir. Bu çimento Avrupa standartlarından yeni alınan bir çimento çeşididir. (TÇMB, 2007)

1.1.6.11. Kompoze çimento

Cüruf ve puzolonik maddelerin, klinkerle ve az miktarda alçı taşıyla birlikte öğütülmesi ile meydana gelir. İçerisinde yer alan toplam katkı maddesinin miktarına göre 2 sınıfa ayrılırlar. A sınıfında yer alanların kütlece toplam katkı miktarı %36-60 arasındadır, kütlece toplam katkı miktarı % 61-80 olanlar ise B sınıfındadır. 28 günlük basınç dayanımlarına göre 6 tipi bulunmaktadır. Bu dayanımlar KZÇ 32.5, KZÇ 32.5R, KZÇ 42.5, KZÇ 42.5R, KZÇ 52.5, KZÇ 52.5 R olarak gösterilmektedir (TÇMB, 2007).

1.1.6.12. Beyaz çimento

Dekoratif amaçlı olup, renk verici oksitler içermeyen hammadde kullanımıyla üretilen katkısız çimentodur. Portland çimentosunun Türk Standartlarında basınç dayanımları ile dekoratif amaçlı olmasına rağmen Beyaz çimentonun basınç dayanımları aynı değer aralıklarında gösterilmektedir. BPÇ 70 ve BPÇ 85 olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Beyazlık derecesine göre bu isimleri alırlar. 28 günlük basınç dayanımına göre BPÇ 32.5 ve BPÇ 42.5 olmak üzere iki sınıftı (TÇMB, 2007).

1.1.6.13. Erken dayanımı yüksek çimento

Bu çimento türü, özel üretilen klinker ve az miktar da alçıtaşının birlikte öğütülmesi ile meydana gelmekte olup, erken dayanımı yüksektir. 28 günlük basınç dayanımı EYÇ 52.5 olarak gösterilmekte olup, tek tiptir (TÇMB, 2007).

1.1.6.14. Sülfatlara dayanıklı çimento

İçerisinde en fazla %5 C_3A miktarı olan ve bunun yanında $C_4AF + 2C_3A$ miktarı en fazla %25 olan klinkerle, bir miktar alçı taşının öğütülmesi ile meydana gelen çimentodur. 28 günlük basınç dayanımı SDÇ 32.5 olarak gösterilmekte olup, tek tiptir (TÇMB, 2007).

1.1.6.15. Süper sülfat çimentosu

İçerisinde, yüksek fırın cürufu ile kalsiyum sülfatın kütlece en az %65 oranında yer aldığı, bir miktar portland çimento klinkeri veya portland çimentosu ile birlikte öğütülmesi sonucu meydana gelen çimentodur. 28 günlük basınç dayanımı SSÇ 32.5 olarak gösterilmekte olup, tek tiptir (TÇMB, 2007).

1.1.6.16. Harç çimentosu

İçeriğinde puzolanik maddelerin, en fazla %60 oranında yer aldığı çimentodur. 28 günlük basınç dayanımı HÇ 16 olarak gösterilmekte olup, tek tiptir (TÇMB, 2007).

1.2. Bor

1.2.1. Bor hakkında genel bilgiler

Bu elementin, atom numarası 5, atom ağırlığı 10,81 olup, periyodik sistemde üçüncü grubun başında bulunmaktadır. Periyodik tablodaki simgesi "B" harfidir. Bor elementi, yerkürenin oluşumunda yer alan 92 adet elementten birisidir. Doğada yalnız bulunmazlar, oksijen ve başka elementler ile birleşerek, bor tuzlarını meydana getirir. Yer kabuğunda kristal ya da amorf yapıdaki bor miktarı ortalama 10 ppm mertebesinde olup, toprakta, kayalarda ve su içerisinde yaygın olarak bulunmaktadır (TMMOB, 2016).

Özgül ağırlığı 2,84 gr/cm^3, ergime noktası 2300^0 C'dir. Yarı iletken özelliğe sahip olup, metalle ametal arası bir elementtir. Amorf bir toz halindeki bor elementinin rengi koyu kahverengi olup, çok gevrek ve sert yapılıdır. Kristal halinin rengi ise sarımsı kahverengidir (Eyyüboğlu, 2013). Şekil 1.1 ve Şekil 1.2'de bor minerali örnekleri gösterilmiştir.



Şekil 1.1.Bor minerali



Şekil 1.2.Bor minerali kristal görünümü

Bor madeni görünüşte beyaz bir kaya şeklinde olup, çok sert ve ısıya dayanıklıdır. Elmastan sonra en sert elementtir (ETİ, 2009). Bor elementinin morfolojisine ve tane büyüklüğüne bağlı olarak kimyasal özellikleri belirlenir. Örneğin; Mikron ebadındaki amorf bor kolaylıkla ve bazen şiddetli olarak reaksiyona girerken kristalin bor kolay reaksiyona girmez. Su ile yüksek sıcaklıkta tepkimeye giren bor, borik asit ve diğer ürünleri oluşturur. Mineral asitleri ile tepkimeye girdiğinde, bu tepkime türü, sıcaklığa ve konsantrasyona bağlı olarak yavaş veya patlama şeklinde olabilir ve sonucunda borik asit oluşur (DPT, 2001).

Bor, yüksek sıcaklıklarda saf oksijen ile girdiği reaksiyon sonucunda bor oksit (B_2O_3), nitrojen ile girdiği reaksiyon sonucunda bor nitrit (BN), bunun yanında endüstri de kullanılan, magnezyum borit (Mg_3B_2) ve bazı metaller ile titanyum diborit (TiB_2) gibi bileşikler oluşabilmektedir (Metalurji Mühendisleri Odası, 2003).

Bor-oksijen bileşimlerine "borat" ismi verilir. Borun oksijene karşı duyarlılığı bulunmakta olup, oksit formlarda oluşur. En bilinen türü boraks olup, toprak ve kaya da, suyun bulunduğu ortamlarda ise borik asit ve kısmen de borat tuzları şeklinde bulunmaktadır (Bilici Başkan & Atalay, 2014).

Doğada, 230'dan fazla bor minerali bulunmaktadır. Bu mineralin içerisinde Boroksit (B_2O_3) içeriği artışı, borun değerini de artırmaktadır. Ülkemizde önemli bir değeri olan bor minerallerinin başlıcaları: Tinkal, kolemanit, üleksit, kernit, borasit, pandermit szaybelit ve hidroborasit'tir. Tablo 1.6' da yer alan Kolemanit, Üleksit ve Tinkal minerali, yapısında bor bileşikleri üretiminde sorunlar yaratan magnezyum, silis ve demir içermemektedir. Bu üç mineral, ülkemizin temel bor minerallerini oluşturmaktadır (Uğurlu, Özdemir, & Topçu, 2004).

Doğada serbest bulunmayan bor mineralleri, genellikle Na, Ca, Mg gibi alkali ve toprak alkali metallerle birleşmiş hidratlı boratlar olarak bulunurlar. Yapısal sınıflandırılma mineralde bulunan Kalsiyum (Ca), Sodyum (Na) ve Magnezyum (Mg) elementlerine göre yapılır. Kökeni Sodyum (Na) olanlara tinkal (boraks), Ca kökenli olanlara kolemanit ve Na-Ca kökenli olanlara üleksit denir (Çalık, 2002).

Tablo 1.6. Ülkemizde ticari önemi olan bor mineralleri

Mineral	Formül	% B2O3 İçerik
Kolemanit	$Ca_2B_6O_{11}.5H_2O$	50,8
Üleksit	$NaCaB_5O_9.8H_2O$	43,0
Tinkal	$Na_2B_4O_7.10H_2O$	35,5
Kernit	$Na_2B_{14}O_7.4H_2O$	51,0
Pandermit	$Ca_4B_{10}O_9.7H_2O$	49,8
Hidroborasit	$CaMgB_6O_{11}.6H_2O$	50,5

Bor elementinin, çeşitli metal veya ametal elementlerle oluşturduğu bileşiklerin gösterdiği farklı özellikler, endüstride birden fazla bor bileşiğinin kullanılmasına olanak sağladığı bilinmektedir. Bu nedenlerle sanayinin vazgeçilmez hammaddelerinden biridir. Yerkabuğunda çok az bulunmasına karşın, bor konsantrasyonlarının belirli yerlerde fazla miktardaki artışı, kullanılabilir bor yataklarının oluşumuna neden olur (Çalık, 2002).

1.2.2. Bor mineralleri

Tablo 1.7'de Dünyada ticari önem taşıyan bor mineralleri için (DPT, 2001) tablosuna göre bilgi verilmektedir.

Tablo 1.7. Dünyada ticari önem taşıyan bor mineralleri (DPT, 2001)

Mineral	Formül	% B_2O_3	Bulunduğu yer
Boraks (Tinkal)	$Na_2B_4O_7.10H_2O$	36,6	Türkiye, ABD, Arjantin
Kernit (Razorit)	$Na_2B_4O_7.H_2O$	5,0	Türkiye, ABD, Arjantin
Üleksit	$NaCaB_5O_9.8H_2O$	43,0	Türkiye, Arjantin
Propertit	$NaCaB_5O_9.5H_2O$	49,6	ABD
Kolemanit	$Ca_2B_6O_{11}.5H_2O$	50,8	Türkiye, ABD
Pandermit(Priseit)	$Ca_4B_{10}O_{19}.7H_2O$	49,8	Türkiye
Borasit	$Mg_3B_7O_{13}Cl$	62,2	Almanya
Szaybelit	$MgBO_2(OH)$	41,4	Kazakistan, Çin
Hidroborasit	$CaMgBO_{11}.6H_2O$	50,5	Türkiye

1.2.2.1. Boraks (Tinkal) ($Na_2B_4O_7.10H_2O$)

Doğada renksiz ve saydam olarak bulunan bir mineraldir. İçeriğinde yer alan bazı maddeler dolayısıyla pembe, sarımsı, gri renklerde de görülebilmektedir. Sertliği 2-2,5, özgül ağırlığı 1,7 gr/cm^3, B_2O_3 içeriği % 36,6 dir. Tinkalin, içerisindeki suyu kaybederek tinkalkonite dönüşebilir. Ülkemizde Eskişehir-Kırka yataklarından üretilmektedir (DPT, 2001).

1.2.2.2. Kernit (Razorit) ($Na_2B_4O_7.4H_2O$)

Doğada, iğne şeklinde, küme kristaller olarak, renksiz, saydam halde bulunur. Sertliği 3, özgül ağırlığı 1,95 gr/cm^3 ve B_2O_3 içeriği %51'dir. Soğuk suda çözünümü azdır. Ülkemiz de Kırka'da bulunmaktadır. Dünyada ise Arjantin ve A.B.D.'de bulunur (DPT, 2001).

1.2.2.3. Üleksit ($NaCaB_5O_9.8H_2O$)

Doğada karnıbahar şeklinde, sütun ve lifsi şekilde görülür. Beyaz rengin tonlarındaki rengi taşıyan üleksit mineralinin, en saf haliyle bulunduğu bilinmektedir. İpek parlaklığında bulunanlarda mevcuttur. Kolemanit, hidroboraksit ve probertit ile

birlikte bulunmaktadır. B_2O_3 içeriği % 43'tür. Ülkemizde Kırka, Bigadiç ve Emet yörelerinde, dünyada ise Arjantin'de bulunmaktadır (DPT, 2001).

1.2.2.4. Propertit ($NaCaB_50_9.5H_2O$)

Görünüşü kirli beyaz veya açık sarımsı renklerdedir. Işınsal ve lifsi şekilli kristaller halinde bulunur. 5 mm ile 5 cm arasında kristal boyutları değişmektedir. İçeriğinde B_2O_3 miktarı % 49,6'dır. Emet ilçesinde ve Doğanlar ve İğde köy bölgesinde tabakalı halde bulunmaktadır (DPT, 2001).

1.2.2.5. Kolemanit ($Ca_2B_6O_{11}.5H_2O$)

Kimyasal bileşeni % 27,28 CaO, % 50,81 B2O3, % 21,91 H2O 'dur. Sertliği 4-4,5, özgül ağırlığı 2,42'dir. İçerisindeki bor oksit % 50,8'dir**.** Renksiz, beyaz; şeffaf-yarı şeffaf görünümündedir. Çözünürlüğü suda yavaş ancak asitte (HCl) hızlıdır. Ayırıcı özellikleri: Kristal formu, mükemmel dilinimi, diğer boratlardan daha sert olması, yüksek ısı da, kıvrılan, sinterleşen ve eriyen bir yapıya sahip olmasıdır. Sıcak HCl' de çözünür. Çözelti soğuyunca borik asit ayrılır. Ayrışınca kalsite dönüşür. Ülkemizde en çok görülen bor mineralidir. Türkiye'de Emet, Bigadiç ve Kestelek de bulunmakta, dünyada ise Amerika Birleşik Devletlerinde bulunan fazla sayıda bu minerale ait yataklar vardır (DPT, 2001). Çimento özelliklerini olumsuz yönde etkileyebilecek herhangi zararlı bir bileşenin olmamasından dolayı inşaat sektöründe çimento katkı malzemesi olarak kullanılması büyük bir avantaj sağlamaktadır.

1.2.2.6. Pandermit (Priseit) ($Ca_4B_{10}O_{19}.7H_2O$)

Kireçtaşının görünümüne benzemekte olup, rengi beyaz ve masiftir. Ülkemizde bulunmakta olduğu yerler: Sultan çayırı ve Bigadiç yataklarıdır. B_2O_3 içeriği % 49,8'dir (DPT, 2001).

1.2.2.7. Hidroborasit ($CaMgB_6O_{11}.6H_2O$)

Işınsal ve iğne şekilli olarak, birbirini kesen kümeler haliyle bulunur. Lifsi bir yapıya sahiptir. B_2O_3 içeriği % 50,5'tir. Beyaz renklidir. Kolemanit, üleksit, probertit ile birlikte bulunabilir, bu durumda safsızlığa bağlı olarak sarı ve kırmızımsı renklerde (arsenik içeriğine göre) görülebilirler. Ülkemiz içerisinde Emet, Doğanlar, İğde köy yörelerinde ve Kestelek'te oluşmuştur (DPT, 2001).

1.2.3. İleri teknoloji bor ürünleri

Rafine bor ürünlerinde, yüksek teknoloji gerektiren metotlar kullanılması ile ticari olarak üretilen ve değişik alanlarda kullanılan yaklaşık 175 civarında bulunan, bor sektöründe nihai ürün sınıfında yer alan "Borun Özel Bileşikleri" mevcuttur. Bu özel bor bileşikleri farklı alanlarda, belirli amaçlara hizmet vermektedir. İleri teknoloji malzemesi olarak bor, bor alaşımları, bor tuzları ve bor kompleksleri kullanılır, ayrıca bu maddelerden yararlanılarak, başka maddelere katılması halinde onlara da ileri teknoloji malzemesi özelliği kazandırırlar. Bu ürünlerden günümüzde en çok bilinen ve kullanılanılar; Susuz Borik Asit(Bor Oksit), Sodyum Bor Hidrür ($NaBH_4$), Potasyum Bor Hidrür (KBH_4), Metal Borürler, Disodyum Oktaborat Tetrahidrat, Boranlar, Bor Triklorür, Metalik (Elementel) Bor, Ferrobor, Bor Karbür, Bor Nitrür, Çinko Borat ve Bor Fiberleri olarak adlandırabiliriz (Aklin, Uzunoğlu, Beyazıt, & Atabey, 2003).

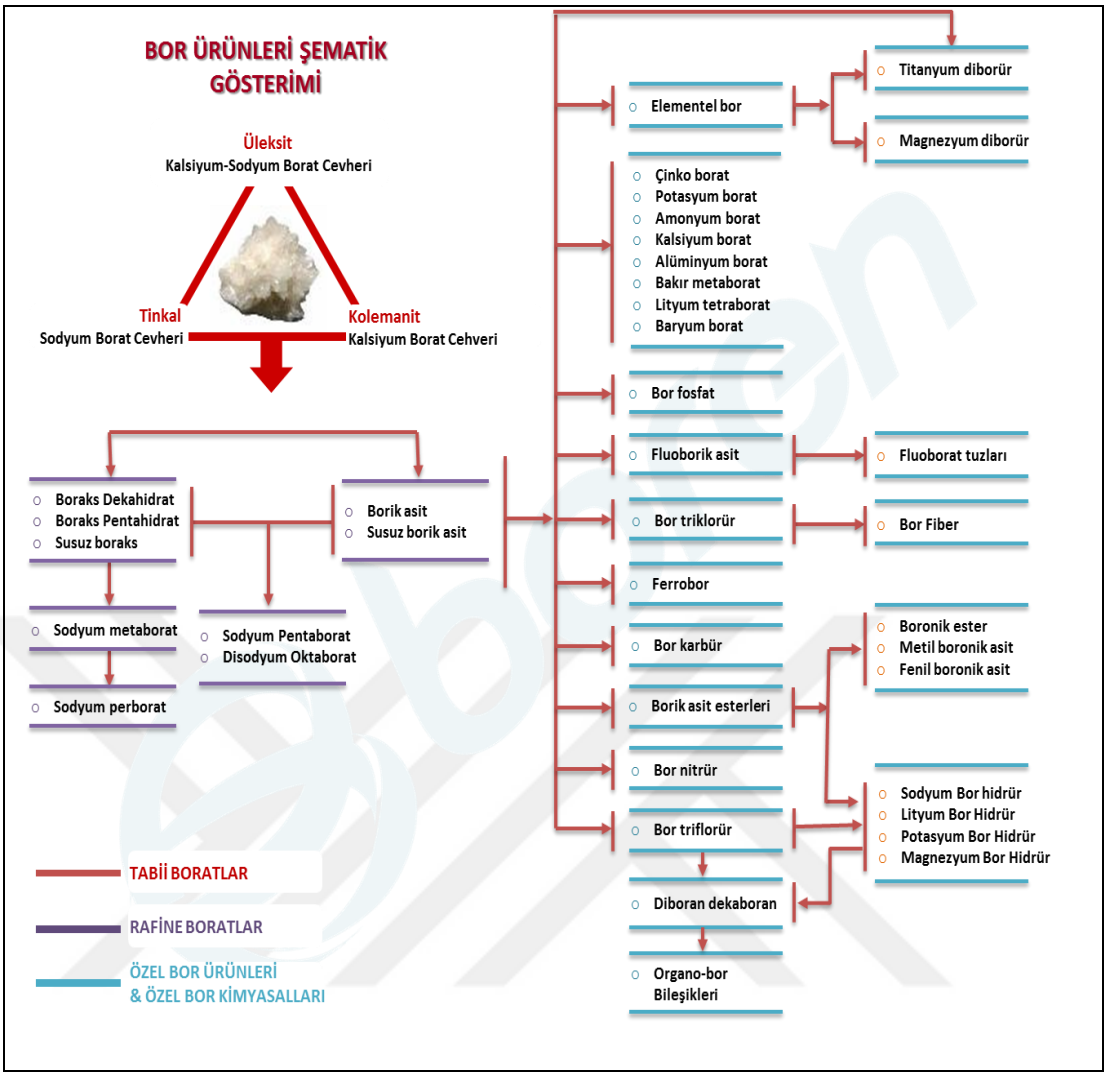
1.2.4. Bor ham ve rafine ürünleri

Ham borun genel tanımı: Bor içerisinde yer alan kil bileşiklerinin, cevherden temizlenmesi için zenginleştirme işlemi yapıldıktan sonra ortaya çıkan konsantre üründür. Sanayi alanında bu mineraller, ham bor veya öğütülmüş ham bor halinde sınırlı alanda ve miktarlarda (%10'u kadar) kullanılabilmekte, geriye kalanı ise ara ürün olarak nihai ürün üretiminde kullanılan rafine bor bileşiklerine dönüştürülerek değerlendirilmektedir. Tablo 1.8'de bu ürünler gösterilmektedir (Metalurji Mühendisleri Odası, 2003).

Tablo 1.8. Dünya piyasasındaki ham bor ve rafine ürünler (Metalurji Mühendisleri Odası, 2003)

Ham Bor	Rafine Ürünler
Tinkal, Üleksit, Kolemanit, HidroBorasit ve Pinnoit ile Szaibelyit Konsantreleri	Boraks Pentahidrat(Rafine,Kalsine), Boraks Dekahidrat(Rafine,Kalsine), Susuz Boraks, Borik Asit, Sentetik, Kalsine, Rafine Kolemanit, Kalsine Üleksit, Kalsine HidroBorasit, Kalsine Tinkal

Tabi boratlar, rafine boratlar ve Özel Bor Ürünleri şematik olarak gösterimi Şekil 1.3'te gösterilmektedir (İlhan, 2016).



Şekil 1.3. Bor ürünleri şematik gösterimi

1.2.5. Bor kullanım alanları ve kullanıldığı sektörleri

Borun mineral ve bileşiklerinin bugünkü kullanım alanları, Tablo 1.9'da verilmektedir (Aklin, Uzunoğlu, Beyazıt, & Atabey, 2003). Tablo 1.10'da ise kullanıldığı sektörler verilmektedir (Metalurji Mühendisleri Odası, 2003).

Tablo 1.9. Bor mineralleri ve bileşiklerinin kullanım alanları (Aklin, Uzunoğlu, Beyazıt, & Atabey, 2003)

Ürün	Kullanım Alanları
Amorf ve Kristal Bor	Askeri Piroteknik, Nükleer Silahlar ve Nükleer Güç Reaktörlerinde Muhafaza, Metallerde Alaşım Elemanı ve Deoksidan, Bakır ve Alaşımlarında Gaz Giderici, Alüminyum Dökümlerinde Tane Rafinasyonu, Yarı İletkenlerde vb
Bor Esterleri	Polimerizasyon Reaksiyonları için Katalist, Polimer Stabilizatörleri, Yangın Geciktiricileri
Bor Flamentleri	Havacılık ve Spor malzemeleri için Kompozitler
Bor Halidleri	İlaç Sanayii, Katalistler, Elektronik Parçalar, Bor Flamentleri ve Fiber Optikler
Bor Karbid	Kesme Ekipman Bileyicileri, Endüstriyel Yataklar, Çok Yüksek Sıcaklıklarda Korozyon ve Oksitlenme Direnci Gerektiren ekipmanlar
Bor Karbür	Askeri araçlarda Zırh Plakaları, Uzay Mekiklerinde Dış Yüzey Koruyucu, Aşındırıcılar, Tesviye Aksamları, Yüzey Parlatıcılar, Yüksek aşınma Direnci ve Esnemezlik Gerektiren Diğer Alanlar
Borazon	Yüksek Hızlı Kesiciler
Borik Asit	Antiseptikler, Göz Damlaları, Bor Alaşımları, Nükleer, Yangın Geciktirici, Naylon, Fotoğrafçılık, Tekstil, Dericilik, Gübre, Nikel Kaplama, kimyasal Katalist, Cam, Cam Elyafı, Emaye, Sır, vb
Fluoborik Asit	Kaplama Solüsyonları, Fluoborat Tuzlar, sodyum Bor Hidrürler
Kalsiyum Bor Cevheri (Kolemanit)	Tekstil Kalite Cam Elyafı, Bor Alaşımları, Cüruf Yapıcı, nükleer atık muhafazası
Özel Sodyum Boratlar	Fotoğrafçılık Kimyasalları, Yapıştırıcılar, Tekstil, "Finishing" Bileşikleri, Deterjan ve Temizlik Malzemeleri, Yangın Geciktiricileri, Gübreler ve Zirai Araçlar
Sodyum Bor Cevheri (Üleksit ve Probertit)	Yalıtım Cam Elyafı, Borosilikat Cam
Sodyum Bor Hidrürler	Özel Kimyasalları Saflaştırma, Kağıt Hamurunu Beyazlaştırma, Metal Yüzeylerin Temizlenmesi
Sodyum Metaborat	Yapıştırıcı, Deterjan, Zirai İlaçlama, Fotoğrafçılık, Tekstil
Sodyum Pentaborat	Yangın Geciktirici, Gübre

Tablo 1.9. (Devam) Bor mineralleri ve bileşiklerinin kullanım alanları (Aklin, Uzunoğlu, Beyazıt, & Atabey, 2003)

Sodyum Perborat	Deterjan ve Beyazlatıcı, Tekstil
Sodyum Tetraborat(Boraks)	Lehim ve Kaynak İşlemlerinde, MetalYüzeylerinin Temizlenmesi, Seramikler, Sırlama, Yüksek Mukavemetli Camlar vb.
Susuz Boraks	Gübre, Cam, Cam Elyafı, Metalurjik Cüruf Yapıcı, Emaye, Sır, Yangın Geciktirici
Trimetil Borat	Kaplama Solüsyonları, Fluoborat Tuzlar, Sodyum Bor Hidrürer

Tablo 1.10. Bor mineralleri ve bileşiklerinin kullanıldığı sektörler (Metalurji Mühendisleri Odası, 2003)

Kullanım Alanları	Kullanım Yerleri
Askeri & Zırhlı Araçlar	Zırh Plakalar, Seramik Plakalar, Ateşli Silah Namluları vb.
Cam Sanayi	Borosilikat Camlar, Laboratuar Camları, Uçak Camları, Borcam, Pyrex, İzole Cam Elyafı, Tekstil Cam Elyafı, Optik Lifler, Cam Seramikleri, Şişe, diğer Düz Camlar, otomotiv Camları vb.
Elektronik ve Bilgisayar Sanayi	Mikro Chipler, LCD Ekranları, CD-Sürücüleri, Akım Levhaları, Bilgisayar Ağlarında; Isıya-Aşınmaya Dayanıklı Fiber Optik Kablolar, Yarı İletkenler, Vakum Tüpler, Dieletrik Malzemeler, Elektrik Kondansatörleri, Kapasitörler, Gecikmeli Sigortalar, Bataryalar Laser Printer tonerleri vb.
Enerji Sektörü	Güneş Enerjisinin Depolanması, Güneş Pillerinde Koruyucu olarak, Hücre Yakıtları vb.
Fotoğrafçılık ve Görüş Sis.	Kamera, Mercek Camları, Fotoğraf Makinaları, Dürbünler ve Film İmalatları
İlaç ve Kozmetik Sanayi	Dezenfekte Ediciler, Antiseptikler, Diş Macunları, Lens Solüsyonları, Kolonya, Parfüm, Şampuan vb.
İletişim Araçlarında	Cep Telefonları, Modemler, Televizyonlar vb.
İnşaat Sektöründe	Çimentoya Mukavemet Artırıcı ve İzolasyon Amaçlıolarak
Kağıt Sanayi	Beyazlatıcı Olarak
Kauçuk ve Plastik Sanayi	Naylon vb Plastik Malzemeler vb.
Kimya Sanayi	Bazı Kimyasalların İndirgenmesi, Elektrolitik İşlemler, Flotasyon İlaçları, Banyo Çözeltileri, Katalistler, Atık Temizleme Amaçlı olarak, Petrol Boyaları, Yanmayan ve Erimeyen Boyalar, Tekstil Boyaları, Yapıştırıcılar, Soğutucu Kimyasallar, Korozyon Önleyiciler, Mürekkep, Pasta ve Cilalar, Kibrit, Kireçlenme Önleyicileri, Dezenfektan Sıvılar, Sabun, Toz Deterjanlar, Toz Beyazlatıcılar, Parlatıcılar, Mumyalama vb.
Koruyucu	Ahşap Malzemeler, Ağaçlarda Koruyucu, Boya ve Vernik Kurutucularında
Makine Sanayii	Manyetik Cihazlar, Zımpara ve Aşındırıcılar Kompozit Malzemeler, vb.

Tablo 1.10. (Devam) Bor mineralleri ve bileşiklerinin kullanıldığı sektörler (Metalurji Mühendisleri Odası, 2003)

Spor Malzemeleri	Kayak Aksamları, Tenis Raketleri, Balık Oltaları, Golf Sopaları, vb.
Tarım Sektörü	Biyolojik Gelişim ve Kontrol Kimyasalları, Gübreler, Böcek-Bitki Öldürücüler, Yabani Otlar vb.
Tekstil Sektörü	Isıya Dayanıklı Kumaşlar, Yanmayı Geciktirici ve Önleyici Selülozik Malzemeler, İzolasyon Malzemeleri, Tekstil Boyaları Deri Renklendiricileri, Suni İpek Parlatma Malzemeleri, vb.
Tıp	Ostreopoz Tedavilerinde, Alerjik Hastalıklarda, Psikiyatride, Kemik Gelişiminde ve Artiritte, Menopoz Tedavisinde BNTC Terapi Yöntemiyle Beyin Kanserlerinin Tedavisinde, Manyetik Rezonans Görüntüleme Cihazlarında vb
Uzay ve Havacılık Sanayi	Sürtünmeye-Aşınmaya ve Isıya Dayanıklı Malzemeler, Roket Yakıtı, Uydular, Uçaklar, Helikopterler, Zeplinler, Balonlar vb
Metalürji	Kaplama Sanayiinde Elektrolit Olarak, Paslanmaz ve Alaşımlı Çelik, Sürtünmeye-Aşınmaya Karşı Dayanıklı Malzemeler, Kaynak Elektrotları, Metalurjik Flaks, Refrakterler, Briket Malzemeleri, Lehimleme, Döküm Malzemelerinde Katkı Maddesi olarak, Kesiciler Kompozit Malzemeler, Zımpara ve Aşındırıcılar vb.
Seramik Sanayi	Emaye, Sır, Fayans, Porselen Boyaları vb
Nükleer Sanayi	Reaktör Aksamları, Nötron Emiciler, Reaktör Kontrol Çubukları, Nükleer Kazalarda Güvenlik Amaçlı ve Nükleer Atık Depolayıcı olarak,
Otomobil Sanayi	Hava Yastıklarında, Hidroliklerde, Plastik Aksamda, Yağlarda ve Metal Aksamlarda, Isı ve Ses Yalıtımı Sağlamak Amacıyla, Antifrizler vb
Patlayıcı Maddeler	Fişek vb.

1.2.6. Dünyada ve Türkiye'de bor rezervleri

Bor yatakları, daha çok Türkiye'de ve ABD'nin kurak, volkanik ve hidrotermal hareketin yüksek olduğu yerlerde bulunmaktadır (İlhan, 2016).

Dünya bor rezervlerinin, bulundukları ülkeler ve dağılımı Tablo 1.11'de verilmiştir. Ülkemizin, dünyada ki bor rezervlerinin %73'ü gibi önemli bir kısmına sahip olduğu görülmektedir. Türkiye'de bulunduğu miktar açısından en çok tinkal ($Na_2B_4O_7.10H_2O$) ve kolemanit ($2CaO.3B_2O_3.5H_2O$) cevherleri yer almaktadır. Tablo 1.12'de önemli bor mineralleri ve bulundukları yerler gösterilmektedir (TMMOB, 2016).

Tablo 1.11. Dünya bor rezervleri

ÜLKELER	TOPLAM REZERV (Bin Ton B_2O_3)	Dağılım (%)
Türkiye	953.300	72,8
A.B.D.	80.000	6.1
Rusya	100.000	7,6
Çin	47.000	3,6
Arjantin	9.000	0,7
Bolivya	19.000	1,5
Şili	41.000	3,1
Peru	22.000	1,7
Kazakistan	15.000	1,1
Sırbistan	24.000	1,8
TOPLAM	1.310.300	100

Tablo 1.12. Önemli bor mineralleri ve bulundukları yerler

MİNERAL ADI	KİMYASAL FORMÜLÜ	BULUNDUĞU ÜLKE
TİNKAL	$Na2B4O7 \cdot 10H_2O$	Türkiye-Arjantin-A.B.D.
KERNİT	$Na_2B_4O_7 \cdot 4H2O$	A.B.D-Arjantin
KOLEMANİT	$Ca_2B_6O_{11} \cdot 5H_2O$	Türkiye-A.B.D.-Meksika
ÜLEKSİT	$NaCaB_5O_9 \cdot 8H_2O$	Türkiye-A.B.D.
PROBERTİT	$NaCaB_5O_9 \cdot 5H_2O$	A.B.D.
SZAYBELİT	$MgBO2(OH)$	Kazakistan-Çin
PANDERMİT	$Ca_4B_{10}O_{19} \cdot 7H_2O$	Türkiye
DATOLİT	$Ca_2B_4Si_2O_{12} \cdot 2H_2O$	Kazakistan-Rusya
SASOLİT	H_3BO_3	İtalya
GÖL SULARI	Erimiş Tuzlar	A.B.D.-Şili-Bolivya

Ülkemizde borat yataklarının yer aldığı bölge Batı Anadolu'dur. Bu yataklar, Marmara Denizi'nin güneyinde, doğu-batı doğrultusunda yaklaşık 300 km'lik ve kuzey-güney doğrultusunda ise 150 km'lik bir alan içinde Bigadiç, Sultançayırı, Kestelek, Emet ve Kırka bölgelerinde bulunmaktadır.

Bor yataklarının Batı Anadolu'daki yer dağılımı aşağıdaki gibidir**;** (DPT, 2001)

• Bigadiç kolemanit ve üleksit yatakları (Balıkesir)

• Sultançayır pandermit yatağı (Balıkesir)

• Kestelek kolemanit ve probertit yatağı (Bursa)

• Emet kolemanit yatağı (Kütahya)

• Kırka boraks yatağı (Eskişehir)

Tablo 1.13'de ülkemizde yer alan bor mineralleri ve rezerv toplamları ile % oranları verilmektedir. (TMMOB, 2016)

Tablo 1.13. Ülkemizde yer alan bor mineralleri

Cevher Cinsi	Toplam (Milyon ton)	Pay (%)
Kolemanit (Bigadiç)	586,3	17,9
Üleksit (Bigadiç)	45,5	1,38
Tinkal (Kırka)	832,7	25,3
Kolemanit+Probertit+Üleksi(Emet)	1.815,3	55,2
Kolemanit (Kestelek)	5,3	0,22
Toplam	3.285,1	100,00

Türkiye'de bor ve bor ürünlerinin üretilmesi, işletilmesi ve pazarlanması faaliyetlerini gerçekleştirme görevi 1935 yılında Etibank adı ile kurulan ve yapılandırılmaya başlayan, 2004 yılında ise Eti Maden İşletmeleri olarak yeniden adlandırılan kurumumuza aittir.

1.2.7. İnşaat sektöründe bor kullanımı

Bor ürünleri inşaat sektöründe de yaygın olarak kullanılmaktadır. İnşaat malzemelerinde malzemenin yıpranmasını ve çürümesini önler, zamanla oluşan lekelenmelere ve renk vermelere karşı koruyucu görevi yapar, suya karşı direnç göstermek, alev geciktirici, ısı ve ses izolasyonu gibi özellikler sağlar.

İnşaat sektöründe çimento sektöründe de bor kullanılmaktadır. Çimento üretiminde klinker üretim aşamasında boroksit (B_2O_3) katkısının pişirme sıcaklığını düşürerek enerji tasarrufu sağladığı ayrıca yine boroksit katkısının prizlenme süresini uzattığı bilinmektedir.

1.3. Borlu Aktif Belit Çimentosu

DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi ve TÇMB(Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği)'nin birlikte oluşturduğu teknik bir komisyon tarafından yürütülen çalışmalar sonucunda Türk Standartları Enstitüsünce Mart 2008 yılında TS 13353 standart no.su ile Borlu Aktif Belit (BAB) çimentosu dünyada ilk defa bir Türk çimentosu olarak standartlaştırılmıştır. Standartta tanım olarak: Üretimi esnasında hammadde olarak kullanılan kireçtaşının bir kısmının yerine belirli bir tenöre sahip bor oksit (B_2O_3) ihtiva eden bor minerali ilâve edilerek, döner fırın içinde klinkerleşme reaksiyonları neticesinde, hızlı soğutma ile oluşan klinkerin, belirli bir oranda kalsiyum sülfat (CaSO4) ile öğütülmesi ile elde edilen bir tür Portland çimentosu olarak tanımlanmaktadır (Türk Standartları, 2008).

İçerisinde saf boroksit (B_2O_3) kullanılan çimentoya ait özelliklerde oldukça önemli sayılabilecek iyileşmeler sağlandığı tespit edilmiştir. Bu konuda kolemanitin, ülkemizde çimento içerisinde kullanılabilecek en uygun mineral olabileceği belirlenmiştir. Kolemanit mineralinin kimyasal yapısı % 28 CaO , % 6,5 SiO_2, % 42 B_2O_3 ve % 23,5 H_2O olarak bilinmektedir. Bu kimyasal yapı,çimento üretimi için gerekli olan hammaddeleri de bünyesinde barındırmakta olup, çimento özelliklerini olumsuz yönde etkileyecek bir reaksiyonda bulunmamaktadır. Birçok bor minerali içerisinde alkaliler bulunmakta olup, bunlar çimento içinde istenmemektedir. Kolemanitin içerisinde alkaliler yer almamaktadır. BAB çimentosu, kolemanit mineralinin çimento üretimi aşamasında, çimento hammaddelerine ilave olarak, çimento içerisindeki B_2O_3 oranı yaklaşık %3'ü geçmeyecek şekilde kullanılmasının sonucunda elde edilen çimentodur. Çimento üretimi sırasında döner fırın içindeki eriyişin viskozitesini ve yüzey gerilimini düşürdükleri için, kalsiyum boratlar oldukça faydalı akışkanlaştırıcı maddelerdir. Bor oksit sadece C_2S içinde çözünmektedir. Buna karşın C_3S'nin oluşumunu engellemektedir. Bu durumdan faydalanmak amacıyla, ülkemizde çok miktarda bulunan kolemanitin çimento üretiminde kullanılması ile ilgili çalışmalar başlatılmış ve çimento üretiminde en uygun bor minerali olduğu belirlenmiştir (DSİ, 2009).

BAB çimentosu üretimi ile bor minerali atıkları en verimli şekilde değerlendirilmektedir. Bu atığın klinker hammaddesi olarak kullanılmasıyla hem enerji tasarrufu sağlanmakta, hem de ortaya çıkan zararlı CO_2 gazı, önemli ölçüde

azalmaktadır. BAB çimentosunu düşük hidratasyon ısısına sahip olması sayesinde rötre yapmayan, sıkı ve çatlaksız kütle betonları elde edilmektedir. Yapısındaki bordan dolayı sahip olduğu yüksek nötron tutma kapasitesiyle radyasyon yalıtıcı özelliğe sahiptir. Hidrasyon için daha az suya gerek duyması, çimento dozajı ekonomisiyle birlikte beton boşluk oranını azaltır, dayanıklı ve kalıcı bir beton elde edilir (Güler, 2010).

Genel bir bakışla: Çimento hammaddesi olan kireç taşının yerine kısmen kolemanit koyulması ile, klinker pişirme sıcaklığı 1450 ^{o}C'den 1325 ^{o}C' lere düşürüldüğünden, enerjinin tasarrufu ve ayrıca CO_2 emisyonunda, % 25'lere varan ciddi bir azalma sağlanmaktadır.Atık olabilecek kolemanit bu yolla değerlendirilerek ülke ekonomisine katkı sağlanmaktadır. Çok düşük hidratasyon ısısına sahip olması nedeniyle kütle betonu yapıları için ideal bir çimentodur. Bu çimento, hidratasyon ısısı bakımından kütle betonu yapılar için standardın öngördüğü kriterleri hiçbir önleme gerek kalmaksızın tek basına sağlamaktadır. BAB çimentosunun hidratasyon ısısının çok düşük olma özelliği, sıcaklık etkisi ile oluşabilecek çatlakların daha kolay kontrol edilebilmesi, yüksek dayanıma sahip yüksek akışkanlı beton yapımı ve sıcaklık yükselmesinin kontrolü hususlarında avantaj sağlamaktadır. Böylece kütle betonlarında oluşan termal çatlakların önüne geçilmektedir. BAB çimentosunun durabilitesi çok yüksektir. BAB çimentosu ile normal portland çimentolu betonların suyu geçirgenliklerinin karşılaştırılması sonucunda 275 kg/m^3 dozajlı BAB çimentosu kullanılarak yapılan beton, suya ve kimyasallara karşı geçirimsizlik sağlarken, normal portland çimentosu ile yapılan betonda ancak 400 kg/m^3 dozajında sağlanabilmektedir. Bu durumda BAB çimentosu ile çok yüksek oranda çimento tasarrufu sağlanmış ve durabilite yönünden diğer çimentolara karsı belirgin şekilde üstünlük elde edilerek, ciddi iklim ve çevre şartlarına karsı dayanıklı yapıların imalatı mümkün olmaktadır. BAB çimentosunda fazlaca oluşan reaktif α-C_2S fazı ileri yaslarda yüksek dayanımlar vermektedir. Yüksek dayanımlı ve yüksek performanslı beton imalatlarında da kullanılması mümkün görülmektedir. C_3S fazının su ile hidratasyon reaksiyonu sonucu oluşan $Ca(OH)_2$, C_2S fazından oluşana göre 2 kat daha fazla gerçekleşmektedir. Kalsiyum hidroksit normal bir portland çimentosu pastasının hacimce % 20 ile % 25'ini oluşturur. Bu bileşen betondaki en zayıf bileşendir ve daha çok betonda agrega ile çimento pastası arasındaki ara

yüzeyde toplanmaktadır. Betonda kırılma genellikle agrega ile çimento pastası arasındaki yüzeyden baslar ve devam eder (DSİ, 2009).

2. ÖNCEKİ LİTERATÜR ÇALIŞMALARININ İNCELENMESİ

Targan (2001), yaptığı doktora tezinde, "Kula cürufu ve bentonit ile termik santral ve kolemanit konsantratörü atıklarının çimento üretiminde katkı maddesi olarak değerlendirilmesi" konusunda çalışma yapmıştır. Bu çalışmada kolemanit konsantratör atıklarının, PÇ 42,5 klinkerine Kula Cürufu ve Bentonit ile birlikte ikili karışımlar şeklinde % 4 oranında ilave ederek alçı taşı ile birlikte karışımı kuru bir şekilde öğüterek çimentonun mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Basınç dayanım değerleri dikkate alındığında kolemanit konsantratörü atığı ilavesiyle oluşturulan çimento harçlarının, basınç dayanım değerleri, PÇ değerlerine göre düşük çıkmış ancak Kula cürufu ile birlikte ikili karışım harcı oluşturduğu için tüm basınç dayanım değerleri TS' ye uygun çıkmıştır. Fakat 60 ve 90 günlük basınç dayanım değerleri incelendiğinde % 5 Bentonit ile birlikte kolemanit konsantratör atığı kullanılarak hazırlanan çimento harçlarının basınç dayanım değerleri TS değerlerinden yüksek çıkmıştır.

Yıldız (2008) , yapmış olduğu çalışmada PÇ 42.5 R çimentosuna ağırlıkça % 1, 3, 5 ve 10 oranında Emet Bor İşletme Müdürlüğü Hisarcık Konsantratör Tesisi eski atık barajından alınan kolemanit atığı ilave edilerek PÇ 42.5 R numune çimentoları hazırlamıştır. 2, 7 ve 28 günlük basınç ve eğilme dayanımları deneylerinin sonuçlarında da, katkı oranı artışıyla beraber, mukavemet değerlerinin düştüğü görülmüştür.

Korçak (2014), kolemanit atıklarının çimento üretiminde kullanılması ve performans özelliklerinin geliştirilmesi isimli doktora çalışmasında, Kolemanit Kaynaklı Borik Asit Fabrikası Atığı (KKBAFA), CEM I (42.5 R) çimento klinkerine %3, %5, %7, % 10 oranlarında ilave edilerek çimento numuneleri hazırlamıştır. KKBAFA katkılı çimentolarda doğal alçı taşı kullanılmamıştır. Hazırlanan çimento numunelerinin standartlar kapsamında, fiziksel, mekanik ve kimyasal analizleri yapılarak, CEM I (42.5 R) çimento ile mukayeselerini yapmıştır. TS EN 196-1 (2002) standardına göre hazırlanan harç numunelerinin 7, 28, 56 ve 90 gündeki basınç dayanımları ölçülmüştür. KKBAFA katkılı çimentoların basınç dayanımı deneyi sonuçları

referans CEM I (42.5R) numunesiyle karşılaştırıldığında tüm yaşlarda CEM I (42.5R) numunesinin basınç dayanımının üretilen katkılı harçlara göre daha yüksek olduğu görülmüştür. 7 ve 28 günlerde KKBAFA katkılı numunelerin basınç dayanımları %71- %90 arasında iken 56 ve 90 günlerde %92-%97'lere çıkmıştır. Bu durumun KKBAFA içeriğinden dolayı, puzolanik özellik göstermesinden kaynaklanmakta olduğu puzolanlar, betonda klinkerin hidratasyonu sonucu oluşan $Ca(OH)_2$ ile tepkimeye girdiğinden ve bu nedenle betona su karıştırıldıktan sonra, bir süre ortamda $Ca(OH)_2$'in toplanma süresince Portland çimentosuna seyreltici bir etki yaptığı şeklinde açıklanmış, literatürde ise ortamda $Ca(OH)_2$ toplanmasıyla, sistemin dayanımını artıran etkilerin puzolanların kullanımıyla ortaya çıktığı ve betonun erken dayanımında bir düşüş olduğu ifade edilmiştir. Tüm sonuçlar incelendiğinde %5 katkılı numunenin tüm analizlerde CEM I (PÇ 42.5R) çimentoya en yakın sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Erdoğmuş ve arkadaşları(2004), "sodyum karbonat'ın kolemanit konsantratör atığı + Karabük curufu katkılı portland çimentosunun mekanik özellikleri üzerine etkisi" üzerine yapmış oldukları çalışmada, kolemanit işletmesi bor atığı ve Karabük Cürufu'nun birlikte farklı karışımlarının Portland Çimentosuna ilavesinin çimentonun mekanik özelliklerine etkisini ve yine aynı çalışmada Portland çimentosuna Sodyum karbonat ilave edilmesinin yine çimentonun mekanik özelliklerine olan etkisini araştırmıştır. Elde edilen çimento harçlarının basınç dayanım-numune yası değerleri incelendiğinde, sodyum karbonat katkılı harçlarda 2gün,7gün ve 28günlük süre sonunda elde edilen basınç dayanım değerleri standartların altında olduğu görülmüştür. KKAKCKÇ(Kolemanit konsantratör atığı-Karabük cürufu katkılı çimento) numunesinin 28 günlük basınç dayanım değeri Referans numuneden yüksek bulunmuş bu durum Karabük cürufunun dayanımı artırıcı etkisi olduğu seklinde açıklanmıştır. Kolemanit konsantratörü atığı miktarını artırmanın ise basınç dayanımlarına katkısının beklentiyi karşılamadığı anlaşılmıştır. Yine de Kolemanit konsantratör atığının, %10'dan daha düşük oranlarda, Portland Çimentosu'na ilavesinin basınç dayanımına olumlu yönde katkısı olduğu, bu olayın diğer parçacıklar arasında büyükçe köprüler oluşmasında borun katkısı olduğu ile açıklanmaktadır. Bulgular da bu doğrultudadır. Hidratasyon sonucunda ortaya çıkan $Ca(OH)_2$, Bor bileşiklerin arasında oluşan reaksiyon parçacıkları arasında bağların oluşumuna yardım eder. Basınç dayanımı artar.

Türkel ve Gezmen(2017) çalışmasında, portland çimentosu ile farklı oranlarda kullanılan kolemanit mineralinin (%0, %2, %4, %6, %8, %10) ve uçucu kül içeren harçların (%0, %10, %20, %30) 7, 28, 56, 90. günlerdeki basınç ve eğilme dayanımlarını ve sülfata dayanıklılığını incelenmiştir. Erken yaşlarda, uçucu kül ve kolemanit mineralinin bir arada kullanıldığı karışımların, basınç dayanımları, referans numunesine göre düşüktür.Ancak ilerleyen yaşlarda dayanımlarında artış görülmüştür. Deney sonuçlarında dikkat çeken nokta; kütlece %2 ve %4 oranlarında kolemanit içerikli örneklerin,ilerleyen yaşlarda basınç dayanımlarının referans numunesinden büyük ya da yakın sonuçlar gösterdiğidir. Yalnızca kolemanit mineralinin kullanıldığı örneklerin, basınç ve eğilme dayanımları, kolemanit mineralinin kullanım miktarının artırılması ile düşmüştür. Eğilme ve basınç dayanımı açısından, %2 ve %4 oranında kolemanit minerali kullanılan örnekler, en iyi sonuçları veren örnekler olmuştur.

Özmal ve ark (2005), yaptıkları araştırmalarda K. K. A(Kolemanit konsantratör atığı) ile beraber çeşitli puzolanik katkılar kullanarak (uçucu kül (UK.), alünit) harç üretmişler ve bu harcı 40x40x160 mm boyutlarındaki kalıplara dökerek basınç dayanımını bulmuşlardır. Üretilen tüm çimento tiplerinde katkı oranının artması ile basınç dayanımları bir miktar arttığı görülmüştür (Tablo 2.1).

Tablo 2.1. Özmal ve arkadaşlarının basınç dayanım deneyi sonucu

Karışım İsmi	İçeriği	Basınç Dayanımı (N/mm²)		
		2. Gün	7. Gün	28. Gün
KKAKÇ-1	%1 KKA Katkılı Çimento	17,2	32	45,5
KKAKÇ-3	%3 KKA Katkılı Çimento	17	30,5	43,1
KKAKÇ-5	%5 KKA Katkılı Çimento	16,8	27,6	41,5
KKAKÇ-7	%7 KKA Katkılı Çimento	15	26,8	37,3
KKAKÇ-9	%9 KKA Katkılı Çimento	13,8	24,5	34,5
KKAUKKÇ-5	%1KKA+%4 UK Kat. Çim.	20	32,9	46,5
KKAUKKÇ-10	%3KKA+%7 UK Kat. Çim.	19,2	31	45,4
KKAUKKÇ-15	%5KKA+%10 UK Kat. Çim.	18,5	28,6	44,6
KKAUKKÇ-20	%7KKA+%13 UK Kat. Çim.	16,5	27,2	42,6
KKAUKKÇ-25	%9KKA+%16 UK Kat. Çim.	14,4	25	41,8
KKAUKAKÇ-6	%1KKA+%4 UK+%1 Alünit Kat. Çim.	18,2	35	50,4

Tablo 2.1. (Devam) Özmal ve arkadaşlarının basınç dayanım deneyi sonucu

KKAUKAKÇ-11	%3KKA+%7 UK+%1 Alünit Kat. Çim.	15,2	34,9	49,1
KKAUKAKÇ-16	%5KKA+%10 UK+%1 Alünit Kat. Çim.	12,2	33,4	50,1
KKAUKAKÇ-21	%7KKA+%13 UK+%1 Alünit Kat. Çim.	3,9	32,2	50,8
KKAUKAKÇ-26	%9KKA+%16 UK+%1 Alünit Kat. Çim.	-----	------	-----

Keleş ve arkadaşları (2005) yaptığı çalışmada, Etibor A.Ş.'nin Bigadiç'te yer alan tesislerinden alınan kolemanit konsantrasyon atığı ile Bandırma tesislerinden alınan borojipsi kullanmışlardır. Klinkere içerisine, öğütülmüş borojips %2.5, %5, %7.5, %10 ve %15 miktarlarında eklenerek, farklı nitelikte çimentolar elde edilmiş ve bu çimentoları su ve kum ile standartlarda belirtilen miktarlarda karıştırarak, farklı harçlar hazırlanmıştır. Basınç ve eğilme dayanımları sonuçlarına bakıldığında, atık eklenenen çimentoların dayanımlarında %5 atık ilavesine kadar PÇ42.5 portland çimentosu ile elde edilen mukavemet değerlerinden daha yüksek veya aynı olduğu, %5 atık ilavesinden sonra ise mukavemetin giderek azaldığı görülmüştür. Bu nedenle tavsiye edilmekte olan katkı oranı maksimum %5'tir.

Topçu ve arkadaşları (2006), tinkal üretimi sırasında ortaya çıkan bor atıklarının (B_2O_3 oranı %9,63) çimento yerine kullanılması (ağırlıkça %0, %3, %7, %10 oranlarında) ile üretilen harçlarda, yüksek sıcaklığın zararlı etkilerine karşı %3 ve daha düşük oranlarda bor atığı kullanılmasını önermişlerdir.

Kula ve ark (2001), yapmış olduğu çalışmada kolemanit konsantratör atığı, taban külü, uçucu külü belirli oranlarda çimento ile yer değiştirerek harç numunelerin fiziksel ve mekanik etkileri araştırmışlardır. Sonuçlar çimento yerine malzemelerin mekanik özellikleri üzerinde net etkiye sahip olduğunu göstermiştir. %25 oranında bile uçucu kül ve taban külü kullanımı tanık numunesine göre benzer veya daha iyi sonuç göstermiştir. Kolemanit cevheri atıkları ağırlıkça %9 oranında kullanılması basınç dayanımı azaldığı halde değerler TS sınırı içinde bulunmaktadır. Sonuç olarak, kolemanit cevheri atıkları, uçucu kül ve taban külü çimento esaslı malzeme olarak kullanılabilirliği tespit edilmiştir.

Güler (2010) yapmış olduğu yüksek lisans çalışmasında, numune üretiminde CEM I 42.5 R tipi çimento kullanmış, içerisine çimentonun ağırlıkça %10, %20, %30'u kadar borlu çimento ve mineral katkı olarak da uçucu kül ve yüksek fırın cürufu ilave etmiştir. Yüksek sıcaklık etkisi 20, 200, 400 ve 600 ^{0}C olmak üzere dört farklı

sıcaklıkta değerlendirilmiştir. Tek tür çimento ve üç farklı katkı maddesinin kullanıldığı bu çalışmada havada soğutma yapılmıştır. Kür sureleri 28, 56 ve 90 gün olarak değerlendirilmiştir. Harçların mekanik özelliklerindeki değişim, bazı farklılıklar olsa da, sıcaklık artısı ile dayanım azalması seklinde görülmüştür. Basınç dayanım kayıpları kontrol gruplarıyla karşılaştırıldığında 600^0 C kadar meydana gelen kayıplar %25 dayanımını olumsuz yönde etkilemiş, sıcaklık arttıkça, basınç dayanımı azalmıştır. Farklı mineral malzemeler kullanılarak üretilen harç numunelerinde, basınç dayanımının genel olarak sıcaklık artışı ile azaldığı görülmüştür. Tüm gruplar için eğilme dayanımındaki azalma, basınç dayanımındakinden daha fazla olmuştur. Buradan yapılar da eğilmeye maruz kalan elemanların, basınca maruz kalan elemanlara göre yüksek sıcaklığa daha hassas olduğu sonucuna varılabilir. Bunun sebebi de yüksek sıcaklık etkisiyle meydana gelen çatlaklardır.

Eyyüboğlu (2013) yüksek lisans çalışması kapsamında klinker ve alçıtaşı ile birlikte Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü konsantratör tesisi atık havuzundan alınan, % 5,56, % 10,47 ve % 15,89 oranında B_2O_3 içeren kolemanit atıkları kullanarak kompoze çimento karışımları meydana getirmiştir. Farklı B_2O_3 oranlarına sahip bor atıkları, klinker ve alçıtaşına ağırlıkça %1, %3, %5, %10 oranlarında ilave edilmiştir. 12 farklı bor katkılı çimento harcı numunesi oluşturulmuştur. Ayrıca CEM I Tipi çimento harcı ise katkısız referans numunesi olarak kullanılmıştır. 28 gün bakımı yapılan harç numunelerinin, 300 ºC, 600 ºC ve 900 °C' de, basınç dayanımı değerleri karşılaştırılmıştır. Yapılan yüksek sıcaklık deneylerinde numunelerin üzerinde, 600 ve 900 ºC' lerde, çatlakların meydana geldiği görülmüştür. 900°C' de bor katkılı çimentoların basınç dayanımları, CEM I çimentosu basınç dayanımından bir oldukça yüksek çıkmıştır. Betonun kimyasal yapısında sıcaklığın artışı ile meydana gelen değişiklikler, dayanım ve dayanıklılığında azalmalara neden olmaktadır. Bu durum aderans bozulması, çimento hamurunda kalsiyum silika hidrat jellerinin yapısının bozulması ve agregadaki ısıl genleşme farklılıkları, yüksek sıcaklıkta beton dayanımındaki düşüşün nedeni olarak değerlendirilmiştir.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. Malzeme

3.1.1. Çimento

Bağlayıcı olarak Nuh Çimento A. Ş.'den alınan CEM 1 42.5 tipi çimento kullanılmıştır. Çimentoya ait laboratuvar sonuçları Tablo 3.1 ve 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Çimentoya ait kimyasal analiz sonuçları (%)

Çimento	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Na_2O	K_2O	KK[a]	ÇK[b]
%	20,14	4,50	3,53	64,5	1,11	2,3	0,16	0,67	2,80	0,69

*KK[a]:Kızdırmazlık kaybı , ÇK[b] :Çözünmeyen Kalıntı

Tablo 3.2. Kullanılan çimentonun fiziksel analiz sonuçları

Özellikler	Değer	
Özgül Ağırlık (gr/cm^3)	3,12	
Donma Süresi	Başlangıç	Son
Priz süresi (Vicat, dakika)	177	222
Özgül Yüzey (cm^2/gr)	3598	
90 μ Elek Üstü (%)	0,5	
45 μ Elek Üstü (%)	13,50	
Hacim Sabitliği (mm)	1	
2 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	26,6	
7 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	46,0	
28 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	59,9	

3.1.2. Kolemanit

Türkiye'nin ETİ MADEN işletmeleri Emet-Kütahya bölgesinden, kolemanitin konsantre edilmesi işlemleri sonucu ortaya çıkan atığı kullanılmıştır. Granüler halde temin edilmiştir. Kolemanite ait analiz sonuçları Tablo 3.3'de verilmiştir.

Tablo 3.3. Kolemanite ait kimyasal analiz sonuçları (%)

Kolemanit	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Na_2O	K_2O	KK[a]	ÇK[b]
%	18,77	5,23	1,98	17,5	6,78	0,2	0,08	1,40	-	-

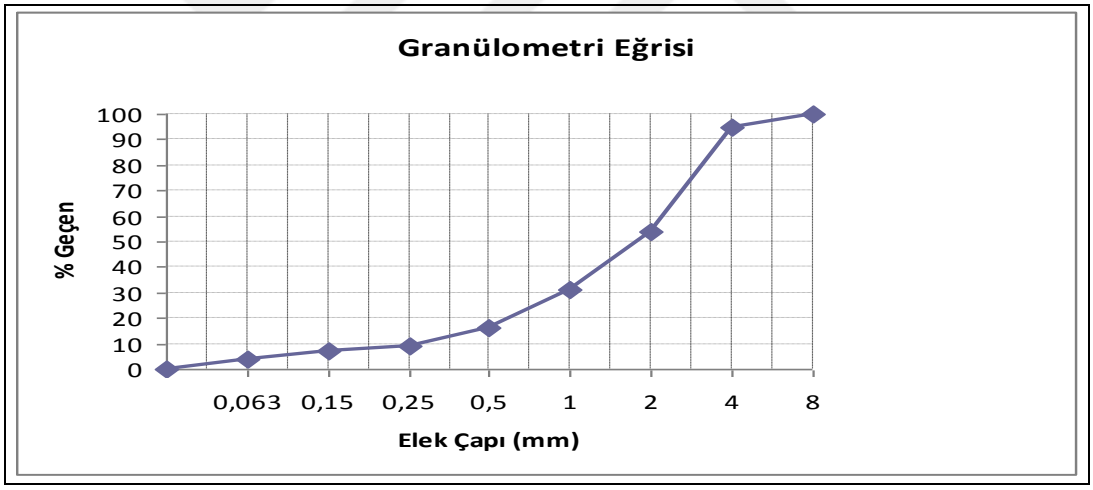
KK[a]:Kızdırmazlık kaybı , ÇK[b] :Çözünmeyen Kalıntı

3.1.3. Su

Deneylerde Kocaeli Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemeleri Laboratuarı'na, şehir şebekelerinden gelen musluk suyu kullanılmıştır.

3.1.4. Kum

Çalışmada kullanılan kırma kum Kavanlar Hazır Beton firmasından temin edilmiştir. 2,62 gr/cm^3 özgül ağırlığında olup %1,8 su emme değerine sahiptir. Şekil 3.1'de kırma kumun granülometri eğrisi görülmektedir.



Şekil 3.1. Kırma kumun granülometri eğrisi

3.2. Yöntem

Deneysel Çalışma dört aşamada gerçekleştirilmiştir. Bunlar; deney numunelerinin Hazırlanması, ısıtma-soğutma işlemi, basınç dayanımı ve eğilme dayanımı testleri yapılmasıdır.

Tüm numunelerde (kum/bağlayıcı) oranı sabit 3 olarak alınmıştır. Kolemanit, çimento harcı içerisine çimento ile ağırlıkça yer değiştirme yapılarak konulmuştur. Referans numunesi, %100 Portland çimentosu içerikli olarak hazırlanmıştır. Sonraki

numunelerde ise çimento içerisinde %2, %3, %4, %5, %6, %7, %8, %9 ve %10 oranlarında malzemenin kolemanit, ile aynı miktarda yer değişimi yapılmıştır.

Numuneler hazırlanırken CL ifadesi kullanılmıştır. CL00 içerisinde kolemanit malzemesi yer almayan %100 portland çimentosunu ifade etmektedir. CL yanında yer alan diğer rakamlar ise harç içerisinde çimento ile yer değiştirilen kolemanit oranını göstermektedir.

Çalışma yapılırken toplam ağırlık içerisinde, her bir numunede 1200gr. kum, 400gr. Bağlayıcı (çimento+yerdeğiştirilen kolemanit)kullanılmıştır. Her karışımın hazırlanması aşamasında kullanılacak su ve malzeme miktarı gramın onda biri hassasiyetindeki elektronik tartı ile tartılmıştır.

Tablo 3.4. Karışım oranları

Numune	Su/Bağlayıcı	Kolemanit (%Ağr.)
CL00	0,50	0
CL02	0,50	2
CL03	0,51	3
CL04	0,51	4
CL05	0,52	5
CL06	0,52	6
CL07	0,53	7
CL08	0,53	8
CL09	0,53	9
CL10	0,54	10

İlk olarak yukarıdaki bilgilere göre: CL00 numunesi hazırlanmıştır. Bunun için 1200gr. elenmiş kum, 400gr. Çimento ve Tablo 3.4 Karışım oranlarında yer alan (su /bağlayıcı) miktarı kadar su ilavesi yapılmıştır. Her karışımın hazırlanması aşamasında kullanılacak su ve malzeme miktarı gramın onda biri hassasiyetindeki elektronik tartı ile tartılmıştır. CL00 numunesi malzeme ağırlıklarına göre formülasyon Denklem (1.1)'de yeralmaktadır.

$$\text{Kum} + \text{Bağlayıcı} + \text{Su /Bağlayıcı} = 1200\text{gr.} + 400\text{gr.} + 200\text{gr} \quad (1.1)$$

Numunelerin hazırlanması aşamasından ASTM C305 standardına uygun olarak, Şekil 3.2'deki hobart mikser kullanılarak karıştırılmıştır. Karıştırıcıya katı haldeki

malzemeler öncelikli atılmış, daha sonra üzerine su ilave edilmiştir. Taze karışım halindeyken Şekil 3.3'deki yayılma tablasında harcın önce su oranına bakılmış, daha sonra 40x40x160mm boyutlarındaki çelik kalıplara yerleştirilmiştir. Şekil 3.4'de 40x40x160mm çelik kalıp gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Hobart mikser



Şekil 3.3.Yayılma tablası



Şekil 3.4.40x40x160mm çelik kalıp

CL00 grubu için toplam 18 adet harç numunesi yapılmıştır. Her grup 3 adet numuneden oluşmaktadır. Dökümü yapılan numuneler kalıplarda 24 saat süre boyunca oda sıcaklığında bekletilmiştir. Kalıptan çıkarılan numuneler 27gün boyunca kür havuzunda 20±3°C'deki su içerisinde bekletilmiştir. 28. Gün kür havuzundan çıkarılmıştır. Şekil 3.5 te kür havuzu gösterilmektedir.



Şekil 3.5.Kür havuzu

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Kıvam (Yayılma) Deneyi

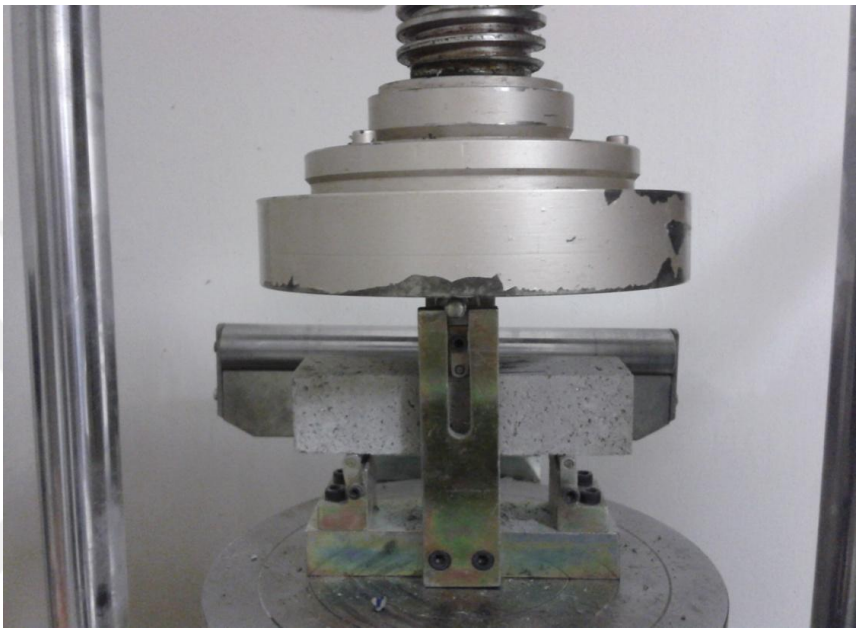
Harç içerisinde kullanılan su miktarları ASTM C230 standardına uygun olacak şekilde yapılan yayılma deneyleri sonunda belirlenmiştir. Her karışımın hazırlanmasında kullanılacak su miktarının tayini, yayılma tablası kullanılarak yapılmıştır. Referans numunesi olan tamamı Portland çimentosu kullanılarak elde edilen numunenin yayılma değeri 160±1mm olarak belirlenmiştir. Daha sonrasında, kolemanit içeren numunelerde yayılma değeri sabit tutulmuş, karışımlara koyulan su oranları değiştirilmiştir. Harç numunesinin hazırlanmasında kullanılan karışım miktarları Tablo 4.1'de karışım oranlarında gösterilmektedir.

Tablo 4.1. Karışım oranları

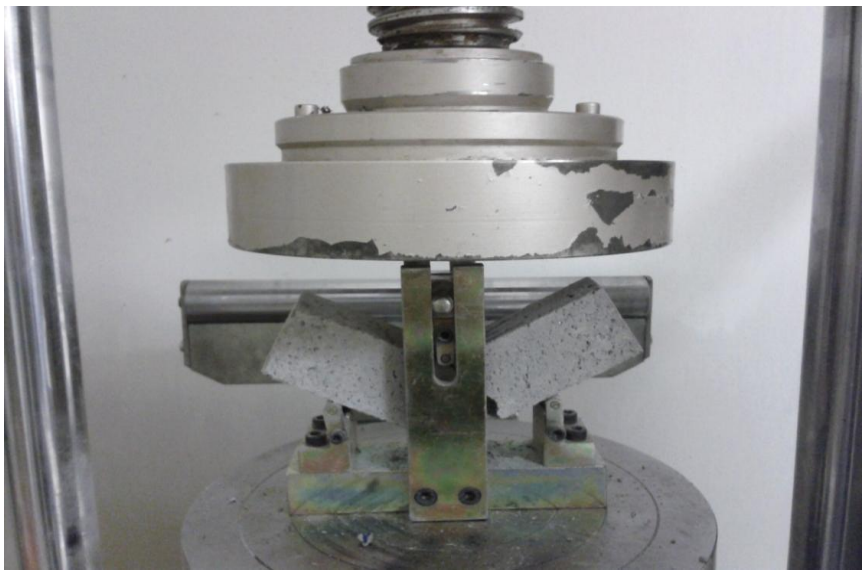
Numune	Yayılma (mm.)
CL00	160
CL02	160
CL03	159
CL04	160
CL05	159
CL06	161
CL07	162
CL08	160
CL09	161
CL10	160

4.2. Eğilme Dayanımı Deneyi

Eğilme dayanımı deneyi 40x40x160 mm boyutundaki numuneler üzerinde ASTM C348 standardına uygun olarak mesnet açıklığı 100 mm olacak şekilde numune ortasından tek noktadan 0,02 MPa/sn yükleme hızında gerçekleştirildi(Şekil 4.1, Şekil 4.2) Deney aletinin verdiği eğilme dayanımı sonuç değerleri MPa olarak kayıt edilmiştir.



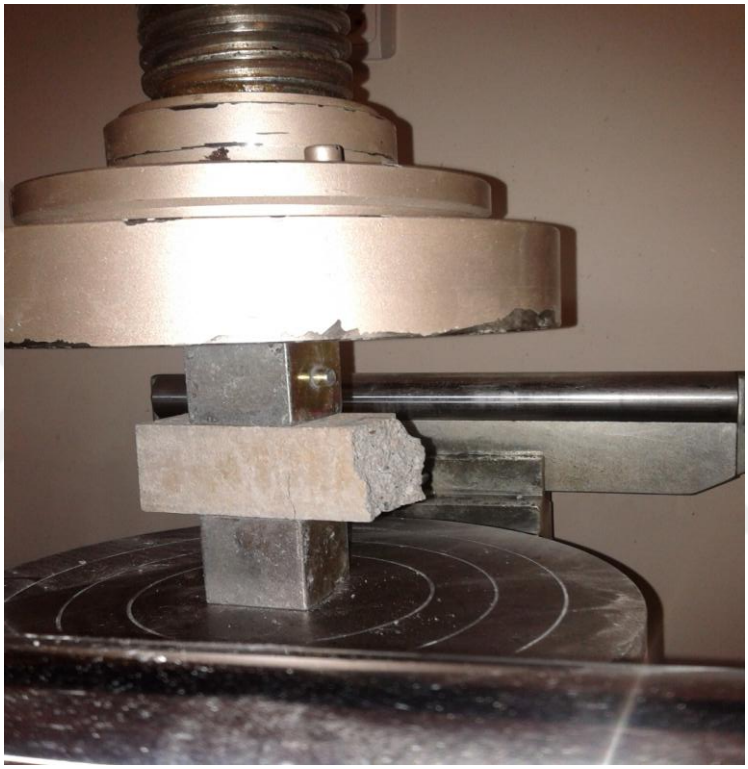
Şekil 4.1.Eğilme dayanımı deneyi



Şekil 4.2.Eğilme dayanımı deneyi kırılma anı

4.3. Basınç Dayanımı Deneyi

Basınç dayanımı deneyi 40x40x160 mm boyutundaki numuneler üzerinde yapılan eğilme deneyi sonrasında ikiye ayrılan parçalar üzerinde, ASTM C349-08 standardına uygun olarak numune altına ve üstüne 40 mm genişlik ve uzunlukta çelik plakalar yerleştirilerek yapılmıştır. Deney hızı 0,1 MPa/sn yükleme ile gerçekleştirilmiştir(Şekil 4.3).Deney aletinin verdiği basınç dayanımı sonuç değerleri N/mm^2 (MPa) olarak kayıt edilmiştir.



Şekil 4.3.Basınç dayanımı deneyi

4.4. Sıcaklık Testleri

Çalışmada 20, 150, 300, 450, 600, 750 ^{0}C'lik sıcaklık dereceleri kullanılacağından sadece 20^{0}C'deki basınç ve eğilme dayanımı sonuçlarının alınacağı numunelere ısıl işlem uygulanmamıştır. Değişik sıcaklık derecelerine maruz bırakılacak deney numuneleri kürleme havuzlarından çıkarılıp, kurulandıktan sonra, 150, 300, 450, 600 ve 750°C'lik sıcaklık değerlerine ulaşılana kadar yüksek sıcaklık fırını içerisinde 3 saat süre ile bekletilmişlerdir. Her bir sıcaklık derecesinde 3'er adet numune kullanılmıştır Yapılan deneylerde, numunelerin 3 saatten daha fazla, yüksek sıcaklıkta kalamadığı, yükleme olmaksızın yapısal bütünlüğün bozulduğu

gözlemlenmiştir. Bu nedenle maksimum sıcaklık derecesi 750°C, fırında kalma süresi ise 3 saat olarak belirlenmiştir. Deneylerde zaman ve sıcaklık kontrollü fırın kullanılmıştır. Bu sayede test sıcaklıklarına ulaşılırken sıcaklık artış oranı 8-10°C/dk değerinde sabit tutulmuştur. Sıcaklık artış oranının bu değerlerin üstünde olacak şekilde numuneye uygulanması sonucunda numunelerde termal gerilmelere bağlı olarak hasarların oluştuğu gözlenmiştir. Şekil 4.4 'de Fırın gösterilmektedir.



Şekil 4.4.Deneylerde kullanılan kül fırını

Fırından çıkarılan numunelerin hepsi havada soğutma yöntemi uygulanarak 20^0C'ye soğutulmuştur.

Deneysel çalışma da, CL02, CL03, CL04, CL05, CL06, CL07, CL08, CL09, CL10 numuneleri için, toplamda 400gr olan bağlayıcı çimentonun ağırlıkça %2, %3, %4, %5, %6, %7, %8, %9, %10'lik kısmına, çimento yerine kolemanit koyularak bütün işlem sırası aynen gerçekleştirilmiştir. Toplam 180 adet harç numunesi üretilmiştir.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Normal portland çimentosu kullanılarak meydana getirilen harçlar ile Kolemanit konsantratör atığı katkılı harçların ,yüksek sıcaklık etkisine karsı eğilme ve basınç dayanımının araştırıldığı bu çalışmada, elde edilen deney sonuçları tablolarda verilmiştir. Ortaya çıkan verilerle, deneylerde gerekli hesaplamalar yapılmış, bulunan değerler sıcaklık artışına bağlı olarak irdelenmiştir.

5.1. Kıvam (Yayılma)

Kıvam değerleri 160±1mm.'ye sabitlenmiştir. Karışımlara koyulan su oranları değiştirilerek değerin fazla değişmemesi sağlanmıştır. Aslında kolemanit kullanımı harcın kıvamında düşüşe sebep olmaktadır. Ancak, bu düşüşü telafi etmek için su miktarında küçük artışlar yapılarak kıvam ayarlanmıştır.

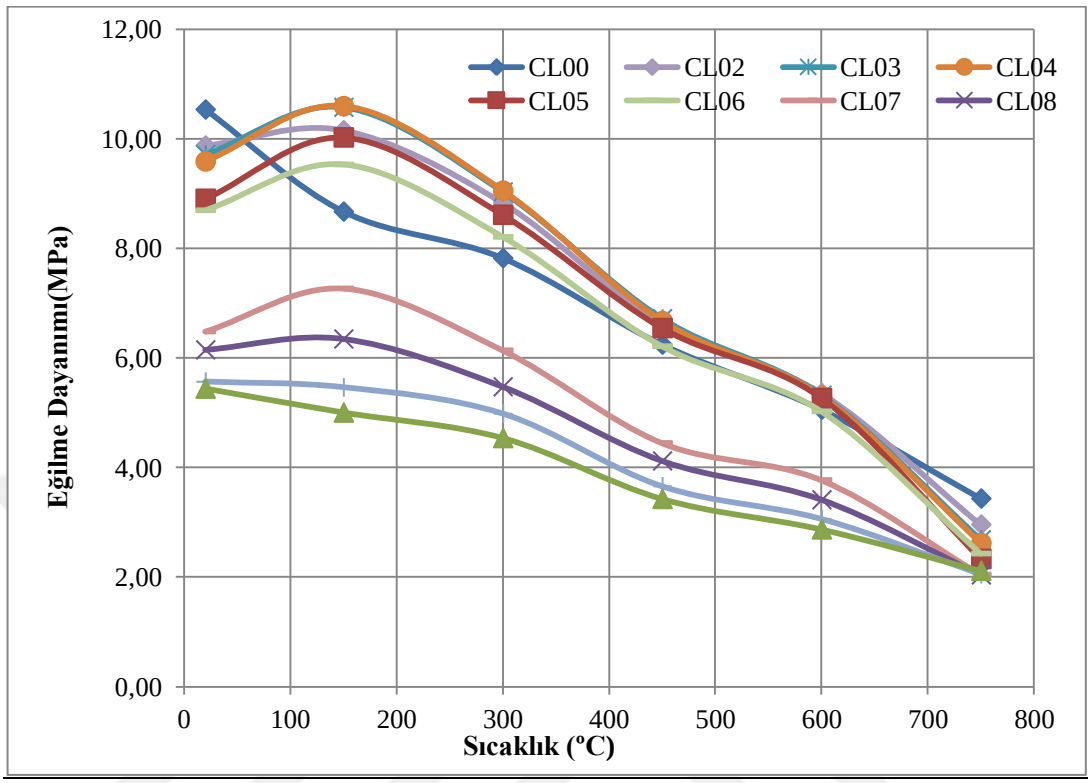
5.2. Sıcaklığın Eğilme Dayanımına Etkisi

Tablo 5.1. Eğilme Dayanımı Test Sonuçları

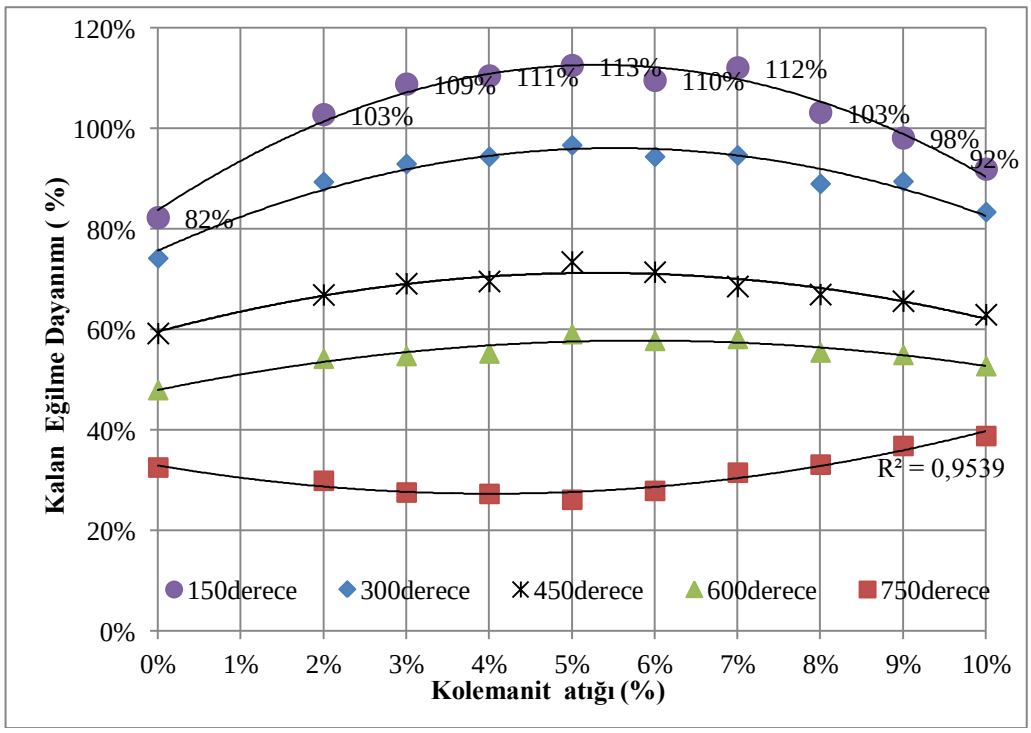
EĞİLME DAYANIMI DEĞERLERİ (MPa)						
Kolemanit Miktarı (%)	Sıcaklık (°C)					
CL%	20	150	300	450	600	750
0%	10,53	8,67	7,82	6,24	5,05	3,00
2%	9,87	10,15	8,83	6,61	5,35	2,96
3%	9,71	10,57	9,03	6,71	5,32	2,68
4%	9,58	10,59	9,05	6,67	5,30	2,62
5%	8,90	10,02	8,61	6,54	5,26	2,33
6%	8,69	9,53	8,21	6,21	5,02	2,43
7%	6,48	7,27	6,14	4,45	3,77	2,04
8%	6,14	6,34	5,47	4,12	3,41	2,04
9%	5,56	5,46	4,98	3,65	3,06	2,05
10%	5,44	5,00	4,54	3,42	2,87	2,24

Çimento harçlarının ASTM C348-97 standartlarına göre yapılmış deney sonucu eğilme dayanımı Tablo 5.1'de verilmektedir. Kolemanit konsantratör atığı katkısız çimento harcı numunesinin eğilme dayanımının sıcaklık artışı ile ters orantılı olarak azaldığı görülmektedir. Referans numunesinin 20^0C 'deki dayanımı 10,53 MPa iken, 750^0C sıcaklığa maruz kaldıktan sonra ki değeri 3,00MPa 'a kadar düşmüştür. Bu da

referans numunesinin yüksek sıcaklık altında %71 oranında eğilme dayanımı kaybının olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.1. Eğilme dayanımı-Sıcaklık ilişkisi grafiği



Şekil 5.2.Sıcaklık etkisiyle kolemanit atıklarının eğilme dayanımına etkisi

Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de sırasıyla sıcaklık-eğilme dayanımı ilişkisi ile kolemanit atığı ve kalan eğilme dayanımı yüzdesi ilişkisi verilmiştir. Sıcaklık basınç dayanımı ilişkisinin verildiği grafik incelendiğinde numuneye uygulanan sıcaklıklar arttığında basınç ve eğilme dayanımında ciddi düşüşlerin meydana geldiği belirlenmiştir. Referans numunesi 750^0C sıcaklığa maruz kaldıktan sonra basınç kapasitesinin %68'ini, eğilme dayanımının ise %71'ini kaybettiği belirlenmiştir. 150^0C ye kadar olan düşük sıcaklık seviyelerinde sıcaklık etkisine maruz kalan % 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8 oranında kolemanit atığı katkılı harçların eğilme dayanımlarında %3 ile %13 oranları arasında artış gözlenmiştir. Harç içerisine giren kolemanit atığı yüzdesi arttıkça düşük sıcaklıklarda meydana gelen artış gözlenmemiştir. Şekil 5.2'de verilen kolemanit-kalan eğilme dayanımı yüzdesi grafiği incelendiğinde harç içerisine giren kolemanit yüzdesinin belirli bir orana kadar dayanım kaybını azalttığı bu optimum oran sonrasında ise eğilme dayanımında ciddi bir azalmaya sebebiyet verdiği görülmektedir. Grafik incelendiğinde yapılmış olan bu çalışmada optimum kolemanit yüzdesi yaklaşık %5 olarak görülmektedir. Bu durumun ortaya çıkışının, kolemanit katkı içeren numunelerin, katkısız numunelere göre daha yoğun bir içyapıya sahip olduğundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu orana kadar gerçekleşen dayanım artışının nedeni bu sıkı düzendeki içyapıdır.

5.3. Sıcaklığın Basınç Dayanımına Etkisi

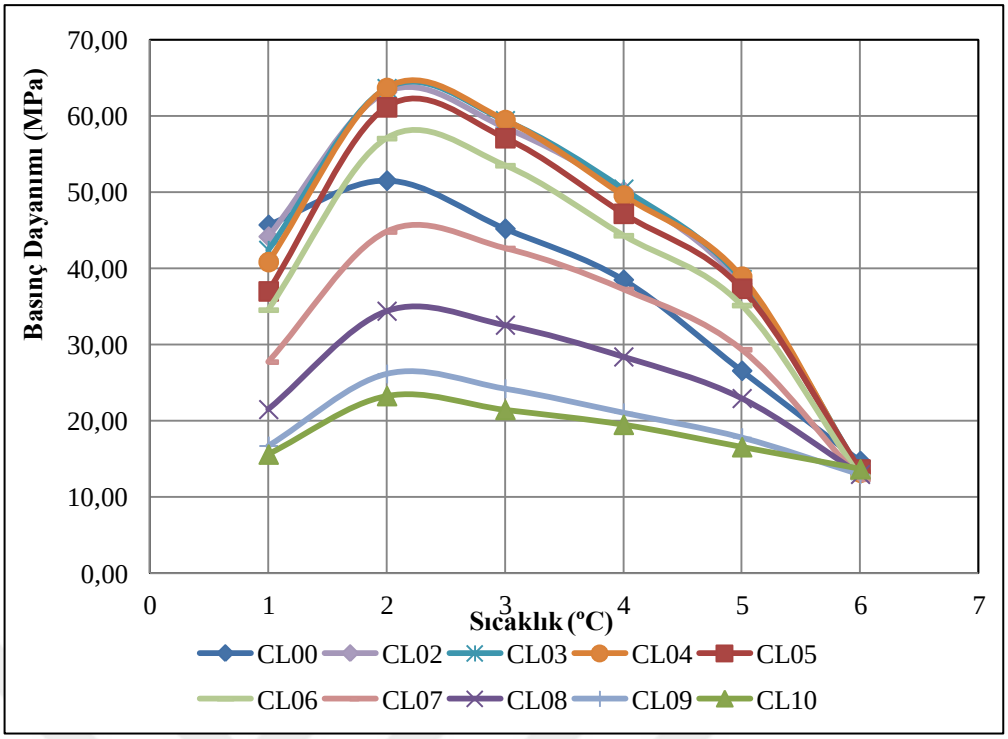
Çimento harçlarının ASTM C349-08 standartlarına göre 28 günlük basınç dayanımı Tablo 5.2'de verilmektedir. Kolemanit konsantratör atığı katkısız çimento harcı numunesinin basınç dayanımının sıcaklık artışı ile ters orantılı olarak azaldığı görülmektedir. Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'te sırasıyla sıcaklık-basınç dayanımı ilişkisi ile kolemanit atığı ve kalan basınç dayanımı yüzdesi ilişkisi verilmiştir. Referans numunesinin 20^0C 'de ki dayanımı 45,73 MPa iken, 750^0C sıcaklığa maruz kaldıktan sonra ki değeri 14,73 MPa 'a kadar düşmüştür. Bu da referans numunesinin yüksek sıcaklık altında %68 oranında basınç dayanımı kaybının olduğunu göstermektedir. Basınç dayanım tablosunu incelediğimizde, 20-150^0C arasında bir artış, 150 -300 ^{0}C arasında bir dayanım azalması başlamıştır.

Ara değerlerin ölçümü yapılmamıştır. Yüksek sıcaklığa tabi tutulan betonlar kullanılarak yapılan, daha önceki çalışmalarda, beton dayanımlarındaki artışın, sıcaklıktan dolayı oluşan enerjinin, çimento tanelerinin hidratasyonunu

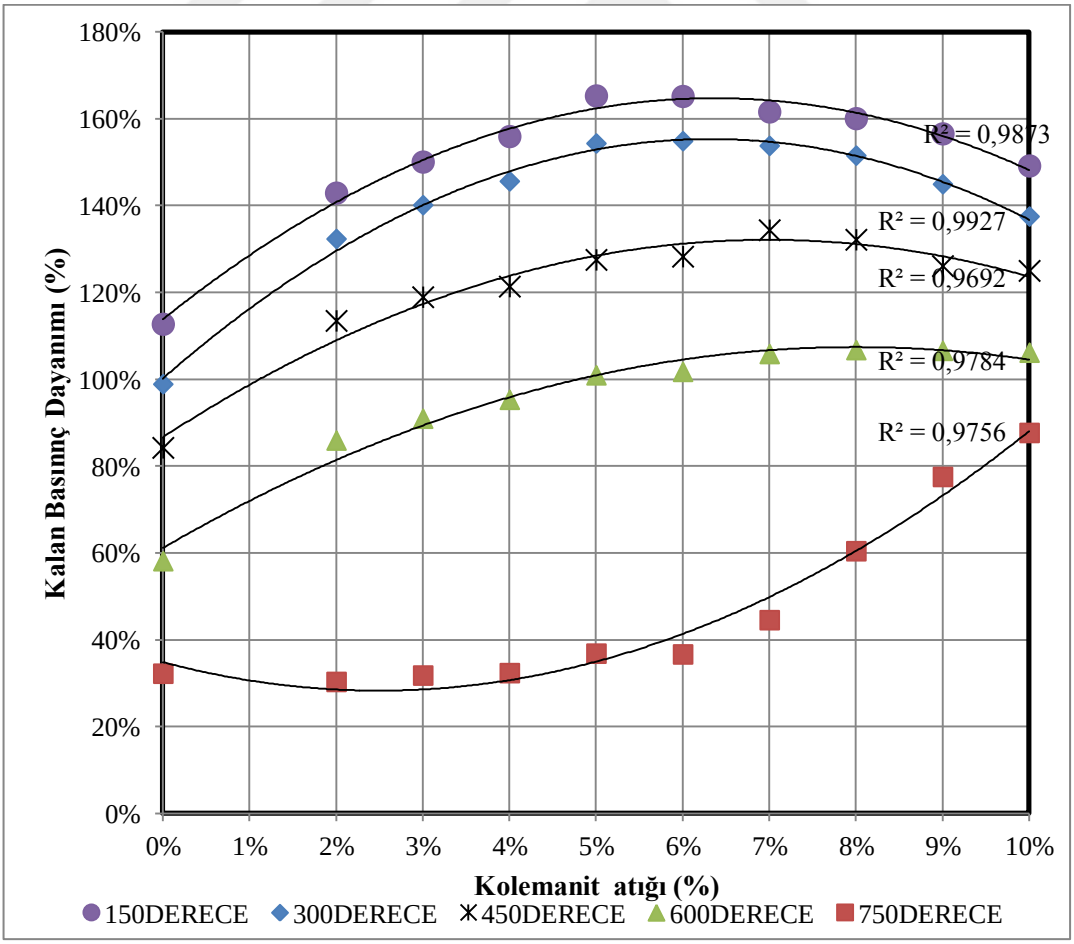
tamamlamasına sebep olması ile beraber ortaya çıktığı görülmüştür. Bir çalışmada dayanım değerlerinin arttığı sıcaklık derecesi 250^0C iken, başka bir deneysel çalışmada 200˚C olarak verilmiştir. Bu durum literatürde, $Ca(OH)_2$ bozunmasının 350°C sıcaklıktan önce gerçekleşmediği, bu nedenle de dayanım kaybının ortaya çıkmadığı şeklinde açıklanmaktadır. Oda sıcaklığında yapılan deney sonuçlarına bakıldığında çimento harcı içerisine giren kolemanit konsantratör atığı oranı %5' e kadar basınç dayanımında ciddi bir değişime neden olmamaktadır. Oranın artması ile basınç dayanımında düşüş olduğu gözlemlenmiştir. Kolemanit atığı içerisindeki, potasyumun, kalsiyum hidroksit ile reaksiyonu sonucunda içyapı arasında oluşan bağların, bu düşüşe neden olduğu düşünülmektedir. Kolemanit atığı yüzdesinin belirli bir oranın üzerine çıkması sonucunda ise çimento miktarındaki ciddi azalma, dayanım kaybına yol açmaktadır.

Tablo 5.2. Basınç dayanımı test sonuçları

BASINÇ DAYANIMI DEĞERLERİ (MPa)						
Kolemanit Miktarı (%)	Sıcaklık (°C)					
CL %	20ºC	150ºC	300ºC	450ºC	600ºC	750ºC
0%	45,73	51,54	45,22	38,52	26,58	14,73
2%	44,20	63,16	58,49	50,15	37,98	13,40
3%	42,40	63,63	59,42	50,43	38,56	13,48
4%	40,85	63,70	59,49	49,58	38,93	13,21
5%	37,00	61,16	57,11	47,19	37,35	13,63
6%	34,54	57,05	53,50	44,31	35,14	12,66
7%	27,72	44,80	42,63	37,25	29,34	12,35
8%	21,49	34,40	32,57	28,40	22,94	12,99
9%	16,71	26,17	24,23	21,08	17,81	12,96
10%	15,60	23,27	21,45	19,50	16,56	13,67



Şekil 5.3. Sıcaklık - Basınç dayanımı grafiği



Şekil 5.4.Sıcaklık etkisiyle kolemanit atıklarının basınç dayanımına etkisi

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında; Türkiye'de çok ciddi rezervlere sahip bor endüstrisinin yan ürünü olarak ortaya çıkan kolemanit konsantratör atığının farklı alanlarda değerlendirilmesi amacı ve çimento sektörüne uygun kimyasal içeriğe sahip olması nedeniyle beton içerisinde çimento ile yer değiştirilmesi suretiyle yüksek sıcaklıklar altında eğilme dayanımına nasıl bir katkı yapacağı araştırılmıştır. Bu nedenle hazırlanmış olan 180 adet numune önce yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılmış sonra da her bir numuneye basınç ve eğilme deneyi yapılmıştır. Yapılmış olan deneysel çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmektedir.

Oda sıcaklığında referans numunesinin eğilme dayanımı 10,53 MPa iken 750°C sıcaklığa maruz kaldıktan sonraki dayanım değeri 3,00 MPa kadar düşmüştür. Buda referans numunesinin yüksek sıcaklık altında %71 oranında eğilme dayanımı kaybının olduğunu göstermektedir. Bu oran %10 kolemanit atığı katkılı numunelerde %59'a kadar düşüş göstermiştir. Aynı şekilde oda sıcaklığında referans numunesi basınç dayanımı 45,73MPa iken 750°C sıcaklığa maruz kaldıktan sonraki dayanım değeri 14,73MPa'a düşmüştür. Bu oran %10 kolemanit atığı katkılı numunelerde %12'ye kadar düşüş gösterdiği görülmüştür.

150°C ye kadar olan düşük sıcaklık seviyelerinde sıcaklık etkisine maruz kalan %2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8 oranında kolemanit atığı katkılı harçların eğilme dayanımlarında %3 ile %13 oranları arasında artış gözlenmiştir Aynı durum basınç dayanımı içinde görülmektedir. Eğilme dayanımı – kolemanit yüzdesi ilişkisinde harç numuneleri için katılabilecek optimum değer bu çalışmada %5 olarak belirlenmiştir. Basınç dayanımı – kolemanit yüzdesi ilişkisinde harç numuneleri için katılabilecek optimum değer bu çalışmada %4 olarak belirlenmiştir. Bu atıklar harç ve beton içerisinde çimentolu bağlayıcılarla birlikte ağırlıkça %5 oranı kadar yer değiştirilmesi ile değerlendirilebilir. Sonuç olarak yapılan katkı ile birlikte çimento özelliklerinde düşüş gözlenmiştir ancak standartların üzerinde bulunduğu ve maliyeti düşürdüğü için üretiminde bir problem görülmemiştir.

KAYNAKLAR

ASTM 230/C230-M-98, Standart Specification For Flow Table For Use In Tests Of Hydraulic Cement., *Annual Book Of ASTM Standarts,* ASTM International, United States, 2002.

ASTM 305-99 Standart Practice For Mechanical Mixing Of Hydraulic Cement Pastes and Mortars Of Plastic Consistency, *Annual Book of ASTM Standarts*, ASTM İnternational, United States, 2002.

ASTM, C.-0 Standart Test Method for Compressive Strength Of Hydraulic Cement Mortars(Using Portions of Prisms Broken in Flexure), *Annual Book of ASTM Standarts*, ASTM İnternational, United States, 2002.

ASTM, C.-9 Standart Test Method For Flexural Strength of Hydraulic Cement Mortars. *Annual Book of ASTM Standarts,* ASTM İnternational, United States, 2002

Ağar S., Farklı Özellikte Puzolan Katkılı Harçların Durabiliteye Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009, 251912.

Aklin K., Uzunoğlu İ., Beyazıt Z., Atabey R., Türkiye'nin Stratejik Yeraltı Kaynakları Ekonomik Değerleri ve Uluslararası Yeri, *İstanbul Ticaret Odası Yayınları*, 2003, **144.**

Akman M., Betonarme Yapılarda Yangın Hasarı ve Yangın Sonunda Taşıyıcılığın Belirlenmesi, *Sika Teknik Bülten*, 2001,**35**.

Akman S., *Yapı Malzemeleri,* İTÜ Yayıncılık, İstanbul, 1990.

Akyıldız A., Beton Üretiminde Bor Atıklarının Puzzolan Materyal Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Doktora Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, 2012, 309922.

Alma H., Acemioğlu B., Türkiye'nin Bor Kaynakları, Kullanım Yerleri ve Orman Ürünleri Endüstrisi, *Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2001, 20-27, .

Aydın S., Baradan B., Effect of Pumice and Fly Ash Incorporation On High Temperature Resistance Of Cement Based Mortars, *Cement And Concrete Research,* **37**(6), 988-995, 2007.

Aydın S., Baradan B., Yüksek Sıcaklığa Dayanıklı Bağlayıcı Geliştirilmesi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası 5. Ulusal Beton Kongresi,İstanbul. Türkiye, 24-27 Haziran 2003.

Baradan B., Yazıcı H., Ün H., *Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite),* DEÜ Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir, 2002.

Bilici Başkan M., Atalay N., İçme ve Sulama Sularında Bor Kirliliği ve Bor Giderme Yöntemleri, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* ,2014, **20**(3) 78-84.

Bingöl A., Gül R., Donatı-Beton Aderansı Yüksek Sıcaklıkların Beton Dayanımına ve Aderansa Etkileri Konusunda Bir Derleme. *Tübav Bilim Dergisi, 2009,* **22**(2) , 211-230.

Çalık A., Türkiye'nin Bor Madenleri ve Özellikleri, *Mühendis ve Makine Dergisi*, **508**, 36-41, 2002.

Çelik K., Uçucu Kül, Yüksek Fırın Curufu ve Traslı Çimentolarla Üretilen Aynı Mukavemet Sınıfındaki Harçların Dayanım ve Dayanıklılığının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 2005, 197433.

Demirel B., Gültekin E., Metakaolin Katkılı Taşıyıcı Hafif Betonun Yüksek Sıcaklık Altındaki Davranışının İncelenmesi, *2nd International Sustainable Buildings Symposium,* 138-143, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2015.

DPT, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, *Beş Yıllık Kalkınma Planı*, 65, 2001.

DSİ,*DSİTeknikBülteni.*http://www2.dsi.gov.tr/kutuphane/dsi_teknik_bulten/105/files/assets/basic-html/page2.html / (Ziyaret tarihi: 05.10.2018).

Erdogan Y., Genç H., Demirbas A., Utilization of Borogypsum For Cement, *Cement and Concrete Research,* 1992, **22**(5), 841-844.

Erdoğan T., *Beton,* ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş., Ankara, 2003.

Erdoğan T., Erdoğan Y., *Bağlayıcı Malzemelerin ve Betonun Onbin Yıllık Tarihi,* ODTÜ Yayıncılık, Ankara, 2007.

Erdoğan Y., Zeybek M. S., Demirbaş A., Cement Mixes Containing Colemanite From Concentrator Wastes. *Cement and Concrete Research,*1998, **28**(4), 605-609.

Erdoğmuş E., Yılmaz B., Erdoğan Y., Avcıata U., Sodyum Karbonatın Kolemanit Konsantratör Atığı+Karabük Curufu Katkılı Portland Çimentosunun Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi, *II. Uluslararası Bor Sempozyumu*, Eskişehir, 23-25 Mayıs 2004.

Eti M. İ., *Bor Sektörü Raporu,* Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 2009.

Eyyüboğlu S., Kolemanit Konsantratör Atıklarının Çimento Üretiminde Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 2013, 352068.

Güler S., Mineral Katkılı Harçlarda Yüksek Sıcaklığın Mekanik Özelliklere Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2010, 256015.

İlhan B., Bor Minerali Kullanım Alanları ve Önemi, https://feliksn.files.wordpress.com (Ziyaret tarihi: 06.03.2018).

Keleş G., Kocakerim M., Boncukçuoğlu R., Borojips ve Kolemanit Konsantrasyon Atığının Çimentoda Kullanılması, *I. Ulusal Bor Çalıştayı,* Boren-Etimaden, Ankara, 2005.

Kızılkanat B., Yüzer N., Yüksek Sıcaklık Etkisindeki Harcın Basınç Dayanımı-Renk Değişimi İlişkisi, *IMO Teknik Dergisi*, 2008, **289,** 4381-4392.

Korçak Ö., Kolemanit Atıklarının Çimento Üretiminde Kullanılması ve Çimentonun Performans Özelliklerinin Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2014, 395755.

Kula I., Olgun A., Erdogan Y., Sevinc V., Effects of colemanite Waste, Cool Bottom Ash, and Fly Ash On The Properties Of Cement, *Cement and Concrete Research*, 2001, **31**(3), 491-494.

Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, *Çimento Hammaddeleri,* Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara, 2001.

Olgun A., Kavas T., Erdogan Y., Once G., Physico-Chemical Characteristics Of Chemically Activated Cement Containing Boron, *Building And Environment*, 2007, **42**(6), 2384-2395.

Özmal F., Erdoğan Y., Olgun A., Atar N., Kula İ., Kalfa O., Bor Endüstri Atıkları Uçucu Kül ve Alünit İçeren Çimentoların Fiziksel ve Mekaniksel Özelliklerinin İncelenmesi, *1. Ulusal Bor Çalıştayı Bildiriler Kitabı*, Boren-Eti Maden, Ankara, 2005.

Pilevneli C., *Bilyalı Bir Karşılaştırmalı Değirmende İnce Boyutlu Klinker Öğütmesinin İncelenmesi.* Zonguldak Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 2003, 140000.

Sevim U. K., Colemanite ore Waste Concrete With Low Shrinkage and High Split Tensile Strength, *Materials and Structures*, 2001, **44**(1), 187-193.

Subaşı S., İşbilir B., Ercan İ., Uçucu Kül İkameli Çimento Numunelerinin Mekanik Özelliklerine Yüksek Sıcaklığın Etkisi, *Politeknik Dergisi*, 2001, **14**, 141-148.

TAKK, D. G., Boren, *Borlu Aktif Belit (BAB) Çimentonun Özellikleri ile Klasik ve Kütle Betonlarında Kullanılabilirliği*, www.boren.gov.tr (Ziyaret tarihi: 04.06.2018).

Targan Ş., Kula Cürufu, Bentonit, Kül ve Kolemanit Atıklarının Çimento Üretiminde Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2001, 129152.

Targan Ş., Olgun A., Erdogan Y., Sevinc V., Effects of Supplementary Cementing Materials On The Properties of Cement And Concrete, *Cement And Concrete Research*, 2002,**32**(10), 1551-1558.

Taşdemir M., Şengül Ö., Sönme R., Yüksek Oranda Uçucu Kül İçeren Normal ve Yüksek Dayanımlı Betonların Klor Geçirimliliği, www.imoistanbul.org.tr: imoistanbul.org/imoarsiv/ist-bulten/SAYI77/yokucucu.doc (Ziyaret 04.06.2018).

TÇMB, *Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği*,http:// www.tcma.org.tr (Ziyaret Tarihi: 06.04.2018).

Topçu İ., Boğa A., Demir A., Bor Atıklı Çimento Harçlarında Yüksek Sıcaklık Etkisinin İncelenmesi, *III. Uluslararası Bor Sempozyumu (2-4 Kasım)*, (s.117-121), BOREN-TMMOB, Ankara, 2006.

TS EN-197-1, T, Çimentolar Bölüm 1:Birleşim Özellikleri ve Uygunluk Kriterleri, Ankara, 2002.

Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği, *Bor Raporu*, Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği, Ankara, 2016.

Türk Mühendisleri Odası, *Bor Madeni*. www.metalurji.org.tr: www.metalurji.org.tr/dergi/dergi134/d134_1158.pdf (Ziyaret tarihi: 06.08.2018).

Türk Standartları, E (2008). TS 13353 Borlu Aktif Belit (BAB) Çimentosu. *Tarifler Bileşim Özellikler ve Uygunluk Kriterleri* . Türk Standartları Enstitüsü.

Türkel S., Gezmen T., Bor Minerali ve Uçucu Kül İçeren Harçların, mekanik Özelliklerinin ve Sülfata Dayanıklılığının İncelenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi* , cilt 19, sayı 57, 2017.

Uğurlu A., Boraks Üretiminde Ortaya Çıkan Atık Malzemenin Çimento İçerisinde Puzolanik Malzemeler İle Birlikte Kullanılmasının Çimento Üzerindeki Etkileri, Doktora Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,* Eskişehir, 2009, 244480.

Uğurlu A., Özdemir M., Topçu İ., Bor İçeren Kil Atıklarının Çimento İçerisinde Değerlendirilmesi. *II. Uluslararası Bor Sempozyumu*, Eskişehir, 27-29 Nisan 2004, 405-411.

Yazıcı H., Türkel S., Baradan B., High Temperature Resistance of Pumice Mortar, *II. International Symposium Cement And Concrete Technology in the 2000s.* İstanbul, 2000.

Yıldız S., Emet Bor İşletmesi Hisarcık Konsantratör Atıklarının Portland Çimentosu Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Afyonkarahisar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar, 2008, 179965.

Yüzer N., Aköz F., Öztürk L. D., Compressive Strength–Color Change Relation in Mortars at High Temperature, *Cement And Concrete Research*, 2004, **34**(10), 1803-1807.

ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında Kdz. Ereğli'de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Kdz. Ereğli'de tamamladı. 2002 yılında girdiği üniversite sınavında Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazanarak, 2007 yılında mezun olmuştur. Eylül 2008'de Kocaeli Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans eğimine başlamış olup, eğitimine devam etmektedir. Kdz. Ereğli'de bir kamu kurumunda çalışmaktadır.