



**KOLEMANİT ATIKLARININ
ÇİMENTO ÜRETİMİNDE KULLANILMASI ve ÇİMENTONUN
PERFORMANS ÖZELLİKLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

Özlem KORÇAK

**DOKTORA TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ARALIK 2014

..... tarafından hazırlanan “.....
.....” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri
tarafından OY BİRLİĞİ / OY ÇOKLUĞU ile Gazi Üniversitesi
.....Anabilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Unvanı Adı SOYADI

Anabilim Dalı, Üniversite Adı

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Başkan : Unvanı Adı SOYADI

Anabilim Dalı, Üniversite Adı

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Üye : Unvanı Adı SOYADI

Anabilim Dalı, Üniversite Adı

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Üye : Unvanı Adı SOYADI

Anabilim Dalı, Üniversite Adı

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Üye : Unvanı Adı SOYADI

Anabilim Dalı, Üniversite Adı

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Tez Savunma Tarihi:/...../.....

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Doktora Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....
Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

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

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

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

Özlem KORÇAK

18.12.2014

KOLEMANİT ATIKLARININ
ÇİMENTO ÜRETİMİNDE KULLANILMASI ve ÇİMENTONUN
PERFORMANS ÖZELLİKLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ
(Doktora Tezi)

Özlem KORÇAK

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Aralık 2014

ÖZET

Türkiye’de bor minerallerinin zenginleştirilmesi ve bor içeren kimyasalların üretimi sırasında önemli oranda atık oluşmaktadır. Bu atıkların iyi depolanamaması ve değerlendirilememesi, içeriğindeki yüksek bor içeriğinden dolayı insan sağlığı ve çevre için ciddi bir tehdit oluştururken aynı zamanda ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Bu çalışmada Emet Borik Asit Fabrikası üretiminden açığa çıkan nihai kolemanit atıklarının doğal alçı taşı yerine çimento üretiminde kullanılarak çimentonun özelliklerindeki değişimler incelenmiş, bu malzemenin endüstriye bir değer olarak katılması ve çevre kirliliğinin önlenmesi amaçlanmıştır. Baştaş Çimento’ndan alınan CEM I (42,5R) çimentosu klinkerine %3, %5, %7 ve % 10 oranlarında kolemanit kaynaklı borik asit fabrikası atığı (KKBAFA) katkısı ilave edilerek çimento numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelere TS EN 197-1 (2002) çimento standartları kapsamında analizler yapılmış doğal alçı katkılı CEM I (42,5R) çimentosu ile mukayese edilmiştir. KKBAFA’ ın çimentonun; elek analizi, basınç dayanımı, kıvam suyu ihtiyacı, priz süresi, su emme, hacim genleşmesi, kuruma çekmesi, özgül ağırlık, özgül yüzey, minerolojik ve mikro yapı (XRF, XRD ve SEM) özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda KKBAFA katkısının çimentoda priz süresinin artırdığı, basınç dayanımını azalttığı gözlenmiştir. Laboratuvar ortamında öğütülen KKBAFA katkılı numunelerin CEM I (42,5 R) çimentosuna göre daha iri tane dağılımına sahip olduğu anlaşılmıştır. Numunelerde KKBAFA miktarı arttıkça özgül ağırlığın ve özgül yüzeyin azaldığı bulunmuştur. KKBAFA katkılı çimentolarda katkı oranı arttıkça, hacim sabitliğinde önemli bir değişiklik gözlenmezken, kıvam suyu ihtiyacı ve su emme oranını az da olsa artırmıştır. KKBAFA katkılı çimento harçlarında, hidratasyon ürünleri olan portlandit (CH) ve kalsiyum silikat hidrat (C-S-H), az miktarda etrenjit (CASH) ile birlikte hydrate olmamış klinker mineralleri (larnit C₂S) ve kolemanit atığı içinde bulunan kuvarsa ve kalsite rastlanmıştır. Kimyasal analiz sonuçları incelendiğinde çimentoda KKBAFA katkısı arttıkça SO₃ oranının da arttığı gözlenmektedir. Yüksek oranlardaki sülfatın zararlı etkisini giderebilmek için ve KKBAFA etkisiyle düşen basınç dayanımını artırmak için yüksek fırın cürufu veya uçucu kül katkısı KKBAFA katkılı çimentoya ek katkı maddesi olarak düşünülebilir. Çalışmalar sonucunda, % 5 KKBAFA’ ın çimento içerisinde alçı taşına alternatif olarak priz süresini geciktirici katkı maddesi olarak değerlendirilebileceği ortaya çıkmıştır. Deney sonuçları, borik ait fabrikası kolemanit atıklarının çimento sektöründe değerlendirilebileceğini göstermiştir.

Bilim Kodu : 912.1.094
Anahtar Kelimeler : Çimento, kolemanit atıkları, priz geciktirici, mukavemet
Sayfa Adedi : 139
Danışman : Prof. Dr. Atilla MURATHAN

USE OF COLEMANITE WASTES IN CEMENT PRODUCTION AND IMPROVING CEMENT PERFORMANCE PROPERTIES

(Ph. D. Thesis)

Özlem KORÇAK

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

December 2014

ABSTRACT

A substantial amounts of waste are generated during the enrichment process of boron mineral and production of boron compounds in Turkey. Improper storage and disposal of these wastes can be a serious threat for human life and environment and can lead economic losses because of high boron content. The aim of this study was to analyse cement performance properties by producing cements adding colemanite wastes obtained from Emet Boric Acid Plant (Emet, Kütahya, Turkey) instead of natural gypsum and to prevent environmental pollution by industrial utilization. Cement samples were produced by adding boric acid plant colemanite wastes (BAPCW) of %3, %5, %7 and %10 to the clinker of CEM I (42,5R) obtained from Baştaş Cement Factory (Elmadag, Ankara, Turkey). The cement samples with additives were analyzed according to Turkish Cement Standards (TS EN 197-1 (2002)) and results were compared with cement samples of CEM I (42,5R) with natural gypsum. The effects of BAPCW on sieve analyses, compressive strength, water demand, setting time, water absorption, volume expansion, drying shrinkage, specific gravity, specific surface microstructure and mineralogical (XRD, SEM) properties of cement properties were investigated. Following the analyses it was observed that the addition of BAPCW caused an increase in setting time and decrease in compressive strength. Ground cement samples with BAPCW in the laboratory environment had thicker size distribution than CEM I (42,5R) cement. The more BAPCW decreased specific gravity and specific surface. It was found that water demand and water absorption increased a little with increasing the content of BAPCW in the samples, but there was no change in the volume expansion. It was identified that substances in the cement samples with BAPCW were hydration products as portlandite (CH), calcium silicate hydrate (C-S-H), ettringite (CASH) and non-hydrated clinker minerals (larnite, C_2S) and quartz and calcite in the colemanite waste. Chemical analysis resulted that more BAPCW cause more SO_3 . It was considered that blast furnace slag or fly ashes can be added in cement samples in BAPCW to prevent the detrimental effect of high sulfate content and to increase the decreasing compressive strength. As a result, an addition of %5 BAPCW can be used as an alternative cement additive set retarder to natural gypsum. The test results presents boric acid colemanite wastes can be utilised in cement industry.

Science Code : 912.1.094

Key Words : Cement, colemanite wastes, set retarder, strength

Page Number : 139

Supervisor : Prof. Dr. Atilla MURATHAN

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım süresince bana yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Atilla MURATHAN'a, tez hocalarım Prof. Dr. H. Yılmaz ARUNTAŞ ve Prof. Dr. Metin GÜRÜ'ye ve her zaman yanımda bana destek olan değerli eşim Murat KORÇAK'a, canım kızım Y. Mira KORÇAK'a ve hayatım boyunca desteklerinden ve yaptıkları fedakarlıklarından dolayı anneme, babama ve değerli aileme sonsuz teşekkür ederim.

Ayrıca tezimin hazırlanması esnasında bana çok yardımcı olan çalışma arkadaşım İlker ÖZBEK'e ve analizlerde gösterdiği kolaylıklardan dolayı Maden Teknik Arama Genel Müdürlüğü'ne teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
RESİMLERİN LİSTESİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. BOR.....	3
2.1. Bor Hakkında Genel Bilgi.....	3
2.2. Dünyada ve Türkiye’de Bor	5
2.3. Bor Atıklarının Çevre Etkisi ve Değerlendirilmesi.....	7
2.3.1. Bor atıklarının insanlar üzerine etkisi	7
2.3.2. Bor atıklarının bitkiler üzerindeki etkisi	8
2.3.3. Bor atıklarının hayvanlar üzerindeki etkisi	8
2.3.4. Bor atıklarının çevre üzerindeki etkisi	9
2.4. Bor Atıklarının Uygun Sektörde Kullanılması	10
2.5. Kolemanit.....	10
2.5.1. Türkiye’de kolemanit	11
2.5.2. Emet borik asit fabrikası	12
3. ÇİMENTO	15
3.1. Çimento İle İlgili Genel Bilgi	15

3.2. Çimentonun Ana Maddeleri.....	15
3.3. Çimentonun Üretimi.....	16
3.4. Çimentonun Hidratasyonu	17
3.5. Çimentonun Özelliklerini Belirleyen Kriterler	18
3.6. Çimento Türleri.....	21
4. TÜRKİYE’DE ÇİMENTO VE BORLU ÇİMENTO STANDARTLARI	23
4.1. Çimento Standartları	23
4.2. Çimentoların Standart Deneyleri.....	29
4.2.1. TS EN 196 - 3’e göre yapılan çimento deneyleri.....	29
4.2.2. TS EN 196 - 6'ya göre çimento inceliğinin tayini.....	29
4.2.3. TS EN 196 - 1’e göre basınç ve eğilme deneyleri	30
4.2.4. TS EN 196-2’ye göre yapılan çimento deneyleri.....	30
4.3. Borlu Çimento Standardı.....	31
5. KATKILI ÇİMENTOLARLA İLGİLİ ÇALIŞMALAR	35
6. MATERYAL ve METOT	43
6.1. Materyal	43
6.2. Metot	47
6.2.1. Numunelerin hazırlanması	48
6.2.2. Çimento karışımlarında yapılan fiziksel deneyler	49
6.2.3. Çimento hamurunda yapılan deneyler	52
6.2.4. Çimentonun kimyasal analizleri.....	54
6.2.5. Çimentoların mineralojik ve mikro yapı incelemeleri	54
6.2.6. Çimento harçlarında yapılan deneyler	55

7. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	61
7.1. Çimento Karışımlarında Yapılan Fiziksel Deneylerin Sonuçları.....	61
7.1.1. Çimentoda incelik	61
7.1.2. Özgül kütle	63
7.1.3. Özgül yüzey	64
7.2. Çimento Hamurunda Yapılan Çalışmalarda Elde Edilen Sonuçlar	65
7.2.1. Hacim genleşmesi	65
7.2.2. Normal kıvam suyu.....	66
7.2.3. Priz süresi	68
7.3. Çimentoların Kimyasal Analizi.....	70
7.4. Çimentoların Mineralojik ve Mikro Yapı İncelemeleri	71
7.4.1. XRD analizleri	71
7.4.2. Mikro yapı analizleri (SEM)	85
7.5. Çimento Harçları Deneyleri Sonuçları.....	96
7.5.1. Basınç dayanımı	96
7.5.2. Kuruma çekmesi.....	99
7.5.3. Su emme.....	100
8. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÖNERİLER	103
8.1. Sonuçlar	103
8.2. Öneriler.....	105
KAYNAKLAR	107
EKLER.....	115
EK-1. Çimentoda Standart Deneyler	116
ÖZGEÇMİŞ	139

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Bor elementinin fiziksel özellikleri	4
Çizelge 2.2. Ticari önemi olan bor mineralleri	4
Çizelge 2.3. Dünyadaki bor rezervi (Eti Maden, 2013).....	5
Çizelge 2.4. Eti Maden rezerv miktarları (Eti Maden, 2013)	6
Çizelge 2.5. Eti Maden bor kimyasalları ve eşdeğeri ürün kurulu kapasiteleri (Eti Maden, 2013)	7
Çizelge 2.6. Kolemanitin özellikleri	12
Çizelge 4.1. Çimento tipleri ve çeşitleri.....	26
Çizelge 4.2. Çimentoların mekanik ve fiziksel özellikleri.....	27
Çizelge 4.3. Çimentoların kimyasal özellikleri.....	27
Çizelge 4.4. Borlu çimento bileşimi	32
Çizelge 4.5. BAB Çimentosunun karakteristik değerlerle ifade edilen kimyasal özellikleri	33
Çizelge 4.6. BAB Çimentosunun karakteristik değerlerle ifade edilen mekanik ve fiziksel özellikleri	33
Çizelge 6.1. Kullanılan KKBAFA kimyasal (XRF) analiz sonuçları (%).....	44
Çizelge 6.2. Klinker numunesi kimyasal (XRF) analiz sonuçları	45
Çizelge 6.3. CEM I (42,5 R) çimentosunun kimyasal bileşimi	47
Çizelge 6.4. Numune kodları	49
Çizelge 6.5. Çimento karışımında kullanılan madde oranları.....	48
Çizelge 7.1. Klinker ve KKBAFA 90 µm üstü elek analizi sonuçları.....	57
Çizelge 7.2. Çimento numuneleri elek analizi sonuçları	62
Çizelge 7.3. Özgül kütle deney sonuçları	63
Çizelge 7.4. Özgül yüzey tayini sonuçları	64

Çizelge	Sayfa
Çizelge 7.5. Hacim genleşmesi deney sonuçları.....	66
Çizelge 7.6. Normal kıvam suyu tayini sonuçları.....	67
Çizelge 7.7. Priz süresi tayini sonuçları.....	68
Çizelge 7.8. Kimyasal analiz deney sonuçları	70
Çizelge 7.9. XRD grafiklerinde gözlenen hidratasyon ürünlerinin JCPDS bilgileri (Stutzman, 1996).....	71
Çizelge 7.10. Basınç dayanımı deney sonuçları	96
Çizelge 7.11. KKBAFA katkılı numunelerin CEM I (42,5 R) a göre basınç dayanımı yaklaşım oranları	98
Çizelge 7.12. Kuruma çekmesi deney sonuçları.....	99
Çizelge 7.13. Su emme tayini sonuçları.....	100

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Dünya bor üretiminin ülkelere göre dağılımı (brüt bazda, %) (Eti Maden, 2013).....	6
Şekil 3.1. Portland çimentosu hidratasyonun şeması.....	18
Şekil 6.1. Kullanılan KKBAFA XRD diyagramı	44
Şekil 6.2. Standart rilem kumu granülometresi	46
Şekil 7.1. 90 µm elek üstü klinkerin öğütme süresinin inceliğe etkisi	60
Şekil 7.2. Numunelerin elek analizi grafiği	62
Şekil 7.3. Numuneler-ölgül kütle ilişkisi	64
Şekil 7.4. Numuneler-ölgül yüzey ilişkisi.....	65
Şekil 7.5. Numuneler-hacim genleşmesi ilişkisi.....	68
Şekil 7.6. Numuneler-normal kıvam suyu tayini ilişkisi	67
Şekil 7.7. KKBAFA katkı oranı priz süreleri ilişkisi.....	70
Şekil 7.8. CEM I (42,5R) çimentosunun 7, 28, 56 ve 90 günlerdeki XRD grafikleri	74
Şekil 7.9. (a) (b) (c) (d) %3 KKBAFA katkı KAKÇ3 çimentosunun 7, 28, 56 ve 90 günlerdeki XRD grafikleri.....	76
Şekil 7.10. (a) (b) (c) (d) %5 KKBAFA katkı KAKÇ3 çimentosunun 7, 28, 56 ve 90 günlerdeki XRD grafikleri.....	78
Şekil 7.11. (a) (b) (c) (d) %7 KKBAFA katkı KAKÇ3 çimentosunun 7, 28, 56 ve 90 günlerdeki XRD grafikleri.....	80
Şekil 7.12. (a) (b) (c) (d) %10 KKBAFA katkı KAKÇ3 çimentosunun 7, 28, 56 ve 90 günlerdeki XRD grafikleri.....	82
Şekil 7.13. (a) (b) (c) (d) (e) CEM I (42,5R) ve KKBAFA katkı numunelerin 90 günlük XRD değişimi.....	85
Şekil 7.14. CEM I(42,5R) ve KKBAFA katkı çimentoların 7, 28, 56 ve 90 günlük basınç dayanımı grafiği	97
Şekil 7.15. KKBAFA katkı numunelerin CEM I (42,5 R) a göre basınç dayanımı yaklaşım oranları	98

Şekil	Sayfa
Şekil 7.16. KKBAFA katkısı kuruma çekmesi ilişkisi	100
Şekil 7.17. Su emme tayini grafiği.....	101

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Kolemanit.....	11
Resim 6.1. Borik asit fabrikasından alınan kolemanit atığı	43
Resim 6.2. Deneylerde kullanılan klinker numunesi	45
Resim 6.3. Standart kum paketi	46
Resim 6.4. Deneysel çalışmalarda kullanılan Uslu marka öğütücü	49
Resim 6.5. Öğütücü haznesi.....	49
Resim 6.6. Le Chatelier balonu.....	51
Resim 6.7. Vicat sondası ile normal kıvam suyu tayini.....	53
Resim 6.8. Vicat aleti.....	54
Resim 6.9. (a) (b) Laboratuvarda kullanılan çimento mikseri	56
Resim 6.10. Çimento harcının kalıplanması	57
Resim 6.11. Kalıptan çıkan numune	57
Resim 6.12. Basınç dayanımı cihazı	59
Resim 7.1. CEM I (PÇ 42,5R) SEM görüntüsü (90 günlük)	86
Resim 7.2. CEM I (PÇ 42,5R) EDS analizi (90 günlük)	87
Resim 7.3. KAKÇ3 SEM görüntüsü (90 günlük)	88
Resim 7.4. KAKÇ3 EDS analizi (90 günlük)	89
Resim 7.5. KAKÇ5 SEM görüntüsü (90 günlük)	90
Resim 7.6. KAKÇ5 EDS analizi (90 günlük)).....	91
Resim 7.7. KAKÇ7 SEM görüntüsü (90 günlük)	92
Resim 7.8. KAKÇ7 EDS analizi (90 günlük)	93
Resim 7.9. KAKÇ10 SEM görüntüsü (90 günlük)	94
Resim 7.10. KAKÇ10 EDS analizi (90 günlük)	95

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Kısaltmalar

Açıklamalar

DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
DSM	Sayısal spektrum modülasyonu
TS	Türk Standartları
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
K	Klinker
PÇ	Portland Çimentosu
KKBAFA	Kolemanit Kaynaklı Borik Asit Fabrikası Atığı
KAKÇ	Kolemanit Atık Katkılı Çimento
CEM	Çimento (Cement)
CH	Kalsiyum hidroksit
C-S-H	Kalsiyum silikat hidrat
C₃A	Trikalsiyum aluminat
C₃A.CSH₁₂	Monosülfat
C₃A.3CSH₃₂	Etrinjit
C₄AF	Tetrakalsiyum alumino ferrit
C₂S	Dikalsiyum silikat
C₃S	Trikalsiyum silikat
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
XRD	X ışını kırınımı yöntemi
EDS	Enerji Dağılımı Spektrometresi

1. GİRİŞ

Günümüzde bor ürünleri birçok endüstri dalının ana ham maddesidir. Kullanım alanlarında tüketimin hızla artışı kadar, yeni kullanım alanlarının da günden güne artışı ve borun yakın gelecekte enerji üretim kaynağı olarak kullanılabilme olasılığı bu hammaddeye diğerleri arasında bir ayrıcalık kazandırır. Bilinen dünya bor rezervlerinin yaklaşık %72'sinin Türkiye'de bulunuşu bu hammaddenin önemini bizim açımızdan daha da arttırır. Bu nedenlerle bor cevherlerinin en verimli şekilde üretimi ve açığa çıkan atıklarının etkili şekilde bertaraf edilmesi önem arz etmektedir. Günümüzde bor atıklarının çevreye zarar vermeden uzaklaştırılması, ülke madenciliğinin gelişmesinin ve büyümesini etkileyen en önemli teknik problemlerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır.

Atık malzeme ve yan ürünlerin değerlendirilmesi, hem çok kısıtlı olan doğal kaynakların tüketimini azaltarak doğanın tahrip edilmesini önlemekte, hem de malzemelerin atılmak üzere depolanması durumunda çevrede meydana gelecek problemleri en aza indirmektedir.

Son yıllarda endüstri atıklarının değerlendirilmesine yönelik çalışmalar hız kazanmıştır. Endüstrideki gelişmelere bağlı olarak atık miktarlarının giderek artması, depolanması, doğa tahribatı ve bunlara bağlı hava, toprak ve su kirliliği gibi birçok çevre sorunu oluşmaktadır. Bu atık malzemelerin değerlendirilmesi ile özellikle hem çevrenin korunmasına hem de ürünün üretim maliyetinin azaltılmasına katkı sağlanacaktır. Özellikle bor atıklarının çimento sanayinde katkı maddesi olarak kullanılması her geçen gün daha da yaygınlaşmaktadır. (Batar ve diğerleri 2009; Erdoğan 2009)

Borik asit üretimi sırasında proseste oluşan atık su ve çamurlar filtrelerden geçirildikten sonra mekanik olarak kazınmakta ve su ile akıcı hale getirilmek sureti ile dışarı taşınmaktadır. Böylece filtre kekinde uzaklaştırılması çok daha zor olan atık çamur elde edilmekte ve bu çamur karışımı atık göletlerinde biriktirmektedir. Bu katı-sıvı atık karışımının insan ve çevre sağlığına zarar vermeyecek şekilde depolanmasının yüksek maliyeti ise sorunun ciddiyetinin başka bir boyutudur. Bu durum günümüzde birçok sanayileşmiş ülkede olduğu gibi bizim de önümüze atık malzemelerin katkı maddesi olarak değerlendirilmesi zorunluluğunu koymaktadır.

Bu alışmada Emet Borik Asit Fabrikası atıklarının (KKBAFA) imento üretiminde kullanılarak çimentonun özelliklerindeki değişimler incelenecektir. Böylece, KKBAFA' nın alçı taşına alternatif olarak kullanılabilirliği araştırılarak, bu malzemenin endüstriye bir değer olarak katılması ve evre kirliliğinin önlenmesi amaçlanmaktadır.

2. BOR

2.1. Bor Hakkında Genel Bilgi

Bor, kelime kökeni olarak Arapça buraq/baurach ve Farsça'da burah kelimelerinden gelen bir elementtir (Uğurlu ve diğerleri, 2004). Periyodik sistemin üçüncü grubun başında bulunan ve atom numarası 5 olan bor elementi, kütle numaraları 10 ve 11 olan iki kararlı izotopundan oluşur. Kimyasal sembolü (B) olup, periyodik cetvelin III A grubunun metal olmayan tek elementidir. Bor madeni ilk bakışta beyaz bir kaya şeklinde olup, çok sert ve ısıya dayanıklı, doğada serbest bir element olarak değil, tuz bileşikleri şeklinde bulunmaktadır. Bor elementinin amorf bir toz halindeki rengi koyu kahverengidir. Ancak çok gevrek ve sert yapılı monoklinik kristal halinin rengi ise sarımsı kahverengidir. Elmaşan sonra en sert elementtir (Eti Maden, 2009).

Bor elementi izotopları tabiatta bulunma oranları sırasıyla % 19,1-20,3 ve %79,7-80,9'dur. B-10 izotopu çok yüksek termal nötron tutma özelliği nedeniyle nükleer malzemeler ve nükleer enerji santrallerinde kullanılmaktadır. Element olarak bor, çok çeşitli bileşik yapma kapasitesine ve nötronları absorbe etme özelliğine sahiptir. Bu nedenle sanayinin vazgeçilmez hammaddelerinden biridir. Metalle ametal arası yarı iletken özelliğe sahip bir metaldir. Elementel bor 1808 yılında Fransız Kimyacı Gay-Lussac ile Baron Louis Thenard ve bağımsız olarak İngiliz kimyacı Sir Humphry Davy tarafından bulunmuştur (Uğurlu ve diğerleri, 2004). Bor elementinin fiziksel özellikleri Çizelge 2.1'de verilmiştir (Meller,1981).

Bor elementinin kimyasal özellikleri morfolojisine ve tane büyüklüğüne bağlıdır. Mikrometre düzeyindeki amorf bor kolaylıkla ve bazen şiddetli olarak reaksiyona girerken kristal haldeki bor kolay reaksiyon vermez. Bor yüksek sıcaklıkta su ile reaksiyona girerek borik asit ve bazı diğer ürünleri oluşturur. Mineral asitleri ile reaksiyonu, konsantrasyona ve sıcaklığa bağlı olarak yavaş veya patlayıcı olabilir ve ana ürün olarak borik asit oluşur (Zeybek ve diğerleri, 2009).

Çizelge 2.1. Bor elementinin fiziksel özellikleri

Özellik	Değeri
Atom numarası	5
Atom ağırlığı (g/mol)	10,811±0,005 veya 0,007
Yoğunluk (kg/m ³)	2,46
Molar hacim (cm ³)	4,39
Ergime noktası	2190+20 °C
Kaynama noktası	3660 °C
Termal Genleşme Katsayısı: (0 °C için) cm/cm/°C (0°C)	8,3x10 ⁻⁶
Knoop sertliği	2100-2580 HK
Mohr sertliği (elmas-15)	11
Vickers sertliği	5000 HV
Entalpi (kJ/mol)	50,2
Buharlaşma entalpisi (kJ/mol)	480

Bor mineralleri, yapılarında farklı oranlarda bor oksit (B₂O₃) içeren doğal bileşiklerdir. Doğada yaklaşık 230'dan fazla bor minerali mevcuttur. Bor kimyasalı ürünleri B₂O₃ içeriğine göre adlandırılmaktadır. B₂O₃ içeriği arttıkça ürün değeri de artmaktadır (Çizelge 2.2). Doğada yaklaşık 230'dan fazla bor minerali mevcut olup bunların ticari öneme sahip olan başlıcaları: tinkal, kolemanit, kernit, üleksit, pandemit, borasit, szaybelit ve hidroborasit'tir. Çizelge 2.2'de ki ilk üç mineral bor bileşikleri üretiminde sorunlar yaratan magnezyum, silis ve demir içermemektedir ve ülkemizin temel bor minerallerini oluşturmaktadır. Sadece İtalya'da bulunan ve saf borik asit olan sassolit minerali ise ekonomik bakımdan tükenmiştir (Uğurlu ve diğerleri, 2004).

Çizelge 2.2. Ticari önemi olan bor mineralleri

Mineral	Formül	% B ₂ O ₃ , İçerik
Kolemanit	Ca ₂ B ₆ O ₁₁ .5H ₂ O	50,8
Üleksit	NaCaB ₅ O ₉ .8H ₂ O	43,0
Tinkal	Na ₂ B ₄ O ₇ .10H ₂ O	35,5
Kernit	Na ₂ B ₁₄ O ₇ .4H ₂ O	51,0
Pandemit	Ca ₄ B ₁₀ O ₉ .7H ₂ O	49,8
Hidroborasit	CaMgB ₆ O ₁₁ .6H ₂ O	50,5

2.2. Dünyada ve Türkiye’de Bor

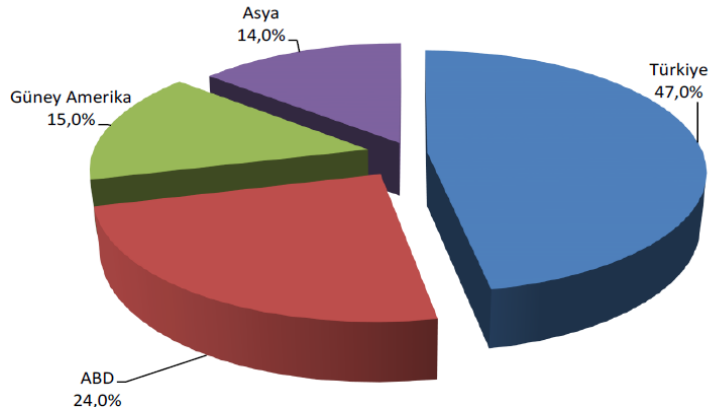
Dünyadaki önemli bor yatakları Türkiye, Rusya ve ABD’de olup buralarda ticari bor rezervleri 4 bölgede toplanmaktadır.

- ABD Kaliforniya Eyaletinin güneyinde yer alan “Mojave Çölü”
- Güney Amerika da yer alan “And Kemer”
- Türkiye’nin de yer aldığı “Güney-Orta Asya Orojenik Kemer”
- Doğu Rusya

Günümüzde belirlenmiş, dünya toplam bor rezervi 1,2 milyar ton olup; bu rezervin % 72,2’si Türkiye’de (851 milyon ton B_2O_3), % 8,5’i Rusya’da ve %6,8’i ABD’de bulunmaktadır. Dünyadaki en önemli bor üreticileri: Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü (Türkiye) ve Rio Tinto (ABD)’dur. Bu iki kuruluş dünya bor üretiminin yaklaşık %70’ini gerçekleştirmektedir. Çizelge 2.3’de dünyadaki çeşitli ülkelerdeki mevcut bor rezervi gözükmemektedir (Uğurlu ve diğerleri, 2004). Ayrıca dünya bor üretiminin ülkelere göre dağılımı Şekil 2.1’de görülmektedir.

Çizelge 2.3. Dünyadaki bor rezervi (Eti Maden, 2013)

Ülkeler	Toplam Rezerv (Bin ton B_2O_3)	Dağılım (%)
Türkiye	955 300	72,8
ABD	80 000	6,1
Rusya	100 000	7,6
Çin	47 000	3,6
Arjantin	9 000	0,7
Bolivya	19 000	1,4
Şili	41 000	3,2
Peru	22 000	1,7
Kazakistan	15 000	1,2
Sırbistan	24 000	1,7
Toplam	1 312 300	100



Şekil 2.1. Dünya bor üretiminin ülkelere göre dağılımı (brüt bazda, %) (Eti Maden, 2013)

Ülkemizde bor yatakları Zonguldak-Mersin hattının batısında kalan neojen göl tortulları içerisinde yer alır. Emet ve Bigadiç kolemanit yatakları ile Kırka'daki tinkal yatakları dünyanın zengin borat cevherleri olarak gösterilmektedir. Bu borat oluşumları önemli ölçüde tinkal, kolemanit ve üleksit minerallerinden meydana gelmiştir. Bor minerallerinin bir kısmı bazı uygulamalarda doğrudan, büyük bir kısmı da tesislerde işlenerek konsantre tinkal, boraks pentahidrat, boraks dekahidrat, susuz boraks, borik asit, sodyum perborat şeklinde yüksek boraks içeriğine sahip bor bileşikleri halinde sanayide kullanılır (Topçu ve diğerleri, 2006).

Türkiye’de bilinen bor yatakları özellikle Kırka/Eskişehir, Bigadiç/Balıkesir, Kestelek/Bursa ve Emet/Kütahya’da bulunmaktadır. Çizelge 2.4’de görüldüğü gibi Türkiye’de rezerv açısından en çok bulunan bor cevherleri tinkal ($\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) ve kolemanit ($2\text{CaO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)’tir (Uğurlu ve diğerleri, 2004).

Çizelge 2.4. Eti Maden rezerv miktarları (Eti Maden, 2013)

Cevher	Miktar (ton)
EMET (Kolemanit)	1 818 264 009
KIRKA (Tinkal)	838 152 732
BİGADIÇ (Kolemanit- Üleksit)	636 287 478
KESTELEK (Kolemanit)	5 420 009
TOPLAM	3 298 124 228

Çizelge 2.5’de verilen işletmelerde belirtilen bor ürünleri kurulu kapasiteleri incelendiğinde; mevcut durumda, yıllık toplam kapasite 2 131 000 ton olduğu görülmektedir. Eti Maden; rafine bor ürünlerinde 840 000 ton boraks pentahidrat, 80 000 ton boraks dekahidrat/penta hidrat, 335 000 ton borik asit, 2000 ton bor oksit, 35 000 ton sodyum perborat (mono+tetra), 700 000 ton öğütülmüş kolemanit üretim kapasitesine ulaşmaktadır (Eti Maden, 2014).

Çizelge 2.5. Eti Maden Bor Kimyasalları ve Eşdeğeri Ürün Kurulu Kapasiteleri (2013)
(Eti Maden, 2014)

Ürünler	Bin Ton/Yıl
Boraks Dekahidrat (Bandırma)	115
Borik Asit (Bandırma)	95
Borik Asit (Emet)	240
Sodyum Perborat (Bandırma) (Boraks Dekahidrat)	35
Bor oksit (Bandırma)	2
Boraks Pentahidrat (Kırka)	840
Kalsine Tinkal (Kırka)	5
Öğütülmüş Kolemanit (Bigadiç)	700
Boraks Dekahidrat (Kırka)	80
Susuz Boraks	5
Zirai Bor (Bandırma)	8
Camsı Bor Oksit (Bandırma)	6
Toplam	2 131

2.3. Bor Atıklarının Canlılara ve Çevreye Etkisi

2.3.1. Bor atıklarının insanlar üzerine etkisi

Bor insan vücuduna doğal olarak yiyecek ve içeceklerle, solunum ve deri yoluyla girmektedir. Vücuda giren borun % 90-95 kadarı ilk 24 saatte değişikliğe uğramadan idrarla atılırken, çok az bir kısmı kemik, tırnak, saç, dişler, kıllar, karaciğer ve dalak gibi organlarda birikir (Şalı, 2000).

Yüksek dozlarda bor alınması durumunda kusma, ishal, bas dönmesi, titreme gibi zehirlenme belirtileri gözlenebilir. Deride döküntüler, karaciğer, böbrek ve merkezi sinir sistemi anormallikleri de görülebilir (Şalı, 2000).

Yapılan araştırmalar borun zehir etkisinin düşük olduğunu göstermiştir. 15-30 g boraks veya 2-5 g borik asit doğrudan alındığında ani rahatsızlıklar ortaya çıkar. Yetişkinlerde bas ağrısı, kusma, ishal, depresyon çocuklarda ise daha çok havale, beyin zarı tahribi zehirlenme belirtileri arasındadır (Demirtaş, 2010).

2.3.2. Bor atıklarının bitkiler üzerindeki etkisi

Bitki büyüme ve gelişimi için bir mikro-besleyici olan bor, 16 temel bitki mineralinden biridir. Toprağın st tabakalarındaki borun kaynağı çürümüş bitki dokularıdır. Bor, fotosentez miktarını, köklerin büyümesini ve havadan emilen karbondioksit miktarını artırır. Hücre çeperinin sağlam yapıda bulunmasında temel rol oynar. Ancak çok yüksek miktarlarda bulunması bitki için zehirli etki de yapabilmektedir (Garret, 1998).

Bor, topraklarda 2-200 ppm arasında değişen oranlarda bulunur. Bitkiler bu miktarın % 5'inden daha az bir kısmını kullanabilir. Sulama suyunda normal şartlar altında en fazla 0,5mg/L oranında bulunmalıdır. Bora karşı hassas bitkilerde 0,5-1,0 mg/L'de zararlı olabilmektedir. Bora dayanıklı bitkiler için 4 mg/L'nin üstü zararlıdır (Demirtaş, 2010).

2.3.3. Bor atıklarının hayvanlar üzerindeki etkisi

Borun hayvanlara uzun süreli etkisi fareler üzerinde incelenmiştir. Farelerin içme sularına katılan 0,84 mg/kg miktardaki borun zararı gözlemlenmiştir. Miktarın artırılması ve sürecin uzaması durumunda basta üreme organları olmak üzere çeşitli sistemlerin olumsuz etkilendiği gözlemlenmiştir. Akciğer iltihabı gelişmiş, gebelik bozulmuş ve yavru zarar grmştir (şalı, 2000).

Hayvanlar için öldürücü doz hayvan türüne, kilogram ve vücut ağırlığına göre 1,2 - 3,45 g arasında değişmektedir. Bor bazı larva ve böceklerin imhasında uzun sreden beri kullanılmaktadır. Deniz balıklarının 19 - 19,5 g/L bor ile teması öldürücü doz olarak tespit edilmiştir. (Demirtaş, 2010).

2.3.4. Bor atıklarının çevre üzerinde etkileri

Borun çevreye insan sağlığına zarar verecek düzeydeki etkilerinin, ancak üretimi sırasında ortaya çıkan atıkların biriktirilmesi sonrasında görüldüğü bilinmektedir. Bu durum özellikle toprak ve suların kirlenmesi şeklinde ortaya çıkmaktadır. Konsantre üretimi sırasında ortaya çıkan katı kil pestili atıkları boş arazide, sulu şlam atıkları ise atık göletine alınarak depolanmaktadır. Depolamada sulu şlam atıkları için tabanına kil katmanı serilen atık göletleri inşa edilmekte ve şlam bu göletlere dökülmektedir. Atık depolanması uzmanlık gerektiren ve sürekli takip edilmesi gereken bir işlemdir. Özellikle sulu atıkların ya da su ile temasında çözünen atıkların depolanması toprağın geçirimsizliği nedeniyle daima yüksek kirlenme riski taşır. Bu tip atıkların depolanmasında kesin geçirimsizlik için kil katman altına jeomembran ya da benzeri geçirimsiz örtüler serilerek depolama alanlarının kesin geçirimsizliği sağlanmaktadır. Türkiye’de mevcut bor cevheri işleme tesislerinin yanındaki depolama havuz alanları için bu tür uygun önlemlerin yeterince alındığını söylemek pek mümkün değildir (Özdemir ve Öztürk, 2003).

Cevher zenginleştirme tesislerinden çıkan atıklar genellikle ince boyutlu katı veya pülp (posa halinde) halindedir. Çevre koruma uygulamaları gelişmeden önce bu atıklar maden alanlarının yakınındaki sahalara, artık barajlarına, denizlere, göllere veya nehirlere boşaltılmaktaydı. Günümüzde ise zenginleştirme tesis atıklarından yararlanmak veya eğer bu mümkün değilse en uygun biçimde bertaraf etme yoluna gidilmektedir. Gelişmiş ülkeler başta olmak üzere, Dünya’nın birçok ülkesinde araştırmacılar ve işletmeler bu konuda yoğun çaba harcamaktadır.

Bor atıklarının uygun yöntemlerle çeşitli sektörlerde değerlendirilmesi sonucunda;

- Atıkların stoklamadan doğan sorunları ve stoklama maliyeti azalacaktır.
- Bor atıklarının değerlendirilmesi sonucu üretilen yeni ürünler ülke ekonomisine ek kazanç sağlayacaktır.
- Çevre kirliliği en az seviyeye inecektir.

Atıkların atık sahasında çok fazla yer kaplamaması ve çevre kirliliğinin azaltılması amaçlarıyla preslenerek sıkıştırılabilir. Atıkların göletlere verilmeden önce uygun flokülasyon ve koagülasyon yöntemleriyle katı sıvı ayırımına tabi tutulur. Susuzlaştırma ile göletlerin hızlı bir şekilde dolması engellenebileceği gibi elde edilen sıvı tekrar kullanılmak

üzere tesise de beslenebilecektir. Atıkların diğer sektörlerde kullanılabilmesi için de susuzlaştırma işleminin gerekliliği göz ardı edilmemelidir (Boncukçuoğlu ve diğerleri, 2002).

2.4. Bor Atıklarının Uygun Sektörde Kullanılması

Son zamanlarda artan çevre bilinci madencilik sektöründe de kabullenilmiş, madencilik faaliyetleri sonucu oluşan atıkların çevreye zarar vermeden bertaraf edilmesi hususunda çeşitli yönetmelikler ve standartlar getirilmiştir. Bor atıklarının uygun yöntemlerle çeşitli sektörlerde değerlendirilmesi sonucunda:

- Atıkların stoklanmasından doğan sorunlar ve stoklama maliyeti azalacak,
- Çevreyi kirleten unsurlar en az düzeye düşürülecek,
- Bor atıklarının değerlendirilmesi sonucu üretilen yeni ürünler ülke ekonomisine ek kazanç sağlayacaktır.

Türkiye'de ticari öneme sahip bor minerallerinden Kırka tinkal minerali, birbirine yakın miktarlarda montmorillonit ve dolomit içeren gri killer ile dolomitçe zengin beyaz killerden ve kalsitten oluşmakta, Bursa- Kestelek bor işletmelerindeki kolemanit atıkları ile Kütahya-Emet-Hisarcık işletmesindeki kolemanit atıkları montmorillonit, kalsit, klorit ve biyotit gibi paramanyetik mineraller içerirken, Balıkesir- Bigadiç atıkları montmorillonit, jips ve kalsit içermektedir. Bor atıklarının kil içeriği bakımından zengin oluşu, sözkonusu atıkların değerlendirilmesine yönelik bilimsel çalışmaları, seramik başta olmak üzere, tuğla ve çimento sektörüne yönlendirmiştir. Bu çalışmalarda, bor atıklarından yeni bir ürün eldesinin yanında, bu ürünlerin fiziksel ve fizikomekanik özellikleri üzerindeki etkisine yer verilmesi dikkat çekilmesi gereken bir diğer husustur (Oruç ve Sabah, 2004).

2.5. Kolemanit

Kimyasal bileşimi $\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ olan kolemanit monoklinal sistemde kristallenir. Sertliği 4-4,5 mohs, özgül kütlesi $2,42 \text{ g/cm}^3$ 'dir. Bor içeriği %15,7, B_2O_3 içeriği %50,8'dir. Başka bor minerallerinin çoğunluğu oluşturduğu yataklarda olduğu kadar, kolemanit yataklarında da killer içinde ve cevher boşluklarında iri, parlak ve saydam kristal kümeleri şeklinde bulunur (Resim 2.1). Suda çok yavaş, fakat sıcak HCl içinde oldukça hızlı çözülür; soğuyan çözeltide bor, borik asit olarak ayrılır. Kolemanit ısıtıldığında suyunu kaybederek toz şekline

dönüşür. Bu da kolemanitin, ısıtılıp elenmesi ile içindeki ısıdan etkilenmeyen yabancı maddelerden (özellikle killerden) temizlenmesine yardımcı olur. Klinopinakoit (010) yüzeyine göre dilimli, renksiz, cam parıltılıdır. Üfleçte kısmen erir. Ekonomi bakımından kısmen önemli olan yatağı eskiden California'da Death Valley, Iryoeo iken, bugün ise Anadolu'da Balıkesir, Kütahya, Eskişehir ve Bursa illerinde önemli yataklar bulunmaktadır. Burada neojen yaşlı kalker, marn, kil ve tuf tabakaları içerisinde çoğunlukla 2-3 m kalınlığındaki damarlar şeklinde killerle karışık olarak bulunur.



Resim 2.1. Kolemanit

2.5.1. Türkiye'de kolemanit

Türkiye'de kolemanit yatakları Batı Anadolu bölgesinde, merkezleri Mustafa Kemal Paşa, Balıkesir, Bigadiç ve Emet olan sahalarda toplanmıştır.

Bursa'nın Mustafa Kemal Paşa ilçesine bağlı Kestelek köyünde bilinen tek borat yatağı, kolemanit patatesleri veya yumrularından oluşmaktadır ve siyah ve gri renkli killer ile ara tabakalıdır. Kolemanit içinde dev kazanları andıran boşluklar olup, bu boşluklarda 5 - 6cm uzunluğunda monoklinal kolemanit kristalleri meydana gelmiştir. Bazı kolemanit patatesleri 500-1000 kg ağırlığa erişir. Kolemanit cevherinin özellikleri Çizelge 2.6'da verilmiştir.

Çizelge 2.6. Kolemanitin özellikleri

Kimyasal Bileşimi	$\text{CaB}_3\text{O}_4 (\text{OH})_3 \text{H}_2\text{O}$
Kristal Sistemi,	Monoklinik
Kristal Biçimi,	Çoğunlukla eşboyutlu ve kısa prizmatik kristalli; masif, kompakt, taneseli
Sertlik,	4,5 mohs
Özgül Kütle	2,42 g/cm ³
Renk ve Şeffaflık	beyaz; şeffaf-yarı şeffaf
Parlaklık,	Camsı
Ayırıcı Özellikleri	Kristal formu, mükemmel dilinimi, diğer boratlardan daha sert olması
Bulunuşu	Kurak iklim bölgelerindeki playa ve tuz göllerinde boraks ile birlikte oluşur.

Kütahya'nın Emet bölgesinde ana cevher kolemanit olup, bazı ocaklarda az miktarda uleksit, sölestin (SrSO_4), realgar (AsS), orpiman (As_2S_3) ve kalsit (CaCO_3)'e rastlanmaktadır. Kolemanit killer içinde yumru ve patatesler halinde bulunmaktadır. Yumru ve patates içindeki kolemanit genellikle beyaz, renksiz ve cam parlaklığındadır. Bazılarında ortadaki boşlukta mavi renkli, uzun, ortorombik sölestin kristalleri bulunmaktadır. Orpiman ve realgar, killerin boşluk ve çatlaklarında çok ufak kristal toplulukları şeklinde çökelmişlerdir. Kolemanit kristalleri monoklinik şekillerde olup, genellikle kısa prizmalar halinde bulunmaktadırlar. (Özmal ve diğerleri, 2005).

Kolemanit görünüşte feldspata, kalsite ve diğer bazı sparlara benzemektedir; fakat üfleme borusu (blow-pipe) testi ile onlardan ayırt edilebilmektedir. Kolemanit ısıtıldığı zaman su vermektedir; üfleme borusu önünde ısıtıldığı zaman parçalanmakta ve alevi sarımsı yeşil bir renge boyamaktadır. Kolemanit, odun kömürü üzerinde ısıtıldığı zaman beyazlaşmaktadır. Kolemanitin sudaki çözünürlüğü 1100 kısım suda 1 kısım olarak verilmiştir (Özmal ve diğerleri, 2005).

2.5.2. Emet borik asit fabrikası

Emet ilçesinde 1958 yılından beri üretimde bulunan Emet Bor İşletme Müdürlüğü bor minerallerini çıkarmak ve katma değeri yüksek ürünler elde etmek amacıyla uzun yıllardır faaliyet göstermektedir.

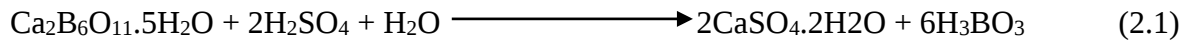
Borik asit fabrikası ise Kütahya iline 100 km uzaklıkta bulunan Emet ilçesindedir. Tesis yapımına 1998 yılında başlanmış ve tesis 2003 yılında faaliyete geçmiştir. Tesis 240 000 ton/yıl kapasiteli ve çok geniş bir otomasyon ağına sahip olup son teknoloji ürünüdür.

Tesiste bulunan üniteler;

1. Kırma - öğütme ünitesi
2. Reaksiyon - filtrasyon ünitesi
3. Kristalizasyon – santrifüjleme ünitesi
4. Kurutma – torbalama ünitesi

Açık işletmeden üretilen kolemanit cevheri konsantratör tesislerinde zenginleştirildikten sonra Borik Asit Fabrikasındaki kırma öğütme ünitesinde 150 mikrometre parçacık çapı altına öğütülen kolemanit konsantresi, pazarlama durumuna göre satışa sunulmaktadır. Öğütülmüş kolemanit reaksiyon ünitesinde sülfürik asit ile reaksiyona tabi tutularak 88-90 °C reaksiyon sıcaklığında borik asit çözeltisi elde edilmektedir. Elde edilen şlam halindeki çözelti bantfiltrelerde süzülerek katı safsızlıklar (kil, jips) ayrılmakta ve ikinci bir süzme işleminden sonra kristalizatör ünitesine beslenmektedir. Kristalizatörde vakumla soğutma yapılarak 35 °C de kristal borik asit elde edilmektedir. Elde edilen kristal borik asit santrifüj ve kurutma ünitesinde nem oranı % 0,005'e düşürüldükten sonra ürün stok ambarında satış için depolanmaktadır.

Kolemanitten borik asit elde edilmesi:



reaksiyonundan yararlanılarak gerçekleştirilmektedir. Oluşan atıklar Eti Maden'in Ağıldere'de bulunan atık barajında toplanmaktadır.

3. ÇİMENTO

3.1. Çimento İle İlgili Genel Bilgi

“Çimento” kelimesi, yontulmuş taş kırıntısı anlamındaki Latince “caementum” kelimesinden türemiştir. Daha sonra bu kelime bağlayıcı anlamında kullanılmaya başlamıştır. İlk betonarme yapı 1852 yılında yapılmıştır, ancak bağlayıcı malzemelerin kullanımı çok eskilere dayanır.

Çimento esas olarak, doğal kalker taşları ve kil karışımının yüksek sıcaklıkta pişirildikten sonra öğütülmesi ile elde edilen hidrolik bir bağlayıcı malzeme olarak tanımlanır. Diğer bağlayıcı maddeler gibi çimentolar da, CaO, MgO gibi alkalin öğeler ve SiO₂, Al₂O₃ ve Fe₂O₃ gibi hidrolik bileşenlerden oluşur. Çimento bağlayıcılık görevini su ile tepkimeye girdikten sonra kazandığı için hidrolik bağlayıcı olarak adlandırılır. Alkalin ve hidrolik bileşenlerin oranları bağlayıcı maddenin niteliğini belirler.

Çimento, su ile karıştırılıp plastik hamur durumuna geldikten bir süre sonra havada ya da su içinde yavaş yavaş katılaşır. Bu katılaşma olayına piriz adı verilir.(Gürü ve Yalçın, 1996)

3.2. Çimento Ana Maddeleri

Kalker (Kireçtaşı): Klinker üretiminde oldukça geniş bir kullanım alanı bulunan kalker (kireçtaşı) sedimanter bir kayaç olup, çimento üretiminde çok büyük bir önem teşkil etmektedir. Kimyasal bileşiminde en az %90 CaCO₃ vardır. Kalkerin sertlik derecesi, Mohs sertlik skalasına göre 3, özgül ağırlığı ise 2,5-2,7 g/cm³tür.

Kalkerler doğada genellikle saf halde bulunmayıp, bileşimlerinde kalsiyum karbonatın yanı sıra, değişik oranlarda magnezyum karbonat, kil mineralleri, demir silikat-oksit ve silis gibi bileşikler içerirler. Çimento hammaddesi olarak kullanılan kalkerler içinde az miktarlarda bulunan bu safsızlıklar üretilen çimentonun kalitesi üzerine önemli derecede etki yapar. Kalker içinde bulunan en önemli safsızlık çakmak taşı (sileks), opal, kalsedon ve kuvars gibi silisyum dioksit bileşikleridir. Gerek öğütme ve gerekse pişirme sırasında sorun yarattığı için kalkerler içinde silisin bulunması istenmez.

Marn: Kil ve kalker karışımı bir maddedir. Özgöl ağırlığı 2,0-2,9 g/cm³'tür. Çimento sanayi için, kalker ve kilin beraber bulunduğu tek doğal hammaddedir. %50-70 kalker ve %30-50 kilden oluşmuş kayaca marn denir. Klinker, kil ve kalker içeren hammaddenin öğütüldükten sonra pişirilmesiyle elde edilir. Marn ise bu ikisini doğal olarak içerdiğinden ve kalkere kıyasla daha kolay öğütülmesinden dolayı, uygun bir hammaddedir.

Kil: Killerin ana maddesi alüminyum silikat hidratlardır. Çimentodaki alkalilerin ana kaynağı da kil bileşenleridir. Kil minerallerinin temel özelliği kimyasal bileşiminde Al₂O₃ bulunması ve sulu alüminyum silikattan oluşmasıdır.

Çimento hammaddesi olarak kullanılacak olan killerin yapısı hem kimyasal hem de mineralojik yapısı bakımından analiz edilmesi gerekir. Killerin kimyasal analizinde Al₂O₃, SiO₂, Fe₂O₃, CaO, MgO, K₂O, Na₂O, SO₃ ve kızdırma kaybı yüzdeleri belirlenir. Mineralojik analizlerde ise, kil minerallerinin dışında buluna- safsızlıkları oluşturan unsurlar ve bunların % miktarları saptanır. Çimento yapımında kullanılacak kilin kimyasal bileşiminde Al₂O₃/Fe₂O₃ oranı 21 civarında olmalıdır. Kuvars veya kalsedon halinde serbest silis bulunan killerde SiO₂ yüzdesi yüksektir. Bu killer üretim sırasında güçlükler çıkarır. Alkali meta oksitlerin miktarının kil içinde % 0,5'in altında olması istenir.

3.3. Çimentonun Üretimi

Çimento üretimi; jeoloji, maden, kimya, fizik, termodinamik gibi çok sayıda bilim dallarındaki bilgilerin birlikte kullanılmasını gerektirir. Üretim aşamaları ana hatları ile hammadde üretim ve hazırlama prosesi, pişirme prosesi ve çimento öğütme ile paketleme prosesi olarak incelenebilir (Canpolat, 2002).

Ülkemizde çimento üretim sistemi genel olarak aşağıdaki şekilde özetlenebilir (Canpolat, 2002):

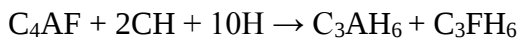
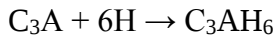
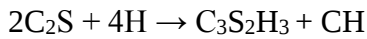
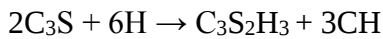
- Çimento hammaddesi olan kalker ve kil (veya marn) hammadde ocağından alınarak kırıcıya gönderilir.
- Kırıcıdan geçen hammadde stoklanır.
- Stoktan alınan hammadde değirmene gönderilerek öğütülür. Belli oranlarda kil ve kalker karışımından ibaret öğütülmüş hammadde karışımına "Farin" adı verilir.

- Farin silolarda depolanır.
- Sonra ısı değıştiricilerinden geçirilir.
- Döner fırına verilen Farin 1400°C-1450°C sıcaklıkta pişirilir. Farinin pişmesi sonucunda elde edilen ürüne klinker adı verilir.
- Fırından çıkan klinker soğutuculardan geçirilir.
- Soğutulan klinker depolanır.
- Klinkere alçı taşı eklenerek çimento değirmeninde öğütölür. Öğütölmiş klinker ve alçı taşı karışımına “Çimento” adı verilir.
- Çimento pompalanarak silolara doldurulur.
- Torbalanarak pazarlanır.

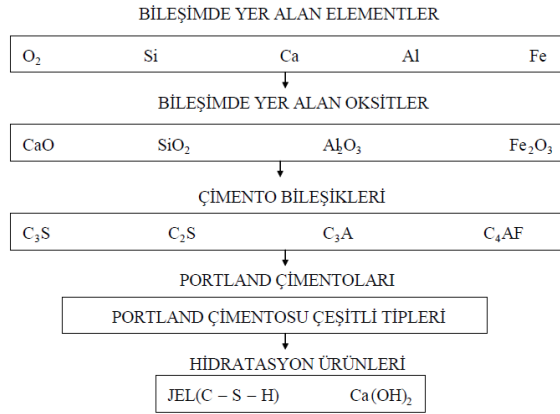
3.4. Çimentonun Hidratasyonu

En genel manada hidratasyon, çimento ile su arasında meydana gelen kimyasal reaksiyondur. Çimentonun prizi ve sertleşmesi bu reaksiyonlar sonucunda meydana gelir. Çimento ve suyun birleşmesiyle, ana bileşenlerin oluşturduğu kimyasal reaksiyonlar pratik olarak şu şekilde ifade edilebilir. Kalsiyum silikatlar (C_3S - C_2S) ve su (H) reaksiyona girerek kalsiyum silikat hidrat ($C_3S_2H_3$, kısaca C-S-H) denilen bir ürün ile kalsiyum hidroksiti meydana getirir. Çimentoya bağlayıcılık özelliği kazandıran da oluşan bu C-S-H jelidir. Meydana gelen C-S-H’nin parçacıkları arasındaki çekim kuvveti, bağlayıcılık özelliği yaratmaktadır. C-S-H’nin büyüklüğü moleküler mertebededir ve çimento tanesinin 1/1000’i büyüklüğündedir (Erdoğan, 1995).

Kalsiyum silikatların reaksiyon formülü şu şekildedir.



Hidratasyon sırasında önce plastik kıvamda çimento hamuru oluşmaktadır. Daha sonra oluşan hamur priz başlangıcında plastikliğini kaybetmekte, priz sonu ile de sertleşmekte ve dayanım kazanmaya başlamaktadır (Neville,2006). Portland çimentosu hidratasyonun şeması Şekil 3.1’de görölmektedir



Şekil 3.1. Portland çimentosu hidratasyonun şeması (Neville,2006).

C₃A ve suyun birleşmesi ise çok hızlı bir şekilde cereyan eder. Bu çimentoda “ani sertleşme” yaratarak taze betonun kullanımını ve betonun bağlayıcılık kazanabilmesini engeller. Bu nedenledir ki, üretim esnasında çimentoya bir miktar alçı taşı katılmaktadır. Böylece C₃A, su ve alçı, ayrı bir reaksiyona girer ve bu reaksiyonlar sürerken, kalsiyum silikatların reaksiyonu ve C-S-H ’ın oluşması da sıhhatli bir şekilde devam eder. C₃A bileşeni ilk saatlerde ve ilk gün içerisinde çimentonun bağlayıcılık değerine küçük bir miktar katkıda bulunmakla birlikte çimento için en tehlikeli bileşen olabilmektedir.

Su ve alçı, C₄AF ile de reaksiyona girer. Fakat C₄AF’nin su ve alçıyla birleşmesi ile elde edilen özellikler, C₃A’nın sonuçlarına benzer ancak oranı çok küçük olduğundan sonuç üzerindeki rolü büyük değildir.

Özetle, C₃A ve C₄AF bileşenleri, uygun miktarda alçı ile kullanıldıklarında çimentonun bağlayıcılık özelliğini bir miktar etkilerler. Ancak, esas bağlayıcılık özelliği C₃S ve C₂S bileşenleri tarafından sağlanmaktadır (Erdoğan 1995).

3.5. Çimento Özelliklerini Belirleyen Kriterler

Çimentoların kalite ve yeterliğini belirlemek amacıyla başlıca aşağıdaki özellikleri tayin edilir.

1) *Standart basınç mukavemet:* Çimentoların, standart kum ve belli karışım oranları ile, standart kalıplar ve kür koşullarında yapılan 28 günlük basınç mukavemetleri çimento kalitesini belirleyen en önemli kriteri oluşturur. Bu mukavemet değerleri çimento tipini belirleyen sembol olarak kullanılır. Avrupa normunda ve Türk standartlarında 28 günlük standart basınç mukavemeti için sınır değeri olarak 32,5 MPa, 42,5 MPa ve 52,5 MPa olmak üzere üç sınıf belirlenmiştir.

2) *Priz başlama süresi:* Çimentoya su katılarak hamurun oluşturulduğu andan itibaren, hamurun akıcılığını ve plastikliğini kaybettiği ana kadar geçen süre priz başlama süresi olarak tanımlanır. Bu süre Vicat aleti ile yapılan özel bir deney ile belirlenir. Bu deneyde, çimento ile suyun karıştırılmış olduğu andan itibaren, Vicat iğnesinin cam levhaya 3-5 mm uzaklık kalıncaya kadar inmesi anına kadar geçen süre priz başlama süresi olarak belirlenir. Eski standartlarda priz bitiş süresi de deneysel olarak tayin edilirdi. Yeni standartlarda yalnız priz başlama süresi için sınır değeri verilmiştir.

3) *Hacim genleşmesi:* Çimento bileşiminde fazla miktarda serbest kireç ve magnezyum oksit bulunması halinde hidrasyon sırasında istenilmeyen hacim genleşmesi meydana gelebilir. Çimentoların hacim genleşmesi Le Chatelier halkaları ile tayin edilir. 24 saat normal kürde, daha sonra 4 saat kaynamakta olan su içinde bekletilen çimento hamurunda meydana gelen genleşme aletin çubukları arasından (mm) olarak ölçülür. Toplam genleşmenin çimentolarda 10 mm yi geçmemesi istenir.

4) *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 litre hacmindeki ağırlığı tartılarak sonuç g/L olarak belirlenir. Bu görünür yoğunluk değerinin belli bir değerden yüksek olması halinde klinkerin iyi pişirilmiş olduğuna karar verilir.

5) *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 sarfıyatı da artar. Düşük kireç doygunluk faktörü olan ham karışımlarda ise, pişme kolaydır, ancak C3S fazının az, C2S fazının çok fazla 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'un altındaki sıcaklıklarda C₃S tersinir bir reaksiyon göstererek C₂S ve CaO'e ayrışır. Bu reaksiyon sonucu klinker bileşiminde serbest kireç olduğu gibi C₃S yüzdesi azalır. Bu durum çimento mukavemetini azaltıcı olarak etki yapar. Klinkerin soğutulması ne derece hızlı yapılırsa serbest kireç oluşması o derece önlenmiş olur.

6) *Kızdırma kaybı*: Çimento içinde organik bileşikler, karbon dioksit ve su gibi uçucu bileşiklerin belli bir değerden fazla bulunmaması istenir. Standartlarda bu değer <% 5,0 olarak verilmiştir. Çimentolarda kızdırma kaybı tayini 975 ± 25°C sıcaklıktaki bir fırında 15 dakika kızdırılarak yapılır.

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.

Çimentoda çözünmeyen kalıntı deneyi ile asitlerde çözünmeyen maddelerin yüzdesi 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

8) *Sülfat miktarı (% SO₃)*: Çimento priz başlama süresini geciktirmek için çimento içine alçı taşı katılması gerekir. Aksi halde trikalsiyum alüminat çok hızlı çözünerek priz süresinin çok kısılmasına 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 SO₃'ten daha fazla olması istenilmez.

Diğer Bileşenler: Hammadde içinde genellikle çok az miktarda bulunan alkali metal oksitleri (K_2O ve Na_2O) normal halde, çimentonun esas elemanları olan kireç, alümin veya silisle birleşmeyip, klinker içinde oksit halinde kahlrlar. Alkalilerin miktarının belirli bir sınırı aşması halinde bu bileşiklerin silikat ve alüminatların kristal yapılarında bazı değişiklikler meydana getirdiği ileri sürülmektedir. Ancak çimento içinde bulunan alkali oksitlerin büyük bir kısmının serbest halde olduğu ve çimento hidratasyonu sırasında su ile birleşerek hidroksit haline dönüştüğü kabul edilmektedir.

Hammaddeler içinde bulunan MgO klinkerin pişirilmesi sırasında başka maddelerle birleşmez. Bu nedenle klinker mineralojik bileşimine girmez. Bu madde çimentoda genel olarak iki şekilde bulunur.

- Klinkerin çok yavaş bir şekilde soğutulması halinde MgO kristal haline geçer. Bu durumdaki magnezyum oksitin çimento içinde bulunması önemli hacim artışlarına yol açtığından beton yapıda genleşme meydana gelir.
- Eğer klinker çok hızlı soğutulacak olursa, bu durumda MgO amorf bir yapıya sahip olur. Amorf yapıdaki magnezyum oksitin çimento içinde bulunması sakıncalı değildir. Bu görüşe dayanılarak yeni çimento standartlarında MgO sınır değeri kaldırılmıştır (Görü, Yalçın,2006).

3.6. Çimento Türleri

Portland Çimentosu: Betonarme yapılarda kullanımı en yaygın çimento türüdür. Portland çimentosu belirli oranda kalkertaşı ($CaCO_3$) ve kilin (SiO_2 ve Al_2O_3) karıştırılıp klinkerde pişirilmesinden sonra bilyali değirmende öğütülmesiyle elde edilir. Çimentonun sertleşmesini geciktirmek üzere klinkere bir miktar alçı taşı da eklenir.

Yüksek Fırın Cüruf Çimentosu: Granüle yakın fırın cürufu ile Portland çimentosu klinkeri karışımının az miktarda alçıtaşı ile öğütülmesi ile elde edilir. Genelde, bu tür çimentolar deniz suyu ve diğer sülfatlı ortamlarda Portland çimento suna kıyasla daha yavaş dayanım kazanırlar ve daha yüksek bir dayanıma sahip olurlar. Ancak geçirimsizlikleri daha düşüktür.

Puzolanlı (Traslı) Çimentolar: Puzolanlar (traslar) silisli ve alüminli maddeler içeren volkanik tüflerdir. Kendi başlarına bağlayıcılık özellikleri olmamasına rağmen, çimentoda mevcut kireçle bu özelliği kazanırlar. Bu tür çimentolar imalat aşamasında Portland

imentosu klinkerine aktif volkanik tüfler veya benzeri traslar katılarak, bunların    t lmesiyle elde edilir. Karışımda ki tras oranı %20-%40 düzeyinde tutulur. Bu tür çimentoların geirirnililiği az hidrasyon ısıları düşük olduğundan genellikle su yapılarında kullanılırlar.

Katkılı imentolar: Portland imentosu klinkerinin ağırlıkça en fazla %19'nun puzolanik malzeme ile değiştirilmesi ve alçı taşı eklenmesiyle elde edilir. Katkılı imento tarslı imento için belirtilen özelliklere sahiptir fakat traslı çimentodan farkı puzolan oranının daha fazla olmasıdır.

Diğer imento Türleri:

Uçucu K ll  imento

Süper Sülfat imentosu

Sülfata Dayanıklı imento

Erken Dayanımı Yüksek imento

4. TÜRKİYE’DE ÇİMENTO VE BORLU ÇİMENTO STANDARTLARI

4.1. Çimento Standartları

Türkiye’de çimento üretimine ilişkin ilk geliştirilen standart 1959 yılının 6/640 numaralı standardıdır. Bu standartta değişik Portland çimento, yüksek fırın cüruf çimentosu gibi çimento türlerine ilişkin üretim standartları belirlenmiştir. 1975 ve 1985 yılları arasında eski standartları iptal eden ve çimento çeşitlerini 6’dan 11’e çıkaran 6 farklı standart geliştiren Türkiye, 2000 yılında Avrupa standartlarını norm haline getirmiş ve EN 197[1] standardını benimsemiştir. Bu standart çerçevesinde CEM I, CEM II, CEM III, CEM IV ve CEM V tipleri tanımlanmıştır. Ayrıca yeni katkı maddelerinin standartları ile yeni kimyasal, fiziksel, kimyasal, fiziksel, mekanik test metot ve uygulamaları da EN 197 kapsamındadır. Çimentolarda en çok kullanılan standartlar: TS EN 197-1 (2002) Çimento - Bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, TS EN 197-2 (2002) Çimento - Bölüm 2: Uygunluk Değerlendirmesi, TS EN 196-1 (2002) Çimento Deney Metotları- Bölüm 1: Dayanım, TS EN 196-2 (2002) Çimento Deney Metotları- Bölüm 2: Çimentonun Kimyasal Analizi, TS EN 196-3 (2002) Çimento Deney Metotları- Bölüm 3: Priz Süresi ve Hacim Genleşme Tayini, TS EN 196-5 (2002) Çimento Deney Metotları- Puzolanik Çimentolarda Puzolanik Özellik Tayini, TS EN 196-6 (2000) Çimento Deney Metotları- Bölüm 6: İncelik Tayini, TS EN 196-7 (2000) Çimento Deney Metotları- Bölüm 7: Çimentodan Numune Alma ve Hazırlama Metotları, TS EN 196-21 (2002) Çimento Deney Metotları- Çimentoda Cl, CO₂ ve Alkali Muhtevası Tayini.

Genel çimentolar TS EN 197-1 (2002)’de “CEM çimentosu” olarak adlandırılmaktadır. Bu standarda göre çimento, su ile karıştırıldığında hidrasyon reaksiyonları ve prosesler nedeniyle priz alan ve sertleşen bir hamur (pasta) oluşturan ve sertleşme sonrası suyun altında bile dayanımını ve kararlılığını koruyan, inorganik ve ince öğütülmüş hidrolik bağlayıcıdır. Ayrıca bir klinker standardı olmadığı için klinkerde aranan özellikler de çimento standardının içine alınmıştır. İlgili tanımlamalar şöyle özetlenebilir (TS EN 197-1, 2002):

CEM Çimentosu: Hidrolik sertleşmesi öncelikle kalsiyum silikatların hidrasyonu sonucu meydana gelen ve içindeki reaktif CaO ve reaktif SiO₂ toplamının kütlece en az %50 olması

gereken çimentodur. Bileşimi Portland çimentosu klinkeri, alçı ve çeşitli mineral katkılardan oluşabilir.

Portland Çimentosu Klinkeri: Kalker ve kil gibi hammaddelerin CaO , SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 gibi oksitlerini içeren, hassas bir orantı ile birleştirilip ince öğütülmüş karışımının (farinin) döner fırında $1400-1500^\circ\text{C}$ sıcaklıkta pişirilmesi sonucu elde edilen yaklaşık 1 cm çapında topaklıklardır. Kütlece en az 2/3 oranında kalsiyum silikat içermeli, CaO/SiO_2 oranısı 2,0 den az olmamalıdır. Ayrıca, MgO içeriği en fazla % 5 olarak sınırlanmaktadır.

TS EN 197-1 (2002) standardı genel amaçlı çimentoları (CEM çimentoları) 5 ana tip içerisinde toplamaktadır:

Ana Tipler:

CEM I Portland çimentosu

CEM II Portland -kompoze çimento

CEM III Portland Yüksek Fırın Cürufu Çimento

CEM IV Puzolanik çimento

CEM V Kompoze çimento

Bu ana tipler Çizelge 4.1'de gösterilen toplam 27 çimento tipini kapsamaktadır.

Çimentoların bileşimleri ana bileşenler ile minör ilave bileşenlerden oluşmaktadır. (Keleş ve diğerleri, 2005)

Ana Bileşenler: Çimento ana bileşenleri: klinker ile Çizelgede belirtilen ve miktarları kütlece %5'in üzerinde olan ana bileşen katkılardır. Tiplerin ve çimento ana bileşenlerinin belirlenmesinde aşağıdaki semboller kullanılmıştır:

Tip ve Ana Bileşen Sembolleri:

A: Çimentonun en az mineral katkı içeren tipi

B: Çimentonun A tipinden daha fazla mineral katkı içeren tipi

C: Çimentonun B tipinden daha fazla mineral katkı içeren tipi

K: Klinker

S: Granüle yüksek fırın cürufu

D: Silis dumanı

P: Doğal puzolan

Q: Doğal kalsine edilmiş puzolan

V: Silissi uçucu kül

W: Kalkersi uçucu kül

T: Pişmiş şist

L: Kalker (TOC % 0.5)

LL: Kalker (TOC %0.2)

(TOC: Toplam organik karbon)

Çizelge 4.1. Çimento tipleri ve çeşitleri (TS EN 197-1, 2002).

Ana Tipler	Çimento Tipleri ve İşaretleri		Bileşim (kütlice % olarak)										Minör İlave Bileşen
			Ana Bileşenler										
			Klinker	Yüksek Fırın Curufu	Silis dumanı	Puzolan		Uçucu Kül		Pişmiş Şist	Kalker		
			K	S	D	Doğal P	Doğal Kalsine Edilmiş Q	Silissi V	Kalkersi W	T	L	LL	
CEM I	Portland Çimento	CEM I	95 - 100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0 - 5
CEM II	Portland - Curufulu Çimento	CEM II/A-S	80 - 94	6 - 20	-	-	-	-	-	-	-	-	0 - 5
		CEM II/B-S	65 - 79	21 - 35	-	-	-	-	-	-	-	-	0 - 5
	Portland - Silis Dumanlı Çimento	CEM II/A-D	90 - 94	-	6 - 10	-	-	-	-	-	-	-	0 - 5
	Portland - Puzolanlı Çimento	CEM II/A-P	80 - 94	-	-	6 - 20	-	-	-	-	-	-	0 - 5
		CEM II/B-P	65 - 79	-	-	21 - 35	-	-	-	-	-	-	0 - 5
		CEM II/A-Q	80 - 94	-	-	-	6 - 20	-	-	-	-	-	0 - 5
		CEM II/B-Q	65 - 79	-	-	-	21 - 35	-	-	-	-	-	0 - 5
	Portland - Uçucu Küllü Çimento	CEM II/A-V	80 - 94	-	-	-	-	6 - 20	-	-	-	-	0 - 5
		CEM II/B-V	65 - 79	-	-	-	-	21 - 35	-	-	-	-	0 - 5
		CEM II/A-W	80 - 94	-	-	-	-	-	6 - 20	-	-	-	0 - 5
		CEM II/B-W	65 - 79	-	-	-	-	-	21 - 35	-	-	-	0 - 5
	Portland - Pişmiş Şistli Çimento	CEM II/A-T	80 - 94	-	-	-	-	-	-	6 - 20	-	-	0 - 5
		CEM II/B-T	65 - 79	-	-	-	-	-	-	21 - 35	-	-	0 - 5
	Portland - Kalkerli Çimento	CEM II/A-L	80 - 94	-	-	-	-	-	-	-	6 - 20	-	0 - 5
		CEM II/B-L	65 - 79	-	-	-	-	-	-	-	21 - 35	-	0 - 5
		CEM II/A-LL	80 - 94	-	-	-	-	-	-	-	-	6 - 20	0 - 5
		CEM II/B-LL	65 - 79	-	-	-	-	-	-	-	-	21 - 35	0 - 5
	Portland - Kompoze Çimento	CEM II/A-M	80 - 94	6 - 20									0 - 5
		CEM II/B-M	65 - 79	21 - 35									0 - 5
CEM III	Yüksek Fırın Curufulu Çimento	CEM III/A	35 - 64	36 - 65	-	-	-	-	-	-	-	-	0 - 5
		CEM III/B	20 - 34	66 - 80	-	-	-	-	-	-	-	-	0 - 5
		CEM III/C	5 - 19	81 - 95	-	-	-	-	-	-	-	-	0 - 5
CEM IV	Puzolanik Çimento	CEM IV/A	65 - 89	-	11 - 35				-	-	-	0 - 5	
		CEM IV/B	45 - 64	-	36 - 55				-	-	-	0 - 5	
CEM V	Kompoze Çimento	CEM V/A	40 - 64	18 - 30	-	18 - 30		-	-	-	-	0 - 5	
		CEM V/B	20 - 38	31 - 50	-	31 - 50		-	-	-	-	0 - 5	

Mekanik ve Fiziksel Özellikler: TS EN 197-1 (2002) çimentoları için öngörülen mekanik ve fiziksel özellikler Çizelge 4.2’de “karakteristik” değerler olarak gösterilmiştir. (Binici ve diğerleri, 2007; Keleş ve diğerleri, 2005).

Çizelge 4.2. Çimentoların mekanik ve fiziksel özellikleri (TS EN 197-1, 2002):

Dayanım sınıfı	Basınç dayanımı (MPa)			Priz başlama süresi (dakika)	Genleşme (mm)	
	Erken dayanım		Standart dayanım			
	2 günlük	7 günlük	28 günlük			
32,5 N	-	16,0	≥32,5	≤52,5	≥75	≤10
32,5 R	≥10	-				
42,5 N	≥10	-	≥42,5	≤62,5	≥60	
42,5 R	≥20	-				
52,5 N	≥20	-	≥52,5	-	≥45	
52,5 R	≥30	-				

Kimyasal Özellikler: TS EN 197-1 (2002) çimentoları için öngörülen kimyasal özellikler Çizelge 4.3’de “karakteristik” değerler olarak gösterilmiştir. Ayrıca CEM IV çimentolarının pozolanik özellik kriterini sağlamaları gerekmektedir. (Keleş ve diğerleri, 2005; Tosun ve diğerleri, 2009).

Çizelge 4.3. Çimentoların kimyasal özellikleri (TS EN 197-1, 2002):

Özellik	Standart	Çimento tipi	Dayanım Sınıfı	Özellikler
Kızdırma kaybı	EN 196-2	CEM I CEM III	Hepsi için	≤ % 5,0
Çözünmeyen kalıntı	EN 196-2	CEM I CEM III	Hepsi için	≤ % 5,0
Sülfat miktarı (SO ₃ olarak) EN196-2		CEM I CEM II CEM IV	32,5 N 32,5R 42,5 N	≤ % 3,5
		CEM III	42,5 R 52,5 N 52,5 R	≤ % 4,0
Klorür içeriği	EN 196-21	Hepsi için	Hepsi için	≤ % 0,10
Pozolanik özellik	EN 196-5	CEMVI	Hepsi için	Deneyi sağlar

Çimentonun uygunluğu için kriterler genel çimentoların bileşim ve özellikler yönlerinden standarda uygunluğunun anlık (spot) numunelerin deneye tabi tutulması ile sürekli olarak değerlendirilmesi öngörülmüştür. İlgili prosedür ve istatistiki değerlendirmeler ile “yetkili kuruluş” tarafından çimentoya verilecek uygunluk belgesi ile ilgili hususlar TS EN 197- 1 (2002) ve TS EN 197-2 (2002)’de açıklanmaktadır.

Mineral Katkılar: Mineral katkı türleri ve TS EN 197-1 (2002)'de öngörülen bileşimleri konusunda ilave bilgiler aşağıda özetlenmiştir:

Doğal Puzolan: Doğada bulunan puzolanik özellikte madde ve kayaçlardır. Genellikle volkanik kökenlidirler. Türkiye'de "tras" olarak adlandırılırlar. TS EN 197-1 (2002)'e göre doğal puzolanlarda reaktif silis miktarı en az % 25 olmalıdır.

Kalsine Edilmiş Doğal Puzolan: Puzolanik özellikleri ısı işlem uygulanarak kazandırılmış olan doğal madde ve kayaçlardır. Reaktif silis içerikleri en az %25 olmalıdır.

Granüle Yüksek Fırın Cürufu: Yüksek fırında pik demir elde edilirken demir cevheri içindeki SiO_2 ve Al_2O_3 içeren gayrisafliklar yumuşatıcı olarak katılan kalkerdeki CaO tarafından bağlanır. Bu şekilde oluşan cürufun bileşimi Portland çimentosuna büyük benzerlik gösterir. Fırın çıkışında hızla soğutulması ve en az 2/3 oranında camsı faz içermesi gerekir. Ayrıca içindeki CaO , MgO ve SiO_2 miktarları toplamı gene en az 2/3 oranında olmalıdır. $(\text{CaO} + \text{MgO}) / \text{SiO}_2$ orantısının ise 1,0 den fazla olması istenmektedir.

Uçucu Kül: Çok ince öğütülmüş kömür yakan fırınların baca gazlarına karışan ve çoğunlukla çimentodan ince olan kül tanecikleri elektrostatik yöntemlerle tutularak ayrılırlar. Genellikle kömürle çalışan termik elektrik santrallerinde elde edilir. Kızdırma kaybı 1 saatte %5'i geçmemelidir. Kızdırma kaybı %5-7 arasında ise kül koşullu olarak çimentoda kullanılabilir.

Silissi Uçucu Kül: Reaktif CaO oranı %10'dan az olan puzolanik özellikli uçucu küldür. Serbest CaO içeriği %1'den fazla olmamalıdır. Serbest CaO değeri % 2,5'e kadar olan küller koşullu olarak kullanılabilirler. Reaktif SiO_2 %25 'den fazla olmalıdır.

Kalkersi Uçucu Kül: Reaktif CaO oranı %10'dan fazla olan bağlayıcı ve/veya puzolanik özellikli uçucu küldür. Reaktif CaO miktarı %15'e kadar olan küllerde reaktif SiO_2 %25'den fazla olmalıdır. Reaktif CaO miktarı %15'den fazla olan küller koşullu olarak kullanılabilirler. Hacim genleşmesi 10 mm'yi geçmemelidir.

Pişmiş Şist: Yaklaşık 800 °C da pişirilen şist bileşimi itibarı ile puzolanik ve bağlayıcı özellikler gösterir. Çimento gibi denendiğinde 28 günlük basınç dayanımı en az 25 MPa olmalıdır. Hacim genleşmesi 10 mm'yi geçmemelidir.

Kalker (Kireçtaşı): CaCO_3 içeriği en az %75 olmalıdır. Kil içeriği %1,2'yi geçmemelidir. Standartta toplam organik karbon (TOC) değerinin en fazla %0,2 (LL) ve %0,5 (L) olarak sınırlandırıldığı iki sınıfa ayrılmıştır.

Silis Dumanı: Silisyum ve ferrosilisyum alaşımlarının üretimi sırasında elektrik ark fırınlarında yüksek saflıktaki kuvarsın kömürle indirgenmesi sonucu elde edilen çok ince taneli baca tozudur. Reaktif silis içeriği en az %85 olup BET özgül yüzeyi en az $15 \text{ m}^2/\text{g}$ olmalıdır. Kızdırma kaybı 1 saatte %4'ü geçmemelidir. (Keleş ve diğerleri, 2005; Özkan 2009)

4.2. Çimentoların Standart Deneyleri

4.2.1. TS EN 196 – 3 (2002)' e göre yapılan çimento deneyleri

Bu standart, çimentoların priz süresi ve genleşmesi tayin metotlarını kapsar. Bu metotlar TS EN 197-1 (2002)'in kapsadığı tüm çimentolara uygulanır. Bu standart, referans metotları tarif eder. Anlaşmazlık durumunda, alternatif metotlar hariç olmak üzere, yalnız bu standartta tarif edilen referans metot kullanılır. Bu standartta standart kıvam tayini, priz süreleri tayini ve hacim genleşmesi tayini tanımlanmıştır. Priz süresi, iğnenin standart (normal) kıvamdaki çimento pastası içinde belirlenmiş bir derinliğe kadar girmesini gözlemek suretiyle tayin edilir. Genleşme, standart kıvamdaki çimento pastasının, iki iğnenin bağlı hareketi ile belirlenen hacim genleşmesini gözlemek suretiyle tayin edilir. Standart kıvamdaki çimento pastası standart sondanın içine girmesine karşı belirli bir direnç gösterir. Böyle bir pasta için gereken su miktarı, farklı su miktarları ile hazırlanan pastaların içine sondanın girmesi denemeleri ile tayin edilir. Analizlerle ilgili detaylı bilgi Ek-1'de yer almaktadır.

4.2.2. TS EN 196 – 6 (2000)'ya göre çimento inceliğinin tayini

Bu standart çimento inceliğinin tayini için iki metodu tarif eder. Çimentonun inceliği, standart eleklerden elenerek ölçülür. Çimentonun belirlenmiş göz açıklığından daha büyük olan tanelerinin oranı tayin edilir. İncelik tayininde $45\mu\text{m}$, $90\mu\text{m}$ ve $200\mu\text{m}$ elekler kullanılır. Hava geçirgenlik metodu (Blaine) ile özgül yüzey (kütleyle ilgili yüzey) bir referans çimento numunesi ile mukayese edilerek ölçülür. Çimentonun inceliği, belirlenmiş boyutlarda ve

porozitedeki sıkıştırılmış bir çimento yatağından sabit hava miktarının geçtiği sürenin gözlenmesiyle spesifik (özgül) yüzey olarak ölçülür. Analizlerle ilgili detaylı bilgi Ek-1’de yer almaktadır.

4.2.3. TS EN 196 – 1 (2002)’e göre basınç ve eğilme deneyleri

Bu metot (40 mm x 40 mm x 160 mm) olan prizmatik deney numunelerinin, basınç dayanımlarını ve isteğe bağlı olarak eğilme dayanımlarını tayin eder.

Numuneler, kütlece 1 kısım çimento, 3 kısım standart kum ile 0,50 su/çimento oranındaki taze harçtan hazırlanır. CEN Referans kumu kullanılarak elde edilen çimento dayanım sonuçlarından önemli ölçüde farklılık göstermemesi şartıyla, değişik ülkelerin standart kumları kullanılabilir.

Referans işlemden mekanik karıştırma ile hazırlanan harç, standart bir sarsma makinesi kullanılarak, kalıp içinde sıkıştırılır. Referans sarsma makinesi ile elde edilen dayanım sonuçlarından önemli ölçüde farklılık göstermemesi şartıyla alternatif sıkıştırma makinesi ve teknikleri kullanılabilir.

Kalıptaki numuneler, 24 saat rutubetli bir atmosferde muhafaza edilir, sonra kalıptan çıkarılan numuneler dayanım deneyine kadar su içinde bekletilir. İstenilen süre sonunda numuneler muhafaza edildikleri sudan çıkarılır ve eğilme deneyinde kırılarak ikiye ayrılan her parçaya basınç dayanımı deneyi uygulanır. Analizlerle ilgili detaylı bilgi Ek-1’de yer almaktadır.

4.2.4. TS EN 196-2 (2002)’ye göre yapılan çimento deneyleri

Bu standart, çimentonun kimyasal analiz işlemlerini kapsar. Bu standartta referans metotlar ve bazı hallerde de eşdeğer sonuçlar verdiği kabul edilen alternatif metotlar verilmiştir. Başka metotlar kullanılırsa bunların referans metotlarla elde edilen sonuçlara eşdeğer sonuçlar verdiğinin gösterilmesi gerekir. Anlaşmazlık durumunda referans metotlar kullanılır. Bu standart, çimentolarla klinker ve yüksek fırın cürufu gibi bileşenlerine de uygulanır. Standart özellikler hangi metotların kullanılacağını belirtir. Kütleler 0,00001 g yaklaşımla gram olarak, hacimler büretten 0,05 mL yaklaşımla okunup mililitre olarak ifade

edilir. Çözelti faktörleri, üç deneyin ortalaması alınarak virgülden sonra üç ondalıklı olarak verilir. Deney sonuçları, iki tayin sonucunun ortalaması alınıp yüzde olarak genellikle virgülden sonra iki ondalıklı olarak verilir. İki tayin sonucu arasındaki fark tekrarlanabilirliğin standart sapmasının iki katından fazla ise deney tekrarlanır ve birbirine en yakın değerdeki iki sonucun ortalaması alınır. Analizlerle ilgili detaylı bilgi Ek-1’de yer almaktadır.

4.3. Borlu Çimento Standardı

Borlu Aktif Belit (BAB) çimentosu üretimi ile ilgili çalışmalar 20. yüzyılın başlarında Amerika’da başlamıştır. Daha sonra muhtelif araştırmacılar tarafından laboratuvar ölçeğinde çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların ortak yanı; çimento hammaddesine belirli oranlarda katılan bor oksit (B_2O_3) ihtiva eden minerallerin, klinker oluşumunda sinterleşme sıcaklığını düşürerek enerji tasarrufu sağlandığını göstermesidir. Türkiye’de de Mart 2008’de TS 13353 standardı olarak yayınlanmıştır.

Hidrolik bir bağlayıcı olan BAB Çimentosu, ince öğütülmüş inorganik bir malzeme olup su ile karıştırıldığında hidrasyon reaksiyonları ile priz alan ve sertleşen bir hamur oluşturur. Bu çimento hamuru hidrasyondan sonra oluşan kararlı hidrate fazlar sayesinde dayanım ve kararlılığını korur. Bu tanım TS EN 197-1 (2002)’de yer alan çimento tanımına aynen uymaktadır.

BAB Çimentosunun hidrolik sertleşmesini sağlayan öncelikle aktif belit fazının hidrasyonudur, ancak diğer çimento fazları da sertleşme sürecinde rol alabilirler. Çimento içerisinde alit fazının bulunmaması, çimentonun su ile hidrasyonu esnasında daha az miktarda kireç ($Ca(OH)_2$) meydana getirmesine ve oluşan mikroyapının boşluk oranının (kapiler boşluklar) daha düşük olmasını ve sonuçta geçirgenliğinin de çok düşük olmasını sağlamaktadır. Betonun geçirgenliğinin düşük olması betonun mekanik dayanımının ve dayanıklılığının artmasına neden olmaktadır.

BAB Çimentosu ve çok düşük hidrasyon ısı çimentoların özellikle düşük yüzey/hacim oranına sahip yapı elemanları gibi kütle betonlarında kullanılması daha uygundur. Kütle betonu yapılarında çimentonun hidrasyonu esnasında çimentonun tipine bağlı olarak ortaya belirli bir miktar hidrasyon ısı çıkmaktadır.

Bu ısı betonun ısı iletiminin çok düşük olması nedeniyle yapı içinde yüksek sıcaklık artışları meydana getirmektedir. Sonuçta yapının iç ve dış kısımları arasında termal gradyanlar meydana gelmekte ve bu nedenle oluşan iç gerilmeler betonun çekme dayanımını aşması halinde beton çatlamakta ve işlevselliğini yitirmektedir. Bu özellikleri nedeniyle erken dayanımın istenildiği donatılı ve önyapımlı elemanların imalatında kullanılması uygun olmamaktadır. BAB çimentosunun çok düşük hidratasyon ısısına sahip olma özelliği, sıcaklıkla oluşabilecek çatlakların daha kolay kontrol edilebilmesi, yüksek dayanıma sahip yüksek akışkanlı beton yapımı ve sıcaklık yükselmesinin kontrolü hususlarında avantaj yaratacaktır.

Hidratasyon ısısının düşüklüğü sıcak havalarda kimyasal reaksiyonlara yardımcı olarak priz, katılma ve dayanım kazanmanın normal sürelerde oluşmasına katkıda bulunur. Buna karşın soğuk havalarda bu çimento ile yapılan betonlama işlerinde beton içerisinde priz hızlandırıcı ve yüksek oranda su azaltıcı tipinde kimyasal katkıların birlikte kullanılması gerekebileceği dikkate alınmalıdır.

Bu standarda göre üretilen BAB Çimentosunun uygunluk değerlendirmesi TS EN 197-2 (2002)'ye göre yapılır. Bu standardın gerekleri bakımından uygulanacak deney metotları için TS EN 196-1 (2002), TS EN 196-2 (2002), TS EN 196-3 (2002), TS EN 196-7 (2002), TS EN 196-8 (2004) ve TS EN 196-9 (2004) standartları uygulanır.

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 ($CaSO_4$) ile öğütülmesi ile elde edilen bir tür Portland çimentosu olarak tanımlanmaktadır. Borlu çimento bileşimi Çizelge 4.4'de verilmiştir (TS 13353, 2008).

Çizelge 4.4. Borlu çimento bileşimi

Ana tip	Malzemenin adı ve işareti		Bileşim (kütlece % olarak)	
			BAB çimentosu klinkeri K	Minör ilave bileşen
BABÇ	Borlu aktif belit çimentosu	BABÇ	95-100	0-5

Borlu çimentoların TS 13353 (2008) standardında ifade edilen kimyasal, mekanik ve fiziksel özellikleri Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.5. BAB Çimentosunun karakteristik değerlerle ifade edilen kimyasal özellikleri

Kimyasal özellik	Gerekler.	Kütlece %
Kızdırma kaybı	En çok	5,0
Çözünmeyen kalıntı	En çok	5,0
α veya α' -C ₂ S (belit, di-kalsiyum silikat)	En az	60,0
C ₃ A (trikalsiyum aluminat)	En çok	7,0
B ₂ O ₃	En çok	5,0
SO ₃	En çok	3,5
MgO	En çok	5,0
Klorür. Cl	En çok	0,1

Çizelge 4.6. BAB Çimentosunun karakteristik değerlerle ifade edilen mekanik ve fiziksel özellikleri

Özellikler	Gerekler			
Dayanım sınıfı	32,5 N	32,5 R	42,5 N	42,5 R
2 günlük basınç dayanımı (MPa)	-	≥ 10,0	≥ 10,0	≥ 16,0
7 günlük basınç dayanımı (MPa)	≥ 16,0	≥ 20,0	≥ 20,0	≥ 30,0
28 günlük basınç dayanımı (MPa)	≥ 32,5 ≤ 42,5	≥ 32,5 ≤ 52,5	≥ 42,5 ≤ 52,5	≥ 42,5 ≤ 62,5
90 günlük basınç dayanımı (MPa)	≥ 42,5	≥ 52,5	≥ 52,5	≥ 62,5
Priz başlangıç süresi (min.)	≥ 75		≥ 60	
Genleşme (mm)	≤ 10			
Hidratasyon ısısı (cal/g) (TS EN 196-8'e göre 7 gün sonunda. TS EN 196-9'a göre 41 saat sonunda veya izotermal konduksiyon kalorimetre metodu ile 7 gün sonunda tayin edildiğinde)	52,5			

5. KATKILI ÇİMENTOLARLA İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Son yıllarda çimento endüstrisinde atıkların değerlendirilmesine yönelik çalışmalar hız kazanmış, uygun miktarda atık malzeme kullanımıyla hem çevresel hem de ekonomik fayda sağlanabileceği görülmüştür. Birçok araştırmacı, çimentoda katkı maddesi olarak uçucu kül, taban külü, kolemanit konsantratör atığı, tinkal konsantratör atığı ile bunların ikili veya üçlü karışımlarını kullanmak suretiyle aynı anda farklı türde atık malzemelerin çimento üretiminde değerlendirilebilirliğini incelemişlerdir. Yapılan bu çalışmada bor atık katkılı çalışmaların yanında bor atıklarının puzolanik etkisinden dolayı puzolanik özelliğe sahip katkıların çimentoya etkisinin incelendiği çalışmalardan da yararlanılmıştır.

Mutuk ve Mesci (2014) yaptıkları çalışmada çeltik kabuğu ve bor endüstri atıklarının çimentoya eklendiğinde mekanik özellikleri incelenmiştir. Yapılan çalışmada çimentoya bor atığı eklendiğinde basınç dayanımının azaldığı görülmüştür. %5 oranında bor atığının çimentoya katkı maddesi olarak kullanılmasının uygun olacağı sonucuna varılmıştır.

Sevim ve Tümen (2013) yaptıkları çalışmada Emet Borik Asit Fabrikası'ndan alınan borojipsin doğal alçı yerine çimentoya katkı maddesi olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Kütlece %3, %5, %10, % 15 oranında borojips katkısının çimentoya etkisi incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda borojipsin priz başlangıç ve priz sonu süresini artırdığı bulunmuştur. Bu yüzden çimentoda priz geciktirici katkı maddesi olarak kullanılması önerilmiştir. %3-5 oranında borojips miktarının kontrol çimento numunesine göre daha yüksek basınç dayanımı göstermiştir. 90 günlük uzun dönem numunelerde %10 oranında katkının kontrol numunesiyle benzer özelliklerde olduğu görülmüştür. %15 katkı ilavesi basınç dayanımına olumsuz etkide bulunmuştur. Çimentoda borojips katkısı arttıkça su ihtiyacının arttığını, kıvamın da düştüğünü gözlemlemişlerdir.

Pehlivanoğlu ve diğerleri (2013) yaptığı çalışmada boroksit/çimento (B_2O_3/c) oranının taze çimento harcının priz başlangıç ve bitiş sürelerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, bu çalışmada B_2O_3 kaynağı olarak kullanılan $B[OH]_3$ ile birlikte priz hızlandırıcı ve harç gözenek suyunun alkanitesini artırıcı kimyasal katkı maddeleri kullanımının çimento hidratasyonuna etkisi de araştırılmıştır. B_2O_3 ' ün priz süresini artırdığı görülmüştür. Borik asidin hidratasyon sürecine olumsuz etkisini bastırmak için çimento ağırlığının farklı

oranlarında üç farklı stabilizör karışımlara ilave edilerek priz süreleri yeniden ölçülmüş ve sonuçlar hem kontrol hem de borik asit katkılı/stabilizör katkısız harç örnekleri ile karşılaştırılmıştır.

Abo-El-Eneina ve diğerleri (2014) yaptıkları çalışmada uçucu kül ve silika dumanı katkılı çimentoların fizikomekanik özelliklerini ve XRD ile hidratasyonunu incelemişler. Yapılan çalışmada uçucu kül priz başlangıç sürelerini geciktirmiştir. Uzun dönem hidratasyonunda uçucu külün pozolanik özelliğinden kaynaklı uçucu kül katkılı çimentoların basınç dayanımlarının Portland çimentoya yaklaştığı gözlenmiştir.

Ustabaş (2011) yaptığı çalışmada kolemanit ve üleksitin çimentoda kullanılabilirliği araştırılmıştır. Yapılan analizlerde kolemanit ve üleksitin priz süresini artırdığı gözlenmiştir. Çalışmada; bu minerallerin doğrudan kullanımı harç numunelerin eğilme ve basınç dayanımlarında bir artışa neden olmadığı söylenmiştir. Klinker ile kolemanit ve üleksit karışımının fırında pişirilerek üretilen çimentolarda aşırı miktarda genleşme meydana gelmiş ve harç kıvamı azalmıştır. Yapılan bu çalışmada borlu çimento üretimi ve bunun yapılarda kullanılabilirliği için uzun süreli çalışmaların yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Hu (2014) yaptığı çalışmada uçucu kül karışimli çimento pastalarının mikroyapılarını ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Yapılan ölçümler sonucunda uçucu kül katkısıyla CH yüzdesi azaldığı yapıdaki kristal miktarının ve yoğunluğun arttığı gözlenmiştir.

Binici ve diğerleri (2010) yaptıkları çalışmada, çalışmada; barit, kolemanit, öğütülmüş yüksek fırın cürufu ve bazaltik pomza içeren betonların dayanım ve dayanıklılığını incelenmiştir. Referans ve katkılı betonların, basınç dayanımı, sülfat dayanımı, aşınma dayanımı, donma-çözünme direnci ve permeabilite özellikleri araştırılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda kolemanit %0,75 katkı düzeyine kadar bütün serilerde basınç dayanımını artırmıştır. Ön denemeler bu orandan daha fazla kullanılmasının beton prizini engellediği görülmüştür. Yüksek fırın cürufunun betonda katkı olarak kullanılması özellikle ileriki yaşlarda dayanımı önemli oranda artırmıştır. YFC katkılı örnekler sülfat etkisine karşı önemli ölçüde direnç göstermişlerdir. Artan YFC katkısı oranıyla doğru orantılı olarak bu direnç de artmıştır. Pomza ve barit agregası aşınmaya karşı dayanıklı beton üretiminde kullanılmaması gerektiği gözlenirken, kolemanit katkısı, aşınmaya karşı direnci artırır özellik göstermektedir. Kolemanitin kristal ve düzenli bir yapıda olması, YFC katkılı

betonlarda ise agrega çimento ara yüzeyi daha homojen ve yoğun olduğundan, bağlantılar daha kuvvetli ve boşluk miktarı daha az olması, permeabilite değerlerinin düşük olmasına neden olmuştur. Yapılan çalışmada kolemanitin basınç, donma-çözülme, aşınma, sülfat dayanımlarına ve su geçirimsizliği gibi birçok özelliğine olumlu katkılarda bulunduğu deneysel olarak gözlenmiştir.

Perrakia ve diğerleri (2010) puzolanik özellikteki zeolitin çimentoda hidrasyona etkilerini incelemişlerdir. Yapılan XRD ve FTIR analizleri sonucu zeolitin puzolanik özelliğinden kaynaklı Portland çimento hidrasyonunda Ca(OH)_2 oluşumunu azalttığı çimentonun hidrasyon ürünlerini artırdığı gözlenmiştir.

Erdoğan (2009) yaptığı çalışmada doğaya serbest bırakıldıklarında çevre kirliliğine ve büyük ekonomik kayıplara neden olan kolemanit konsantratör atığının, Karabük çürufunun ve uçucu külün tek başlarına ve birlikte ikili üçlü karışımlar şeklinde Portland çimentosu klinkerine ilave edilmesiyle oluşturulan harçların asitli ortama maruz bırakılmaları sonucunda basınç dayanımlarındaki değişimler incelenmiştir. Çalışma sonucunda uçucu külün, kolemanit konsantratör atığının ve Karabük Demir Çelik Fabrikası çürufunun Portland çimentosuna ilave edilmesiyle harçların asitli ortamda daha dirençli hale geldiği ortaya çıkmıştır.

Ergi ve diğerleri (2007) bazı endüstriyel atıkların, betonun mekanik dayanımına etkisini araştırmak amacıyla Çinko-Bakır fabrikası atıkları, alçı atığı, uçucu kül ve boraks şlamı belli oranlarda PÇ 42,5 CEM II/A çimentosuna ilave edilerek bu katkıların betonarme demirlerinin korozyonuna etkisini incelemişler ve bu katkıların korozyonun önlenmesinde çok önemli bir etkisi olduğu tespit edilmiştir.

Chindaprasirt ve diğerleri (2007) uçucu kül katkısının çimentonun mikroyapısına etkisini incelemişlerdir. Uçucu kül katkısına sahip çimento hamurları Portland çimentolu hamurlara göre daha küçük boşluklara sahip olduğu görülmüştür. Uçucu kül katkısına sahip çimento hamurlarında gözlenen Ca(OH)_2 piki uçucu kül katkısı ve incelik arttıkça azalmıştır. Tüm çalışmalar sonucunda puzolanik reaksiyonun etkisiyle çimento hamurları daha homojen ve yoğun bir yapıya sahip olmuştur.

Abali ve diğerkleri (2006) yaptıkları çalışmada tinkal atıkları, volkanik tñf, betonit ve uçucu külñn çimentoya katkı maddesi olarak kullanılması incelenmiştir. Yapılan çalışmada tinkal atık katkısı arttıkça çimentonun erken yaş dayanımı azalmıştır. Tinkal atık katkısı arttıkça yapısındaki B_2O_3 ve MgO ‘ dan dolayı priz sürelerinde gecikme görñlmüştür. Tinkal atık ve uçucu kül çimentoda hacim genleşmesini artırmıştır.

Kavas ve diğerkleri (2005) yaptıkları çalışmada borojips, uçucu kül ve Portland çimentosu klinkeri kullanılarak hazırlanan karışımların priz süresine etkisi incelenmiş, uçucu kül-çimento matriksine doğağ alçı yerine borojips kullanılabilirliğı araştırılmıştır. Karışımlara doğağ alçı yerine borojips kullanıldığında priz süresinin uzadığı gözlenmiştir. Basınç dayanımının borojipsli ve doğağ alçılı çimentolarda benzer özelliklerde olduğı görñlmüştür. Karışımlarda borojips miktarı arttıkça hazırlanan harçların basınç dayanımı düşmüştür. Yapılan analizler sonucunda borojipsin doğağ alçı yerine kullanılabileceğı sonucuna varılmıştır.

Yetgin ve Çavdar (2005) doğağ puzolan katkı oranının çimentonun dayanım, işlenebilirlik, katılaşma ve hacim genleşmesi özelliklerine etkisini incelemişler, elde edilen sonuçlara göre, doğağ puzolan içeren çimentolar, ilk günlerde Portland çimentosuna göre daha düşük bir basınç dayanımı sergilemelerine rağmen, ilerleyen günlerde bu fark gittikçe azaldığı gözlenmiş ve özellikle, yüksek dayanımlı çimentolara yüksek oranda doğağ puzolan ilave edilmesi suretiyle, standartların öngördüğü en düşük dayanımdan ($32,5 \text{ N/mm}^2$) vazgeçilmeksizin yüksek dayanıklılığa sahip çimentoların üretilebileceğı bu çalışma göstermektedir.

Boncukçuoğlu ve diğerkleri (2002) borojipsin doğağ alçı yerine çimentoda priz geciktirici olarak kullanılmasını incelemişlerdir. Yapılan çalışmada borojips katkılı harçların basınç dayanımlarının doğağ alçılı harçlardan daha yüksek olduğı ancak borojips katkısı arttıkça basınç dayanımın düşüş gözlenmiş olup çimentoya kütlece %10 a kadar borojips katkısının priz geciktirici olarak kullanılabileceğı önerilmiştir.

Targan ve diğerkleri (2003), kolemanit atığını, Kula cürufu ve bentonit karışımına ayrı ayrı ilave etmişler ve farklı oranlarda kolemanit atığının çimento üretiminde değerlendirilebileceğini ve klinker üretiminde enerji tasarrufu sağlanacağını belirtmişlerdir.

Boncukçuoğlu ve diğerleri (2005) yaptıkları diğer bir çalışmada, tinkalden boraks üretimi esnasında meydana gelen ve tromel elek atığı (TEA) olarak nitelendirilen borlu atık malzeme çimento üretiminde kullanılmış ve bor atık katkılı çimentolardan (TEA) elde edilen betonlar, geleneksel çimentolardan elde edilen betonlara nazaran daha iyi mekanik özellik sergilediğini ayrıca çimento priz süresi kısalma etkisi gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Uğurlu ve diğerleri (2004), yaptıkları çalışmada çimentoda hidrolik bağlayıcılar için önemli sayılan silisli, alüminli ve demir oksitli bileşenler içeren borlu kil atıkların çimento içerisinde değerlendirilmesini incelenmiştir. Boraks içerikli kil pestili atığı çimento, harç yada beton içerisinde yapısındaki jips nedeniyle geciktirici olarak işlev gördüğü tespit edilmiştir. Harç içerisine düşük yüzdelerde (%1,5) kil pestili atığı katılması sonucu basınç ve çekme dayanımında az da olsa artışlar meydana geldiği görüldüğü ifade edilmiştir. Ayrıca kil pestili atıklarının harçta kullanımı beton içyapısında, herhangi olumsuzluk gözlenmediği görüşüne varmışlardır.

Zeybek ve diğerleri (2005) yaptığı çalışmada tinkal konsantratör atığı içeren çimentoya bazı polimer ve alkali tuzların etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada, tinkalin zenginleştirilmesi sırasında oluşan konsantratör atığının, çimento hammaddesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu atık belirli oranda Portland çimentosu klinkeri ve alçıtaşına katılarak çimento karışımı hazırlanmış, hazırlanan çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Tinkal konsantratör atığı, çimentonun priz başlama ve sona erme sürelerini düşürmekte ve elde edilen değerler TS 10156 ile uyuşmamaktadır. Bu sorun, alçıtaşının miktarı artırılarak giderilmelidir. Tinkal konsantratör atığı içindeki bor, çimentonun basınç dayanımlarını düşürmektedir.

Elbeyli (2004)'nin yaptığı çalışmada endüstriyel boraks atıklarının Portland çimento içerisinde değerlendirilmesi incelemiştir. Suda çözünebilen safsızlıklar özellikle B_2O_3 basit bir yıkama prosesiyle boraks atıklarından uzaklaştırmış zira çimentoda B_2O_3 miktarının artması dayanım değerlerinin düşmesine sebep olmaktadır. Bu çalışma sonucunda katkısız Portland çimentonun basınç dayanımı, genleşme ve prizlenme süresi atıktaki B_2O_3 miktarının artmasıyla negatif etkilenmiştir. Bu yüzden katkı olarak düşük içerikli B_2O_3 lü atıklar kullanılması önerilmektedir. Bor bileşikleri antiseptik olduğundan ve radyoaktif geçirgenliği düşürdükleri için elde edilen çimento ve betonlar mikrobiyal bozunmaya karşı

dirençli oldukları için boraks atıklarının B_2O_3 içeriği düşürüldükten sonra çimentoya katkı olarak kullanılabileceği önerilmektedir.

Özdemir ve diğerleri (2003) çalışmalarında bor içeren kil atıkların çimento katkısı olarak değerlendirilmesini incelemişlerdir. Klinkerve alçıya kil atığı eklenmiş çimentonun mekanik ve kimyasal özellikleri araştırılmıştır. %1 lik kil atığı içeren harç Portland çimentoya göre daha yüksek bir basınç dayanımına sahip olduğu tespit edilmiştir.

Olgun ve diğerleri (2007) çalışmalarında, kimyasal yolla aktive edilmiş bor içeren çimentonun fizikokimyasal özelliklerini incelemişlerdir Kolemanit cevheri atığı ve ayrıca sülfonatmelamin formaldehit (SMF) kondensatı, sülfonat naftalin formaldehit (SNF) kondensatı, Na_2SO_4 ve kalsiyum klorür gibi ek katkıları ilave edilmiş, Kolemanit cevheri atığı kullanılan numunelerde ilk ve son prizlenme süreleri elde edilmiş, ayrıca, basınç dayanımında artışa sebep olmuştur. Ek katkı maddelerinin kullanılması ise puzolonik reaksiyonlara sebep olarak basınç dayanımını arttırmışlardır. Çalışma sonunda kolemanit cevher atığının doğal alçı taşı yerine kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Kavas ve diğerleri (2007) yaptığı başka bir çalışmada pektinin bor katkılı çimentonun fizikokimyasal ve mekanik özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada kolemanit atıkları katılmış Portland çimentosuna ağırlıkça %0,1-1 arasında farklı konsantrasyonlarda katılan pektinin etkileri incelenmiştir. Bor atıkları çimentoda kullanıldığında betonun fiziksel özelliklerinde iyileştirmelere neden olduğu çeşitli çalışmalarda ortaya konmuştur. Hem çimentonun özellikleri geliştirilirken hemde bir endüstriyel atığın değerlendirilmesi büyük öneme sahip bir prosestir. Ancak bor atıklarının fazla miktarda katılması da eğer uygun önlemler alınmaz ise prizlenme süresini olumsuz olarak etkilemektedir.

Sağlık ve diğerleri (2009) yaptıkları çalışmada nihai ürün içerisinde yaklaşık %2,5 B_2O_3 değerine tekabül edecek kadar hammaddeye %10 oranında kolemanit ilave ederek Borlu Aktif Belit (BAB) çimentosu üretmişler. Bu çimento ile yapılan betonların normal Portland çimentosu ile yapılanlara göre erken (3 ve 7 gün) dayanım değerleri daha düşük olduğu tespit edilmiş, ancak bir süre sonra (28 gün ile 90 gün arası), BAB Çimentosu dayanımı ile Portland çimentosu dayanımının aynı seviyeye ulaştığı, uzun vadede (90 gün ve ötesi) ise, BAB Çimentosunun öne geçtiği gözlemlenmişler. Ayrıca, çimento inceliği arttırılmaksızın beton teknolojisinde sıkça kullanılan beton kimyasal katkıları (priz hızlandırıcılar, süper

akışkanlaştırıcılar) ile de yüksek erken dayanım değerleri rahatlıkla elde edilebileceği vurgulanmıştır.

Özmal ve diğerleri (2005), yaptıkları çalışmalarda kolemanit konsantratör atığını yalnız ve çeşitli yapay puzolanlar la birlikte kullanarak çeşitli priz süreleri bulmuşlardır. Kolemanit konsantratör atığı, uçucu kül ve alünit katkılı çimentonun her türlü birleşiminin priz başlangıcı ve priz sonu sürelerini uzattığını bulmuşlardır. Yaptıkları araştırmalarda kolemanit konsantratör atık ile beraber çeşitli puzolanik katkıları kullanarak (uçucu kül, alünit) üretilen tüm çimento tiplerinde katkı oranının artması ile basınç dayanımları bir miktar arttığı gözlemlenmiştir.

6. MATERYAL ve METOT

6.1. Materyal

6.1.1. Kolemanit kaynaklı borik asit fabrikası atığı (KKBAFA)

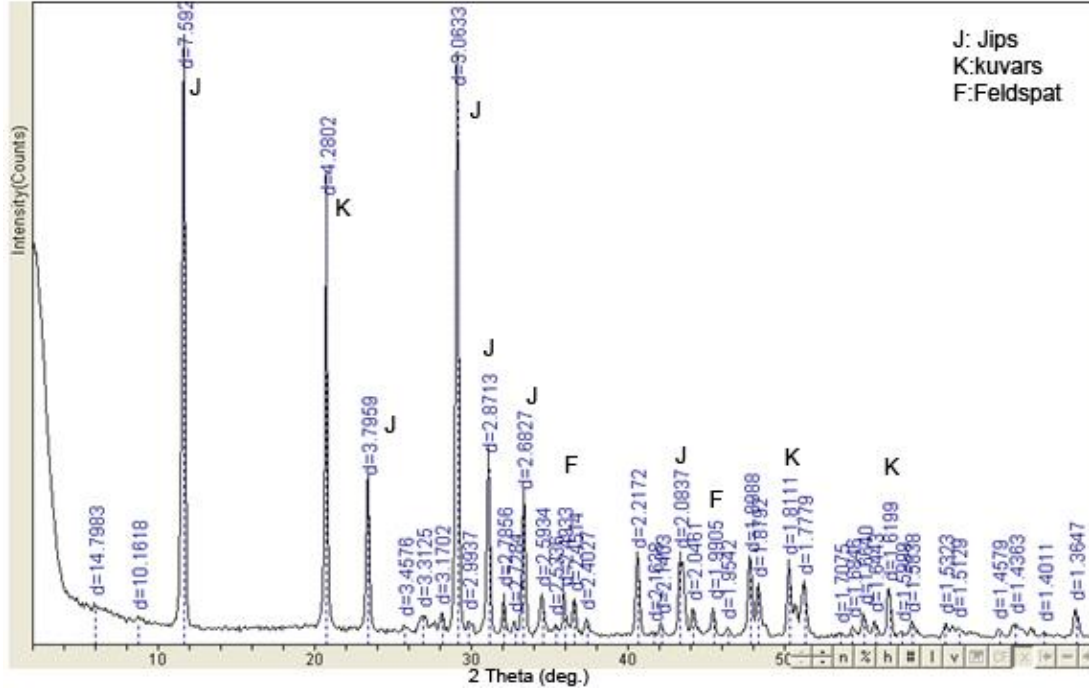
Çalışmada kullanılan KKBAFA (Kolemanit Kaynaklı Borik Asit Fabrikası Atığı), Kütahya iline 100 km uzaklıkta bulunan Emet ilçesinde yer alan Emet Bor İşletme Müdürlüğü'nün borik asit üretimi esnasında çıkan nihai atıklarının toplandığı atık baraj gölünden alınmıştır. Kullanılan KKBAFA Resim 6.1'de görülmektedir. KKBAFA'nın özgül kütlesi $2,24 \text{ g/cm}^3$ 'dür. Numune deneylerde kullanılmadan önce etüvde $105 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de 48 saat süre ile kurutularak sabit tartıma getirilmiş ve bilyalı değirmende öğütülmüştür. Numunenin kimyasal analizleri XRF ile mineralojik analizleri XRD ile yapılmıştır. B analizi ICP cihazıyla yapılmıştır. Kullanılan KKBAFA'nın XRF analiz sonuçları Çizelge 6.1'de, XRD diyagramı ise Şekil 6.1'de verilmiştir. KKBAFA, CEM I (42,5R) Portland çimentosu klinkerine %3, %5, %7 ve %10 oranlarında katılmıştır. Numuneler ideal tane boyutuna gelene kadar öğütülerek toz hale getirilmiş ve MTA laboratuvarlarında Panalytical X'Pert Powder XRD Analiz Cihazı ile analiz edilmiştir. Örneklerin kırınım desenleri bakır radyasyonu [$\lambda (\text{CuK}\alpha) = 1,54056 \text{ \AA}$] kullanılarak $2\theta = 2,5 - 70,0^\circ$ tarama aralığında ve $6^\circ/\text{dakika}$ tarama hızında alınmıştır. XRF analizleri MTA laboratuvarında Rigaku NEX-CG EDXRF Cihazı ile yapılmıştır.



Resim 6.1. Borik asit fabrikasından alınan kolemanit atığı

Çizelge 6.1. Kullanılan KKBAFA kimyasal (XRF) analiz sonuçları (%)

Bileşen	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	SrO	B	Li	A.Za.
%	<0,1	1,6	8,2	0,8	25,2	0,1	0,6	2,1	34,5	1,1	0,48	0,02	25,2



Şekil 6.1. Kullanılan KKBAFA XRD diyagramı

Şekil 6.1’de verilen XRD grafiğinden KKBAFA’ nin analizi sonucunda Jips, Kuvars (çok çok az), Feldispad (çok çok az) olduğu görülmektedir.

Klinker

Çalışmada kullanılmak üzere Baştaş Çimento’ dan 60 kg kadar döner fırın ağzından alınmış CEM I (42,5 R) Portland Çimentosu klinkeri numunesi alınmış ve MTA’ dan hizmet alınarak XRF metoduyla kimyasal analizleri yapılmıştır. Deneylerde kullanılan klinker numunesi Resim 6.2’ de verilmiştir. Kullanılan klinkerin özgül kütlesi 3,19’ g/cm³’ tür. Klinker numunesinin kimyasal analizi Çizelge 6.2’ de verilmiştir.



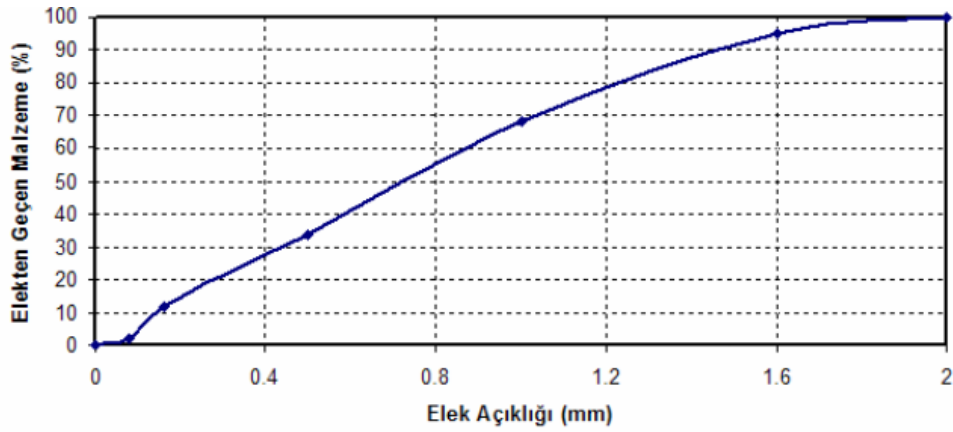
Resim 6.2. Deneylerde kullanılan klinker numunesi

Çizelge 6.2. Klinker numunesi kimyasal (XRF) analiz sonuçları

Bileşen	%
SiO ₂	20,6
Al ₂ O ₃	4,9
Fe ₂ O ₃	3,4
CaO	66,0
MgO	1,8
SO ₃	0,9
Na ₂ O	0,6
K ₂ O	0,9
S.Ca	1,2
Modüller	
SM	2,23
ALM	1,7
KST	98,5
Minerolojik bileşimler	
C ₃ S	60,0
C ₂ S	13,9
C ₃ A	9,8
C ₄ AF	10,3

Standart kum

Harç numunelerinin hazırlanmasında EN 196-1 CEN standart kumu kullanılmıştır (TS EN 196-1, 2002). Limak Batı Çimento Tekirdağ fabrikasından Rilem – Cembureau Pınarhisar standart kumu temin edilmiştir, Resim 6.3’de görülmektedir. 1 pakette 1350 ± 5 g kum bulunmaktadır. Standart Rilem kumu granülometresi şekil 6.2’de verilmektedir.



Şekil 6.2. Standart rilem kumu granülometresi



Resim 6.3. Standart kum paketi

Baştaş CEM I (42,5 R) çimento

Deney çalışmalarında Baştaş Çimento Fabrikası'ndan alınan CEM I (42,5 R) tipi çimento kullanılmıştır. Çimentonun kimyasal analizi, üretici çimento firmasından alınmış, fiziksel özellikleri ise laboratuarda yapılmıştır. Çimentoya ait kimyasal bileşim Çizelge 6.3'de verilmiştir.

Çizelge 6.3. CEM I (42,5 R) çimentosunun kimyasal bileşimi (Baştaş Çimento)

Bileşen	%
CaO	64,72
SiO ₂	20,00
Al ₂ O ₃	4,92
Fe ₂ O ₃	3,76
MgO	1,84
SO ₃	2,65
K ₂ O	0,53
Na ₂ O	0,26
Kızdırma kaybı	1,54
Çözünmeyen kalıntı	-

Su

Deneylerde kullanılan karışım suyu Ankara şehir şebekesinden alınan içme suyudur.

6.2. Metot

Klinker ve KKBAFA ayrı ayrı öğütüldükten sonra, klinkere %3, %5, %7 % 10 oranlarında KKBAFA katkısı ilave edilerek çimento numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan çimento numunelerinin standartlar kapsamında fiziksel, mekanik ve kimyasal analizleri yapılarak Baştaş Çimento CEM I (42,5 R) çimento ile mukayeseler yapılmıştır. KKBAFA katkılı çimentolarda doğal alçı taşı kullanılmamıştır. Hazırlanan çimento karışımları ve kodları Çizelge 6.4 ve Çizelge 6.5’de verilmiştir.

Deneyisel çalışmaların yürütüldüğü laboratuvar ortam şartları $23,0 \pm 2,0$ °C sıcaklık, 690 mmHg basınç ve 55 ± 5 bağıl nem miktarı olarak belirlenmiştir.

Çizelge 6.4. Numune kodları

Kod	Açıklaması
K	Klinker
CEM I (42,5R)	Portland Çimento
KKBAFA	Kolemanit Kaynaklı Borik Asit Fabrikası Atığı
KAKÇ	Kolemanit atık katkılı çimento
KAKÇ3	%3 KKBAFA içeren çimento numunesi
KAKÇ5	%5 KKBAFA içeren çimento numunesi
KAKÇ7	%7 KKBAFA içeren çimento numunesi
KAKÇ10	%10 KKBAFA içeren çimento numunesi

Çizelge 6.5. Çimento karışımında kullanılan madde oranları

Çimento tipi	Klinker (%)	KKBAFA (%)	Alçıtaşı (%)
CEM I (42,5 R)	95	-	5
KAKÇ3	97	3	-
KAKÇ5	95	5	-
KAKÇ7	93	7	-
KAK10	90	10	-

6.2.1. Numunelerin hazırlanması

Klinker ve KKBAFA' nın birbiriyle karıştırılmasından yararlanılarak katkılı çimentolar elde edilmiştir. Klinker ve KKBAFA öncelikle 105 ± 1 °C' etüvde bekletilerek sabit tartıma getirilmiştir. Daha sonra öğütücüde 7 saat ayrı ayrı öğütülmüştür. Öğütülen klinker ve KKBA elek analizi yapıldıktan sonra 90 µm'lik elekten geçirilmiş, çimento numuneleri hazırlanırken 90 µm elek altı kullanılmıştır. Klinkere, kütlece %3, %5, %7, % 10 KKBAFA ilave edilerek KKBAFA katkılı çimento numuneleri hazırlanmıştır.

Öğütücü olarak endüstride benzer olması için laboratuvar boyutunda Resim 6.4 de görülen bilyalı değirmen kullanılmıştır. Hazne ruloların üzerinde tek eksenle dönmekte olup içindeki bilyalar yardımıyla öğütme sağlanmaktadır. Dönme hızı ayarlanabilmektedir. 3 L hacmi olan Resim 6.5'de verilen tek haznesi vardır. Öğütme işleminde çapları 0,5 cm ile 2,5 cm arasında değişen çelik bilyalar kullanılmıştır. Öğütülen malzeme/bilya oranı ağırlıkça 1/9 dur (Touil, 2008).

Her bir parametre için üç adet paralel numune hazırlanmış ve sonuçlar aritmetik ortalama cinsinden verilmiştir.



Resim 6.4. Deneysel çalışmalarda kullanılan Uslu marka öğütücü



Resim 6.5. Öğütücü haznesi

6.2.2. Çimento karışımlarında yapılan fiziksel deneyler

Çimentoda incelik tayini

Çimento inceliğinin tayini TS EN 196 -6 (2000)'ya göre yapılmıştır. Çimentonun belirlenmiş göz açıklığından daha büyük olan tanelerinin oranı tayin edilmiştir. Numuneler TS EN 196-6 (2000) standardında belirtildiği gibi 45µm, 90µm ve 200 µm göz açıklığındaki eleklerden elendikten sonra, elek üzerinde kalan miktar kütlece % olarak bulunmuştur.

Kullanılan elekler 150 mm-200 mm çapta, 40 mm-100 mm derinlikte, silindirik çerçeveye tutturulmuş 40-90-200 µm göz açıklığında paslanmaz örme çelik telden yapılmış dokumadan oluşur.

Deneyisel çalışmalarda kullanılacak öğütme süresinin belirlenmesi amacıyla ilk olarak öğütücüde 4, 7 ve 10 saat öğütme yaparak en uygun öğütme süresi belirlenmiştir. Çimento inceliğiyle öğütme süresi arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla ve bu çalışma için en uygun öğütme süresini tespit amacıyla TS EN 196-6 (2000)'da verilen 45 µm, 90 µm ve 200 µm elekler kullanılarak elek analizleri yapılmıştır (TS EN 196-6, 2000).

İlk olarak öğütücüde 4, 7 ve 10 saat öğütülen klinker ve KKBAFA numunelerin öğütülmemiş büyük parçalarını eleme amacıyla 250 µm'lik elekten geçirilmiştir. Çimento üretiminde, üretilen çimentolar değirmen çıkışında seperatörlerden geçirilmek suretiyle çimentoya öğütülmemiş klinker karışmasına izin verilmemektedir. Laboratuvarıda ise böyle bir aparat kullanılmamıştır. Bu çalışma kapsamında hazırlanan çimentoların da uygulamada kullanılan çimentolara benzemesi ve homojen bir karışım elde etmek için malzemeler önce öğütülmüş ardından 250 µm elekten elenmişlerdir. Böylece seperatörün yaptığı ayırma işlemi gerçekleştirilmiş olmaktadır. Elek üzerinde kalarak ayrılan iri tanecikler öğütücüde tekrar öğütülüp tekrar eleklerden geçirilmiş ve 250 µm altına indirilerek, çimento üretiminde kullanılmıştır (TS EN 196-6, 2000).

Klinker ve KKBAFA'ın sertlikleri farklı olmasından dolayı ayrı ayrı öğütülerek elek analizleri yapılmıştır. Ayrıca beraber öğütmede klinkerin ve KKBAFA' ın öğütülebilirliği farklı olduğu için homojen bir öğütme sağlanamamış, bu yüzden karışımlardaki katkı

oranlarında değişim gözlenmiştir. Bu yüzden beraber öğütmenin bilimsel bir metot olduğu düşünölmemektedir.

Özgöl kütle tayini

ASTM C188-14 (2014) standardına göre yapılmıştır. Numunelerin özgöl kütle tayini için Resim 6.6’da verilen Le Chatelier şişesi kullanılmıştır. Le Chatelier şişesi içinde su bulunmayan gaz yağı ile 0 ile 1 mililitre işaretleri arasında bir noktaya kadar doldurulmuştur. Balon sıcaklığı 20 ± 3 °C su banyosu içine daldırılmıştır. Balon içindeki terebentin banyo sıcaklığına gelinceye (sıcaklık sabitleninceye kadar) kadar beklenir. Sıcaklık sabitlenince gaz yağı hacmi okunarak (v_1) ve kaydedilmiştir.

64 g çimento numune spatul yardımıyla dikkatlice yavaş yavaş balon içerisine akıtılmıştır. Balonun kenarlarına yapışan çimento tozları plastik bir çubukla yavaşça vurularak dökölmesi sağlanmıştır. Bütün çimento balona aktarıldıktan sonra şişenin kapağı kapatılır ve balon kendi eksenini etrafında döndürölmek suretiyle çimento tozları ile karışan havanın dışarıya çıkması sağlanmıştır. Hava kabarcıkları tamamen uzaklaştıktan sonra balon tekrar su banyosu içine konularak balon ve içindekilerin aynı sıcaklığa (deney başlangıç sıcaklığı) gelmesi için beklenmiştir (yaklaşık 1 saat). Bir saatlik sürenin sonunda balondaki sıvı seviyesi dikkatlice gözlenip hacim yeniden okunmuştur(v_2) (ASTM C188-14 (2014)).

Seviye farkları v_2-v_1 çimentonun hacmini vermektedir ve çimentonun özgöl kütlesi Eş. 6.1’e göre hesaplanmıştır.

$$d = m/v_2-v_1 \quad (6.1)$$



Resim 6.6. Le Chatelier balonu

Özgöl yüzey tayini:

Numunelerin özgül yüzey tayini TS EN 196-6 (2000)'ya göre manuel Blaine cihazı kullanılarak yapılmıştır. Blaine cihazı hava geçirgenliği prensibine dayanarak numunelerin özgül yüzeyini bulmaya yarayan bir alettir. Deney numunesi miktarları, TS EN 196-6 (2000)'da belirtilen hesaplama yöntemi ile belirlenerek etüv kurusu çimentolar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Blaine aleti kullanılarak, hava geçişi ile 1 g çimentonun yüzey alanı bulunmuştur (TS EN 196-6, 2000).

6.2.3. Çimento hamurunda yapılan deneyler

Hacim genleşmesi tayini

TS EN 196-3 (2002)'e göre yapılmıştır Hacim genleşmesi, gösterge uçları bulunan, pirinçten yapılmış Le Chatelier Kalıbı ile tayin edilmiştir. Le Chatelier Kalıbı, 30 mm çapında, 30 mm yüksekliğinde olan ve 150 mm uzunluğunda iki adet çubukla birleştirilmek suretiyle imal edilmiştir.

Hazırlanan standart kıvamda çimento pastası halka içerisine yerleştirilmiştir. 24 saat su banyosunda bekletildikten sonra iğneler arası uzaklık ölçülmüştür (a). Sonra kalıp 30 dakika içinde kaynama sıcaklığına kadar ısıtılmış ve su banyosu kaynama sıcaklığında 3 saat

bekletilmiştir ve iğneler arası uzaklık ölçülmüştür (b). Kalıbın oda sıcaklığına (20°C) soğutulduktan sonra iğneler arası uzaklık ölçülmüştür (c). Hacim genişmesi: c-a dır (TS EN 196-3, 2002).

Normal kıvam suyu tayini deneyi

Normal kıvam suyu tayini TS EN 196-3 (2002)'e göre yapılmıştır (TS EN 196-3, 2002). Deney için Resim 6.7'de gösterilen Çeliktest marka Vicat aletine takılan sonda kullanılmıştır. 500 g çimento ve 125 g suyla çimento pastası hazırlanmış ve Vicat halkasına yerleştirilmiştir. Sondanın batması tamamlandıktan sonra sondayla taban plakası arasındaki mesafe okunmuştur. Bu mesafe 5 mm – 7 mm oluncaya kadar deney tekrar edilmiştir. Cam levhaya 5mm-7 mm kalıncaya kadar batabilmesini sağlayan kıvamdır.



Resim 6.7. Vicat sondası ile normal kıvam suyu tayini

Priz süresi tayini deneyi

TS EN 196-3 (2002)'e göre yapılmıştır (TS EN 196-3, 2002). Priz süresi tayini için Resim 6.8 de verilen Çeliktest marka Vicat aleti ve Vicat iğnesi kullanılmıştır. Vicat iğnesi çimento pastasına batırılmıştır, Vicat iğnesi ile taban plakası arasındaki mesafe 3-5 mm kalıncaya kadar batmasını sağlayan süre priz başlangıç süresini vermiştir, üstten itibaren 0,5 mm

kalıncaya kadar batmasını sağlayan süre ise priz sonu süresini vermiştir. Priz başlangıcına kadar her 5 dakikada bir, priz başladıktan sonra her 15 dakikada bir iğne çimento hamuru numunesinin farklı noktalarına batırılmıştır.



Resim 6.8. Vicat aleti

6.2.4. Çimentonun kimyasal analizleri

Hazırlanan katkılı çimentoların kimyasal analizleri TS EN 196-2 (2002)'ye göre yapılmıştır. Selüloz ile 15 dakika homojen öğütülen numuneler, pres ile disk haline getirilerek MTA'da Dalgaboyu Dağılımlı XRF Spektrometre cihazında ölçüm yapılmıştır. Numunelerde Na_2O , MgO , Al_2O_3 , SiO_2 , K_2O , CaO , MnO , Fe_2O_3 , SO_3 ve kızdırma kaybı tayini yapılmıştır (TS EN 196-2, 2002).

6.2.5. Çimentoların mineralojik ve mikro yapı incelemeleri

XRD analizleri

7, 28, 56 ve 90. günlerde numunelerin mineralojik özelliklerini belirlemek amacıyla XRD analizleri yapılmıştır. XRD, optik mikroskopi yöntemleri ile belirlenemeyecek kadar küçük tane boyutuna sahip minerallerin kristal yapı özelliklerine göre tanımlanmasında kullanılan

bir tekniktir. Numuneler ideal tane boyutuna gelene kadar öğütülerek toz hale getirilmiş ve Panalytical X'Pert Powder XRD Analiz Cihazı ile analiz edilmiştir. Örneklerin kırınım desenleri bakır radyasyonu [λ (CuK α) = 1,54056Å] kullanılarak $2\theta = 2,5 - 70,0^\circ$ tarama aralığında ve 6 °/dakika tarama hızında alınmıştır. Elde edilen X-ışın difraktogramları ICDD (International Center For Diffraction Data-daha önce JCPDS Joint Committee on Powder Diffraction Standarts idi) arşivindeki data dosyaları kullanılarak bulunmuştur (Stutzman,1995). Çizelge 7.9'da üretilen numunelerin XRD grafiklerinde gözlenen hidrotasyon ürünlerinin JCPDS (ICDD) ve en belirgin difraktogram pikleri verilmiştir.

Mikro yapı analizi (SEM):

90 günlük çimento harç numunelerin mikro yapılarını belirlemek amacıyla taramalı elektron mikroskobu analizi (SEM) analizleri yapılmıştır. Taramalı Elektron Mikroskobu veya SEM (Scanning Electron Microscope), çok küçük bir alana odaklanan, yüksek enerjili elektronlarla yüzeyin taranması prensibiyle çalışan ve malzemelerin fiziki mikro yapılarını üç boyutlu inceleme imkânı sağlayan bir elektron mikroskobudur. Ayrıca X-ray elementel dağılım haritalaması (X-ray mapping) ile incelenen numuneler üzerinde standartsız kalitatif elementel analizler (SEM-EDS) yapılmıştır. Ölçümlerde FEI Quanta 400 MK2 SEM, EDAX Genesis XM4i EDS Analiz Sistemi kullanılmıştır.

6.2.6. Çimento harçlarında yapılan deneyler

Çimento harçlarının hazırlanması

TS EN 196-1 (2002) standardına göre, kütlece kum/çimento/su oranı 3/1/0,5 olacak şekilde çimento harçları hazırlanmıştır. Üç deney prizmasına yetecek her takım için her karışım (450 ± 2) g çimento, (1350 ± 5) g kum ve (225 ± 1) g su kullanılmıştır. Harçlar hazırlanırken laboratuvar tipi çimento mikserinde karıştırma yapılmıştır (TS EN 196-1, 2002).

Karıştırıcı: Karıştırıcı olarak Resim 6.9'da verilen 4,7 litre paslanmaz çelik kabı olan elektrik motorlu mekanik laboratuvar tipinde karıştırıcı kullanılmıştır.

Karıştırıcı çalışır durumda iken:

a) Karıştırma kabına önce su konulmuş ve çimento eklenmiştir.

- b) Karıştırıcı düşük hızda çalıştırılmaya başlanmış ve 30 saniye sonra, kum sürekli olarak ilâve edilmiştir. Karıştırıcı yüksek hıza ayarlanır ve karıştırmaya 30 s daha devam edilmiştir,
- c) Karıştırıcı, 1 dakika 30 saniye sonra durdurulmuştur. Kabin çeperlerine ve tabanına yapışan harç sıyrılıp ve kabın ortasına toplanmıştır,
- d) Daha sonra karıştırmaya yüksek hızda 60 saniye daha devam edilmiştir.



(a)



(b)

Resim 6.9(a) (b) Laboratuvarda kullanılan çimento mikseri

Kalıpların doldurulması: Deney numuneleri harç hazırlanır hazırlanmaz 40 mm × 40 mm × 160 mm boyutlarında prizma şeklinde kalıplara boşluk kalmayacak şekilde doldurulmuş ve üzeri Resim 6.10'da gösterildiği şekilde cam plaka ile kapatılmıştır.



Resim 6.10. Çimento harcının kalıplanması

Kalıpların sökülmesi: Hazırlanan harç numuneler 22 ± 2 °C sıcaklık ortamında 24 saat süreyle küre bırakılmıştır. Harç numuneler kalıptan sökülebilecek dayanımı kazandığında plastik çekiç kullanılarak itinayla sökülüştür. Kalıptan çıkan numune Resim 6.11’de gösterilmektedir.



Resim 6.11. Kalıptan çıkan numune

Basınç dayanımı tayini

TS EN 196-1 (2002) standardına göre hazırlanan harç numunelerinin 7, 28, 56 ve 90 gündeki basınç dayanımları ölçülmüştür. Sökülen prizmalar dibinde paslanmaz ızgara bulunan içi su dolu havuzlara konmuştur. Prizmalar havuzlara konulduğunda su seviyesi prizma üst yüzeyinden en az 5 mm yukarıda olduğu kontrol edilmiştir. Kalıplardan sökülen numuneler basınç dayanım deneyi yapılincaya kadar su içinde bekletilmiştir. 7, 28, 56 ve 90 günlük kür sürelerinin sonrasında bu havuzlardan alınarak kurulan harç örneklerinin basınç deneyleri TS EN 196-1 (2002)'e uygun olarak Resim 6.12'de verilen Yüksel Kaya Makine marka cihaz ile yapılmıştır. Prizmatik harç numuneleri basınç dayanımı deneyi yapılmadan en fazla 15 dakika önce sudan çıkartılmıştır. Kırım yapılincaya kadar ıslak bezle sarılarak bekletilmiştir.



Resim 6.12. Basınç dayanımı cihazı

Kuruma çekmesi tayini

40x40x160 mm kalıptan çıkan prizma harç numunelerin boy, genişlik ve yükseklikleri ölçülmüştür. 24 saat 105 ± 1 °C etüvde bekletilen numuneler etüvden çıkarılıp oda sıcaklığına getirilerek boy, genişlik ve yükseklikleri yeniden ölçülmüştür. Eşitlik 6.2'ye göre hesaplanmıştır, % olarak ifade edilmektedir. Bu analiz TS 1367-4 (2009) kuruma çekmesi tayininden yararlanılarak yapılmıştır.

$$Kuruma küçülmesi (\%) = \frac{yaş\ ağırlık\ (g) - kuru\ ağırlık\ (g)}{kuru\ ağırlık\ (g)} \times 100 \quad (6.2)$$

Su emme tayini

Su emme tayini TS 3624 (1981) standardına göre yapılmıştır. Prizmatik harç numuneleri 105±1 °C'deki etüvde 24 saat bekletildikten sonra çıkarılarak tartılmış ve soğuduktan sonra suya tamamıyla daldırılmıştır. 24 saat sonra sudan çıkarılarak tekrar tartılıp gerekli hesaplar yapılmıştır. Su emme kapasitesi, numuneye giren su miktarının, kuru kütlesine bölünmesiyle bulunmakta ve % olarak ifade edilmektedir (Eş. 6.3).

$$Su\ emme\ (\%) = \frac{Kürleme\ sonrası\ tartım\ (g) - Kürleme\ öncesi\ tartım\ (g)}{Kürleme\ öncesi\ tartım\ (g)} \times 100 \quad (6.3)$$

7. BULGULAR VE TARTIŞMA

7.1. Çimento Karışımlarında Yapılan Fiziksel Deneylerin Sonuçları

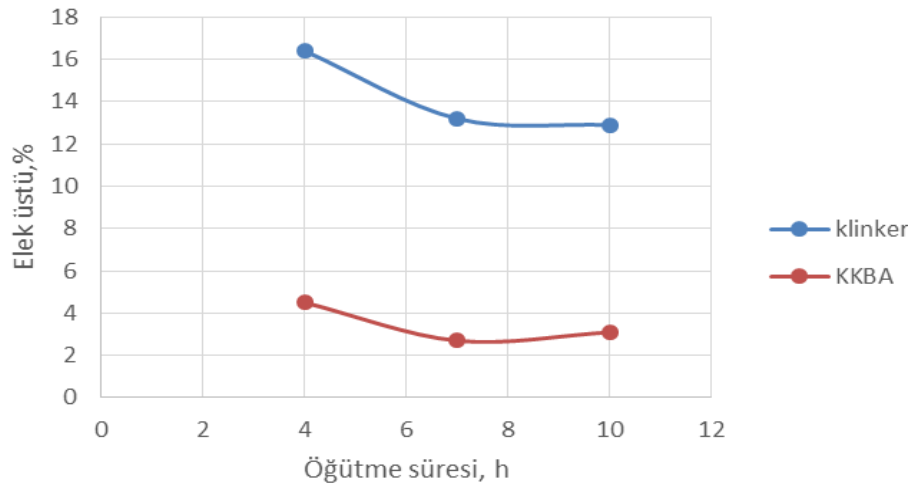
7.1.1. Çimentoda incelik

Eleme; elek üstünde kalan malzemeyi değerlendirme için iyi bir analiz metodudur. Elek analizi sonuçlarına göre, kullanılacak en uygun öğütme süresi tespit edilmiştir.

Klinker ve KKBAFA'nın 90 µm üstü elek analiz sonuçları Çizelge 7.1 ve Şekil 7.1'de verilmiştir. Şekil 7.1 incelendiğinde 90 µm elek üstü değerleri karşılaştırıldığında hem klinker açısından hem de KKBAFA açısından 7 saatten sonra incelik açısından çok fazla bir değişim olmadığı görülmüştür. Bu nedenle numuneler 7 saat öğütülmüştür.

Çizelge 7.1. Klinker ve KKBAFA 90 µm üstü elek analizi sonuçları

Öğütme süresi, saat	4	7	10
Klinker, %	16,40	13,20	12,90
KKBAFA, %	4,50	2,70	3,10



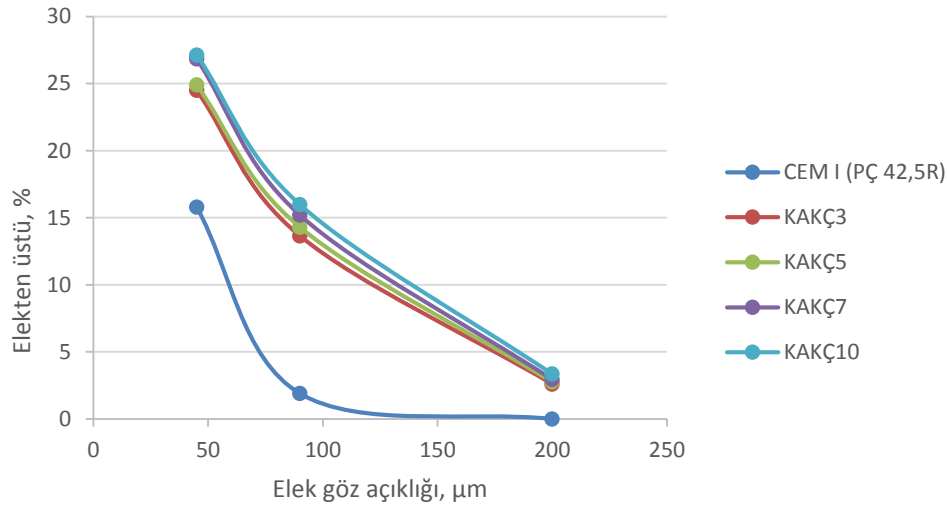
Şekil 7.1. 90 µm elek üstü klinkerin öğütme süresinin inceliğe etkisi

Çimento taneleri 5 µm ile 90 µm arasında değişen çaplara sahiptir (Tosun ve diğerleri, 2009). Bu nedenle çimento numuneleri hazırlanırken klinker ve KKBAFA'nın 90 µm elek altı kullanılmıştır. Şekil 7.1'de en uygun süre olarak düşünülen 7 saat öğütme süresinde klinker

ve KKBAFA ayrı ayrı öğütülerek %3, %5, %7 ve % 10 oranlarında KKBAFA katkılı çimento numuneleri hazırlanmış 45 µm, 90 µm ve 200 µm elek analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları Çizelge 7.2’de ve Şekil 7.2’de verilmiştir.

Çizelge 7.2. Çimento numuneleri elek analizi sonuçları

	200 µm üstü %	90 µm üstü %	45 µm üstü %
CEM I (42,5R)	-	1,90	15,80
KAKÇ3	2,60	13,65	24,50
KAKÇ5	2,75	14,30	24,90
KAKÇ7	2,95	15,20	26,85
KAKÇ10	3,35	15,98	27,14



Şekil 7.2. Numunelerin elek analizi grafiği

TS EN 196-6 (2000)’ ya göre yapılan elek analizi sonuçları incelendiğinde laboratuvar ortamında öğütülen KKBAFA katkılı çimentoların çimento fabrikasından alınan CEM I (42,5 R) çimentosuna göre daha iri tane dağılımına sahip olduğu görülmüştür. (Şekil 7.2). Şekil 7.1’de incelendiğinde klinkerin laboratuvar ortamında yapılan öğütme referans olarak alınan CEM I (42,5 R) çimentosuna göre daha iri taneli olduğu gözlemlenmiştir. Daha ince boyutlarda taneler elde etmek için işletme şartlarında daha etkin değirmenler kullanılmak suretiyle sağlanabileceği düşünülmektedir.

Ayrıca genel olarak KKBAFA klinker tanelerine göre daha yumuşaktır. Öğütülebilirliği karşılaştırıldığında KKBAFA daha kolay öğütülmektedir. KKBAFA’ ın ve çok yumuşak

çamurumsu bir malzeme olmasından kaynaklı atık saklama kaplarında da topaklanmaya sebep olduğu ve klinker tanelerine yapıştığı görülmüştür. Bu nedenle KKBAFA katkılı çimento numunelerinde topaklanma olmasından kaynaklı elekten geçmeyerek elek üstü % miktarlarını artırmış olabileceği düşünülmüştür.

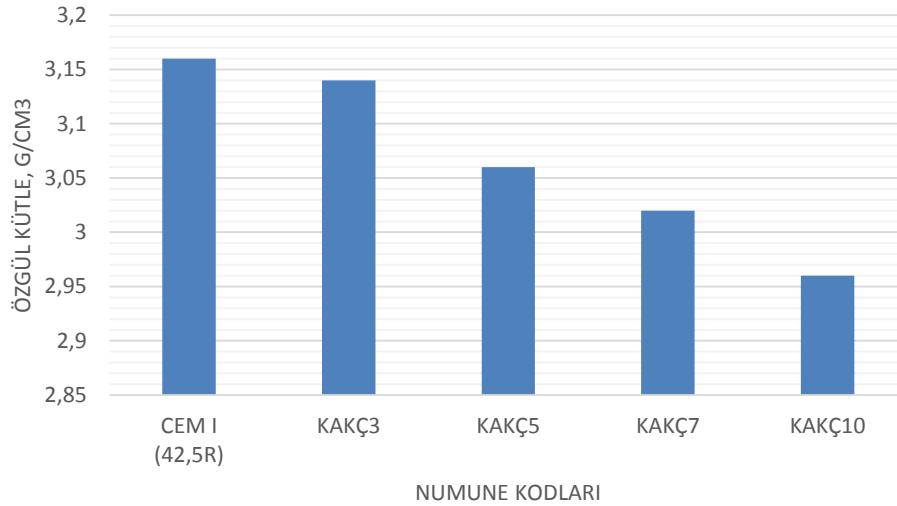
7.1.2. Özgül kütle

Numunelere ait özgül kütle deney sonuçları Çizelge 7.3 ve Şekil 7.3’de verilmiştir. Özgül kütle değeri alçı taşı içeren CEM I (42,5 R) numunede $3,16 \text{ g/cm}^3$ ile en yüksek, % 10 KKBAFA katkılı numunede ise $2,96 \text{ g/cm}^3$ ile en düşük değeri almış ve katkı oranı arttıkça özgül kütle sürekli azalmıştır. Özgül kütle değerindeki azalma miktarları CEM I (42,5 R) referans numuneden %10 KKBAFA katkı miktarına kadar her katkı miktarı artışında sırasıyla % 0,63, % 3,16, % 4,43, % 6,32 oranında olmuştur.

KKBAFA’nın özgül kütlesinin düşük olmasından KKBAFA katkısı arttıkça katkılı numunelerin de özgül kütlesi azalmıştır. Bulunan sonuçlar literatür çalışmaları ile uyumludur. Olgun ve diğerleri (2007) kolemanit atıklarının betonun fizikokimyasal özelliklerine etkisini araştırdığı çalışmada benzer bulgulara rastlamıştır. Yapılan çalışmada hazırlanan karışımlarda kolemanit atık katkısı %2 ‘den %5 e çıktığında karışımların özgül kütlesi $3,10 \text{ g/cm}^3$ ’ten $3,02 \text{ g/cm}^3$ ’e azalmıştır. Aynı şekilde Sevim ve Tümen (2013) yaptığı çalışmada %3-5-10-15 katkı kullanarak hazırladıkları borojips katkılı beton numunelerinde borojips katkısı arttıkça hazırlanan beton numunelerinin özgül kütlelerinde azalma gözlemlenmiştir.

Çizelge 7.3. Özgül kütle deney sonuçları

Numune Kodları	g/cm^3
CEM I (42,5 R)	3,16
KAKÇ3	3,14
KAKÇ5	3,06
KAKÇ7	3,02
KAKÇ10	2,96



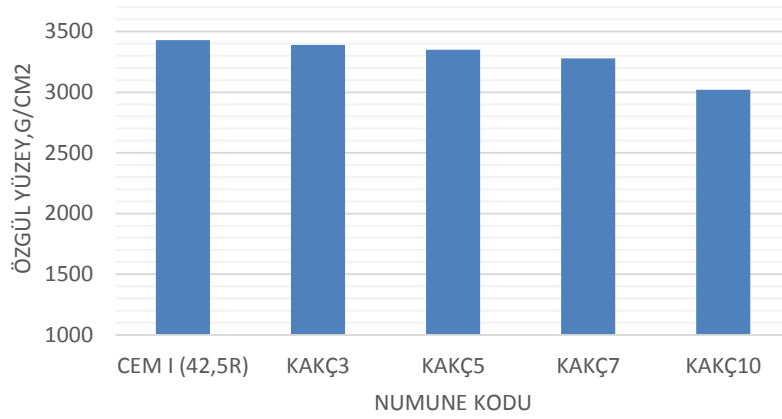
Şekil 7.3. Numuneler-ölgöl kütle ilişkisi

7.1.3. Ölgöl yüzey

TS EN 196-6 (2000) standardına göre blaine analizi yapılarak elde edilen ölgöl yüzey sonuçları Çizelge 7.4’de ve Şekil 7.4’de verilmiştir. KKBAFA katkılı numuneleri ölgöl yüzeyleri 3020-3390 cm²/g arasında değışmektedir. Bu verilerden, referans olarak kullanılan CEM I (42,5 R) çimentosuna göre, KKBAFA oranının atmasıyla ölgöl yüzey alanında % 1,16 ile % 11,95 oranında azalma gözlemlenmiştir. KKBAFA’nın yumuşak olması öğütme sırasında KKBAFA tanelerinde meydana gelmesi beklenen kırılma ve öğütölme verimi düşmüş ve incelikte azalma meydana gelmiştir. Çimento ASTM standardına göre çimentonun ölgöl yüzey alanının 2800 cm²/g dan az olması istenmez (Gürü ve Yalçın, 2006). Üretilen tüm numunelerin ölgöl yüzey alanının 2800 cm²/g üstünde kalmıştır. Bu sonuçlar çimento örneklerinin Bölüm 7.1.1’de verilen elek üstü değeri ile de uyumludur. Bölüm 7.1.1’de verilen incelik tayini sonuçlarına göre CEM I (42,5 R) çimentosuna göre daha iri tane dağılımına sahip olduğu görölmüştür.

Çizelge 7.4. Ölgöl yüzey tayini sonuçları

Numune Kodları	cm ² /g
PÇ 42,5	3430
KAKÇ3	3390
KAKÇ5	3350
KAKÇ7	3280
KAKÇ10	3020



Şekil 7.4. Numuneler-özgül yüzey ilişkisi

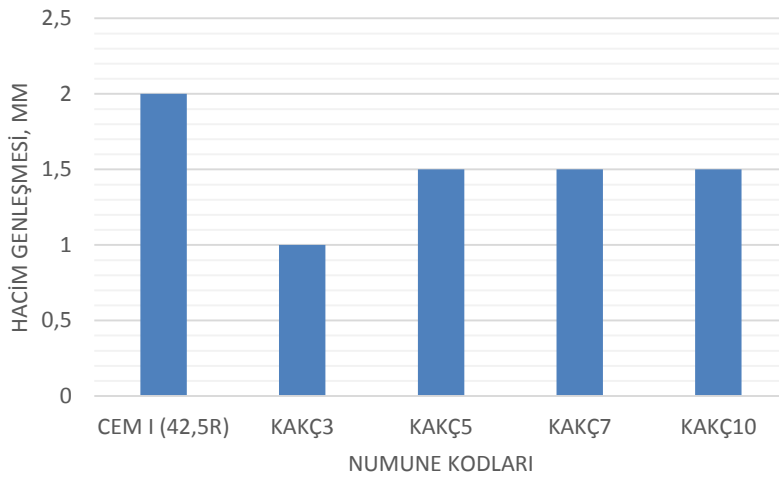
7.2. Çimento Hamurunda Yapılan Çalışmalarda Elde Edilen Sonuçlar

7.2.1. Hacim genleşmesi

TS EN 196 – 3 (2002) standardına göre yapılan hacim genleşme tayini sonuçları Çizelge 7.5’de ve Şekil 7.5’de verilmiştir. TS EN 197 – 1 (2002) standardı çimentolarda hacim genleşmesini maksimum 10 mm olarak sınırlamıştır. Elde edilen bütün deneysel sonuçlar bu sınırın oldukça altındadır. Çizelge 7.5 incelendiğinde KKBAFA katkılı çimentoların hacim genleşme değerleri CEM I (42,5R) numunesinin hacim genleşmesinin çok az miktarda altında kaldığı görülmüştür. Bilindiği üzere çimento içerisinde fazla miktarda serbest kireç (CaO) veya serbest magnezyum oksit ((MgO) bulunması hacim genleşmesine yol açar (Özdemir ve Uğurlu, 2006). Bölüm 6.1.1’de yer alan Çizelge 6.1’de görüldüğü gibi çalışmalarda kullanılan KKBAFA malzeme içerisindeki CaO ve MgO miktarları CEM I (42,5R) çimentosuna göre daha düşüktür. CEM I (42,5R) çimentosunun CaO oranı % 62,72 iken KKBAFA içerisindeki CaO %25,2, CEM I (42,5R) içerisindeki MgO % 1,84 iken KKBAFA içerisindeki MgO %2,1’dir. (Çizelge 6.1). Bu nedenle KKBAFA katkılı çimentolarda katkı oranı artmasıyla, hacim genleşmesinde önemli bir değişiklik gözlenmemiştir. Buradan KKBAFA katkısının çimento harçlarının hacim artısına pek etkisi olmadığı sonucu çıkarılabilir.

Çizelge 7.5. Hacim genleşmesi deney sonuçları

Numune Kodları	mm
CEM I (42,5R)	2
KAKÇ3	1
KAKÇ5	1,5
KAKÇ7	1,5
KAKÇ10	1,5



Şekil 7.5. Numuneler-hacim genleşmesi ilişkisi

Literatürde, borojips katkılı çimentoların referans Portland çimentoya göre daha düşük hacim genleşmesi gösterdiği ve Portland çimentosunun hacim genleşmesi 3 mm iken %3-5-10 borojips katkılı numunelerin hacim genleşmeleri 0,5-1,5-1 mm bulunmuştur (Sevim ve Tümen, 2013). Ayrıca, kolemanit katkısı arttıkça (%0,5-1-2-3-4) hacim genleşmesi 1,5-2 mm değerleri arasında kalmış ve Portland çimentosuna göre daha az hacim genleşmesi göstermiştir (Ustabaş 2011). Yine benzer bir çalışmada ise bor içeren kil atıklarıyla yaptıkları çalışmada benzer olarak kullanılan kil pestili atık malzeme içerisindeki CaO ve MgO miktarları Portland çimentosundan daha düşük olduğu bu nedenle hacim genleşmesi konusunda olumsuz bir durum gözlenmediği ifade edilmiştir (Uğurlu ve diğerleri 2004).

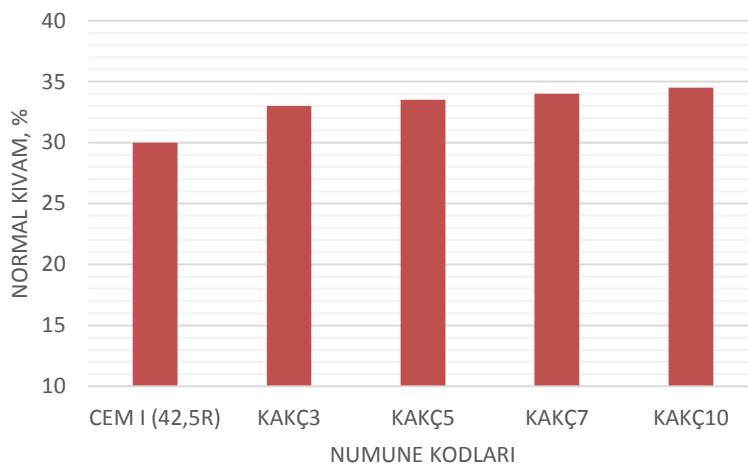
Görüldüğü gibi bu çalışmada bulunan sonuçlar, literatürdeki benzer çalışmalarla uyumludur.

7.2.2. Normal kıvam suyu

TS EN 196-3 (2002)'e göre yapılan normal kıvam suyu tayini deneyi sonuçları Çizelge 7.6 ve Şekil 7.6'da sunulmuştur. Çizelge 7.6 incelendiğinde referans olarak alınan alçı taşı içeren CEM I (42,5R) numunesinde %30 olan kıvam suyu, %3 oranında KKBAFA atık katkısı içeren numunede % 10 artış göstermiştir. Bu artış katkı miktarı arttıkça devam etmiş ve %10 KKBAFA katkı içeren numunede kıvam suyu %15 ile en yüksek değeri almıştır. KKBAFA katkısı kıvam suyu değerini artırmış yani çimentonun standart kıvama gelmesi için daha fazla su ilave etmek gerektiği gözlenmiştir. Bu sonuçlar özgül yüzey değerlerine göre ters bir durum olarak algılanabilir. Ancak bu durum KKBAFA' nın su emme eğilimli olmasına veya yapısal formuna bağlıdır. KKBAFA' nın puzolanik özelliğinden kaynaklı gözenekliliği daha fazla olan yapıda olduğu ve karışım suyunun bir kısmını absorbe ederek, karışım içindeki serbest suyu azaltmış olabileceği düşünülmüştür. Bu durum aynı kıvamı elde etmek için daha fazla su kullanılmasını gerektirmiştir (Gürü ve Yalçın 2006).

Çizelge 7.6. Normal kıvam suyu tayini sonuçları

Numune Kodları	Kıvam suyu, %	Artış, %
CEM I (42,5R)	30,0	0
KAKÇ3	33,0	10
KAKÇ5	33,5	11,6
KAKÇ7	34,0	13,3
KAKÇ10	34,5	15



Şekil 7.6. Numuneler-normal kıvam suyu tayini ilişkisi

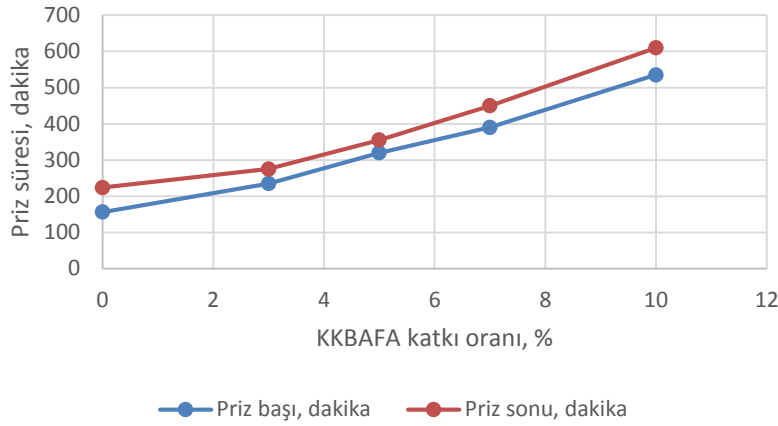
Bulunan sonuçlar literatürle uyum göstermekte olup yapılan benzer bir çalışmada Portland çimentosu standart kıvamı % 34,66 iken kolemanit katkı miktarı arttıkça standart kıvam % 35,68 - %36,62 oranlarında seyrederek, kolemanit katkısı çimento numunelerinin kıvam suyu miktarını artırdığı gözlenmiştir (Ustabas 2011).

7.2.3. Priz süresi

TS EN 196 – 3 (2002) standardına göre yapılan priz başlangıç ve priz sonu sürelerinin tayini sonuçları Çizelge 7.7 ve Şekil 7.7’de verilmiştir. TS EN 197-1 (2002) standart priz başlangıç süresini 1 saatten az, priz sonu süresini ise 10 saatten fazla olamayacak şekilde sınırlamıştır. Çizelge 7.7’ye incelendiğinde CEM I (42,5R) çimentonun priz başlangıcı 156 dakika iken KKBAFA katkısı arttıkça 235 dakika ile 535 dakika arasında priz başlangıcı değişmiştir. Priz sonu sürelerine incelenirse CEM I (42,5R) çimentonun priz sonu 224 dakika iken KKBAFA katkısı arttıkça 275 dakika ile 610 dakika arasında priz sonu süresi değişmiştir. Analiz sonuçlarına göre KKBAFA katkılı çimentoların genel olarak standardın ön gördüğü şartları sağladığı %10 KKBAFA içeren numunenin standartta belirtilen 10 saat priz sonu değerini az miktar aştığı görülmektedir. KKBAFA katkısı priz başlangıç ve priz sonu sürelerini geciktirmiş, KKBAFA katkısı arttıkça bu süreler uzamıştır. KKBAFA katkılı çimentolarda referans olarak alınan CEM I (42,5R) çimentoya göre priz başlangıç ve priz sonu süreleri arasındaki zaman daha kısa olmuştur.

Çizelge 7.7. Priz süresi tayini sonuçları

Numune Kodları	Priz başlangıcı, dakika	Priz sonu, dakika
CEM I (42,5R)	156	224
KAKÇ3	235	275
KAKÇ5	320	355
KAKÇ7	390	450
KAKÇ10	535	610



Şekil 7.7. KKBAFA katkı oranı priz süreleri ilişkisi

KKBAFA içeriğindeki bor ve SO_3 ten dolayı priz süresini uzattığı ve KKBAFA'nın puzolanik özellikte bir malzeme olduğu için de prizi geciktirdiği düşünülmektedir. KKBAFA atık katkısı arttıkça su ihtiyacının artması da priz süresini uzatan bir etken olmuştur. Literatürde yapılan bir çalışmada üretilen çimento hamurlarında KKBAFA arttıkça içerisindeki B_2O_3 konsantrasyonu artmış ve çimento hidratasyonun yavaşlamış ve buna bağlı olarak priz süresinin de uzamış olduğu belirtilmiştir (Pehlivanoğlu ve diğerleri 2013). Başka bir çalışmada ise, benzer olarak Portland çimentosunun priz başlangıç süresini 135 dakika priz sonu süresini de 225 dakika bulunmuş ve üretilen numunelerde kolemanit katkısı arttıkça priz süreleri artmış olduğu belirlenmiştir (Ustabaş 2011).

Benzer çalışmalarda bor ve bor atık katkıların çimento da priz geciktirici özelliğe sahip olduğu belirtilmiştir (Boncukoğlu ve diğerleri 2002; Connor 1990; Çolak, 2002; Erdoğan ve diğerleri, 1998; Olgun ve diğerleri 2007; Taylor 1997)

Tüm bu sonuçlar değerlendirildiğinde, KKBAFA' ın kendisinden beklenen bu işlevi yerine böylece katılma gecikmesiyle hidratasyon hızını yavaşlattığı, hidratasyon ısı ve sıcaklığını düşürerek büzülme tehlikesine karşı etkili olduğu açık bir şekilde görülmüştür (Çolak, 2002).

Bu çalışma sonucunda KKBAFA içeren çimentolar priz geciktirici bir karakter taşıması nedeniyle çimento üretiminde; priz geciktirmek için çimentoya katılan doğal jips yerine kullanılabileceği düşünülmektedir. Ayrıca, özellikle sıcak bölgelerdeki harç ya da beton uygulamalarında, soğuk derzin önlenemediği durumlarda, betonun uzun süre taşınmasının gerektiği hallerde çimento, harç ya da beton içerisinde KKBAFA katkı kullanılmasında

faydalı olacaktır. (Demir ve Orhan, 2002).Özellikle barajlarda kütle betonlarının dökümünde KKBAFA katkısı hidratasyonu yavaşlatacaktır (Gürü ve Yalçın, 2006).

7.3. Çimentoların Kimyasal Analizi

Kimyasal analizler TS EN 196-2 (2002)' ye göre yapılmış olup sonuçları Çizelge 7.8'de verilmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde KKBAFA katkılı çimentoların Na_2O , K_2O , CaO ve SO_3 miktarları CEM I (42,5R) referans numuneye göre fazlayken, MgO , SiO_2 ve Fe_2O_3 miktarları CEM I (42,5R) referans numuneye azdır. KKBAFA içerisindeki yüksek SO_3 (%34,5) ten dolayı KKBAFA katkılı numunelerde de SO_3 miktarının oldukça yüksek olduğu görülmekte ve KKBAFA katkı miktarı arttıkça SO_3 oranının da arttığı gözlenmektedir. TS EN 197-1 (2002) çimento standardında SO_3 % 3,5'tan fazla olması istenmez. KKBAFA katkılı numunelerde ise SO_3 %4,1-8,9 arasında değişmektedir. Bu nedenle KKBAFA katkılı numuneler bu standardı karşılayamamaktadır.

Çizelge 7.8. Kimyasal analiz deney sonuçları

Numune Kodu	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	MnO	Fe_2O_3	SO_3	A.Za.
CEM I (42,5R)	0,26	1,84	4,92	20,0	0,53	64,72	<0,1	3,76	2,65	1,54
KAKÇ3	0,8	1,6	3,8	18,6	1,0	65,6	<0,1	3,4	4,1	0,35
KAKÇ5	0,8	1,7	3,8	18,8	1,0	64,5	<0,1	3,2	5,3	0,30
KAKÇ7	0,8	1,74	3,7	18,3	1,0	63,6	<0,1	3,1	6,5	0,37
KAKÇ10	0,7	1,8	3,5	17,7	1,0	62,1	<0,1	3,0	8,9	0,55
TS EN 197-1	-	-	-	-	-	-	-	-	$\leq 3,5$	≤ 5

KKBAFA içerisindeki sülfat iyonları, çimentonun hidratasyon ürünü olan CH ile reaksiyona girerek jips (CSH) meydana getirmiştir. XRD ve SEM analizlerinde oluşan jips gözlenmiştir. Oluşan jipsin betondaki hacim artışına sebebiyet vermediği hacim genişlemesi analizinde görülmüştür (Çizelge 7.5). Fakat reaksiyon sonunda oluşan jipsin çimentodaki C_3A ve bunun hidratasyon ürünü olan C_3AH_6 , C_4AH_{13} , $\text{C}_4\text{ASH}_{12-18}$ ile Candlot tuzu ($\text{C}_4\text{AS}_3\text{H}_{32}$) oluşturma riski vardır. Candlot tuzu doğal mineral olan etrenjit'e çok benzer, içerdiği 32 molekül kristal suyu nedeni ile de büyük hacim artışı meydana getirir (Canpolat ve Yılmaz, 2002). Ancak KKBAFA ile hazırlanan numunelerin SEM analizlerinde Candlot tuzuna veya bundan dolayı oluşan çatlaklara rastlanmamıştır (Biricik ve Aköz, 2000). Ayrıca Bölüm 7.4'de verilen XRD ve SEM analiz sonuçlarına baktığımızda KKBAFA' ın puzolanik etkisi iç kaynaklı

sülfat etkisinin reaksiyon sonucu KKBAFA katkılı harçlara zarar vermesini önlemiş, çatlak veya genleşme oluşmamıştır.

7.4. Çimentoların Mineralojik ve Mikro Yapı İncelemeleri

7.4.1. XRD analizleri

Numunelerin mineralojik yapısını ve KKBAFA' ın çimento içerisindeki etkinin belirlemek amacıyla 7, 28, 56 ve 90. günlerde XRD analizleri yapılmıştır. % 3, % 5, % 7 ve % 10 KKBAFA katkılı ve CEM I (42,5R) numunelerin hidrasyon günlerine göre XRD grafikleri şekil 7.8-7.12 arasında verilmiştir. Çizelge 7.9'da XRD grafiklerinde gözlenen hidrasyon ürünlerinin JCPDS bilgileri verilmiştir (Stutzman, 1996).

Çizelge 7.9. XRD grafiklerinde gözlenen hidrasyon ürünlerinin JCPDS bilgileri (Stutzman, 1996)

Faz	JCPDS no	Difraktogramların belirgin pikleri
CH (CaOH), Portlandite-P	4-733	34,09-18,09-47,12-50,79-28,66-54,34-62,54-64,23
C ₃ S (Ca ₃ SiO ₅)-CS	42- 551	34,41-32,26,-29,51-32,56-41,37-51,70-32,56-29,40
C ₂ S (Ca ₂ SiO ₄) Larnit-L	33-302	32,14-32,05-32,59-41,21-34,33-32,93-45,74-31,77
CASH (Ca ₆ Al ₂ (SO ₄) ₃ (OH) ₁₂ 26H ₂ O), Etrenjit-E	41-1451	8,10-9,65,-15,85-18,95-23,60-27,50-34,45-40,65
Kuvars (SiO ₂)-Q	33-1161	26,65-20,85-50,14-59,95-36,54-39,46-68,13-67,78
Kalsit (CaCO ₃)-C	5-586	29,41-39,40-43,15-47,49-48,51-35,97-23,02-57,40
Jips (CaSO ₄ 2H ₂ O)-G	33-311	11,59-20,72-29,11-31,10-33,34-43,34-23,40-47,84

Çizelge 7.9 incelendiğinde XRD analizleri sonucunda çimento harçlarında, hidrasyon ürünleri olan portlandit (CH) ve kalsiyum silikat hidrat (C-S-H), az miktarda etrenjit (CASH) ile birlikte hidrate olmamış klinker mineralleri (larnit C₂S ve C₃S) ve kolemanit atığı içinde bulunan kuvarsa ve jipse rastlanmıştır. XRD diyagramlarına incelendiğinde en yüksek pikler kuvarsken, şekiller arasında en belirgin değişimler portlandit ve etrenjit piklerinde olmuştur. Ayrıca numunelerde görülen kalsit çimento hammaddeleri, kum veya kolemanit atığından gelmiş olabilir. Şekil 7.8-Şekil 7.12 arasında verilen XRD analizleri incelendiğinde KKBAFA katkılı çimento numunelerin CEM I (42,5R) ile benzer pikler verdiği görülmüştür. En güçlü ve değişken pik olan portlandit piki için 18,09°, 28,66° ve 34,09°, etrenjit için 8,10° ve 27,50° ve CS ve larnit için de 32-33° ler arası tüm katkı oranları için detaylıca incelenmiştir.

CEM I (42,5R) numunesi için 7, 28, 56 ve 90 günlerindeki XRD analizlerine baktığımızda (Şekil 7.8) en yüksek CH piki 7. günde gözlenmiş olup sırasıyla 28, 56 ve 90. güne doğru gittikçe azalmaktadır. 7 ve 28. günlerde etrenjit oluşumu gözlenirken 56 ve 90 günlerde etrenjit oluşumu çok az miktarda gözlenmiştir.

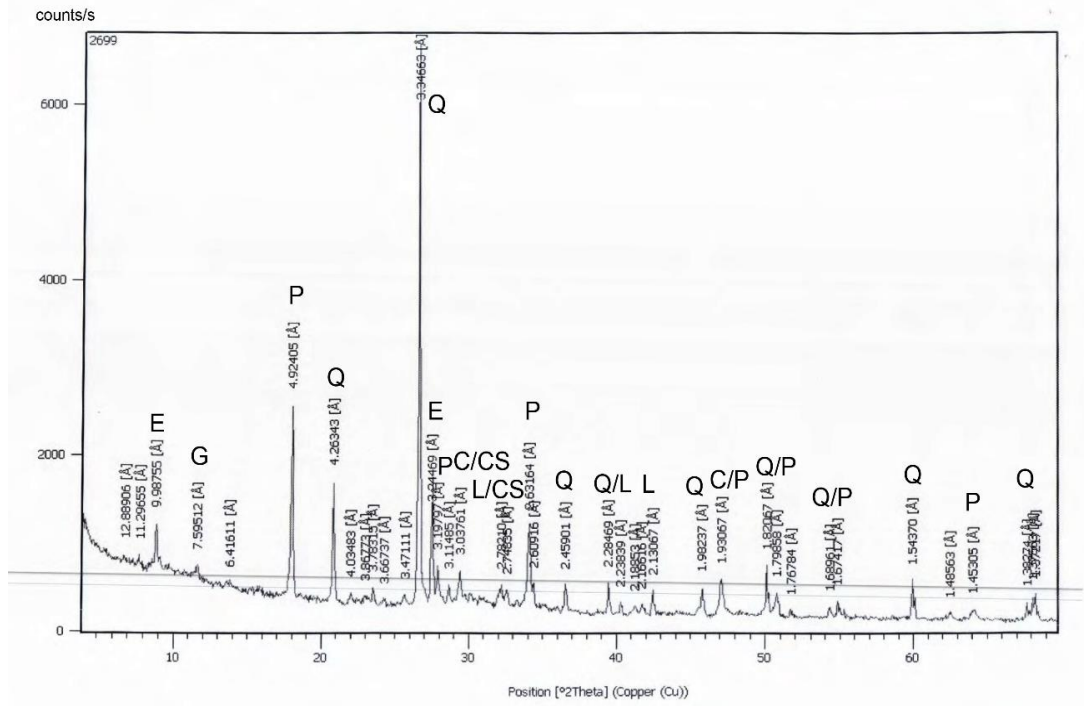
Şekil 7.9’da verilen %3 KKBAFA katkılı KAKÇ3 çimentosunun 7, 28, 56 ve 90 günlerdeki XRD analizlerinde tüm hidratasyon günlerinde farklı oranlarda CH oluşturdıkları görülmektedir. 90 gün hariç diğer tüm günlerde etrenjit oluşumu gözlenmiştir. KAKÇ3 numunesinin CH oluşumları küçükten büyüğe sırayla 90 gün, 56 gün, 28 gün ve 7 gündür (şekil 7.9). %3 oranında katılan KKBAFA’ ın 90 ve 56 günlük uzun dönemlerde daha uygun ortam yaratmış CH miktarı azalarak CSH jellerine dönüşmüştür. Bu durum pozolanik özelliğinden ve kimyasal bileşimindeki SO_3 ve bordan kaynaklandığı düşünülmektedir.

%5 KKBAFA katkılı KAKÇ5 çimentosunun tüm hidratasyon günlerindeki XRD analizlerini inceleyecek olursak CH miktarları 7 ve 28. günlerde maksimumdur (Şekil 7.10.). Bu durum KKBAFA’ nın bize kimyasal yapısının bir sonucu olarak ortamda erken yaşlarda CH üretimini artarken uzun dönemlerde gittikçe azaldığını göstermektedir. CH piklerinin yüksek olduğu 7 ve 28 günlerde etrenjit oluşumu gözlenmiştir.

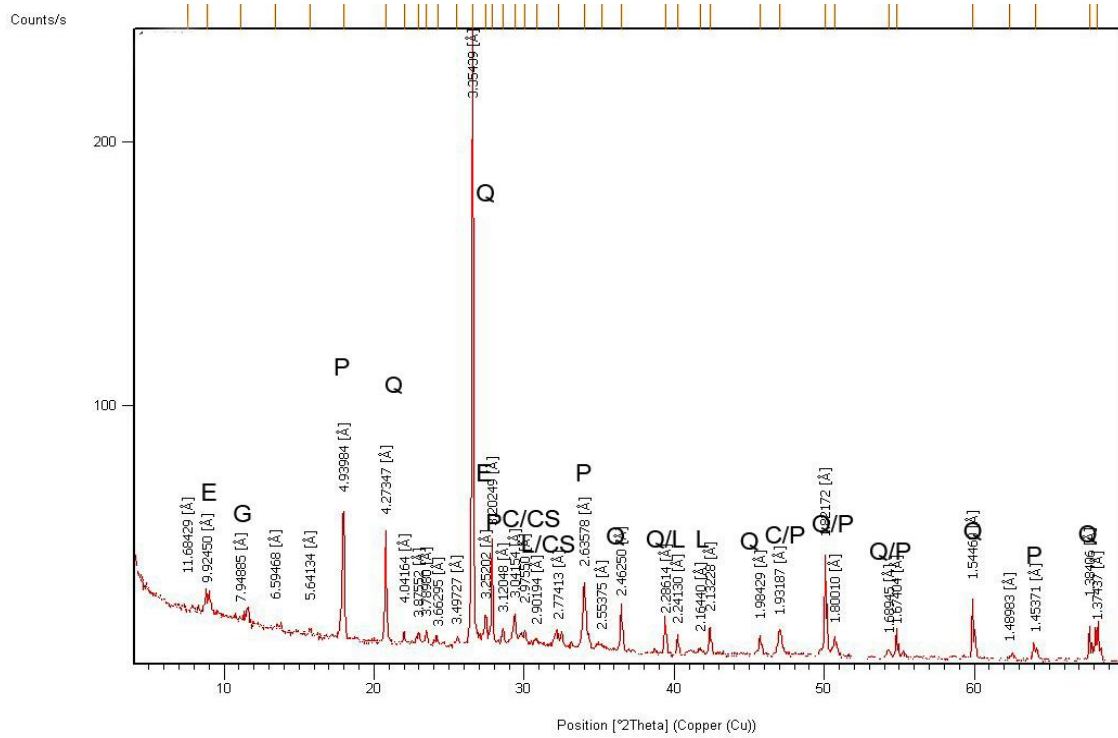
Şekil 7.11’de verilen %7 KKBAFA katkılı KAKÇ7 çimentosunun 7, 28, 56 ve 90. günlerdeki XRD analizlerinde benzer bulgulara rastlanmıştır. En yüksek CH piki 7 günlük hidratasyon numunesinde gözlenmiştir. En düşük CH piki ise 90 günlük hidratasyon numunesinde gözlenmiştir. . 90 gün hariç diğer tüm günlerde etrenjit oluşumu gözlenmiştir.

Şekil 7.12’de %10 KKBAFA katkılı KAKÇ10 çimentosunun 7, 28, 56 ve 90 günlerdeki hidratasyon gelişimini inceleyecek olursak en yüksek CH piki 7. günde gözlenmiş ve en düşük CH pikleri ise 56 ve 90. Günlerde birbirine benzer pikler vermiştir. CH piklerinin yüksek olduğu 7 ve 28 günlerde etrenjit oluşumu gözlenmiştir.

Genel olarak her katkı oranında KKBAFA katkısı uzun dönemde (56 ve 90 günlerde) CH’yı zamanla bağlayarak yeni C-S-H jeline dönüştürmüştür. Bunun nedeni KKBAFA katkısının pozolanik özelliği olduğu düşünülmektedir. Her katkı oranında kürlenme süresi arttıkça C_3S ve C_2S lerde azalma gözlenmiştir. Şekil 7.13. CEM I (42,5R) ve KKBAFA katkılı numunelerin 90 günlük XRD değişimleri verilmiştir.

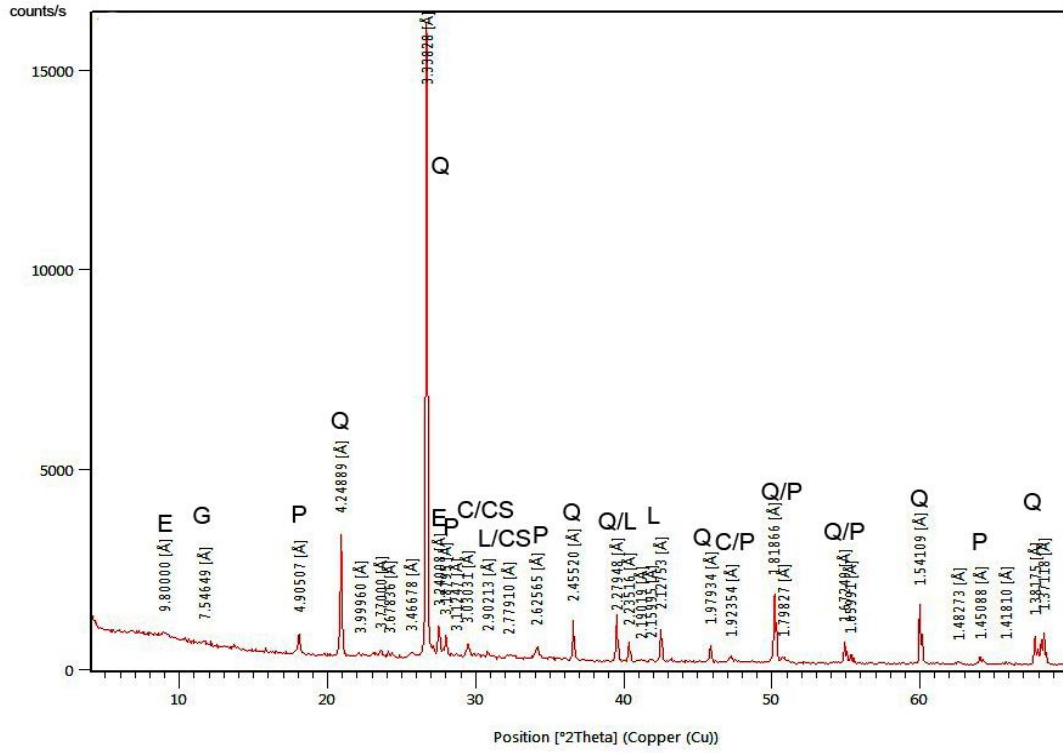


(a) CEM I, 7 gün XRD

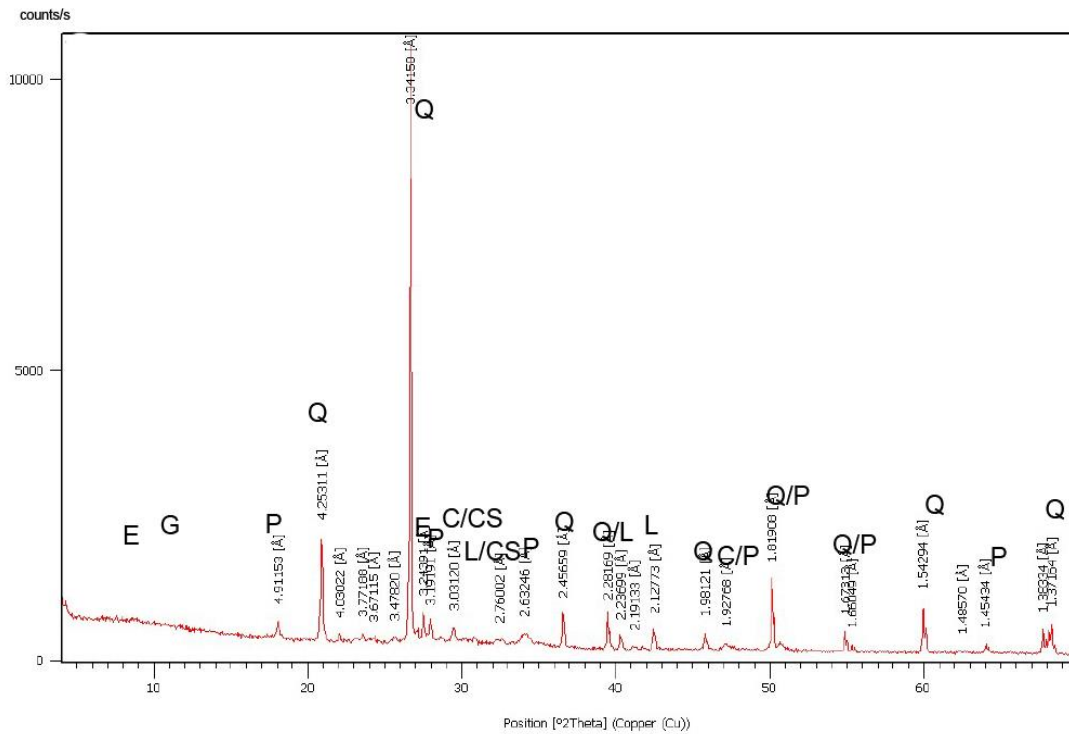


(b) CEM I, 28 gün XRD

Şekil 7.8. (a) (b) (c) (d) CEM I (42,5R) çimentosunun 7, 28, 56 ve 90 günlerdeki XRD grafikleri (CH (CaOH), Portlandite-P, C₃S (Ca₃SiO₅)-CS, C₂S (Ca₂SiO₄) Larnit-L, CASH (Ca₆Al₂(SO₄)₃(OH)₁₂26H₂O), Etrenjit-E, Kuvars (SiO₂)-Q, Kalsit (CaCO₃)-C, Jips (CaSO₄2H₂O)-G)

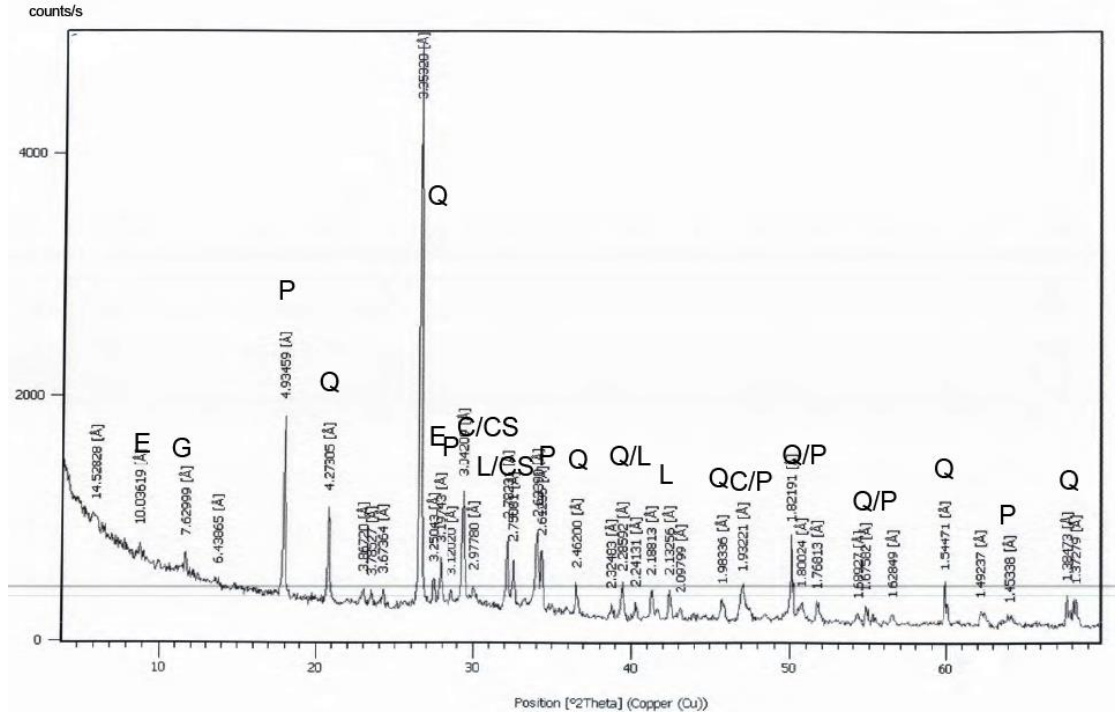


(c) CEM I, 56 gün XRD

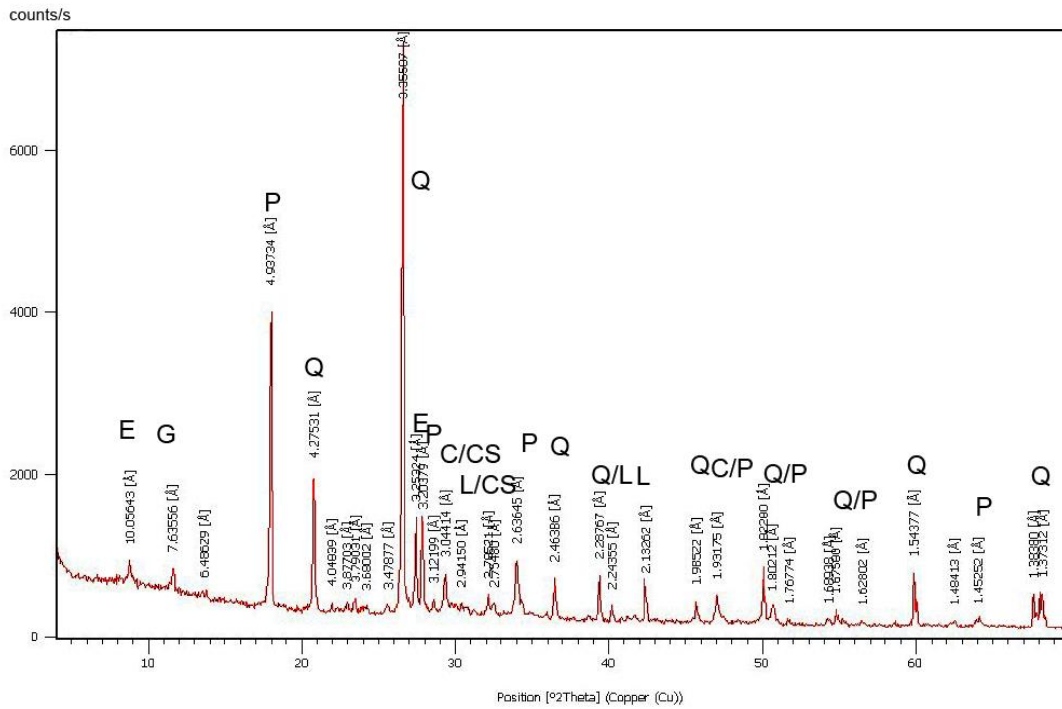


(d) CEM I, 90 gün XRD

Şekil 7.8. (devam) (a) (b) (c) (d) CEM I (42,5R) çimentosunun 7, 28, 56 ve 90 günlerdeki XRD grafikleri (CH (CaOH), Portlandite-P, C_3S (Ca_3SiO_5)-CS, C_2S (Ca_2SiO_4) Larnit-L, CASH ($Ca_6Al_2(SO_4)_3(OH)_{12}26H_2O$), Etrenjit-E, Kuvars (SiO_2)-Q, Kalsit ($CaCO_3$)-C, Jips ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$)-G)

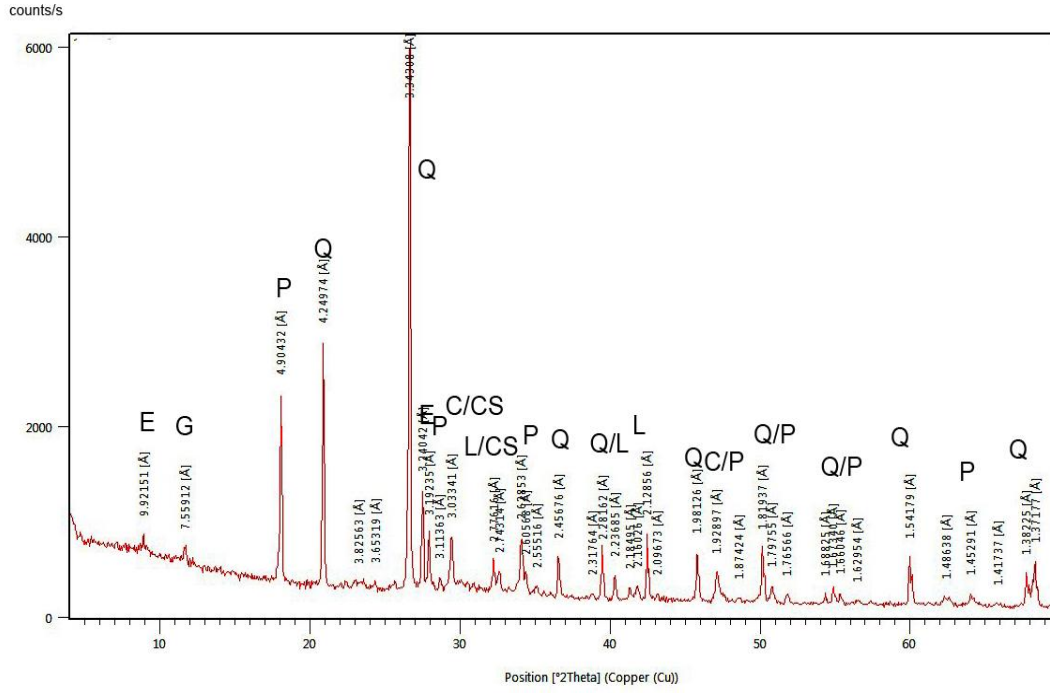


(a) KAKÇ3, 7 gün XRD

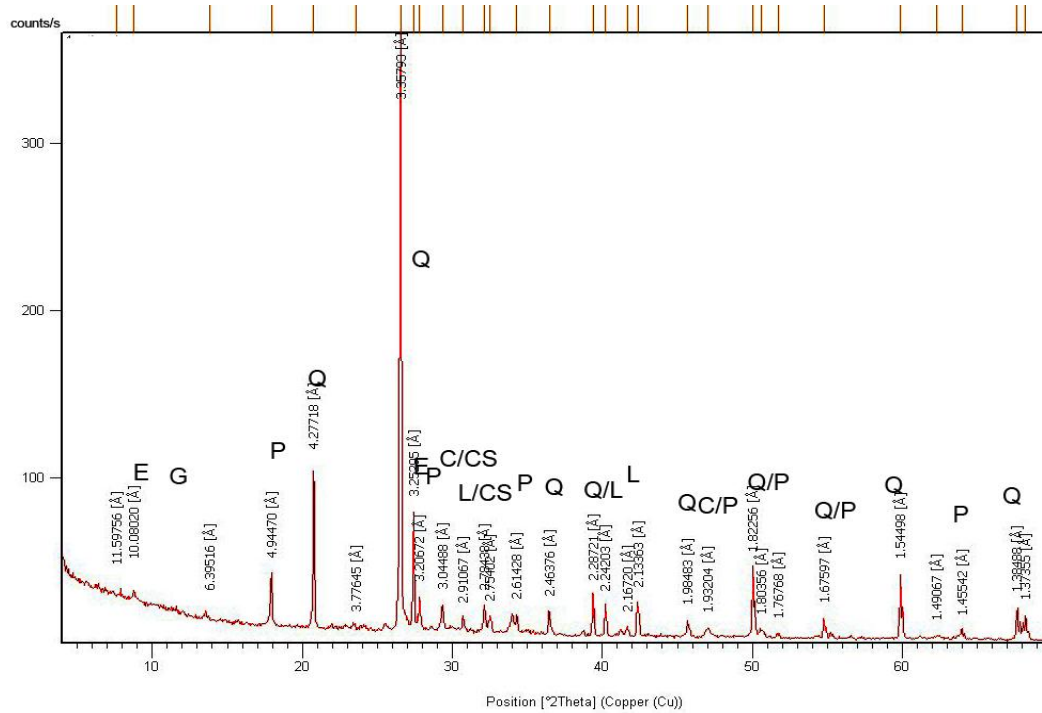


(b) KAKÇ3, 28 gün XRD

Şekil 7.9. (a) (b) (c) (d) %3 KKBAFA katkılı KAKÇ3 çimentosunun 7, 28, 56 ve 90 günlerdeki XRD grafikleri (CH (CaOH), Portlandite-P, C₃S (Ca₃SiO₅)-CS, C₂S (Ca₂SiO₄) Larnit-L, CASH (Ca₆Al₂(SO₄)₃(OH)₁₂26H₂O), Etrenjit-E, Kuvars (SiO₂)-Q, Kalsit (CaCO₃)-C, Jips (CaSO₄2H₂O)-G)

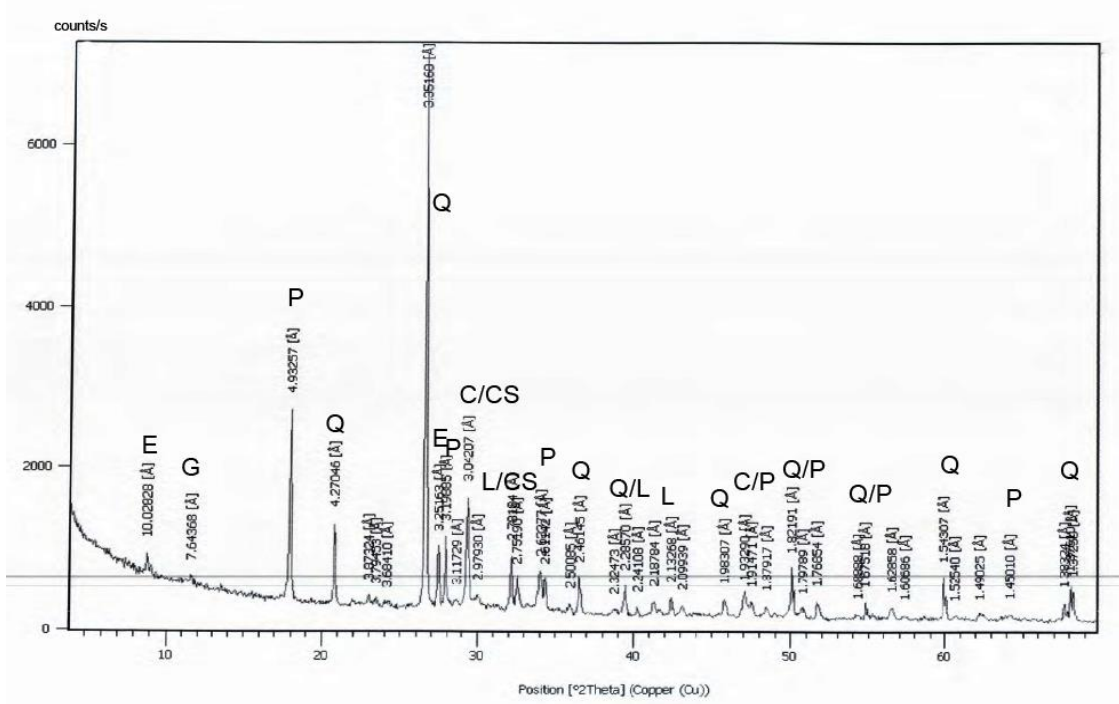


(c) KAKÇ3, 56 gün XRD

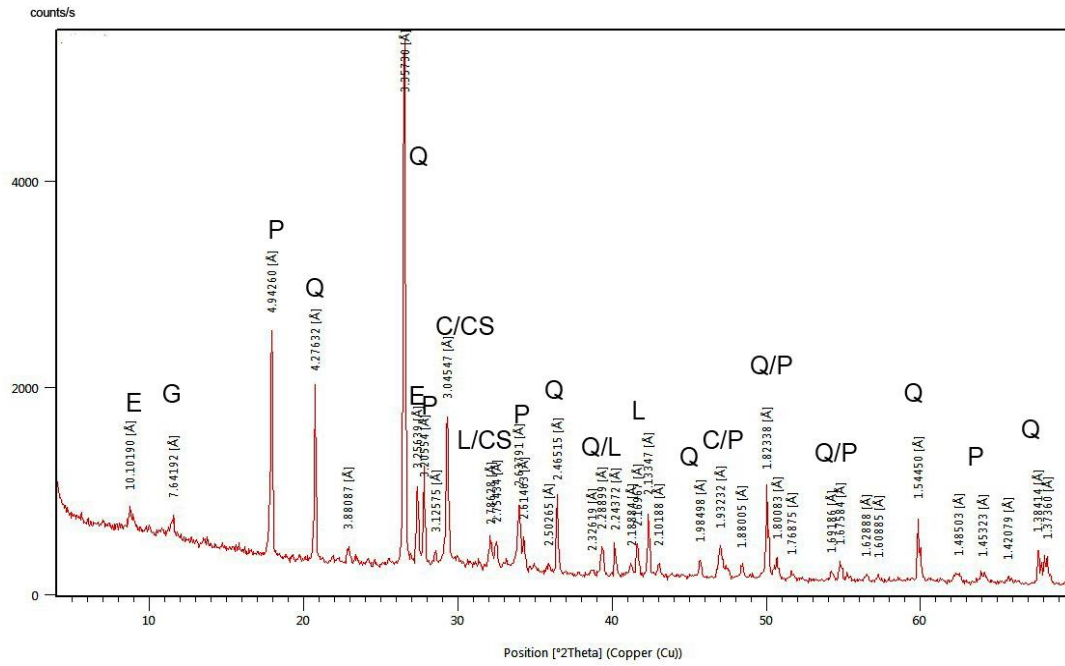


(d) KAKÇ3, 90 gün XRD

Şekil 7.9. (devam) (a) (b) (c) (d) %3 KKBAFA katkılı KAKÇ3 çimentosunun 7, 28, 56 ve 90 günlerdeki XRD grafikleri (CH (CaOH), Portlandite-P, C₃S (Ca₃SiO₅)-CS, C₂S (Ca₂SiO₄) Larnit-L, CASH (Ca₆Al₂(SO₄)₃(OH)₁₂26H₂O), Etenjit-E, Kuvars (SiO₂)-Q, Kalsit (CaCO₃)-C, Jips (CaSO₄2H₂O)-G)

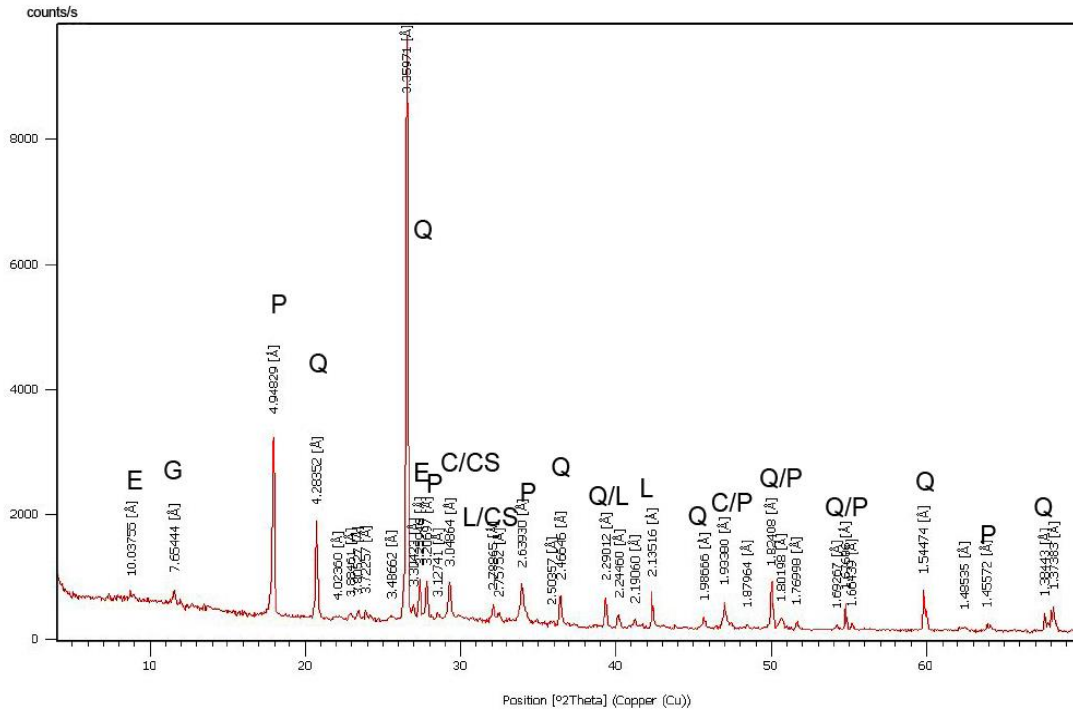


(a) KAKÇ5, 7 gün XRD

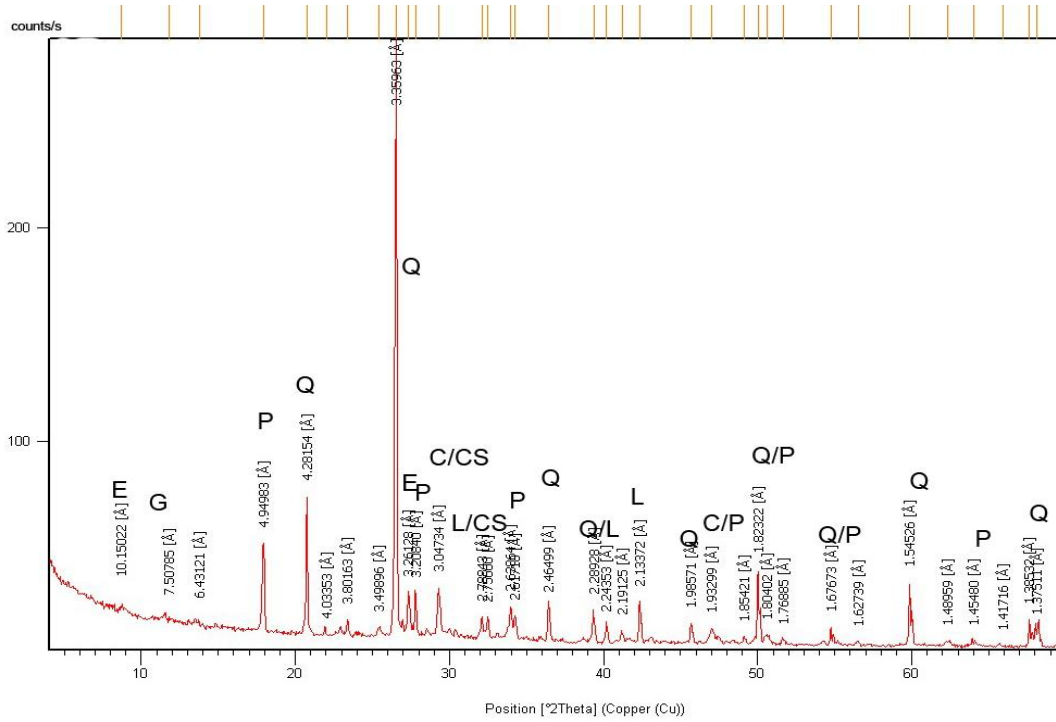


(b) KAKÇ5, 28 gün XRD

Şekil 7.10. (a) (b) (c) (d) %5 KKBAFA katkılı KAKÇ5 çimentosunun 7, 28, 56 ve 90 günlerdeki XRD grafikleri (CH (CaOH), Portlandite-P, C_3S (Ca_3SiO_5)-CS, C_2S (Ca_2SiO_4) Larnit-L, CASH ($Ca_6Al_2(SO_4)_3(OH)_{12}26H_2O$), Etrenjit-E, Kuvars (SiO_2)-Q, Kalsit ($CaCO_3$)-C, Jips ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$)-G)

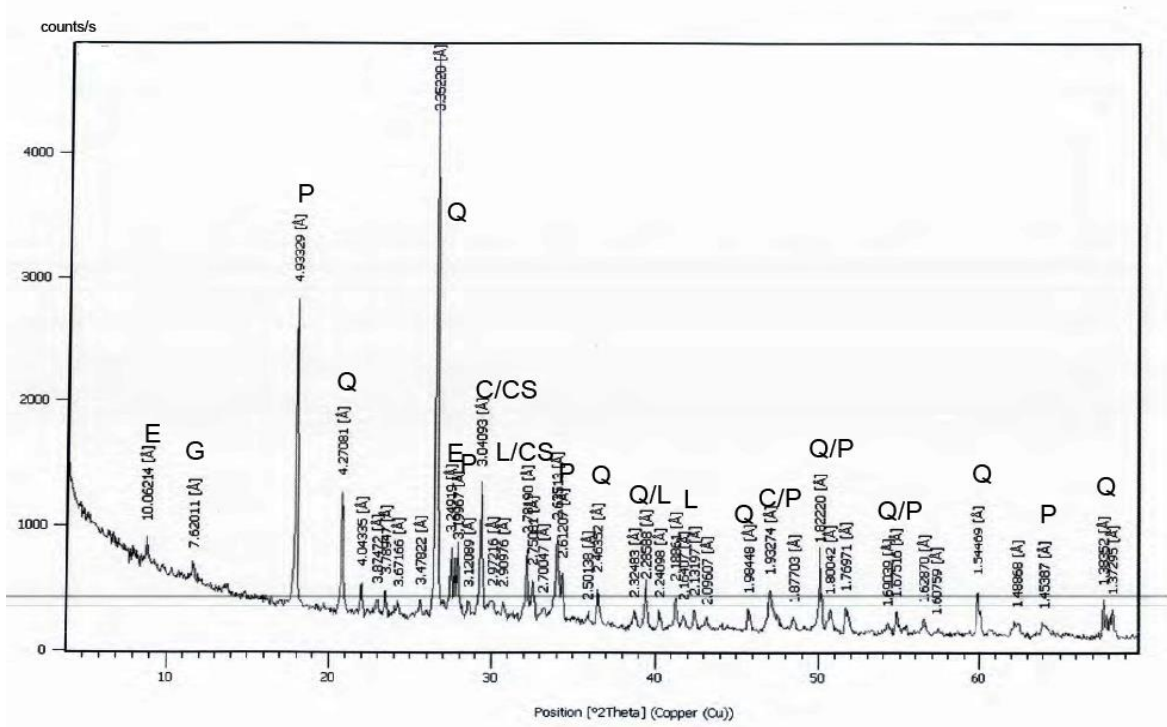


(c) KAKÇ5, 56 gün XRD

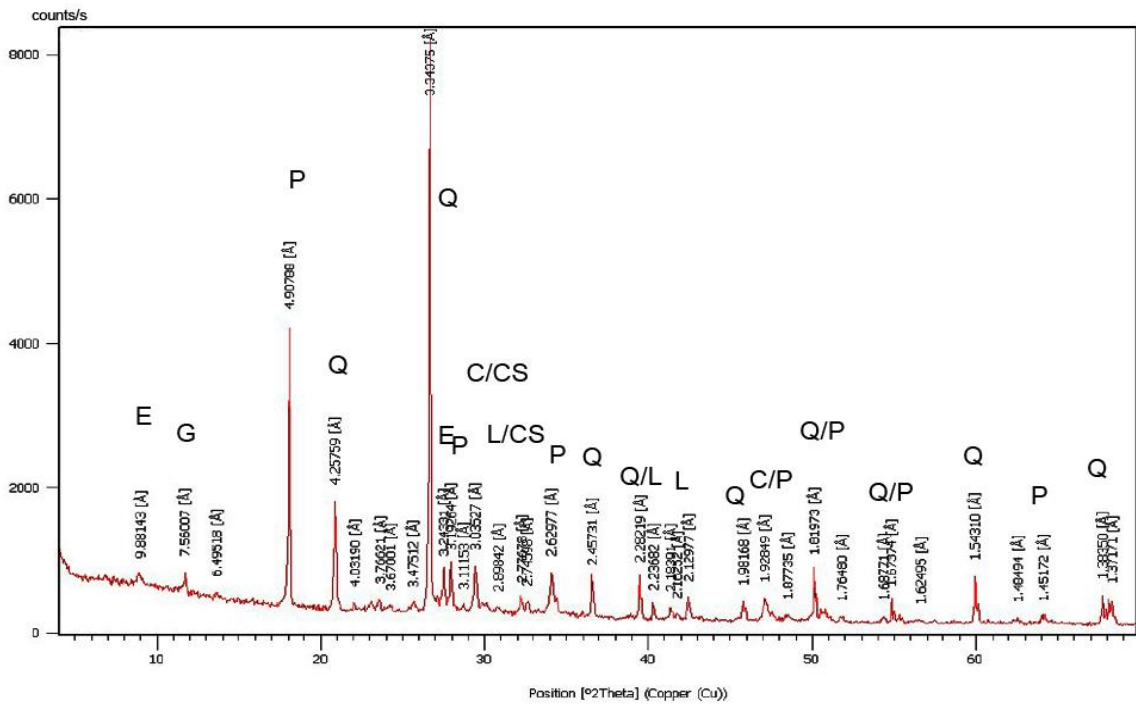


(d) KAKÇ5, 90 gün XRD

Şekil 7.10. (devam) (a) (b) (c) (d) %5 KKBAFA katkılı KAKÇ5 çimentosunun 7, 28, 56 ve 90 günlerdeki XRD grafikleri (CH (CaOH), Portlandite-P, C₃S (Ca₃SiO₅)-CS, C₂S (Ca₂SiO₄) Larnit-L, CASH (Ca₆Al₂(SO₄)₃(OH)₁₂26H₂O), Etrenjit-E, Kuvars (SiO₂)-Q, Kalsit (CaCO₃)-C, Jips (CaSO₄2H₂O)-G)

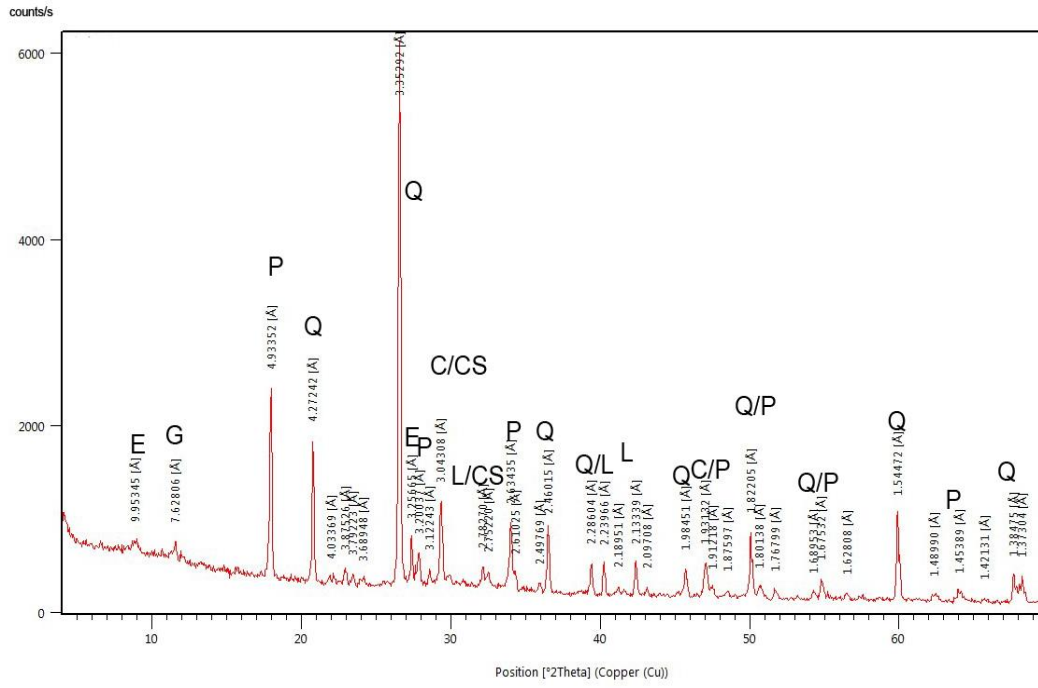


(a) KAKÇ7, 7 gün XRD

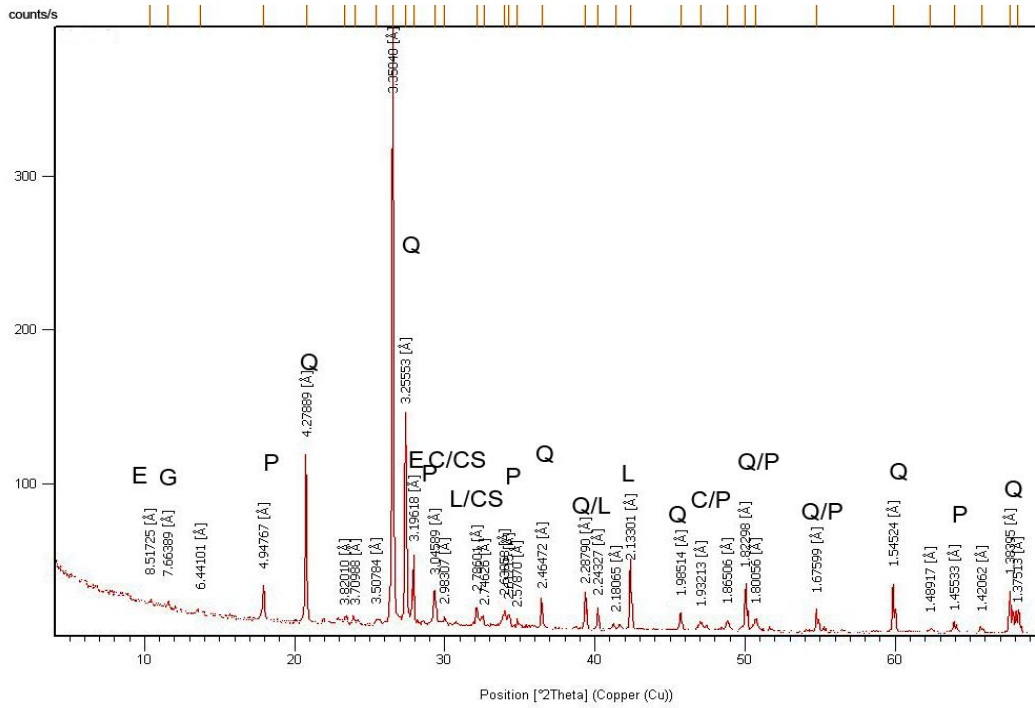


(b) KAKÇ7, 28 gün XRD

Şekil 7.11. (a) (b) (c) (d) %7 KKBAFA katkılı KAKÇ7 çimentosunun 7, 28, 56 ve 90 günlerdeki XRD grafikleri (CH (CaOH), Portlandite-P, C_3S (Ca_3SiO_5)-CS, C_2S (Ca_2SiO_4) Larnit-L, CASH ($Ca_6Al_2(SO_4)_3(OH)_{12}26H_2O$), Etrenjit-E, Kuvars (SiO_2)-Q, Kalsit ($CaCO_3$)-C, Jips ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$)-G)

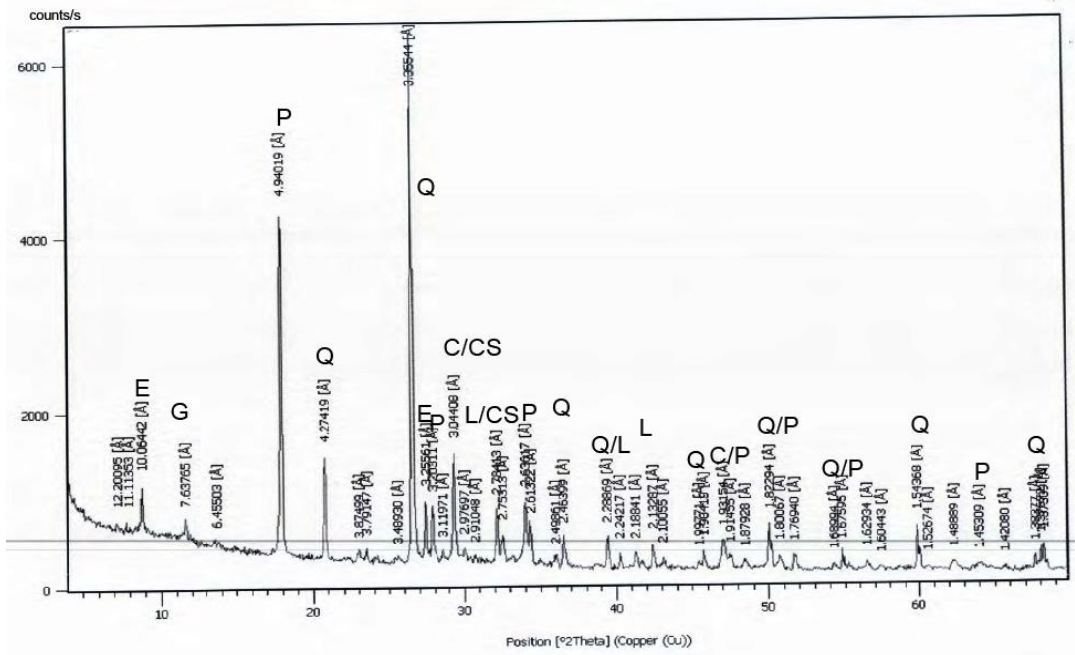


(c) KAKÇ7, 56 gün XRD

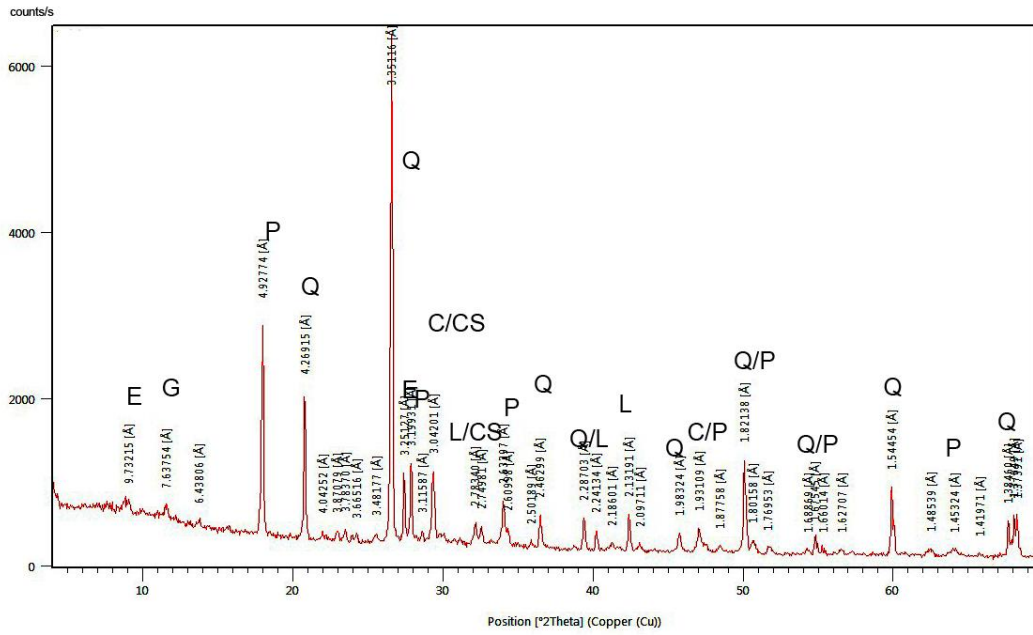


(d) KAKÇ7, 90 gün XRD

Şekil 7.11. (devam) (a) (b) (c) (d) %7 KKBAFA katkılı KAKÇ7 çimentosunun 7, 28, 56 ve 90 günlerdeki XRD grafikleri (CH (CaOH), Portlandite-P, C_3S (Ca_3SiO_5)-CS, C_2S (Ca_2SiO_4) Larnit-L, CASH ($Ca_6Al_2(SO_4)_3(OH)_{12}26H_2O$), Etrenjit-E, Kuvars (SiO_2)-Q, Kalsit ($CaCO_3$)-C, Jips ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$)-G)

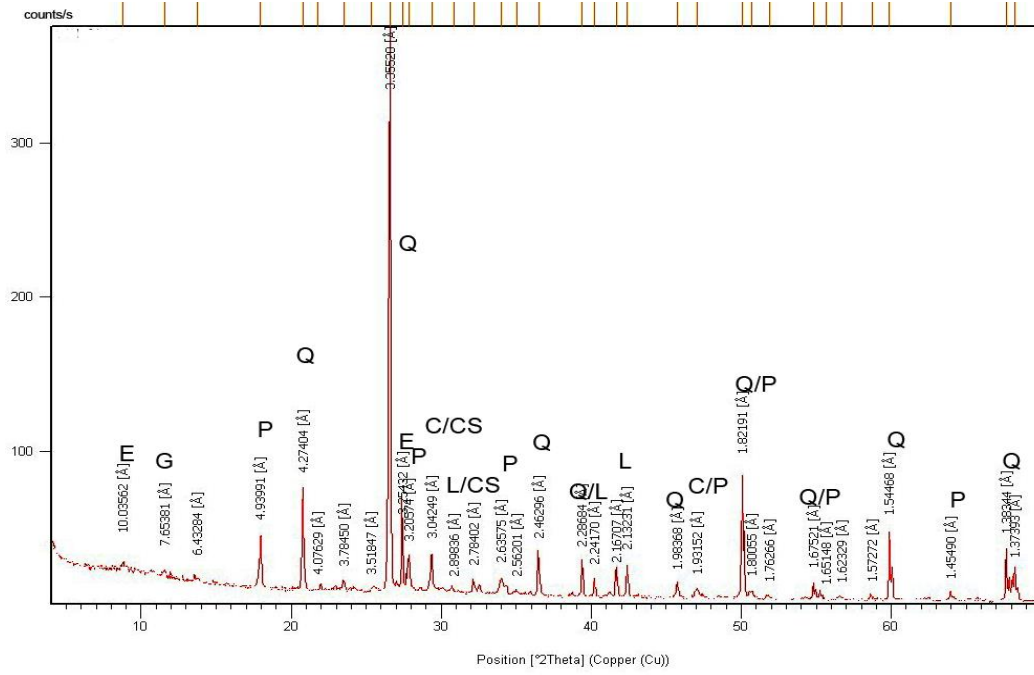


(a) KAKÇ10, 7 gün XRD

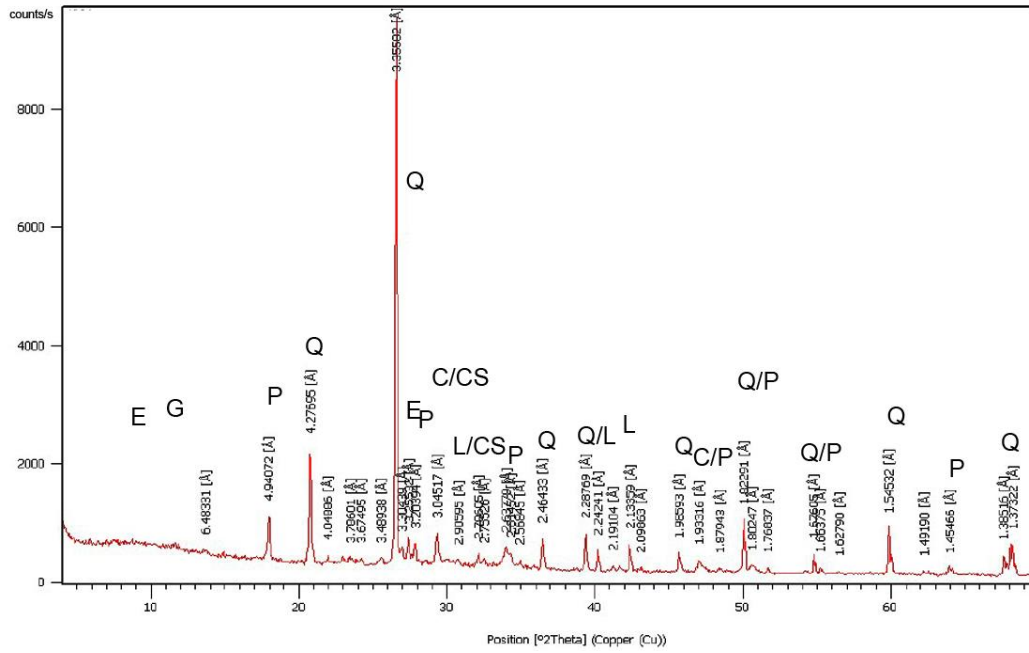


(b) KAKÇ10, 28 gün XRD

Şekil 7.12. (a) (b) (c) (d) %10 KKBAFA katkılı KAKÇ10 çimentosunun 7, 28, 56 ve 90 günlerdeki XRD grafikleri (CH (CaOH), Portlandite-P, C_3S (Ca_3SiO_5)-CS, C_2S (Ca_2SiO_4) Larnit-L, CASH ($Ca_6Al_2(SO_4)_3(OH)_{12}26H_2O$), Etrenjit-E, Kuvars (SiO_2)-Q, Kalsit ($CaCO_3$)-C, Jips ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$)-G)

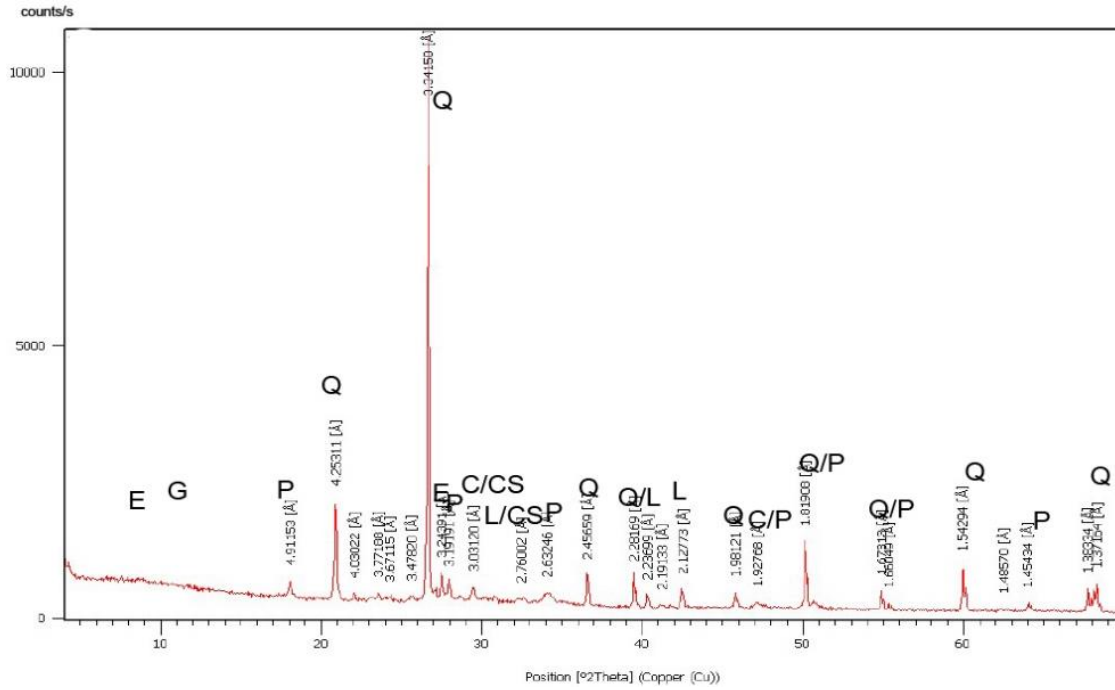


(c) KAKÇ10, 56 gün XRD

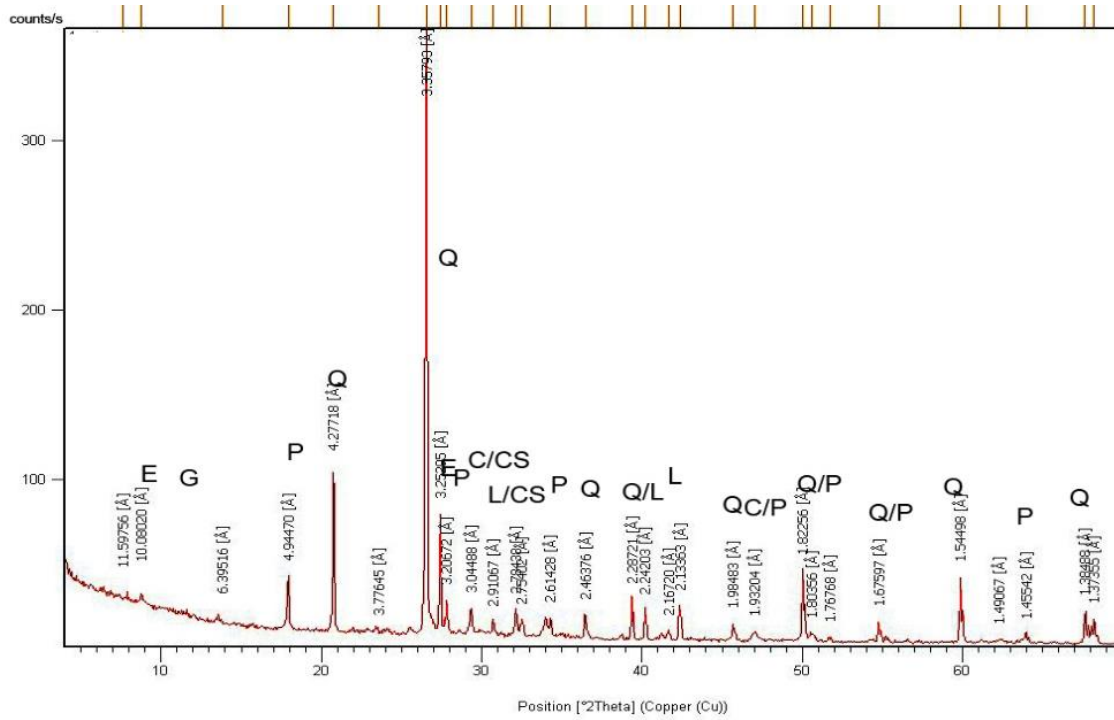


(d) KAKÇ10, 90 gün XRD

Şekil 7.12. (a) (b) (c) (d) %10 KKBAFA katkılı KAKÇ10 çimentosunun 7, 28, 56 ve 90 günlerdeki XRD grafikleri (CH (CaOH), Portlandite-P, C_3S (Ca_3SiO_5)-CS, C_2S (Ca_2SiO_4) Larnit-L, CASH ($Ca_6Al_2(SO_4)_3(OH)_{12}26H_2O$), Etrenjit-E, Kuvars (SiO_2)-Q, Kalsit ($CaCO_3$)-C, Jips ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$)-G)

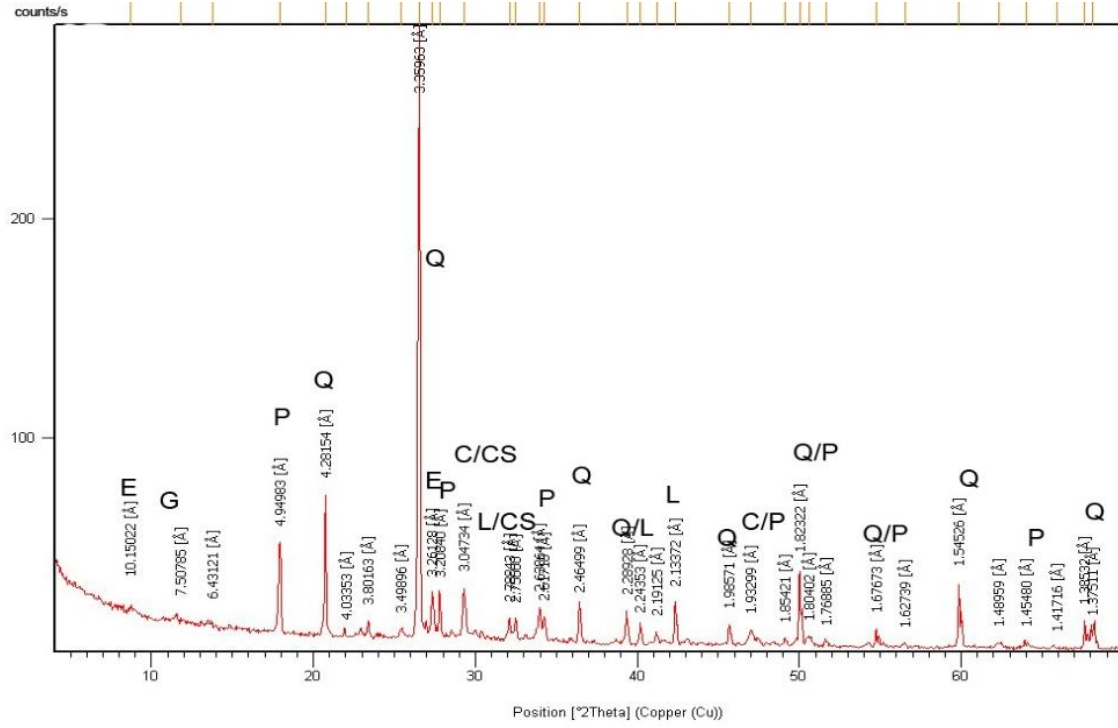


(a) CEM I

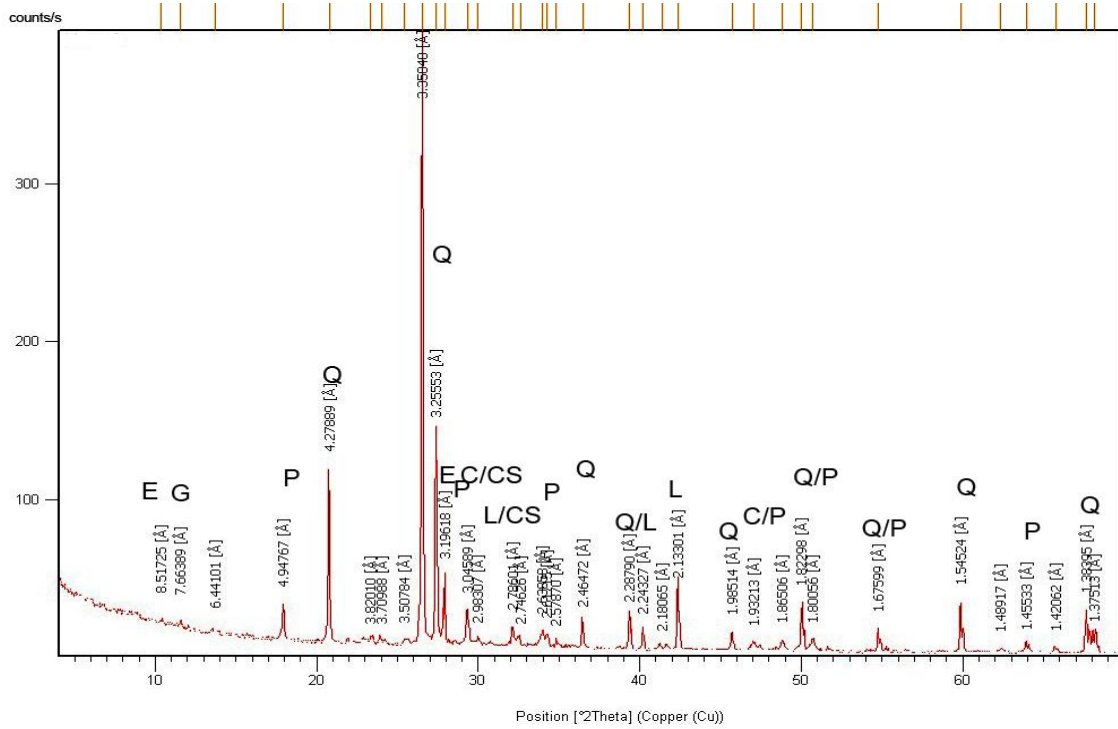


(b) KAKÇ3

Şekil 7.13. (a) (b) (c) (d) (e) CEM I (42,5R) ve KKBAFA katkıli numunelerin 90 günlük XRD değişimi (CH (CaOH), Portlandite-P, C₃S (Ca₃SiO₅)-CS, C₂S (Ca₂SiO₄) Larnit-L, CASH (Ca₆Al₂(SO₄)₃(OH)₁₂26H₂O), Etrenjit-E, Kuvars (SiO₂)-Q, Kalsit (CaCO₃)-C, Jips (CaSO₄2H₂O)-G)

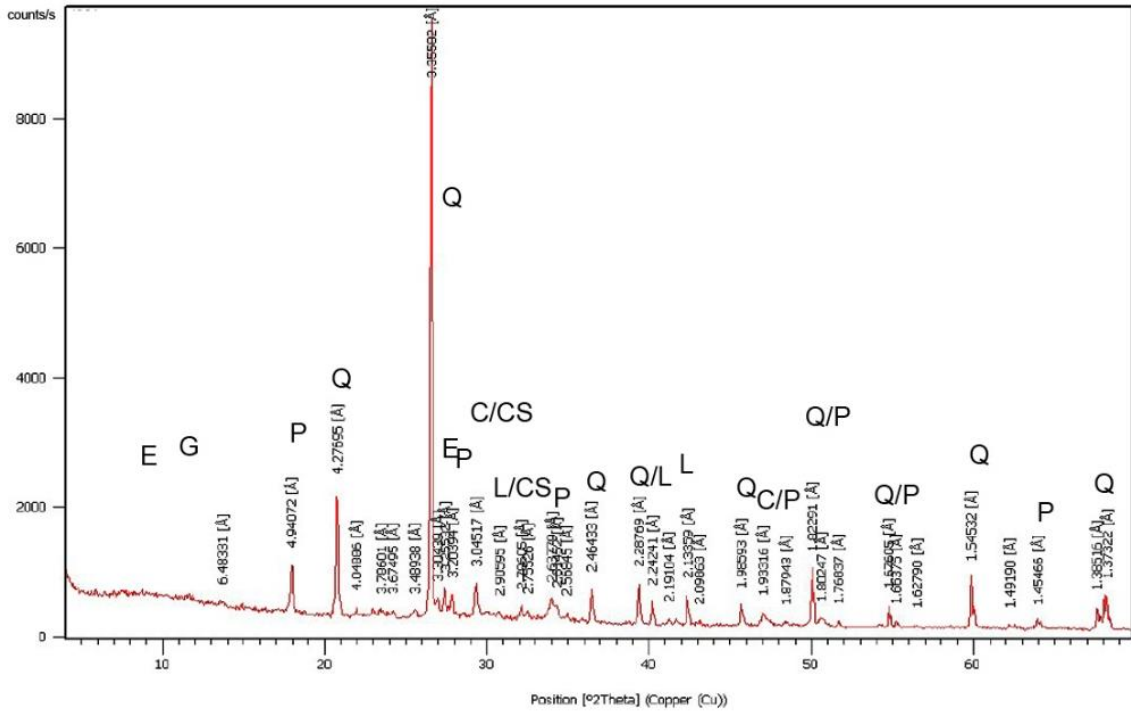


(c) KAKÇ5



(d) KAKÇ7

Şekil 7.13. (devam) (a) (b) (c) (d) (e) CEM I (42,5R) ve KKBAFA katkılı numunelerin 90 günlük XRD değişimi (CH (CaOH), Portlandite-P, C₃S (Ca₃SiO₅)-CS, C₂S (Ca₂SiO₄) Larnit-L, CASH (Ca₆Al₂(SO₄)₃(OH)₁₂26H₂O), Etrenjit-E, Kuvars (SiO₂)-Q, Kalsit (CaCO₃)-C, Jips (CaSO₄2H₂O)-G)



(e) KAKÇ10

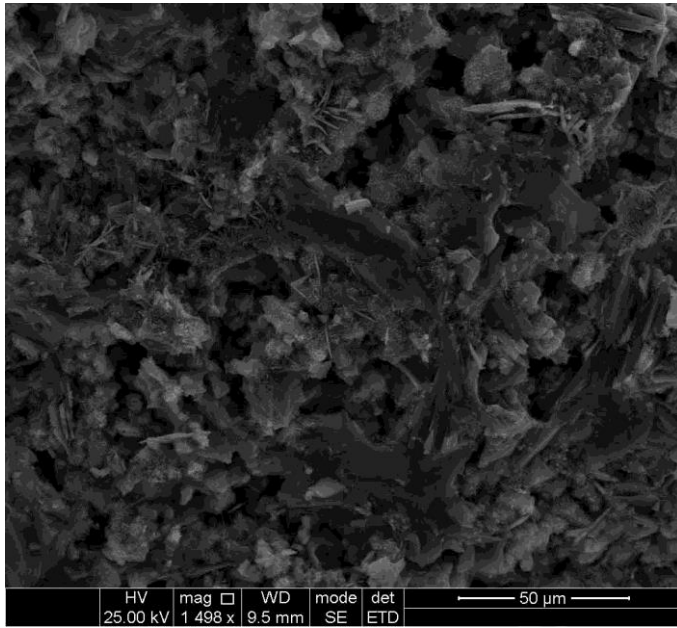
Şekil 7.13. (devam) (a) (b) (c) (d) (e) CEM I (42,5R) ve KKBAFA katkılı numunelerin 90 günlük XRD değişimi (CH (CaOH), Portlandite-P, C₃S (Ca₃SiO₅)-CS, C₂S (Ca₂SiO₄) Larnit-L, CASH (Ca₆Al₂(SO₄)₃(OH)₁₂26H₂O), Etrenjit-E, Kuvars (SiO₂)-Q, Kalsit (CaCO₃)-C, Jips (CaSO₄2H₂O)-G)

Şekil 7.13 incelendiğinde KKBAFA katkılı numunelerin CEM I (42,5R)' a göre tüm hidratasyon günlerinde biraz daha farklı oranlarda CH oluşturduğu görülmüştür. Örnekler karşılaştırıldığında KKBAFA katkılı çimentoların CEM I (42,5R) numunesine göre 90. günde daha yüksek CH pikleri verdiği görülmüştür. Bu durum KKBAFA nın pozolanik özelliğinden kaynaklanmaktadır. KKBAFA katkı miktarı arttıkça CH pikleri az da olsa azalmıştır. En düşük CH piki % 7 KKBAFA katkılı çimentoda gözlenmiştir. Literatürde, borojips katkılı numunelere XRD analizleri benzer sonuçlar vermiş ve borojips katkı oranı değiştikçe portlandit ve etrenjit piklerinde değişimler gözlenmiştir (Kavas ve diğerleri 2005).

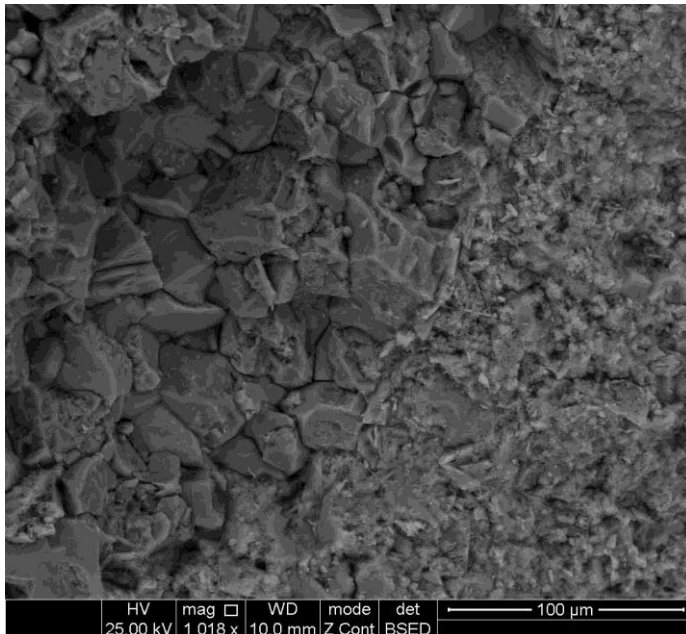
7.4.2. Mikro yapı analizleri (SEM)

CEM I (42,5R) ve KKBAFA katkılı numunelerin 90. hidratasyon günündeki mikro yapıları incelenmiştir. CEM I (42,5R) Resim 7.1.-7.2'de, KAKÇ3 Resim 7.3-7.4'de, KAKÇ5 Resim 7.5-7.6'da, KAKÇ 7 Resim 7.7-7.8'de ve KAKÇ10 Resim 7.9-7.10'da SEM görüntüleri verilmiştir. CEM I (42,5R) harcı, mikro yapısına göre geniş bir bölgede hidrate olmuştur.

Yapıda gerek taneciklerin etkileşimleri, gerekse hidrate ürünlerin oluşumu sırasında farklı çapta küçük boşluklu yapılar oluşmuştur (Resim 7.1-7.2). CH gelişimleri heryöne doğrudur. Boşluklu yapılar genellikle farklı büyüklüklerdeki taneciklerin, farklı hidratasyon hızları göstermesinden kaynaklanmaktadır. Yüzeyde yoğun C-S-H oluşumları gözlenmiş, Şekil 7.8’de verilen CEM I (42,5R) XRD grafiğinde 90. günde gözlenmemesine rağmen çekimi yapılan alanda bazı C-S-H içinde ve boşluklarda az miktarda hegzagonal yapıli etrenjit oluşumu görölmüştür. (Resim 7.1).

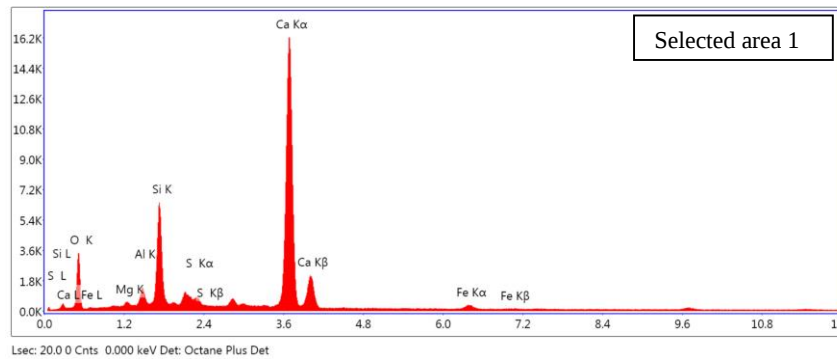
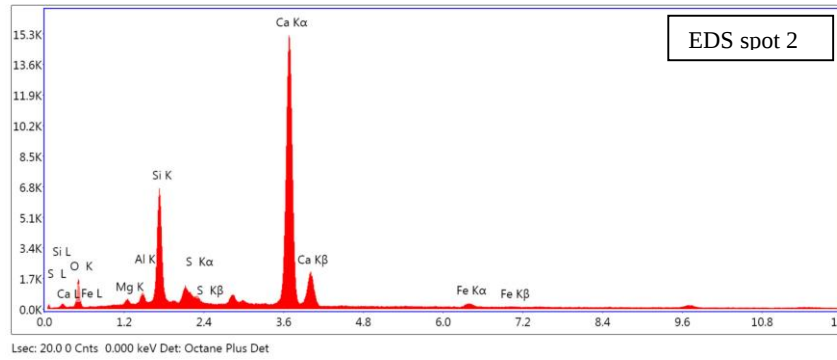
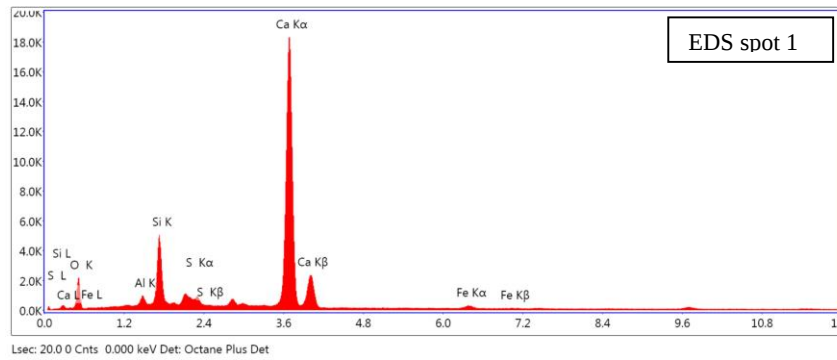
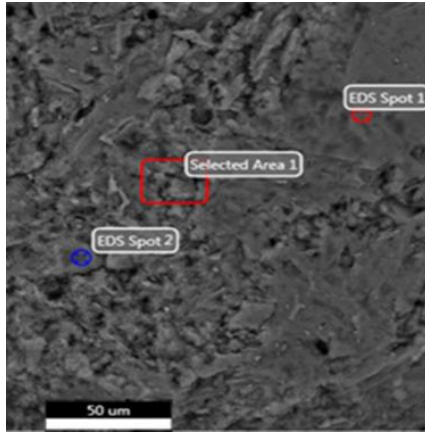


(a)



(b)

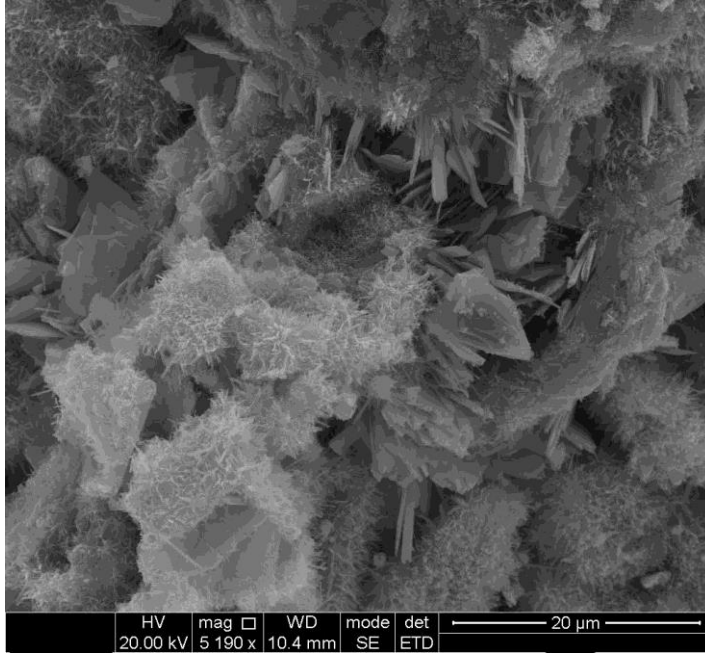
Resim 7.1. (a) (b) CEM I (PÇ 42,5R) SEM görüntüsü (90 günlük)



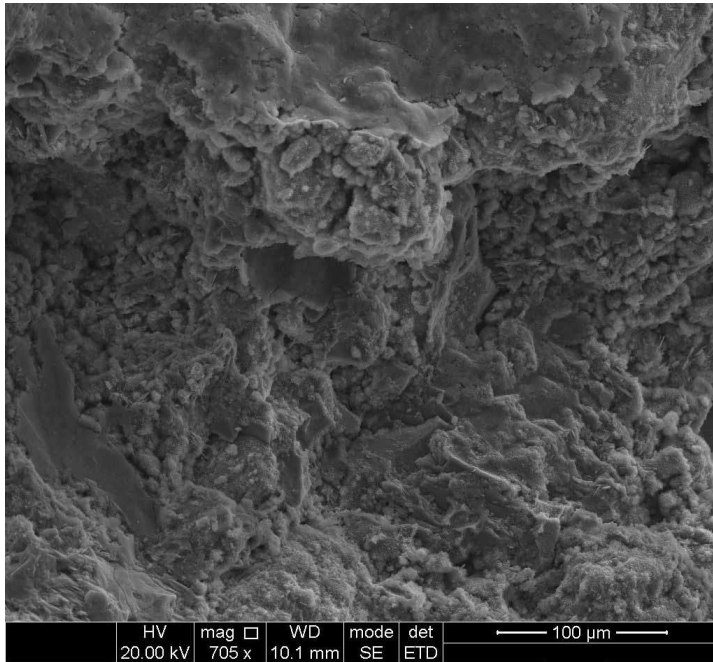
Resim 7.2. CEM I (PÇ 42,5R) EDS analizi (90 günlük)

KKBAFA katkısının harçlara etkisi kolayca görülebilmektedir. %3 oranında KKBAFA katkı içeren KAKÇ3 harcı, diğer üç harca göre daha az boşluklar içermekte (Resim 7.3.-7.4) ve her yöne doğru büyümüş taneciklerin üstü hidrasyon ürünleriyle kaplanmıştır. Bunun

nedeni boşluklarının hidrasyon ürünlerince doldurulmasıdır. Bu nedenle KAKÇ3, diğer harçlara göre zamanla orantılı olarak büyüyen CH kristalleri ve C-S-H jellerinin, yapının bütün boşluklarını doldurmasıyla daha kompakt bir hal almıştır. Bu durum bütün büyütmelerde açıkça görülmektedir. Şekil 7.9’da verilen XRD grafiğinde gözlenmemesine rağmen Resim 7.3.-7.4’de verilen SEM görüntülerinde etrenjit oluşumu gözlenmemiştir.

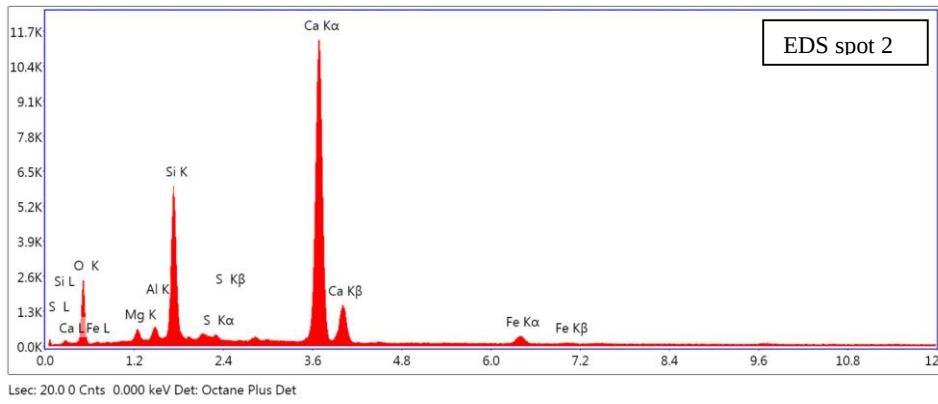
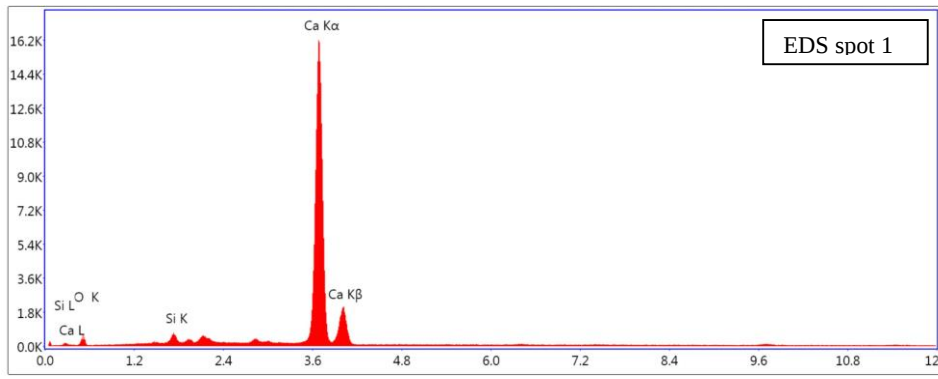
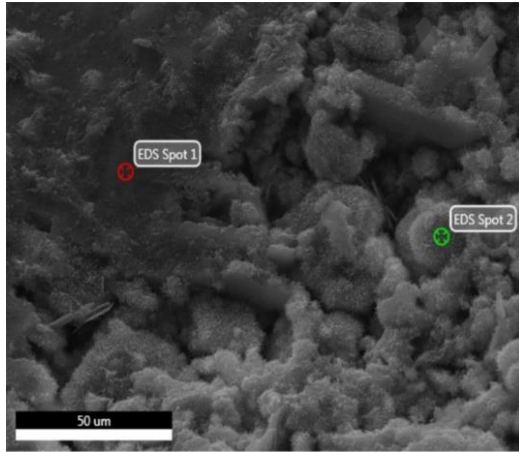


(a)



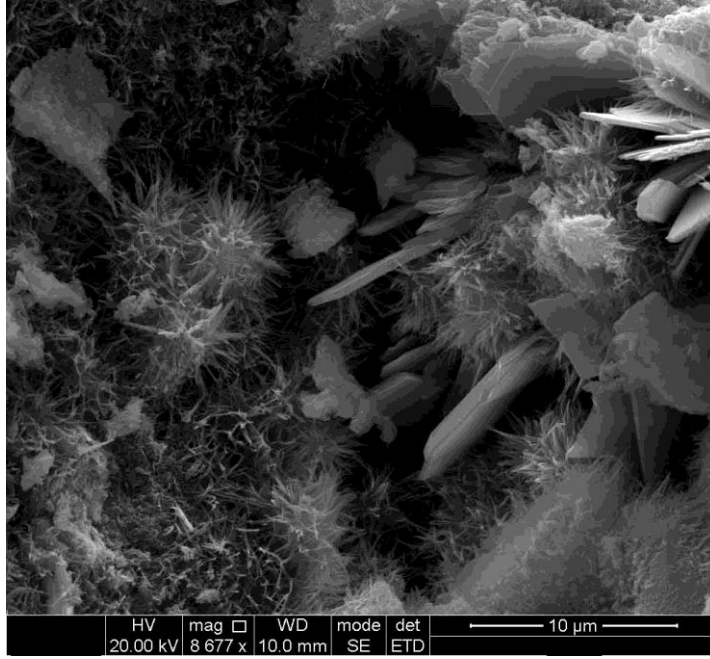
(b)

Resim 7.3. (a)(b)KAKÇ3 SEM görüntüsü (90 günlük)

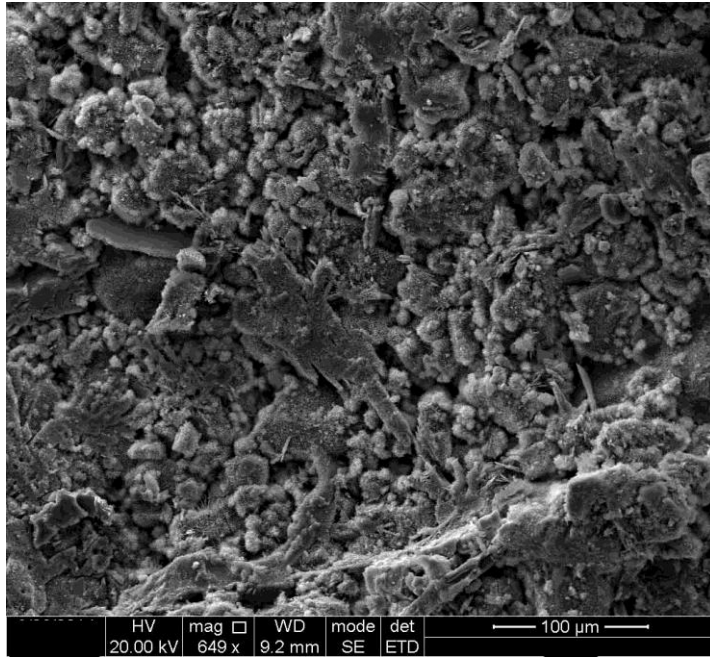


Resim 7.4. KAKÇ3 EDS analizi (90 günlük)

%5 KKBAFA içeren KAKÇ5 harcında hidratasyon ürünleri net bir şekilde görülmektedir. SEM görüntülerinde (Resim 7.5.-7.6) C-S-H tabakalarının üzerinde iğnemsî yapılı CH'lar görülmüştür. Şekil 7.10'da verilen KAKÇ5 XRD grafiğinde de Resim 7.5.-7.6'de verilen SEM görüntülerinde de etrenjit oluşumu gözlenmemiştir.

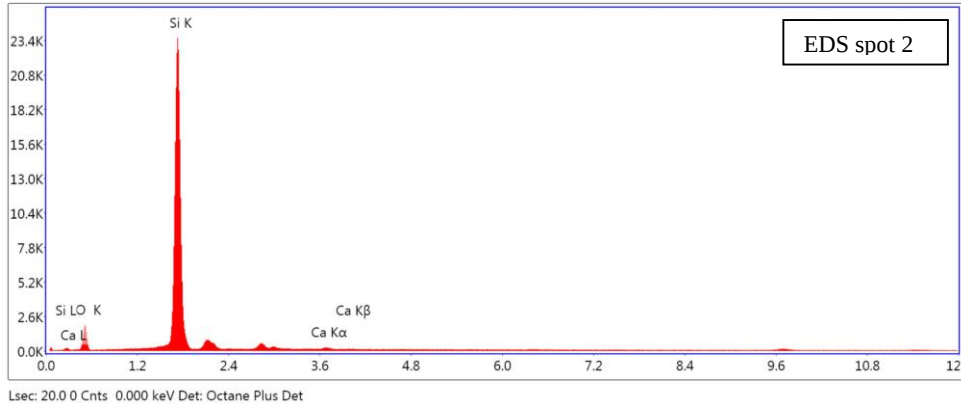
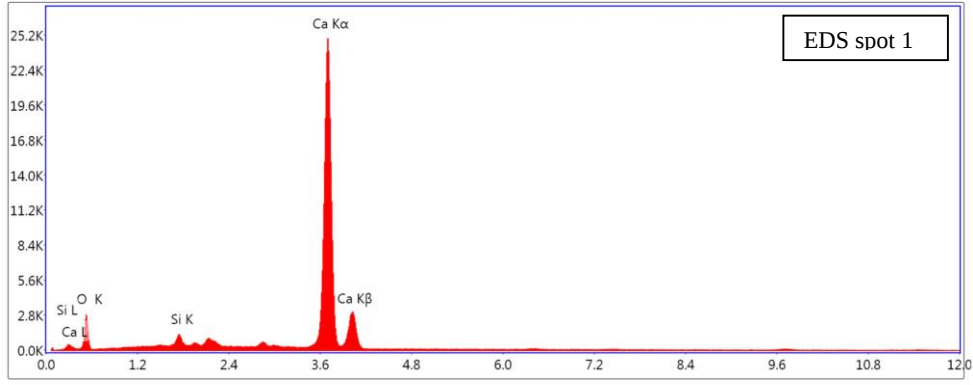
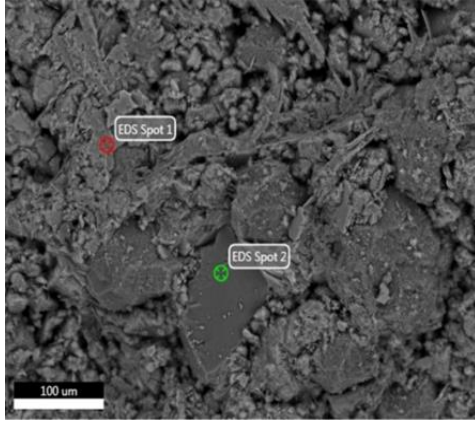


(a)



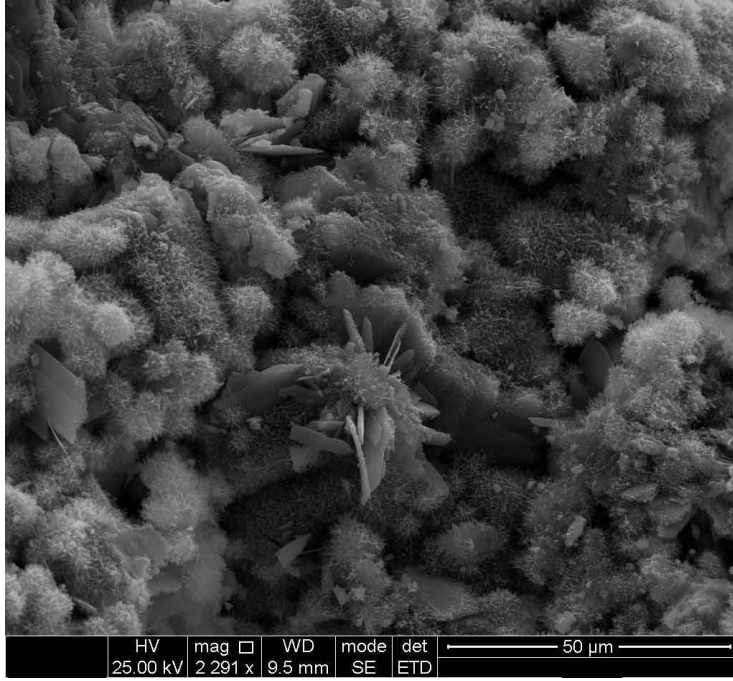
(b)

Resim 7.5. (a)(b) KAKÇ5 SEM görüntüsü (90 günlük)

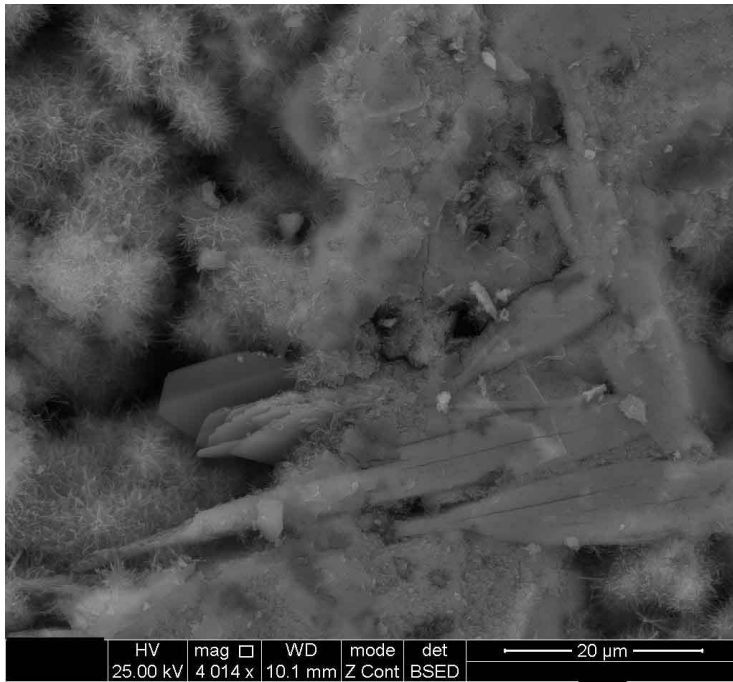


Resim 7.6. KAKÇ5 EDS analizi (90 günlük)

%7 KKBAFA içeren KAKÇ7 harcının SEM görüntülerinde (Resim 7.7.-7.8) yoğun bir yüzey görülmektedir. Resim 7.7.-7.8’da ki görüntülerde hidrate olmuş yüzeyler üstünde C-S-H’lar, hem tanecik hem de boşluklarda CH’ların geliştiği görülmektedir. Şekil 7.11’de verilen XRD grafiğinde de rağmen Resim 7.7-7.8’de verilen SEM görüntülerinde etrenjit oluşumu gözlenmemiştir.

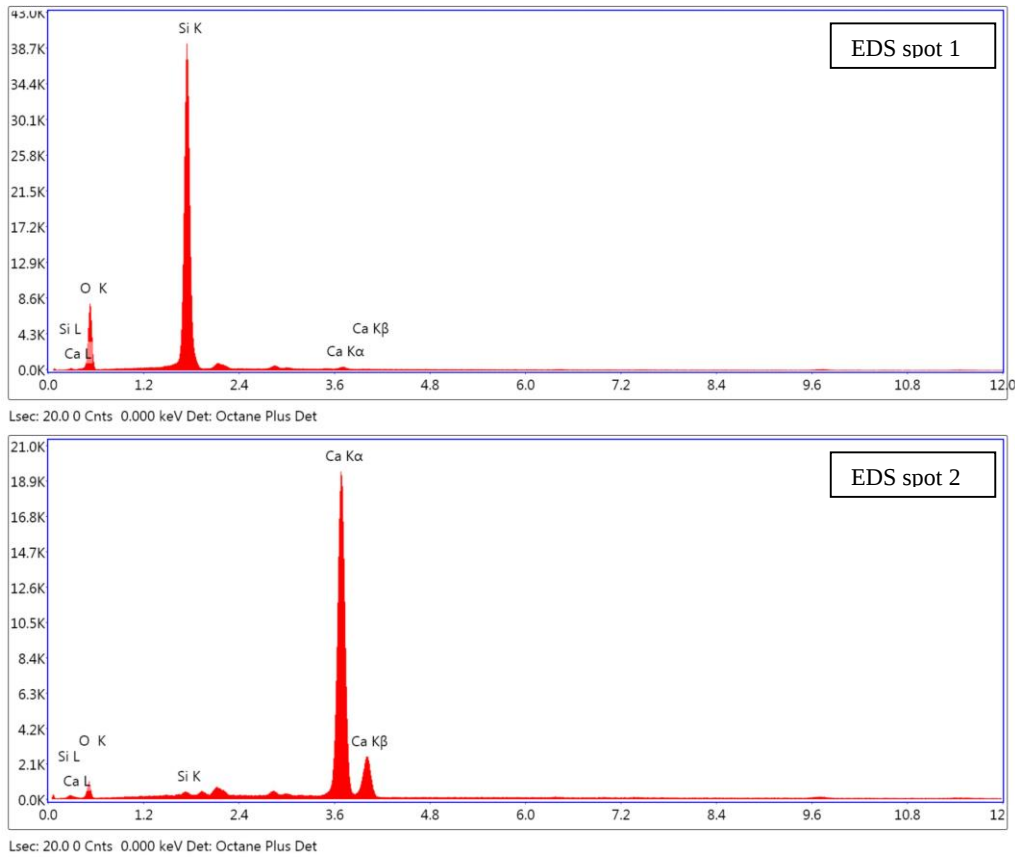
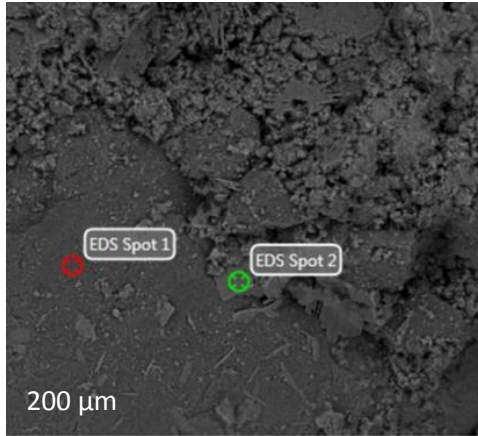


(a)



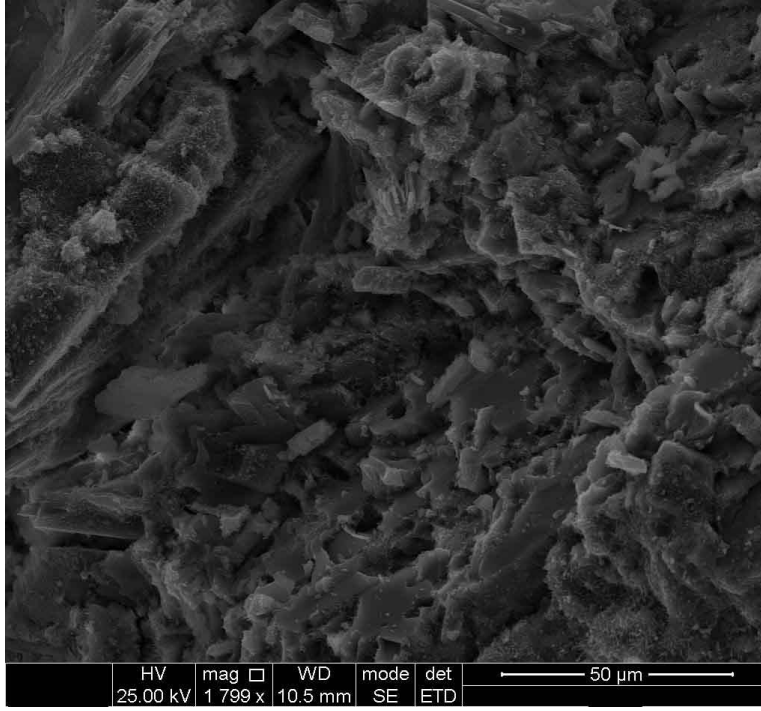
(b)

Resim 7.7. (a) (b) KAKÇ7 SEM görüntüsü (90 günlük)

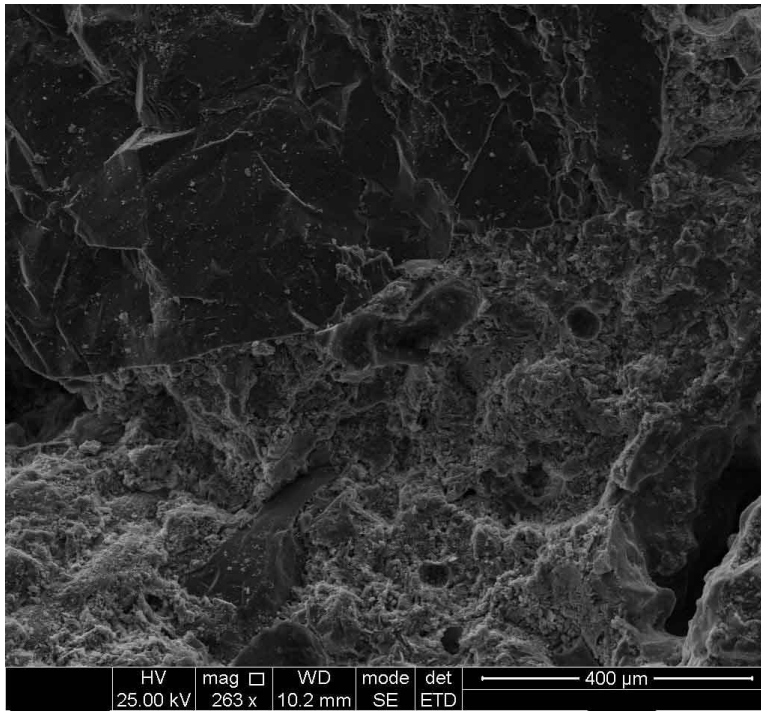


Resim 7.8. KAKÇ7 EDS analizi (90 günlük)

KAKÇ10 harcında hidrate ürünlerin oluşumu sırasında farklı çapta boşluklu yapılar oluşmuştur (Resim 7.9). KAKÇ10 harcının yapısındaki yüksek miktardaki SO_3 ten kaynaklı hidrasyon esnasında yapı boşluk oluşturduğu ve hidrasyon ürünlerinin bu boşluğu dolduramadığı düşünülmektedir.

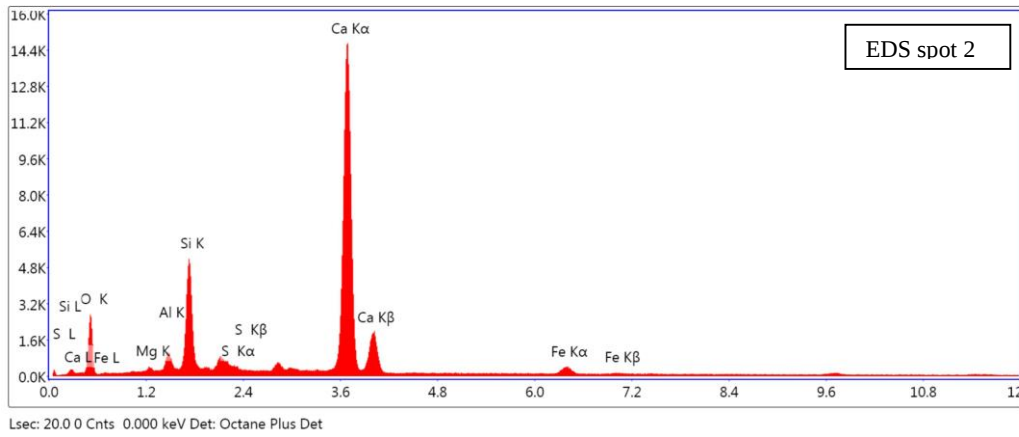
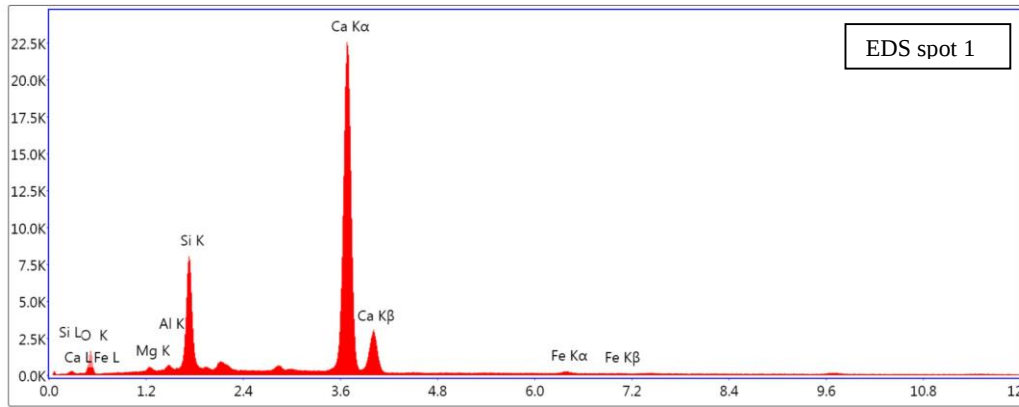
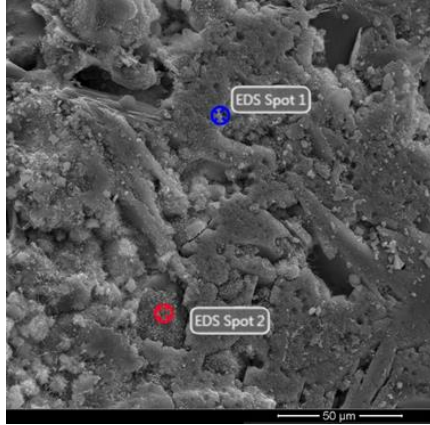


(a)



(b)

Resim 7.9. (a) (b) KAKÇ10 SEM görüntüsü (90 günlük)



Resim 7.10. KAKÇ10 EDS analizi (90 günlük)

Genel olarak değerlendirme yapılacak olursa; Resim 7.1-Resim 7.10'da görüldüğü gibi farklı KKBAFA katkı kullanılarak hazırlanan çimento harcı örneklerinin mikro yapıları CEM I (42,5R) referans numuneden ve birbirlerinden farklılık göstermiştir. %5 ve %7 KKBAFA katkılı harç numunelerde daha büyük kristallerin oluştuğu dolayısıyla daha yoğun ve kararlı bir yapıda olduğu gözlenmiştir. KKBAFA' nın puzolanik etkisiyle mikroyapı oluşumunda gecikmelere sebebiyet verdiği açıkça görülmüştür. Bu gecikmeden dolayı oluşan CH kristalleri net bir şekilde SEM görüntülerinde görülmektedir. %10 oranında KKBAFA katkısı yüksek miktardaki SO_3 ten kaynaklı hidratasyona olumsuz etkide bulunmuştur.

KKBAFA katkılı numunelerde CEM I (42,5R) numunesine göre çekimi yapılan alanlarda daha az miktarda etrenjit oluşumu gözlenmiştir. SEM görüntülerinin Şekil 7.13’de ki 90 günlük XRD grafikleriyle uyumlu olduğu görülmüştür.

XRD ve SEM analiz sonuçları incelendiğinde KKBAFA’nın puzolanik etkisi iç kaynaklı sülfat etkisinin reaksiyon sonucu KKBAFA katkılı harçlara zarar vermesini önlemiş, çatlak veya genleşme oluşmamıştır. KKBAFA içerisinde bulunan bu yüksek SO_3 etkisinin, yüksek fırın cürufu gibi sülfata dayanıklı bir katkı malzemesinin KKBAFA ile beraber kullanılmasıyla aşılabileceği düşünülebilir.

Bulunan sonuçlar literatürle uyumludur. Zira literatürde yapılan benzer çalışmalarda KKBAFA ile hazırlanan numunelerin SEM analizlerinde Candlot tuzuna veya bundan dolayı oluşan çatlaklara rastlanmadığı (Biricik ve Aköz, 2000) ve borojips katkılı çimento harçlarında SEM analizleri yapılmış, Portland çimentosuna göre daha az miktarda etrenjit oluşturduğu görülmüş, klinkerin borojipsle etkileşimi sonucunda daha yoğun bir mikroyapı olduğu rapor edilmiştir (Kavas ve diğerleri 2005).

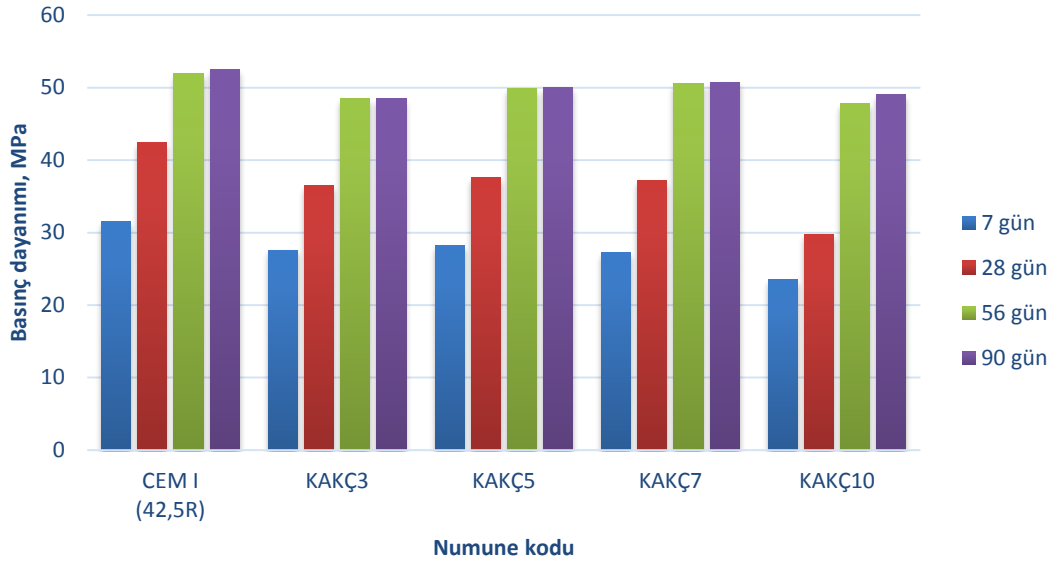
7.5. Çimento Harçları Deneyleri Sonuçları

7.5.1. Basınç dayanımı

Çimento harçlarının mekanik özelliklerini belirlemek için 4*4*16 cm boyutlarındaki prizmatik numuneler üzerinde TS EN 196-1 (2002) standardına göre 7, 28, 56 ve 90 günlük basınç dayanımları incelenmiştir. 7, 28, 56 ve 90 günlük basınç dayanım sonuçlarının KKBAFA katkı miktarına göre değişimi Çizelge 7.10 ve Şekil 7.14’de verilmiştir.

Çizelge 7.10. Basınç dayanımı deney sonuçları

Numune Kodları	7 gün (MPa)	28 gün (MPa)	56 gün (MPa)	90 gün (MPa)
CEM I (42,5R)	31,5	42,5	52,0	52,5
KAKÇ3	27,6	36,5	48,5	48,5
KAKÇ5	28,2	37,6	49,9	50,0
KAKÇ7	27,3	37,2	50,5	50,8
KAKÇ10	23,5	29,8	47,8	49,0



Şekil 7.14. CEM I(42,5R) ve KKBAFA katkılı çimentoların 7, 28, 56 ve 90 günlük basınç dayanımı grafiği

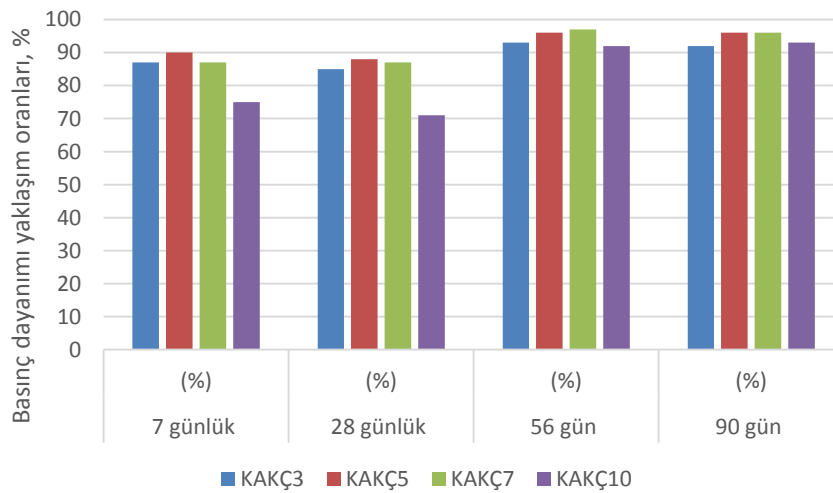
KKBAFA katkılı çimentoların basınç dayanımı deneyi sonuçları referans CEM I (42,5R) numunesiyle karşılaştırıldığında tüm yaşlarda CEM I (42,5R) numunesinin basınç dayanımının üretilen katkılı harçlara göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum KKBAFA'ın doğal alçıya göre basınç dayanımını olumsuz etkilediğini göstermektedir. KKBAFA içeriğindeki az miktar bor ve SO_3 basınç dayanımını olumsuz etkilemiştir. KAKÇ'nin CEM I (42,5R)'ye göre dayanımlarındaki bu farklılığın nedeni tane boyutu ve Blaine değerlerdeki farklılıklardan kaynaklanabilir (Dorum ve diğerleri,2010). Benzer olarak KKBAFA içeriğine çok benzer özellikteki borojipsli karışımların basınç dayanımları normal alçı taşlı numunelere göre daha düşük kalmıştır. Borojips içeriğindeki bor miktarı çimentonun sertleşmesine müdahale ettiği rapor edilmiştir. (Kavas 2005).

KKBAFA içeren numuneler 7 günlük kür süresi sonunda 23,5 MPa ile 28,2 MPa arasında değişen, 28 günlük kür sonunda 29,8 MPa ile 37,6 MPa arasında değişen, 56 günlük kür sonunda 47,8 MPa ile 50,5 MPa arasında değişen ve 90 günlük kür sonunda 49,0 MPa ile 50,8 MPa arasında değişen değerler almıştır. Çizelge 7.10 ve Şekil 7.14 incelendiğinde genel olarak basınç dayanımlarının % 10 KKBAFA katkı oranına kadar numunelerin benzer dayanımlarda olduğu, % 10 KKBAFA içeren numunelerde erken yaşlarda (7 ve 28 günler) ancak uzun dönemde (56 ve 90 günler) diğer numuneleri yakaladığı görülmüştür. Sevim (2013) 'in kolemanit atığı olan borojipsin beton üzerindeki etkilerini incelediği çalışmada

%10 dan fazla borojips kullanımının basınç dayanımında olumsuz etkiye bulunduğu söylemektedir. Benzer sonuçlar Kavas ve diğerleri (2005) yaptığı çalışmada da gözlenmiştir.

Çizelge 7.11. KKBAFA katkılı numunelerin CEM I (42,5 R) a göre basınç dayanımı yaklaşım oranları

Numune Kodları	7 günlük (%)	28 günlük (%)	56 gün (%)	90 gün (%)
KAKÇ3	87	85	93	92
KAKÇ5	90	88	96	96
KAKÇ7	87	87	97	96
KAKÇ10	75	71	92	93



Şekil 7.15. KKBAFA katkılı numunelerin CEM I (42,5 R) a göre basınç dayanımı yaklaşım oranları

Çizelge 7.11 ve Şekil 7.15’de ki CEM I (42,5 R)’e göre basınç dayanımı yaklaşım oranları incelendiğinde, KKBAFA katkılı numunelerin 56 ve 90 günlük uzun dönemlerde 7 ve 28 günlük kısa dönemlere göre CEM I (42,5 R) basınç dayanımlarına daha yakın basınç dayanımlarında olduğu görülmüştür. 7 ve 28 günlerde KKBAFA katkılı numunelerin basınç dayanımları % 71- %90 arasında iken 56 ve 90 günlerde %92-%97 lere çıkmıştır. Bu durum KKBAFA içeriğinden kaynaklı puzolanik özellik göstermesinden kaynaklanır. Puzolanlar, betonda klinkerin hidratasyonu sonucu oluşan Ca(OH)_2 ile tepkimeye girer ve bu nedenle betona su karıştırıldıktan sonra, bir süre ortamda Ca(OH)_2 ’in toplanma süresince Portland çimentosuna seyreltici bir etki yapar. Ancak literatürde, ortamda Ca(OH)_2 birikmesi ile puzolanların da sistemin dayanımını artıran etkilerinin ortaya çıkmasını sağladığı ve bu

nedenle, puzolan kullanımıyla betonun erken dayanımında bir düşüş olması beklendiği ifade edilmektedir (Yetgin, 2005).

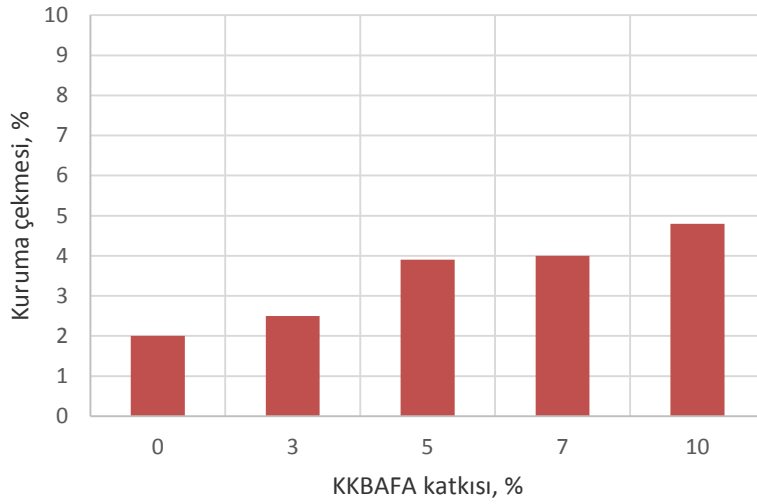
Yine yapılan bir çalışmada 2 günlük %5 kolemanit ilaveli numune ile standart numunenin basınç dayanımları arasındaki oran 0,61 iken 90 günlük dayanımları arasındaki oran 0,93 olduğu görülmüştür (Ustabaş 2011). Tüm bu sonuçlar değerlendirildiğinde basınç dayanımı açısından %5 ve %7 KKBAFA katkılı numunelerin CEM I (PÇ 42,5) referans numunesine en yakın olduğu gözlenmiştir.

7.5.2. Kuruma çekmesi

Kuruma sırasında meydana gelen değişimi incelemek amacıyla yapılan kuruma çekmesi deney sonuçları Çizelge 7.12 ve Şekil 7.16'da verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde KKBAFA katkılı numuneler CEM I (42,5 R) numunesine daha yüksek kuruma çekmesi göstermiş ve KKBAFA arttıkça kuruma çekmesinde yüzde olarak az miktarda artış görülmüştür. Bunun nedeninin KKBAFA özgül kütlelerinin klinkere oranla daha az olması olduğu düşünülmektedir. Aynı zamanda KKBAFA'nın suyu absorbe etmeye meyilli bir malzeme olduğu anlaşılmaktadır. Harç numunelerde kuruma sonrasında deformasyon gözlenmemiştir.

Çizelge 7.12. Kuruma çekmesi deney sonuçları

Numune Kodları	Kuruma çekmesi, %
CEM I (42,5R)	2,0
KAKÇ3	2,5
KAKÇ5	3,9
KAKÇ7	4,0
KAKÇ10	4,8



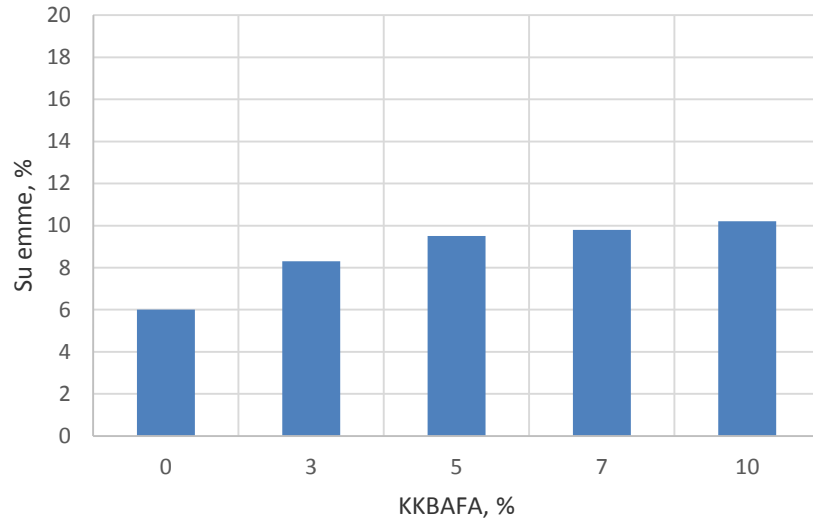
Şekil 7.16. KKBAFA katkısı kuruma çekmesi ilişkisi

7.5.3 Su emme

Su emme tayini deney sonuçları Çizelge 7.13 ve Şekil 7.17’de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde CEM I (2,5 R) referans numunesi % 6 su emme oranına sahipken, KKBAFA katkılı çimentolar %8,3-10,2 arasında su emme oranına sahiptir. KKBAFA katkısı ile harç numunelerin su emme özelliğinin arttığı görülmüştür. Buradan KKBAFA katkılı numuneler puzolanik özelliklerinden dolayı su emme özellikleri yüksektir.

Çizelge 7.13. Su emme tayini deney sonuçları

Numune Kodları	Su emme %
CEM I (42,5R)	6,0
KAKÇ3	8,3
KAKÇ5	9,5
KAKÇ7	9,8
KAKÇ10	10,2



Şekil 7.17. Su emme tayini grafiği

8. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ ve ÖNERİLER

8.1. Sonuçlar

Bu çalışmada %3, % 5, %7 ve %10 KKBAFA katkılı çimento numuneler, üzerinde fiziksel, mekanik ve kimyasal analizler yapılarak CEM I (42,5R) çimento ile kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur:

Elek analizi sonuçlarından; laboratuvar ortamında öğütülen KKBAFA katkılı çimentoların çimento fabrikasından alınan CEM I (42,5 R) çimentosuna göre daha kalın tane dağılımına sahip olduğu ve bunun nedeninin KKBAFA'nın ve çok yumuşak bir malzeme olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. KKBAFA tanelerinde meydana gelmesi beklenen kırılma ve öğütülme verimi düşmüş ve incelikte azalma meydana gelmiştir. Bu durumla ilişkili olarak KKBAFA oranının artmasıyla özgül yüzey alanında azalma gözlenmiştir. KKBAFA katkılı çimentoların özgül kütleleri CEM I (42,5 R) çimentosuna göre daha azdır. KKBAFA'nın özgül kütlesinin düşük olmasından KKBAFA katkısı arttıkça katkılı numunelerin de özgül kütlesi azalmıştır. Bu tür etkilerin ortadan kaldırılabilmesi için öğütme öncesi maliyeti artırmayacak şekilde farklı ön işlemler yapılarak, kırma ve öğütme verimini artırmaya ve ayrıca tanecik boyutunu daha küçültmeye yönelik çalışmalar yapılmalıdır.

KKBAFA katkılı çimentoların hacim genişleme değerleri CEM I (42,5R) numunesinin hacim genişlemesinin çok az miktarda altında kaldığı görülmüştür. KKBAFA katkılı çimentolarda katkı oranı artmasıyla, hacim genişlemesinde önemli bir değişiklik gözlenmemiştir. Buradan KKBAFA katkısının çimento harçlarının hacim artısına pek etkisi olmadığı sonucu çıkarılabilir.

KKBAFA katkısının kıvam değerini artırdığı, yani çimentonun standart kıvama gelmesi için daha fazla su ilave etmek gerektiği görülmüştür. Bu durum özgül yüzey değerlerine göre ters gibi görülebilir. Ancak KKBAFA'nın puzolanik özelliğinden daha gözenekli bir yapıya sahip olmasından ve karışım suyunun bir kısmı gözenek içinde tutulması, aynı kıvamı elde etmek için daha fazla su kullanılmasını gerektirmiş olabileceği düşünülmektedir.

KKBAFA katkısı priz başlangıç ve priz sonu sürelerini geciktirmiş, KKBAFA katkısı arttıkça bu süreler uzamıştır. KKBAFA katkılı çimentolar priz süresi bakımından standardın ön gördüğü şartları sağlamış olup ancak %10 KKBAFA içeren numunenin standartta belirtilen priz sonu değerini aşmaktadır. KKBAFA katkısının priz başlangıç ve priz sonu sürelerini geciktirmesiyle, KKBAFA katkısının priz geciktirici olarak doğal alçı taşı yerine kullanılmasının uygun olacağı, ancak katkı oranlarının % 5 civarında olması daha uygun olabileceği sonucu çıkmaktadır.

Kimyasal analizlerden, KKBAFA katkılı numunelerde SO_3 miktarının oldukça yüksek olduğu ve KKBAFA katkı miktarı arttıkça SO_3 oranının da artmasıyla sonuçların TS EN 197-1 (2002) çimento standardına uygun olmadığı görülmüştür. Bu durumda KKBAFA katkılı çimentolar bileşimindeki yüksek SO_3 'ün etkisinin gidermek için ilave başka katkıların kullanılarak bu etkiyi elimine edebilmek için çalışmalar yapılmalıdır.

XRD analizlerinde 90. günde KKBAFA katkısı arttıkça daha kısa CH pikleri görülmüş, KKBAFA CH' yı zamanla bağlayarak yeni C-S-H jeline dönüştürmüştür.

KKBAFA katkılı çimentoların SEM görüntülerinden %10 KKBAFA katkısına kadar KKBAFA'nın puzolanik etkisiyle mikro yapı oluşumunda gecikmelere sebebiyet verdiği ve KKBAFA katkısıyla daha büyük kristallerin oluştuğu görülmüştür. %10 oranında KKBAFA katkısı yüksek miktardaki SO_3 ten kaynaklı hidratasyona olumsuz etkide bulunmuştur.

KKBAFA basınç dayanımını doğal alçı katkılı CEM I (42,5R) çimentosuna göre olumsuz etkilemiştir. Basınç dayanımı açısından %5 ve %7 KKBAFA katkılı numunelerin CEM I (PÇ 42,5) referans numunesine en yakın olduğu gözlenmiştir.

KKBAFA arttıkça kuruma çekmesinde ve su emme özelliğinde artış görülmüştür. Bunun nedeninin KKBAFA özgül kütlesinin klinkere oranla daha az olması olduğu düşünülmektedir. Aynı zamanda KKBAFA'nın suyu absorbe etmeye meyilli bir malzeme olduğu anlaşılmıştır.

8.2. Öneriler

Çimento fabrikalarında doğal alçı yerine KKBAFA kullanılabilir. Böylece doğal alçı kaynakları korunmuş olur. KKBAFA katkısının çimento içinde kullanıldığında borik asit fabrikası atığı olan bu malzemenin çevreye verdiği zararlar önlenecek ve ekonomiye yeniden kazandırılmış olacaktır.

KKBAFA katkısı kullanımıyla çimento sülfata dayanıklı bir çimento haline gelmiş, alçı taşı kullanımından kaynaklanan zararlı sülfat etkileri ortadan kalkmış olacaktır.

Tüm sonuçlar incelendiğinde % 5 katkılı numunenin tüm analizlerde CEM I (PÇ42,5R) çimentoya en yakın sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Bu yüzden %5 KKBAFA katkısı kullanılması önerilmektedir.

KKBAFA malzemenin çimentoya etkisinin inceleneceği çalışmalarda daha uzun etkinin belirlenmesi amacıyla 180 ve 360 günlerdeki basınç dayanımı incelenmesi önerilmektedir.

Ayrıca çimento hamuru üzerinde SEM ve XRD analizlerinin yapılması malzemenin özelliklerini belirlemek amacıyla faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Abali, Y., Bayca, S. U., and Targan, S. (2006). Evaluation Of Blends Tincal Waste, Volcanic Tuff, Bentonite And Fly Ash For Use As A Cement Admixture. *Journal of Hazardous Materials*, 131(1–3), 126–130.
- Abo-El-Enein, S. A., El-Kady, G., El-Sokkary, T. M., and Gharieb, M. (In Press). Physico-Mechanical Properties Of Composite Cement Pastes Containing Silica Fume And Fly Ash. *Housing and Building National Research Center*.
- Aruntaş, H.Y. (2006). Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyeli. *Journal of Faculty Engineering and Architecture Gazi University*, 21(1), 193-203.
- Aruntaş, H.Y., Beycioğlu, A. (2014), Puzolanik Zeolit (Klinoptilolit) Katkılı Çimentoların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 1(2), 57-67.
- ASTM C188 – 14, (2014). *Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement*, ASTM International.
- Batar, T., Köksal, N. S., ve Yersel, E. (2009). Atık Bor, Atık Kağıt ve Perlit Katkılı Sıva Malzemesinin Üretimi ve Karakterizasyonu. *Ekoloji*, 18(72), 45-53.
- Binici, H., Çağatay, İ., ve Kaplan, H. (2007). Birlikte ve Ayrı Ayrı Öğütülen Kompoze Çimentonun Özellikleri. *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 10(1).
- Biricik, H., Aköz, F. (2000), Sodyum Sülfat Çözeltilisinin Buğday Sapı Külü Katkılı ve Katkısız Harçlara Etkisi. *Çimento ve Beton Dünyası*, 26, 11-17.
- Boncukçuoğlu, R., İçelli, O., Erzeneoğlu, S., ve Kocakerim, M. M. (2005). Comparison Of Radioactive Transmission And Mechanical Properties Of Portland Cement And A Modified Cement With Trommel Sieve Waste. *Cement and Concrete Research*, 35(6), 1082–1087.
- Boncukçuoğlu, R., Yılmaz, M., T., Kocakerim, M. M., ve Tosunoğlu, V. (2002). Utilization Of Borogypsum As Set Retarder In Portland Cement Production. *Cement and Concrete Research*, 32, 471– 475.
- Canpolat, F. (2002). *Çimento Performansının Geliştirilmesinde Doğal Zeolitin Endüstriyel Atıklarla Birlikte Çimento Üretiminde Kullanılması*, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya,13-14.
- Canpolat, F., Yılmaz, K. (2002). Doğal Zeolit ve Uçucu Kül Katkılı Ve Katkısız Harçların Sülfat Dayanıklılığı. *Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, C.XVI, S.2.
- Chandara, C., Azizli, K, A., M., Ahmad, Z., A., Sakai, E. (2009). Use Of Waste Gypsum To Replace Natural Gypsum As Set Retarders In Portland Cement. *Waste Management*, 29, 1675–1679.

- Chindaprasirt, P., Jaturapitakkul C., and Sinsiri, T. (2007). Effect Of Fly Ash Fineness On Microstructure Of Blended Cement Paste. *Construction and Building Materials*, 21 1534–1541.
- Cuhadaroglu, A, D, Kizgut, S., ve Yilmaz, S. (2013). Characterization of the Grinding Behaviour of Binary Mixtures of Clinker an Colemanite. *Particulate Science an Technology*, 31(6), 596-602.
- Çelik M.S., Elma, I., Hançer, M, and Miller, J. D. (1998). *Effect Of In-Situ Ultrasonic Treatment On The Floatability Of Slime Coaled Colemanite*, Innovations in Mineral Coal Processing, 7 th International Mineral Processing Symposium İstanbul, 153-157.
- Çelik, Ö., Yurter, G., Kan, S., and Yeprem, A. H. (2004). Farklı Puzolanik Katkıların Çimento Harçlarının Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi. *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 5(2), 147-154.
- Çelik, R. S., Kocabeyler, M. F. (2009). *Türk Tipi Çimento*, BOREN Bor Araştırma Enstitüsü, Ankara.
- Çolak, A. (2002). The Long-Term Durability Performance Of Gypsum - Portland Cement - Natural Pozzolan Blends. *Cement and Concrete Research*, 32, 109-115.
- Demir, İ., Orhan, M., (2002). *Bor Atıklarının Yapı Malzemesi Üretiminde Değerlendirilmesi*. I. Uluslararası Bor Sempozyumu, Kütahya, 235-239.
- Demirbaş, A. (1996). Optimizing the Physical and Technological Properties of Cement Additives In Concrete Mixtures. *Cement and Concrete Research*, 26(11), 1737-1744.
- Demirtaş, A. (2010). Bor'un İnsan Beslenmesi ve Sağlığı Açısından Önemi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 41 (1), 75-80.
- Devlet Planlama Teşkilatı, (1991). *Bor Bileşikleri*, Özel İhtisas Komisyonu Raporu, D.P.T. 2247-ÖİK:372, Ankara, 8-13, 50-52.
- Dorum, A., Koçak Y., Yılmaz, B., ve Uçar, A. (2010). Uçucu Kül Katkılı Çimento Hidratasyonuna Elektrokinetik Özelliklerin Etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(3), 449-457.
- Ediz. N. (1999). *Tinkal Cevherinin Zenginleştirilmesi Ve Borlu Suların Arıtılmasında Tek Kademeli Çözme Helezonunun Kullanımı*, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 171.
- Elbeyli, İ. Y. (2000). *Boraks Ve Borik Asit Üretiminde Ortaya Çıkan Katı Atıkların Çimento Sanayinde Değerlendirilmesi*, YTÜ Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Elbeyli, İ. Y. (2004). Utilization of Industrial Borax Wastes (BW) for Portland Cement Production. *Turkish Journal of Engineering Enviroment and Science*, 28: 281 -287.

- Elbeyli, İ. Y., Derun, E. M., ve Gülen, J. (2003). Thermal Analysis of Borogypsum and Its Effects on the Physical Properties of Portland Cement, *Cement and Concrete Research*, 33(11), 1729-1735.
- Erdoğan, T. S., Erdoğan, Y. T. (2007). *Puzolanik Mineral Katkılar ve Tarihi Geçmişleri*. 2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, 2. Oturum.
- Erdoğan, Y., Zeybek, M. S., ve Demirbaş, A. (1998). Cement Mixes Containing Colemanite From Concentrator Wastes, *Cement and Concrete Research*, 28(4), 605-609.
- Erdoğmuş, E. (2009). Çevreye Zararlı Olan Kolemanit Konsantratör Atığı, Karabük Cürufu ve Uçucu Külün Portland Çimentosu Klinkerine İlavesiyle Oluşturulan Harçların Asitli Ortamdaki Dirençlerinin Karşılaştırılması. *CBÜ Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi*, 2(12).
- Erdoğmuş, E., Yılmaz, B., Erdoğan, Y., ve Avcıata, U. (2004). *Sodyum Karbonat'ın Kolemanit Konsantratörü Atığı + Karabük Cürufu Katkılı Portland Çimentosunun Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi*. II. Uluslararası Bor Sempozyumu, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- Erdoğmuş E. (2014). Combined Effect of Waste Colemanite and Silica Fume on Properties of Cement Mortar. *Science and Engineering of Composite Materials*, 21(3), 369-375.
- Ergi, E., Bilgin, G. S., ve Zeybek, M.S. (2007). *Endüstriyel Atık Katkılı Çimentoların Beton Dayanımı ve Donatı Korozyonuna Etkileri*. TMMOB Kimya Mühendisleri Odası ve TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası 2.Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyum ve Sergisi, Ankara.
- Erkan, Z. E., Akar, A., ve Savaş, M. (2003). Emet Bor İşletme Müdürlüğü Hisarcık Baraj Atıklarının Değerlendirilebilirliğinin Araştırılması. *BAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(1).
- Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü (2010), *Bor Sektörü Raporu 2009*.
- Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü (2014). *Bor sektör raporu 2013*.
- Garrett, D. (1998), *Borates Hand Book Of Deposits, Processing, Properties and Use*, San Diego Academic Pres.
- Gencil, O., Brostow, W., Özel, C., ve Filiz, M. (2010). An Investigation On The Concrete Properties Containing Colemanite. *International Journal of Physical Sciences*, 5(3), 216-225.
- Griffin, T. S., Downing, T. L. (2001). *Rio Tinto Borax's Pond Reprocessing And Sustainable Development, New Developments in Mineral Processing*. 9. Balkan Mineral Processing Congress, Istanbul, 319-324.
- Gürü, M., Yalçın, H. (2006). *Çimento ve Beton*, Palme Yayıncılık.

Hu, C. (2014). Microstructure And Mechanical Properties Of Fly Ash Blended Cement Pastes. *Construction and Building Materials*, 73(30), 618–625.

İnternet: Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, *Bor Ürünleri Hakkında Genel Bilgi*, URL: <http://www.webcitation.org/6VPma39hL>, Son Erişim Tarihi: 18.12.2014.

İnternet: Kolemanit fotoğrafı, URL: <http://www.webcitation.org/6VPmLGPGc>, Son Erişim Tarihi: 18.12.2014.

Jadhav, R., Debnath, N. C. (2011). Computation of X-Ray Powder Diffractograms of Cement Components and Its Application To Phase Analysis And Hydration Performance of OPC Cement. *Bulletin of Material Science*, 34, (5), 1137–1150.

Kavas T., Olgun A., and Erdoğan, Y. (2005). Setting And Hardening of Borogypsum–Portland Cement Clinker–Fly Ash Blends Studies On Effects of Molasses On Properties of Mortar Containing Borogypsum. *Cement and Concrete Research*, 35, (4), 711-718.

Kavas T., Olgun A., Erdoğan, Y., and Once, G. (2007). The Effect Of Pectin On The Physicochemical And Mechanical Properties Of Cement Containing Boron. *Building and Environment*, 42(4), 1803-1809.

Keleş, G., Kocakerim, M. M., and Boncukçuoğlu, R. (2005). *Borojips ve Kolemanit Konsantrasyon Atığının Çimentoda Kullanılması*, 1. Ulusal Bor Çalıştayı Bildiriler Kitabı, Ankara.

Kırgız, M. S. (2011). İkamelı Ve Katkılı Çimento Pastalarının Hidratasyon Bileşiklerinin Taramalı Elektron Mikroskobu Kullanılarak Belirlenmesine İlişkin Literatür Araştırmaları. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, XXIV(1).

Koçak, H. Ş. (2010). *Kütahya Emet Borik Asit İşletmesi Bor Atıklarının Alçı Levha Üretiminde Kullanılması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Kökipek, B. (2010). *Suni Alçının Çimento Üretiminde Kullanılabilirliği*, Yüksek Lisans Tezi Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği, Adana.

Kula, İ. (2000). *Bor Endüstri Atıklarının Çimento Üretiminde Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi*, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Kula, I., Olgun, A. , Sevinc, V., Erdogan, Y. (2002). An Investigation On The Use Of Tincal Ore Waste, Fly Ash, And Coal Bottom Ash As Portland Cement Replacement Materials. *Cement and Concrete Research*, 32, (2), 227–232.

Kurttepelı, Y., (2006). *Bor Atıklarının Seramik Endüstrisinde Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Malzeme ve Metalurji Mühendisliği.

- Meller, A. (1981). *Gmelin Handbook of Inorganic Chemistry*, Boron Supplement, Elemental Boron, Boron Carbides, Springer, 2, 242.
- Murathan, A., Asan, A., ve Abdulkarem, T. (2013). Çevresel Atıkların Yapı Malzemesinde Değerlendirilmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(2), 409-416.
- Mutuk, T., Mesci, B. (2014). Analysis Of Mechanical Properties Of Cement Containing Boron Waste And Rice Husk Ash Using Full Factorial Design, *Journal of Cleaner Production*, 69, 128–132.
- Neville, A. M. (2006). *Proporties of Concrete*, Pearson Education Limited, England, 4, 8-18, 78.
- Olgun, A., Kavas, T., Erdogan, Y., and Once, G. (2007), Physico-Chemical Characteristics Of Chemically Activated Cement Containing Boron. *Building and Environment*, 42, 2384–2395
- Oren, Y., Linder, C., Daltrophe. N., Mirsky, Y., Skorka, J., and Kedem, O. (2006). Boron Removal From Desalinated Seawater And Brackish Water By Improved Electrodialysis. *Desalination*, 199, 52-54,
- Oruç, F., Sabah E., ve Erkan, Z. E. (2004). *Türkiye'de Bor Atıklarını Sektörel Bazda Değerlendirme Stratejileri*. II. Uluslararası Bor Sempozyumu, Eskişehir.
- Özbayoğlu, G., Şener, S., ve Özdemir, Z. (2001), *Toz Üleksite Boyut Kazandırma*. 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, İzmir, 288-291.
- Özdemir, M., Öztürk, N. U. (2003). Utilization Of Clay Wastes Containing Boron As Cement Additives. *Cement and Concrete Research*, 33, 1659–1661.
- Özdemir, M., Uğurlu, M., ve Topçu, İ. B. (2006). Boraks Üretiminde Ortaya Çıkan Atık Malzemenin Çimento İçerisinde Değerlendirilmesi, *Dsi Teknik Bülteni*, 106.
- Özkan Ş. (2009). *Kimyasal Etkilere Dayanıklı Çimento Üretimi Üzerine Bir Araştırma*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Isparta.
- Özmal, F., Erdoğan, Y., Olgun, A., Atar, N., Kula, İ., ve Kalfa, O. M. (2005). *Bor Endüstri Atıkları, Uçucu Kül ve Alünit İçeren Çimentoların Fiziksel ve Mekaniksel Özelliklerinin İncelenmesi*, 1. Ulusal Bor Çalıştayı Bildiriler Kitabı, Ankara.
- Pehlivanoğlu, E. H, Davraz, M., ve Kılıçarslan, Ş. (2013). Bor Bileşiklerinin Çimento Priz Süresine Etkisi ve Denetlenebilirliği. *SDU International Technologic Science*, 5(3), 39-48.
- Perrakia T., Kontoria E., Tsivilis S., and Kakali G. (2010). The Effect Of Zeolite On The Properties And Hydration Of Blended Cements. *Cement and Concrete Composites*, 32(2), 128–133.

- Sağlık, A., Sümer, O., Tunç, E., Kocabeyler, M., F. ve Çelik, R. S. (2009), *Borlu Aktif Belit (BAB) Çimentosu ve Dsi Projelerinde Uygulanabilirliği*, DSİ Teknik Bülteni, 105.
- Saylı, B. S. (2000), *İnsan Sağlığı Ve Bor Mineralleri*, Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi- Eti Holding Araştırma Projesi, Mayıs, Ankara.
- Sevim U. K. (2011), Colemanite Ore Waste Concrete With Low Shrinkage And High Split Tensile Strength. *Materials and Structures*, 44(1), 187–193.
- Sevim U. K., Tümen, Y. (2013). Strength And Fresh Properties Of Borogypsum Concrete. *Construction and Building Materials*, 48, 342–347.
- Sönmez, E., Özdağ, H., Özler, A., ve Sümer, G. (1993). *Kırka Boraks İşletmesi Atık Killerinin Seramik Endüstrisinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması*, Türkiye XIII. Madencilik Kongresi, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, İstanbul, 561-566.
- Stutzman E. P. (1996), *Guide for X-Ray Powder Diffraction Analysis of Portland Cement and Clinker*, Building and Fire Research Laboratory, National Institute of Standards and Technology.
- Sümer, G., (2004). *Bor Bileşikleri*. 77. Uluslararası Bor Sempozyumu.
- Targan, Ş., Erdoğan, Y., Olgun, A., Zeybek, B., and Sevinç, V. (2003). Influence Of Natural Pozzolan, Colemanite Ore Waste, Bottom Ash, And Fly Ash On The Properties Of Portland Cement. *Cement and Concrete Research*, 33(8), 1175–1182.
- Touil, D., Belaadi, S., and Frances C. (2008). The Specific Selection Function Effect On Clinker Grinding Efficiency In A Dry Batch Ball Mill. *International Journal of Mineral Processing*, 87, 141-145.
- Tosun K., Felekoğlu, B., Baradan, B., ve Altun, A. (2009). Portland Kalkerli Çimento Bölüm I - Çimentoların Hazırlanması. *İMO Teknik Dergi*, 4717-4736.
- TS EN 196 – 1 (2002). *Çimento Deney Metotları Bölüm 1: Dayanım*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 196 – 2 (2002). *Çimento Deney Metotları Bölüm 2: Çimentonun Kimyasal Analizi*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 196 – 3 (2002). *Çimento Deney Metotları Bölüm 3:Priz Süresi ve Hacim Genleşme Tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 196 – 6 (2000). *Çimento Deney Metotları Bölüm 6: İncelik Tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 197-1 (2002). *Çimento- Bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler Ve Uygunluk Kriterleri*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 3624 (1981). *Sertleşmiş Betonda Özgül Ağırlık, Su Emme ve Boşluk Oranı Tayin Metodu*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- TS EN 1367-4 (2009). *Agregaların Isıl ve Yıpranma Özellikleri İçin Deneyler - Bölüm 4: Kuruma Büzülmesinin Tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 13353 (2008). *Borlu Aktif Belit (Bab) Çimentosu - Tarifler, Bileşim, Özellikler Ve Uygunluk Kriterleri*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Ustabaş, İ., (2012). *Kolemanit ve Üleksitin Çimentoda Kullanılabilirliğinin Araştırılması*. Hazır Beton Kongresi İstanbul, 367-375.
- Uğurlu, A., Özdemir, M., ve Topçu, İ. (2004). *Bor İçeren Kil Atıkların Çimento İçerisinde Değerlendirilmesi*. Eskişehir Uluslararası Bor Sempozyumu.
- Ünlü, İ. (2004). *Bor Tuzlarının Çevre Üzerindeki Etkileri Emet Bor İşletme Müdürlüğü Konsantratör Tesisleri Ve Emet Borik Asit Fabrikası Örneği*, Gazi Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Yalçın, S. (1996). *Kolemanitli Çimentoların Betonarme Demirlerinin Korozyonu Üzerine İnhibitif Etkisi*, Gazi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Yeğinobalı, A. (1999). *Portland Çimentosu (Bazı Temel Bilgiler)*, TÇMB, Ankara, 1-13.
- Yeğinobalı, A. (2003). *Çimentoda Yeni Standardlar ve Mineral Katkılar*, Türkiye Mühendislik Haberleri, 426.
- Yetgin, Ş., Çavdar, A. (2005). Doğal Pozolan Katkı Oranının Çimentonun Dayanım, İşlenebilirlik, Katılaşma ve Hacim Genleşmesi Özelliklerine Etkisi. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(4), 687-692.
- Yıldırım, S. Ö., Bulmuş, T. (2009). X-ışını Toz Kırınım Yöntemi İle Bir Seri Çimento Örneğinin Nitel Analizi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 25(1-2), 183 – 196.
- Yılmaz, B., Ediz, N., ve Bentli, İ. (2006). An Investigation Into The Use Of Clay Bearing Diatomites of Kutahya Alayunt Region in Cement Production. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12.
- Yılmaz, B., Olgun, A. (2008). Studies On Cement And Mortar Containing Low-Calcium Fly Ash, Limestone, and Dolomitic Limestone. *Cement & Concrete Composites*, 30, 194–201.
- Zeng, Q., Li, K., Fen-chong, T., and Dangla, P. (2012). Determination Of Cement Hydration And Pozzolan Reaction Extents For Fly-Ash Cement Pastes. *Construction and Building Materials*, 27, 560–569
- Zeybek, B., Olgun, A., ve Erdoğan, Y. (2005). Tinkal Konsantratör Atığı İçeren Çimentoya Bazı Polimer ve Alkali Tuzların Etkisi. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6.

EKLER

EK-1. Çimentoların Standart Deneyleri

1. ÇİMENTOLARIN STANDART DENEYLERİ

1.1. TS EN 196 - 3' e göre yapılan çimento deneyleri

Bu standart, çimentoların priz süresi ve genişmesi tayin metotlarını kapsar. Bu metotlar TS EN 197-1' in kapsadığı tüm çimentolara uygulanır. Bu standart, referans metotları tarif eder. Sonuçları önemli ölçüde etkilememek kaydıyla, standartta belirtildiği gibi alternatif metot kullanılabilir. Anlaşmazlık durumunda, alternatif metotlar hariç olmak üzere, yalnız bu standartta tarif edilen referans metot kullanılır. Priz süresi, iğnenin standart (normal) kıvamdaki çimento pastası içinde belirlenmiş bir derinliğe kadar girmesini gözlemek suretiyle tayin edilir. Genleşme, standart kıvamdaki çimento pastasının, iki iğnenin bağlı hareketi ile belirlenen hacim genişmesini gözlemek suretiyle tayin edilir. Standart kıvamdaki çimento pastası standart sondanın içine girmesine karşı belirli bir direnç gösterir. Böyle bir pasta için gereken su miktarı, farklı su miktarları ile hazırlanan pastaların içine sondanın girmesi denemeleri ile tayin edilir.

1.1.1. Standart kıvam tayini

Deney için Vicat aletine takılan sonda, taban plakasının üzerine kadar indirilir ve taksimatlı gösterge üzerinde sıfır okunacak şekilde ayarlanır. Sonra sonda yukarı doğru kaldırılarak duruş konumuna alınır. Pastanın seviyesi ayarlandıktan sonra Vicat kalıbı ve taban plakası alete yerleştirilir ve sondanın altına hizalanır. Sonda pasta ile temas edinceye kadar yavaşça indirilir. Hareket eden parçalar serbest bırakılarak sondanın kendi ağırlığı ile düşey olarak pastanın merkezine girmesi sağlanır. Sondanın serbest bırakılması sıfır olarak kabul edilen başlangıç zamanından 4 dakika sonra olmalıdır. Sondanın batması tamamlandıktan 30 saniye sonra okuma yapılmalıdır.

Sondanın alt yüzü ile taban plakası arasındaki mesafeyi veren değer okunur ve bu değer çimentonun kütlesi cinsinden yüzde olarak ifade edilmek suretiyle pastanın su muhtevası ile birlikte kaydedilir. Sonda her batırıştan sonra temizlenir.

EK-1. (Devam) Çimentoların Standart Deneyleri

Deney değişik miktarlarda su içeren pastalarla sonda ve taban plakası arasındaki mesafe 5 mm – 7 mm oluncaya kadar tekrar edilir. Standart kıvama gelen pastanın su miktarı % 0,5' lik doğrulukta standart kıvam için gerekli su miktarı olarak kaydedilir.

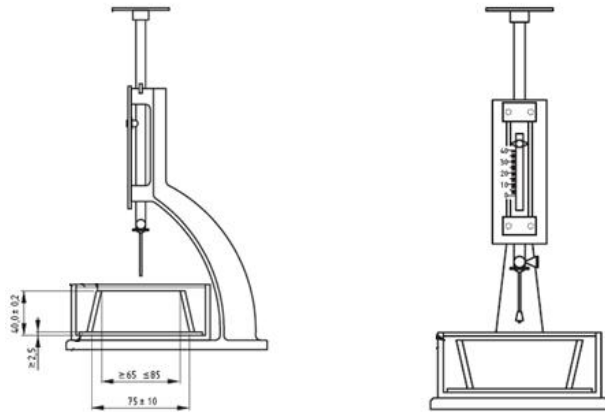
1.1.2. Priz süresi tayini deneyi

Priz Başlama Süresinin Tayini: Deney için Vicat aletine takılmış olan iğne taban plakasının üzerine indirilir ve iğneli Vicat cihazı taksimatlı gösterge üzerinde sıfıra ayarlanır. Sonra iğne yukarı kaldırılarak duruş pozisyonuna alınır. Vicat kalıbı, daha önce hafifçe yağlanmış olmalı ve 1 g doğrulukta 500 g çimento numunesinin bir miktar su ile karıştırılarak (125 g) elde edilen standart kıvamdaki çimento pastası ile doldurulur ve düzlenir. Doldurulmuş Vicat kalıbı taban plakası ile birlikte uygun boyutlu ve $(20 \pm 1) ^\circ\text{C}$ ' da tutulan ve bağıl nemi %90' dan az olmayan bir odaya veya bir rutubet dolabına yerleştirilir ve uygun bir süre sonra Vicat cihazına ve iğnenin altına yerleştirilir. İğne, pasta ile temas edinceye kadar yavaşça indirilir. Hareket eden parçaların hızla inmesini önlemek için iğne bu durumda bir iki saniye tutulur. Sonra hareket eden parçalar birden bırakılır ve iğnenin düşey olarak pastanın içine girmesi sağlanır. İğnenin pastaya batması tamamlandıktan sonra veya iğnenin serbest bırakılmasından 30 saniye sonra (hangisi daha önce olmuşsa) taksimatlı göstergede okuma yapılır.

İğnenin ucu ile taban plakası arasındaki mesafeyi veren bu değer, sıfır anından itibaren geçen süre ile birlikte kaydedilir. İğnenin aynı numuneye batırılma işlemi, iğnenin pastaya batırıldığı noktalar arasındaki veya kalıp kenarından en az 10 mm mesafe olacak şekilde ve 10 dakikalık uygun zaman aralıkları ile tekrarlanır. Numune, iğnenin batırılma zamanları arasında rutubet odasında veya rutubet dolabında tutulmalıdır. Her batırma işleminden sonra Vicat iğnesi hemen temizlenmelidir. Sıfır olarak kabul edilen başlangıç zamanından itibaren iğne ile taban plakası arasındaki mesafe (4 ± 1) mm oluncaya kadar geçen süre en yakın 5 dakikaya yuvarlatılarak priz başlangıç süresi olarak kaydedilir. Gereken doğruluk batma deneylerindeki zaman aralıklarının prizin başlamasına yakın azaltılması ile sağlanabilir ve başarılı deney sonuçlarında aşırı farklılık gözlenmez.

EK-1. (Devam) Çimentoların Standart Deneyleri

Priz Sonu Süresinin Tayini: Taban plakasının üzerinde bulunan dolu kalıp, priz sonu süresi tayini için ters çevrilir. Böylece priz sonu süresinin tayini, pastanın başlangıçta taban plakası ile temas eden yüzeyi üzerinde yapılır. İğne, küçük batmaların doğru şekilde gözlenebilmesini kolaylaştırmak için iğne bağlantı halkası ile cihaza tutturulur. Pastaya batırma işlemleri arasındaki zaman aralıkları, 30 dakikaya kadar artırılabilir. Numune, batırma işlemleri arasında rutubet odasında veya dolabında tutulmalıdır. Her batırma işleminden sonra Vicat iğnesi hemen temizlenmelidir. İğnenin ilk 0,05 mm kadar battığı an ile sıfır olarak kabul edilen zaman, en yakın 15 dakikaya yuvarlatılarak priz sonu süresi olarak kaydedilir. Gereken doğruluk bağlantı halkasının pasta üzerinde ilk işaret bıraktığı andan itibaren priz sonu yaklaştıkça zaman aralıklarının azaltılması ile sağlanabilir ve başarılı deney sonuçlarında aşırı farklılık gözlenmez. Şekil 1.1' de Vicat Aleti gösterilmektedir.



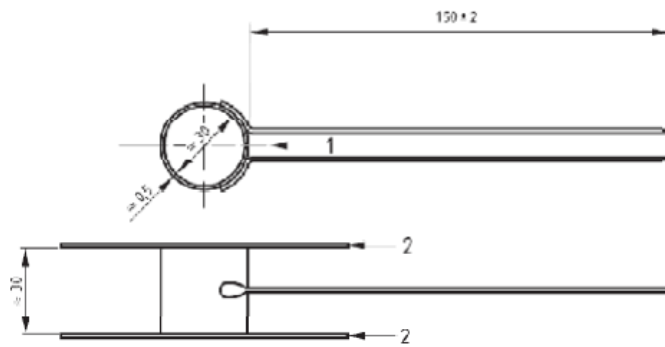
Şekil 1.1 Çimentonun standart kıvam ve priz süresi tayini için vicat aleti (TS EN 196-3, 2002)

1.1.3. Hacim genleşmesi tayini

Le Chatelier Cihazı: Çimento hacminin değişimi Şekil 4.2.'de verilen ölçülere uygun çubuk şeklinde gösterge uçları bulunan pirinçten yapılmış Le Chatelier aleti ile tayin edilir. Aletin silindirik halkasının et kalınlığı 0,5 mm iç çapı 30 mm' dir. Silindirik halka eksenine doğrultusunda yarıktır. Yarığın her iki tarafına ve silindirlerin tam ortasına gelmek üzere 150 mm uzunluğunda iki çubuk lehimlenmiştir.

EK-1. (Devam) Çimentoların Standart Deneyleri

Kalıbın esnemesi, 300 gramlık bir ağırlık uygulandığında, çubuk şeklindeki göstergelerin uçları arasındaki mesafe, kalıcı deformasyon oluşturmaksızın ($17,5 \pm 2,5$) mm olmalıdır. Her kalıp için alt ve üst plaka olmak üzere bir çift cam plaka bulunmalıdır. Plakalar kalıptan daha geniş olmalıdır. Kalıbın üzerini örtecek plaka en az 75 g olmalıdır, bu gereği karşılamak için ince bir plaka üzerine ilave küçük kütleler koyulabilir.



Şekil 1.2. Le Chatelier Aleti (TS EN 196-3, 2002)

Deney aynı çimento pasta karışımından aynı anda iki numune üzerinde yapılır. Standart kıvamda bir çimento pastası hazırlanır. Hafif yağlanmış Le Chatelier kalıbı yine hafif yağlanmış olan plakanın üzerine konur ve sıkıştırmaksızın veya vibrasyon yapmaksızın hemen pasta ile doldurulur. Tercihe göre sadece elle veya düz kenarlı bir spatül kullanarak, üst yüzeyin seviyesi ayarlanır. Doldurma sırasında kalıbın yarık kısmının açılmaması için parmaklarla hafif sıkılır veya uçlar bağlanır veya uygun bir lastik bantla tutturulur. Kalıbın üstü hafif yağlanmış plaka ile örtülür, gerekirse ilave kütle eklenir ve bütün cihaz hemen rutubet dolabına konur. Burada ($24 \pm 0,5$) saat (20 ± 1) °C 'de ve % 98' den az olmayan bağıl nemde muhafaza edilir.

Cam plakaların arasına yerleştirilmiş kalıbın üzerini örten plakanın üzerine istenirse ilave kütle konmak suretiyle hepsi birlikte su banyosuna konulabilir ve burada ($24 \pm 0,5$) saat (20 ± 1) °C 'de muhafaza edilir. Ancak bu işlemin referans metoda göre doğrulanmış olması gerekir. ($24 \pm 0,5$) saatlik süre sonunda gösterge uçları arasındaki mesafe (A) en yakın 0,5 mm' ye yuvarlatılarak ölçülür.

EK-1. (Devam) Çimentoların Standart Deneyleri

Sonra kalıp (30 ± 5) dakika içinde kaynama sıcaklığına kadar ısıtılır ve su banyosu kaynama sıcaklığında ($3 \text{ saat} \pm 5 \text{ dakika}$) bekletilir. Üç saat sonra meydana gelen genleşme ile aynı değer görülebildiği takdirde kaynama süresi daha kısa olabilir. Kaynama süresi sonunda gösterge uçları arasındaki mesafe (B), en yakın 0,5 mm' ye yuvarlatılarak ölçülebilir. Kalıbın (20 ± 2) °C' ye kadar soğuması beklenir. Gösterge uçları arasındaki mesafe (C), en yakın 0,5 mm' ye yuvarlatılarak ölçülür. Her numune için (A) ve (C) ölçümleri kaydedilir. Ve (C-A) farkı hesaplanır. (C-A)'nın iki değerinin ortalaması en yakın 0,5 mm' ye yuvarlatılarak hesaplanır. Genleşme deneyinin esas amacı bağlanmamış (serbest) kalsiyum oksit ve/veya magnezyum oksit hidratasyonu sebebi ile sonradan ortaya çıkabilecek genleşme riskinin değerlendirilmesidir. Bu gaye ile (C-A) farkı rapor edilir. Deney şartlarının B ve C ölçümleri arasında önemli fark oluşturmadığı gösterebildiği takdirde, raporda (B-A) farkı belirtilebilir, bu da deney için gerekli zamanı kısaltır.

1.2. TS EN 196 - 6' ya Göre Çimento İnceliğinin Tayini

Bu standart çimento inceliğinin tayini için iki metodu tarif eder. Çimentonun inceliği, standart eleklerden elenerek ölçülür. Çimentonun belirlenmiş göz açıklığından daha büyük olan tanelerinin oranı tayin edilmiştir. İncelik tayininde 45µm, 90µm ve 200µm elekler kullanılmıştır.

100 g çimento 1 mg. hassasiyetteki terazide tartıldıktan sonra altına toplama kabı (tavası) bulunan 45 µm lik eleğe boşaltılır. Elek dairesel ve doğrusal hareketlerle döndürülerek hiç ince madde alta geçmeye kadar sallanır. Elek üstü tartılır. Kütle, ilk tartılan numunenin yüzdesi olarak % 0,1 yaklaşımla % olarak (R1) ifade edilir. Eleğin tabanındaki ince malzemeler tava içine hafifçe fırçalanır. Göz açıklığı 45 µm elek üstü kalıntısı (R1) göz açıklığı 90 µm olan eleğe konur. Eleğin altı fırçalamadan ve vurmadan 5 dakika elenir. Elek üstünde kalanlar tartılır ve kontrol için 1 dakika daha elenir. İki tartım arasındaki fark 0,05 g oluncaya kadar bu işleme devam ettirilir. Elek üstü kalıntısı tartılıp kaydedilir (R2). Göz açıklığı 90 µm elek üstü kalıntısı (R2) göz açıklığı 200 µm olan eleğe konur. Eleğin altı fırçalamadan ve vurmadan 5 dakika elenir.

EK-1. (Devam) Çimentoların Standart Deneyleri

Elek üstünde kalanlar tartılır ve kontrol için 1 dakika daha elenir. İki tartım arasındaki fark 0,05 g oluncaya kadar bu işleme devam ettirilir. Elek üstü kalıntısı tartılıp kaydedilir (R3).

$$45 \text{ mikronluk elek üstü } \% si = \frac{R1}{100} \quad (1)$$

$$90 \text{ mikronluk elek üstü } \% si = \frac{R2}{100} \quad (2)$$

$$200 \text{ mikronluk elek üstü } \% si = \frac{R3}{100} \quad (3)$$

1.3. TS EN 196 – 1' e Göre Basınç ve Eğilme Deneyleri

Bu metot (40 mm x 40 mm x 160 mm) olan prizmatik deney numunelerinin, basınç dayanımlarını ve isteğe bağlı olarak eğilme dayanımlarını tayin eder.

Numuneler, kütlece 1 kısım çimento, 3 kısım standart kum ile 0,50 su/çimento oranındaki taze harçtan hazırlanır. CEN Referans kumu kullanılarak elde edilen çimento dayanım sonuçlarından önemli ölçüde farklılık göstermemesi şartıyla, değişik ülkelerin standart kumları kullanılabilir.

Referans işlemde mekanik karıştırma ile hazırlanan harç, standart bir sarsma makinesi kullanılarak, kalıp içinde sıkıştırılır. Referans sarsma makinesi ile elde edilen dayanım sonuçlarından önemli ölçüde farklılık göstermemesi şartıyla alternatif sıkıştırma makinesi ve teknikleri kullanılabilir.

Kalıptaki numuneler, 24 saat rutubetli bir atmosferde muhafaza edilir, sonra kalıptan çıkarılan numuneler dayanım deneyine kadar su içinde bekletilir. İstenilen süre sonunda numuneler muhafaza edildikleri sudan çıkarılır ve eğilme deneyinde kırılarak ikiye ayrılan her parçaya basınç dayanımı deneyi uygulanır.

1.3.1. Mukavemet deneyleri

Deney Numunelerinin Hazırlanması

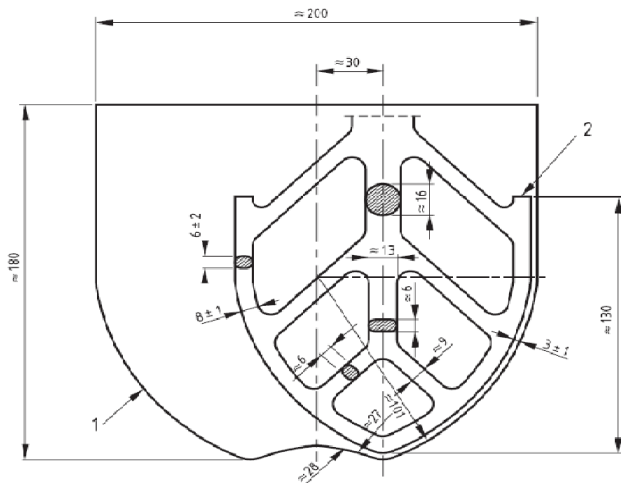
EK-1. (Devam) Çimentoların Standart Deneyleri

Harcın Bileşimi: Oranlar kütlece bir kısım çimento üç kısım standart kum ve $\frac{1}{2}$ kısım su (su/çimento oranı 0,50) şeklinde olmalıdır. Üç deney prizmasına yetecek her takım için her karışım (450 ± 2) g çimento, (1350 ± 5) g kum ve (225 ± 1) g sudan ibaret olmalıdır.

Harcın Oluşturulması: Çimento, kum, su ve cihazlar laboratuvar sıcaklığında olmalıdır. Deney numunelerinin hazırlandığı laboratuvarın sıcaklığı (20 ± 2) °C. de tutulmalı ve bağıl nemi en az % 50 olmalıdır. Kalıptaki numunelerin bekletildiği rutubet odaları veya kabinlerin sıcaklığı sürekli olarak (20 ± 1) °C. de tutulmalı ve bağıl nemi en az % 90 olmalıdır. Kür suyunun sıcaklığı (20 ± 1) °C. de tutulmalıdır. Tartımlar ± 1 g doğrulukta terazi ile yapılır. Su, 225 ml.' lik otomatik pipet ile eklenirse, pipet ± 1 mL doğrulukta olmalıdır.

Karıştırıcı: Boyutları Şekil 3.' de verilen karıştırıcı başlıca şu kısımlardan meydana gelir:

- Karıştırıcı Kabı: Paslanmaz çelikten yapılmıştır. Kapasitesi 4,7 litredir.
- Karıştırıcı Kanadı (Palet): Karıştırıcı kanadı, hem kendi eksenini etrafında, hem de karıştırma kabının eksenini etrafında döner. Dönme yönleri birbirine zıt olup hızları bir elektrik motoru ile kontrol edilir.



Şekil 1.3. TS EN 196-1 de tanımlanan karıştırıcı paleti (TS EN 196-1, 2002)

EK-1. (Devam) Çimentoların Standart Deneyleri

Harcın Karıştırılması: Her harç karışımı karıştırıcı ile mekanik olarak karıştırılmalıdır. Karıştırıcı çalışır durumda iken karıştırma kabına su konulur ve çimento eklenir. Karıştırıcı derhal düşük hızda çalıştırılmaya başlanır ve 30 s sonra, kum, 30 s içinde sürekli olarak ilave edilir.

Kullanılan farklı boyuttaki kum, hazır karışım halinde değil de ayrı ayrı yığınlar halindeyse, her boyuttan gerekli miktar en irisinden başlamak suretiyle birbirini takip eden miktarlarda kaba ilave edilir. Karıştırıcı yüksek hıza ayarlanır ve karıştırmaya 30 s daha devam edilir. Karıştırıcı, 1 dakika 30 saniye sonra durdurulur. İlk 15 s lastik sıyrıcı ile kabın çeperlerine ve tabanına yapışan harç sıyrılır ve kabın ortasına toplanır. Karıştırmaya yüksek hızda 60 s daha devam edilir. Farklı karıştırma aşamalarının ayarlanması ± 1 s içerisinde olmalıdır.

Kalıpların Doldurulması: Deney numuneleri 40 mm $\times$ 40 mm $\times$ 160 mm boyutlarında prizma şeklinde olmalıdır. Harcın hazırlanınca kalıplar hemen doldurulmalıdır. Kalıp ve kalıp başlığı sarsma tablasına sıkıca tutturulur. Uygun bir kaşıkla karıştırma kabından doğrudan bir veya bir kaç defada, iki harç tabakasından ilki (her biri 300 g olmak üzere) her kalıp bölümüne doldurulur. Harç tabakası, büyük yayıcı ile kenarlarından dik pozisyonda tutularak ve kalıp başlığıyla temas halinde olmak üzere, kalıbın her bölümünde bir kez olmak üzere ileri geri hareket ettirilerek düzgün şekilde yayılır. Sonra bu birinci tabaka 60 sarsma ile sıkıştırılır. İkinci tabaka harç kalıba doldurulur ve küçük yayıcı ile bu tabaka da düzeltilir ve ikinci 60 sarsma ile sıkıştırılır.

Kalıp itina ile sarsma tablasından kaldırılır ve kalıp başlığı çıkarılır. Harcın fazlası derhal hemen hemen dik tutulan bir metal masterla sıyrılır ve her yöne doğru bir kere enine testere hareketi ile çekmek suretiyle yavaş yavaş hareket ettirilir. Prizmaların yüzeyi, aynı master hemen hemen düz tutularak düzleştirilir. Prizmaları ve sarsma tablasına göre konumlarını tanımlamak amacıyla kalıplar etiketlenir veya işaretlenir.

Kalıpların Sökülmesi: Kalıplar itinayla plastik veya kauçuk çekiç veya bu iş için yapılan özel aletler kullanılarak sökülmelidir. 24 saatlik deney için, numune deneyden en fazla 20 dakika önce kalıptan çıkarılmalıdır. 24 saatten daha büyük yaşlardaki deney için, numune kalıba yerleştirildikten sonra 20 - 24 saat içinde kalıptan çıkarılır.

EK-1. (Devam) Çimentoların Standart Deneyleri

Harç 24 saatte hasar riski olmaksızın kalıptan sökülebilecek dayanım kazanmamışsa kalıp sökme 24 saat geciktirilebilir. Kalıp sökmedeki gecikme deney raporunda belirtilmelidir. 24 saatlik (veya gecikmiş kalıp sökümü nedeniyle 48 saatlik) deney için seçilen kalıptan çıkarılmış numune deneye tabi tutulana kadar ıslak bezle sarılarak bekletilir. Suda kür uygulanacak numuneler daha sonra tanımlanabilmeleri için, suya dayanıklı mürekkeple veya kalemle uygun şekilde işaretlenirler.

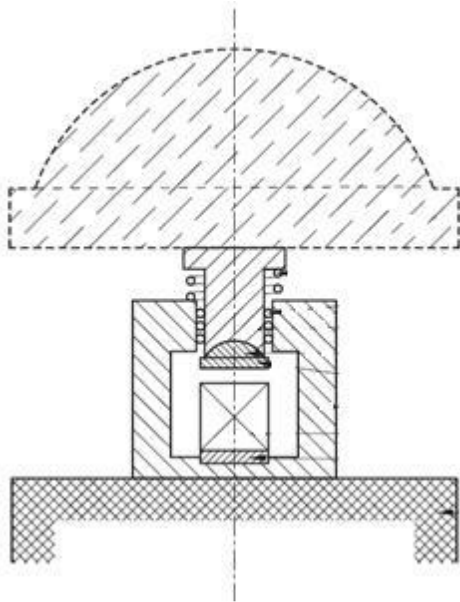
Prizmaların suda kürlenmesi: İşaretlenmiş prizmalar geciktirilmeden $(20 \pm 1) ^\circ\text{C}$ de su bulunan kaba uygun şekilde yatay veya düşey olarak daldırılır. Yatay olarak konuyorsa, döküm esnasında üste gelen yüzeyler bekletilme sırasında da üste gelmelidir. Numuneler, paslanmaz ızgaraların üzerine, (Tahta ızgaralar uygun değildir) su prizmanın bütün yüzeyleri ile temas edebilecek şekilde ayrı ayrı yerleştirilmelidir. Numuneler arasındaki boşluk veya numunelerin üst yüzeyindeki suyun derinliği hiçbir zaman 5 mm' den az olmamalıdır. Sadece benzer kimyasal bileşime sahip çimentolardan yapılmış prizmalar aynı kaplarda muhafaza edilmelidir. Kapların ilk doldurulmasında veya gerektiğinde sabit seviyeyi muhafaza etmek için yapılan ilavelerde çeşme suyu kullanılır. Prizma saklanması sırasında, suyun tamamı değiştirilmez. Belli bir yaşta (24 saat veya gecikmeli 48 saatlik kalıptan çıkarmanın dışında) denenmesi gereken prizma deneyden en fazla 15 dakika önce çıkarılmalıdır. Deney uygulanacak yüzeylerinde tortu varsa temizlenmelidir. Deney numuneleri deney uygulanıncaya kadar ıslak bir bezle sarılmalıdır.

1.3.2. Basınç dayanımı deneyi

Deney cihazı deney için uygun kapasitede, (2400 ± 200) N/s yükleme hızında kullanılan ölçüm aralığının üst beşte dörtlük kısmında kaydedilen yük $\pm \%1,0$ doğrulukta olmalıdır. Numunenin kırılma anındaki değerini makine boşaltıldıktan sonra da gösterebilen cihazı olmalıdır. Ölçme cihazı üzerindeki en büyük yük göstergesi ibreli veya hafızalı sayısal olabilir. Elle çalıştırılan makine kullanılıyorsa yük artışını kontrol edebilecek bir mekanizması (ayar cihazı) olmalıdır. Yükleme tablasının düşey eksenini cihazın düşey eksenini ile çakışmalı ve yükleme sırasında tablanın hareket yönü, cihazın düşey eksenini doğrultusunda olmalıdır. Uygulanan kuvvetlerin bileşkesi numunenin merkezinden geçmelidir.

EK-1. (Devam) Çimentoların Standart Deneyleri

Kırma başlığının alt plâkasının yüzeyi cihazın eksenine dik olmalı ve yükleme esnasında dik kalmalıdır. Cihazın üst plâkasının küresel yuvasının merkezi, cihazın üst plâkasının alt yüzeyinin düzlemi ile cihazın düşey ekseninin kesim noktasının üzerinde ve ± 1 mm toleranslı olmalıdır. Cihazın üst plâkası numune ile temas ettiğinde cihazın plâkası serbest şekilde ayarlanabilmeli, fakat yükleme esnasında alt ve üst plâkaların birbirlerine olan konumları sabit kalmalıdır. Cihazın plâkaları en az 600 HV Vickers sertliğinde (ISO 409-1) sert çelikten veya tercihen tungsten karbürden yapılmalıdır. Bu plâkalar en az 10 mm kalınlığında, $(40,0 \pm 0,1)$ mm genişliğinde ve $(40,0 \pm 0,1)$ mm uzunluğunda olmalıdır. Numune ile temas eden tüm yüzeyin düzgünlük toleransı ISO 1101 Madde 14.2 ye göre 0,01 mm olmalıdır. Alternatif olarak sert çelikten veya tercihen tungsten karbürden veya sertleştirilmiş çelikten yapılmış ve en az 10 mm kalınlığında, özelliklere uyan iki yardımcı levha kullanılabilir. Yardımcı levhalar yükleme sisteminin eksenine göre $\pm 0,5$ mm doğrulukla merkezlenmelidir. Cihazda küresel yuva yoksa veya kullanılamaz durumda ise veya bu küresel çapı 120 mm den fazlaysa Şekil 1.4'de gösterilen kırma başlığı kullanılmalıdır.



Şekil 1.4. Basınç dayanımı için tipik kırma başlığı (TS EN 196-1, 2002)

EK-1. (Devam) Çimentoların Standart Deneyleri

Her yarım prizma yan yüzeylerinden yüklemek suretiyle deneye tabi tutulur. Yarım prizmalar, cihazın plakaları arasına $\pm 0,5$ mm. den fazla taşmayacak şekilde merkezlenerek ve prizmanın arka yüzü plakadan veya yardımcı plakalardan 10 mm taşacak şekilde uzunlamasına yerleştirilir. Yük (2400 ± 200) N/s hızda olmak üzere düzgün şekilde, prizma kırılana kadar artırılır. Yük artışının elle yapıldığı durumda, kırılma yükünün değerine yaklaşılnca, yük hızının azalması nedeniyle ayar yapılması gerekir. Basınç dayanımı R_c , aşağıdaki eşitlikten hesaplanır;

$$R_c = F_c/1600 \quad (4)$$

R_c : Basınç dayanımı (N/mm²)

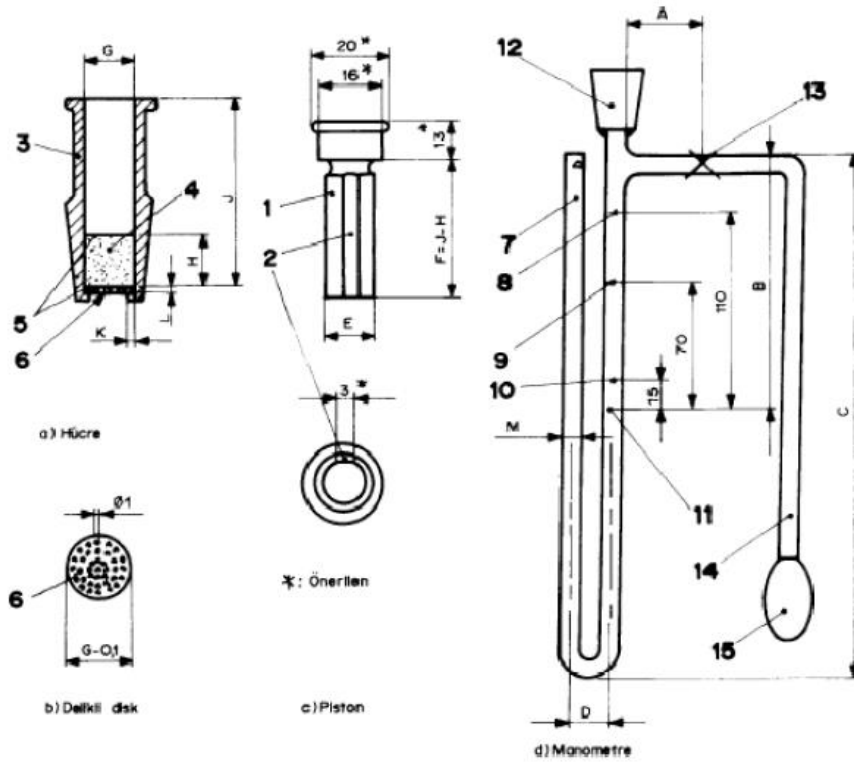
F_c : Kırılmadaki en büyük yük (N)

1600: Plakaların veya yardımcı plakaların (40mm $\times$ 40mm) alanı (mm²) dır.

1.4. TS EN 196-6 ya Göre Hava Geçirgenlik (Blaine) Deneyi

Çimentonun inceliği, belirlenmiş boyutlarda ve porozitedeki sıkıştırılmış bir çimento yatağından sabit hava miktarının geçtiği sürenin gözlenmesiyle spesifik (özgül) yüzey olarak ölçülür. Standard şartlar altında çimentonun özgül yüzeyi, sıkıştırılmış çimento yatağından geçen belirli bir hava miktarının geçtiği süre olan (t), $\sqrt{t}$ ile orantılıdır. Çimento yatağındaki tek tek porların büyüklüğü ve sayısı çimento tane büyüklüğü dağılımına bağlıdır ve bu aynı zamanda belirlenen hava akışı için geçen zamanı da belirler. Metot mutlak olmaktan ziyade mukayese metodudur. Böylece özgül yüzeyi bilinen referans bir numune cihazın kalibrasyonu için gereklidir. Hava geçirgenlik deneyinin yapılacağı laboratuvar sıcaklığı $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ olmalı ve nispi nem % 65'i geçmemelidir. Bütün deney ve kalibrasyon malzemeleri laboratuvar sıcaklığında olmalı, malzeme stoklanma esnasında atmosferik rutubeti absorbe etmemelidir. Blaine aletinin özellikleri Şekil 1.5'te verilmiştir.

EK-1. (Devam) Çimentoların Standart Deneyleri



Şekil 1.5. Blaine Aleti (TS EN 196-6, 2002)

Sıkıştırılmış çimento yatağı: Sıkıştırılmış çimento yatağı tanecikler arasında spesifik hacimdeki hava ile tekrar düzenlenebilen çimento taneciklerinden oluşur. Bu hava hacmi toplam sıkıştırılmış çimento yatağı hacminin bir fraksiyonu olarak ifade edilir ve porozite (e) olarak tariflenir. Çimento taneciklerinin hacmi, hacim fraksiyonu (1-e)' dir. Eğer yatağın toplam hacmi (V) ise çimentonun mutlak hacmi $V \cdot (1-e)$ cm^3 ' dür. Çimentonun kütlesi m ise, $\rho V (1-e)$ gram olur. Burada ρ , çimento taneciklerinin g/cm^3 cinsinden katı yoğunluğudur. ρ' nun bilinmesi ile istenilen porozite (e) elde etmek için, toplam V hacmindeki sıkıştırılmış yatağın çimento kütlesi tartılabilir.

Yatak hacminin tayini: Hücre ile piston arasındaki açıklığın gereği sebebiyle her hücre piston ikilisi için sıkıştırılmış çimento yatak hacmi değişir. Sıkıştırılmış çimento yatağı hacmi verilen hücre piston açıklığı için bulunur. Hücrenin iç yüzüne film halinde çok ince mineral yağ uygulanır. Delikli disk, hücrenin içindeki çıkıntı üzerine oturtulur. İki yeni filtre kağıdı delikli disk üzerine konur ve hücrenin tabanını tam olarak kaplamasından emin olmak üzere bir çubukla düzeltilir.

EK-1. (Devam) Çimentoların Standart Deneyleri

Hücre cıva ile doldurulur, hava kabarcığı varsa temiz kuru bir çubukla giderilir. Hücrenin doluluğundan emin olmak için hücre üstü düzelinceye kadar cam bir plaka cıva yüzeyi üzerine bastırılır. Hücre boşaltılır, cıva 0,01 g hassasiyetle tartılır ve sıcaklık kaydedilir. Filtre kağıtlarından biri çıkarılır ve sıkıştırılmış bir çimento yatağı oluşturulur, üzerine yeni bir filtre kağıdı konur, daha önce olduğu gibi hücre tekrar cıva ile doldurulur, hava kabarcıkları ve seviye düzeltilmesi yapılarak cıva boşaltılır; 0,01 g hassasiyetle tartılır ve sıcaklık kontrol edilir. Yatak hacmi aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$V = \frac{m_1 - m_2}{\rho_H} \quad (5)$$

Burada;

ρ_H = Cıvanın Deney Sıcaklığındaki Yoğunluğu (g/cm³)

V = Çimento Yatağının Hacmi (cm³)

m_1 = Çimento Yokken Tartılan Cıva Kütlesi (g)

m_2 = Çimento Varken Tartılan Cıva Kütlesi (g)

İşlem, taze çimento yataklarından elde edilen iki (V) değeri arasındaki fark 0,005 cm³ den az oluncaya kadar tekrar edilir. İki değer ortalaması V olarak kaydedilir. 2,800 ± 0,001 g referans çimento kullanılarak 0,500 porozitede bir çimento yatağı elde edilebilir.

Numunenin hazırlanması: Deneye tabi tutulacak çimento numunesi kapaklı bir kavanozda topaklanmaları dağıtmak için 2 dakika sallanır, 2 dakika bekletilir. Çimento tanelerinin dağıtılması için temiz kuru bir çubukla itina ile karıştırılır.

Yoğunluğun tayini: Çimentonun yoğunluğu piknometre gibi cihaz kullanılarak tayin edilir. Reaktif olmayan sıvı kullanılır. Kullanılacak çimento miktarı cihaza bağlıdır fakat tayin edilen ρ ' nun değeri 0,01 g/cm³ doğrulukta olmalıdır. Bu tayin paralel iki deney sonucundan 0,01 g/cm³ yaklaşımla doğrulanır.

Yatağın oluşturulması: $e = 0,500$ porozitedeki bir çimento yatağı elde etmek için (m_1) aşağıdaki eşitlikten hesaplanır.

EK-1. (Devam) Çimentoların Standart Deneyleri

$$m_1 = 0,500 \rho V \text{ g} \quad (6)$$

Burada;

ρ = Çimentonun Yoğunluğu (g/cm^3)

V = Çimento Yatağının Hacmi (cm^3)

m = Alınacak Numunenin Kütlesi (g)

Bu kütle doğru (uygun) bir şekilde sıkıştırılan 0,500 porozitede bir yatak oluşturulur. Delikli disk hücrenin tabanındaki çıkıntı üzerine yerleştirilir ve onun üzerine de kullanılmamış dairesel filtre kâğıdı konur. Filtre kâğıdının delikli disk üzerine tamamen kaplaması için temiz bir çubukla düzeltilir. Çimento miktarı (m) dikkatlice, kayıplardan kaçınılarak hücreye yerleştirilir. Hücre çimento seviyesinin ayarlanması için tıkkatılır. İkinci bir kullanılmamış filtre kâğıdı düzeltilmiş çimento üzerine konur. Piston filtre kâğıdı ile temas etmek üzere hücreye daldırılır. Piston, nazıkçe kapağın alt yüzü hücre ile temas edinceye kadar, preslenir. Piston yavaşça 5 mm geri çekilir, 90 derece döndürülür ve tekrar yatağın üzerine piston başlığı hücre ile temas edinceye kadar preslenir. Yatak böylece sıkıştırılmış olur ve geçirgenlik deneyi için hazırdır. Piston yavaşça geri çekilir. Hızlı ve şiddetli presleme tane büyüklüğü dağılımını değiştirebilir ve böylece yatağın özgül yüzeyi de değişir. En büyük basınç başparmağın piston üzerine rahatça bastırılması ile elde edilir.

Deneyin yapılışı:

Özgül yüzey S , Eş. 7' de verilen eşitlikle hesaplanır.

$$S = \frac{K}{n} \times \frac{\sqrt{e^3}}{(1-e)} \times \frac{\sqrt{t}}{\sqrt{0,1\eta}} (\text{cm}^2/\text{g}) \quad (7)$$

Burada,

K = cihaz sabiti, (Madde 4.7.2)

e = yatağın porozitesi,

t = ölçülen zaman, (s)

ρ = çimentonun yoğunluğu (g/cm^3) (Madde 4.5.3)

η = deney sıcaklığındaki havanın viskozitesi (Pa.s)

EK-1. (Devam) Çimentoların Standart Deneyleri

(20) °C.da $e = 0,500$ porozite için

$$S = \frac{542,2 K \times \sqrt{t}}{\rho} \text{ (cm}^2\text{/g)} \quad (8)$$

Hücrenin konik yüzeyi, manometrenin üst kısmındaki soketin içine gerektiğinde hava sızdırmazlığını sağlamak için biraz ince gres sürülerek yerleştirilir. Çimento yatağının bozulmamasına dikkat edilmelidir. Silindirin üstü uygun bir tıpa ile kapatılır. Musluk açılır ve hafifçe havalandırarak manometre sıvısı en üst çizgiye yükseltilir, musluk kapatılır ve manometre sıvı seviyesinin sabit kalması gözlenir. Eğer seviye düşerse hücre / manometre birleşme yerleri ve musluk bağlantıları kontrolü yapılır. Hava kaçağı deneyi sıvının seviyesi sabit oluncaya kadar tekrarlanır. Musluk açılır ve hafifçe havalandırılarak sıvı seviyesi en yüksek hizaya (çizgiye) ayarlanır. Musluk kapatılır. Silindirin üzerindeki tıpa uzaklaştırılır. Manometre sıvısı akmaya başlar, sıvı ikinci çizgiye (Şekil 1d, 9) ulaşınca kronometre çalıştırılır ve sıvı üçüncü çizgiye ulaşınca kronometre durdurulur. Zaman (t) 0,2 s hassasiyetle ve sıcaklık 1°C hassasiyetle kaydedilir. İşlem aynı yatak üzerinde tekrarlanır ve tekrarlanan zaman ve sıcaklık değerleri kaydedilir.

1.5. TS EN 196-2' ye Göre Yapılan Çimento Deneyleri

Bu standart, çimentonun kimyasal analiz işlemlerini kapsar. Bu standartta referans metotlar ve bazı hallerde de eşdeğer sonuçlar verdiği kabul edilen alternatif metotlar verilmiştir. Başka metotlar kullanılırsa bunların referans metotlarla elde edilen sonuçlara eşdeğer sonuçlar verdiğinin gösterilmesi gerekir. Anlaşmazlık durumunda referans metotlar kullanılır. Bu standart, çimentolarla klinker ve yüksek fırın cürufu gibi bileşenlerine de uygulanır. Standart özellikler hangi metotların kullanılacağını belirtir. Kütleler 0,00001 g yaklaşımla gram olarak, hacimler büretten 0,05 mL yaklaşımla okunup mililitre olarak ifade edilir. Çözelti faktörleri, üç deneyin ortalaması alınarak virgülden sonra üç ondalıklı olarak verilir. Deney sonuçları, iki tayin sonucunun ortalaması alınıp yüzde olarak genellikle virgülden sonra iki ondalıklı olarak verilir. İki tayin sonucu arasındaki fark tekrarlanabilirliğin standart sapmasının iki katından fazla ise deney tekrarlanır ve birbirine en yakın değerdeki iki sonucun ortalaması alınır.

EK-1. (Devam) Çimentoların Standart Deneyleri

Fe₂O₃ Tayini: 500 mL' ye tamamlanmış ölçülü balondaki çözeltilerden 100 mL alınarak behere konulur. 0,5 g amino asetik asit ve 0,3 – 0,4 g sülfosalisilik asit ilave edilir ve pH (1,5 ± 0,1)' e ayarlanır ve ısıtılır. Beher cihaza yerleştirilir ve EDTA çözeltisi ile renk değişene kadar titre edilir. Titrasyon sırasında çözeltinin sıcaklığı 50 °C yi geçmemelidir. Demir oksit renk değişim bölgesindeki en büyük eğimli doğru ile renk değişiminden sonraki sabit optik yoğunluktaki doğrunun kesiştiği noktadan tayin edilir.

Çözelti alüminyum oksit tayini için muhafaza edilir. Demir oksit miktarı yüzde olarak aşağıdaki formülden hesaplanır.

$$Fe_2O_3 = 1,1977 \times \frac{v_1 \times F_1}{m_1} \quad (9)$$

Burada;

V₁: Titrasyonda sarf edilen 0,03 mol/L' lik EDTA çözeltisinin hacmi, mL F₁: 0,03 mL EDTA çözeltisinin faktörü

m₁: Kullanılan deney numunesinin kütlesi g

Al₂O₃ Tayini: Muhafaza edilen çözelti oda sıcaklığına kadar soğutulur. 5 mL asetik asit sonra pH (3,05 ± 0,05) oluncaya kadar amonyum asetat ilave edilir. Çözelti kaynayınca kadar ısıtılır 3 damla bakır kompleksonat çözeltisi ve 10 damla PAN indikatörü (renklendirme) ilave edilir. Renk menekşe pembeden açık sarıya dönünceye kadar 0,03 mol/L' lik EDTA çözeltisi ile titre edilir. Pembe renk tekrar oluştuğunda, sarı renk en az 1 dakika süre kalıncaya kadar damla damla 0,03 mol/L EDTA çözeltisinden ilave edilir.

$$Al_2O_3 = 0,7647 \times \frac{V_2 \times F_2}{m_2} \quad (10)$$

V₂: Titrasyonda sarf edilen 0,03 mol/L' lik EDTA çözeltisinin hacmi, mL

F₂: 0,03 mL EDTA çözeltisinin faktörü

m₂: Kullanılan deney numunesinin hacmi g

EK-1. (Devam) Çimentoların Standart Deneyleri

CaO Tayini: 500 mL' lik ölçülü balondaki çözeltiden pipetle 50 mL alınıp uygun behere aktarılır ve cihazın doğru olarak çalışabileceği hacme kadar su ile seyreltilir. 50 mL trietanol amin çözeltisi ilave edilir. Sodyum hidroksit çözeltisi ile pH 12,5' e ayarlanır. Yaklaşık 0,1 g müreksid veya kalsein indikatörü eklenir ve çözelti 0,03 mol/L' lik EDTA çözeltisi ile titre edilir.

Denk değişim bölgesinde sarf edilen EDTA hacminin fonksiyonu olarak optik yoğunluk değerlerinin eğrisi çizilir. Sarf edilen hacim renk değişim bölgesindeki en büyük eğime sahip doğru ile, renk değişiminden sonraki sabit optik yoğunluğa sahip doğrunun kesiştiği noktadan tayin edilir.

$$CaO = 1,6874 \times \frac{V_3 \times F_3}{m_3} \quad (11)$$

V₃: Titrasyonda sarf edilen 0,03 mol/L' lik EDTA çözeltisinin hacmi, mL

F₃: 0,03 mL EDTA çözeltisinin faktörü

M₃: Kullanılan deney numunesinin hacmi

MgO Tayini: 500 mL' lik ölçülü balondaki çözeltiden pipetle 50 mL alınıp uygun behere aktarılır ve cihazın doğru olarak çalışabileceği hacme kadar su ile seyreltilir. 50 mL trietanol amin çözeltisi ilave edilir. Amonyum hidroksit çözeltisi ile pH 10,5' e ayarlanır. Yaklaşık 0,1 g metiltimol mavisi indikatörü eklenir ve çözelti 0,03 mol/L' lik EDTA çözeltisi ile titre edilir. Renk değişim bölgesinde sarf edilen EDTA hacminin fonksiyonu olarak optik yoğunluk değerlerinin eğrisi çizilir. Sarf edilen hacim renk değişim bölgesindeki en büyük eğime sahip doğru ile, renk değişiminden sonraki sabit optik yoğunluğa sahip doğrunun kesiştiği noktadan tayin edilir.

$$MgO = 1,2093 \times \frac{(V_5 - V_4) \times F_4}{m_4} \quad (12)$$

Burada;

V₄: Kalsiyum oksit tayini için sarf edilen EDTA çözeltisinin hacmi mL

EK-1. (Devam) Çimentoların Standart Deneyleri

V_5 : Kalsiyum oksit ve magnezyum oksit tayini için sarf edilen EDTA çözeltisinin hacmi mL

F_4 : 0,03 mol/L' lik EDTA çözeltisinin faktörü

M_4 : Kullanılan deney numunesinin kütlesi g

Çözünmeyen Kalıntı Tayini: 250 mL' lik behere tartılan ($1 \pm 0,05$) g çimentoya 90 mL su ilave edilir ve karışım kuvvetle karıştırılırken 10 mL derişik hidroklorik asit ilave edilir. Çözelti yavaşça ısıtılır ve numune ucu yassı bir bagetle çimentonun bozunup çözünmesi tamamlanıncaya kadar ezilerek parçalanır. Sonra çözelti kaynama noktasının hemen altındaki sıcaklıkta 15 dakika dinlendirilir. Kalıntı orta gözenekli bir süzgeç kâğıdından süzülür ve kaynar haldeki su ile yıkanır. Süzgeç kâğıdı ve muhtevası tekrar reaksiyon beherine aktarılır ve 100 mL sondum karbonat çözeltisi eklenir. 15 dakika kaynatılır. Orta gözenekli süzgeç kâğıdından süzülür ve pH < 2 değeri sağlanıncaya kadar hidroklorik asit çözeltisiyle yıkanır ve son olarak Cl iyonundan arınıncaya kadar kaynar su ile yıkanır. (975 ± 25) $^{\circ}\text{C}$ ' da yıkanır ve sabit kütle kontrolü yapılır. Genellikle, sabit kütle elde etmek için 30 dakikalık yakma periyodu yeterlidir. Çözünmeyen kalıntı yüzde olarak aşağıdaki formülden hesaplanır.

$$\text{Çözünmeyen Kalıntı} = \frac{m_a}{m_b} \times 100 \quad (13)$$

Burada;

m_a : Deney numunesinin kütlesi g

m_b : Kızdırma işleminden sonraki çözünmeyen kalıntının kütlesi g

SO_3 Tayini: Altında kalan süzüntü alınır. 10 mL baryum klorür çözeltisi damla damla ilave edilir. Çökeltinin uygun şekilde oluşması için 15 dakika daha kaynatılır. Çözelti kaynama noktasının altında fakat 60°C ' ın üzerinde (12 – 24) saat arasında bekletilir ve bu sırada buharlaşma ile konsantr olmamasına dikkat edilir. Çökelti ince süzgeç kâğıdından süzülür ve gümüş nitrat deneyine göre Cl iyonundan arınıncaya kadar kaynar su ile yıkanır. (925 ± 25) $^{\circ}\text{C}$ ' a kadar yakılır ve sabit kütle kontrolü yapılır. Genellikle 15 dakikalık bir yakma periyodu sabit kütle elde etmek için yeterlidir. SO_3 olarak ifade edilen sülfat miktarı aşağıdaki formülden yüzde olarak hesaplanır.

EK-1. (Devam) Çimentoların Standart Deneyleri

$$SO_3 = \frac{m_c \times 0,343 \times 100}{m_d} = 34,3 \times \frac{m_c}{m_d} \quad (14)$$

Burada;

m_d : Deney numunesinin kütlesi g

m_c : Baryum sülfatın kütlesi g

SiO₂ Tayini: 1 g çimento numunesi ve 2 g sodyum peroksit platin koroze tartılır, bir spatül yardımı ile karıştırılır. Spatüle yapışan tanecikler fırça ile karışıma tekrar ilave edilir. Karışımın üzeri 1 g sodyum peroksit ile kaplanır ve fırına konur. 30 dakika sonra Koroze fırından alınır ve oda sıcaklığına kadar soğutulur. Kütle 400mL' lik behere aktarılır ve koroze 150 mL soğuk su ile yıkanır. Beherin ağzı saat camı ile kapatılır ve katı madde tamamen çözününceye kadar ısıtılır. Sonra dakikada 50 mL derişik hidroklorik asit ilave edilir. Elde edilen çözelti tamamen berrak olmalıdır. Çözeltiye 1 mL sülfürik asit ilave edilir ve çözelti kaynayınca kadar ısıtılır ve 30 dakika kaynatılır. Çözelti silisyum dioksitin çöktürülmesinde kullanılmak üzere hazırdır. Sonra asitli yıkama suyu ile orta gözenekli süzgeç kâğıdından 500 mL' lik ölçülü balona süzülür ve sıcak hidroklorik asit ile beherin içerisinde hiçbir tanecik kalmayacak şekilde en az beş defa yıkanır, sonra çökeltinin yıkama sırasında iyice parçalanması sağlanarak Cl iyonlarından tamamen arınıncaya kadar sıcak su ile yıkanır. Yıkama suyu da aynı 500 mL' lik ölçülü balona ilave edilir. Süzgeç kâğıdı ve çökelti platin koroze 1175 ± 25 °C' da yıkanır. Sabit kütle kontrolü yapılır. Sabit kütle elde etmek için genellikle 60 dakikalık bir yakma periyodu yeterlidir. Eritiş Hazırlama metodunda anlatılan demir oksidin, magnezyum oksidin, alüminyum oksidin ve kalsiyum oksidin tayini için kullanılır. Saf olmayan silisyum dioksit miktarı yüzde olarak aşağıdaki formülden hesaplanır.

Toplam SiO₂ = Dolu Koroze – Boş Koroze

Çözünen SiO₂ = Toplam SiO₂ – Çözünmeyen kalıntı

Serbest Kireç (CaO) Tayini: 0,0001 gram hassasiyetle 1 gram deney numunesi tartılır. 300 ml' lik erlene alınır üzerine 10 mL gliserin ve 1 - 3 damla Fenolftalein damlatılır ve bir kaç tane kaynama taşı eklenir erlenin ağzına geri soğutucu takarak elektrik ocağında ısıtılır.

EK-1. (Devam) Çimentoların Standart Deneyleri

Isınan numune elektrik ocağından yere indirilir ve 25 mL etil alkol ilave edilir ve kaynayınca kadar ısıtılır ve elektrik ocağından alınır.

Amonyum asetat çözeltisi ile pembe renk kayboluncaya kadar otomatik büretten damla damla alarak ve erlen sürekli karıştırılarak titre edilir. Sarfiyat not edilir ve geri soğutucuları tekrar takılır. Kum banyosunda 15 dakika bekletilir. Pembe renk oluşmaz ise deney sona ermiş demektir.

Aşağıdaki formüle göre % S.CaO miktarı hesaplanır.

$$\% \text{CaO} = S \times \frac{F}{M} \quad (15)$$

M: Deney Numunesi Kütlesi

S: Sarf edilen amonyum asetat miktarı

F: Amonyum asetat faktörü

Kızdırma Kaybı Tayini: 0,0001 gram hassasiyette 1 gram deney numunesi tartılır, sabit tartıma getirilmiş porselen veya platin kroze'ye alınır. Kroze' nin kapağı kapatılır 975 ± 25 °C sıcaklıktaki fırında 5 dakika bekletilir. 5 dakika kızdırıldıktan sonra kapak çıkarılıp fırında 10 dakika daha tutulur. Desikatörde oda sıcaklığına kadar soğutulur ve tartılır. Fırında tekrar 5 dakika kızdırılır, soğutulur ve tekrar tartılır. İşleme sabit tartımı bulana kadar devam edilir. Aşağıdaki formüle göre kızdırma kaybı yüzdesi hesaplanır. Cürufu çimentolar için bu yöntem geçerli değildir.

$$\% \text{ Kızdırma Kaybı} = \frac{(M - M_1) \times 100}{M} \quad (16)$$

M: Deney numunesi kütlesi (gram)

M₁: Kızdırılmış deney numunesi kütlesi (gram)

EK-1. (Devam) Çimentoların Standart Deneyleri

Alkali Tayini: 0,1 g çimento numunesi 0,0001 g hassasiyetle 50 mL' lik beher içine tartılır, 10 mL HCl ve 10 mL su ilave edilir ve ısıtarak çözülür varsa çimento topakları baget ile ezilir. Çözelti beyaz bant süzgeç kâğıdından 100mL' lik balon içerisine süzülür. 100 mL' lik balon içerisindeki çözelti yaklaşık 80 mL oluncaya kadar kaynar su ile yıkanır. Çözelti oda sıcaklığına kadar soğutulur. 10 mL (1+19' luk) seyreltik fosforik asit çözeltisi ilave edilir. Su ile 100 mL' ye tamamlanarak iyice karıştırılır.

Aşağıdaki formüle göre alkali tayin edilir:

$$\%Na_2O = 0,1 \times CNa_2O$$

$$\%K_2O = 0,1 \times CK_2O$$

CNa₂O: Çözeltideki Na₂O konsantrasyonu.

CK₂O: Çözeltideki K₂O konsantrasyonu.

Klorür Tayini: 105°C' lik etüvde kurutulmuş ve desikatörde soğutulmuş deney numunesinden 5 ± 0.05 gram tartılır. 250 CC' lik behere alınır. Üzerine 50 mL su eklenir ve bagetle karıştırılır. Nitrik asit çözeltisinden 50 mL ilave edilir. Karışım kaynama sıcaklığına kadar arada bir karıştırılarak ısıtılır. Kaynamakta olan çözeltiye gümüş nitrat çözeltisinden 5 mL ilave edilir. En fazla 1 dakika kaynatılır ve çözelti ocaktan alınır. Kullanmadan önce nitrik asitle yıkanmış olan beyaz bant süzgeç kâğıdından çözelti 500 mL' lik behere süzülür. Beher, cam baget ve süzgeç kâğıdı süzüntünün hacmi 200 mL olana kadar yıkanır. Süzüntü oda şartlarında soğutulur ve 5 ml indikatör çözeltisi ilave edilir. Çözelti amonyum tiyosiyonat çözeltisi ile (10 mL hacminde ve 0,1 mL hassasiyetinde bir büretle) kuvvetli bir şekilde çalkalanarak titre edilir. Bu çözeltinin bir damlası hafif kırmızı kahve renk oluşturana ve çalkalayınca bu renk kaybolmayana kadar titre edilir. Sarf edilen hacim kayıt edilir. Kör çözeltinin titrasyonu için sarf edilen miktarı da kaydedilir.

Aşağıdaki formüle göre klorür tayini yapılır. % Cl miktarı 0,17' yi aşarsa deney daha az çimento tartımı ile tekrarlanır.

$$\%Cl = 0,1773 \times \frac{V_2 - V_1}{P} \quad (17)$$

EK-1. (Devam) Çimentoların Standart Deneyleri

% Cl: Kütlece % olarak klorür içeriği

V_1 : Titrasyon için sarf edilen amonyum tiyosiyonat çözeltisinin hacmi (ml)

V_2 : Kör çözeltinin titrasyonu için sarf edilen amonyum tiyosiyonat çözeltisinin hacmi (ml)

P: Numunenin kütlesi (g)

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KORÇAK, Özlem
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 01.01.1981 Bursa
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 286 65 33
 Faks : 0 (312) 285 07 18
 E-Posta : ozlemkorcak@gmail.com



Eğitim Derecesi	Okul/Program	Mezuniyet tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi/Kimya Mühendisliği	2005
Lisans	Gazi Üniversitesi/Kimya Mühendisliği	2003
Lise	Bursa Erkek Lisesi	1998

İş Deneyimi, Yıl	Çalıştığı Yer	Görev
2005-2006	Demirören Holding, Demirören Holding, Milangaz/Likidgaz, Ankara	Üretim Mühendisi
2006-2007	Mak-Mc Danışmanlık Ltd.Şti.	Proje Mühendisi
2007-...	TRSİM Müh. Dan. Ltd. Şti.-Ankara	Şirket kurucu ortağı/ Müdür

Yabancı Dil

İngilizce (İyi), Almanca (Orta)

Hobiler

Müzik, Tiyatro, Resim



GAZİ GELECEKTİR..