

İÇİNDEKİLER

ÖZET	I
ABSTRACT	II
ÖNSÖZ	III
ÇİZELGELER DİZİNİ	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ	VI
SİMGELER VE KISALTMALAR	VIII
1. GİRİŞ	1
1.1 Dünya’da Bor ve Türkiye Rezervleri	2
1.1.1. Kırka Borat Yatakları	2
1.1.2. Emet Borat Yatakları.....	3
1.1.3. Bigadiç Borat Yatakları.....	3
1.1.4. Kestelek Borat Yatakları	3
1.2. Endüstride Bor Kullanan Sektörler	3
1.3. İnşaat Mühendisliğinde Bor Atık, Çim. ve Bet. Üretim, Kullanılm.	4
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	6
2.1. Giriş.....	6
2.2. Bor Endüstri Atıkları İçeren Betonun Özellikleri	6
2.2.1. Priz Süresi	6
2.2.2. Basınç Dayanımı	8
2.2.3. Çekme Dayanımı.....	9
2.2.4. Hacim Genişlemesi	10
2.2.5. Radyasyon Geçirgenliği	11
2.2.6. Özgül Yüzey ve Özgül Ağırlık	12
3. MATERYAL VE YÖNTEM	13
3.1. Genel Bilgiler	13
3.1.1. Betonun Oluşturan Malzemeler	13
3.1.1.1. Karışım ve Bakım Suyu	13
3.1.1.2. Bağlayıcı Maddeler	13
3.1.1.2.1. Çimento	15
3.1.1.2.1.1. Çimentonun Üretilmesi	15

3.1.1.2.1.2. Çimentonun Oksitleri, Ana Bileşenleri ve Reaksiyonları.....	16
3.1.1.2.1.3. Çimentonun Hidratasyonu.....	17
3.1.1.2.1.4. Hidratasyon Isısı.....	18
3.1.1.2.1.5. Çimentonun Prizi	19
3.1.1.2.1.6. Çimentonun Rötresi.....	20
3.1.1.2.1.7. Çimentonun İnceliği.....	21
3.1.1.2.1.8. Çimentoların Standart Deneyleri.....	23
3.1.1.2.1.8.1. Fiziksel Deneyler.....	23
3.1.1.2.1.8.2. Mekanik Deneyler.....	28
3.1.1.3. Agregalar	31
3.1.1.3.1. Agregada Rutubet Durumu	32
3.1.1.3.2. Birim Ağırlık	33
3.1.1.3.3. Özgül Ağırlık	34
3.1.1.3.4. Komposite.....	35
3.1.1.3.5. Tane Boyutu ve Dağılımı	36
3.1.1.3.6. Agregada Aşınma Dayanımı (Los Angeles Den.)....	38
3.1.1.4. Beton Deneyleri	39
3.1.1.4.1. Taze Beton Deneyleri.....	39
3.1.1.4.1.1. Slump (Çökme) Deneyi.....	40
3.1.1.4.1.2. Ve-Be Deneyi.....	40
3.1.1.4.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri.....	41
3.1.1.4.2.1. Basınç Dayanımı	41
3.1.1.4.2.2. Silindir Yarma Dayanımı	42
3.2. Puzolanlar ve Çok İnce Öğütülmüş Diğer Mineral Katkılar.....	43
3.2.1. Giriş.....	43
3.2.2. İnce Öğütülmüş Mineral Katkılarının Sınıflandırılma iş.....	44
3.2.3. Puzolanik Malzemeler.....	45
3.2.3.1. Puzolanların Tanımı	45
3.2.3.2. Puzolanik Malzemelerin Tipleri.....	45
3.2.3.3. Puzolanik Reaksiyon.....	46
3.2.3.4. Puzolanik Malzemelerin Kullanımı	46

3.2.3.5. Doğal ve Yapay Puzolanlar İçin Deney Metodları	47
3.2.3.6. Doğal ve Yapay Puzolanların Betona Mineral Katkı Olarak Uygunlukları.....	47
3.2.4. Bağlayıcı Malzemeler Olarak İnce Öğütülmüş Mineral Katkılar	47
3.2.4.1. Su Kireci.....	48
3.2.4.2. Duvar Harcı Çimentosu.....	48
3.2.4.3. Curuf Çimentosu	48
3.2.5. İnce Öğütülmüş Diğer Mineral Katkılar	49
3.2.6. İnce Öğütülmüş Mineral Katkılarının Kullanım Amacı.....	49
3.3. Bor.....	50
3.3.1. Giriş.....	50
3.3.2. Bor Ürünleri	50
3.3.2.1. Tabii Boratlar	50
3.3.2.2. Rafine Boratlar	51
3.3.2.3. Özel Bor Kimyasalları.....	51
3.3.2.4. Bor Türevleri.....	52
3.3.3. Bor Ürünlerinin Kullanım Alanları	52
3.3.4. İnşaat Sektörü ve Bor	55
3.3.5. Kolemanit Konsantratör Atığı.....	56
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	57
4.1. Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri.....	57
4.1.1. Çimento	57
4.1.2. Kolemanit Konsantratör Atığı.....	58
4.1.3. Su.....	59
4.1.4. Agrega	59
4.1.4.1. İnce Agrega (Kum).....	59
4.1.4.2. İri Agrega (Kırmataş).....	60
4.2. Deney Metodları.....	61
4.2.1. Hazırlanan Numune Tipleri.....	61
4.2.2. Deneysel Çalışmalar.....	61
4.2.2.1. Yürütülen Deneyler	61
4.2.3. Notasyon	63

4.3 Deneý Sonuçları Bulgular Ve Tartıřma	64
4.3.1 Çimento Hamuru Üzerinde Yapılan Deneý ve Sonuçları	64
4.3.1.1 Normal Kıvam Deneýleri	64
4.3.1.2 Hacim Sabitliği	65
4.3.1.3 Priz Deneýi	65
4.3.2 Beton Deneýleri	66
4.3.2.1 Taze Beton Üzerinde Yürütölen Deneýler	66
4.3.2.1.1 Ve-Be Deneýi	66
4.3.2.1.2 Slump (ökme) Deneýi	67
4.3.2.1.3. KKA nın Taze beton Yoğunluğuna Etkisi	68
4.3.2.2 Sertleřmiř Beton Üzerinde Yürütölen Deneýler	68
4.3.2.2.1 Basınç Dayanımı	68
4.3.2.2.2 Silindir Yarma Dayanımı	70
4.3.3. Harç Deneýleri	72
4.3.3.1. Sertleřmiř Harçlar Üzerinde Yürütölen Deneýler	72
4.3.3.1.1 Harçların Basınç Dayanımı	72
4.3.1.1.1 Puzolanik Aktivite Tayini	74
4.3.3.1.2 Harçların Eğilmede ekme Dayanımı	74
4.3.3.1.3 Aşınma Direnci	75
4.3.3.1.4 Karbonatlaşma	76
4.3.3.1.5 Rötire	77
4.3.3.1.6 Su Emme ve Boşlukluluk	78
4.3.4 Deneý Sonuçlarının Karşılaştırılması	80
4.3.4.1 Kür Şartlarının Basınç Dayanımı Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi	80
4.3.4.2 Kür Şartlarının Eğilmede ekme Dayanımı Üzerindeki Etkisinin	
İncelenmesi	81
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	83
5.1. Taze Harç Özellikleri Üzerinde Gözlenen Bulgular	83
5.2. Katı Harç Özellikleri Üzerinde Saptanan Bulgular	83
5.3. Öneriler	84
KAYNAKLAR	86
ÖZGEçMİş	89

ÖZET

Bu yüksek lisans çalışmasında Kütahya-Emet ETİ Bor A.Ş. den getirilen kolemanit konsantratör atığının çimento ve beton katkısı olarak kullanılabilirliği harç ve beton numuneleri üzerinde yapılan deneylerle araştırılmıştır. Kolemanit konsantratör atığını (KKA) %3 ve %5 oranında içeren harç ve beton numunelerinin büyük bir kısmı şahit beton ve harç numunelerinin dayanımını karşılamıştır. Boşluk oranı, aşınma, karbonatlaşma deneyleri de gerçekleştirilmiş olup bu deneyler sonucunda şahit numunelerde en yakın sonucu yine %3 ve %5 katkılı harçlar vermiştir. Tüm KKA katkılı harçlar, şahit numunelerden daha düşük rötre yapmışlardır. %3 KKA katkılı harçların şahit numunelere göre %40 mertebesinden daha düşük rötre değeri verdiği belirlenmiştir. Bu yüzden KKA 'nın rötre azaltıcı katkı olarak kullanılabileceği düşünülmektedir.

2007, 89 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Bor, Kolemanit, Kütahya Emet ETİ Bor A.Ş., Dayanım, Harç, Beton, Rötre,

ABSTRACT

In this study, effect of colemanite consantrate waste (C.C.W.) brought from Kütahya-Emet ETİ Bor A.Ş. as an additive to cement and concrete was investigated using mortar and concrete experiments. A comparsion between mortar and concrete specimens containing (CCW) 3% and 5% C.C.W and control specimens was made in terms of compressive strength. Void ratio, abrasion, carbonation experiment were also performed. Experimental results show that specimens containing 3% and 5% C.C.W were found to be similar to control specimen. The amount of in shrinkage all specimens containing C.C.W. were less that of control specimen. The amount of shrinkage in 3% C.C.W. were almost 40% less than that of control specimens. For this reason the use of C.C.W. in concrete specimens to reduce shrinkage is recomended.

2007, 89 pages

Key words:Boron, Colemanite, Kütahya Emet ETİ Bor A.Ş., Strength, Mortar, Concrete, Shrinkage

ÖNSÖZ

Bu çalışmada Kütahya ETİ Bor A.Ş. den getirilen kolemanit konsantratör atığı katkılı numuneler üzerinde beton ve harç deneyleri uygulandı. Amaç endüstri atığı olan bir malzemenin endüstriye kazandırılmasını sağlamaktır. Tez çalışması da incelenecek olursa harçta, betonda ve çimento hamurundaki görülen özellikleri sunulmaktadır. En önemli özelliği rötre azaltıcı etkisinin bulunması olmuştur.

Yüksek Lisans eğitimim ve tez dönemi boyunca benimle her konuda ilgilenip, her türlü problemi aşan, laboratuvar yetersizliği olmasına rağmen, her türlü imkanları oluşturmaya çalışan, malzeme teminine bizzat kendisi giden, çalışma programını gerektirdiğinde, her türlü zamanını ayıran çok değerli danışman hocam, sayın Yrd. Doç. Dr. Umur Korkut SEVİM'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek Lisans tez çalışmamda yardımlarını esirgemeyen sayın Doç. Dr. Ali Osman ATAHAN'a , Yrd. Doç. Dr. Faruk Fırat ÇALIM'a özellikle teşekkür ederim. Bölümümüz Y.Lisans öğrencilerinden Ümran AYDIN'a bölümümüz öğrencilerinden Necmi OKUMUŞ'a ve Ahmet DİNÇ'e de teşekkür ederim.

Ders ve tez dönemimde desteğini eksik etmeyen, kardeşim Mehmet KIRAÇ'a teşekkür ederim. Ayrıca tüm öğrenim hayatım boyunca benden desteklerini esirgemeyen sevgili aileme çok teşekkür ederim.

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Özmal ve ark sunduğu priz başlangıcı ve priz sonu süreleri.....	7
Çizelge 2.2. Özmal ve ark sunduğu basınç dayanım sonuçları.....	8
Çizelge 2.3. Keleş ve ark sunduğu genleşme değerleri	11
Çizelge 2.4. Özmal ve ark. yaptığı araştırmalar sonucu bulunan özgül yüzey ve özgül ağırlık değerleri	12
Çizelge 3.1. Portland çimentosunu oluşturan oksitler ve yaklaşık miktarları.....	16
Çizelge 3.2. Çimentonun ana bileşenleri.....	17
Çizelge 3.3. Çimentonun ana bileşenlerinin özellikleri	19
Çizelge 3.4. Borun Kullanıldığı Sektörler.....	54
Çizelge 4.1. Kullanılan çimentonun kimyasal bileşimi.....	57
Çizelge 4.2. Kullanılan çimentonun fiziksel özellikleri.....	58
Çizelge 4.3. KKA ait kimyasal analiz sonuçları	58
Çizelge 4.4. Harç numunelerde kullanılan kuma ait elek analizi sonuçları	59
Çizelge 4.5. Harç numunelerde kullanılan kuma ait fiziksel özellikler	60
Çizelge 4.6. Beton numunelerde kullanılan agreganın fiziksel özellikleri	60
Çizelge 4.7. Normal Kıvam Deney Sonuçları.....	64
Çizelge 4.8. Şahit betona göre normal kıvam % miktarları	65
Çizelge 4.9. Hacim sabitliği deneyi sonuçları.....	65
Çizelge 4.10. S/Ç oranı 0,485 olan çim. hamurları hacim sabitliği deney sonuçları(mm).....	65
Çizelge 4.11. Priz başlangıcı ve priz sonu süreleri(dk.).....	66
Çizelge 4.12. Priz başlangıcı ve priz sonu değerlerinin şahit numuneye göre değişimi (%).....	66
Çizelge 4.13. Numunelerin isimleri	67
Çizelge 4.14. Ve-Be deney sonuçları	67
Çizelge 4.15. Slump Deney Sonuçları	68
Çizelge 4.16. Taze betonda KKA nın yoğunluğa etkisi.....	68
Çizelge 4.17. Beton Numune Dayanım Sonuçları	69

Çizelge 4.18. 28 Günlük Silindir Yarma Dayanım Değerleri	71
Çizelge 4.19. Betonun Çekme Dayanımı Değişim % si	72
Çizelge 4.20. Harçların basınç dayanımları	72
Çizelge 4.21. Harçların Çekme Dayanımları	74
Çizelge 4.22. Harçların Aşınma ve Değişimi %' si	76
Çizelge 4.23. Harçların Karbonatlaşma miktarları ve %' leri.....	77
Çizelge 4.24. Numunelerin Rötne Miktarları	77
Çizelge 4.25. Islak kür uygulanan numunelerin Su Emme ve Boşlukluluk miktarları	79
Çizelge 4.26. Kuru kür uygulanan numunelerin Su Emme ve Boşlukluluk miktarları	79
Çizelge 4.27. Şahit Harç Dayanımına Göre Değişim %' si (Islak Kür).....	80
Çizelge 4.28. Şahit Harç Dayanımına Göre Değişim %' si (Kuru Kür).....	81
Çizelge 4.29. Harç Dayanımları Değişim %' si (Islak Kür/Kuru Kür).....	81
Çizelge 4.30. Harç Numunelerin Şahit Harca Göre Eğilmede Çekme Dayanım %' leri (Islak Kür).....	82
Çizelge 4.31. Harç Numunelerin Şahit Harca Göre Eğilmede Çekme Dayanım %' leri (Kuru Kür)	82
Çizelge 4.32. Harç Numunelerin Dayanım Değişim Yüzdesi (Islak Kür/Kuru Kür).....	82

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Keleş ve ark. bulmuş olduğu Borojips-Priz süresi grafiği	7
Şekil 2.2. Keleş ve ark. bulmuş olduğu KKA-Priz süresi grafiği	8
Şekil 2.3. Keleş ve ark bulmuş olduğu basınç dayanımı grafiği	9
Şekil 2.4. Keleş ve ark. bulmuş olduğu borojips katkılı harçların 28 günlük çekme dayanımı sonuçları	10
Şekil 2.5. Keleş ve ark. KKA ilaveli harçların 28 günlük çekme dayanımı sonuçları	10
Şekil 2.6 Keleş ve ark KKA ilaveli harçların radyasyon geçirgenliği sonuçları (Am241 nokta kaynakla yapılan)	11
Şekil 2.7 Keleş ve ark KKA ilaveli harçların radyasyon geçirgenliği sonuçları (Ba133 nokta kaynakla yapılan)	11
Şekil 3.1. Vicat Aleti	25
Şekil 3.2. Le Chatelier aleti	26
Şekil 3.3. Rötire Aleti	28
Şekil 3.4. Eğilme deneyi	29
Şekil 3.5. Basınç deneyi	30
Şekil 3.6. Agrega tanelerinin içerdikleri su durumu	32
Şekil 3.7. Birim ağırlığın belirlenmesi	33
Şekil 3.8. Özgül ağırlığın belirlenmesi	34
Şekil 3.9. Elek Analizi için kullanılan elekler	36
Şekil 3.10. Slump (Çökme) Deneyi	40
Şekil 3.11. Ve-Be Deneyi	41
Şekil 3.12. Pres	42
Şekil 3.13. Silindir Yarma Deneyi	42
Şekil 3.14. Kütahya – Emet Kolemanit Tesisi Üretim Şeması	56
Şekil 4.1. Harç numunelerde kullanılan kuma ait elek analizi grafiği	60
Şekil 4.2. Beton Dayanım Sonuçları	69
Şekil 4.3. Beton Dayanım Sonuçları (90. Gün)	70
Şekil 4.4. 28 günlük Silindir Yarma Dayanımı	71
Şekil 4.5. Harçlara ait basınç değerleri (Islak kür)	73

VII

Şekil 4.6. Harçlara ait basınç değerleri (Kuru kür)	73
Şekil 4.7. Harç numunelerin eğilmede çekme dayanımları (Islak Kür).....	74
Şekil 4.8. Harç numunelerin eğilmede çekme dayanımları (Kuru Kür)	75
Şekil 4.9. Harçların aşınma % grafiği	76
Şekil 4.10. Rötire Miktarları.....	78
Şekil 4.11. Harçlardaki Su Emme Grafiği (Kuru ve Islak Kür).....	79
Şekil 4.12. Harçlardaki Boşlukluluk Grafiği (Kuru ve Islak Kür).....	80

SİMGELER VE KISALTMALAR

A	: Kesit alanı
B	: Numune kesitinin kenar uzunluğu
D	: Numune kesitinin yüksekliği
E.K.	: Erimez kalıntı
K.K.	: Kızdırma kaybı
L	: Destek silindirleri arasındaki mesafe
Ö.A.	: Özgül ağırlık
Ö.Y.	: Özgül yüzey
P	: Uygulanan kuvvet
σ	: Eğilme dayanımı
KKA	: Kolemanit Konsantratör Atığı

1.GİRİŞ

Dünyanın en önemli cevherlerinden biri olan “Bor Minerallerinin” gün geçtikçe önemi artmakta olup, her geçen gün endüstriye bir parça daha girmektedir. Teknolojinin gelişmesi bor madeninin önemini daha da artırmaktadır. Bor Madeninin rezervleri, uygulama alanları bu bölüm altında daha ayrıntılı verilecektir. Bilindiği üzere en önemli bor bileşiği olan mineraller 3 ana grupta toplanmıştır. Bunlar Kolemanit, Tinkal ve Üleksit'tir. Türkiye’de ham boru işleyebilen 4 bor işletmesi bulunmaktadır. Bu tesislerden çevreye milyonlarca ton atık çıkmaktadır. Bu atığın çeşitli sektörlerde kullanılması hem çevre kirliliğinin hem de ekonomi sağlanmasına yardımcı olacaktır.

Kolemanit ve Tinkal Konsantratör atıklarının kimyasal bileşiminde bulunan sekiz oksit (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , SO_3 , Na_2O , K_2O) çimentonun ve çimento üretiminde kullanılan diğer katkı maddelerinin de bileşimini oluşturmaktadır(Kula, 2000).

Puzolanik özelliklere sahip bir çok doğal ve yapay madde çok eski zamanlardan günümüze değin yapım alanında ve beton üretiminde çeşitli amaçlarla kullanılmışlardır. Betonun temel bileşimlerinden olmayan bu maddeler, gelişen beton teknolojisinde betonun çeşitli fiziksel, mekanik ve durabilite özelliklerini değiştirmek ve de üretimde ekonomi sağlamak amacıyla kullanılan katkı maddeleri olarak ta adlandırılmaktadır(Sevim, 2003).

Betonda kullanılan mineral katkı maddeleri portland çimentosuna benzer minerolojik ve kimyasal bileşimler ile fiziksel özelliklere sahip olmalarına rağmen büyük çoğunluğunun kendi başlarına bağlayıcılık yetenekleri yoktur. Bu maddeler puzolanik aktiviteleri nedeniyle hidrasyon ürünlerinin oluşumunda etkinlik göstererek bağlayıcı hamur yapısını değiştirirler. Böylece betonun çeşitli özellikleri iyileştirilirken puzolanik aktivitesi yüksek olan mineral katkı maddeleri, boşluk yapısını iyileştirerek daha yoğun bir bağlayıcı hamurun oluşmasını, agrega-hamur ara yüzeyindeki aderansın artmasını sağlamakta ve yüksek mukavemetlere erişilmesi mümkün olabilmektedir(Özturan 1991).

Temel kompozisyonu itibariyle betonun ana bağlayıcısı olan portland çimentosuna oldukça benzeyen ve puzolanik özelliğe sahip olan bazı atık maddeler,

inşaat sektöründe katkılı çimento ve beton üretiminde bağlayıcılık sağlayan malzeme olarak kullanılabilir. Gerek portland çimentosunun bir kısmını oluşturarak katkılı çimento üretiminde gerekse beton yapımında kullanılan portland çimentosunun bir miktarının yerine kullanılmasıyla hem çevresel problemlerin azaltılması hem de beton maliyeti açısından küçümsenmeyecek bir ekonomi sağlanmış olmaktadır.

Bugün bor ürünleri birçok endüstri dalının ana ham maddesidir. Kullanılan alanlarında tüketimin hızla artışı kadar, yeni kullanım alanlarının da günden güne bor atığını ve borun yakın gelecekte enerji üretim kaynağı olarak kullanılabilme olasılığı bu hammaddeye diğerleri arasında bir ayrıcalık kazandırır. Bilinen dünya bor rezervlerinin %70'inden daha fazlasının Türkiye'de bulunması, bu hammaddenin önemini bizim açımızdan daha da artırır. Periyodik sistemin üçüncü grubunun başında bulunan ve atom numarası 5 olan bor elementi, kütle numaraları 10 ve 11 olan iki kararlı izotopundan oluşur.

1.1. Dünya'da Bor ve Türkiye Rezervleri

Dünya'da en çok rezerve sahip olan ülkeler Türkiye, ABD, Rusya, Çin, Şili, Bolivya, Peru, Arjantin ve Sırbistan olmaktadır. Türkiye'de ise bilinen başlıca borat yatakları Zonguldak-Mersin hattının batısında kalan bölgede yer almaktadır. Etibank'ın son yıllarda yaptığı çalışmalarla Türkiye'nin bor rezervleri yaklaşık 780 milyon tona; görünür, muhtemel ve mümkün rezervlerin toplamı ise 2.443.142.000 tona ulaşmıştır. Emet, Kestelek ve Kırka havzaları için Etibank'ın resmi rakamları kullanılmış, Bigadiç havzasında ise devam eden arama çalışmalarında ortaya çıkarılan yeni rezervlerde eklenerek toplam rezerv 765.068.000 ton yerine 1.029.722.000 ton olarak gösterilmiştir.

1.1.1. Kırka Borat Yatakları

Ankara'nın 240 km batısında Eskişehir ili sınırları içerisindedir. Boratlar kil, tuf ve marn ile arakatlı olup, kireçtaşı borat merceklerinin altında ve üstünde bulunur. Yatağın sondajlarla kesilen kalınlıkları 2-150 m arasında değişmekte olup, aritmetik ortalaması 70 metredir. Yatağın egemen borat minerali Tinkal'dir.

Yataktaki başlıca bor mineralleri tinkal, kolemanit ve üleksittir. Kırka boraks yatağı dünyanın en büyük rezervine sahip olup, toplam rezerv 520 milyon ton dolayındadır. Türkiye'nin tek sodyumlu borat yatağıdır. 400 milyon ton civarında cevher varlığı saptanmıştır.(%30 B₂O₃ olarak)

1.1.2. Emet Borat Yatakları

Kütahya ili sınırları içinde, Kırka ve Bigadiç cevherleşme zonları arasında yer almaktadır. Bölgedeki başlıca borat zonları; Hisarcık, Espey, Killik ve Hamamköy yörelerindedir. Yataklarda en çok bulunan bor minerali kolemanit olduğundan, ticari açıdan kolemanit yatakları olarak isimlendirilir. Emet borat yataklarının toplam rezervi 345 milyon ton dolayındadır.

1.1.3. Bigadiç Borat Yatakları

Yataklar, Balıkesir ili Bigadiç ilçesinin kuzeydoğusunda yer almaktadır. Bigadiç borat havzası yaşlı neojen tektonik bir gölün kapladığı alandır. Başlıca mineraller kolemanit ve üleksittir. Kolemanit yataklarındaki arsenik oranı çok düşüktür ki bu özellik cevherin önemini artırmaktadır.

1.1.4. Kestelek Borat Yatakları

Bursa ili'nin Mustafa Kemal Paşa ilçesinin güneydoğusunda yer almaktadır. Yatak, klasik Neojen sedimantasyonunda oluşmuştur. Neojen tortuların kalınlığı yer yer volkanitlerle ve genç alüvyonlarla örtülmüştür. Yumruların büyüklükleri bir kaç cm'den 80-100 cm'ye kadar değişir. Başlıca bor minerali kolemanit olup, hidroborasit, probertit, meyerhafferit ve üleksit yan mineraller olarak görülür.

1.2. Endüstride Bor Kullanan Sektörler,

Bor endüstrinin birçok alanında boy göstermektedir. Bunlar; Cam Elyafı (Sertleşmiş plastikler, otomotiv parçaları, uçak sanayinde, spor malzemeleri üretimi), Optik Cam Elyafı (Elektronik Sanayi), Borosilikat Camlar (Oto camları, Çamaşır mak), Seramik Sanayi (Sertleştirici ve Karo Kaplama), Temizleme ve Beyazlatma

Sanayi (Sabun ve Deterjanlara mikrop öldürücü ve beyazlatıcı olarak), Tarım (Bitki örtüsünün gelişmesini artırmak veya önlemek maksadıyla), Metalurji (Ergimeyi hızlandırıcı, Koruyucu curuf oluşturulması), Nükleer Uygulamalar ve bir çok ana ve yan sektörde kullanılmaktadır.

1.3. İnşaat Mühendisliğinde Bor ve Atıklarının Çimento ve Beton Üretiminde Kullanılması

Bor madeni rezervlerinin belirli bölgelerde toplanıp, bu bölgedeki değerinin anlaşılması ve bor madeninin, teknolojiadaki öneminin son yıllarda artışı sebebiyle, bu madenin kullanımı son zamanlarda çok artmıştır. Bu madeninin daha önce çok az kullanılması, bor madeninin üzerindeki bilimsel araştırmaların az olması, bununla birlikte bor madenin işlenmesi ile oluşan endüstri atıkları olan bir çok maddede araştırma yapılamaması sonucunu doğurmuştur. Bunun sonucunda bu madenin atığının kullanım alanları çok kısıtlı olmuştur. Bu mahrumiyetten inşaat sektörü de payına düşeni almış ve şu ana kadar herhangi bir bor atığı malzeme ne çimento da ne de betonda kullanılmıştır. Bu duruma rağmen son zamanlarda araştırmacılar bor atığı konusuna eğilerek bor atığının çeşitli özelliklerini bulmuşlardır.

Bu kötü durumlara rağmen bor atıkları konusunda bilimsel araştırmalara başlanılmış olup, atığın çok önemli özellikleri bulunmuştur. Boncukçuoğlu ve ark. (2001) borojips ve kolemanit konsantratör atığı içeren çimentoların özelliklerini araştırırken bor atığı oranı arttıkça radyasyon geçirgenliğinin düştüğünü, ayrıca priz başlangıcı ve priz sonunu da artırdığını söylemiştir. Bu ve bunun gibi birçok araştırma bor atığı olan malzemelerin betonda yapay puzolan olarak kullanılabilirdiği fikrini çıkarmıştır.

Bu çalışmada;

- a) Kütahya- Emet Kolemanit konsantratör atığının çimento hamuru ve harç numunelerin özelliklerini iyileştirip iyileştirmediğinin anlaşılması ve bu maddenin beton ve çimento katkısı olarak kullanılabilirliği çimento hamuru

ve harç numuneler üzerinde yapılacak deneylerle kullanılabilirliğinin araştırılması

- b) Bu maddenin kimyasal bileşimi ve fiziksel özelliklerini çimento hamuru ve harç numunelerinin özelliklerinin hangi yönde değişikliğe uğradığının saptanması
- c) Elde edilen sonuçların yorumlanmasıyla bu malzemenin potansiyel alanlarda değerlendirilebileceğini tespit etmek ve bunun sonucunda bir atık madde olan bu malzemenin endüstriye bir değer olarak katılmasını sağlamak, çevre kirliliğine yol açmasının önlenmesini amaçlamaktadır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Giriş

Bor madeni rezerv olarak en yüksek potansiyelin ülkemizle beraber birkaç ülkede olması, bununla beraber yeni çıkarılmaya başlanılan bir maden olması sebebiyle bu alanda fazla bir bilimsel çalışma yapılmamıştır. Bunun sebeplerinden biride araştırma sonuçları ticari değer taşıdığı için yayınlanmıyor yada çok kısıtlı yayınlanıyor. Bilimsel araştırmalar, makaleler, yayınlar incelendiğinde yine de en çok çalışmanın ülkemizden çıktığı görülmektedir. Kolemanit in üretilmesi daha doğru tabirle konsantre edilmesi esnasında çıkan katı atığın öğütülmesi ile oluşan katkıyı tanıma amaçlı deneyler yapmaya çalıştık. Bu katkı ile ilgili bilimsel çalışmalar 2003 yılından sonra ivme kazanmıştır. Kolemanit konsantratör atığı ve buna bağlı olan bilimsel çalışmalar sunulmuştur.

2.2. Bor Endüstri Atıkları İçeren Betonun Özellikleri

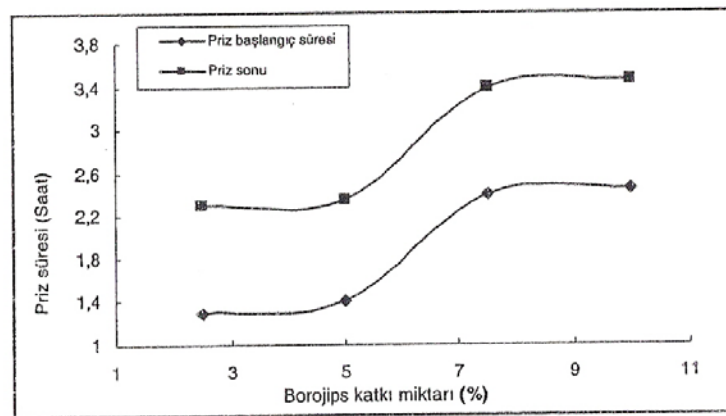
2.2.1. Priz Süresi

Özmal ve ark. (2005), yaptıkları çalışmalarda kolemanit konsantratör atığını yalnız ve çeşitli yapay puzolanlar la birlikte kullanarak çeşitli priz süreleri bulmuşlardır. Aşağıdaki tablo da incelenirse kolemanit konsantratör atığı, uçucu kül ve alümit katkılı çimentonun her türlü birleşiminin priz başlangıcı ve priz sonu sürelerini uzattığını bulmuşlardır.

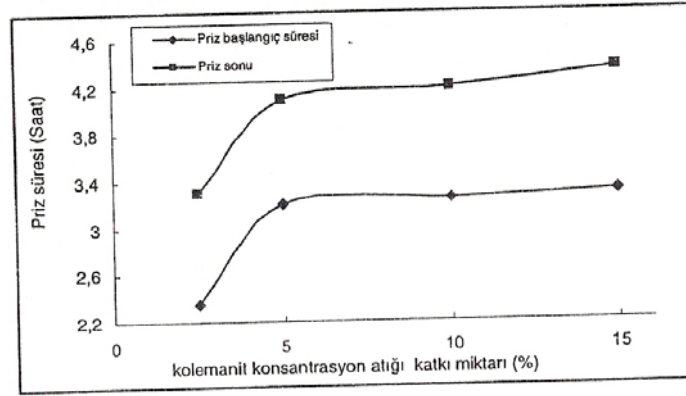
Çizelge 2.1.Özmal ve ark.nın Sunmuş olduğu priz başlangıcı ve priz sonu süreleri

Karışım İsmi	İçeriği	Priz Başlangıcı	Priz Sonu
KKAKÇ-1	%1 KKA Katkılı Çimento	02:30	03:10
KKAKÇ-3	%3 KKA Katkılı Çimento	02:36	03:25
KKAKÇ-5	%5 KKA Katkılı Çimento	02:40	03:40
KKAKÇ-7	%7 KKA Katkılı Çimento	02:45	03:55
KKAKÇ-9	%9 KKA Katkılı Çimento	02:55	04:15
KKAUKKÇ-5	%1KKA+%4 UK Kat. Çim.	02:30	03:05
KKAUKKÇ-10	%3KKA+%7 UK Kat. Çim.	03:10	04:50
KKAUKKÇ-15	%5KKA+%10 UK Kat. Çim.	03:50	05:40
KKAUKKÇ-20	%7KKA+%13 UK Kat. Çim.	04:20	06:25
KKAUKKÇ-25	%9KKA+%16 UK Kat. Çim.	05:00	07:40
KKAUKAKÇ-6	%1KKA+%4 UK+%1 Alünit Kat. Çim.	03:00	04:15
KKAUKAKÇ-11	%3KKA+%7 UK+%1 Alünit Kat. Çim.	04:00	05:30
KKAUKAKÇ-16	%5KKA+%10 UK+%1 Alünit Kat. Çim.	04:00	09:45
KKAUKAKÇ-21	%7KKA+%13 UK+%1 Alünit Kat. Çim.	00:00	13:00
KKAUKAKÇ-26	%9KKA+%16 UK+%1 Alünit Kat. Çim.	-----	-----

Keleş ve ark. (2005), yaptıkları araştırmalarda değişik borojips oranları kullanarak elde ettikleri betonların borojips katkı oranları arttığı zaman her bir örneğin prizlenmesinin başlangıç ve bitiş süreleri artmıştır. Elde edilen grafiklerin bazıları aşağıda sunulmuştur.



Şekil 2.1. Keleş ve ark.nın bulmuş olduğu Borojips-Priz süresi grafiği



Şekil 2.2. Keleş ve ark.nın bulmuş olduğu KKA-Priz süresi grafiği

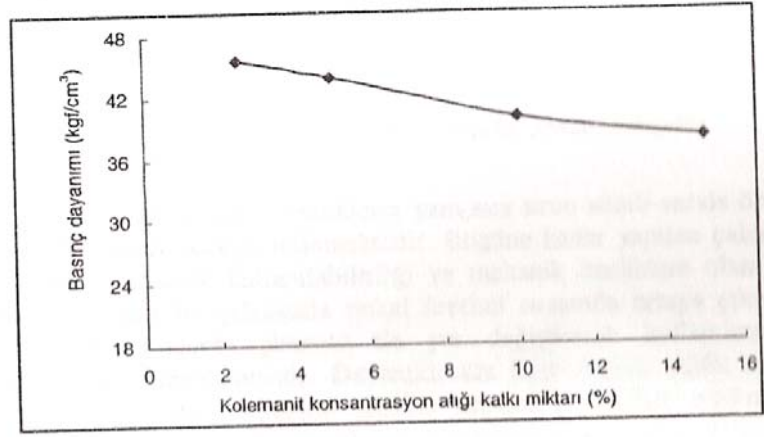
2.2.2. Basınç Dayanımı

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

Çizelge 2.2. Özmal ve ark.nın Sunmuş olduğu basınç dayanım sonuçları

Karışım İsmi	İçeriği	Basınç Dayanımı (N/mm ²)		
		2.Gün	7.Gün	28.Gün
KKAKÇ-1	%1 KKA Katkılı Çimento	17,2	32	45,5
KKAKÇ-3	%3 KKA Katkılı Çimento	17	30,5	43,1
KKAKÇ-5	%5 KKA Katkılı Çimento	16,8	27,6	41,5
KKAKÇ-7	%7 KKA Katkılı Çimento	15	26,8	37,3
KKAKÇ-9	%9 KKA Katkılı Çimento	13,8	24,5	34,5
KKAUKKÇ-5	%1KKA+%4 UK Kat. Çim.	20	32,9	46,5
KKAUKKÇ-10	%3KKA+%7 UK Kat. Çim.	19,2	31	45,4
KKAUKKÇ-15	%5KKA+%10 UK Kat. Çim.	18,5	28,6	44,6
KKAUKKÇ-20	%7KKA+%13 UK Kat. Çim.	16,5	27,2	42,6
KKAUKKÇ-25	%9KKA+%16 UK Kat. Çim.	14,4	25	41,8
KKAUKAKÇ-6	%1KKA+%4 UK+%1 Alümit Kat. Çim.	18,2	35	50,4
KKAUKAKÇ-11	%3KKA+%7 UK+%1 Alümit Kat. Çim.	15,2	34,9	49,1
KKAUKAKÇ-16	%5KKA+%10 UK+%1 Alümit Kat. Çim.	12,2	33,4	50,1
KKAUKAKÇ-21	%7KKA+%13 UK+%1 Alümit Kat. Çim.	3,9	32,2	50,8
KKAUKAKÇ-26	%9KKA+%16 UK+%1 Alümit Kat. Çim.	-----	-----	-----

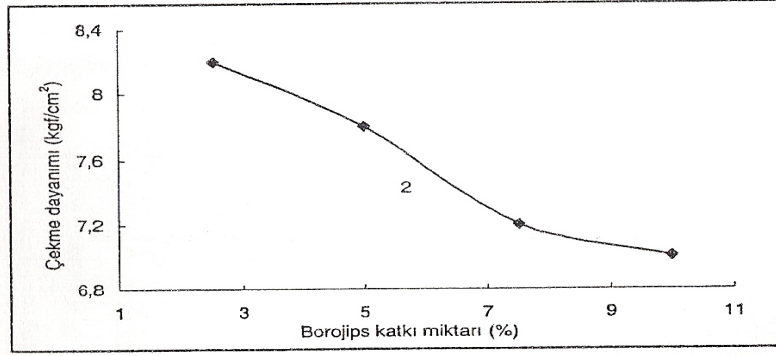
Keleş ve ark. (2005), yaptıkları araştırmalarda basınç dayanımı Borojips katkı miktarının %5 atık oranına kadar artmakta ve daha sonra azalmaktadır. Benzer denemeler kolemanit konsantratör atığı ve kolemanit konsantratör atığı+borojips ile tekrarlanmış, kolemanit konsantratör atığı ile elde edilen çimentoların basınç dayanımları PÇ42,5'e göre düşük çıktığını görmüşlerdir.



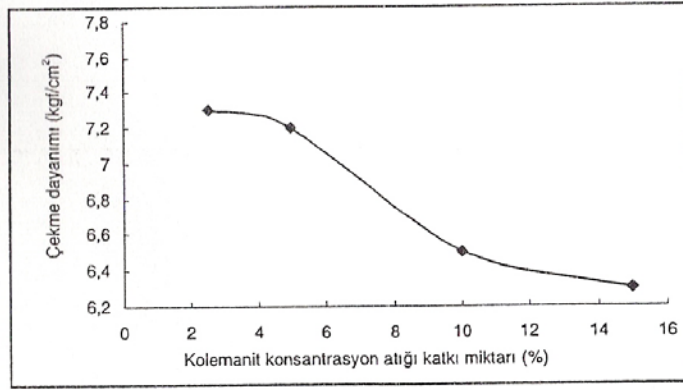
Şekil 2.3. Keleş ve ark.nın bulmuş olduğu basınç dayanımı grafiği

2.2.3. Çekme Dayanımı

Keleş ve ark. (2005), yaptıkları deneylerde borojips ve kolemanit konsantratör atığı kullanmışlardır. Bulunan deney sonuçları aşağıdaki şekilde sunulmaktadır. Şekilde de görüldüğü gibi %5 borojips katkı miktarına kadar dayanım artmakta olup sonra düşüş göstermektedir.



Şekil 2.4. Keleş ve ark.nın bulmuş olduğu borajips katkılı harçların 28 günlük çekme dayanımı sonuçları



Şekil 2.5. Keleş ve ark.nın KKA katkılı harçların 28 günlük çekme dayanımı sonuçları

2.2.4 Hacim Genişlemesi

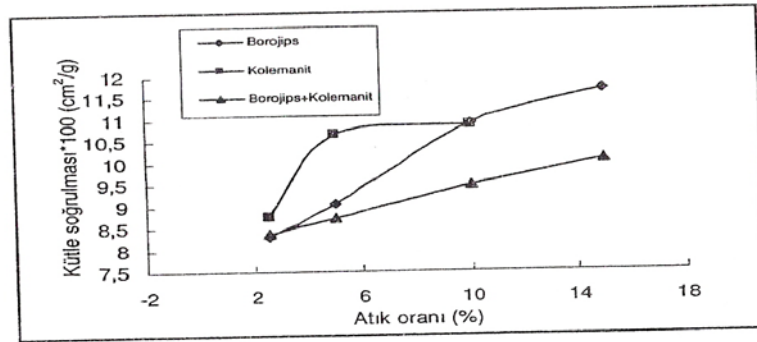
Keleş ve ark. (2005) çeşitli oranlarda kattıkları KKA'nın hacim genişlemesine etkilerini araştırmışlar ve şu sonuca varmışlardır.

Çizelge 2.3. Keleş ve ark sunduğu genleşme değerleri

Numune İçerikleri	Soğukta	Sıcakta	Toplam
%1 KKA İçeren Numuneler	1	1	2
%3 KKA İçeren Numuneler	1	1	2
%5 KKA İçeren Numuneler	1	0	1
%7 KKA İçeren Numuneler	1	1	2
%9 KKA İçeren Numuneler	1	0	1

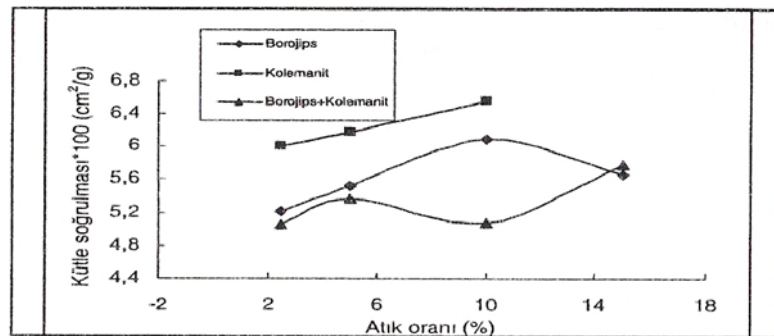
2.2.5 Radyasyon Geçirgenliği

Keleş ve ark.nın (2005) çeşitli oranlarda kattıkları KKA'nın çimentoya katılma yüzdesi arttıkça radyasyon geçirgenliğinin azaldığını gözlemlemişlerdir.



Şekil 2.6. Keleş ve ark.nın KKA ilaveli harçların radyasyon geçirgenliği

sonuçları (Am241 nokta kaynakla yapılan)



Şekil 2.7. Keleş ve ark.nın KKA ilaveli harçların radyasyon geçirgenliği

sonuçları (Ba133 nokta kaynakla yapılan)

2.2.6. Özgül Yüzey ve Özgül Ağırlık

Özmal ve ark. (2005), kullanılan puzolanik katkıların analizleri Çizelge 2.4'te verilmiştir. Kullanılan tüm katkı karışımları TS ye uygundur.

Çizelge 2.4. Özmal ve ark.nın yaptığı araştırmalar sonucu bulunan Özgül Yüzey ve Özgül Ağırlık deneyleri

Karışım İsmi	İçeriği	Özgül Yüzey (cm ² /g)	Özgül Ağırlık (g/cm ³)
KKAKÇ-1	%1 KKA Katkılı Çimento	3139	3,14
KKAKÇ-3	%3 KKA Katkılı Çimento	3183	3,11
KKAKÇ-5	%5 KKA Katkılı Çimento	3223	3,06
KKAKÇ-7	%7 KKA Katkılı Çimento	3228	3,02
KKAKÇ-9	%9 KKA Katkılı Çimento	3445	2,96
KKAUKKÇ-5	%1KKA+%4 UK Kat. Çim.	3326	3,12
KKAUKKÇ-10	%3KKA+%7 UK Kat. Çim.	3402	3,05
KKAUKKÇ-15	%5KKA+%10 UK Kat. Çim.	3588	3,00
KKAUKKÇ-20	%7KKA+%13 UK Kat. Çim.	3882	2,94
KKAUKKÇ-25	%9KKA+%16 UK Kat. Çim.	4099	2,88
KKAUKAKÇ-6	%1KKA+%4 UK+%1 Alünit Kat. Çim.	3670	3,01
KKAUKAKÇ-11	%3KKA+%7 UK+%1 Alünit Kat. Çim.	3820	3,00
KKAUKAKÇ-16	%5KKA+%10 UK+%1 Alünit Kat. Çim.	4140	2,96
KKAUKAKÇ-21	%7KKA+%13 UK+%1 Alünit Kat. Çim.	4470	2,94
KKAUKAKÇ-26	%9KKA+%16 UK+%1 Alünit Kat. Çim.	4680	2,94

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Genel Bilgiler

3.1.1. Betonun Oluşturduğu Malzemeler

Beton: su, çimento, agrega ve gerektiğinde katkı maddelerinin de kullanılması ile elde edilen, düşük teknoloji ile üretilen ve oldukça yaygın kullanım alanına sahip ucuz bir yapı malzemesidir. İri agregası olmayan beton ise harç olarak tarif edilmektedir. Sadece çimento ve sudan ibaret karışım ise çimento hamuru olarak tabir edilmektedir(Erdoğan, 2003). Aşağıda betonu oluşturan malzemeler hakkında genel bilgiler verilmektedir.

3.1.1.1. Karışım ve Bakım Suyu

Çimento ve agrega ile birlikte betonu oluşturan temel malzemelerden birisi olan su, beton yapımında üç değişik amaca yönelik olarak kullanılmaktadır: (1) Çimento ve agrega ile birlikte beton karılmasında, “karışım suyu olarak”, (2) yerine yerleştirilen prizini alarak bir miktar mukavemet kazanan betonun yüzeyine uygulanan “bakım ya da kür suyu” olarak, (3) betonda kullanılacak agregaların temiz olmalarını sağlamak veya beton karma işlemi bittikten sonra betoniye temizlemek üzere, “yıkama suyu” olarak. Bunlardan en önemlisi ilk sırada belirtilen amaç olmaktadır.

(1) *Karışım suyu olarak* : Betonun oluşturan malzemelerin karılmasında kullanılan karışım suyu iki önemli görevi yerine getirmektedir: Birincisi, toz halindeki çimento taneleri ile birleşerek hidrasyon adı verilen kimyasal reaksiyonların başlamasını sağlamak, ikincisi ise çimento ve agrega tanelerinin yüzeyini ıslatarak, malzemelerin birbiriyle daha kolay karıştırılabilmesini, yerine yerleştirilip sıkıştırılabilmesini kısacası “işlenebilme” yi sağlamaktır.

Kaynaklarda, karma suyu genel anlamda içilebilir su olarak ifade edilmektedir (NEVILLE 1995). Beton yapımında karışım suyu olarak kullanılacak su, mümkün olabildiği kadar temiz olmalı, içerisinde taze ve sertleşmiş beton özelliklerine zararlı

etki yapabilecek kadar kil, silt, organik madde, asit, klorür, sülfat, yağ ve endüstri atıkları gibi yabancı madde bulundurmamalıdır. (Erdoğan 1995).

(2) *Bakım (kür) suyu olarak* : Yerine yerleştirilen taze betonun sertleşmesi esnasında, betonun içerisindeki mevcut suyun buharlaşarak kaybolmasını önlemek gereklidir. Hidratasyon için son derece önemli olan suyun bir miktarının buharlaşarak kaybolması, çimento reaksiyonlarının tam olarak oluşmamasına ve beklenen dayanımdan daha düşük bir dayanımın ortaya çıkmasına neden olur. Bu durumu önleyebilmek için, taze beton içerisindeki suyun buharlaşarak kaybolmasını mümkün olabildiği kadar azaltacak önlemler almak gereklidir. Bu amaçla, taze betonun yüzeyinin, sulanarak veya ıslak bezlerle ve benzeri yöntemlerle örtülerek, korunması gereklidir.

(3) *Yıkama suyu olarak* : Beton yapımında kullanılan agregaların temiz olmaları gerekmektedir. Agregaya yüzeyinde bulunabilecek kil toprakları, silt ve organik maddeler beton özelliklerini olumsuz yönde etkilerler.

Agrega yüzeyini bir tabaka gibi sarmış bu zararlı maddeler hesaplarda belirlenen suyun bir miktarını emerek, su-çimento oranını ve buna bağlı olarak beton özelliklerini etkileyebildikleri gibi, agregaya ve çimento hamuru arasında oluşması gereken bağı da önemli ölçüde azaltırlar. Bunun sonucunda beklenenden daha düşük dayanımlı bir beton ortaya çıkar. Bu nedenle, betonda kullanılması düşünülen agregaların yıkanarak mutlaka temiz duruma getirilmesi gereklidir.

3.1.1.2. Bağlayıcı Maddeler

Başlangıçta ince öğütülmüş formda olan ve su ile karıştırıldığında hamur kıvamına gelen, iki yüzey arasına uygulandığı zaman katlaşıp, yüzeyleri birbirine bağlayabilme özelliğine sahip malzemelere bağlayıcı malzemeler denilmektedir (Postacıoğlu, 1986).

Çimento, alçı ve kireç ilk bahsedilen ince öğütülmüş formdaki bağlayıcı sınıfına girmektedir. Ancak, alçının su altında erimesinden, kirecin de sertleşebilmek için gerekli karbondioksiti su altında bulamamasından dolayı, alçı ve kireç hidrolik bağlayıcı değildir. Fakat, çimento, katlaşmasına ve bağlayıcılığına su altında da

devam edebildiği için hidrolik bir bağlayıcıdır. Buna göre, su altında sertleşebilen ve suda erimeyen bağlayıcılara “hidrolik bağlayıcılar” denilmektedir (Erdoğan 1995).

3.1.1.2.1. Çimento

Çimento, su ve agrega ile birlikte betonu oluşturan temel malzemelerden birisidir. Çimento ve su birleştiği takdirde, çimento hamuru denilen yumuşak, plastik bir karışım ortaya çıkar. Çimento ve su birleştiği andan itibaren ekzotermik, yani ısı veren türden reaksiyonlar başlamakta ve bu reaksiyonların devam etmesi neticesinde de, plastik durumdaki çimento hamuru giderek sertleşip, dayanımı artan bir yapıya kavuşmaktadır.

Çimento hamurunun başlangıçta gösterdiği plastik özellik nedeniyle, taze beton da plastiklik göstermektedir. Bu özellik sayesinde, taze betonu karıştırmak, kalıplara taşıyıp yerleştirmek ve sıkıştırmak kolaylıkla mümkün olabilmektedir. Çimento hamurunun zamanla sertleşme özelliği sebebiyle, betonda da zamanla sertleşme ve dayanım kazanma meydana gelmekte, istenilen şekilde sert bir “suni taş” elde edilmektedir (Erdoğan, 1995).

3.1.1.2.1.1. Çimentonun Üretilmesi

Çimento, killi ve kalkerli hammaddelerin, yüksek sıcaklıklarda pişirilmesiyle oluşan klinkerin, az miktarda (%3-%6 oranında) alçı taşı ile birlikte öğütülmesi sonucunda elde edilen bağlayıcı özelliğe sahip malzemedir. Pişirme işlemi, döner fırın adı verilen, içi boş ve kendi eksenini etrafında dönebilen, yatay yerleştirilmiş silindir bir fırın ile yapılmaktadır. İçi ateş tuğlası ile kaplı bu çelik fırın, bir ucu diğer ucundan biraz daha yüksekte kalacak şekilde, yaklaşık %3-%6 eğimde yerleştirilir. Çapı 2-6 m. arasında değişen döner fırınların en/boy oranı 15-30 civarında olup, sıcaklık fırının alt ucundan püskürtülen yakıtla sağlanır. Bu yakıt fuel-oil olabildiği gibi, son yıllarda ekonomik nedenlerle kömürden de yararlanılmaktadır.

İnce bir şekilde öğütülerek uygun oranlarda bir araya getirilen killi ve kalkerli hammaddeler, döner fırınlarda yaklaşık 1350-1450 °C’ de pişirilirlir. Fırın içerisinde

pişirilen hammaddeler, sıcaklığın etkisiyle, kimyasal olaylar sonucunda klinker adı verilen bir ürünün oluşmasını sağlarlar. Klinker, gözenekli ve pürüzlü bir yüzeye sahip olup, sert ve yuvarlak şekildedir. Yaklaşık çapı 1-25 mm civarında ve yeşilimsi gri (veya koyu gri) renktedir. Döner fırından çıkarılan klinker soğutulduktan sonra, toz gibi ince bir şekilde öğütülür. Klinkerin bu öğütülmesi esnasında küçük bir miktar alçı taşı da ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) eklenerek öğütme işlemi beraber yapılır. Elde edilen ürüne Portland çimentosu adı verilir.

Alçı taşının, çimentonun katılaşmasında (prizinde) geciktirici rolü vardır. Bu nedenle çimentonun, su ile birleştiğinde göstereceği sertleşme hızının kontrol edilebilmesi için, klinker ile bir miktar alçı taşı (%3-%6) beraber öğütülür. Aksi halde çimento çok hızlı bir şekilde katılaşır ve betonu yerine rahatça yerleştirme imkanı ortadan kalkar (Erdoğan, 1995).

Fırınlara girecek olan hammaddeleri ince bir şekilde öğütmek, hammaddelerin homojen olarak daha iyi pişmesi ve karışımın uygun oranlarda yapılması açısından önemlidir.

3.1.1.2.1.2. Çimentonun Oksitleri, Ana Bileşenleri ve Reaksiyonları

Portland çimentosunun oksitleri Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Portland çimentosunu oluşturan oksitler ve yaklaşık miktarları

Oksit	Sembol	Çimento kimyasına göre sembolü	Miktar (%)
Kireç	CaO	C	60-67
Silis	SiO ₂	S	17-25
Alümin	Al ₂ O ₃	A	3-8
Demir Oksit	Fe ₂ O ₃	F	0,5-6
Kükürt Trioksit	SO ₃	<u>S</u>	1-3
Magnezyum Oksit	MgO	M	0,1-4
Alkaliler	Na ₂ O+K ₂ O	N+K	0,2-1,3

Çimento kimyasına göre su, H_2O , sadece H harfiyle gösterilmektedir. Bu durumda kalsiyum hidroksit, $Ca(OH)_2$, sadece CH ve alçıtaşı $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ise CSH_2 olarak ifade edilmektedir.

Çimento içerisinde çok küçük miktarlarda yer alan magnezyum oksit (MgO) ve alkalilerin ($Na_2O + K_2O$) çimentoya hiçbir faydası yoktur. Bunlar çimento içerisinde fazla miktarlarda yer aldıklarında zararlı olabilecek hacim artışları gösterebilirler. Bunların zararlı olabileceği halde çimento içerisinde yer almasının nedeni, ekonomik olarak bunlardan kurtulmanın mümkün olmayışıdır (Erdoğan 1995).

Yukarıda gösterilen oksitler, döner fırın içerisinde reaksiyona girdiklerinde çimentonun ana bileşenlerini meydana getirirler. Bu bileşenler karma oksitler olarak adlandırılır ve aynı zamanda klinkerin de ana bileşenleridir. Oluşan ana bileşenler Çizelge 3.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Çimentonun ana bileşenleri

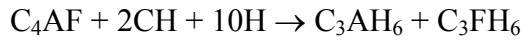
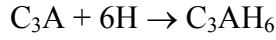
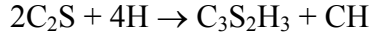
Bileşen Adı	Formülü	Kısaltılmış Adı	Miktar (%)
Trikalsiyum silikat	$3CaO \cdot SiO_2$	C_3S	25-60
Dikalsiyum silikat	$2CaO \cdot SiO_2$	C_2S	15-40
Trikalsiyum alüminat	$3CaO \cdot Al_2O_3$	C_3A	2-15
Tetrakalsiyum alüminoferrit	$4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	C_4AF	5-15

3.1.1.2.1.3. 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’ın parçacıkları arasındaki çekim kuvveti, bağlayıcılık özelliği yaratmaktadır. C-S-H’ın büyüklüğü

moleküler mertebededir ve çimento tanesinin 1/1000'i büyüklüğündedir (Erdoğan, 1995).

Kalsiyum silikatların reaksiyon formülü şu şekildedir.



C_3A 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 C_3A , su ve alçı, ayrı bir reaksiyona girer ve bu reaksiyonlar sürerken, kalsiyum silikatların reaksiyonu ve C-S-H ’in oluşması da sıhhatli bir şekilde devam eder. C_3A 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, C_4AF ile de reaksiyona girer. Fakat, C_4AF ’nin su ve alçıyla birleşmesi ile elde edilen özellikler, C_3A ’nın sonuçlarına benzer ancak oranı çok küçük olduğundan sonuç üzerindeki rolü büyük değildir.

Özetle, C_3A ve C_4AF bileşenleri, uygun miktarda alçı ile kullanıldıklarında çimentonun bağlayıcılık özelliğini bir miktar etkilerler. Ancak, esas bağlayıcılık özelliği C_3S ve C_2S bileşenleri tarafından sağlanmaktadır (Erdoğan 1995).

Çimentonun su ile birleşmesi neticesinde bileşenlerin kazandığı özellikler ise, Çizelge 3.3’te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Çimentonun ana bileşenlerinin özellikleri

	Bileşenlerin Özellikleri			
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
Reaksiyon Hızı	Orta	Yavaş	Hızlı	Orta
Hidratasyon Isısı	Orta	Az	Çok	Orta
Kısa Dönemde Bağlayıcılık Değeri	Yüksek	Düşük	Düşük	Düşük
Nihai Bağlayıcılık Değeri	Yüksek	Yüksek	Düşük	Düşük

3.1.1.2.1.4. Hidratasyon Isısı

Hidratasyon ısısı, çimentonun belirli bir sıcaklık koşulunda hidratasyon başından hidratasyon sonuna kadar çıkardığı ısı miktarıdır. (Erdoğan, 1995). Çimento ile suyun bir araya gelmesiyle başlayan hidratasyon, dışarı ısı veren, yani ekzotermik türdendir. Hidratasyon sürdükçe ısının açığa çıkması da devam eder ve çıkan bu ısı sonucu betonun sıcaklığı artar. Artan sıcaklık, özellikle kütle betonlarının dökülmesinde büyük problem teşkil eder.

Hidratasyon ısısının açığa çıkma hızı, çimento bileşenleri ile su arasında yer alan kimyasal reaksiyonların hızına bağlıdır. Çimentonun su ile karıştırılmasını takip eden ilk 5 dakika içinde hidratasyon ısısının açığa çıkma hızı çok yüksektir. Sonra, 1-2 saatlik durgun bir dönem yaşanır ve priz (katılaşmanın) başlaması ile ısının açığa çıkma hızı tekrar artar. Priz dönemi sonunda (en çok 10 saat) hidratasyon ısısı çok yüksektir. Daha sonraları ise hidratasyon ısısı, gittikçe azalan bir seyirde açığa çıkmaya devam eder. Hidratasyon ısısının açığa çıkma hızını etkileyen diğer önemli faktörler ise; çimento içerisindeki ana bileşenlerin yüzdeleri, çimentonun inceliği ve hidratasyonun yer aldığı sıcaklık koşullarıdır.

3.1.1.2.1.5. Çimentonun Prizi

Çimento ve suyun karıştırılması ile meydana gelen hamur ancak belirli bir süre için plastik kalabilir. Bu süre içerisinde malzemeyi karıştırmak ve istenilen şekli verebilmek mümkündür. Fakat, su ile çimento arasındaki kimyasal olaylar devam

ettikçe plastiklik kaybolmaya ve çimento katılaşmaya başlar. Çimentonun suyla karıştırılmasıyla elde edilen hamurun katılaşmasına priz adı verilmektedir.

Priz süresi içinde iki önemli kavram vardır. Bunlardan birincisi; priz başlama süresi, ikincisi ise priz sona erme süresidir. Çimento ve suyun karıştırıldığı zaman ile çimento hamurunun fiziksel değişiklik göstererek katılaşmaya (plastikliğini kaybetmeye) başladığı zaman arasında geçen süreye priz başlama süresi, çimento ve suyun karıştırıldığı zaman ile çimento hamurunun tamamen katılaştığı (sertleşmenin başladığı) zaman arasındaki süreye ise priz sona erme süresi denilmektedir.

Priz süresi çimento hamurunun katılaşmasından önceki işlenebilirlik süresini belirlediği için, taze betonun taşınabilmesi, kalıba yerleştirilmesi ve sıkıştırılabilmesi bakımından çok önemlidir (Postacıoğlu, 1986).

3.1.1.2.1.6. Çimentonun Rötresi

Rötre yada büzülme tüm Portland çimento türlerinde görülen bir olgu olup, üç boyutlu halde hacim değişimi, iki boyutlu halde ise boy değişimi olarak tarif edilmektedir. Rötre kendi içinde kuruma rötresi, plastik rötre, ısı rötresi ve otojen rötre olarak bir kaç sınıfa ayrılabilir. Plastik rötre, çimento tabanlı malzemenin plastik kıvamda olduğu halde iken aşırı sıcak ve rüzgarlı havada genellikle döşeme türü geniş yüzeyli elemanlarda görülür. Plastik rötre, çimento tabanlı malzemenin perdelanma ve bitirilme işini geciktirir. Bünyesel rötre olarak da bilinen otojen rötre, kimyasal bir rötre olup, kaçınılmaz bir durumdur. Çimento ve suyun reaksiyona girmesi sonucunda ortaya çıkan ürünün hacmi reaksiyona giren maddelerin hacimleri toplamından küçük olur, burada oluşan hacim azalmasına otojen rötre denilmektedir. Isı rötresi, tüm maddelerde olduğu gibi, sıcaklık değişimi etkisi sonucunda çimento tabanlı malzemelerde oluşan hacim ya da boy değişimidir. Kuruma rötresi ise başlangıçta nemli halde olan çimento tabanlı malzemenin bulunduğu ortama göre nemini kaybetmesinden kaynaklanan hacim ya da boy değişimidir. Plastik ve ısı rötresi hava durumundaki değişimler sonucunda olduğundan, uygun koşullarda bu rötresler kontrol altına alınabildiğinden ve otojen rötre de kaçınılmaz olduğundan dolayı, burada konumuzun esasını kuruma rötresi oluşturmaktadır. Bu nedenle çimento tabanlı

malzemede kuruma rötresinin kontrolü önem taşımaktadır. Buradan sonra rötre kelimesi kuruma rötresi anlamında kullanılacaktır.

Çimento tabanlı malzeme olan beton, yol kaplaması yapımında kullanıldığı zaman, rötreden dolayı oluşan hacim değişimleri oldukça önemli olmaktadır. Çünkü, pratikte taneli malzemeden oluşan ve yüksek sürtünme sağlayan alt-temel üzerine oturan, beton yol kaplaması bünyesinde rötre kısılmasından dolayı oluşacak hareket kısmen ya da tamamen tutulu olmakta, dolayısıyla çekme gerilmesi oluşmasına sebep olmaktadır. Bununla birlikte gerekli önlemler de alınmamış, uygun aralıklarda derz bırakılmamış ya da beton çelik ile donatılmamış ise çekme gerilmelerine maruz kalan beton yol kaplaması üzerinde yer yer rötre çatlakları oluşacaktır.

Ayrıca genellikle köprü kirişlerinin üretiminde kullanılan öngerilmeli betonda da rötre kısılmalarından dolayı öngerilme çeliklerinde bir gevşeme ve dolayısı ile öngerilme kayıpları oluşur. Bir yol kaplamasının alt ve üst kısımlarında oluşabilecek farklı rötrelere ise kıvrılmadan dolayı beton bünyesinde çekme gerilmesi oluşur.

İlaveten, çimento dolgululu kaya saplamları madencilik ve inşaat mühendisliği çalışma sahalarından tünellerde, temel ve şevlerde sağlamlaştırma elemanı olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak, burada da çimento tabanlı dolgu malzemesinin kuruma rötresi oldukça önemlidir. Çünkü, kuruma rötresi nedeniyle dolgu malzemesi ile kaya arasındaki aderansın azalması kaya saplama kapasitesini azaltmaktadır. Bu nedenle, bu alanlarda rötresiz yada düşük rötreye sahip dolgu malzemesine ihtiyaç duyulduğu gibi, rötre nedeniyle azalan aderansın dengelenmesi için şişme potansiyeline sahip dolgu malzemesine de ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu tür nedenlerle çimento tabanlı malzemenin rötresinin azaltılmasını sağlamak önem arz etmektedir. Rötreyi azaltmak için rötre dengeleyici katkıları kullanıldığı gibi, Amerika'da rötre dengeleyici çimento dahi üretilmektedir.

Rötre ölçümü ile ilgili detaylı bilgi TS 3453 (1981)'de verilmektedir.

3.1.1.2.1.7. Çimentonun İnceliği

Çimento inceliği, çimento tanelerinin ortalama boyutunu ifade etmektedir. İnceliğin yüksek olması, çimento tanelerinin daha küçük boyutlara sahip olacak şekilde

öğütüldüğünü ifade eder. Çimento tanelerinin çapı, 1-200 µm arasında değişiklik gösterir. Büyük çoğunluk 20-30 µm arasındadır.

Çimento inceliği cm^2/g olarak ifade edilir. Blaine aleti kullanılarak ve hava geçirgenliği prensibine uyarak, 1 g çimento numunesindeki tanelerin toplam yüzeyi cm^2 cinsinden belirlenir. Blaine aleti ile özgül yüzey tayini, diğer yöntemlere göre daha güvenilir sonuçlar verdiği için, incelik tayininde en çok kullanılan yöntem olmaktadır.

Çimentolarda istenen en düşük incelik, çimentoların cinsine göre değişiklik göstermektedir. Türkiye’de üretilen değişik tipteki çimentolarda aranan en düşük incelik, özgül yüzey olarak, 2800-4000 cm^2/g , Portland çimentolarında aranan en düşük incelik ise 2800 cm^2/g ’dır. ABD’nin ASTM Standartlarına göre üretilen portland çimentolarında da aranan en düşük incelik 2800 cm^2/g ’dır.

İncelik, çimentonun priz süresi, hidrasyon ısı ve dayanımı olmak üzere çimento özelliklerini büyük ölçüde etkilemektedir. Ağırlıkları aynı olan iki çimento numunesinde, daha ince tanelerden oluşan içerisinde, diğerine göre daha çok sayıda çimento tanesi bulunur. Çimentonun inceliği arttıkça tane sayısında artma olmakta ve bu nedenle su ile temas edebilecek yüzey fazlaşmaktadır. O bakımdan, ince olarak öğütülmüş çimentolarda kimyasal reaksiyonlar daha hızlı yer alarak sertleşme daha hızlı ve daha iyi gelişmektedir. Öte yandan incelik artması ile açığa çıkan ısı hızında da artış görülmektedir (Erdoğan 1995).

Çimento tanelerinin aşırı ince veya iri olmasının çimento özelliklerine bazı etkileri vardır. Taneler aşırı derecede ince ise, öğütme işlemi sırasında veya depolama esnasında, çimento çevreden bir miktar nem alarak hidrasyona başlayabilir ve bu vakitsiz hidrasyon sebebiyle bağlayıcılık değerinde kayıp olur. Taneler gereğinden fazla iri ise, hidrasyon hiç bir zaman mükemmel olamaz ve kimyasal olaylar sağlıklı gelişemez. Bu durum, çimentonun bağlayıcılık değerini de olumsuz yönde etkiler.

3.1.1.2.1.8. Çimentoların Standart Deneyleri

Üretilen çimentoların kullanılmadan önce istenilen özelliklere sahip olup olmadığının araştırılması gereklidir. Bu bakımdan çimento üzerinde bazı deneyler yapılır ve deneyler sonunda bulunan sonuçların gerekli koşulları yerine getirip getirmediği kontrol edilir. Her ülke kendi özel durumunu göz önünde tutarak deneylerin yapılış şeklini en ince ayrıntısına kadar açıklayan standartlar hazırlamıştır. Ülkemizde de, çimento deneyleri ile ilgili bilgiler TS 24 (1985)'de verilmiştir (Postacıoğlu, 1986). Çimento üzerinde yapılacak deneyleri üç gruba ayırmak mümkündür.

- 1- Fiziksel Deneyler
- 2- Mekanik Deneyler
- 3- Kimyasal Deneyler

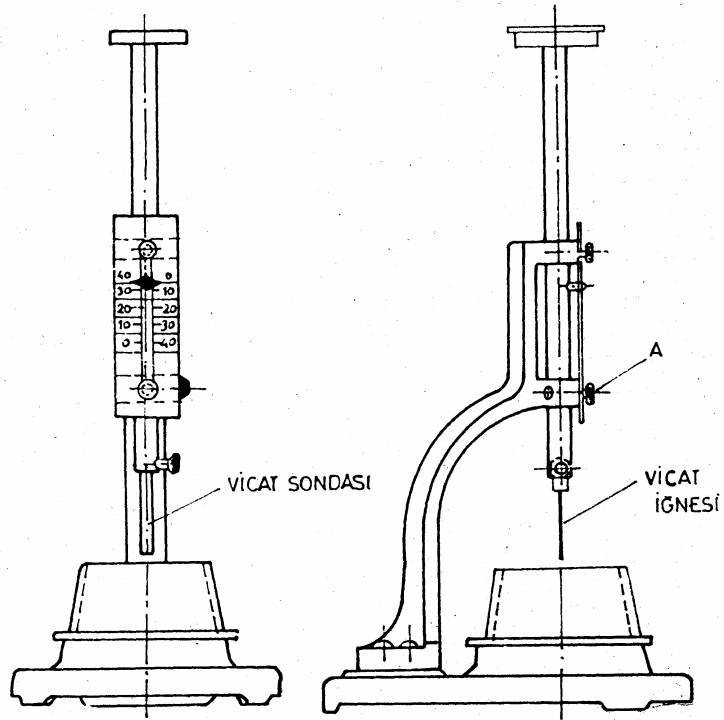
Kimyasal deneyler sonucunda, çimentonun içinde bulunan maddelerin miktarı veya kimyasal bileşimi saptanır. Kimyasal analizden ibaret olan bu grup deneyin ayrı bir özelliği bulunmadığı için burada sadece fiziksel ve mekanik deneyler hakkında bilgi verilecektir.

3.1.1.2.1.8.1. Fiziksel Deneyler

Fiziksel deneyler, çimentonun priz başlangıç ve sonunun tayini, hacim sabitliği muayenesinden oluşmaktadır. Priz sürelerinin saptanması ve hacim sabitliğinin muayenesi normal kıvamda sahip çimento hamuru numuneleri üzerinde gerçekleştirilir. Bu nedenle önce normal kıvamda çimento hamuru için gerekli su miktarının saptanması sunulmaktadır. Daha sonrada priz süresi tayini ve hacim sabitliği muayenesi verilmiştir.

a-) Normal Kıvamda Çimento Hamuru İçin Gerekli Su Miktarının Saptanması

Belirli bir miktar çimento ve su yaklaşık 3 dakika süre ile karıştırılarak plastik bir hamur elde edilir. Bu hamur kesik bir koni halinde üst çapı 65mm, alt çapı 75mm ve yüksekliği 40 mm olan bir kalıp içerisine yerleştirilir ve bu kalıp Şekil 3.1’de gösterilen vicat aletinin alt tarafına yerleştirilir. Bu alette düşey doğrultuda hareket edebilen 30 g ağırlığında bir çubuk vardır (Vicat sondası). Çubuk ancak A vidasının gevşetilmesi ile bu hareketi yapabilmektedir. Çubuğun ucu 10 mm. çapındadır. Aletin özel bir tertibi ile sonda ucunun kabın tabanına olan mesafesi mm cinsinden kolaylıkla okunabilmektedir. Sonda serbest bırakıldıktan sonra elle kesik koni içinde bulunan çimento hamurunun üst yüzeyine indirilir ve bundan sonra serbest bırakılır. Bu durumda silindirik çubuk hamurun içinde bir süre hareketine devam ettikten sonra durur. Aletin üst kısmındaki göstergeden sonda ucunun tabana olan mesafesi okunur. Bu mesafe 5~7 mm arasında ise üretilen hamur normal kıvamda olup, karışımda kullanılan su miktarı normal kıvam için gerekli su miktarıdır. Eğer deney sonunda sonda ucunun tabana olan mesafesi 5~7 mm’nin dışında ise deney başka miktarda su kullanılarak tekrarlanır. Mesafenin 7’mm den büyük olması durumunda su miktarı artırılarak, 5’mm den az olması halinde su miktarı azaltılarak deneyin tekrar edilmesi gereklidir. Deneylere sondanın tabana olan mesafesi 5~7 mm oluncaya kadar devam edilir. Bulunan su miktarı çimento ağırlığının yüzdesi cinsinden ifade edilir (TS 24 1995).



Şekil 3.1. Vicat Aleti

b-) Priz Sürelerinin Saptanması

Bu deney normal kıvam için gerekli su miktarları ile hazırlanan çimento hamuru üzerinde yapılır. Kesik koni içine çimento hamuru yerleştirilir ve vicat aleti altına konur. Ancak burada vicat sondası yerine kalınlığı 1 mm olan bir iğne kullanılır. Bu iğne düşey yönde hareketlidir ve hamur yüzeyine dokundurulup yavaşça bırakılır. İğne hamura batar ve durur. İğne ile çimento tabanı arasındaki mesafe 3~5 mm ise çimento prize başlamış demektir (priz başlangıcı). Karışıma su verilmesinden itibaren başlayan zaman ile priz başlangıcına kadar geçen süreye ilk priz süresi denir. Bu sürenin tespiti için her 5 dakikada bir iğne ile deneme yapılır. İlk anlarda bulunan mesafe 3 mm den az olur. Priz başlangıç süresi bulunduktan sonra denemeye 15 dakikada bir devam edilir. Bu işleme iğnenin hamur içerisine 1 mm batmasına kadar devam edilir. Eğer iğne 1 mm kadar batıyorsa son priz olmuş demektir. Karışıma su verilmesinden son priz aşamasına kadar geçen süreye de priz sona erme süresi denir (TS 24 1995, ASTM C191 1993).

c-) Hacim Sabitliği Muayenesi

Çimentolarda serbest halde CaO (sönmemiş kireç) ve MgO (magnezi) bulunması zararlıdır. Zira bu iki madde, su ile yaptıkları reaksiyon sonunda önemli derecede hacim artmasına sebep olarak, yapılarda ciddi boyutlarda ve düzeltilmesi mümkün olmayan zararlar meydana getirebilirler. Bu bakımdan, çimento kullanılmadan evvel CaO ile MgO'nun, zarar meydana getirecek mertebede çimentoda bulunup bulunmadığı kontrol edilmelidir. Çimento hacminin değişimi Şekil 3.2'de verilen Le Chatelier aleti yardımıyla tespit edilir.



Şekil 3.2. Le Chatelier aleti

Bu alet, pirinçten yapılmış boş bir silindir ile buna bağlı iğnelere ibarettir. Et kalınlığı 0,5 mm, çapı ve yüksekliği 30 mm olan üstü ve altı açık bu silindir, ekseni doğrultusunda bir yarığ vardır. Yarığın hemen yanında, yukarıda bahsedilen iki iğne, silindire lehimlenmiştir.

Deney, normal kıvamdaki çimento hamuru ile yapılır. Silindir, bir cam üzerine konur ve içi çimento hamuru ile doldurulur. Üst yüzeyi düzeltildikten sonra bir cam levha ile kapatılır ve üstüne ağırlık konur. Bu durumda iki iğne arasındaki mesafe (a) ölçülür. Kalıp, iğnelerin durumu bozulmadan sıcaklığı 18-20°C olan su içine konur. Kalıp 24 saat sonra sudan çıkartılır ve iğne uçlarının arasındaki mesafe (b) tekrar ölçülür. Su içinde 24 saat kalan çimento hamurunda bulunan CaO'nun su ile yaptığı

reaksiyon dolayısıyla hamurun hacminde bir artış olmuştur. Bu sebeple (b) değeri (a)'dan daha büyüktür ve (b-a) farkı çimento içinde bulunan sönmemiş kireç hakkında bilgi verir. Sudan çıkarılan çimento hamuru, iğneler yukarıya gelmek suretiyle suya konur ve su ısıtmaya başlanır. Kaynar duruma gelen su içinde numune 4 saat tutulur. Bu süre sonunda sudan çıkarılan kalıbın iğne uçları arasındaki mesafe (c) ölçülür. Bulunan (c) değeri, (b)'den de büyüktür. Zira çimento hamuru kaynar su içinde bulunduğu sırada MgO, su ile reaksiyon yaparak hamur hacminin artmasına sebep olmuştur (Postacıoğlu 1986). Deney sonunda bulunan (a), (b) ve (c) değerleri için, (b-a), (c-b) ve (c-a) farkları mm cinsinden hesap edilir. Hesap sonucu aşağıdaki koşulları sağlamalıdır.

$$b-a \leq 4 \text{ mm}$$

$$c-a \leq 10 \text{ mm}$$

Bu koşulları yerine getirmeyen çimento, yapıda önemli zararlar meydana getireceğinden kesinlikle kullanılmamalıdır.

d-) Çimentoların Rötresi

Çimentonun su ile karışmasıyla hidrasyon denilen reaksiyon başlamaktadır. Bu reaksiyon ekzotermik (dışarı ısı yayan) bir reaksiyondur. Literatürde bu reaksiyon sonucu beton hacminde bir miktar azalma (rötre) kaydedilmiştir. Bu azalmanın sebebi şu şekilde açıklanmaktadır. Beton içinde üç türlü boşluk bulunmaktadır. Birincisi, çimentonun hidrasyonu sonucu oluşan jel taneleri arasında yer alan ve birbirleriyle bağlantılı olan jel boşluklarıdır. ikincisi, kısmen hidrate olmuş çimento taneleri arasındaki boşlukları dolduran suyun geride bıraktığı kapiler (kılcal) boşluklardır. Bu boşluklar, hidrasyon olayı devam ettikçe azalır. Üçüncüsü ise, istemeden kazara karışım içinde kalmış keyfi dağılım gösteren büyük boşluklardır. En tehlikeli boşluk türü üçüncüdür. Beton dizaynı yapılırken çimento miktarı dikkatlice seçilmelidir. Amaç en uygun betonu üretmekse çimento miktarı da çok fazla eklenmemelidir. Çimentonun aşırı derecede yüksek tutulması rötreyi de artırmaktadır.

Bir çimentonun rötresini ölçmek için, genel olarak şu şekilde hareket edilir; Boyutları belli, bir prizma şeklindeki kalıba, hazırlanan çimento hamuru yerleştirilir, 24 saat beklenilir ve prizini almış numune kalıptan çıkarılır. ilk boy uzunluğu (Lo) duyarlı bir şekilde ölçülür. Havada muhafaza edilen prizmanın üretildikten (t) gün sonra yapılan ölçümde uzunluğu (Lt) bulunmuş ise, t gün içinde gerçekleşen birim

kısalma veya t gün içindeki rötresi $(L_0 - L_t)/L_0$ olarak hesaplanır. L_t , zaman ilerledikçe yani t değeri arttıkça küçük değerler alır.



Şekil 3.3 Rötre Aleti

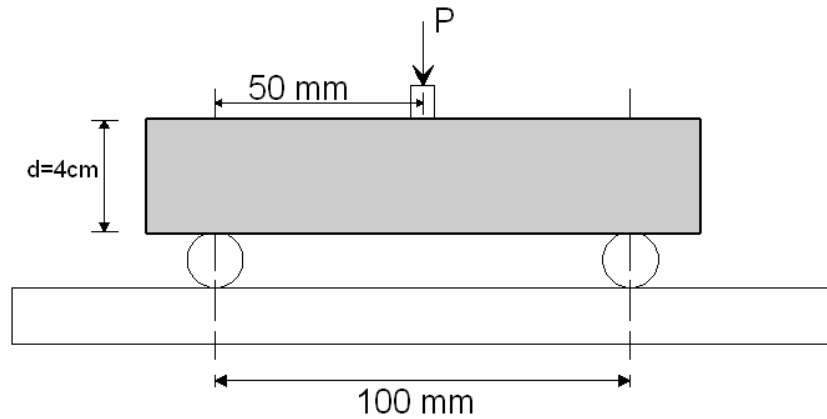
3.1.1.2.1.8.2. Mekanik Deneyler

Çimentoların basınç ve eğilme mukavemetlerinin saptanması için malzeme üzerinde mekanik deneyler uygulanır. Ancak bu deneyler, saf çimento hamuru üzerinde gerçekleştirilmez. Bu maksatla, çimentoya belirli bir miktar kum karıştırılarak elde edilen harca, basınç ve eğilme deneyleri uygulanır. Bu deneyler sonunda elde edilen basınç ve eğilme mukavemetleri harçta kullanılan çimentonun mekanik mukavemetleri olarak kabul edilir. İşte, çimentoların mekanik mukavemetlerini elde etmek için özel bir şekilde üretilen harca normal harç denilmektedir (Postacıoğlu 1986). Ülkemizde normal harç, bir çok yabancı ülkede benimsenen RİLEM-

Cembureau metoduna göre üretilmektedir. Bu yöntem TS 24 (1985)'de tarif edilmektedir. Buna göre, ağırlıkça 1 kısım çimento + 3 kısım standart kum + ½ kısım sudan oluşan (örneğin; 450 gr. çimentoya, 1350 gr. normal kum ve 225 gr. su katılması), özel olarak hazırlanan ve karıştırılan harç, uzunluğu 16 cm, genişliği ve yüksekliği 4'er cm olan kalıplara yerleştirilip deney gününe kadar bekletilmektedir.

3.1.1.2.1.8.2.1. Eğilmede Çekme

Hazırlanan 4 x 4 x 16 cm boyutlarına sahip en az üç prizmatik numune önce eğilmeye tabi tutulmaktadır. Bunun için, her numune birbirinden yaklaşık 150 mm uzaklıkta iki silindirik destek üzerine oturtulmakta ve bu silindirlerin arasına ve numune uzunluğunun tam ortasına gelecek şekilde, üst kısmına yerleştirilen bir silindir üzerine numune kırılıncaya kadar yükleme yapılmaktadır. Bulunan kırılma yükünden eğilme gerilmesi hesaplanabilmektedir.



Şekil 3.4. Eğilme deneyi

Eğilmede çekme gerilmesi, aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanır;

$$\sigma = 1,5 \frac{PL}{b^3}$$

P : Uygulanan kuvvet

L : Destek silindirleri arasındaki mesafe (15 cm)

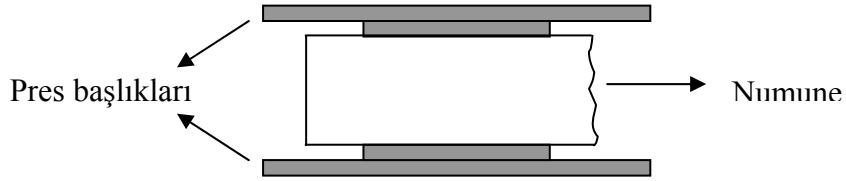
b : Numune kesitinin kenar uzunluğu (4 cm)

σ : Eğilme dayanımı

Üç numune için ayrı ayrı bulunan sonuçların ortalaması bulunarak eğilme dayanımı hesaplanır. Eğilme deneylerinde kullanılan prizmanın alt kısmı çekme gerilmelerine maruz kaldığı için, eğilme yükü uygulayarak bulunan gerilmeler “eğilmede çekme” dayanımı olarak ifade edilir(Erdoğan, 1995).

3.1.1.2.1.8.2.2. Basınç Deneyi

Bu üç adet prizmanın yaklaşık ortalarından kırılmalarıyla altı adet prizma şekilli yarım numune ortaya çıkmaktadır. Her yarım numune, 4 x 4 cm’lik metal kırma başlığı ile kırma presinde kırılır. Kırma başlıkları arasındaki yarım prizma, 4 cm x 4 cm x 4 cm’lik bir küp numune görevi görür.



Şekil 3.5. Basınç deneyi

Basınç dayanımı, aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanır.

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

P : Uygulanan kuvvet

A : Kesit alanı (16 cm²)

Altı adet prizmatik yarım numune üzerinde yapılan deneylerde ayrı ayrı bulunan sonuçların ortalaması hesaplanır ve basınç dayanımı olarak kullanılır.

Türk standartlarında daha önceleri aranan çimentoların eğilmede-çekme değerleri Standartların en son baskılarında artık aranmamaktadır. O nedenle, çimentoların eğilmede-çekme değerlerini hesaplama zorunluluğu ortadan kalkmıştır. Ancak basınç dayanımı için gereken numuneleri elde etmek için, eğilmede-çekme değerleri hesaplanmasa dahi, eğilme uygulayarak numuneleri ortadan ikiye bölme işleminin yapılması gereklidir.

3.1.1.3. Agregalar

Agregalar, beton yapımında çimento ve su ile birlikte kullanılan, kum, çakıl, kırmataş gibi taneli malzemelerdir. Beton hacminin yaklaşık %75'i agrega tarafından oluşturulmaktadır. Beton yapımında kullanılan temel malzemeler arasında en pahalı olan çimentodur. Agreganın maliyeti çimento maliyetine göre oldukça düşüktür. O nedenle, istenilen kalitedeki betonu elde edebilmek kaydıyla, betonda mümkün olduğu kadar çok miktarda agrega kullanılması, betonun daha ekonomik olmasına yol açmaktadır (Erdoğan, 2003).

Beton yapımında agrega kullanılmasının tek nedeni daha ekonomik beton üretmek değildir. Agrega betonun teknik özelliklerine de önemli katkılarda bulunmaktadır. Agreganın sağladığı teknik yararlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

Çimento hamuru zamanla kuruyarak büzülme gösteren bir malzemedir. Betonun içerisinde bulunan agrega taneleri, çimento hamurunun zamana bağlı olarak gösterebileceği hacim değişikliğinin serbestçe yer alabilmesini belirli ölçüde engellemektedir. O nedenle, sadece çimento hamurundan oluşmuş olan bir malzemeye oranla, betonun göstereceği hacim değişikliği, ve buna bağlı olarak yer alabilecek çatlaklar daha az olmaktadır.

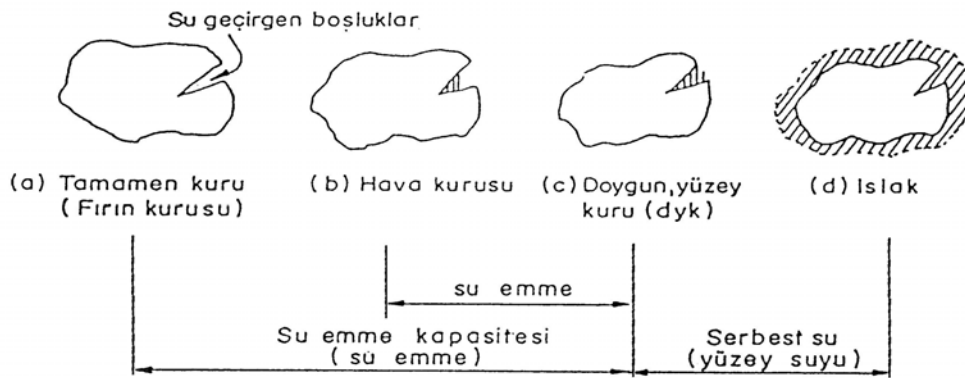
Beton yapımında kullanılan agregalar, genellikle, sert ve dayanımı oldukça yüksek olan malzemelerdir. Agrega dayanımının yüksek olması, beton dayanımının da yüksek olmasına katkıda bulunmaktadır. Sert ve dayanıklı agregalar, betonun aşınmaya karşı veya çevreden gelebilecek diğer yıpratıcı etkenlere karşı daha dayanıklı olabilmesine yardımcı olmaktadır (Erdoğan, 2003).

3.1.1.3.1. Agregada Rutubet Durumu

Agrega taneleri içerisinde iki tip boşluk bulunabilir. Bunlardan birisi, tane yüzeyinde ince çatlaklar şeklinde oluşmuş veya tane içerisinde olup da yüzeydeki boşluklarla bağlantılı olan “su geçirgen boşluklar”dır. Bu tür boşlukların içerisine su girip çıkabilir. Diğeri ise, agrega yapısından gelen, agrega taneleri içerisinde oluşmuş olan “su geçirmez boşluklar”dır. Bunlara su giremez.

Agrega tanelerinin, karşı karşıya kaldıkları ıslanma ve kuruma durumlarına göre, “su geçirgen boşluklar”ın içerisinde hiç su bulunmayacağı gibi, bu boşlukların içerisi kısmen veya tamamen su dolu da olabilir. Hatta, taneler suya doymun olup, tanelerin yüzeyi bir miktar su filmi ile kaplı da olabilir.

Agrega tanelerinden oluşan agregaya yığını, içerdiği su miktarına göre Şekil 3.6.’de gösterilen dört değişik durumundan birisine sahiptir. Bunlar; (a) agreganın içerisinde hiç su olmadığı tamamen kuru durum, (b) agreganın su geçirgen boşluklarının içerisinde bir miktar suyun olduğu hava kurusu durum, (c) su geçirgen boşluklarda tamamen su bulunduğu fakat agrega tane yüzeyinin kuru olduğu doymun-yüzey kuru durum, (d) su geçirgen boşlukların tamamen su ile dolu olduğu ve aynı zamanda tanelerin yüzeyinde bir miktar su filminin bulunduğu ıslak durum (ERDOĞAN 1995, NEVILLE ve BROOKS 1993).



Şekil 3.6. Agregada Rutubet Durumu

3.1.1.3.2. Birim Ağırlık

Birim ağırlık, belirli bir hacmi dolduran agreganın ağırlığıdır. Bu belirli hacim (V), tanelerin işgal ettiği gerçek hacim (V_a) ile taneler arası boşlukların toplam hacmi (V_b)'nin toplamıdır. Bu duruma göre şu formül yazılabilir:

$$V = V_a + V_b$$

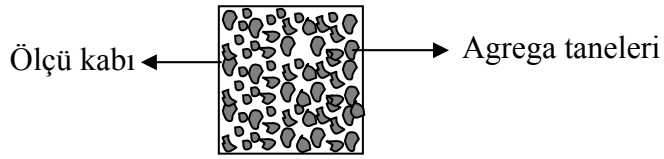
Bu tanımlara göre birim ağırlık, aşağıdaki formül yardımıyla elde edilir.

$$\Delta = \frac{P_a}{V}$$

Δ : Agreganın birim hacim ağırlığı

P_a : Agreganın ağırlığı

V : Ölçü kabının hacmi



Şekil 3.7. Birim ağırlığın belirlenmesi

Agregalarda birim ağırlık, gevşek veya sıkışık deney yöntemleri ile belirlenir. Gevşek birim ağırlığın belirlenmesinde; agregaya, ölçü kabına üstten serbest şekilde boşaltılarak doldurulur. Bu sırada agreganın sıkışmamasına ve ayrışmamasına özen gösterilmelidir.

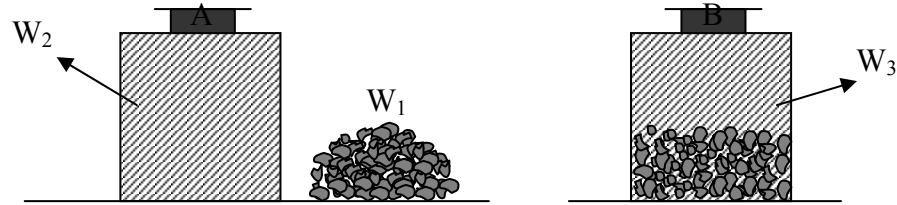
Sıkışık birim ağırlığının belirlenmesinde ise; agregaya, ölçü kabına, şişleme çubuğu ile sıkıştırılarak veya kaba, titreşim uygulayarak yerleştirilmelidir. Bu nedenle, agreganın birim ağırlık değerinin hangi koşullar altında belirlendiğinin ifade eden “kuru-gevşek”, “kuru-sıkışmış”, “nemli-gevşek”, “nemli-sıkışmış” gibi terimleri kullanmak gerekmektedir. Doğal olarak bir agreganın sıkışık birim ağırlığı değeri genelde 1,20 ile 1,80 kg/dm³ arasında değişir. Birim ağırlık değerleri, agreganın

granülometrisine, kusurlu malzemenin miktarına, yerleştirme şekline ve agreganın özgül ağırlığına bağlı olarak değişir.

3.1.1.3.3. Özgül Ağırlık

Özgül ağırlık, agreganın işgal ettiği gerçek birim hacmine isabet eden ağırlıktır (POSTACIOĞLU, 1986). Numunenin hacmi, tek tek agrega tanelerinin hacimlerinin toplamından oluşmaktadır. Bir başka deyişle, özgül ağırlığın hesabında, taneler arasındaki boşluk dikkate alınmaz.

Şekil 2.7.'de bir agregaya ait özgül ağırlığın nasıl belirlendiği gösterilmiştir. Şekil 3.8.A' da, agrega deney numunesi (w_1) ile ağzı cam kapakla kapatılmış içi su dolu ölçü kabı (w_2) tartılmaktadır. Şekil 3.8.B' de ise, agrega numunesi, ölçü kabı içine konulduktan sonra bir kez daha tartı yapılmaktadır (w_3). Cam kaba konulan agreganın gerçek hacmi kadar su miktarında azalma olduğu açıktır. Su miktarındaki azalma, $(w_1+w_2)-(w_3)$ kadardır. Bütün tartılar gram cinsinden yapıldığından bu büyüklük, cm^3 cinsinden (w_1) ağırlığındaki agreganın gerçek (mutlak) hacmini verir.



Şekil 3.8. Özgül ağırlığın belirlenmesi

Agreganın özgül ağırlığı (δ), en genel olarak aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanır.

$$\delta = \frac{w_1}{(w_1 + w_2 - w_3)}$$

Agreganın doymun-yüzey kuru haldeki özgül ağırlığı;

$$\delta = \frac{w_{dyk}}{(w_{dyk} + w_2 - w_3)}$$

Agreganın kuru haldeki özgül ağırlığı ise

$$\delta = \frac{w_k}{(w_k + w_2 - w_3)}$$

w_1 : Numunenin hava kurusu ağırlığı

w_{dyk} : Numunenin doymun-yüzey kuru ağırlığı

w_k : Numunenin etüv kurusu ağırlığı

w_2 : Su ile dolu ölçü kabı ağırlığı

w_3 : İçine numune konmuş su dolu kabın ağırlığıdır.

3.1.1.3.4. Kompasite

Herhangi bir agreganın birim ağırlığı (Δ) ve özgül ağırlığının (δ) bilinmesiyle, aynı zamanda bu agreganın kompasitesi, yani birim hacmindeki tanelerin işgal ettiği gerçek hacim belirlenmiş olur. Agreganın kompasitesi (k),

$$k = \Delta / \delta$$

ifadesiyle hesaplanır. Birim ağırlık daima özgül ağırlıktan küçük olduğuna göre, kompasite hep 1'den küçük değer alacaktır. Bu durumda, yığın halindeki agreganın birim hacmindeki boşluk (P), kompasiteyi 1'e tamamlayan değer olacaktır.

$$P = 1 - k$$

Beton içerisinde düşük kompasiteli agrega kullanılmasının bazı zararları vardır. Bunlar;

- Boşluk değeri yükseleceğinden betonun mukavemeti de düşük olur.
- Fazla çimento kullanılması gerekeceğinden maliyet artar.
- Betonun dış etkilere karşı dayanıklılığı (durabilite) azalır.

3.1.1.3.5. Tane Boyutu ve Dağılımı

Bir agrega yığını içerisindeki tanelerin, büyüklüklerine göre gösterdikleri dağılım oranına gradasyon (granülometri) denilmektedir. Agreganın gradasyonunun saptanmasında, agrega taneleri, büyüklüklerine göre, belirli gruplara ayrılır. Her boy grubundaki tanelerin toplam ağırlıkları bulunarak, bunların tüm agrega içerisinde ne oranda yer aldığı saptanır.

Gradasyon veya granülometri olarak isimlendirilen, agrega tanelerinin büyüklüklerine göre dağılım oranı, elek analizi adı verilen bir yöntemle bulunabilmektedir. TS 130 (1978) göz önüne alındığında, elek analizi deneyinde, 125 mm, 90 mm, 63 mm, 31,5 mm, 16 mm, 8 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm kare göz açıklıklı elekler kullanılır.



Şekil 3.9. Elek Analizi İçin kullanılan Elekler

Elek analizi yönteminde elekler, en büyük göz açıklıklı olan en üstte, daha küçük olan bir altta ve en küçük olan da en altta olacak şekilde yukarıdan aşağıya doğru dizilir. En küçük elekten geçebilecek agregayı da yerlere dökülmeden bir arada tutabilmek amacıyla, en küçük göz açıklıklı elekğin altına da delikleri olmayan bir kap (tava) yerleştirilir.

Değişmez ağırlığa kadar etüvde kurutulmuş ($110 + 5^{\circ}\text{C}$) agrega numunesi, en büyük elek üzerine yerleştirilir ve sağa-sola, yukarı-aşağı hareketle eleme işlemine başlanır. Eleme işlemi sonunda her elek üzerinde kalan agrega hassas olarak tartılarak her elek üzerinde ağırlıkça, yüzde ne kadar agrega kaldığı (veya her elekten yüzde ne kadar agrega geçtiği) hesaplanır. Böylece, değişik boy sınıflarındaki agrega miktarı, yani agreganın tane dağılımı belirlenir (TS 130 1978).

Bir agrega yığının gradasyonunu saptayabilmek amacıyla yapılacak olan elek analizinde, alınması gereken agrega numunelerinin miktarı, en büyük tane boyutuna göre belirlenir. Elek analizinde kullanılmak üzere, alınması gereken minimum malzeme miktarları hakkında detaylı bilgi TS 707 (1980)'de yer almaktadır.

Daha kolay görülebilmesi için yüzde olarak ifade edilen elek analizi sonuçları, genellikle yarı logaritmik bir grafik üzerinde eğri şeklinde gösterilir. Böyle bir grafikte, elek boyutları yatay eksen üzerinde, agrega yüzdeleri de düşey eksen üzerinde gösterilir.

Gradasyon eğrisinden, o numunenin ince agrega miktarını veya herhangi boy sınıfına dahil agrega miktarını kolayca saptayabilmek mümkündür. Birbirini izleyen iki elek numarasına karşı gelen % ordinatları farkı, agrega yığnında o iki elek arasında kalan malzeme yüzdesini verir. Gradasyon eğrisinin, %100 çizgisine yakın olması, karışımın ince olduğunu, %0 çizgisine yakın olması ise agreganın iri tanelerden oluştuğunu ifade eder. Eğer eğride yatay bir çizgi varsa, bu yatay çizgiye karşı gelen elekler arasında tane yok demektir. Bu tür bir granülometriye sahip agregalara "kesikli (süreksiz)" granülometrilik agregalar denir (ÖZKUL ve ark. 1999).

Agrega gradasyonunun beton karışımında yer alacak malzeme oranları üzerinde önemli etkisi bulunmaktadır. Ayrıca agrega gradasyonu, taze betonun işlenebilirliğini de etkilediğinden, istenilen bir kıvama sahip beton elde edebilmek için

kullanılacak karma suyu miktarını da değiştirmektedir. Buna bağlı olarak su-imento oranı etkilenmekte, su-imento oranı ve malzeme oranları etkilenen bir betonun da hemen hemen bütün özellikleri etkilenmektedir. Kısacası gradasyon, taze betonun işlenebilme ve sertleşmiş betonun dayanım, durabilite, birim ağırlık, büzülme gibi önemli özelliklerini etkilemektedir. TS 706 (1980)-Beton Agregaları isimli standartta, tane dağılım oranlarının hangi sınırlar içinde olması gerektiği verilmektedir. En büyük tane boyutuna göre belirlenen agrega dağılım oranlarının yer alabileceği alt ve üst sınırlar, gradasyon eğrileri ile gösterilmiştir. Kullanılacak agreganın tane dağılımı, A ve B eğrileri içerisinde ise, agreganın gradasyonu “ok iyi”, B ve C eğrileri arasında ise de “kullanılabilir” olarak tanımlanır.

3.1.1.3.6. Agregada Aşınma Dayanımı (Los-Angeles Deneyi)

Bu deney genel olarak agregalar üzerinde uygulanmaktadır. Ancak betonun durabilitesinin yüksek olduğu betonlarda aşınmasının düşük olacağı kanaatiyle, bize fikir vermesi amacıyla bu deneyi yaptık.

Bu deneyde aşınmaya maruz bırakılan numuneler eğilmede çekme deneyin de kullanılan numuneler olmuştur.

Beton yüzeyinin aşınmaya maruz kalacağı durumlarda, aşınmaya dayanıklı olması istenir. zerinde insan trafiği (ayakların sürtünmesi), hafif veya kayarak sürtünmenin olabileceği kaldırım ve döşeme betonları, üzerinde ağır trafik bulunan kamyon ve otomobillerin hareket ettiği beton yollar, su kuvvetiyle sürtünmeye maruz barajlardaki, dolu savak tnellerindeki ve su taşıyan sistemlerdeki betonlar hep aşınmaya maruzdur. İşte, bu betonlarda aşınma mukavemetlerinin, belirli değerlerden az olmaması gereklidir.

Bu yönteme göre, içerisinde dökme demir veya çelikten bilyeler bulunan silindirik bir tamburun içerisine, deney yapılmak istenen iri agrega numunesi yerleştirilir. Tamburun penceresini örten kapak sıkıca kapatıldıktan sonra hızı dakikada 30-33 dönüş olacak şekilde 100 dönüş yaptırılır. Aygıt durdurulur. Deney numunesi dışarıya alınarak 1,4 mm göz açıklıklı elekten elenir. Eleği geçen kısım aşınmış olarak kabul edilir ve bu aşınmış kısım tartılır. Elekten geçen ve elek üzerinde kalan agrega birleştirilerek tekrar tambura koyulur ve ilk 100 dönüşe ek olarak 400 dönüş daha

yaptırılır. Aygıt durdurulduktan sonra, deney numunesi tekrar dışarıya alınarak 1,4 mm göz açıklıklı elekten tekrar elenir. Elekten geçen agrega bir kez daha tartılır.

Agregranın aşınma direnci, bilyeli tamburlu aşındırma aletine konan agregranın 100 ve 500 dönüş sonrasında 1,4 mm göz açıklıklı elekten geçen kısmının, toplam numune ağırlığının yüzdesi olarak hesap edilmesi ile belirlenir.

$$a_1 = \frac{W_2}{W_1} \times 100$$

$$a_2 = \frac{W_3}{W_1} \times 100$$

a_1 : 100 dönüş sonu aşınma oranı (%)

a_2 : 500 dönüş sonu aşınma oranı (%)

W_1 : Numunenin deney öncesi etüv kurusu ağırlığı (gr)

W_2 : Numunenin 100 dönüş sonunda aşınan kısmının ağırlığı (gr)

W_3 : Numunenin 500 dönüş sonunda aşınan kısmının ağırlığı (gr)

TS 706 (1980)'ya göre agregaların aşınma miktarı, 100 devir sonunda %10'dan ve 500 devir sonunda %50'den fazla olmamalıdır. Aşınma dayanıklılığı deneyi sadece iri agregalar üzerinde yapılmaktadır.

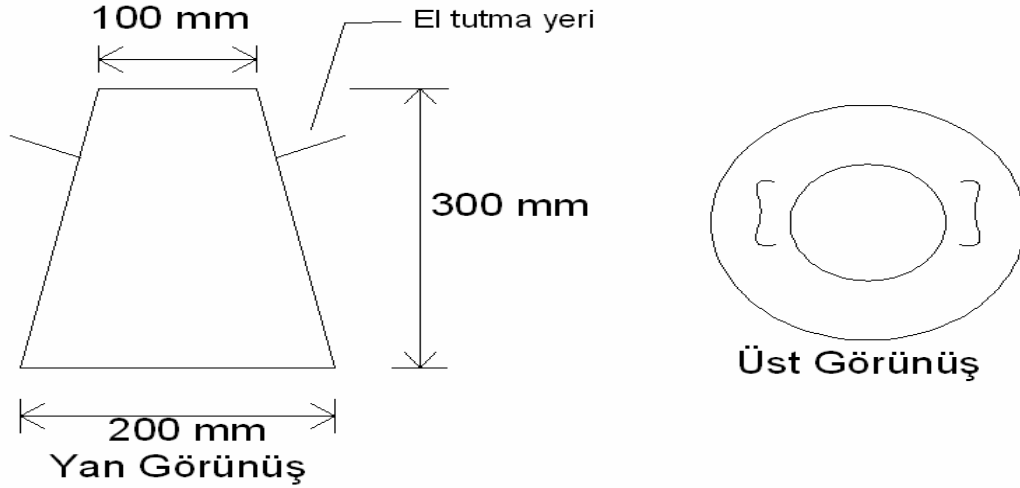
3.1.1.4. Beton Deneyleri

Hazırlanan beton karışımlarına taze ve sertleşmiş olmak üzere çeşitli deneyler uygulanmıştır. Hazırlanan beton numuneleri içerikleri ve malzemenin özellikleri ile deneylerin nasıl uygulanacağı tezde ayrıca sunulmaktadır.

3.1.1.4.1. Taze Beton Deneyleri

3.1.1.4.1.1. Slump (Çökme) Deneyi

Bu deneyin amacı betonun işlenebilirliğini test etme amaçlıdır. Betonun işlenebilme özelliğini öğrenme amaçlı çeşitli deneyler yapılmaktadır. İnşaat sektöründe ve bilimsel çalışmalarda da çok uygulanan bir deneydir.

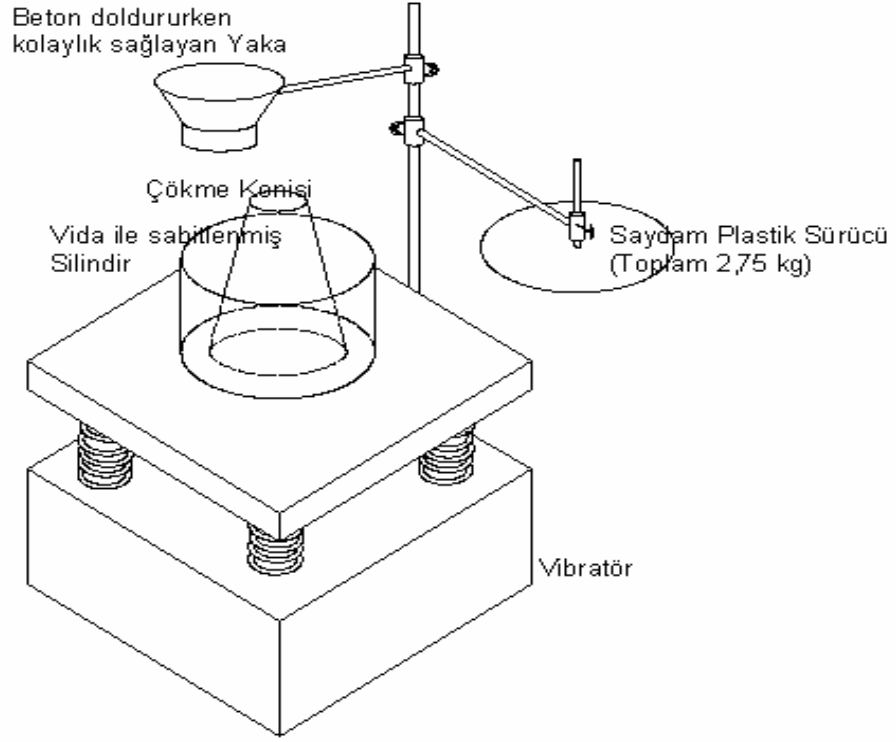


Şekil 3.10. Slump (Çökme) Deneyi

Yapılan deneyde şekil 3.10'te de ölçüleri verilen kesik huninin içine beton üç kademede ve her kademesinde 25 defa şişlenerek doldurulur. Şişlenerek betonun tam sıkışması sağlanmalıdır. Betonun üst kısmı düzeltildikten sonra, slump hunisi yavaşça yukarı doğru çekilir. Kullanılan şiş yardımıyla çökme miktarı tespit edilir.

3.1.1.4.1.2. Ve-Be Deneyi

Ve-Be deneyi taze betonun işlenebilirliğini öğrenmek amaçlı kullanılmaktadır. Slump deneyinde kullandığımız slump konisi burada da kullanılmaktadır. Şekil 3.11 da görüldüğü gibi çökme konisine aynı slump deneyinde uygulandığı şekilde taze beton doldurulur. Tam dolduktan sonra koni yavaşça çıkarılır. Saydam plastik sürücü taze betona yavaşça bırakılır. Kronometre ayarlanarak titreşimin başlangıcıyla süre başlatılır. Bir yandan süre takip edilirken bir yandan da şeffaf plastik sürücü takip edilir. Şeffaf plastik sürücünün yüzeyi tamamıyla çimento şerbeti ile kaplandığında kronometre durdurulur.



Şekil 3.11. Ve-Be Deneyi

Titreşimin başlangıcından bittiği zamana kadar geçen süreye Ve-Be süresi denir.

3.1.1.4.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri

3.1.1.4.2.1. Basınç Dayanımı

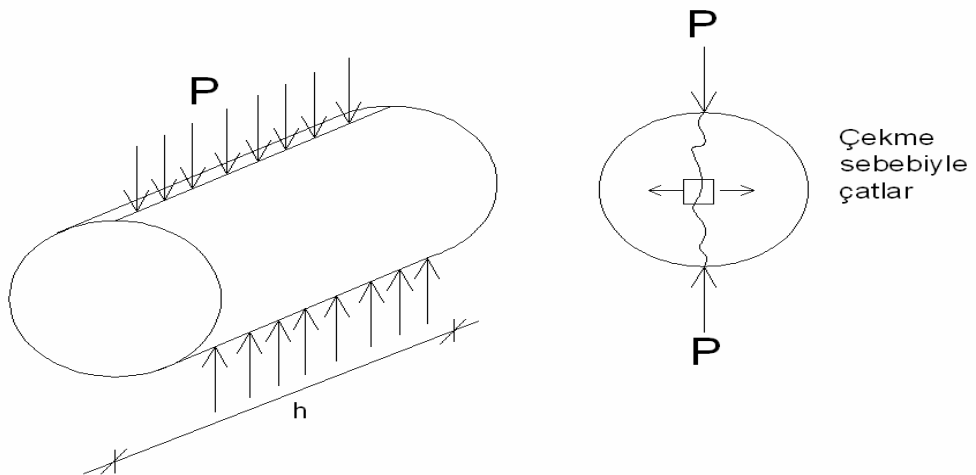
Bu deneyde 15x15x15 cm boyutlarındaki beton küp numuneleri pres üzerinde test edilerek dayanımların ölçülmesi amaçlanmıştır.



Şekil 3.12. Pres

3.1.1.4.2.2. Silindir Yarma Deneyi

Silindir yarma deneyi 15 cm çaplı ve 30 cm boyunda silindirden oluşur. Bu numune deney gününe kadar kürde bekler. Silindir prese yan yerleştirilir. Presin uyguladığı basınç silindir numunede çekme gerilmesi oluşturarak silindirin çekmeye karşı dayanımını belirler.



Şekil 3.13. Silindir Yarma Deneyi

$$R=15 \text{ cm ,}h=30 \text{ cm } \sigma = \frac{2.P}{\pi.h.R}$$

3.2. Puzolanlar ve Çok İnce Öğütülmüş Diğer Mineral Katkılar

3.2.1. Giriş

Mineral katkılar çok ince öğütülmüş olup, karışımdan önce ya da karışım esnasında beton bileşimine ilave edilen ayrı bir bileşendir. Çok fazla sayıda malzeme mineral katkı olarak kullanılmaktadır. Örneğin;

- 1- Kömür yakarak elektrik üreten santrallerden elde edilen ince taneli küller gibi atık ya da endüstriyel yan ürünler veya demir ve diğer metallerin üretiminden elde edilen cüruflar.
- 2- Volkanik tüf, volkanik cam, diatomik toprak ve çeşitli kaya tozları gibi doğal malzemeler.
- 3- Pişirilmiş kil ve şeyl gibi ısıl işlemden geçirilmiş doğal malzemeler.
- 4- Doğal çimentolar ve su kireci gibi bağlayıcı malzemeler.

İncelikleri normal Portland çimentosu kadar yüksek olan mineral katkılar toz halinde kullanılır. Bu katkılar, böylece Portland çimentosunun hidrasyonu sırasında Portland çimento hamuruna ek olarak hamur oluşturarak işlenebilirliği arttırmak vs gibi beton karışımının özelliğini değiştirir. Mineral katkılar beton içerisinde kullanılırken çimentonun ya da ince agreganın bir miktarının yerine konmak sureti ile kullanılırlar(Erdoğan, 1997).

Mineral katkılar taze ve katılaşmış betonun bir çok özelliklerini etkileyebilir. Taze ya da plastik durumdaki beton için, karışım oranları, su ihtiyacı, priz karakteristikleri, işlenebilirlik, kanama ve hidrasyon ısısı gibi özellikler mineral katkı ilavesi ile etkilenebilecek özelliklerdir.

Katılaşmış haldeki beton için, dayanım kazanma hızı, son dayanım, geçirgenlik, durabilite, donmaya karşı dayanıklılık, sülfat atağı, alkali-silika reaksiyonu, karbonatlaşma ve termal çatlaklara karşı dayanım gibi özellikler, mineral katkı kullanımı ile oldukça etkilenebilecek özelliklerdir.

Mineral katkının beton özelliklerinin üzerinde olan etkisi, yalnızca katkı malzemesinin fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı değildir. Beton yapımında kullanıldığı miktara da bağlıdır.

Çok ince öğütülmüş mineral katkıların üretimi ya çok pahalı değildir ya da bu maddeler birer yan üründür. Böylece mineral katkıların kullanımı, beton üretiminde oldukça tasarruf sağlar. Çok büyük hacimlerde endüstriyel atıkların Portland çimentosu ile kısmi olarak yer değiştirilmesi sureti ile kullanımı, enerji ve doğal kaynakların korunmasına da yardımcı olacaktır.

Kömür yakan elektrik santrallerinden elde edilen uçucu kül ve demir üretiminden elde edilen cüruf ve kolemanit konsantratör atığı gibi endüstriyel yan ürünlerin yıllık üretimi çok büyük değerleri bulmaktadır. Örneğin dünyada 1990'larda elde edilen uçucu külün miktarının yılda 500.000.000 ton'dan fazla olduğu tahmin edilmektedir. Çok büyük olan bu yan ürün hacimleri çeşitli çevresel problemler oluşturmaktadır. Uygun mineral katkı olarak endüstriyel yan ürünlerin veya atıkların kullanımı sadece betonun mühendislik özelliklerini iyileştirmemektedir, bunun yanı sıra çevresel problemlerin azalmasına da katkıda bulunmaktadır.

3.2.2. İnce Öğütülmüş Mineral Katkıların Sınıflandırılması

İnce öğütülmüş mineral katkıları 3 genel tip içinde sınıflandırılabilirler:

- 1- Puzolanik malzemeler ya da ilave bağlayıcı özelliğe sahip fakat esas olarak puzolanik malzemeler
- 2- Bağlayıcı özelliği olan malzemeler
- 3- Diğerleri

Beton için yaygın olarak kullanılan mineral katkıları genellikle puzolanik olanlardır. Bazen bu puzolanik malzemeler puzolanik olmalarının yanı sıra kendileri de bağlayıcı özelliğe sahiptirler. Bağlayıcı özelliği olan mineral katkıların kullanımı, bazı kaya tozları gibi puzolanik malzemelerin kullanımından çok daha azdır. Bu nedenle ilerideki kısımlarda tartışma, genel olarak, yukarıdaki sınıflandırmanın birinci grubundaki puzolanik malzemeler üzerinde yoğunlaştırılacaktır.

3.2.3. Puzolanik Malzemeler

3.2.3.1 Puzolanların Tanımı

ASTM C 125(1994) ve ASTM C 618 (1994)'e göre puzolanlar, silisli ya da silisli ve alüminli malzemeler olup çok az ya da hiç bağlayıcı değeri olmayan; fakat ince öğütülmüş durumda ve nemin bulunduğu ortamda, kalsiyum hidroksitle normal sıcaklıkta kimyasal olarak reaksiyona girerek bağlayıcı özelliğe sahip bileşen oluşturan malzemedir. Esas oksitleri olan silis ve alümine ilave olarak puzolanların kimyasal yapısında demiroksit, kalsiyumoksit (CaO), alkali ve karbon bulunmaktadır. Bu maddelerin miktarları ise puzolanların elde edildiği kaynağa göre değişmektedir.

Volkanik küller, tüfler (tras), camlar, pomzalar, pomzamsılar, pişirilmiş kil ve şeyller, diyatomik topraklar, toz edilmiş taş kömürünün yakılmasıyla elektrik üreten santrallerden elde edilen uçucu küller, silikon metal ya da alaşımlarının elde edilmesinden yan ürün olarak meydana çıkan silika dumanı ve prinç kabuğunun (çeltik) yanmasından elde edilen küller, puzolanik karakteristik gösteren malzemeler olarak bilinirler.

Linyit kömürünün ya da alt bitümlük kömürün yanmasından elde edilen bazı uçucu küller puzolanik özelliklerine ilave olarak bir miktar çimentosal bağlayıcılık karakteri gösterirler. Demir üretiminden elde edilen ve hızlıca soğutulup ince taneli hale getirilen cüruf da bağlayıcılık özelliğine ilave olarak puzolanik malzeme gibi davranır. Bu malzemelerin bağlayıcı özellik göstermesinin sebebi ise, kimyasal bileşimlerindeki kalsiyumoksit miktarının yüksek olmasıdır.

2000 yıl önce eski Romalılar İtalya'nın Puzoli şehrindeki volkanik topraklar ile kirecin karışımından hidrolik bağlayıcı elde ettikleri için puzolan kelimesi bu ikisinin arasındaki kimyasal tepkime için kullanılmaktadır.

3.2.3.2. Puzolanik Malzemelerin Tipleri

Puzolanlar genellikle aşağıdaki gibi gruplandırılırlar;

- 1- **Doğal Puzolanlar-** Volkanik küller, camlar, tüfler, pişirilmiş killer ve şeyller, diatomik topraklar gibi doğal olarak bulunan malzemeler,
- 2- **Yapay Puzolanlar-** Uçucu kül, silika dumanı ve daneli cüruf gibi endüstriyel yan ürünlerdir (Erdoğan, 2003).

3.2.3.3. Puzolanik Reaksiyon

İnce öğütülmüş puzolanlar nemin bulunduğu ortamda kalsiyum hidroksitle bir araya getirildiğinde normal sıcaklıklarda bazı kimyasal reaksiyonlar yer almaya başlar.

Kireç puzolan reaksiyonunun esas ürünü kalsiyum-silika-hidratedir. Kireç puzolan reaksiyonunun C-S-H haricinde diğer ürünleri ise kalsiyum-alimüne-hidrate, hidrate olmuş gehlenit, kalsiyum karbo alimünat, kalsiyum alimüna monosülfat ve etrengittir (Erdoğan, 1997). Sonuç olarak, hidrolik bağlayıcı özelliği olan kimyasal bir bileşik meydana gelir. Nemli ortamda, ince öğütülmüş puzolanın silikası ile kalsiyum hidroksitin arasında oluşan kimyasal reaksiyon basitçe aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$CH+S+H \rightarrow C-S-H$ (kalsiyum silika hidrate). Bu reaksiyon yavaş bir reaksiyondur.

Çimento kimyasında $C=CaO$, $H=H_2O$, $S=SiO_2$ bu kimyasal reaksiyon sonucu C-S-H oluşur ve bu madde bağlayıcı özelliğe sahiptir.

3.2.3.4 Puzolanik Malzemelerin Kullanımı

İnce öğütülmüş bir puzolan bağlayıcılık özelliğinden faydalanmak üzere üç değişik şekilde kullanılır.

- 1- Direkt olarak- Kalsiyum hidroksitle karıştırılarak
- 2- Katkılı çimentoların üretiminde katkı olarak (Portland puzolan çimentoları gibi)- Üretim sırasında çimento fabrikalarında Portland çimentosu klinkeri ile birlikte öğütülerek.
- 3- Doğrudan beton karışımına ilave olarak - karışım sırasında ya da karışım operasyonundan önce puzolanı karışıma bir bileşen gibi ilave etme yolu ile.

Puzolanların kalsiyum hidroksitle direkt olarak karıştırılması yaygın bir uygulama değildir. Ancak çok eski zamanlarda bu yol yaygın olarak kullanılmıştır. Yol alt temeli ya da diğer bazı uygulamalarda kireç puzolan karışımı hala kullanılmaktadır. Diğer taraftan ikinci ve üçüncü şekil yaygın olarak kullanılmaktadır.

Puzolan ister Portland puzolan çimentosu olarak ister beton karışımının bir ilave malzemesi olarak kullanılsın, Portland çimentosunun kalsiyum-silikat bileşiklerinin hidratasyonu sırasında ortaya çıkan kalsiyum hidroksitle reaksiyona girer. Bilindiği gibi Portland çimentosunun bileşikleri olan C_3S ve C_2S 'nin hidratasyonu sonucunda C-S-H jelleri ile kalsiyum hidroksit oluşur. İnce öğütülmüş puzolan, Portland çimentosunun hidratasyonu sonucunda meydana çıkan kalsiyum hidroksitle reaksiyona girer. Bu reaksiyon sonucunda bağlayıcı özelliği olan fazladan C-S-H cevheri ortaya çıkmış olur.

3.2.3.5 Doğal ve Yapay Puzolanlar İçin Deney Metodları

ASTM C 311 (1994) doğal puzolanların ve uçucu küllerin Portland çimentosu betonunda kullanılabilmesi için yapılması gereken deneylerin ve örnek almanın nasıl yürütüleceğini kapsamaktadır.

Yukarıda bahsedilen benzer deneyleri doğal puzolanlar, uçucu küller ve puzolanik katkı için TS 25 (1975) ve TS 639 (1975) da kapsamaktadır.

3.2.3.6. Doğal ve Yapay Puzolanların Betona Mineral Katkı Olarak Uygunlukları

Puzolanların kalsiyum hidroksitle olan reaksiyonları kendilerinin kimyasal ve fiziksel özelliklerine bağlıdır.

ASTM C 618 (1994), doğal ve yapay puzolanların betonda mineral katkı olarak kullanılabilmeleri için sahip olmaları gereken kimyasal ve fiziksel özellikleri kapsar.

3.2.4 Bağlayıcı Malzemeler Olarak İnce Öğütülmüş Mineral Katkılar

Bağlayıcı malzemeler, su ile karıştırıldıktan sonra hidratasyona uğradıklarında bağlayabilme özelliği kazanan malzemelerdir. Beton için mineral katkı olarak

kullanılan bağlayıcı malzemelerin türleri; su kireci, cüruf çimentosu, pişirilmiş kille karıştırılan kireçtir. Bağlayıcı özelliği olan su kirecinin beton katkısı olarak kullanımı çok yaygın değildir.

3.2.4.1.Su Kireci

Bu malzemeler silisli ya da killi kireç taşlarının yakılması ile elde edilir. Yanmadan sonra geriye kalan klinker içinde bulunan kireç ve silikat ya da silis bu malzemeye hidrolik bağlayıcı özelliği verir. Su kireci 900-1000°C’de pişirmeye tabi tutulur. Bu kireç su altı yapılarında kullanılmak için uygun değildir. Çok uzun sürede priz alır. Dayanım kazanması ise doğal çimento ve Portland çimentosuna göre çok düşüktür.

3.2.4.2. Duvar Harcı Çimentosu

Bu hidrolik çimento Portland çimentosunun ya da katkılı çimentolar ve kireç taşı gibi plastiklik veren malzemelerin bir karışımından oluşmaktadır. Hidrate olmuş kireç ya da su kireci karışımının priz zamanı, işlenebilme, su tutma ve durabilite özelliklerini iyileştirmek için karışıma katılır. Bu tür çimentolar genellikle duvar örmeye bağlayıcı harç yapımında kullanılır.

3.2.4.3.Cüruf Çimentosu

Bu hidrolik çimento, öğütülmüş cüruf ve portland çimentosunun ya da cüruf ve yanmış kirecin veya cüruf Portland çimentosu ve yanmış kirecin karışımından oluşur. Burada cüruf %70 oranındadır. Cüruf çimentosunun beton içinde katkı malzemesi olarak kullanılması betonun işlenebilirliğini, priz zamanını, hidrasyon ısısını ve diğer bir çok özelliklerini etkiler.

3.2.5. İnce Öğütülmüş Diğer Mineral Katkılar

Hem bağlayıcı özelliği olan hem de puzolanik olmayan ya da çok az aktif olan mineral malzemeler bu grubu oluştururlar. İnce öğütülmüş quarz ve silis kumu, dolomitik ve kalsitik kireç taşları ve mermer, granit ve diğer kaya tozları, hidrate olmuş dolomitik kireç bu katkı maddelerinin içine girmektedir. Bu maddeler genelde taze betonun işlenebilirliğini iyileştirmek için kullanılır. Bu malzemeler ince elemanı az olan betonlarda da kullanılır. Örneğin, iri gradasyona sahip olan kum ile yapılan beton ya da çimento miktarı az olan betonlarda kullanılabilir.

Bu maddelerin beton dayanımına etkisi çok düşüktür. Bu maddeler genelde taze betonda işlenebilirliği iyileştirmek, kanamayı azaltmak için kullanılır.

Portland çimentosu üreten fabrikaların fırınlarında tutucular tarafından yakalanan atık madde olan fırın tozları da ince öğütülmüş hem bağlayıcı hem de puzolanik özelliği olmayan gruba girmektedir. Bu atık madde çok zayıf bağlayıcılığa ve puzolanik özelliğe sahiptir ve oldukça alkalın olup, serbest kireç ve sülfata sahiptir. İçeriğinin kompozisyonu, elde edilen kaynağa ve yanma tekniğine bağlı olmak üzere değişir. Bu maddeler özellikle duvarcılıkta ve harç yapımında kullanılır. Cüruf yada uçucu kül içeren bağlayıcı malzemeler ile birlikte kullanılır. İçerisindeki alkaliler puzolanik malzemelerin reaksiyonunu hızlandırır.

3.2.6 İnce Öğütülmüş Mineral Katkılarının Kullanım Amacı

İnce öğütülmüş mineral katkıları genellikle karışımdaki çimentonun bir miktarı ya da ince agreganın bir miktarı ile yer değiştirme sureti ile kullanılır. Bu malzemeler, betonda işlenebilirliği ve bitirilebilmeyi (perdahlama) iyileştirmek (eğer karışım içindeki ince malzeme miktarı yeterli değilse), kanamayı ve ayrışmayı (segregasyon) azaltmak, hidrasyon ısısını azaltmak, alkali-silis reaksiyonu sonucu meydana gelen genişlemeyi azaltmak, geçirgenliği azaltmak, nihai dayanımı arttırmak, sülfata karşı dayanıklılığı arttırmak (deniz suyu, sülfatlı zeminlerin ve doğal asitli suların etkili saldırılarına olan dayanımı) ve beton yapım maliyetini ve betonlama işleminin masraflarını azaltmak amacıyla kullanılırlar.

Katkı malzemesinin tipine göre Portland çimentosunun %10'u ile %40'ı arasındaki bir kısmı yer değiştirilir. Bu oran kullanım amacına göre ayarlanır. Belli bir mineral katkının beton özelliklerine olan etkisi o katkının inceliğine, bileşimine ve kullanıldığı miktarına bağlıdır.

3.3. Bor

3.3.1. Giriş

Bor, periyodik tabloda III A grubunda yer alan, B simgesi ile gösterilen, atom numarası 5 atom ağırlığı 10,81 olan, iki kararlı izotop; B¹⁰ (% 19,8) ve B¹¹ (%80,2)' den oluşan, metalle ametal arası yarı iletken özelliğe sahip bir elementtir. Tabiatta hiçbir zaman serbest halde bulunmaz. Yer kabuğunda ortalama 10 ppm denizlerde ortalama 4,6 ppm bor bulunmaktadır. Doğada yaklaşık 230 çeşit bor minerali olduğu bilinmektedir(ALTUN, 2005).

Borun çeşitli metal veya ametal elementlerle yaptığı bileşiklerin gösterdiği farklı özellikler, bor bileşiklerinin birçok endüstride kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Bor, bileşiklerinde metal dışı bileşikler gibi davranır, ancak farklı olarak saf bor , görünüm ve optik özellikleri açısından elmasa benzer ve neredeyse elmas kadar serttir(ALTUN, 2005).

3.3.2. Bor Ürünleri

3.3.2.1. Tabii Boratlar

Borların sınıflandırılmasında tabii boratlar olarak adlandırılanlar, Tinkal, Kolemanit ve Üleksittir. Bunlar aynı zamanda doğada en çok bulunan bor bileşikleridir.

3.3.2.2. Rafine Boratlar

Rafine boratlar ise tabii boratların rafinasyonu yada kimyasal reaksiyonu ile elde edilen

*boraks pentahidrat,

*boraks dekahidrat,

*susuz boraks,

*borik asit

*sodyum perbolat

gibi rafine bor ürünlerini ifade etmek üzere kullanılmaktadır.

3.3.2.3. Özel Bor Kimyasalları

Özel bor kimyasallarını oluşturan ürünler ise

*Elementer bor

*Bor karbür

*Bor nitür

*Bor halürler

*İnorganik boratlar

*Fluoroboratlar

*Borik asit esterleri

*Bor hidridler

*Organobor bileşikleri

*Bor-Azot bileşikleri

Ayrıca bu ürünlerin kullanım alanları ile ilgili olarak düzenlenen bir tabloda;

*Sodyum borhidür

*Çinko borat

*Bortriklorür

*Bortriflorür

*Trimetilborat

*Fluoborikasit ürünleri yer almaktadır.

Bunun dışında ülkemizde zaman zaman kullanılmakta olan bor uç ürünü yada ileri bor ürünü tanımlamasına uyan bir tanıma rastlanmamaktadır. Ülkemizde bu tanımlama; bor karbür, bor nitrür, çinko borat v.b. ürünler için yapılırken, bor katkılı ürünler, örneğin; fiberglas içinde yapılabilmektedir(ALTUN, 2005).

3.3.2.4. Bor Türevleri

*Element bor

*Bor halürler

*İnorganik boratlar

*Fluoroboratlar

*Borik asit esterleri

*Refrakter bor bileşikleri

*Bor hidridler, boranlar ve organobor bileşikleri

*Bor hidrürler

*Boranlar

*Organobor bileşikleri olarak tanımlanmaktadır.

3.3.3. Bor Ürünlerinin Kullanım Alanları

Bor kullanım alanları bu bölümde daha ayrıntılı sunulacaktır. Bor mineralleri ve bileşikleri çok çeşitli endüstri dallarında çok farklı malzeme ve ürünlerin üretiminde kullanılmaktadır. Başlıca kullanım alanları;

a) Cam Endüstrisi

Boro silikat camları, izolasyon cam elyafı, tekstil cam elyafı, alümina boro silikat camları, optik lifler, cam seramikleri

b) Emaye ve Sır

c) Yangına dirençli malzemeler

Selülozik izolasyon malzemeleri, plastikler, tekstil

d) Sabun ve deterjanlar (Beyazlatıcı ve parlaticı olarak)

e) Kağıt hamuru (Beyazlatıcı olarak)

f) Gübre ve tarımsal ilaçlar

g) Metalurji

h) Manyetik malzemeler

i) Nükleer uygulamalar

j) Diğer uygulamalar

Çizelge 3.4. Bor un kullanıldığı sektörler

ÜRÜN	KULLANIM ALANLARI
Kalsiyum borat minerali (kolemit)	Tekstil cam elyafı Boron alaşımları Metalurjik Flux
Sodyum borat mineralleri (üleksit ve probertite)	İzolasyon cam elyafı Borosilikat camları
Borik asit	*Antiseptikler *Bor alaşımları *Nükleer endüstri *Yangına dirençli malzemeler *Naylon *Fotoğrafçılık *Tekstil *Gübre *Emaye ve sır *Katalistler *Cam *Cam elyafı
Susuz boraks	*Gübre *Cam *Cam elyafı *Metalurjik fluks *Emaye ve sır *Yangına dayanıklı malzeme
Sodyum perborat	*Deterjan ve beyazlatıcılar *Dezenfekte ediciler *Tekstil apreleme
Sodyum metaborat	*Yapıştırıcılar *Deterjanlar *Bitki öldürücüler *Fotoğrafçılık *Tekstil apreleme
Sodyum pentaborat	*Yangına dirençli malzeme *Gübreler
Boraks dekahidrat Boraks pentahidrat	*Yapıştırıcılar *Çimento *Korozyon önleyiciler *İlaç ve kozmetik *Elektrolitik rafinasyon *Yangına dirençli malzeme *Cam *Cam elyafı *Bitki öldürücüler *Böcek öldürücüler *Deri renklendirici *Tekstil apreleme

3.3.4. İnşaat Sektörü ve Bor

Bor ürünleri inşaat sektöründe de yaygın olarak kullanılmaktadır. Çeşitli inşaat malzemelerinde bor katkısı;

- Malzemenin yıpranmasını ve çürümesini önleme,
- Malzeme üzerinde zamanla oluşan lekelenmelere ve renk vermeye karşı koruyucu etki,
- Haşarelere karşı koruyucu,
- Suya karşı direnç,
- Alev geciktirici,
- Isı ve ses izolasyonu gibi özellikler sağlar.

İnşaat sektöründe bor kullanılan alanlardan biride çimento sektörüdür. Çimento üretiminde klinker üretim aşamasında B_2O_3 katkısının pişirme sıcaklığını düşürerek enerji tasarrufu sağladığı ayrıca yine B_2O_3 katkısının prizlenme süresini uzattığı bilinmektedir. Bunun dışında bor ürünlerinin kullanıldığı inşaat malzemeleri çatı ve bina kaplamaları ve selülozik izolasyondur. Son yıllarda, shingle olarak adlandırılan çatı kaplama malzemelerinin tüketiminde önemli bir artış gözlenmektedir. Özellikle ahşap binalarda ses ve ısı izolasyonu amacı ile kullanılan ve kullanılmış gazete kağıtlarının boraks- borik asit ile karşılaştırılması ile elde edilen selülozik izolasyon malzemeleri de gerek üretim maliyetinin düşüklüğü gerekse uygulama kolaylığı açısından özellikle ahşap yapılarda önemli bir tüketim alanı bulmaktadır(ALTUN, 2005).

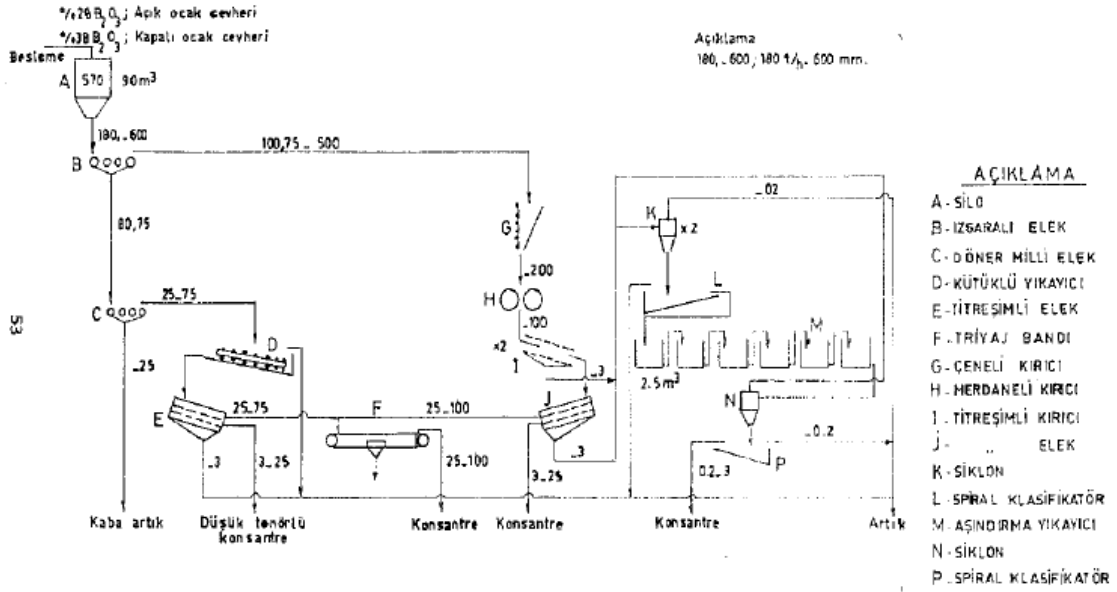
Dünya bor tüketiminin önemli bir bölümü seramik sektöründedir. Ham ve rafine bor ürünleri seramik sektöründe sır ve frit üretiminde katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Bor kullanımı; sıran kırınım değerini yükselterek parlaklığını artırmak, viskozite ve yüzey gerilimini düşürerek pürüzsüz bir yüzey oluşumunu sağlamak, mekanik gücünü ve çizilme direncini artırmak, yüzeyi bazı kimyasal Etilere karşı korumak, termal genişleme katsayısını düşürerek sır ile kil arasındaki uyumu kolaylaştırmak amaçlarına yöneliktir(ALTUN, 2005).

Cam ve cam elyafı sanayi, bor minerali ve bor ürünlerinin en önemli kullanım alanlarından birisidir. 2001'de dünyada tüketilen borun %43'ü cam endüstrisinde

kullanılmıştır. Borun cam üretimindeki fonksiyonu; güçlü bir fluks olarak camın ergime sıcaklığını düşürmesi ve böylece erimeyi kolaylaştırması, sıcaklık, viskozite ve yüzey gerilimi arasındaki dengeyi kontrol ederek optimum cam fiberizasyonu oluşumunu sağlaması, yüzey sertliğini ve dayanıklılığını yükseltmesi ve devitrifikasyonu engellemesi olarak özetlenebilir. Düz cam ve saklama kaplarında bor ilavesi yapılmazken özel camlar ve yalıtım camları bor katkıdır.

3.3.5. Kolemanit Konsantratör Atığı

Kolemanit konsantratör atığı endüstriyel bir atıktır. Kütahya-Emet te bulunan ETİ Bor A.Ş.' nin bir takım prosesler sonucunda kolemanitin konsantre edilmesi işlemleri sonucu ortaya çıkan atıktır. Rengi açık gri olup öğütüldükten sonra kullanılmıştır. Öğütülme sonucunda çimentodan daha iri bir malzeme oluşmuştur.



Şekil 3.14. Kütahya – Emet Kolemanit Tesisi Üretim Şeması (D.P.T.M.)

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde, deneysel çalışmada kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri ile harç karışımlarında kullanılan malzeme miktarları verilmektedir. Hazırlanan numune boyutları ve bu numuneler üzerinde yürütülen deneyler hakkında bilgi verilmektedir.

4.1. Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

4.1.1. Çimento

Bu çalışmada kullanılan çimento, TS 19 (1992) ile uyumlu normal Portland çimentosu (PÇ 42,5) olup, Adana Çimento Sanayi tarafından üretilmiştir. Çimentonun taze olarak kullanılmasına özen gösterilip, nem alarak topaklaşma göstermemesi için de çimento, özel koruyucu kaplar içerisinde muhafaza edilmiştir. Çimontaya (PÇ 42,5) ait kimyasal ve fiziksel özellikler Çizelge 4.1. ve Çizelge 4.2. de verilmektedir.

Çizelge 4.1. Kullanılan çimentonun kimyasal bileşimi

Kimyasal Analiz	Analiz Sonuçları (%)
SiO ₂	20,65
Al ₂ O ₃	5,60
Fe ₂ O ₃	4,13
Mn ₂ O ₃	0,06
CaO	61,87
MgO	2,60
SO ₃	2,79
Kızdırma Kaybı	0,5
Na ₂ O	0,14
K ₂ O	0,83
Toplam Alkaliler	0,68

Çizelge 4.2. Kullanılan çimentonun fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellikler		Sonuçlar
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)		3,16
Priz Süresi	İlk (saat:dakika)	3:17
	Son (saat:dakika)	4:08
İncelik	Özgül Yüzey (cm ² /gr)	3140
	0,200 mm elekte kalıntı (%)	0,0
	0,090 mm elekte kalıntı (%)	0,4

4.1.2. Kolemanit Konsantratör Atığı

Bu çalışmadaki katkı Kütahya-Emet Eti Bor A.Ş. den alınıp kurutulmuş ve öğütülerek kullanılmıştır.

Çizelge 4.3. KKA ait kimyasal analiz sonuçları

ÖZELLİK%	KÜTAHYA-EMET BOR ATIK NUMUNESİ
B ₂ O ₃	13,67
SiO ₂	30,56
Al ₂ O ₃	6,51
Fe ₂ O ₃	3,83
CaO	13,35
MgO	9,0
K ₂ O	2,24
Na ₂ O	0,04
SO ₃	0,70
Kızdırma Kaybı	20,1
45 UM	76,4
90 UM	64,4
YOĞUNLUK(gr/cm ³)	2,34
BLAİNE (cm ² /gr)	1020

4.1.3. Su

Deneyleerde kullanılan karışım ve bakım suyu Antakya şehir şebekesinden alınan içme suyudur. Beton karışım ve bakım suyunun kalitesi ile ilgili özel bir Türk Standardı yoktur. Kaynaklarda karma suyu, genel anlamda içilebilir su olarak ifade edilmektedir.

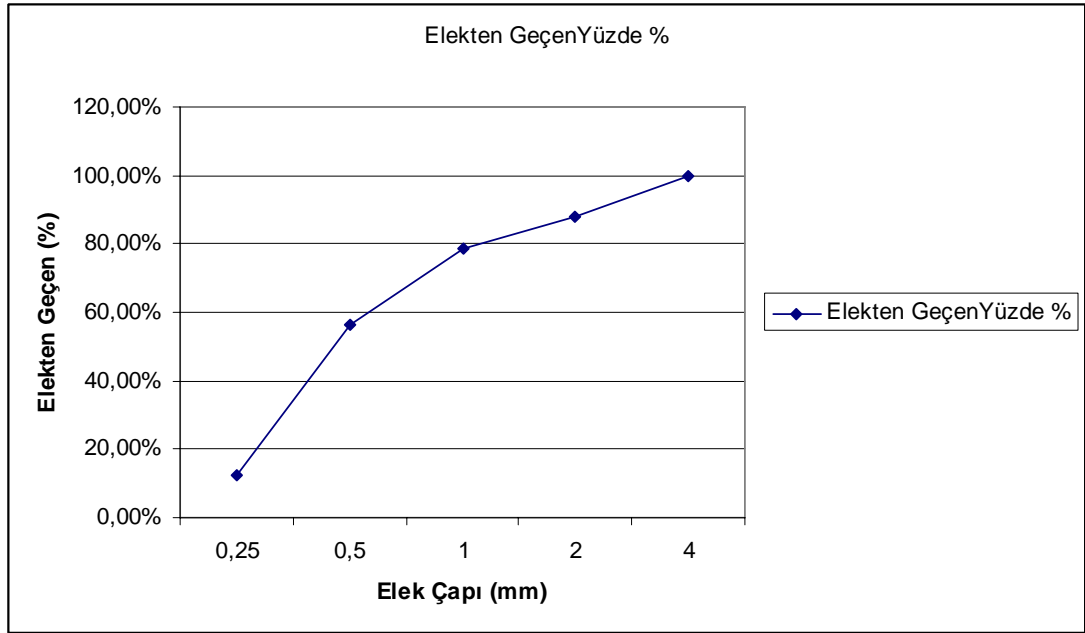
4.1.4. Agregası

4.1.4.1. İnce Agregası (Kum)

Harç numunelerin hazırlanmasında kuru yıkanmış temiz kum kullanılmış olup, kuma ait elek analizi sonuçları çizelge 4.6 ve şekil 4.1’de verilmiştir. Aynı şekilde, bu kuma ait fiziksel özellikler de çizelge 4.7’de sunulmaktadır. Kullanılan kumun beton ve harç üretiminde kullanılması uygundur (ASTM-C33).

Çizelge 4.4. Harç numunelerde kullanılan kuma ait elek analizi sonuçları

Elek no	Elek üzerinde kalan(gr)	Elek üstünde yüzde kalan (%)	Elek üstünde yığışimli yüzde kalan (%)	Elekten geçen yüzde (%)
4	0	0,00		100,00
2	243	12,15	12,15	87,85
1	189	9,45	21,60	78,40
0,5	442	22,10	43,70	56,30
0,25	879	43,95	87,65	12,35
Tava	247	12,35	100,00	0,00
Toplam	2000			



Şekil 4.1. Harç numunelerde kullanılan kuma ait elek analizi grafiği

Çizelge 4.5. Harç numunelerde kullanılan kuma ait fiziksel özellikler

Fiziksel Özellik	Değeri
γ_{kuru}	2,119
γ_{dkv}	2,164
$\gamma_{görünen}$	2,218
Su Emme%	2,102

4.1.4.2. İri Agregat (Kırmataş)

Beton numunelerinin hazırlanmasında kuru yıkanmış temiz agregat kullanılmış olup, bu agregata ait fiziksel özellikler Çizelge 4.6 da sunulmaktadır. Kullanılan kumun ve agreganın beton üretilmesi uygundur (ASTM-C33).

Çizelge 4.6. Beton numunelerde kullanılan agreganın fiziksel özellikleri

	Su Emme	Özgül Ağırlık
5 - 12 mm	0,8	2,67
2 - 20 mm	0,6	2,69
Kum	2,102	2,65

4.2. Deney Metodları

4.2.1. Hazırlanan Numune Tipleri

Deneylerin bir kısmı sadece normal Portland çimentosu hamurları üzerinde, bir kısmı ise Kolemanit konsantratör atığı içeren çimento hamurları üzerinde yürütülmüştür. Bazı deneyler ise sadece Kolemanit konsantratör atığı içeren ve içermeyen beton ve harç karışımları üzerinde yürütülmüştür. Yapılan bu deneyler kısım 4.2.2.'de verilmektedir.

Deneylerde hazırlanan harç numunelerin S/Ç oranı 0,485 Çimento/Kum oranı ise 1/2,75 tir. beton numunelerin su/çimento oranı 0,5' ve 300 dozludur. Ayrıca, hem beton hem de harçlar üzerinde deneyler yürütülmüştür. KKA nın değişim yüzdesi betonlarda %3, %5, %10, %15 şeklinde olup harçlarda ise %3, %5, %10, %15, %20 olarak çimentonun yer değişimi şeklinde dir.

Yukarıdaki özelliklere sahip olarak hazırlanan harç numuneleri iki ayrı kür durumunda kuru kür odasında ve su içinde bakıma tabii tutulmuş olup, ortam sıcaklığı 20 ± 2 °C dır.

4.2.2. Deneysel Çalışmalar

4.2.2.1. Yürütülen Deneyler

- 1) Kimyasal bileşimlerin tayini,
- 2) Normal kıvam tayini: %0, %3, %5, %10 ve %15 KKA değişim oranına sahip çimento hamuru üzerinde ayrı ayrı yapılmıştır.
- 3) Priz süresi ölçme : Priz başlama ve sona erme süreleri %0, %3, %5, %10 ve %15 KKA ikamesiyle hazırlanan çimento hamurları için tespit edilmiştir. Priz süreleri normal kıvam su miktarı ile bulunmuştur.
- 4) Ve-Be deneyi: %0, %3, %5, %10 ve %15 KKA ikamesiyle, 0,5 su/çimento oranlarında hazırlanan beton karışım numuneleri üzerinde yapılmıştır.

- 5) Hacim sabitliği tayini: %0, %3, %5, %10 ve %15 KKA değişim oranlarına sahip imento hamuru numuneler normal kıvamlarda hazırlanarak Le Chatelier deneyi ile şişmeleri tespit edilmiştir.
- 6) Basınç dayanımı: %0, %3, %5, %10 ve %15 KKA ikamesiyle, 0,5 su/imento oranında beton numunelerde 7, 28, 56, 90. gün suda kr edilen numuneler için basınç değerleri bulunmuş ve %0, %3, %5, %10 %15 ve %20 oranında KKA ikameli harç numuneler üzerinde 28. gündeki kuru kr ve ıslak kr için basınç değerleri llmştir.
- 7) ekme dayanımı: %0, %3, %5, %10 ve %15 KKA ikamesiyle, 0,5 su/imento oranlarında suda kr edilen silindir beton numunelerde silindir yarma deneyi uygulanarak, harçlarda ise %0, %3, %5, %10 %15 ve %20 KKA ikamesiyle ıslak ve kuru kr edilen numunelerde 28. günde eğilmede çekme dayanımları bulunmuştur.
- 8) Aşınma tayini %0, %3, %5, %10 %15 ve %20 KKA ikamesiyle, hazırlanan ıslak küre tabi tutulan harç numunelerin Los Angeles deney aleti ile aşınma değerleri bulunmuştur.
- 9) Rötre tayini : %0, %3, %5, %10 %15 ve %20 KKA ikamesiyle, bulunan S/:0,485, /K:1/2,75 olan numunelerin 120. güne kadar rtreleri llmştir.
- 10) Boşlukluluk ve Su Emme yüzdesi tayini: %0, %3, %5, %10 %15 ve %20 KKA ikamesiyle, S/:0,485, /K:1/2,75 ve ıslak ve kuru krdeki numunelerin boşlukluluk ve su emme yüzdesi bulunmuştur.
- 11) Puzolanik aktivite tayini:0,485 S/ karışım oranına sahip%20 KKA içeren numuneler suda kr edilip 28. gün basınç dayanımları bulunarak puzolanik aktiviteleri hesaplanmıştır.
- 12) Karbonatlaşma tayini: %0, %3, %5, %10 %15 ve %20 KKA ikamesiyle, ve kuru kr edilen 28 günlük harç numuneler üzerinde phenophthalein testi ile tayin edilmiştir.

4.2.3. Notasyon

Deneylerden elde edilen sonuçlar çizelgelerde gösterilirken aşağıdaki notasyon kullanılacaktır.

KKA harfleri Kalsiyum Kolemanit Atığını ifade etmektedir. Tabloların üst tarafında görülen %0, %3, %5, %10 %15 ve %20 sayıları KKA ikamesinin çimentonun ağırlığına olan yüzdesini, göstermektedir. Tabloların sol üst köşesindeki kuru kür yazısı kür odasında (%65 bağıl nemde) kür edilmiş numuneleri ıslak kür yazısı ise su içinde kür edilmiş numuneleri göstermektedir.

4.3 DeneY Sonuçları Bulgular Ve Tartışma

Bu bölümde, kolemanit konsantratör atığı içeren ve içermeyen taze çimento hamuru ve harç numuneler üzerinde gerçekleştirilen, Vicat aleti ile yürütölen priz başlangıç, priz sonu tayini ve gerekli su miktarının tespiti için yürütölen normal kıvam tayininin bulunması, Le Chatalier yöntemi ile yürütölen hacim sabitliğı deneyi sonuçları sunulmuştur. Beton deneyleri ise, bunlarda kendi içinde teze ve sertleşmiş beton deneyleri olarak iki grupta toplanıyor. Taze beton deneylerinde betonun işlenebilirliğinin bulunması amacıyla slump ve Ve-Be, Sertleşmiş beton deneylerinde ise basınç dayanımı ve silindir yarma dayanımı bulundu.

Yukarıdaki yürütölen deneylerin dışında, sertleşmiş harç karışımları üzerinde yürütölen basınç dayanımı, eğilme çekme dayanımı, aşınma, boşlukluluk, karbonatlaşma, rötre, deneY sonuçlarıda tartışılarak sunulmaktadır.

4.3.1 Çimento Hamuru Üzerinde Yapılan DeneY ve Sonuçları

4.3.1.1 Normal Kıvam Deneyleri

Kolemanit konsantratör atığı içeren çimento hamuru numuneleri ile şahit çimento hamuru numunelerine ait normal kıvam deneyi sonuçları Çizelge 4.7’de sunulmaktadır. Bu değerlerin Şahit numuneye ait kıvam değerinin bir yüzdesi olarak ifadeleri ise Çizelge 4.8’de sunulmaktadır. Şahit numuneye ait normal kıvam değeri %33 tür.

Çizelge 4.7 Normal Kıvam DeneY Sonuçları

Katkı	Şahit	%3	%5	%10	%15
Normal Kıvam Su İçeriğı(%)	33	33,5	32,5	33	34

Kolemanit konsantratör atığının normal kıvam açısından katkı oranlarına göre optimum sonucu verdiği katkı yüzdesi %10 u göstermektedir. %5 haricinde diğer oranlar için normal kıvama ulaşılabilmesi için diğer katkı miktarları daha çok su gerektirmiştir.

Çizelge 4.8 Şahit betona göre normal kıvam % miktarları

Numune adı	%3	%5	%10	%15
Şahit betona göre kıvam değişim % si	101,52	98,48	100	103,03

4.3.1.2 Hacim Sabitliği Deneyleri

Hacim sabitliği deney sonuçları göstermiştir ki tüm numuneler için şişme değerleri sınırların oldukça ($b-a \leq 4$, $c-a \leq 10$) altındadır. KKA 'nın şişmeyi artırıcı ya da azaltıcı yönde bir etkisi olmadığı görülmektedir.

Kolemanit konsantratör atığı içeren numunelere ait deney sonuçları Çizelge 4.9 te sunulmuştur.

Çizelge 4.9 Hacim sabitliği deneyi sonuçları

Karışım	a (mm)	b (mm)	c (mm)
Şahit	6	6,5	7
%3	6	6,5	7
%5	6,5	7	7,5
%10	6,5	7	8
%15	5,5	6	6,5

Çizelge 4.10 S/Ç oranı 0,485 olan çimento hamurları hacim sabitliği deney sonuçları(mm)

KKA İçeriği	Şahit		3%		5%		10%		15%	
Farkı(mm)	b-a	c-a	b-a	c-a	b-a	c-a	b-a	c-a	b-a	c-a
	0,5	1	0,5	1	0,5	1	0,5	1,5	0,5	1

4.3.1.3 Priz Deneyi

Çizelge 4.11'de Kolemanit konsantratör atığı içeren ve normal kıvamda bulunan su muhtevalarına göre hazırlanan çimento hamuru numunelerinin başlangıç ve nihai priz süreleri verilmektedir. Bu deney için standart zaman olan TS 10156 da

(Katkılı Çimentolar İçin) Priz başlangıcı en az 60 dakika, priz sonu ise en geç 600 dakika olarak verilmektedir. Buradan standartlarla deney sonucu kıyaslaması yapılacak olursa “kullanılan katkı priz süresi yönünden standart içindedir” denilebilmektedir.

Çizelge 4.11 Priz başlangıcı ve priz sonu süreleri (dk.)

Katkı	Şahit		3%		5%		10%		15%	
	P. Başı	P. Sonu	P. Başı	P. Sonu	P. Başı	P. Sonu	P. Başı	P. Sonu	P. Başı	P. Sonu
Süreler (dk.)	195	270	240	345	245	350	255	385	235	390

Bu sonucu şahit numuneler üzerinden yüzde değişimi görülmek istenirse Çizelge 4.12’de sunulmuştur. Burada şahit numuneye göre en yüksek değerler priz başlangıcı %10 KKA içeren numunelerde, priz sonu ise %15 KKA içeren numunelerde oluşmuştur.

Çizelge 4.12 Priz başlangıcı ve priz sonu değerlerinin şahit numuneye göre değişimi(%)

Katkı	Şahit		%3		%5		%10		%15	
	P. Başı	P. Sonu	P. Başı	P. Sonu	P. Başı	P. Sonu	P. Başı	P. Sonu	P. Başı	P. Sonu
Süreler (dk.)	100	100	123,08	127,78	125,64	129,63	130,77	142,59	120,51	144,44

Sonuç olarak kolemanit konsantatör atığının priz süresini artırdığı görülmüştür.

4.3.2 Beton Deneyleri

4.3.2.1 Taze Beton Üzerinde Yürütülen Deneyler

4.3.2.1.1 Ve-Be Deneyi

Kolemanit konantratör atığı içeren beton deneyleri ve şahit beton numunesi işlenebilirliğine ait ve-be deney sonuçları Çizelge 4.13 te verilmiştir. Su / Çimento oranı 0,5 doz 300 seçilmiştir. Karışım isimleri temsil ettikleri numune özellikleri

aşağıdaki tabloda verilmiş olup bundan sonra isimleri verilen numuneler verilen karışımlar burada verilenlerle aynıdır.

Çizelge 4.13. Numunelerin isimleri

Numune İsimleri	S/Ç	DOZ	KKA Değişim Oranı
K1	0,5	300	Şahit(%0)
K2	0,5	300	%3
K3	0,5	300	%5
K4	0,5	300	%10
K5	0,5	300	%15

Ve-be deneyi ile ilgili uygulaması, deney esasları olarak önceki bölümlerde ayrıntılı olarak sunulmuştur.

Çizelge 4.14. Ve- be deney sonuçları

Karışım İsmi	Süre
K-1	8 sn. 43 sls.
K-2	9 sn. 58 sls.
K-3	11 sn. 7 sls.
K-4	14 sn. 89 sls.
K-5	13 sn. 45 sls.

Slump deneyinde elde edilen sonuçta olduğu gibi bu deneyde de KKA beton numunelerin işlenebilirliğini düşürdüğü görülmüştür.

4.3.2.1.2 Slump (Çökme) Deneyi

Slump deneyi işlenebilirliği tespit etmek için kullanılan en yaygın deney şeklidir. Bu deneyin yapılması ile ilgili literatürel bilgi önceki bölümlerde sunulmuştur.

Çizelge 4.15 Slump deneyi sonuçları

Karışım İsmi	Slump Değeri (cm)
K – 1	3
K – 2	2,6
K – 3	2,3
K – 4	1,5
K – 5	1,6

Bu deney sonucuna göre de KKA'nın işlenebilirliği bir miktar düşürdüğü tespit edilmiştir. İşlenebilirlikteki bu azalmanın KKA'nın içindeki kızdırma kaybının yüksek olmasına bağlı olduğu düşünülmektedir.

4.3.2.1.3 KKA'nın Taze Betonun Yoğunluğuna Etkisi

Bu bölümde KKA'nın yaş beton yoğunluğunu hangi yönde etkilediği araştırılmıştır.

Çizelge 4.16. Taze betonda KKA'nın yoğunluğa etkisi

İsmi	Ort Yoğunluk(kg/m ³)	Yoğunluk Değişimi(%)
K1 (Şahit)	2396,0166	100,00%
K2 (%3)	2410,4217	100,60%
K3 (%5)	2407,5608	100,48%
K4 (%10)	2408,1753	100,51%
K5 (%15)	2406,5113	100,44%

Taze yoğunluk değerleri arasında çok farklılıklar olmadığı görülmektedir. Bu da KKA katkısının beton taze yoğunluğuna herhangi bir etkisi olmadığını göstermektedir.

4.3.2.2.1 Sertleşmiş Beton Üzerinde Yürütülen Deneyler

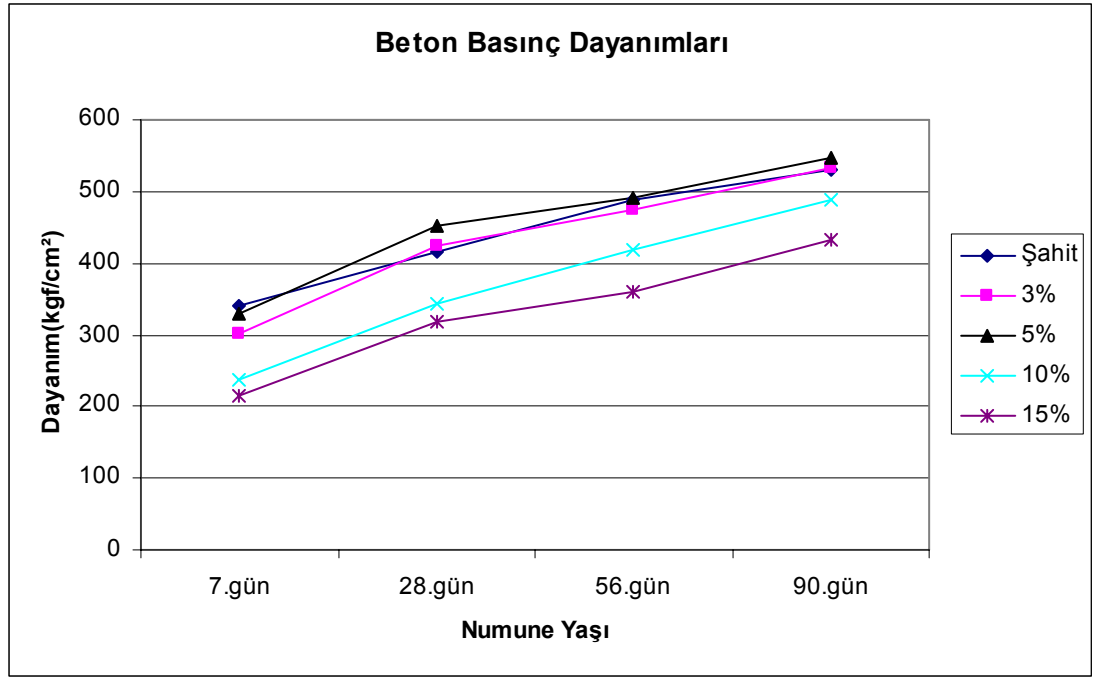
4.3.2.2.1 Basınç Dayanımı

Beton basınç dayanımının ölçülmesi 15x15x15 cm küp kalıplara dökülen numunelerin kırılacağı güne kadar kür havuzunda muhafaza edilerek kırılması gerekli günde kırılarak dayanımının bulunması ile belirlenmiştir.

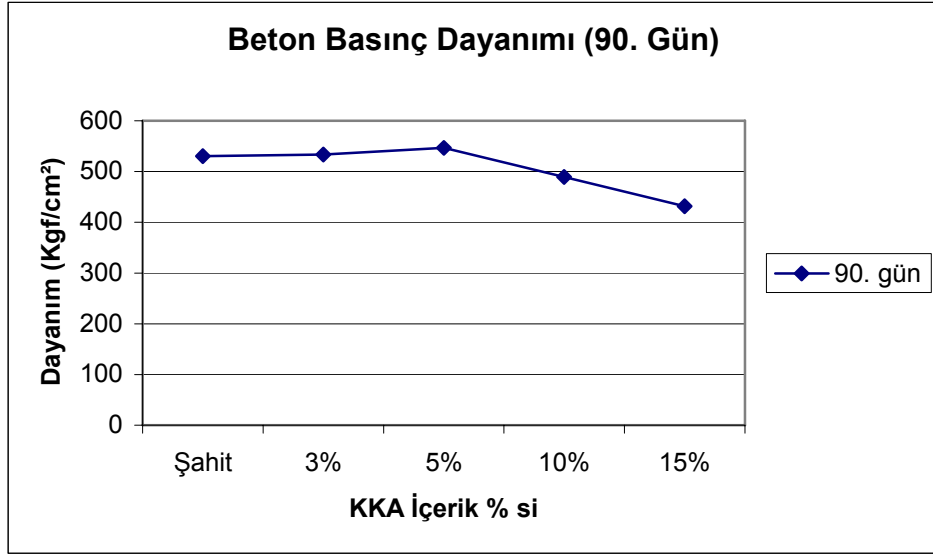
Çizelge 4.17. Beton Numune Dayanım Sonuçları

Beton Basınç Dayanımları

Numune İçeriği	7.gün	28.gün	56.gün	90.gün
K-1(Şahit)	339,50	415,85	489,05	530,10
K-2 (%3)	301,50	423,40	473,50	533,22
K-3 (%5)	328,00	451,00	490,55	546,40
K-4 (%10)	237,00	342,50	417,50	489,71
K-5 (%15)	215,00	317,50	360,40	431,53



Şekil 4.2. Beton Dayanım Sonuçları



Şekil 4.3. Beton Dayanım Sonuçları (90. Gün)

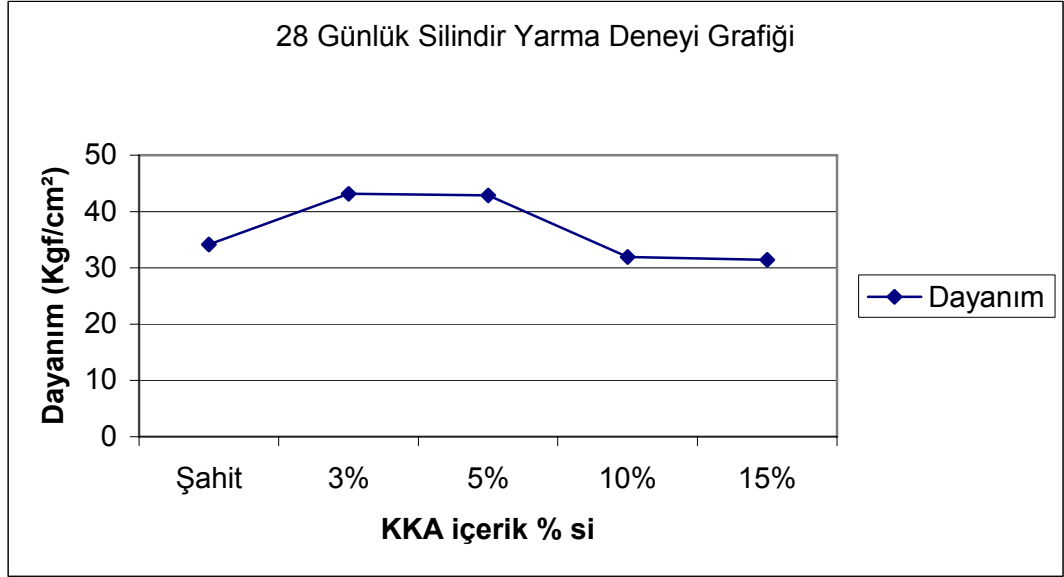
KKA atığı içeren numunelerin dayanımları incelendiğinde %3 ve %5 KKA atığı içeren numunelerin şahit betona denk veya üstünde olduğu görülmüştür. Bununla beraber %3 KKA katkılı betonların basınç dayanımlarının her yaşta şahit numuneye yakın olduğu görülmüştür. Diğer katkı oranlarıyla karşılaştırıldığında ise %5 ile %10 arasında bir optimum KKA oranı olduğu düşünülmektedir. %10 ve %15 katkılı betonların ise 90. günde şahit numuneye yakın (%10 KKA içeren numune şahit betonun %92 si , %15 KKA içeren numune şahit betonun %81 oranında karşılamıştır) oldukça tatminkar basınç dayanımı geliştirdikleri görülmektedir.

4.3.2.2.2. Silindir Yarma Dayanımı

Betonda çekme dayanımını silindir yarma deneyi ile tespit edilmiştir. 28 gün kür havuzunda muhafaza edilen numuneler üzerinde deneyler yapılmıştır. Betonda uygulanan çekme dayanım deneyleri (Silindir Yarma) önceki bölümlerde anlatılmıştır. Deney sonuçları çizelge 4.18. de sunulmuştur.

Çizelge 4.18. 28 günlük Silindir Yarma Dayanım Değerleri

Betonların 28 günlük Silindir Yarma Değerleri (Kgf/cm ²)	
Şahit	34,17
3%	43,17
5%	42,87
10%	31,91
15%	31,41



Şekil 4.4. 28 günlük Silindir Yarma Dayanımı

Tablo ve grafik incelendiğinde %3 ve %5 KKA içeren betonların silindir yarma dayanım sonuçları şahit betonun üstünde çıktığı ve %10 ve %15 KKA içeren numunelerin ise şahit betona yakın dayanımlar gösterdiği görülmüştür. Çizelge 4.19.' da da görülebileceği KKA içeren numunelerin çekme dayanımı üzerine etkili olduğu düşünülebilir.

Çizelge 4.19. Betonun Çekme Dayanımı Değişim % si

Numune	Çekme Dayanımı Değişimi (%)
Şahit	100,00%
3%	126,34%
5%	125,46%
10%	93,39%
15%	91,92%

4.3.3 Harç Deneyleri

4.3.3.1 Sertleşmiş Harçlar Üzerinde Yürütülen Deneyler

4.3.3.1.1 Harçların Basınç Dayanımı

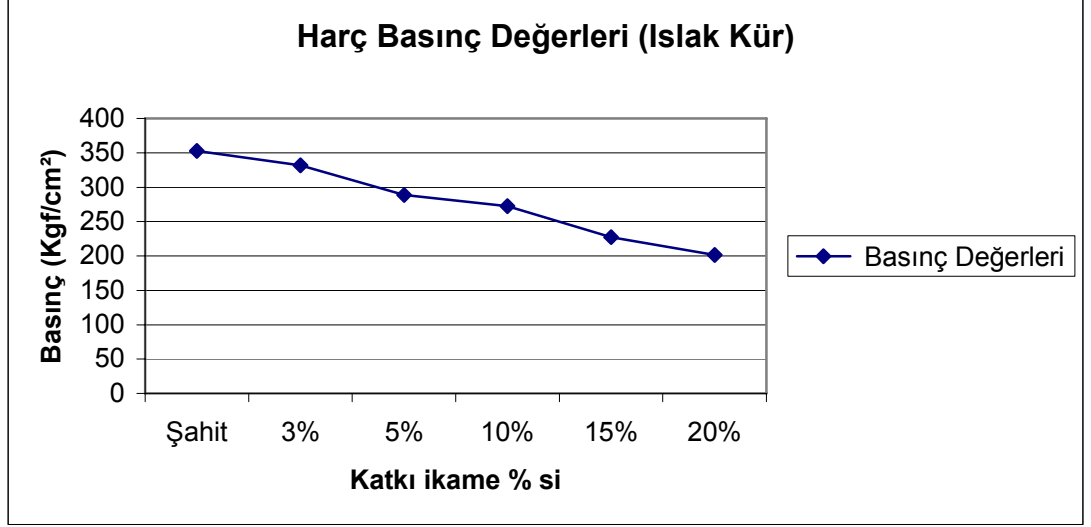
Harçlar için yapılan deneyler 28 gün kürde 4x4x4cm boyutlarındaki küp numuneler üzerinde yapılmıştır. Eğilme de çekme dayanımı ölçülen numuneler üzerinde yapılmıştır.

Çizelge 4.20. Harçların basınç dayanımları

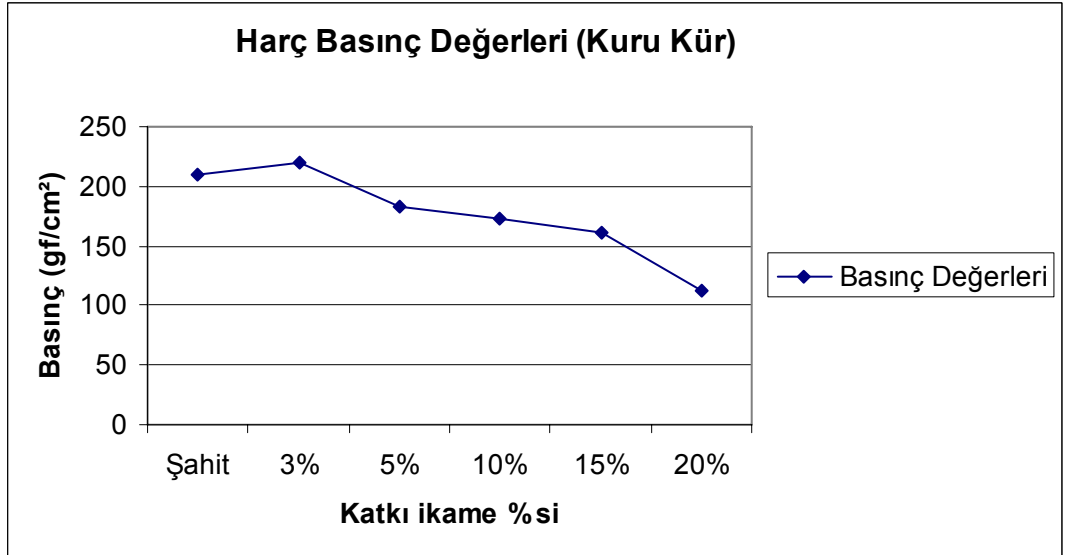
Harç Dayanımlar, 28 günlük (kgf/cm ²)		
Numuneler	Basınç Dayanımı (Islak Kür)	Basınç Dayanımı (Kuru Kür)
Şahit	352,67	210,5
3%	331,7	219,7
5%	288,47	182,75
10%	272,57	173,2
15%	227,23	160,8
20%	201,3	113

Yapılan deney sonuçları Islak kürde tutulan harçlarla kuru kürde tutulan harçlar arasında farklılık göstermektedir. Deney sonuçlarının yorumlanması gerekirse ; ıslak kürde tutulan numunelerde basınç dayanımlarını karşılayabilen numuneler %3 ve %5

KKA içeren numuneler olmuştur. Kuru küre muhafaza elden numuneler ise %3, %5 ve %10 KKA içeren numuneler olmuştur. Buradan çıkartılabilecek yorum, ıslak küre karşıladığı KKA içerik yüzdelerinin kullanılabilieceği yönünde olmalıdır.



Şekil 4.5. Harçlara ait basınç değerleri (Islak Kür)



Şekil 4.6. Harç ait basınç değerleri (Kuru Kür)

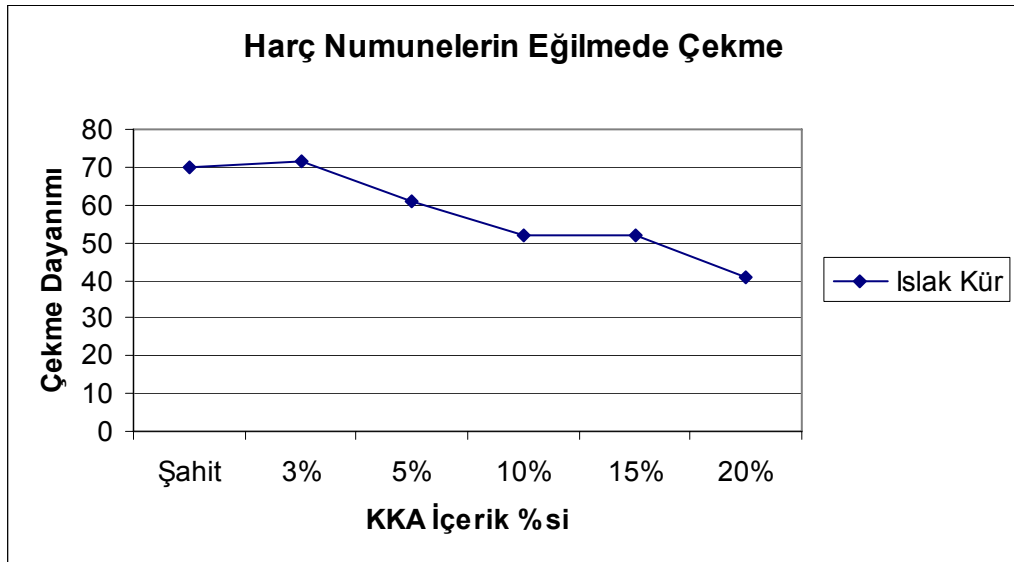
4.3.3.1.1 Puzolanik Aktivite Tayini

Puzolanik aktivite deneyi %20 KKA ve suda kr edilen harçların 28. gündeki dayanımlarının şahit harca göre gösterdiği dayanım farklılığıdır. KKA hesaplanması gerekirse %20 KKA içeren harcın dayanımı 201,30 kgf/cm² dir. Aynı harcın şahit numunesinde ise dayanım 352,72 Kgf/cm² çıkmıştır. Bu durumda KKA'nın puzolanik aktifliği $201,30/352,72 = \%57,07$ dir

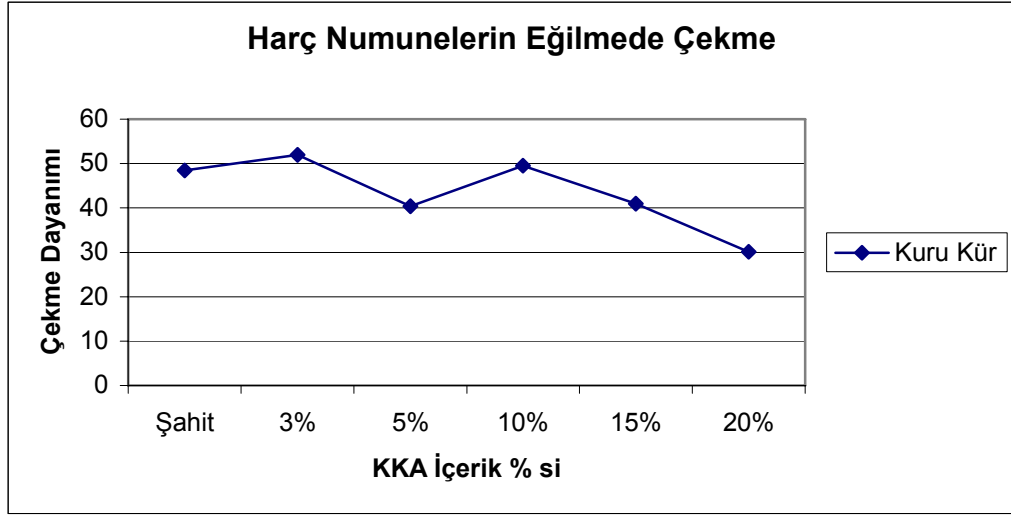
4.3.3.1.2 Harçların Eğilmede ekme Dayanımı

Çizelge 4.21. Harçların ekme Dayanımları

Harç Numunelerin Eğilmede ekme Dayanımları (kgf/cm ²)		
Numuneler	Islak Kr	Kuru Kr
Şahit	69,77	48,44
3%	71,48	51,953
5%	61,17	40,39
10%	51,875	49,53
15%	51,72	40,94
20%	41,02	30,08



Şekil 4.7. Harç Numunelerin Eğilmede ekme Dayanımları (Islak Kr)



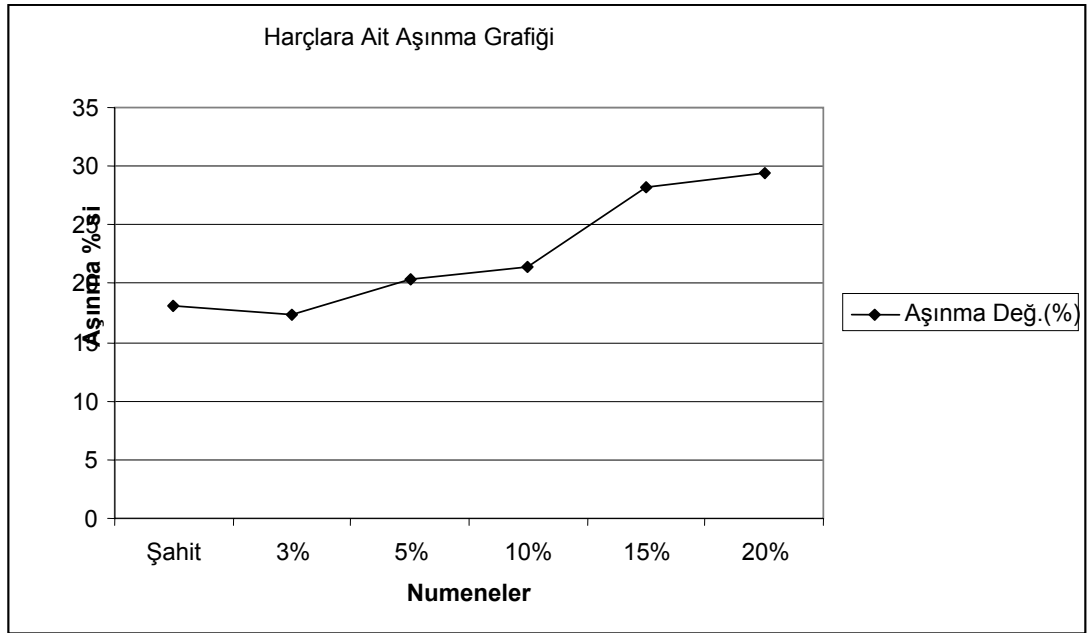
Şekil 4.8. Harç Numunelerin Eğilmede Çekme Dayanımları (Kuru Kür)

4.3.3.1.3 Aşınma Direnci

Aşınma direnci deneyleri normalde agregalar için kullanılan bir deneydir. Ancak harçların aşınma direnci bize beton özellikleri hakkında da bilgi vereceğinden sonuçlar önem taşımaktadır. Aşınma direncinin ölçülmesi Los Angeles aşınma aleti kullanılarak bulunur. Eğilmede çekme dayanımından elde edilen numuneler Los Angeles deney aletine bilyasız olarak atılır ve 500 tur sonundaki ağırlık kaybı bulunur. Aşınma deneyleri sadece ıslak kürede muhafaza edilen numuneler üzerinde uygulanmıştır. Sonuçlar Çizelge 4.22 de sunulmuştur.

Çizelge 4.22. Harçların Aşınma % si

Numuneler	Islak Aşınma(%)	Aşınma % Değişimi
Şahit	18,03	100,00%
3%	17,29	95,90%
5%	20,43	113,31%
10%	21,48	119,13%
15%	28,26	156,74%
20%	29,35	162,78%



Şekil 4.9. Harçların Aşınma % Grafiği

4.3.3.1.4 Karbonatlaşma

KKA içeren numuneler ile şahit numunelere ait karbonatlaşma ölçüm değerleri Çizelge 4.23 de verilmiştir. Karbonatlaşma ölçümleri sadece kuru kür ortamında kür edilen numuneler üzerinde yürütülmüş olup , ıslak kür edilen numuneler üzerinde yürütülmemiştir. Devamlı su içinde kür edilen numunelerin içine karbondioksit gazının sızması mümkün olmayacağından, dolayısı ile ölçüm yapılmamıştır. Bu durum literatür olarak da doğrudur.

Çizelge 4.23. Harçların Karbonatlaşma miktarları ve % leri

Numuneler	Karbonatlaşma(mm)	% Değişimi
Şahit	1,583	100,00%
3%	1,458	92,10%
5%	1,854	117,12%
10%	1,917	121,10%
15%	1,604	101,33%
20%	2,208	139,48%

Çizelge 4.23. incelendiğinde %3 KKA içeren numune haricinde diğer numunelerde karbonatlaşma oranı artmış olup, %3 KKA içeren numunelerde karbonatlaşma derinliği düşmüştür. KKA içeren numunelerle şahit betonun benzer performans gösterdiği yargısına varılmıştır.

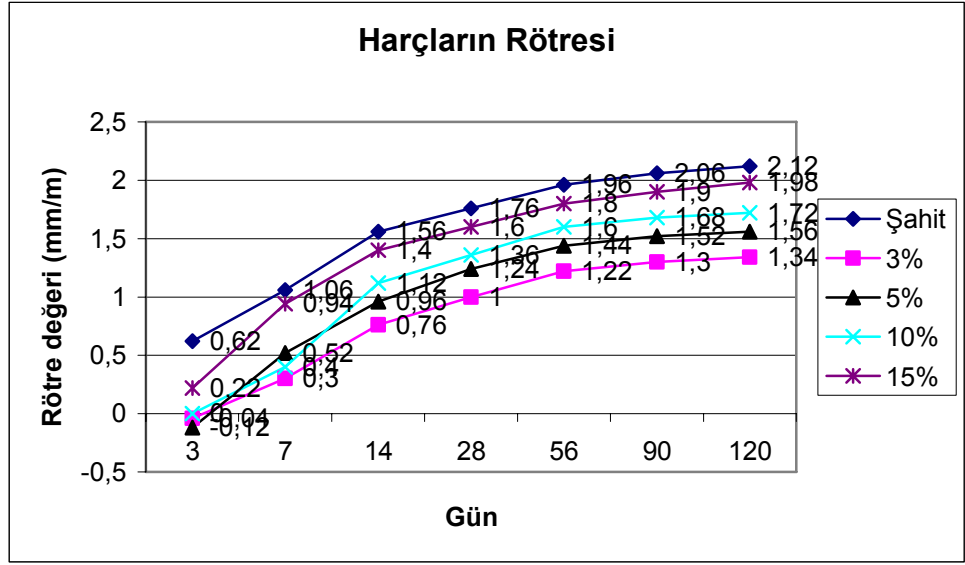
4.3.3.1.5 Rötire

KKA içeren numuneler ile şahit numuneler rötire ölçüm grafiği Şekil 4.9 de sunulmuştur.

Rötire çimentonun bir özelliğidir. Bu özellik istenilmeyen bir olgudur.

Çizelge 4.24. Numunelerin Rötire Miktarları

Numunelerin Rötire Değerleri					
Gün / KKA İçeriği	Şahit	3%	5%	10%	15%
3	0,62	-0,04	-0,12	0	0,22
7	1,06	0,3	0,52	0,4	0,94
14	1,56	0,76	0,96	1,12	1,4
28	1,76	1	1,24	1,36	1,6
56	1,96	1,22	1,44	1,6	1,8
90	2,06	1,3	1,52	1,68	1,9
120	2,12	1,34	1,56	1,72	1,98



Şekil 4.10. Rötres Miktarları

Grafik incelendiğinde KKA arttığında rötrede düşme olduğu yani KKA içeren numunelerin daha az kısaldığı saptanmıştır. Ancak en az kısalmanın %3 olduğu %5 ve %10 KKA içeren numunelerin ise %3 ü takip ettiği gözlemlenmiştir. Şahit numuneye göre katkıli betonlar rötres açısından daha iyi sonuç vermişlerdir.

KKA içeren tüm numuneler şahit numuneye göre daha az rötres değerleri vermişlerdir. KKA katkısının rötreyi azaltıcı bir etkisi olduğu görülmektedir. %3 KKA katkısında bu etki maksimum olmaktadır.

4.3.3.1.6 Su Emme ve Boşlukluluk

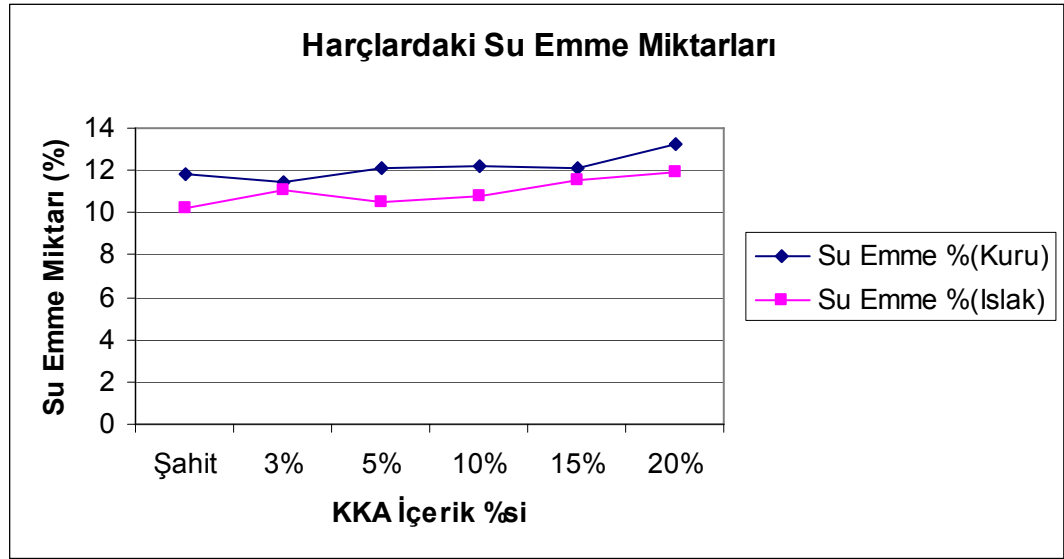
Hazırlanan harç numuneleri üzerinde çeşitli deneyler uygulanmıştır. Uygulanan deneyler arasında boşlukluluk ve su emme deneyleri de bulunmaktadır. Numunelerin içerikleri ve su emme miktarlarıyla boşlukluluk oranları ıslak ve kuru numunelere ait deney sonuçları Çizelge 4.25 ve 4.26 de verilmiştir. Çizelgeler incelendiğinde katkı oranı arttıkça su emme oranının doğrusal olmayan şekilde arttığı yani betonun şahit betona göre daha geçirimli bir malzeme olduğu anlaşılmıştır.

Çizelge 4.25. Islak kür uygulanan numunelerin Su Emme ve Boşlulukluk miktarları

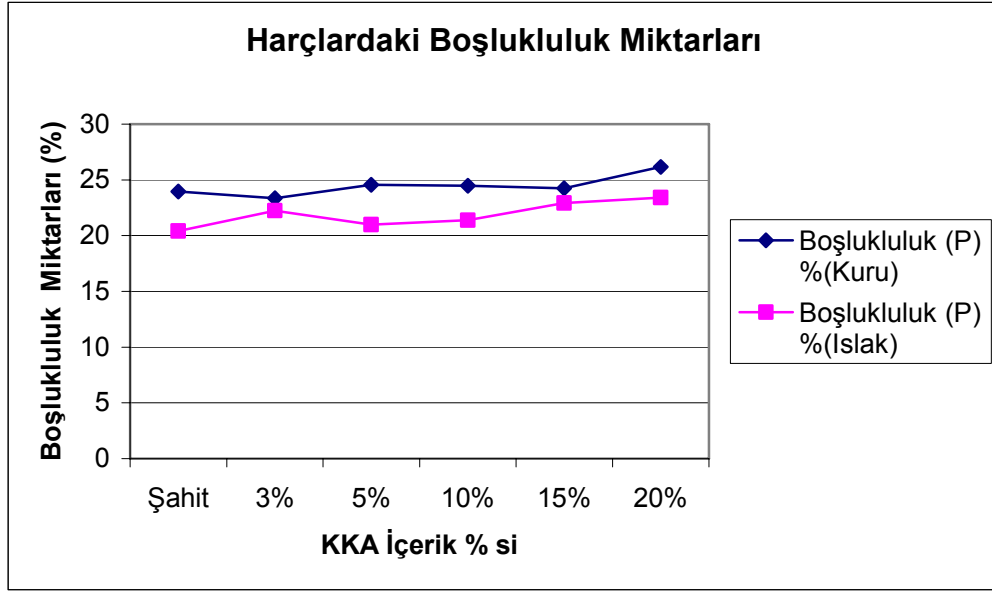
ISLAK	Boşlulukluk (P) %	Su Emme %
Şahit	20,42	10,25
3%	22,23	11,11
5%	20,99	10,48
10%	21,37	10,76
15%	22,94	11,58
20%	23,42	11,88

Çizelge 4.26. Kuru kür uygulanan numunelerin Su Emme ve Boşlulukluk miktarları

KURU	Boşlulukluk (P) %	Su Emme %
Şahit	23,96	11,79
3%	23,36	11,47
5%	24,57	12,08
10%	24,47	12,18
15%	24,24	12,14
20%	26,16	13,22



Şekil 4.11. Harçlardaki Su Emme Grafiği (Kuru ve Islak Kür)



Şekil 4.12. Harçlardaki Boşlukluluk Grafiği (Kuru ve Islak Kür)

4.3.4 Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

4.3.4.1 Kür Şartlarının Basınç Dayanımı Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi

Harç numuneler ıslak kürde ve kuru kürde muhafaza edilerek dayanım sonuçları bulunmuştur. Aşağıdaki çizelgelerde sunulan yüzde değişimidir. Buradan çıkabilecek sonuç %3 ve %5 KKA ilavesi harçların dayanımında kabul edilebilir bir basınç dayanımı çıkardıkları görülmüştür.

Çizelge 4.27. Şahit Harç Dayanımına Göre Değişim % si (Islak Kür)

Şahit Harç Dayanımına Göre Değişim % si (Islak Kür)	
Şahit	100,00%
3%	94,05%
5%	81,80%
10%	77,29%
15%	64,43%
20%	57,08%

28 gün boyunca kuru kürde muhafaza edilen numunelerin basınç değerleri ise %3 KKA içeren numunelerde şahit betonun üstüne çıkmış %5 ve %10 KKA ilave edilen numunelerde ise kabul edilebilir dayanım oluşmuştur.

Çizelge 4.28. Şahit Harç Dayanımına Göre Değişim % si (Kuru Kür)

28 Günlük Harç Dayanımları (Kuru Kür)	
Şahit	100,00%
3%	104,37%
5%	86,82%
10%	82,28%
15%	76,39%
20%	53,68%

Çizelge 4.29. Harç Dayanımları Değişim % si (Islak Kür/Kuru Kür)

Dayanım Değişim Yüzdesi (Islak Kür/Kuru Kür)	
Şahit	167,54%
3%	150,98%
5%	157,85%
10%	157,37%
15%	141,31%
20%	178,14%

Farklı kür ortamında tutulan numuneler, farklı dayanım sonuçları vermişlerdir. Islak/kuru kür farkı çizelge 4.29 da sunulmuştur. Burada ortalama %60 seviyesinde basınç kaybı görülmüş olup kür şartlarının önemini ortaya koymaktadır.

4.3.4.2. Kür Şartlarının Eğilmede Çekme Dayanımı Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi

Kür şartlarının KKA içeren ve içermeyen numunelerin çekme dayanımları üzerindeki etkisi incelenmek üzere kuru ortamda kür edilen numunelerin dayanımları, ıslak ortamda kür edilen numunelerin dayanımlarının bir yüzdesi olarak hesaplanmıştır. Bu hesap sonucunda genel olarak kuru kür edilen numunelerin ıslak kür edilen numunelere göre çekme dayanımlarının oldukça düşük çıktığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.30. Harç Numunelerin Şahit Harca Göre Eğilmede Çekme Dayanım % leri (Islak Kür)

Numuneler	Islak Çekme
Şahit	100,00%
3%	102,45%
5%	87,67%
10%	74,35%
15%	74,13%
20%	58,79%

Çizelge 4.31. Harç Numunelerin Şahit Harca Göre Eğilmede Çekme Dayanım % leri (Kuru Kür)

Numuneler	Kuru Çekme
Şahit	100,00%
3%	107,25%
5%	83,38%
10%	102,25%
15%	84,52%
20%	62,10%

Çizelge 4.32. Harç Numunelerin Dayanım Değişim Yüzdesi (Islak Kür/Kuru Kür)

Numuneler	Dayanım Değişim Yüzdesi (Islak Kür/Kuru Kür)
Şahit	144,03%
3%	137,59%
5%	151,45%
10%	104,73%
15%	126,33%
20%	136,37%

5.SONUÇ ve ÖNERİLER

5.1. Taze Beton Özellikleri Üzerinde Gözlenen Bulgular

- 1- KKA katkısı kullanımının normal kıvam için gerekli su miktarını etkilemediği görülmüştür.
- 2- Çimento yerine Kolemanit Konsantratör atığı kullanılması priz sürelerinde uzama yönünde etki göstermiştir. Ancak, priz sürelerinin oluşan bu etki standart sınırları içinde kalmıştır.
- 3- Hacim sabitliği değerleri incelendiğinde KKA katkılı çimento hamurlarının şişme değerlerinin şahit betona göre elde edilen işlenebilirlik değerlerinde standart sınırlar içinde kaldığı veya şahit numune ile aynı olduğu belirlenmiştir.
- 4- Kolemanit Konsantratör atığı taze beton işlenebilirliğini belirleyen ve-be slump deneyleri sonucunda azalmalar kaydedilmiştir.
- 5- Slump deneyi sonuçları ile ve-be deneyi sonuçlarının uyum içinde olduğu gözlenmiştir.
- 6- Yaş betonda yoğunluğu artırdığı gözlemlenmiştir.

5.2. Katı Harç ve Beton Özellikleri Üzerinde Saptanan Bulgular

- 1- KKA atığı içeren numunelerin dayanımları incelendiğinde %3 ve %5 KKA içeren numunelerin şahit betona denk veya üstünde olduğu görülmüştür. Bununla beraber %3 KKA katkılı betonların basınç dayanımlarının her yaşta şahit numuneye yakın olduğu görülmüştür.
- 2- 28 günlük silindir yarma sonuçları %3 ve %5 katkı içeren numunelerin silindir yarma dayanımlarının şahit numunelerden yüksek olduğu , %10 ve %15 KKA içeren numunelerin şahit numunelere oldukça yakın olduğu görülmüştür.
- 3- %3 KKA katkılı ve suda kür edilen harçların 28 günlük dayanımlarının şahit numuneye yakın olduğu görülmektedir.
- 4- Kuru küre tabi tutulan numuneler ıslak kürede tutulan numunelerin %60-%70 mertebesinde basınç dayanımı geliştirebilmişlerdir.
- 5- KKA'nın puzolanik aktivitesini belirlemek için %20 KKA katkılı harç numunelerinin basınç dayanımları şahit numunelerin %57'si mertebesinde. Bu

sonuç KKA'nın puzolanik aktivitesinin çok iyi olmadığını göstermektedir. Ancak daha ince öğütülen KKA ile deneyler yapılması durumunda puzolanik aktivitenin daha yüksek olabileceği düşünülmektedir.

- 6- Kuru kür edilen harç numuneleri üzerindeki yapılan karbonatlaşma deneyleri sonucunda %3 KKA katkısının karbonatlaşmayı 28. günde %8 oranında azalttığı görülmüştür.
- 7- Rötire değerleri incelenirse KKA içeren tüm numuneler şahit numuneye göre daha az rötire değerleri vermişlerdir. KKA katkısının rötire azaltıcı bir etkisi olduğu görülmektedir.
- 8- Su emme ve boşlukluluk deneyleri sonucuna göre KKA katkısının boşlukluluk ve su emmeyi çok fazla etkilemediği görülmüştür.

5.3.Öneriler

- 1- Beton basınç deneylerinden elde edilen sonuçlara göre KKA katkısı için %5 ile %10 aralığında optimum bir değer olduğu düşünülmektedir. Bu aralıklar daraltılarak basınç dayanımı için optimum KKA katkısının bulunabileceği bir çalışma yürütülebilir.
- 2- Basınç deneyi sonuçları özellikle %5 ve %10 KKA katkısı içeren betonların zamanla şahit betona yakın basınç dayanımları geliştirdiklerini göstermiştir. Bundan dolayı 6 ay, 1 yıl ve 2 yıllık basınç dayanımı değerlerinin bulunması da yararlı olacaktır.
- 3- Rötire deneyi sonuçları %3 KKA katkısının rötire azaltıcı olarak kullanılabileceğini göstermektedir.
- 4- Yapılan deneylerde kullanılan KKA'nın özgül yüzeyi (Blain'i) 1020 cm²/gr dir. Bazı sonuçların beklenenden daha kötü çıkmasında bunun etkisinin olduğu düşünülmektedir. Bu çalışmanın Blain'i 3500-4000 olan KKA ile tekrarlanması KKA'nın inceliğinin etkisinin de görülmesi açısından faydalı olacaktır.
- 5- Bu çalışma harç ve beton numuneler üzerinde yürütülmüştür. Kullanılan malzemelerin kimyasal ve fiziksel kompozisyonu değişebileceğinden araştırmalar değişik kaynaklı malzemelerle tekrarlanmalıdır.
- 6- Bu çalışmada yürütülemeyen diğer bazı durabilite özelliklerini de kapsayan deneylerin (örneğin : ıslanma kuruma, donma çözünme, sülfat ve asit atağı, alkali

silis reaksiyonu deneyleri, hidratasyon ısı ölçümü) de kapsadığı bir çalışma yürütülebilir.

- 7- Katkı içeriği olarak kimyasal katkılarla beraber kullanılarak veya farklı puzolanik katkıları kullanılarak sonuçları değerlendirilebilir.
- 8- İnce öğütülmüş curuf veya silis dumanı ile mevcut kolemanit konsantratör atığı içeren karışımlar arasında üçlü veya daha çoklu karışımların harç veya beton özelliklerini hangi mertebede iyileştirebileceği araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- ATIŞ, C. D., 1997. **Design and Properties or High Volume Fly Ash Concrete for Pavements. PhD. Thesis**, The University of Leeds, U.K.
- ATIŞ, C. D., BİLİM, C., ÖZCAN, F., AKÇAÖZOĞLU, K., SEVİM, U. K. 2002 **The Use of a Non Standard High Calcium Fly Ash in Concrete and its Response to Accelerated Curing, Materiales de Construcción Vol.52 No.267, September, pp.5-17**
- AŞKIN, S.. 1998 **Bor Endüstri Atıklarının Değerlendirilmesi**, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa
- ASTM C191 1993, **Standard Test Method for Time Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle** Annual Book of ASTM Standards
- ASTM C 33 1994. **Standard Specification for Concrete Aggregates** Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM C 311 1994. **Standard Test Method for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use a Mineral Admixtural Portland-Cement Concrete** Annual Book of ASTM Standards.
- ALTUN, F. 2005. **Bor**, Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü, 80s, Ankara
- BAÜ **Fen Bil. Enst. Derg.** 2003 .5.1(İ. Ersan KALAFATOĞLU ve S. Nuran ÖRS) Ankara
- BİLİM, C. 2001 **Afşin-Elbistan Uçucu Külünün Beton İçinde Kullanılabilirliği ve Hızlandırılmış Kür Uygulaması**, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Hatay
- BONCUKCUOĞLU,R., YILMAZ,T. M., KOCAKERİM,M. M., TOSUNOĞLU, V. **Utilization of borogypsum as set retarder in Portland cement production**, 2001
- Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı Dokuzuncu Kalkınma Planı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, 2006
- ERDOĞAN, T. Y. 2003. **Beton OTDÜ** Geliştirme Vakfı ve Yayıncılık A.Ş. 741S, Ankara.
- Eti Holding A.Ş. Genel Müdürlüğü **Ferro Bor Ön Fizibilite Etüdü**, 2003, Ankara

- ERKAL, İ. F. 1990 **Etibank Emet Kolemanit İşletmesi Kaba Artıklarının Değerlendirilmesi Olanaklarının Araştırılması**, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara
- ERDOĞAN, T. Y. 1995. **Çimentolar** Türkiye Hazır Beton Birliği , 120s., İstanbul
- ERDOĞAN, T. Y. 1995. **Karışım ve Bakım Suları**. Türkiye Hazır Beton Birliği, 67s, İstanbul.
- ERDOĞAN, T. Y. 1997. **Admixtures For Concrete**. Middle East Technical University, ISBN 975-429-113-6, 188 s, Ankara
- KELEŞ,G.,KOCAKERİM,M.M.,BONCUKÇUOĞLU,R., **Borojips ve Kolemanit Konsantrasyon Atığının Çimentoda Kullanılması**, 1. Ulusal Bor Çalıştayı Bildiriler Kitabı 2005 Ankara
- KULA,İ.,OLGUN,A.,ERDOĞAN,Y.,SEVİNC,V., **Effects of colemanite waste cool bottom ash, and fly ash on the properties of cement**, 2000
- KAVAS,T.,ÖNCE,G.,OLGUN,A.,ERDOĞAN,Y., **Kolemanit Katkılı PÇ Üretiminde Priz Hızlandırıcı Olarak Organik Katkı Malzemesinin Kullanılabilirliği**, 1. Ulusal Bor Çalıştayı Bildiriler Kitabı 2005 Ankara
- KULA, İ. 2000. **Bor Endüstri Atıklarının Çimento Üretiminde Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi**, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi
- NEVİLLE, A. M., BROOKS, J. J., 1993. **Concrete Technology**. Longman Scientific and Technical, USA.
- OLGUN,A.,KAVAS,T.,ERDOĞAN,Y.,ONCE,G., **Physico-chemical characteristics of chemically activated cement containing boron**, 2006
- ÖZTURAN, T., KOCATAŞKIN, F. 1989. **Abrasion Resistance of Concrete as a Two Phase Composite Material**, The International Journal Cement Composites and Lightweight Concrete Volume 9. No.3 pp.169-176.
- ÖZMAL, F., ERDOĞAN,Y.,OLGUN,A.,ATAR,N.,KULA,İ.,KALFA,O.M. **Bor Endüstri Atıkları, Uçucu Kül ve Alünit İçeren Çimentoların Fiziksel ve Mekaniksel Özelliklerinin İncelenmesi**, 1. Ulusal Bor Çalıştayı Bildiriler Kitabı 2005 Ankara

POSTACIOĞLU, B. 1986. **Beton**. Matbaa Teknisyenleri Basımevi, c.2, 404s, İstanbul.

SEVİM, U.K. 2003 **Afşin-Elbistan Termik Santrali Uçucu Külünün Beton ve Çimento Katkısı Olarak Kullanılabilirliğinin Çimento Hamuru ve Harçların Üzerinde Yapılan Deneylerle Araştırılması**, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana

TS 3453, 1981.**Beton Elemanlarda Büzülme Oranı (Rötre) Tayini Metodu**

T.C. **Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı** Yayın No:Dpt : 2414 – Öik: 474, 1995

Tübitak **Bor Raporu** Ek-2h 2002

TOPÇU,İ.B., BOĞA,A.R. **Bor Atıklı Çimento Harçlarının Dayanıklılığı**, 1. Ulusal Bor Çalıştayı Bildiriler Kitabı 2005 Ankara

TS 19, 1992. **Çimento-Portland Çimentoları**. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 24, 1985. **Çimentoların Fiziki ve Mekanik Deney Metodları**

ÖZTURAN, T. 1991. **Beton Üretiminde Uçucu Kül Kullanımının İrdelenmesi**. Türkiye İnşaat Mühendisliği XI. Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı, TBMMO İnşaat Mühendisleri Odası, s:149-158, İstanbul

ÖZKUL, H., TAŞDEMİR, M. A., TOKYAY, M., UYAN, M. 1999. **Meslek Liseleri İçin Her Yönüyle Beton**. Türkiye Hazır Beton Birliği, 119s, İstanbul

www.kimyamuhendisi.com