



MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BOROJİPSİN BETONUN BAZI ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN
İNCELENMESİ

YAKUP TÜMEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HATAY
AĞUSTOS-2008



MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BOROJİPSİN BETONUN BAZI ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN
İNCELENMESİ

YAKUP TÜMEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HATAY
AĞUSTOS-2008


MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

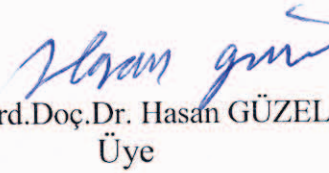
BOROJİPSİN BETONUN BAZI ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

YAKUP TÜMEN
YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Yrd.Doç.Dr. Umur Korkut SEVİM danışmanlığında hazırlanan bu tez 27/08/2008 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.


Yrd.Doç.Dr. Umur K. SEVİM
Başkan


Yrd.Doç.Dr. Hasan GÜZEL
Üye


Yrd.Doç.Dr. Cuma KARAKUŞ
Üye

Bu tez Enstitümüz İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

Prof.Dr. Necat AĞCA
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	V
ABSTRACT	VI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	VII
ÇİZELGELER DİZİNİ	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
1. GİRİŞ	1
1.1. Borun Tarihçesi.....	2
1.2. Dünya ve Türkiye Bor Rezervleri.....	3
1.2.1. Kırka Borat Yatakları.....	4
1.2.2. Emet Borat Yatakları.....	5
1.2.3. Bigadiç Borat Yatakları.....	5
1.2.4. Kestelek Borat Yatakları.....	5
1.3. Endüstride Bor Kullanan Sektörler.....	5
1.4. Bor ve Atıklarının Çimento ve Beton Üretiminde Kullanılması	6
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	8
2.1. Giriş.....	8
2.2. Betonda Borojips Kullanımı	8
2.3. Borojips İkame Şekli.....	8
2.4. Borojips İçeren Betonun Özellikleri	9
2.4.1. Priz Süresi	9
2.4.2. Basınç Dayanımı	9
2.4.3. Çekme Dayanımı.....	10
2.4.4. Radyasyon Geçirgenliği.....	11
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	14
3.1.1.2.1. Çimento	15
3.1.1.2.1.1. Çimentonun Üretilmesi.....	15

II

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.....	22
3.1.1.2.1.8.1. Fiziksel Deneyler	23
3.1.1.2.1.8.1.1. Normal Kıvamda Çimento Hamuru İçin Gerekli Su Miktarının Saptanması.....	23
3.1.1.2.1.8.1.2. Priz Sürelerinin Saptanması.....	24
3.1.1.2.1.8.1.3. Hacim Sabitliği Muayenesi.....	25
3.1.1.3. Agregalar.....	26
3.1.1.3.1. Birim Ağırlık.....	27
3.1.1.3.2. Özgül Ağırlık	28
3.1.1.3.3. Tane Boyutu ve Dağılımı	29
3.1.1.4. Beton Deneyleri	31
3.1.1.4.1. Taze Beton Deneyleri.....	32
3.1.1.4.1.1. Slump (Çökme) Deneyi.....	32
3.1.1.4.1.2. Ve-Be Deneyi.....	33
3.1.1.4.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri.....	35
3.1.1.4.2.1. Basınç Dayanımı	35
3.1.1.4.2.2. Çekme Dayanımı.....	35
3.2. Puzolanlar ve Çok İnce Ögütülmüş Diğer Mineral Katkılar.....	37
3.2.1. Giriş.....	37
3.2.2. İnce Ögütülmüş Mineral Katkılarının Sınıflandırılması	38
3.2.3. Puzolanik Malzemeler.....	39
3.2.3.1. Puzolanların Tanımı	39
3.2.3.2. Puzolanik Malzemelerin Tipleri.....	39
3.2.3.3. Puzolanik Reaksiyon.....	40
3.2.3.4. Puzolanik Malzemelerin Kullanımı	40

III

3.2.3.5. Doğal ve Yapay Puzolanlar İçin Deney Metodları	41
3.2.3.6. Doğal ve Yapay Puzolanların Betona Mineral Katkı Olarak Uygunlukları.....	41
3.2.4. Bağlayıcı Malzemeler Olarak İnce Öğütülmüş Mineral Katkılar	41
3.2.4.1. Su Kireci	42
3.2.4.2. Duvar Harcı Çimentosu.....	42
3.2.4.3. Cüruf Çimentosu	42
3.2.5. İnce Öğütülmüş Diğer Mineral Katkılar	43
3.2.6. İnce Öğütülmüş Mineral Katkılarının Kullanım Amacı	43
3.3. Bor.....	44
3.3.1. Giriş.....	44
3.3.2. Bor Ürünleri	44
3.3.2.1. Tabii Boratlar	44
3.3.2.2. Rafine Boratlar	44
3.3.2.3. Özel Bor Kimyasalları.....	45
3.3.2.4. Bor Türevleri.....	45
3.3.3. Bor Ürünlerinin Kullanım Alanları.....	45
3.3.4. İnşaat Sektörü ve Bor	46
3.3.5. Borojips	47
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	49
4.1. Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri.....	49
4.1.1. Çimento	49
4.1.2. Borojips	50
4.1.2.1. Borojips Kimyasal Analizi.....	50
4.1.3. Su	51
4.1.4. Agregalar	51
4.1.4.1. İnce Agregalar (Doğal Kum).....	51
4.1.4.2. İri Agregalar (Kırmataş, 5-11 mm)	53
4.1.4.3. İri Agregalar (Kırmataş, 11-22 mm)	54
4.2. Deney Yöntemleri	55
4.2.1. Hazırlanacak Numune Tipleri	55
4.2.2. Deneysel Çalışmalar	56

IV

4.2.2.1. Yürütülen Deneyler.....	57
4.2.3. Notasyon	58
4.2.4. Karışımlar.....	59
4.3. Deney Sonuçları, Bulgular ve Tartışma	60
4.3.1. Çimento Hamuru Üzerinde Yapılan Deney ve Sonuçları	60
4.3.1.1. Normal Kıvam Deneyleri.....	60
4.3.1.2. Hacim Sabitliği Deneyleri.....	61
4.3.1.3. Priz Deneyi.....	61
4.3.2. Taze Beton Üzerinde Yapılan Deneyler ve Sonuçları	62
4.3.2.1. Ve-Be Deneyi.....	62
4.3.2.2. Slump (Çökme) Deneyi	64
4.3.3. Borojipsin Taze Betonun Yoğunluğuna Etkisi	65
4.3.4. Sertleşmiş Beton Numuneleri Üzerinde Yürütülen Deneyler	67
4.3.4.1. Basınç Dayanımı	67
4.3.4.2. Yoğunluk Değişimi	71
4.3.4.3. Betonda Çekme Dayanımı	73
4.3.5. Çimento Dozajının Etkisi.....	77
4.3.5.1. Çimento Dozajının Basınç Dayanımına Etkisi	77
4.3.5.2. Çimento Dozajının Yarmada Çekme Dayanımına Etkisi	78
4.3.6. Su/Çimento Oranının Etkisi	79
4.3.6.1. Su/Çimento Oranının Basınç Dayanımına Etkisi.....	79
4.3.6.2. Su/Çimento Oranının Yarmada Çekme Dayanımına Etkisi.....	81
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	82
5.1. Taze Beton Özellikleri Üzerinde Gözlenen Bulgular	82
5.2. Sertleşmiş Beton Özellikleri Üzerinde Saptanan Bulgular	82
5.3. Öneriler	83
KAYNAKLAR	85
TEŞEKKÜR.....	87
ÖZGEÇMİŞ	88

ÖZET**BOROJİPSİN BETONUN BAZI ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

Bu çalışmada, Eti Maden İşletmeleri Kütahya Emet Bor İşletme Müdürlüğü'nden getirilen borojipsin çimento ve beton katkısı olarak kullanılabilirliği çimento hamuru ve beton numuneler üzerinde yapılan deneylerle araştırılmıştır. Yapılan mekanik deneylerde (Basınç Dayanımı ve Çekme Dayanımı) %3 ve %5 borojips ikamesinin betonun basınç ve çekme dayanımını iyileştirdiği görülmektedir. Borojips katkılı beton numunelerin slump ve Ve-be sonuçları, borojipsin beton işlenebilirliğini azaltıcı bir etkisi olduğunu göstermektedir. Karışımlardaki borojips katkısının artmasıyla çimentonun priz başlangıcı ve priz sonu sürelerinin uzadığı tespit edilmiştir. Bu nedenle borojipsin betonda priz geciktirici olarak kullanılabileceği düşünülmektedir.

2008, 88 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Bor, Borojips, Eti Maden, Basınç Dayanımı, Beton, Priz

ABSTRACT**EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON EFFECTS OF BOROGYPSUM ON SOME PROPERTIES OF CONCRETE**

In this study, utilization of borogypsum provided by Eti Mine Works Kütahya Emet Boron Plant as a cement and concrete additives was investigated by experiments executed on cement paste and concrete. Mechanical test results indicated that using %3 and %5 of borogypsum improve the compressive strength of concrete. Slump and Ve-Be test results show that utilization of borogypsum reduced the workability of concrete. Increasing the amount of borogypsum prolonged initial and final setting time of cement. Consequently, borogypsum can be used as a set retarder additive in concrete.

2008, 88 pages

Keywords : Boron, Borogypsum, Eti Mine, Compressive Strength, Concrete, Setting time.

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

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

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1.1. Dünya Bor Rezervleri	4
Çizelge 1.2. Bor Tüketiminin Sektörel Dağılımı.....	6
Çizelge 3.1. Portland Çimentosunu Oluşturan Oksitler ve Yüzde Miktarları.....	16
Çizelge 3.2. Çimentonun Ana Bileşenleri.....	17
Çizelge 3.3. Çimentonun Ana Bileşenlerinin Özellikleri.....	18
Çizelge 4.1. Kullanılan Çimentonun Kimyasal Bileşimi.....	49
Çizelge 4.2. Kullanılan Çimentonun Fiziksel Özellikleri	50
Çizelge 4.3. Borojipse Ait Kimyasal Analiz Sonuçları.....	51
Çizelge 4.4. Betonda Kullanılan Kuma Ait Elek Analizi Sonuçları	52
Çizelge 4.5. Betonda Kullanılan Kuma Ait Fiziksel Özellikler.....	52
Çizelge 4.6. Betonda Kullanılan Kırmataşa (5-11 mm) Ait Elek Analizi Sonuçları ..	53
Çizelge 4.7. Betonda Kullanılan Kırmataşa (11-22mm) Ait Elek Analizi Sonuçları	54
Çizelge 4.8. Notasyon	58
Çizelge 4.9. Karışım Dizaynları.....	59
Çizelge 4.10. Normal Kıvam Deney Sonuçları.....	60
Çizelge 4.11. Şahit Betona Göre Normal Kıvam Yüzde Miktarları	60
Çizelge 4.12. Hacim Sabitliği Deneyi Sonuçları	61
Çizelge 4.13. Priz Başlangıcı ve Sonu Değerlerinin Şahit Numuneye Göre Değişimi	61
Çizelge 4.14. Ve-Be Deneyi Sonuçları	63
Çizelge 4.15. Slump (Çökme) Deneyi Sonuçları.....	64
Çizelge 4.16. Taze Betonda Borojipsin Yoğunluğa Etkisi	65
Çizelge 4.17. Beton Numunelerin 7, 28 ve 90 Günlük Basınç Dayanımı Sonuçları .	67
Çizelge 4.18. Sertleşmiş Beton Numunelerin 7, 28 ve 90 Günlük Yoğunlukları	71
Çizelge 4.19. Beton Numunelerin 28 Günlük Çekme Dayanımları.....	73
Çizelge 4.20. Betonun Çekme Dayanımı Değişim Yüzdesi	75
Çizelge 4.21. Çimento Dozajına Göre Basınç Dayanımı Oranları Değişim Yüzdesi	77
Çizelge 4.22. Çimento Dozajına Göre Çekme Dayanımı Oranları Değişim Yüzdesi	78
Çizelge 4.23. Su/Çimento Oranlarına Göre Basınç Dayanımı Değişim Yüzdesi	80
Çizelge 4.24. Su/Çimento Oranlarına Göre Çekme Dayanımı Değişim Yüzdesi.....	81

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Priz Başlangıcı ve Priz Sonu Grafiği	9
Şekil 2.2. Borojips İlaveli Harçların Basınç Dayanımı Grafiği	10
Şekil 2.3. Borojips İlaveli Harçların Çekme Dayanımı Grafiği.....	11
Şekil 2.4. Borojips İlaveli Harçların Radyasyon Geçirgenliği Sonuçları Grafiği.....	11
Şekil 2.5. Borojips İlaveli Harçların Radyasyon Geçirgenliği Sonuçları Grafiği	12
Şekil 3.1. Vicat Aleti.....	24
Şekil 3.2. Le Chatelier Aleti.....	25
Şekil 3.3. Birim Ağırlığın Belirlenmesi	27
Şekil 3.4. Özgül Ağırlığın Belirlenmesi.....	28
Şekil 3.5. Elek Analizi İçin Kullanılan Elekler.....	30
Şekil 3.6. Slump (Çökme) Deneyi	32
Şekil 3.7. Slump (Çökme) Deneyi Fotoğrafları	33
Şekil 3.8. Ve-Be Deneyi	34
Şekil 3.9. Ve-Be Deneyi Fotoğrafları	34
Şekil 3.10. Beton Presi	35
Şekil 3.11. Silindir Yarma Deneyi (Çekme Dayanımı)	36
Şekil 3.12. Beton Presinde Silindir Yarma Deneyi Fotoğrafları.....	36
Şekil 4.1. Betonda Kullanılan Kuma Ait Elek Analizi Grafiği.....	52
Şekil 4.2. Kırmataş Agregaya Ait Elek Analizi Grafiği (5-11 mm)	53
Şekil 4.3. Kırmataş Agregaya Ait Elek Analizi Grafiği (11-22 mm)	54
Şekil 4.4. Yürütülen Deneysel Çalışmalar	56
Şekil 4.5. Priz Başlangıcı ve Priz Sonu Grafiği	62
Şekil 4.6. Ve-Be Süreleri Grafiği	63
Şekil 4.7. Slump Değişim Grafiği.....	64
Şekil 4.8.1. Ortalama Yoğunluk Dağılımı (400 doz, S/Ç=0,60).....	66
Şekil 4.8.2. Ortalama Yoğunluk Dağılımı (300 doz, S/Ç=0,60).....	66
Şekil 4.8.3. Ortalama Yoğunluk Dağılımı (400 doz, S/Ç=0,50).....	66
Şekil 4.9.1. Beton Basınç Dayanımları (400 doz, S/Ç=0,60)	68
Şekil 4.9.2. Beton Basınç Dayanımları (300 doz, S/Ç=0,60)	69

Şekil 4.9.3. Beton Basınç Dayanımları (400 doz, S/Ç=0,50)	70
Şekil 4.10.1. Sertleşmiş Beton Yoğunlukları (400 doz, S/Ç=0,60)	72
Şekil 4.10.2. Sertleşmiş Beton Yoğunlukları (300 doz, S/Ç=0,60)	72
Şekil 4.10.3. Sertleşmiş Beton Yoğunlukları (400 doz, S/Ç=0,50)	72
Şekil 4.11.1. 28 Günlük Çekme Dayanımları (400 doz, S/Ç=0,60)	74
Şekil 4.11.2. 28 Günlük Çekme Dayanımları (300 doz, S/Ç=0,60)	74
Şekil 4.11.3. 28 Günlük Çekme Dayanımları (400 doz, S/Ç=0,50)	74
Şekil 4.12.1. Betondaki Çekme Dayanımı Değişimi (400 doz, S/Ç=0,60).....	76
Şekil 4.12.2. Betondaki Çekme Dayanımı Değişimi (300 doz, S/Ç=0,60).....	76
Şekil 4.12.3. Betondaki Çekme Dayanımı Değişimi (400 doz, S/Ç=0,50).....	76
Şekil 4.13. Çimento Dozajına Göre Basınç Dayanımı Değişimi Grafiği	78
Şekil 4.14. Çimento Dozajına Göre Yarmada Çekme Dayanımı Değişimi Grafiği ..	79
Şekil 4.15. S/Ç Oranına Göre Basınç Dayanımı Değişimi Grafiği.....	80
Şekil 4.16. S/Ç Oranına Göre Yarmada Çekme Dayanımı Değişimi Grafiği.....	81

1. GİRİŞ

İnşaat sektöründe genel maliyetler incelendiğinde, maliyetlerin en büyüklerinden birini beton, beton incelendiğinde ise en büyük maliyeti çimento oluşturmaktadır. Kullandığımız tüm puzolanik katkıları çimento azaltma amaçlıdır.

Bor Madeni, gün geçtikçe önemi artan dünyanın en önemli cevherlerinden biri olup, her geçen gün endüstriye bir parça daha girmektedir. Teknolojinin gelişmesi borun önemini daha da artırmaktadır. En önemli bor bileşiği olan madenler 3 ana grupta toplanmıştır. Bunlar Kolemanit, Tinkal ve Üleksit'tir. Türkiye'de ham bor işleyebilen 4 bor işletmesi bulunmaktadır. Bu tesislerden milyonlarca ton atık çıkmaktadır. Amacımız bu atığın hem çevreye atılmasını önlemek hem de inşaat sektöründe çok kullanılan malzemelerden biri olan betona en ucuz şekilde istediğimiz özellikleri katabilme olmuştur.

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 yapı alanında ve beton üretiminde çeşitli amaçlarla kullanılmışlardır. Betonun temel bileşenlerinden olmayan bu maddeler, gelişen beton teknolojisinde betonun çeşitli fiziksel, mekanik ve durabilite (kalıcılık, dayanıklılık) özelliklerini değiştirmek hemde üretimde ekonomi sağlamak amacıyla kullanılan katkı maddeleri olarak 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 problemler azaltılmış 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 artması ve borun yakın gelecekte enerji üretim kaynağı olarak kullanılabilme olasılığı bu hammaddeye diğerleri arasında bir ayrıcalık kazandırır. Bilinen dünya bor rezervlerinin %70'inin Türkiye'de bulunması, bu hammaddenin önemini bizim açımızdan daha da arttırmaktadır. Bor, ametal (metal olmayan) sınıfında B harfi ile gösterilen bir kimyasal elementdir. Periyodik sistemin üçüncü grubunun başında bulunan ve atom numarası 5 olan bor elementi, kütle numaraları 10 ve 11 olan iki kararlı izotopdan oluşur.

1.1. Bor'un Tarihçesi

Bor elementi ilk defa 1808 yılında Gay-Lussac, Louis Jacques Thenard ve Sir Davy tarafından bor oksidin potasyum ile ısıtılmasıyla elde edilmiştir (Etibor). Daha saf bor, ancak bromit veya klorit formlarının tantalyum flamenti vasıtasıyla hidrojen ile reaksiyona sokulmasıyla elde edilmektedir. Bor ismi borun tuzu olan borakstan türetilmiştir.

Tarihte ilk olarak 4000 yıl önce Babiller Uzak Doğu'dan boraks ithal etmiş ve bunu altın işletmeciliğinde kullanmışlardır. Mısırlılarında boru, mumyalamada, tıpta ve metalurji uygulamalarında kullandıkları bilinmektedir. İlk boraks kaynağı Tibet göllerinden elde edilmiştir. Boraks koyunlara bağlanan torbalarda Himalayalar'dan Hindistan'a getirilmiştir. Eski Yunanlılar ve Romalılar boratları temizlik maddesi olarak kullanmıştır. İlaç olarak ilk kez Arap doktorlar tarafından M.S. 875 yılında kullanılmıştır. Borikasit 1700'lü yılların başında borakstan yapılmış, 1800'lü yılların başında ise elementer bor elde edilmiştir .

Modern bor endüstrisi ise 13. yy'da Marco Polo tarafından Tibet'ten Avrupa'ya getirilmesiyle başlamıştır. 1771 yılında, İtalya'nın Tuscani bölgesindeki sıcak su kaynaklarında doğal bir borikasit ürünü olan Sassolit bulunmuş ve 19. yüzyılda Avrupa pazarlarının borik asit ve boraks gereksinimini büyük oranda karşılamıştır. 1852'de Şili'de endüstriyel anlamda ilk boraks madenciliği başlamıştır. Nevada, California, Caliko Mountain ve Kramer yöresindeki yatakların bulunarak işletilmeye alınmasıyla ABD dünya bor gereksinimini karşılayan birinci ülke haline gelmiştir. Türkiye'de ilk işletmenin 1861 yılında çıkartılan Maadin Nizamnamesi uyarınca 1865 yılında bir Fransız şirketine işletme imtiyazı verilmesiyle başladığı bilinmektedir (Baykal, 2003).

1950 yılında Bigadiç ve 1952 yılında Mustafa Kemal Paşa yöresinde kolemanit yatakları bulunmuştur. 1956 yılında Kütahya Emet Kolemanit, 1961 yılında Eskişehir Kırka Boraks yataklarının bulunması ve işletilmeye başlatılmasıyla Türkiye, dünya bor üretimi içinde % 3 olan payını 1962'de % 15, 1977' de % 39 düzeyine yükseltmiştir (Etibor). Türkiye'de bilinen başlıca borat yatakları Batı Anadolu'da yer almakta ve bu yataklar dünya rezervinin %70'ine denk gelmektedir. Türkiye rezervlerinin % 37'si Bigadiç, % 34'ü Emet, % 28'i Kırka ve %1'i Kestelek bölgesinde bulunmaktadır.

Bigadiç işletmesinde başlıca bor mineralleri kolemanit ve üleksittir. Boratlar 1-8 m kalınlıkta tabakalar halinde killer arasında yer alırlar . Kapalı ve açık ocaklardan üretilen tüvenan cevherler 600.000 ton/yıl tüvenan cevher yıkama kapasiteli konsantratörlerde zenginleştirilerek 25-125 mm, 3-25 mm kolemanit konsantreleri ile 3-125 mm ve 0.2-3 mm üleksit konsantreleri elde edilir.

Bor mineral ve bileşiklerinin ülkemiz içinde kullanımı çok kısıtlıdır. Kırka (Eskişehir) ve Bandırma (Balıkesir)'de yer alan tesislerde bor cevherleri rafine ürüne dönüştürülmektedir.

1.2. Dünya ve Türkiye Bor Rezervleri

Dünya'da en çok rezerve sahip olan ülkeler Türkiye, ABD, Rusya, Çin, Şili, Bolivya, Peru, Arjantin ve Sırbistan'dır. 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 850 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. Çizelge 1.1.'de dünya bor rezervleri verilmiştir.

Çizelge 1.1. Dünya Bor Rezervleri

ÜLKE	GÖRÜNÜR EKONOMİK REZERV	MUHEMEL MÜMKÜN REZERV	TOPLAM REZERV	TOPLAM REZERVDEKİ PAY (%)
Türkiye	227.000	624.000	851.000	72,2
A.B.D.	40.000	40.000	80.000	6,8
Rusya	40.000	60.000	100.000	8,5
Çin	27.000	9.000	36.000	3,1
Arjantin	2.000	7.000	9.000	0,8
Bolivya	4.000	15.000	19.000	1,6
Şili	8.000	33.000	41.000	3,5
Peru	4.000	18.000	22.000	1,9
Kazakistan	14.000	1.000	15.000	1,3
Sırbistan	3.000	0	3.000	0,3
TOPLAM (Bin Ton)	369.000	807.000	1.176.000	100

Dünyadaki önemli bor yatakları Türkiye, ABD ve Rusya'da yer almaktadır. Dünya toplam bor rezervi sıralamasında Türkiye %72'lik pay ile ilk sıradadır. Dünyadaki en önemli bor üreticileri; Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü (Türkiye) ve Rio Tinto (ABD)'dur. Bu iki kuruluş dünya bor üretiminin yaklaşık %70'ini gerçekleştirmektedir (Eti Maden).

Türkiye rezervlerinin % 37'si Bigadiç, % 34'ü Emet, % 28'i Kırka ve %1'i Kestelek bölgesinde bulunmaktadır.

1.2.1. Kırka Bor Yatakları

Ankara'nın 240 km batısında Eskişehir ili sınırları içerisindedir. Boratlar kil, tuf ve marn ile arakatlı olup, kireçtaşı borat mercceklerinin altında ve üstünde bulunur. Yataktaki başlıca bor mineralleri tinkal, kolemanit ve üleksittir. Kırka boraks yatağı dünyanın en büyük rezervine sahip olup, toplam rezerv 520 milyon ton dolayındadır.

1.2.2. Emet Borat Yatakları

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

1.2.3. Bigadiç Borat Yatakları

Yataklar, Balıkesir ili Bigadiç ilçesinin kuzeydoğusunda yer almaktadır. Başlıca mineraller kolemanit ve üleksittir. Kolemanit yataklarındaki arsenik oranı çok düşüktür ki bu özellik cevherin önemini artırmaktadır.

1.2.4. Kestelek Borat Yatakları

Bursa ili'nin Mustafa Kemal Paşa ilçesinin güneydoğusunda yer almaktadır. Başlıca bor minerali kolemanit olup, hidroborasit, probertit, meyerhafferit ve üleksit yan mineraller olarak görülür.

1.3. Endüstride Bor Kullanan Sektörler

Bor, endüstrinin birçok alanında boy göstermektedir. Bunlar; Cam Elyafi (Sertleşmiş plastikler, otomotiv parçaları, uçak sanayinde, spor malzemeleri üretimi), Optik Cam Elyafi (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 amacıyla), Metalurji (Ergimeyi hızlandırıcı, Koruyucu cüruf oluşturulması), Nükleer Uygulamalar ve bir çok ana ve yan sektörde kullanılmaktadır. Bor tüketilen sektörlerin dağılımı Çizelge 1.2.'de gösterilmektedir.

Çizelge 1.2. Bor Tüketiminin Sektörel Dağılımı

Kullanım Alanı	Dağılım	
	Miktar (Bin Ton)	Pay %
Yalıtım Tipi Cam Elyafı	440	24,4
Tekstil Tipi Cam Elyafı	370	20,6
Borosilikat Camlar	165	9,2
Emaye-Sır	350	19,4
Tarım	120	6,7
Deterjan	95	5,3
Diğer Alanlar	260	14,4
Toplam	1.800	100

1.4. Bor ve Atıklarının Çimento ve Beton Üretiminde Kullanılması

Bor madeni rezervlerinin belirli bölgelerde toplanıp, bu bölgedeki değerinin anlaşılması ve bor madeninin, teknolojideki öneminin son yıllarda artışı sebebiyle, bu madenin kullanımı son zamanlarda çok artmıştır. Bu madenin 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 kullanılabileceği fikrini çıkarmıştır.

Sonuç olarak bu tez çalışması;

- a) Kütahya-Emet Borikasit üretiminden çıkan borojips atığının, çimento hamuru ve beton numunelerin özelliklerini iyileştirip iyileştirmediğinin anlaşılması ve bu maddenin beton ve çimento katkısı olarak kullanılabilirliğinin çimento hamuru ve beton numuneler üzerinde yapılacak deneylerle araştırılmasını
- b) Bu maddenin kimyasal bileşimi ve fiziksel özelliklerinin çimento hamuru ve beton numunelerinin özelliklerini hangi yönde değişikliğe uğrattığının saptanmasını
- c) Elde edilen sonuçların yorumlanmasıyla bu malzemenin hangi potansiyel alanlarda değerlendirilebileceğini tespit etmek ve bunun sonucunda bir atık madde olan bu malzemenin endüstriye bir değer olarak katılmasını sağlamak ve çevre kirliliğine yol açmasının önlenmesini amaçlamaktadır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Giriş

Bor madeninin 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. Bilimsel araştırmalar, makaleler, yayınlar incelendiğinde yine de en çok çalışmanın ülkemizde yapıldığı görülmektedir. Borojips borikasitin üretimi esnasında katı atık olarak ortaya çıkar. Borojipsin beton ve çimentoda mineral katkı malzemesi olarak kullanımı ile ilgili sınırlı da olsa bazı çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalar aşağıda verilmiştir.

2.2. Betonda Borojips Kullanımı

İnşaat sektöründe genel maliyetler incelendiğinde, maliyetlerin en büyüklerinden birini beton, beton incelendiğinde ise en büyük maliyeti çimento oluşturmaktadır. Kullandığımız tüm puzolanik katkıları çimento azaltıcı amaçlıdır. Bor atıklarının ülkemizde çok yeni olması sebebiyle henüz borojips betonda kullanılmamaktadır.

2.3. Borojips İkame Şekli

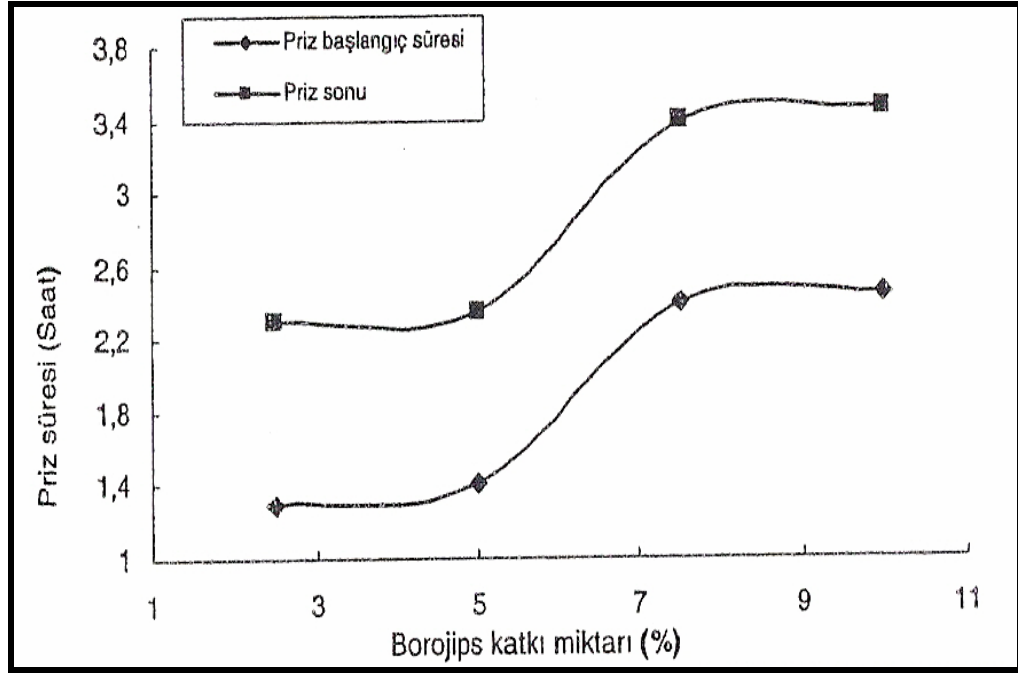
Araştırmacılar puzolanik katkıları farklı şekilde betona ikame etmişlerdir. Basit ikame olarak adlandırılan bu metotla bizimde uyguladığımız gibi kontrol çimentosunun bir kısmına hacimce veya ağırlıkça eşit miktarda puzolanik katkı ilave edilerek katkının özellikleri saptanmaya çalışılır. Bu metod bir çok bilim adamı tarafından kullanılmaktadır.

Boncukoğlu ve ark. (2002) yüksek bor içerikli atık malzeme borojipsin çimento ve beton üretiminde değerlendirilmesine yönelik çalışmalar yapmış ve yapılan çalışmalar olumlu neticeler vermiştir. Borojipsin çimento bünyelerindeki diğer alçıtaşlarının(fosfojips, fluorjips,..) yerine alternatif bir madde olarak kullanılabileceğini tespit etmişlerdir.

2.4. Borojips İçeren Betonun Özellikleri

2.4.1. Priz Süresi

Keleş ve ark. (2001) borojips ikamesiyle priz süresinin uzadığını tespit etmişlerdir. Bu araştırmada sunulan çalışma sonuçları Şekil 2.1.'deki grafikte verilmiştir.

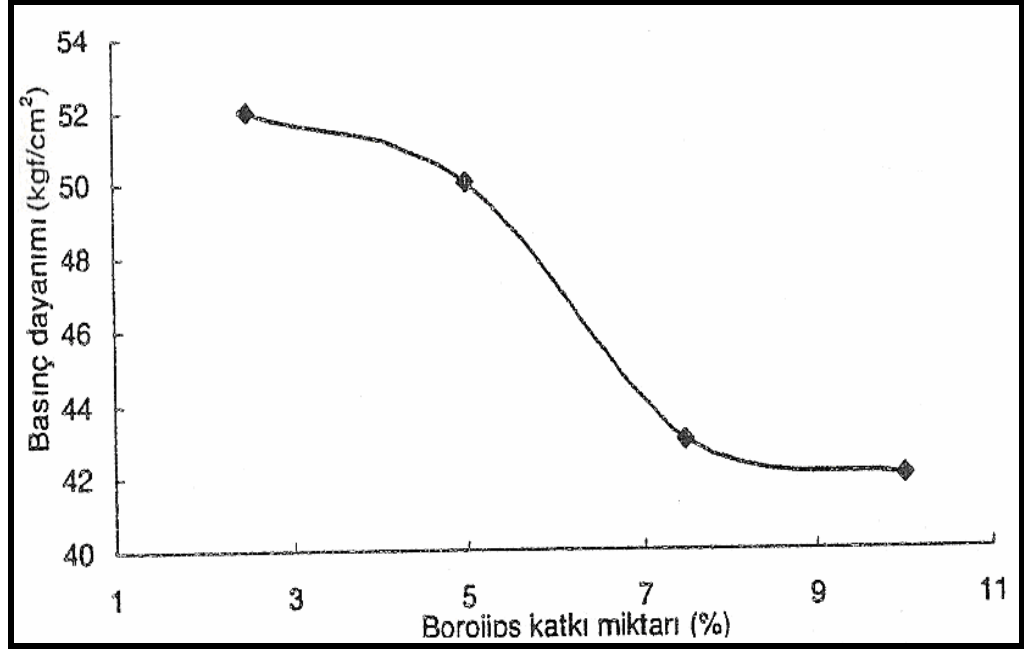


Şekil 2.1. Priz Başlangıcı ve Priz Sonu Grafiği (Keleş ve ark., 2001)

Kavas ve ark. (2004) yapmış oldukları çalışmada borojipsin priz sürelerini uzattığını tespit etmişlerdir.

2.4.2. Basınç Dayanımı

Keleş ve ark. (2001) yaptıkları araştırmalarda çeşitli oranlarda kattıkları borojips ikamesiyle basınç dayanımlarının düştüğünü rapor etmişlerdir. Bu araştırmada sunulan çalışma sonuçları Şekil 2.2.'deki grafikte verilmiştir.



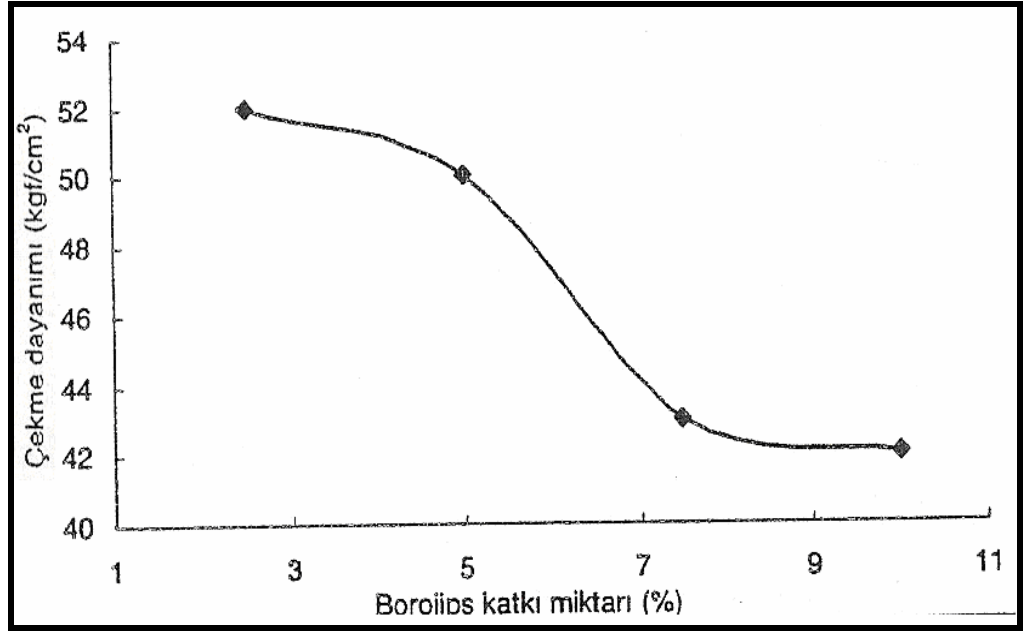
Şekil 2.2. Borojips İlaveli Harçların Basınç Dayanımı Grafiği (Keleş ve ark., 2001)

Boncukoğlu ve ark. (2001) yapmış oldukları çalışmaların sonucunda borojips katkıli çimentolarla üretilen betonların normal Portland Çimentosu ile üretilen betonlardan daha yüksek basınç dayanımı değerleri verdiğini tespit etmişlerdir.

Kavas ve ark. (2004) yaptıkları deneysel çalışmalar sonucunda beton içerisinde artan borojips miktarının betonun basınç dayanımını düşürdüğünü tespit etmişlerdir.

2.4.3. Çekme Dayanımı

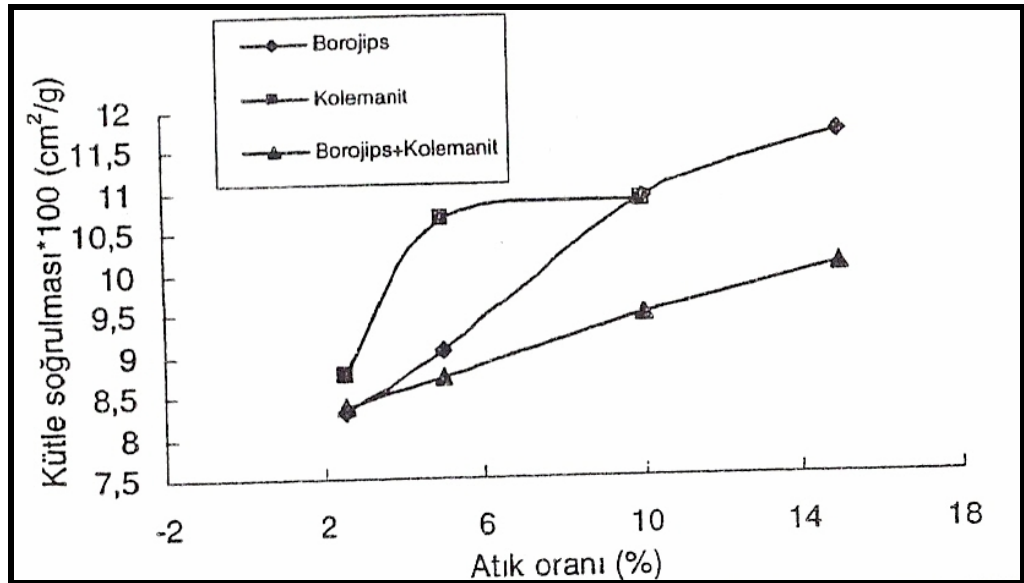
Keleş ve ark. (2001) çeşitli oranlarda kattıkları borojipsin harçlarda çekme dayanımını düşürdüğünü ifade etmişlerdir. Bu araştırmada sunulan çalışma sonuçları Şekil 2.3.'deki grafikte verilmiştir.



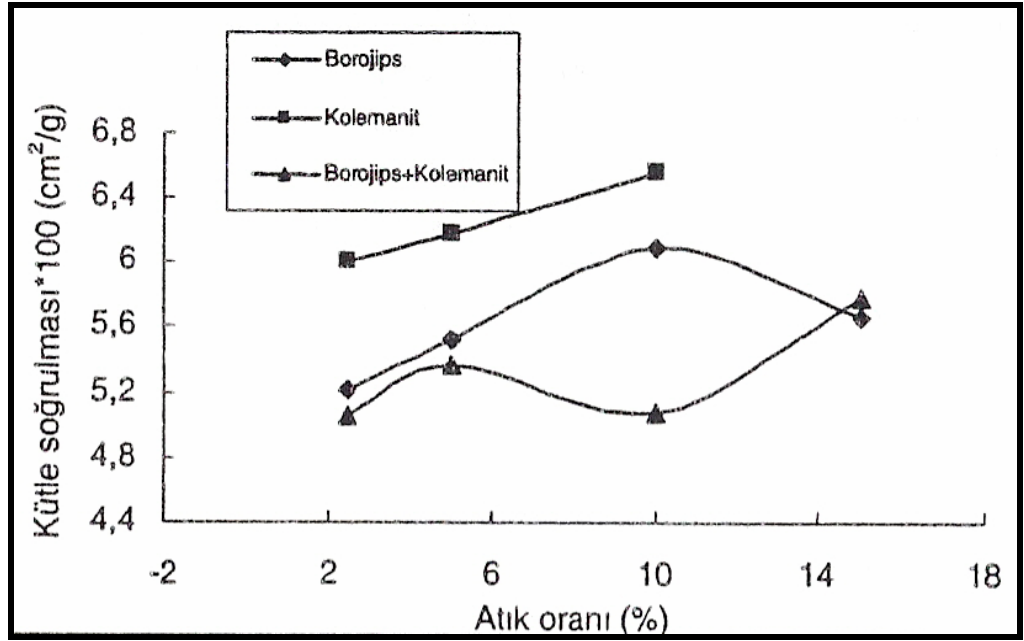
Şekil 2.3. Borojips İlaveli Harçların Çekme Dayanımı Grafiği (Keleş ve ark., 2001)

2.4.4. Radyasyon Geçirgenliği

Keleş ve ark. (2001) çeşitli oranlarda kattıkları borojipsin çimentoya katılma yüzdesi arttıkça radyasyon geçirgenliğinin azaldığını gözlemlemişlerdir. Bu araştırmada sunulan çalışma sonuçları Şekil 2.4. ve Şekil 2.5.'deki grafiklerde verilmiştir.



Şekil 2.4. Borojips İlaveli Harçların Radyasyon Geçirgenliği Sonuçları Grafiği (Keleş ve ark., 2001) (Am241 nokta kaynakla yapılan)



Şekil 2.5. Borojips İlaveli Harçların Radyasyon Geçirgenliği Sonuçları Grafiği (Keleş ve ark., 2001) (Ba133 nokta kaynakla yapılan)

Demir ve Keleş (2006) yaptıkları çalışmada borojips içeren çimentolarla üretilen betonların radyasyon geçirgenliğini test etmişlerdir. Çimento içerisindeki borojips yüzdesinin artmasıyla betonun radyasyon geçirgenliğinin düştüğünü tespit etmişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Genel Bilgiler

3.1.1. Betonun Oluşturan Malzemeler

Beton; su, çimento, agrega ve gerektiğinde katkı maddelerinin de kullanılması ile elde edilen, düşük teknoloji ile üretilebilen 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 yerleştirildikten sonra 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.

(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. Agregada yüzeyinde bulunabilecek kil toprakları, silt ve organik maddeler beton özelliklerini olumsuz yönde etkilerler.

Agregada 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, agregada 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 katılaşır, yüzeyleri birbirine bağlayabilme özelliğine sahip malzemelere bağlayıcı malzemeler denilmektedir (Postacıoğlu, 1986).

Çimento, alçı ve kireç 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, katılaşmasına ve bağlayıcılığına su altında da devam edebildiği için hidrolik bir bağlayıcıdır. Buna göre, su altında sertleşebilen ve suda erimeyen bağlayıcılara “hidrolik bağlayıcılar” denilmektedir.

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 yapıda 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 özelliği göstermektedir. Bu özellik sayesinde, taze betonu karıştırmak, taşıyıp kalıplara 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 “sunı taş” elde edilmektedir.

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 olan 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°C - 1450°C’ de pişirilirler. 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 az miktarda alçı taşı da ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) eklenerek öğütme işlemi beraber yapılır. Bu şekilde 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.

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

Çimento kimyasına göre su, H_2O , sadece H harfiyle gösterilmektedir. Bu durumda kalsiyum hidroksit, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, sadece CH ve alçıtaşı $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ise CSH_2 olarak ifade edilmektedir. Portland çimentosunun oksitleri Çizelge 3.1.'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Portland Çimentosunu Oluşturan Oksitler ve Yüzde Miktarları

Oksit	Sembol	Çimento kimyasına göre sembolü	Miktar (%)
Kireç	CaO	C	60-67
Silis	SiO_2	S	17-25
Alümin	Al_2O_3	A	3-8
Demir Oksit	Fe_2O_3	F	0,5-6
Kükürt Trioksit	SO_3	<u>S</u>	1-3
Magnezyum Oksit	MgO	M	0,1-4
Alkaliler	$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$	N+K	0,2-1,3

Çimento içerisinde bulunan alkalilerden $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 'in çimentoya hiçbir faydası yoktur. Bunlar çimento içerisinde fazla miktarlarda yer aldıklarında zararlı olabilecek hacim artışları gösterebilirler. Çimento içerisinde çok küçük miktarlarda yer

alan magnezyum oksit (MgO) ve alkalilerin zararlı olabileceği halde çimento içerisinde yer almasının nedeni, ekonomik olarak bunlardan kurtulmanın mümkün olmayışıdır.

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.

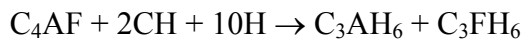
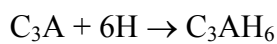
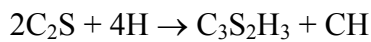
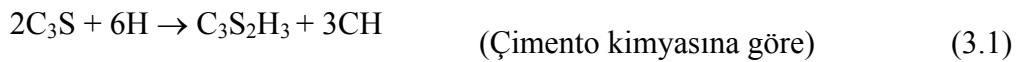
Çizelge 3.2. Çimentonun Ana Bileşenleri

Bileşen Adı	Formülü	Kısaltılmış Adı	Miktar (%)
Trikalsiyum silikat	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S	25-60
Dikalsiyum silikat	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S	15-40
Trikalsiyum alüminat	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A	2-15
Tetrakalsiyum alüminoferrit	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF	5-15

3.1.1.2.1.3. Çimentonun Hidratasyonu

En genel anlamda 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 ($\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$, kısaca C-S-H) denilen bir ürün ile kalsiyum hidroksiti meydana getirir. Çimentoya bağlayıcılık özelliği kazandıran da oluşan bu C-S-H jelidir. Meydana gelen C-S-H'nin parçacıkları arasındaki çekim kuvveti, bağlayıcılık özelliği yaratmaktadır. C-S-H'nin büyüklüğü moleküler mertebededir ve çimento tanesinin 1/1000'i büyüklüğündedir.

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 nedendir 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 ’ın 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.’de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Çimentonun Ana Bileşenlerinin Özellikleri

Çimento Özellikleri	Bileşenlerin Özellikleri			
	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
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. 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 yapıda 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 katılaşığı (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. Çimento 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; plastik rötre, otojen rötre, ısı rötre ve kuruma rötresi olarak bir kaç sınıfa ayrılır. 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 perdahlanma 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. Isıl rötre, 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 rötre hava durumundaki değişimler sonucunda olduğundan uygun koşullarda bu rötreler 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. Bundan 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 malzemedan 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 rötrelerden ise kıvrılmadan dolayı beton bünyesinde çekme gerilmesi oluşur.

İlaveten, çimento dolgulu kaya saptamaları 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 saptamasının taşıma 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 kullandığı 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 gram 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 'dir. ABD'nin ASTM Standartlarına göre üretilen portland çimentolarında da aranan en düşük incelik 2800 cm^2/g 'dir.

İncelik, çimentonun priz süresi, hidratasyon ısı ve dayanımı olmak üzere çimento özelliklerini büyük ölçüde etkilemektedir. Ağırlıkları aynı olan iki çimento numunesinde, daha ince tanelerden oluşanın içerisinde, diğerine göre daha çok sayıda çimento tanesi bulunur. Çimentonun inceliği arttıkça tane sayısında artma olmakta ve bu nedenle su ile temas edebilecek yüzey fazlalaşmaktadır. 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 hidratasyona başlayabilir ve bu vakitsiz hidratasyon sebebiyle bağlayıcılık değerinde kayıp olur. Taneler gereğinden fazla iri ise, hidratasyon 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 verilmektedir. Çimento üzerinde yapılacak deneyleri üç gruba ayırmak mümkündür.

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

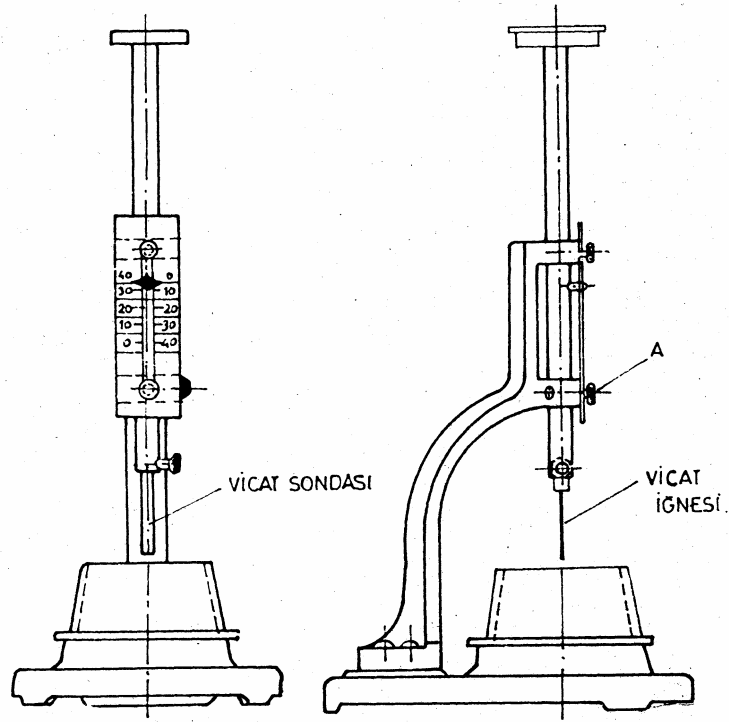
Kimyasal deneyler sonucunda, çimentonun içinde bulunan maddelerin miktarı veya kimyasal bileşimi saptanır. Kimyasal analizden ibaret olan bu grup deneyin ayrı bir özelliği bulunmadığı için burada sadece fiziksel ve mekanik deneyler hakkında bilgi verilecektir.

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 izah edilecek olup daha sonra ise priz süresi tayini ve hacim sabitliği muayenesi anlatılacaktır.

3.1.1.2.1.8.1.1. 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 65, alt çapı 75 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

3.1.1.2.1.8.1.2. 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).

3.1.1.2.1.8.1.3. Hacim Sabitliği Muayenesi

Çimentolarda serbest halde sönmemiş kireç (CaO) ve magnezyum oksit (MgO) 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'in, 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 iğnelerden ibarettir. Et kalınlığı 0,5 mm, çapı ve yüksekliği 30 mm olan üstü ve altı açık bu silindir, eksenini doğrultusunda bir yarığın 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 ısıtılmaya 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.

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. Bu nedenle, istenilen kalitedeki betonu elde edebilmek kaydıyla, betonda mümkün olabildiği kadar çok miktarda agrega kullanılması, betonun daha ekonomik olmasına yol açmaktadır.

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. Bu 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. Agreganın 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.

3.1.1.3.1. 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:

$$V = V_a + V_b \quad (3.4)$$

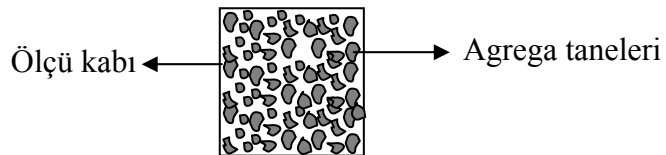
Bu tanımlara göre birim ağırlık, aşağıdaki formül yardımıyla elde edilir.

$$\Delta = \frac{P_a}{V} \quad (3.5)$$

Δ : Agreganın birim hacim ağırlığı

P_a : Agreganın ağırlığı

V : Ölçü kabının hacmi



Şekil 3.3. Birim Ağırlığın Belirlenmesi

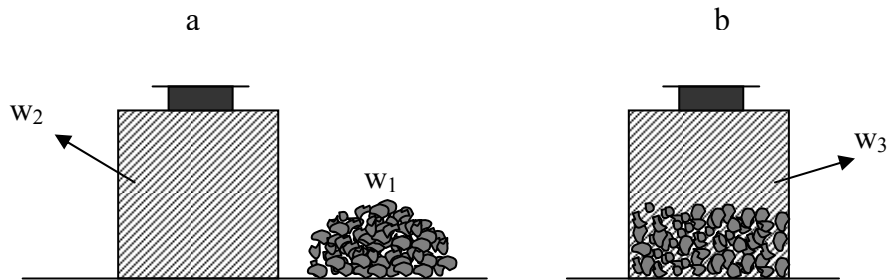
Agregalarda birim ağırlık, gevşek veya sıkışık deney yöntemleri ile belirlenir. Gevşek birim ağırlığın belirlenmesinde; agregası, ölçü kabına üstten serbest şekilde (Şekil 3.3.) boşaltılarak doldurulur. Bu sırada agreganın sıkışmamasına ve ayrışmamasına özen gösterilmelidir.

Sıkışık birim ağırlığının belirlenmesinde ise; agregası, ölçü kabına, şişleme çubuğu ile sıkıştırılarak veya kaba, titreşim uygulayarak yerleştirilmelidir. Bu nedenle, agreganın birim ağırlık değerinin hangi koşullar altında belirlendiğini 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.

3.1.1.3.2. Özgül Ağırlık

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

Şekil 3.4.’de bir agregaya ait özgül ağırlığın nasıl belirlendiği gösterilmiştir. Şekil 3.4. a’ da, agregası deney numunesi (w_1) ile ağzı cam kapakla kapatılmış içi su dolu ölçü kabı (w_2) tartılmaktadır. Şekil 3.4. b’ de ise, agregası numunesi, ölçü kabı içine konulduktan sonra bir kez daha tartılmaktadır (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, cm³ cinsinden (w_1) ağırlığındaki agreganın gerçek (mutlak) hacmini verir.



Şekil 3.4. Özgül Ağırlığın Belirlenmesi

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

$$\delta = \frac{w_1}{(w_1 + w_2 - w_3)} \quad (3.6)$$

Agreganın doygun-yüzey kuru haldeki özgül ağırlığı;

$$\delta = \frac{w_{dyk}}{(w_{dyk} + w_2 - w_3)} \quad (3.7)$$

Agreganın kuru haldeki özgül ağırlığı ise;

$$\delta = \frac{w_k}{(w_k + w_2 - w_3)} \quad (3.8)$$

w_1 : Numunenin hava kuru ağırlığı

w_{dyk} : Numunenin doygun-yüzey kuru ağırlığı

w_k : Numunenin etüv kuru ağırlığı

w_2 : Su ile dolu ölçü kabı ağırlığı

w_3 : İçine numune konmuş su dolu kabın ağırlığıdır.

3.1.1.3.3. 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 eleğin altına da delikleri olmayan bir kap (tava) yerleştirilir. Elekler Şekil 3.9.'da görülmektedir.

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 yığımında 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/çimento oranı etkilenmekte, su/çimento 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 “çok iyi”, B ve C eğrileri arasında ise de “kullanılabilir” olarak tanımlanır.

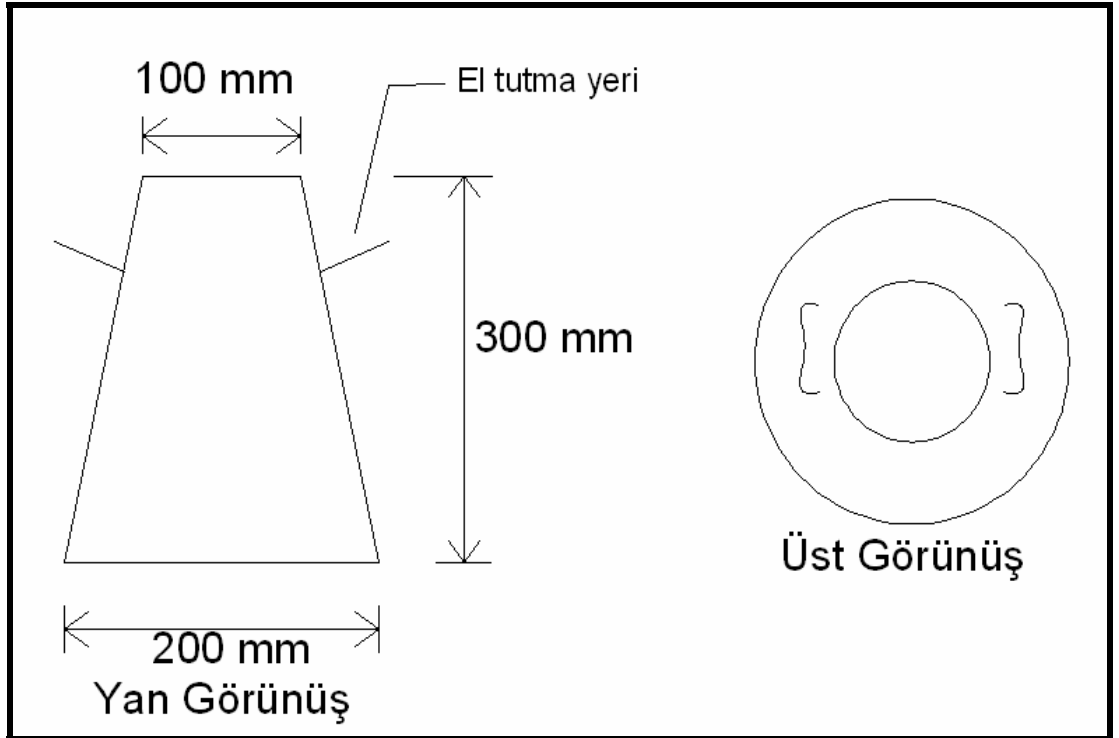
3.1.1.4. Beton Deneyleri

Hazırlanan taze ve sertleşmiş beton karışımlar üzerinde çeşitli deneyler uygulanmıştır. Hazırlanan beton içerikleri, malzeme özellikleri ve deneylerin nasıl uygulanacağı tezde sunulmaktadır.

3.1.1.4.1. Taze Beton Deneyleri

3.1.1.4.1.1. Slump (Çökme) Deneyi

Bu deneyin amacı betonun işlenebilirliğini test etmektir. Betonun işlenebilirlik özelliğini öğrenme amaçlı çeşitli deneyler yapılmaktadır. Slump (çökme) deneyi inşaat sektöründe ve bilimsel çalışmalarda da çok uygulanan bir deneydir.



Şekil 3.6. Slump (Çökme) Deneyi

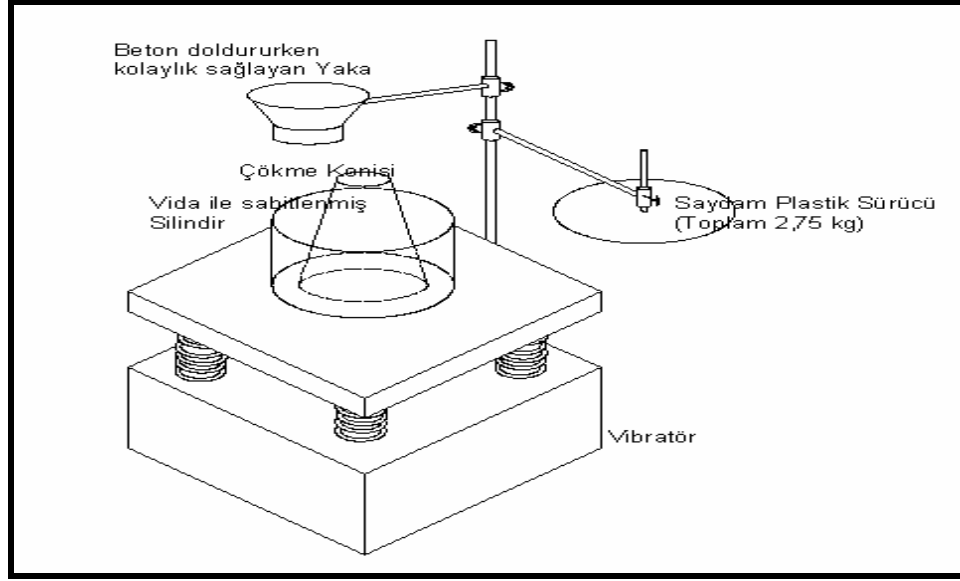
Yapılan deneyde şekil 3.6’da görülen kesik huninin içine beton üç kademe ve her kademesinde 25 defa şişlenerek doldurulur. Şişlenerek betonun tam sıkışması sağlanmalıdır. Betonun üst kısmı düzeltildikten sonra, slump hunisi yavaşça yukarı doğru çekilir. Kullanılan şiş yardımıyla çökme miktarı tespit edilir. Şekil 3.7.’deki fotoğraflarda slump (çökme) deneyinin yapılışı görülmektedir.



Şekil 3.7. Slump(Çökme) Deneyi Fotoğrafları

3.1.1.4.1.2. Ve-Be Deneyi

Ve-Be deneyi taze betonun işlenebilirliğini öğrenmek amacıyla kullanılmaktadır. Slump deneyinde kullandığımız slump konisi burada da kullanılmaktadır. Şekil 3.8.'de görüldüğü gibi çökme konisine aynı slump deneyinde olduğu gibi 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 3.8. Ve-Be Deneyi

Titreşimin başlangıcından şeffaf plastik sürücünün yüzeyinin tamamıyla çimento şerbeti ile kaplandığı zamana kadar geçen süreye Ve-Be süresi denir. Ve-Be deneyinin yapılışı Şekil 3.9.'da görülmektedir.



Şekil 3.9. Ve-Be Deneyi Fotoğrafları

3.1.1.4.2. Sertleşmiş Beton DeneYleri

3.1.1.4.2.1. Basınç Dayanımı

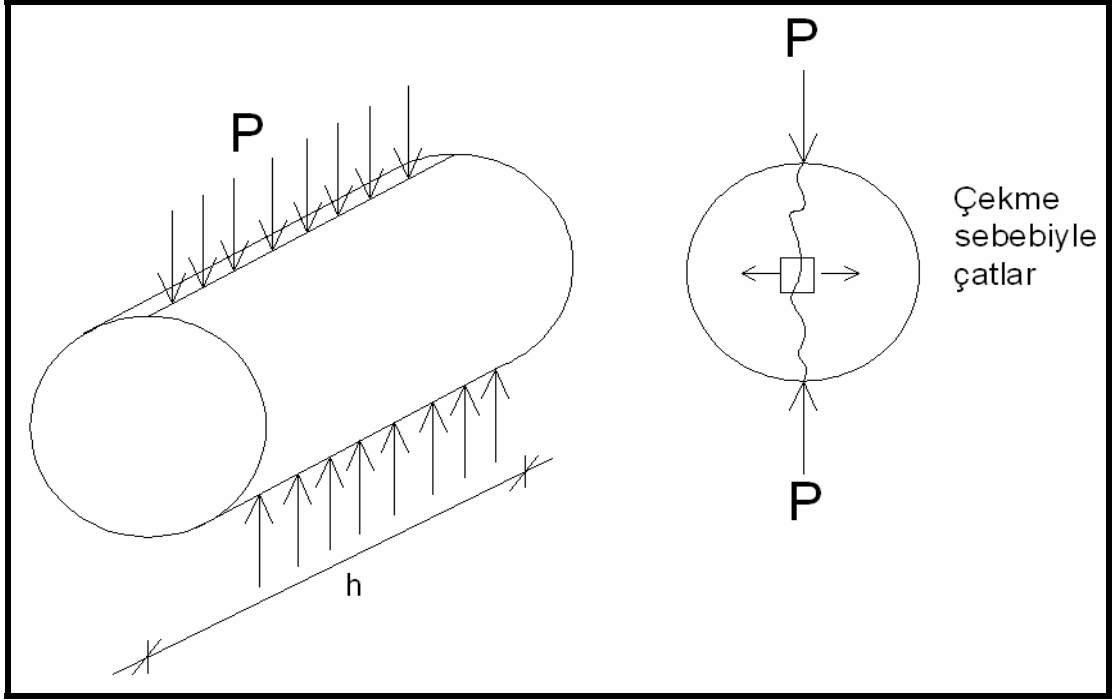
Bu deneyde 15x15x15 cm boyutlarındaki beton küp numuneler pres üzerinde test edilerek basınç dayanımları ölçülür. Basınç dayanımı için kullanılan pres ve pres içerisine yerleştirilmiş sertleşmiş beton numunesi Şekil 3.10.'da görülmektedir.



Şekil 3.10. Beton Presi

3.1.1.4.2.2. Çekme Dayanımı (Silindir Yarma Deneyi)

Silindir yarma deneyi 15 cm çaplı ve 30 cm boyunda silindir numuneler üzerinde uygulanır. Bu numuneler deney gününe kadar kürde bekletilir. Şekil 3.11.'de görüldüğü gibi silindir numune prese yan yerleştirilir. Presin uyguladığı basınç silindir numunede çekme gerilmesi oluşturarak silindirin çekmeye karşı dayanımını belirler. Şekil 3.12.'de görüldüğü gibi basınç etkisi ile yarmada çekme dayanımı ölçülmüş silindir numuneler görülmektedir.



Şekil 3.11. Silindir Yarma Deneyi(Çekme Dayanımı)

$$\sigma = \frac{2.P}{\pi.h.R} \quad (3.13)$$

σ ; Çekme dayanımı

P; Basınç

R; Silindirin çapı (15 cm)

h; Silindirin boyu (30 cm)



Şekil 3.12. Beton Presinde Silindir Yarma Deneyi Fotoğrafları

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 karışımına 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 ısı işleminden 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, Portland çimentosunun hidrasyonu sırasında Portland çimento hamuruna ek olarak hamur oluşturularak 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 özelliklerini etkileyebilir. Taze ya da plastik durumdaki beton için, karışım oranları, su ihtiyacı, priz karakteristikleri, işlenebilirlik, kanama ve hidrasyon ısı 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 değiştirmesi 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 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 iyileştirmemekte, 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, diatomik 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 pirinç 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-alimüna-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 yada 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 ve uçucu küller 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 yada 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 pişirilmeye 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 yada su kireci karışımın priz zamanı, işlenebilme, su tutma ve durabilite özelliklerini iyileştirmek için karışıma katılır. Bu tür çimentolar genellikle duvar örmede 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 ısını 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 kullanılır.

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 alkali 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 Katkıların 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, hidratasyon 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 miktara 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).

Bor'un 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 nitrür, Bor halürler, İnorganik boratlar, Fluoroboratlar, Borikasit esterleri, Bor hidridler, Organobor bileşikleri, Bor-Azot bileşikleri.

Ayrıca bu ürünlerin kullanım alanları ile ilgili olarak düzenlenen bir tabloda; Sodyum borhidrür, 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. Oysa anılan raporda da görüleceği gibi izolasyon yada tekstil tipi fiberglas, bor mineralleri yada ürünlerinin kullanım alanları arasında yer alan endüstriyel ürünlerdir (Altun, 2005).

3.3.2.4. Bor Türevleri

Element bor, Bor halürler, İnorganik boratlar, Fluoroboratlar, Borikasit 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

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- borikasit 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 etkilere 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. Borojips

Borojips, borikasit üretiminde kolemanit mineralinin sülfirik asitte çözündürülmesi sırasında meydana gelen endüstriyel atık bir malzemedir. Borojips %1.5-3 civarında bor trioksit (B_2O_3) içermekte olup, jips olarak %95 saflıktadır. Borikasit %52-55 oranında B_2O_3 içeren kalsine kolemanitin %92.5'lik teknik sülfirik asitle çözündürülmesi ile elde edilir.

Kütahya Emet'te bulunan Eti Maden İşletmeleri Emet Bor İşletme Müdürlüğü'nde bir takım prosesler sonucunda borikasit üretilmesi işlemleri sonucu ortaya çıkan borojips, kurutulup öğütüldükten sonra kullanılmıştır. Öğütülme sonucunda çimentodan daha ince bir malzeme oluşmuştur.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde, deneysel çalışmada kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimi, fiziksel özellikleri ile çimento hamuru ve beton karışımlarında kullanılan malzeme miktarları, 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 EN 197-1:2002 ile uyumlu normal (CEM I 42,5 R) Portland çimentosu olup, Adana Çimento Sanayi A.Ş. tarafından üretilmiştir. Çimentonun taze olarak kullanılmasına özen gösterilip, nem alarak topaklaşma göstermemesi için de çimento, özel koruyucu kaplar içerisinde muhafaza edilmiştir. Çimentoya (CEM I 42,5 R) 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	19,55
Al ₂ O ₃	5,31
Fe ₂ O ₃	4,15
Mn ₂ O ₃	0,06
CaO	62,30
MgO	3,14
SO ₃	2,55
Na ₂ O	0,36
K ₂ O	0,88
Na ₂ O +0,658K ₂ O	0,94
Erimez Kalıntı	0,42
Serbest CaO	0,31
Kızdırma Kaybı	1,73

Çizelge 4.2. Kullanılan Çimentonun Fiziksel Özellikleri

Fiziksel Özellikler		Sonuçlar
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)		3,15
Priz Süresi	İlk (saat:dakika)	3:05
	Son (saat:dakika)	3:50
İncelik	Özgül Yüzey (cm ² /gr)	3230
	0,090 mm elekte kalıntı (%)	0,3
	0,045 mm elekte kalıntı (%)	5,2

4.1.2. Borojips

Borojips, borikasit üretiminde kolemanit mineralinin sülfirik asitte çözündürülmesi sırasında meydana gelen endüstriyel atık bir malzemedir. Borojips %1,50 – 2,00 civarında bor trioksit (B₂O₃) içermekte olup, jips olarak %95 saflıktadır. Borikasit %52-55 oranında B₂O₃ içeren kalsine kolemanitin %92,50 lik teknik sülfirik asitle çözündürülmesi ile elde edilir.



Kütahya Emet'te bulunan Eti Maden Emet Bor İşletme Müdürlüğü'nde bir takım prosesler sonucunda borikasit üretilmesi işlemleri sonucu ortaya çıkan borojips, kurutulup öğütüldükten sonra kullanılmıştır. Öğütülme sonucunda çimentodan daha ince bir malzeme oluşmuştur (Blaine 8830 olarak ölçülmüştür).

4.1.2.1. Borojips Kimyasal Analizi

Emet Eti Maden İşletmeleri'nden temin edilen borojips, etüvde kurutulmuş ve laboratuvar çimento değirmeninde öğütüldükten sonra kimyasal analizi yaptırılmıştır. Çizelge 4.3.'de borojipse ait kimyasal analiz sonuçları verilmektedir.

Çizelge 4.3. Borojipse Ait Kimyasal Analiz Sonuçları

Kimyasal Analiz	Analiz Sonuçları (%)
B ₂ O ₃	0,99
SiO ₂	7,35
Al ₂ O ₃ + TiO ₂	0,61
Fe ₂ O ₃	0,53
CaO	27,55
MgO	2,50
SrO	1,48
Fe	0,37
SO ₄	46,24
Kızdırma Kaybı	12,38
Bulunan Su	15,50
Anhidrit Alçı	8,59
Arsenik(ppm)	1565
Yoğunluk (gr/cm ³)	2,37
Blaine (cm ² /gr)	8830

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.

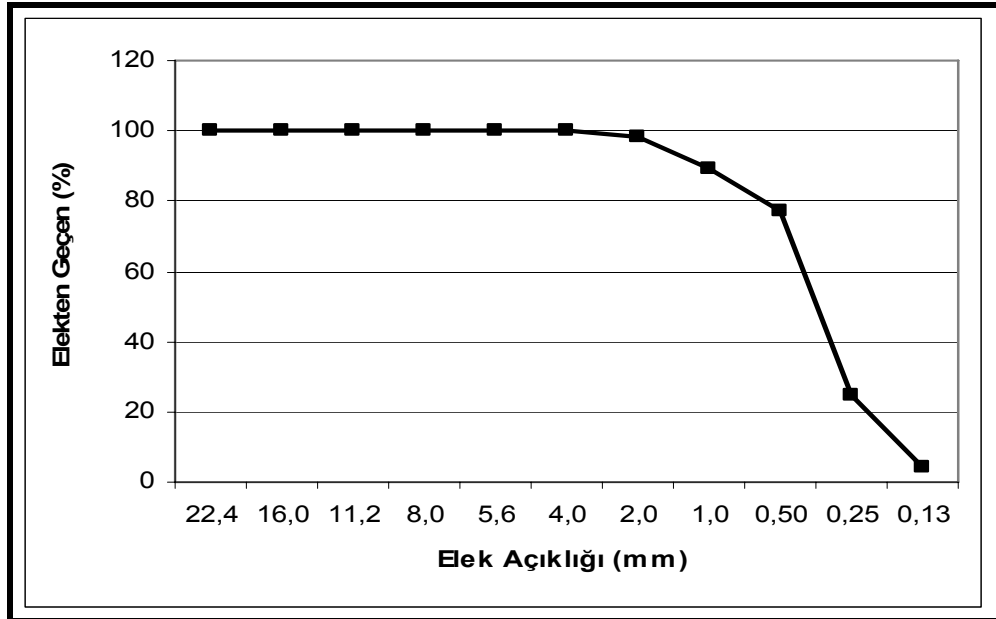
4.1.4. Agregası

4.1.4.1. İnce Agregası (Doğal Kum)

Beton numunelerin hazırlanmasında kuru yıkanmış temiz kum kullanılmış olup, kuma ait elek analizi sonuçları çizelge 4.4. ve şekil 4.1.'de verilmiştir. Aynı şekilde, bu kuma ait fiziksel özellikler de Çizelge 4.5.'te sunulmaktadır. Kullanılan kumun beton ve harç üretiminde kullanılması uygundur (ASTM-C33).

Çizelge 4.4. Betonda Kullanılan Kuma Ait Elek Analizi Sonuçları

ELEK AÇIKLIĞI	DOĞAL KUM		
mm	ÜSTTE KALAN Ağırlık (g)	ÜSTTE KALAN (%)	ALTA GEÇEN (%)
22,4		0	100
16,0		0	100
11,2		0	100
8,0		0	100
5,6	0,5	0	100
4,0	1,0	0	100
2,0	10,6	2	98
1,0	46,9	11	89
0,50	99,2	23	77
0,25	326,6	75	25
0,125	419,7	96	4
İNCELİK MODÜLÜ		2,07	



Şekil 4.1. Betonda Kullanılan Kuma Ait Elek Analizi Grafiği

Çizelge 4.5. Betonda Kullanılan Kuma Ait Fiziksel Özellikler

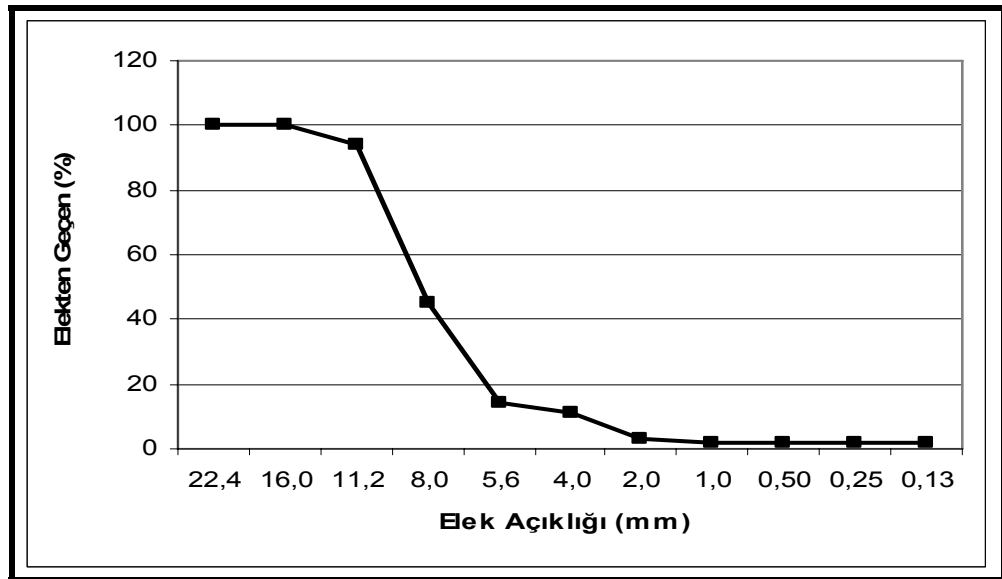
Fiziksel Özellik	Değeri
γ_{kuru}	2,119
γ_{dky}	2,164
$\gamma_{görünen}$	2,218
Su Emme	2,102

4.1.4.2. İri Agrega (Kırmataş, 5-11 mm)

Beton numunelerin hazırlanmasında kuru yıkanmış temiz kırmataş kullanılmış olup, kırmataşa ait elek analizi sonuçları Çizelge 4.6. ve Şekil 4.2.'de verilmiştir. Kullanılan kırmataşın beton ve harç üretiminde kullanılması uygundur (ASTM-C33).

Çizelge 4.6. Betonda Kullanılan Kırmataşa (5-11 mm) Ait Elek Analizi Sonuçları

ELEK AÇIKLIĞI	1 NOLU AGREGA (5-11 mm)		
mm	ÜSTTE KALAN Ağırlık (g)	ÜSTTE KALAN (%)	ALTA GEÇEN (%)
22,4		0	100
16,0		0	100
11,2	44,8	6	94
8,0	238,5	30	45
5,6	588,6	74	14
4,0	714,8	89	11
2,0	770,8	96	3
1,0	780,8	98	2
0,50	786,1	98	2
0,25	789,4	99	2
0,125	791,5	99	2
İNCELİK MODÜLÜ		6,89	



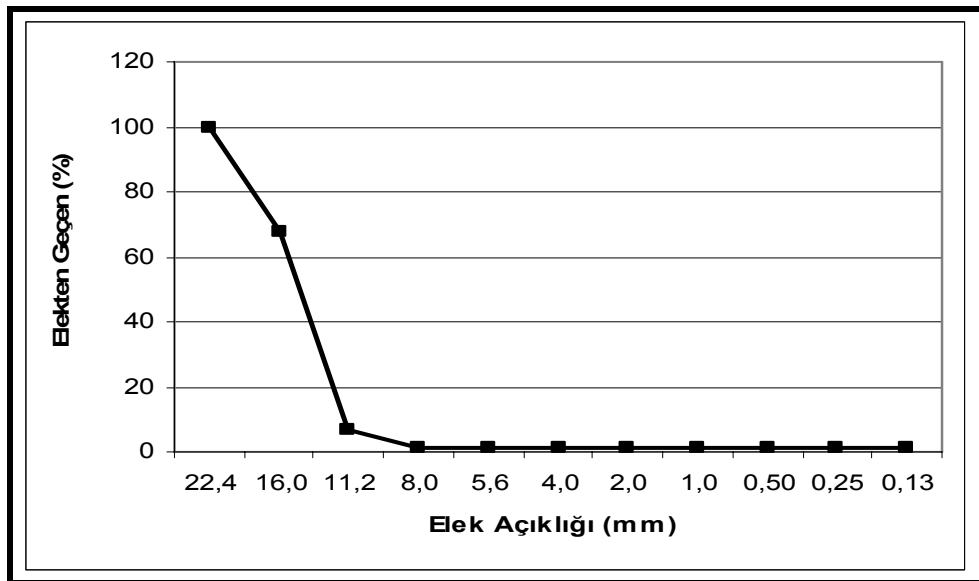
Şekil 4.2. Kırmataş Agregaya Ait Elek Analizi Grafiği (5-11 mm)

4.1.4.3. İri Agregaya (Kırmataş, 11-22 mm)

Beton numunelerin hazırlanmasında kuru yıkanmış temiz kırmataş kullanılmış olup, kırmataşa ait elek analizi sonuçları Çizelge 4.7. ve Şekil 4.3.'de verilmiştir. Kullanılan kırmataşın beton ve harç üretiminde kullanılması uygundur (ASTM-C33).

Çizelge 4.7. Betonda Kullanılan Kırmataşa (11-22 mm) Ait Elek Analizi Sonuçları

ELEK AÇIKLIĞI	2 NOLU AGREGA (11-22 mm)		
mm	ÜSTTE KALAN Ağırlık (g)	ÜSTTE KALAN (%)	ALTA GEÇEN (%)
22,4		0	100
16,0	93,9	13	68
11,2	680,5	97	7
8,0	693,7	99	1
5,6	696,1	99	1
4,0	698,2	100	1
2,0	700,0	100	1
1,0	700,1	100	1
0,50	700,3	100	1
0,25	700,5	100	1
0,125	700,7	100	1
İNCELİK MODÜLÜ		9,08	



Şekil 4.3. Kırmataş Agregaya Ait Elek Analizi Grafiği (11-22 mm)

4.2. Deney Yöntemleri

4.2.1. Hazırlanan Numune Tipleri

Deneyler borojips içeren ve içermeyen beton karışımlar üzerinde yürütülmüştür. Yapılan bu deneyler kısım 4.2.2.'de verilmektedir.

Deneylerde; 3 farklı karışım hazırlanmıştır;

a_ 0,60 su/çimento oranında 400 doz

b_ 0,60 su/çimento oranında 300 doz

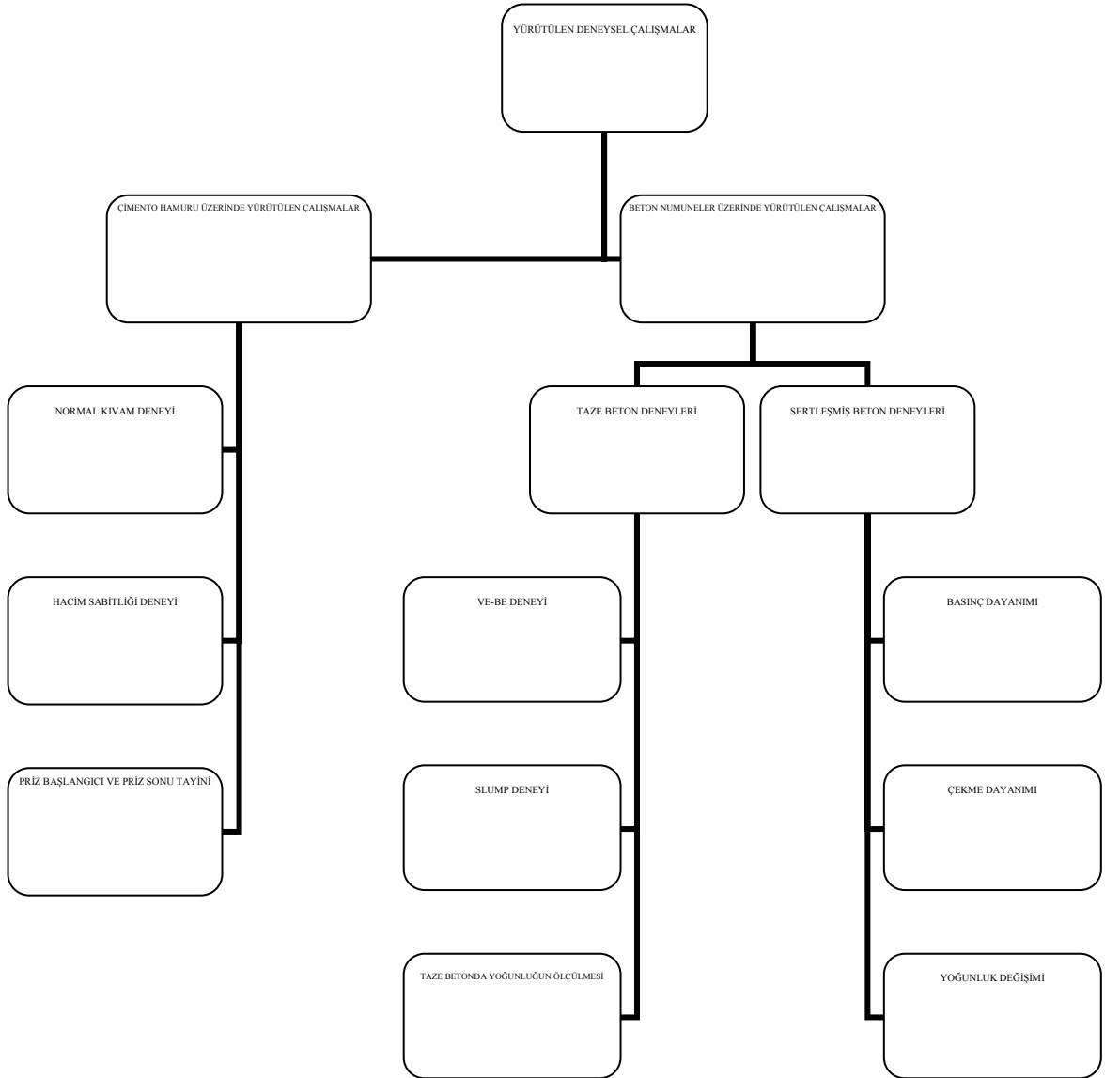
c_ 0,50 su/çimento oranında 400 doz

Çalışmalar bu numuneler üzerinde yürütülmüştür. Borojipsin değişim yüzdesi betonlarda %0, %3, %5, %10, %15 şeklinde olup, çimentonun ağırlıkça yer değişimi şeklindedir.

Yukarıdaki özelliklere sahip olarak hazırlanan beton numuneler su içinde bakıma tabi tutulmuştur.

4.2.2. Deneysel Çalışmalar

Yürütülen deneysel çalışmalar Şekil 4.4.'teki şemada gösterilmiştir.



Şekil.4.4. Yürütülen Deneysel Çalışmalar

4.2.2.1. Yürütülen Deneyler

Bu bölümde belirtilen tüm deneylerde (kimyasal bileşimlerin tayini hariç) borojips değişim oranları %0, %3, %5, %10 ve %15'tir.

Yürütülen deneyler;

- 1) Kimyasal bileşimlerin tayini,
- 2) Normal kıvam tayini: çimento hamuru üzerinde her borojips değişim oranında ayrı ayrı yapılmıştır.
- 3) Priz süresi ölçme : Priz başlama ve sona erme süreleri yukarıda belirtilen borojips ikameli hazırlanan çimento hamuru numuneler için tespit edilmiştir. Priz süreleri normal kıvam su miktarı ile bulunmuştur.
- 4) Hacim sabitliği tayini: yukarıda belirtilen borojips değişim oranlarına sahip çimento hamuru numuneler üzerinde bulunan optimum su muhtevasında hazırlanarak Le Chatelier deneyi ile şişmeleri tespit edilmiştir.
- 5) Ve-Be deneyi: yukarıda belirtilen borojips ikameleriyle, 0,50 ve 0,60 su/çimento oranlarında 400 dozlu ve 0,60 su/çimento oranında 300 dozlu hazırlanan beton karışım numuneleri üzerinde yapılmıştır.
- 6) Slump Deneyi: yukarıda belirtilen borojips ikameleriyle, 0,50 ve 0,60 su/çimento oranlarında 400 dozlu ve 0,60 su/çimento oranında 300 dozlu hazırlanan beton karışım numuneleri üzerinde yapılmıştır.
- 7) Basınç dayanımı: yukarıda belirtilen borojips ikameleriyle, 0,50 ve 0,60 su/çimento oranında 400 dozlu ve 0,60 su/çimento oranında 300 dozlu beton numuneler üzerinde 7., 28. ve 90. günlerde basınç testine tabi tutularak bulunmuştur.
- 8) Silindir Yarma dayanımı: yukarıda belirtilen borojips ikameleriyle, 0,50 ve 0,60 su/çimento oranında 400 dozlu ve 0,60 su/çimento oranında 300 dozlu silindir numuneler üzerinde silindir yarma deneyi uygulanarak, 28. günde silindir yarma dayanımları bulunmuştur.

4.2.3. Notasyon

Deneylemlerden elde edilen sonuçlar çizelgelerde gösterilirken aşağıdaki notasyon kullanılacaktır.

K₁₀-K₂₀-K₃₀ harfleri 0,60 ve 0,50 su/çimento oranlı, 400 ve 300 dozlu şahit karışımları, K₁₃-K₁₅-K₁₁₀-K₁₁₅ harfleri 0,60 su/çimento oranlı 400 dozlu, K₂₃-K₂₅-K₂₁₀-K₂₁₅ harfleri 0,60 su/çimento oranlı 300 dozlu, K₃₃-K₃₅-K₃₁₀-K₃₁₅ harfleri ise 0,50 su/çimento oranlı 400 dozlu karışımlardaki %3, %5, %10 ve %15 borojips ikamesinin çimentonun ağırlığına olan yüzdesini göstermektedir. Alt indis olarak gösterilen 0, 3, 5, 10 ve 15 rakamları karışıma giren borojipsin yüzdesini ifade etmektedir. Çizelge 4.8. deneylerde kullanılan notasyonu göstermektedir.

Çizelge 4.8. Notasyon

Numune İsimleri	Su/Çimento	Doz	Borojips Değişim Oranı
K ₁₀	0,60	400	Şahit(%0)
K ₁₃	0,60	400	3%
K ₁₅	0,60	400	5%
K ₁₁₀	0,60	400	10%
K ₁₁₅	0,60	400	15%
K ₂₀	0,60	300	Şahit(%0)
K ₂₃	0,60	300	3%
K ₂₅	0,60	300	5%
K ₂₁₀	0,60	300	10%
K ₂₁₅	0,60	300	15%
K ₃₀	0,50	400	Şahit(%0)
K ₃₃	0,50	400	3%
K ₃₅	0,50	400	5%
K ₃₁₀	0,50	400	10%
K ₃₁₅	0,50	400	15%

4.2.4. Karışımlar

Deneysel çalışmalarda kullanılan beton karışım dizaynları üç farklı grupta yapılmıştır. Deneyle 0,60 su/çimento oranlı 400 doz ve 300 dozlu beton karışımlar ve 0,50 su/çimento oranlı 400 dozlu karışımlar üzerinde yürütülmüştür. Çizelge 4.9.'da bu karışım dizaynları verilmektedir.

Çizelge 4.9. Karışım Dizaynları

Karışım	Borojips %	Çimento (kg)	Borojips (kg)	Su (lt)	Doğal Kum (0-3 mm) (kg)	1.Nolu Agregası (4-11 mm) (kg)	2.Nolu Agregası (11-22 mm) (kg)	Notasyon
400 Doz S/Ç=0,60	Şahit	20,000	0,000	12,000	25,550	29,810	29,810	K1 ₀
	3	19,400	0,600	12,000	25,550	29,810	29,810	K1 ₃
	5	19,000	1,000	12,000	25,550	29,810	29,810	K1 ₅
	10	18,000	2,000	12,000	25,550	29,810	29,810	K1 ₁₀
	15	17,000	3,000	12,000	25,550	29,810	29,810	K1 ₁₅
300 Doz S/Ç=0,60	Şahit	15,000	0,000	9,000	29,290	34,170	34,170	K2 ₀
	3	14,550	0,450	9,000	29,290	34,170	34,170	K2 ₃
	5	14,250	0,750	9,000	29,290	34,170	34,170	K2 ₅
	10	13,500	1,500	9,000	29,290	34,170	34,170	K2 ₁₀
	15	12,750	2,250	9,000	29,290	34,170	34,170	K2 ₁₅
400 Doz S/Ç=0,50	Şahit	20,000	0,000	10,000	27,175	31,705	31,705	K3 ₀
	3	19,400	0,600	10,000	27,175	31,705	31,705	K3 ₃
	5	19,000	1,000	10,000	27,175	31,705	31,705	K3 ₅
	10	18,000	2,000	10,000	27,175	31,705	31,705	K3 ₁₀
	15	17,000	3,000	10,000	27,175	31,705	31,705	K3 ₁₅

4.3. Deney Sonuçları, Bulgular ve Tartışma

Bu bölümde, borojips içeren ve içermeyen çimento hamuru ve beton numuneler üzerinde gerçekleştirilen, Le Chatelier yöntemi ile yapılan hacim sabitliği deneyi sonuçları, Vicat aleti ile yapılan priz başlangıç ve sonu tayini deney sonuçları, taze beton numunelerinin işlenebilirlik tayini için slump ve Ve-be deneyi sonuçları, hacim sabitliği ve priz tayininde kullanılan normal kıvam için gerekli su miktarının tespiti için yapılan normal kıvam tayini deney sonuçları sunulmaktadır.

Yukarıdaki yapılan deneylerin yanısıra, sertleşmiş beton karışımları üzerinde yürütülen basınç dayanımı, silindir yarma dayanımı (çekme dayanımı) sonuçları da tartışılarak sunulmaktadır.

4.3.1. Çimento Hamuru Üzerinde Yapılan Deney ve Sonuçları

4.3.1.1. Normal Kıvam Deneyleri

Borojips içeren çimento hamuru numuneleri ile şahit çimento hamuru numunelerine ait normal kıvam deneyi sonuçları Çizelge 4.10.'da sunulmaktadır. Bu değerlerin şahit numuneye ait kıvam değerinin yüzdesi olarak ifadeleri ise Çizelge 4.11.'de sunulmaktadır. Şahit numuneye ait normal kıvam değeri %31'dir.

Çizelge 4.10. Normal Kıvam Deney Sonuçları

Borojips Oranı	Şahit	%3	%5	%10	%15
Normal Kıvam Değeri	31	32	31	33	33

Çizelge 4.11'deki değerler incelendiğinde artan borojips ikamesinin normal kıvam için gerekli su miktarını arttırdığı tespit edilmiştir.

Çizelge 4.11. Şahit Betona Göre Normal Kıvam Yüzde Miktarları

Borojips Oranı	%3	%5	%10	%15
Şahite Göre Normal Kıvam Yüzdesi	103,22	100	106,45	106,45

4.3.1.2. Hacim Sabitliği Deneyleri

Borojips içeren numunelere ait deney sonuçları izelge 4.12.'de sunulmuştur. Hacim sabitliği deney sonuçlarına göre; %15 karışım oranı hariç diğer tüm borojips katkılı numuneler şahit numuneden daha az şişme göstermişlerdir. Bununla beraber tüm numunelerin değerleri $b-a= 4$ mm ve $c-a= 10$ mm sınırlarının altında kalmıştır.

Çizelge 4.12. Hacim Sabitliği Deneyi Sonuçları

Karışım	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b-a (mm)	c -a (mm)
şahit	10,5	11	13,5	0,5	3
%3	5	5	5,5	0	0,5
%5	6,5	7	8	0,5	1,5
%10	6	6,5	7	0,5	1
%15	4	6	7,5	2	3,5

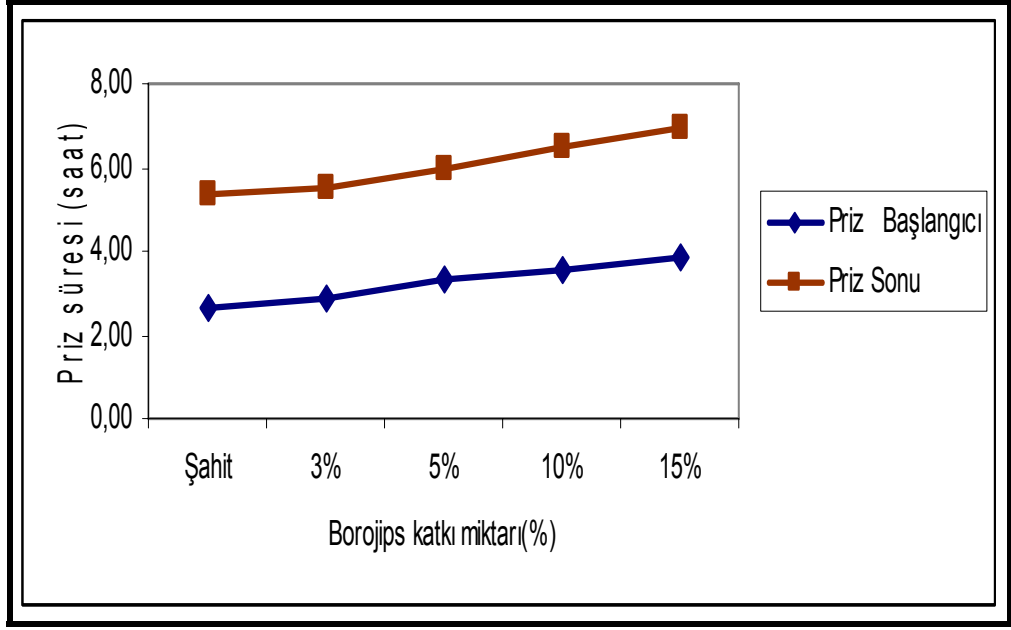
4.3.1.3. Priz Deneyi

Çizelge 4.13'de borojips içeren ve normal kıvam da bulunan su muhtevalarına göre hazırlanan imento hamuru numunelerinin başlangıç ve nihai priz süreleri verilmektedir. Borojips içermeyen şahit imento hamuru üzerinde yapılan priz deneyinde priz başlangıcı 160. dakika priz sonu ise 320. dakikadır.

Çizelge 4.13. Priz Başlangıcı ve Sonu Değerlerinin şahit Numuneye Göre Değerimi

şahit		3%		5%		10%		15%	
Priz Başlangıcı	Priz Sonu	Priz Başlangıcı	Priz Sonu	Priz Başlangıcı	Priz Sonu	Priz Başlangıcı	Priz Sonu	Priz Başlangıcı	Priz Sonu
160	320	170	330	200	360	215	390	230	415

Yapılan deneyler sonucunda borojipsin katkı oranları arttıça imento hamurunun priz süresini arttırdığı görülmüştür. şekil 4.5.'de priz başlangıç ve priz sonu süreleri grafiksel olarak ifade edilmiştir. Yapılan minerolojik analizler borojipsin yaklaşık %80-%85'inin jips yani alçı taşı olduğunu göstermiştir. Bu nedenle borojipsin priz süresini geciktirmesi doğal bir sonuçtur.



Şekil 4.5. Priz Başlangıcı ve Priz Sonu Grafiği

4.3.2. Taze Beton Üzerinde Yapılan Deneyler ve Sonuçları

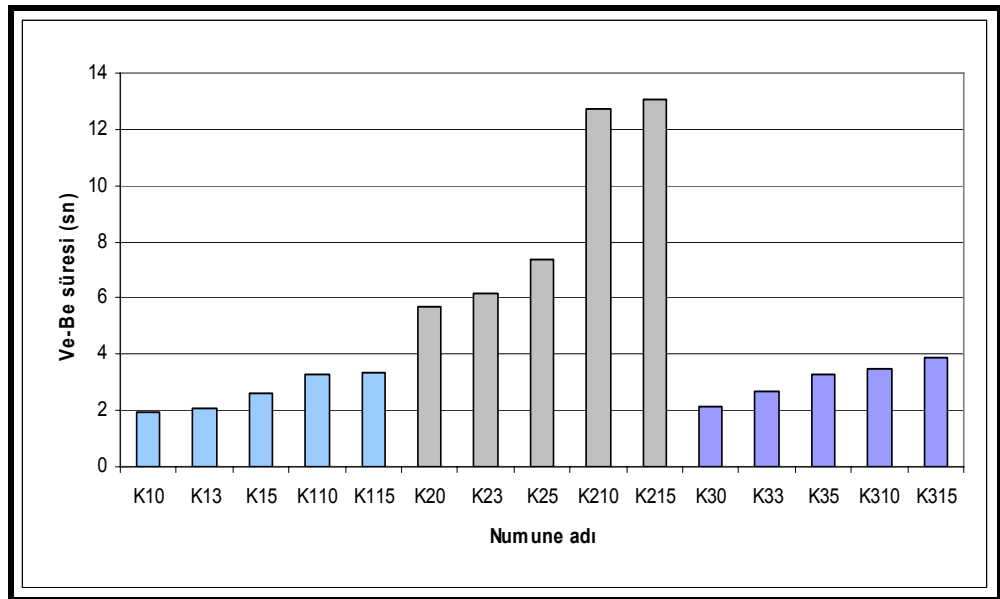
4.3.2.1. Ve-Be Deneyi

Borojips içeren beton numuneleri ve şahit beton numuneleri işlenebilirliğine ait Ve-Be deney sonuçları Çizelge 4.14.'de verilmiştir. Karışım isimleri temsil ettikleri numune özellikleri Bölüm 4.2.3. Notasyon başlığı altında Çizelge 4.8.'de verilmiş olup bundan sonra isimleri verilen numuneler, verilen karışımlar burada verilenlerle aynıdır. Ve-Be deneyi ile ilgili önceki bölümlerde ayrıntılı bilgi sunulmuştur.

Çizelge 4.14. Ve- Be Deneyi Sonuçları

Numune Adı	Süre (saniye)
K1 ₀	1,93
K1 ₃	2,07
K1 ₅	2,60
K1 ₁₀	3,31
K1 ₁₅	3,35
K2 ₀	5,68
K2 ₃	6,14
K2 ₅	7,39
K2 ₁₀	12,72
K2 ₁₅	13,06
K3 ₀	2,15
K3 ₃	2,68
K3 ₅	3,27
K3 ₁₀	3,50
K3 ₁₅	3,88

Bu deney sonuçlarına göre borojips işlenebilirliği düşürmektedir. Ve-Be deneyi sonuçları incelendiğinde her üç karışım grubu için de, borojips ikamesinin artmasıyla Ve-Be süresinin uzadığı yani betonun işlenebilirliğinin azaldığı görülmektedir. Bu durum Şekil 4.6.'da grafik olarak ifade edilmiştir.

**Şekil 4.6. Ve-Be Süreleri Grafiği**

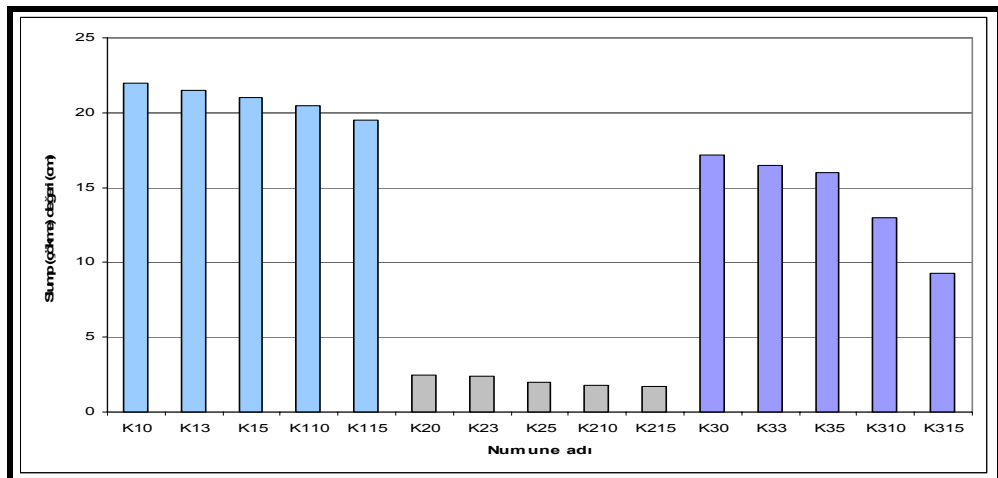
4.3.2.2. Slump (Çökme) Deneyi

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(Çökme) Deneyi Sonuçları

Numune Adı	Slump (Çökme) Değeri (cm)
K1 ₀	22
K1 ₃	21,5
K1 ₅	21
K1 ₁₀	20,5
K1 ₁₅	19,5
K2 ₀	2,5
K2 ₃	2,4
K2 ₅	2
K2 ₁₀	1,8
K2 ₁₅	1,7
K3 ₀	17,2
K3 ₃	16,5
K3 ₅	16
K3 ₁₀	13
K3 ₁₅	9,3

Deney sonuçları Çizelge 4.15.'de verilmiştir. Bu deney sonuçlarına görede borojipsin işlenebilirliği düşürdüğü tespit edilmiştir. Şekil 4.7.'de görüldüğü gibi her üç karışım grubu için slump(çökme) değerleri incelendiğinde, artan borojips ikamesinin slump(çökme) değerlerini yani işlenebilirliği azalttığı görülmüştür.



Şekil 4.7. Slump Değişim Grafiği

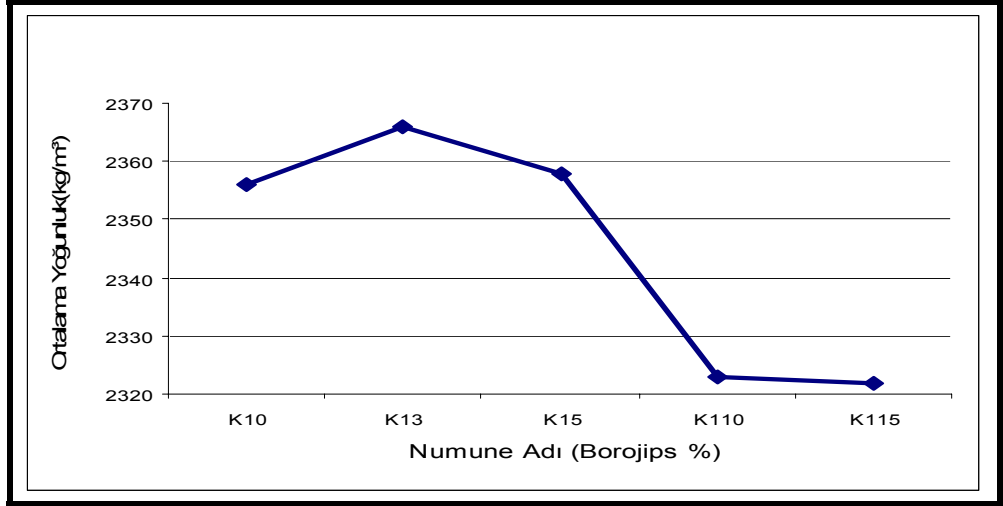
4.3.3. Borojipsin Taze Betonun Yoğunluğuna Etkisi

Bu deneyde hazırlanan beton kalıplar teker teker tartılarak kalıp ağırlıkları düşülerek net beton ağırlığı tespit edilmiştir. Bu karışımların % borojips değişimine göre yoğunluk farkları tespit edilmiştir. Çizelge 4.16.'da numunelerin ortalama yoğunlukları ve şahit numunelere göre yoğunluk değişimleri yüzdesi verilmektedir.

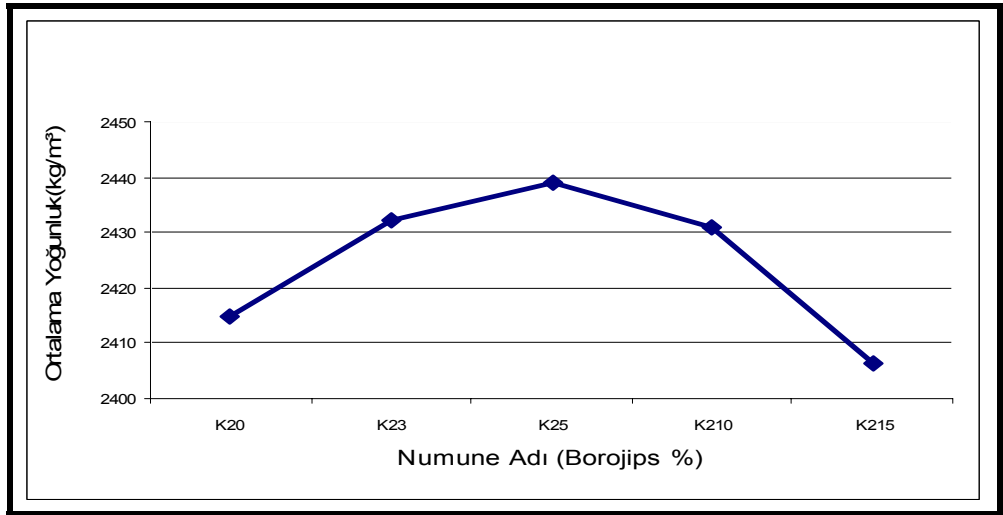
Çizelge 4.16. Taze Betonda Borojipsin Yoğunluğa Etkisi

Numune Adı	Ortalama Yoğunluk(kg/m ³)	Şahite Göre Yoğunluk Değişimi(%)
K1 ₀	2356	100,00%
K1 ₃	2366	100,42%
K1 ₅	2358	100,08%
K1 ₁₀	2323	98,60%
K1 ₁₅	2322	98,56%
K2 ₀	2415	100,00%
K2 ₃	2432	100,70%
K2 ₅	2439	100,99%
K2 ₁₀	2431	100,66%
K2 ₁₅	2407	99,65%
K3 ₀	2413	100,00%
K3 ₃	2416	100,12%
K3 ₅	2422	100,37%
K3 ₁₀	2408	99,79%
K3 ₁₅	2396	99,30%

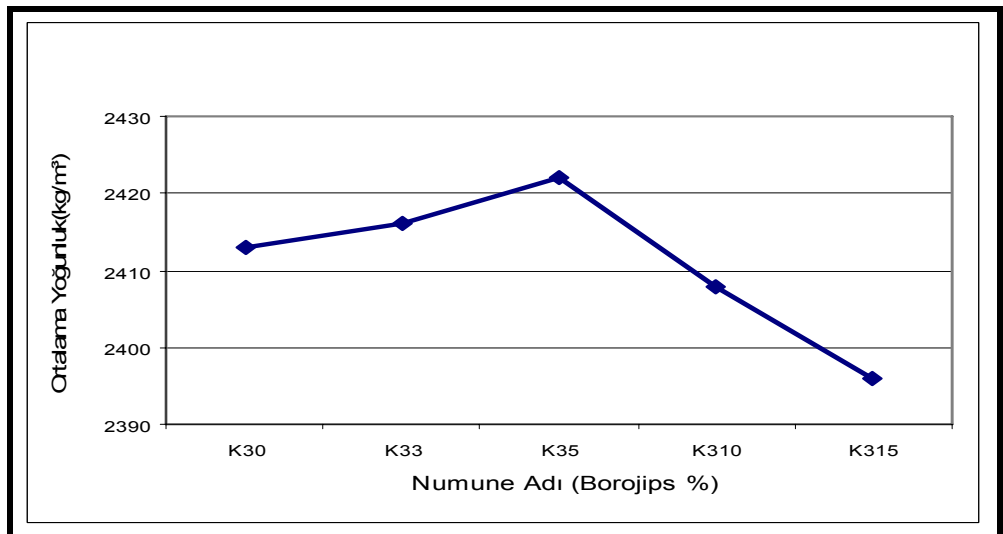
Taze beton yoğunluk değerleri incelendiğinde, borojips katkılı betonların yoğunluk değerlerinin şahit numunelere yakın değerler aldığı görülmektedir. Bu nedenle borojips katkısının taze betonun yoğunluğuna bariz bir etkisinin olmadığı söylenebilir. Aşağıda Şekil 4.8.1., Şekil 4.8.2. ve Şekil 4.8.3.'deki grafiklerde her üç karışım grubu için ortalama yoğunluk değerlerinin dağılımı verilmiştir.



Şekil 4.8.1. Ortalama Yoğunluk Dağılımı(400 doz, S/Ç=0,60)



Şekil 4.8.2. Ortalama Yoğunluk Dağılımı (300 doz, S/Ç=0,60)



Şekil 4.8.3. Ortalama Yoğunluk Dağılımı (400 doz, S/Ç=0,50)

4.3.4. Sertleşmiş Beton Numuneleri Üzerinde Yürütülen Deneyler

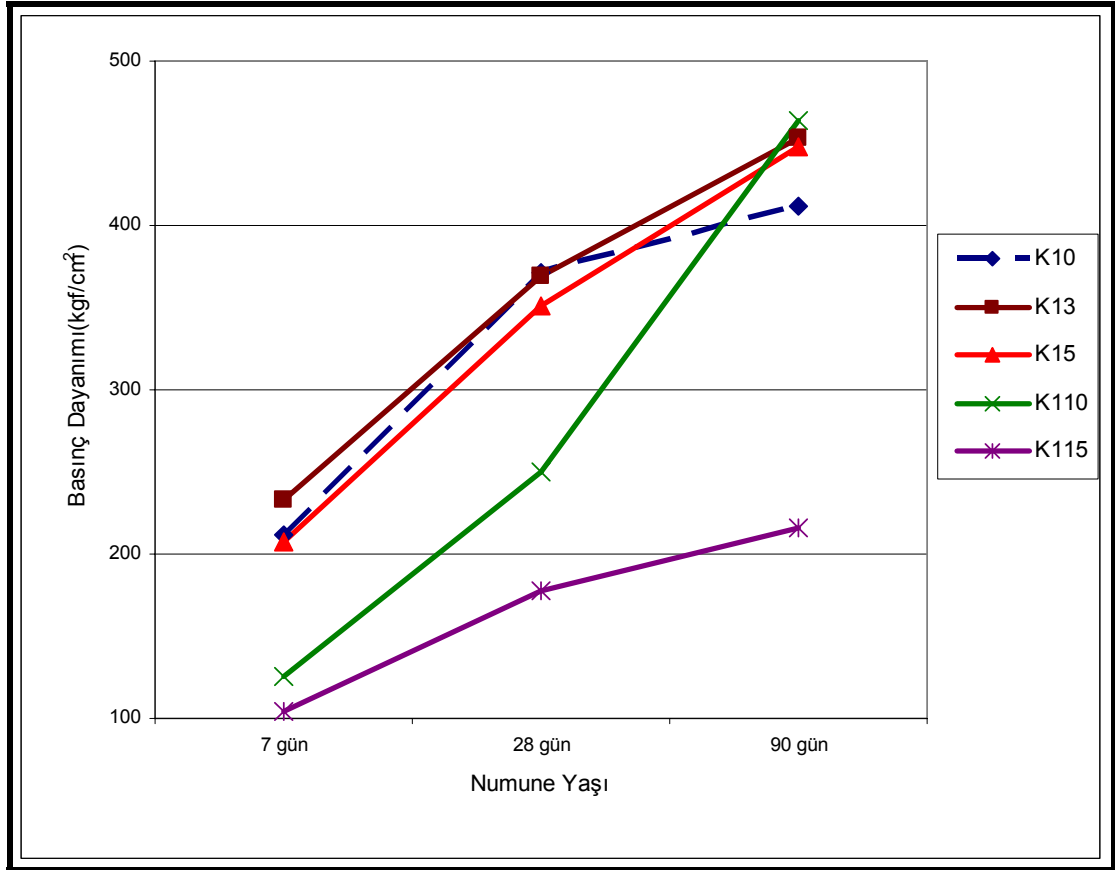
4.3.4.1. Basınç Dayanımı

Borojips içeren beton numunelerden elde edilen basınç dayanımları tabloda sunulmuştur. Dayanımlar betonda 15x15x15 cm küp kalıplar halinde dökülen betonların preste kırılmasıyla ortaya çıkmıştır.

Çizelge 4.17.'de beton numunelerin 7, 28, ve 90 günlük yaşlardaki basınç dayanımı sonuçları görülmektedir.

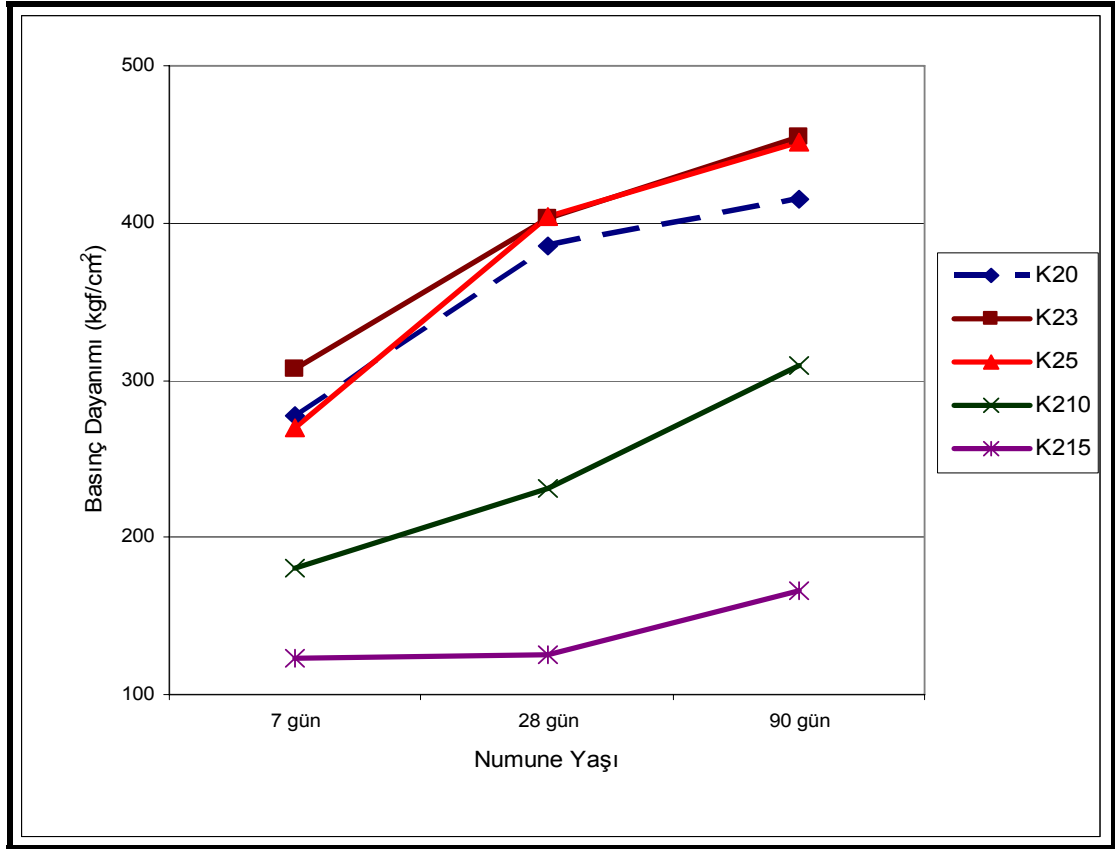
Çizelge 4.17. Beton Numunelerinin 7, 28 ve 90 Günlük Basınç Dayanımı Sonuçları

Numune Adı	7 Günlük(kgf/cm ²)	28 Günlük(kgf/cm ²)	90 Günlük(kgf/cm ²)
K1 ₀	211,33	370,77	412,07
K1 ₃	232,90	368,77	452,87
K1 ₅	207,73	351,23	447,57
K1 ₁₀	125,30	249,67	463,97
K1 ₁₅	104,13	177,80	216,07
K2 ₀	277,67	385,00	415,47
K2 ₃	306,63	403,50	455,37
K2 ₅	270,17	403,93	451,97
K2 ₁₀	166,03	231,20	309,07
K2 ₁₅	123,47	125,30	165,57
K3 ₀	318,40	568,37	582,67
K3 ₃	351,97	573,33	601,00
K3 ₅	302,30	588,00	662,00
K3 ₁₀	206,93	370,37	573,67
K3 ₁₅	179,30	306,20	368,67



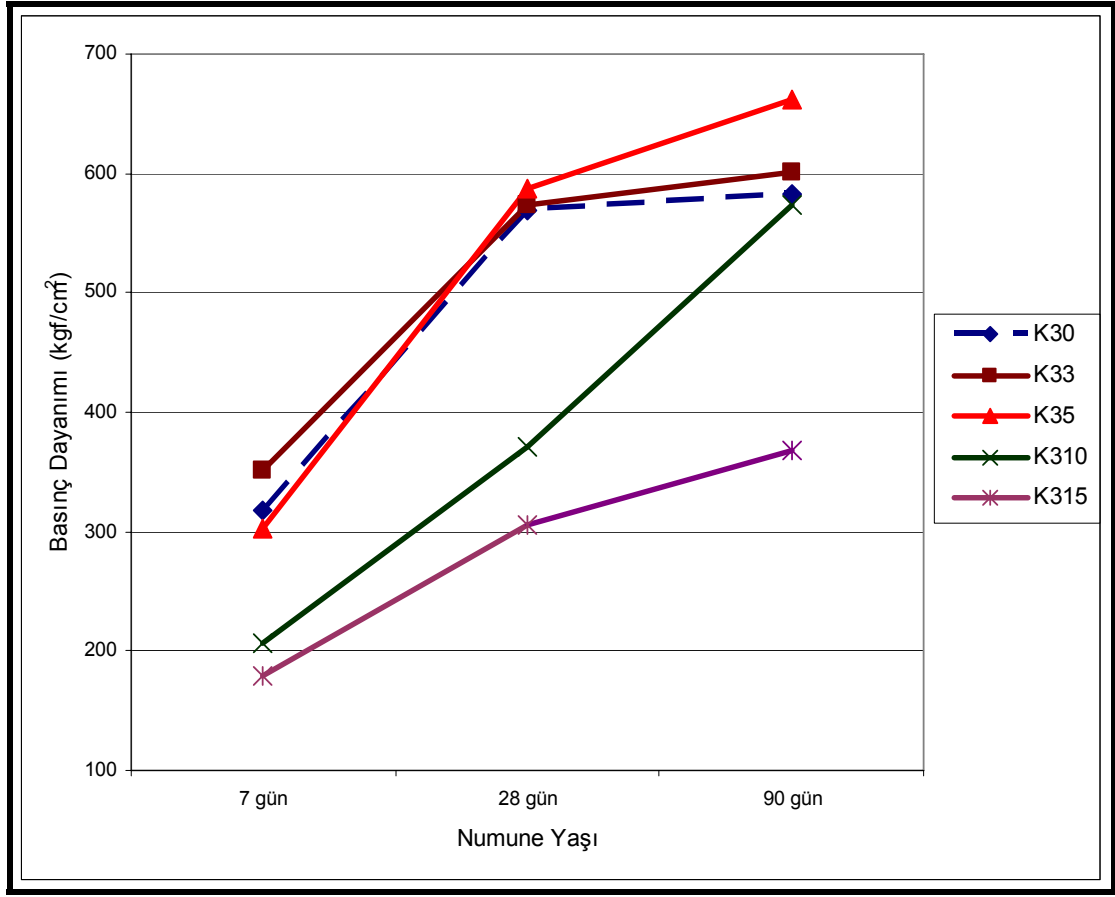
Şekil 4.9.1. Beton Basınç Dayanımları (400 doz, S/Ç=0,60)

Şekil 4.9.1.'de görülen 400 doz 0,60 su/çimento oranına sahip karışımların basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde; %3 ve %5 borojips ikame oranına sahip karışımların(K1₃ ve K1₅) 7. ve 28. günde şahit numuneye yakın dayanım değerleri verdiği, 90. günde ise şahit numuneden daha yüksek basınç dayanımı sonuçları verdiği, %10 borojips ikamesine sahip numunelerin ise 7. ve 28. günde şahit numuneden daha düşük basınç dayanımı değerleri vermesine rağmen 90. günde şahit numunenin oldukça üzerinde(%11,25) basınç dayanımı verdiği görülmüştür. %15 borojips içeren numuneler ise her yaşta şahit numunenin oldukça altında basınç dayanımı değerleri vermiştir.



Şekil 4.9.2. Beton Basınç Dayanımları (300 doz, S/Ç=0,60)

Şekil 4.9.2.'de görülen 300 doz 0,60 su/çimento oranına sahip karışımların basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde; %5 borojips ikame oranına sahip karışımlardan K2₅ numunesi 7. günde şahit numuneye yakın dayanım değeri vermiş, %3 ve %5 borojips içeren karışımların tüm yaşlarda ise şahit numuneden daha yüksek basınç dayanımı sonuçları verdiği, %10 ve %15 borojips ikamesine sahip numunelerin ise tüm yaşlarda şahit numuneden oldukça düşük basınç dayanımı değerleri verdiği görülmüştür.



Şekil 4.9.3. Beton Basiñ Dayanımları (400 doz, S/Ç=0,50)

Şekil 4.9.3.'de görülen 400 doz 0,50 su/çimento oranına sahip karışımların basıñ dayanımı sonuçları incelendiğinde; %5 borojips ikame oranına sahip karışımlardan K3₅ numunesi 7. günde şahit numuneden düşük dayanım değeri vermiş, %3 ve %5 borojips içeren karışımların tüm yaşlarda ise şahit numuneden daha yüksek basıñ dayanımı sonuçları verdiği, %10 borojips içeren numunelerin 90.günde şahit numuneye yakın ve %15 borojips ikamesine sahip numunelerin ise tüm yaşlarda şahit numuneden oldukça düşük basıñ dayanımı değerleri verdiği görülmüştür.

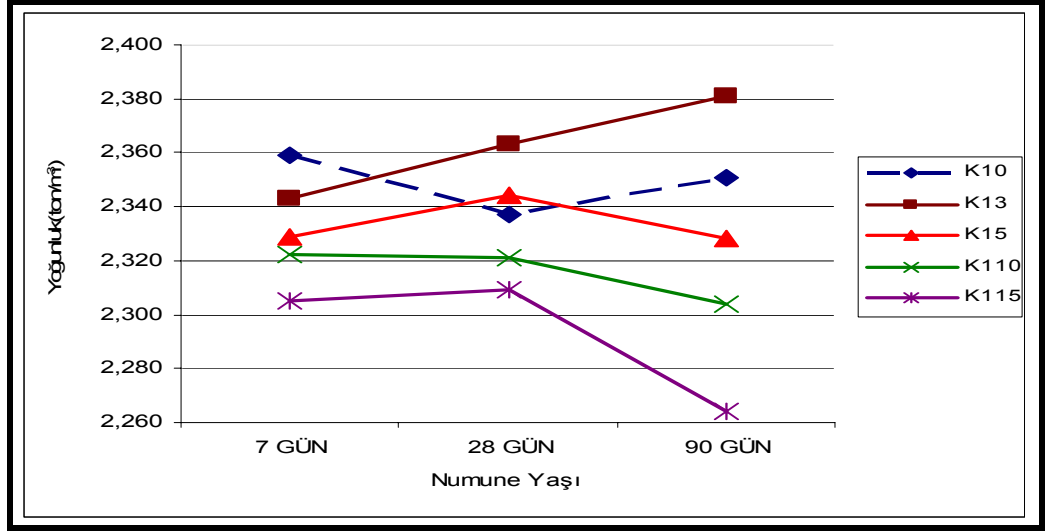
4.3.4.2. Yoğunluk Değişimi

Sertleşmiş beton numunelere ait 7., 28. ve 90. gündeki yoğunluklar Çizelge 4.18.'de verilmiştir.

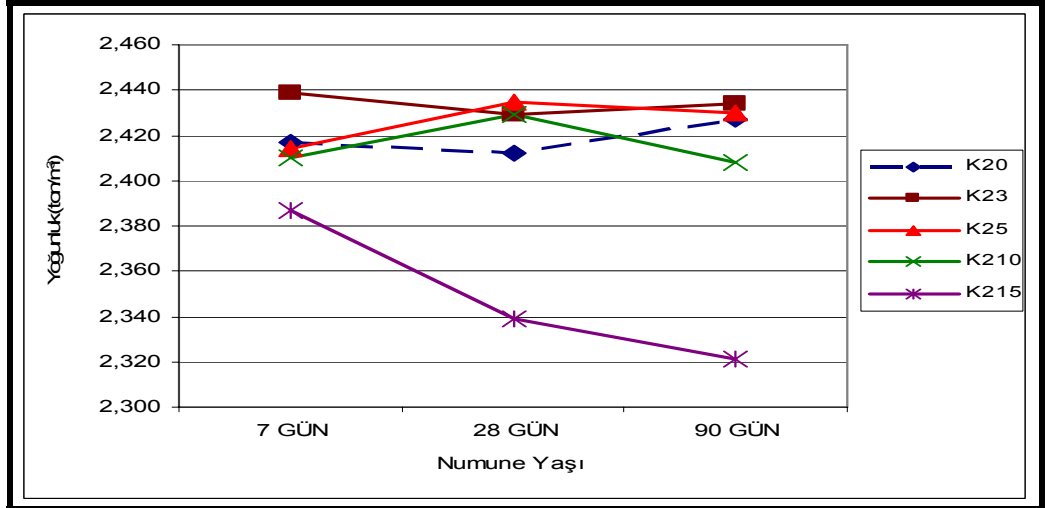
Çizelge 4.18. Sertleşmiş Beton Numunelerin 7, 28 ve 90 Günlük Yoğunlukları

Numune Adı	7 günlük Yoğunluk(ton/m ³)	28 günlük Yoğunluk(ton/m ³)	90 günlük Yoğunluk(ton/m ³)
K1 ₀	2,359	2,337	2,351
K1 ₃	2,343	2,363	2,381
K1 ₅	2,329	2,344	2,328
K1 ₁₀	2,322	2,321	2,304
K1 ₁₅	2,305	2,309	2,264
K2 ₀	2,417	2,412	2,427
K2 ₃	2,439	2,429	2,434
K2 ₅	2,414	2,435	2,430
K2 ₁₀	2,410	2,429	2,408
K2 ₁₅	2,387	2,339	2,321
K3 ₀	2,420	2,412	2,421
K3 ₃	2,423	2,417	2,431
K3 ₅	2,424	2,422	2,428
K3 ₁₀	2,413	2,406	2,409
K3 ₁₅	2,391	2,382	2,388

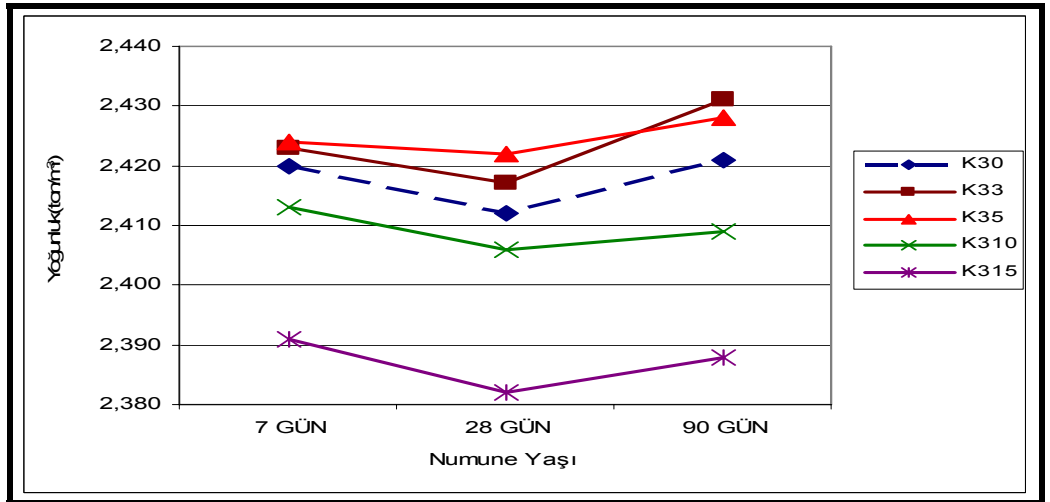
%15 borojips içeren karışımların yoğunluklarının şahit numuneye göre düşük çıktığı gözlenmiştir. Borojips içeren diğer karışımların sertleşmiş betonun yoğunluğuna bariz bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Şekil 4.10.1., Şekil 4.10.2. ve Şekil 4.10.3.'deki grafiklerde yoğunluk değişimleri görülmektedir.



Şekil 4.10.1. Sertleşmiş Beton Yoğunlukları (400 doz, S/Ç=0,60)



Şekil 4.10.2. Sertleşmiş Beton Yoğunlukları (300 doz, S/Ç=0,60)



Şekil 4.10.3. Sertleşmiş Beton Yoğunlukları (400 doz, S/Ç=0,50)

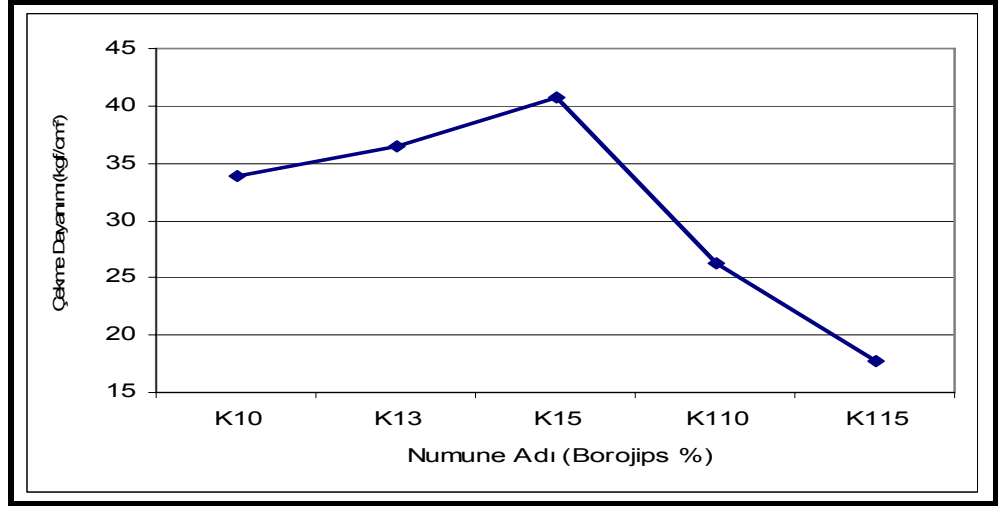
4.3.4.3. Betonda Çekme Dayanımı

Betonda çekme dayanımı silindir yarma deneyi ile tespit edilmiştir. 28 gün kür havuzunda muhafaza edilen numuneler üzerinde deneyler yapılmıştır. Betonda uygulanan çekme dayanımı deneyleri (Silindir Yarma) önceki bölümlerde anlatılmıştır. Çekme dayanımları Çizelge 4.19.'da verilmiştir.

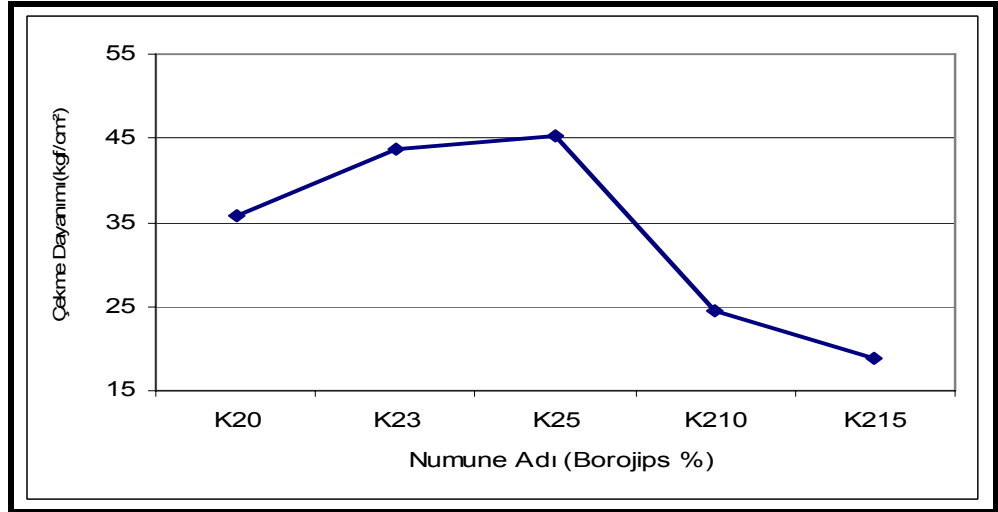
Çizelge 4.19. Beton Numunelerin 28 Günlük Çekme Dayanımları

Numune Adı	Çekme Dayanımı(kgf/cm ²)
K1 ₀	33,83
K1 ₃	36,52
K1 ₅	40,81
K1 ₁₀	26,28
K1 ₁₅	17,74
K2 ₀	35,90
K2 ₃	43,74
K2 ₅	45,34
K2 ₁₀	18,73
K2 ₁₅	24,56
K3 ₀	44,87
K3 ₃	47,89
K3 ₅	50,39
K3 ₁₀	32,27
K3 ₁₅	29,87

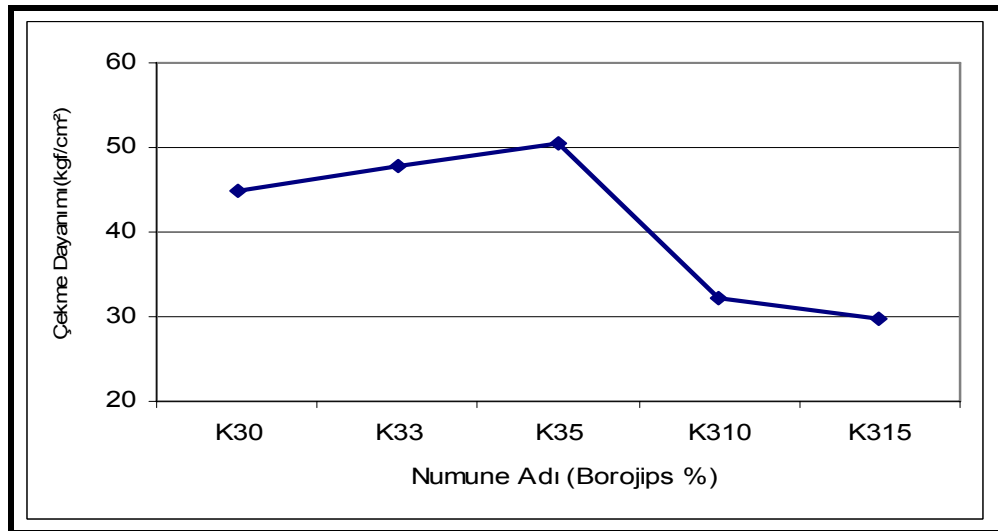
Silindir yarma dayanımı sonuçları incelendiğinde; %3 borojips içeren numunelerin şahit numunelere göre silindir yarma dayanımını %7 - %22 arasında arttırdığı, %5 borojips içeren numunelerin ise şahit numunelere göre %12-%26 arasında daha yüksek silindir yarma dayanımı değerleri verdiği görülmüştür. %10 ve %15 borojips içeren numunelerin ise şahit numuneden daha düşük silindir yarma dayanımı verdiği tespit edilmiştir. Şekil 4.11.1., Şekil 4.11.2. ve Şekil 4.11.3.'de her üç karışım grubu için çekme dayanımı grafikleri görülmektedir.



Şekil 4.11.1. 28 Günlük Çekme Dayanımları (400 doz, S/Ç=0,60)



Şekil 4.11.2. 28 Günlük Çekme Dayanımları (300 doz, S/Ç=0,60)



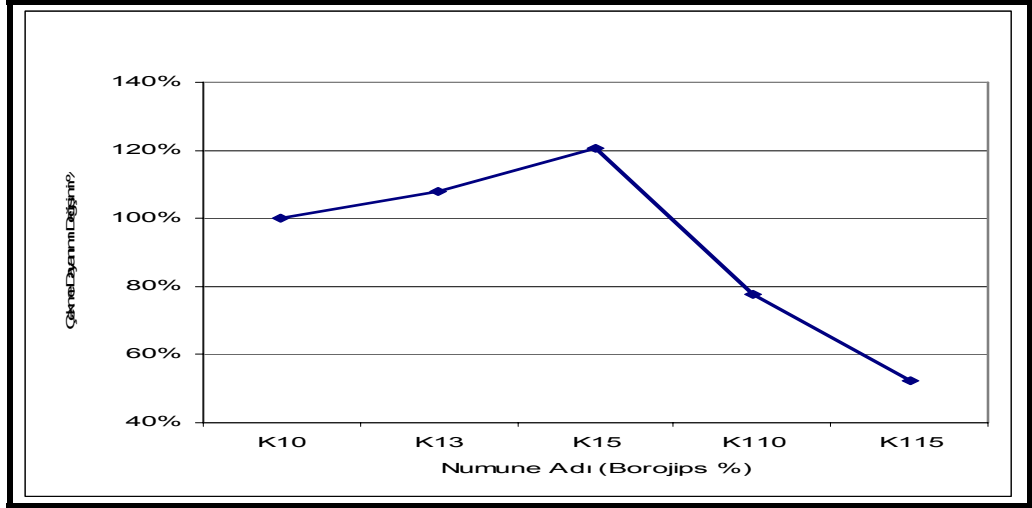
Şekil 4.11.3. 28 Günlük Çekme Dayanımları (400 doz, S/Ç=0,50)

Çizelge 4.20.'de 28 günlük çekme dayanımları bulunan karışım numunelerinin şahit numunelere göre çekme dayanımlarının değişimi yüzde olarak verilmektedir.

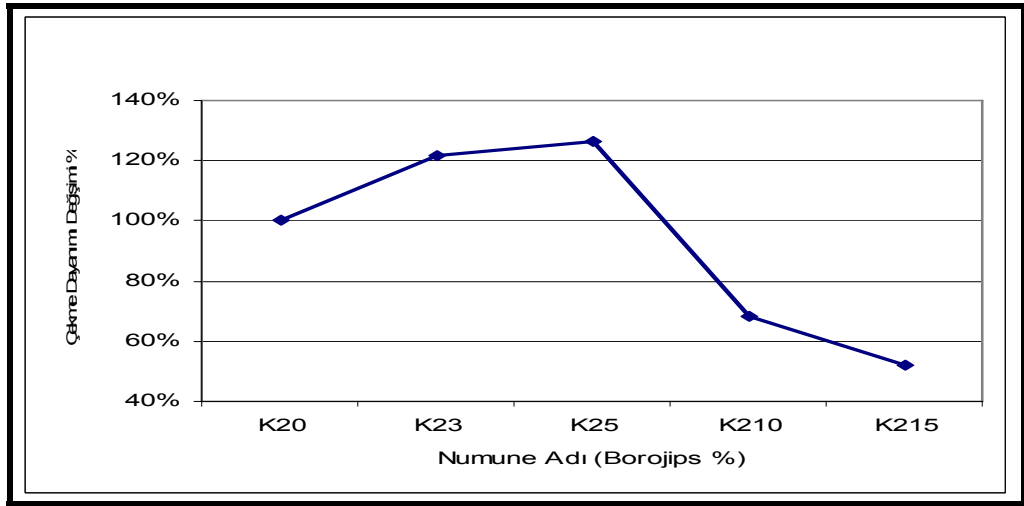
Çizelge 4.20. Betonun Çekme Dayanımı Değişim Yüzdesi

Numune Adı	Çekme Dayanımı Değişimi Oranı (%)
K1 ₀	100
K1 ₃	108
K1 ₅	121
K1 ₁₀	78
K1 ₁₅	52
K2 ₀	100
K2 ₃	122
K2 ₅	126
K2 ₁₀	68
K2 ₁₅	52
K3 ₀	100
K3 ₃	107
K3 ₅	112
K3 ₁₀	72
K3 ₁₅	67

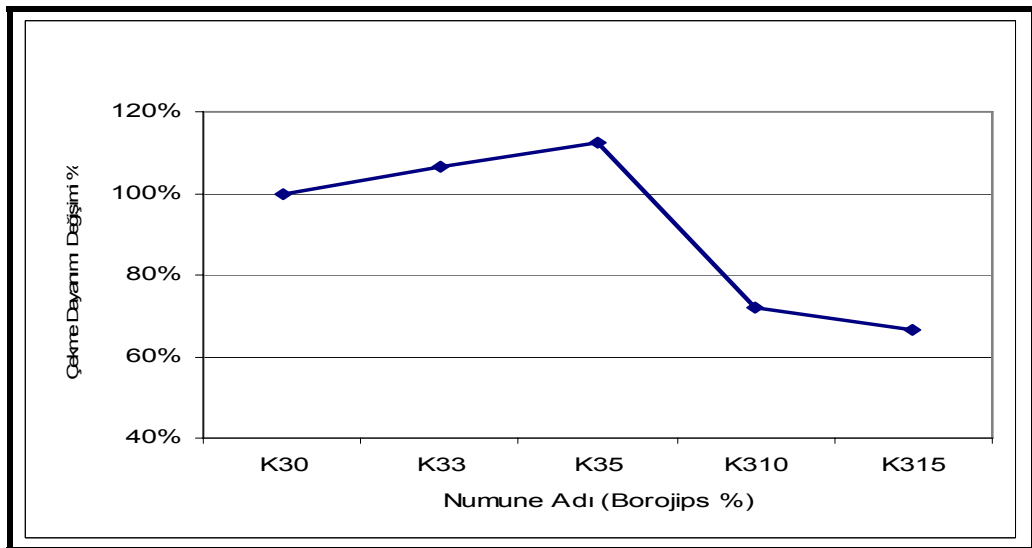
Sertleşmiş beton numunelerden silindir yarma deneyi ile elde edilen çekme dayanımlarının şahit betona göre değişim yüzdelerine bakıldığında; her üç karışım grubunda da %3 ve %5 borojips içeren numunelerin şahit betona göre çekme dayanımlarının artmış olduğu, %10 ve %15 borojips içeren numunelerin ise şahit betona göre çekme dayanımlarının düşmüş olduğu görülmüştür. Şekil 4.12.1., Şekil 4.12.2. ve Şekil 4.12.3.'de çekme dayanımı değişim yüzdeleri her üç karışım grubu için verilmektedir.



Şekil 4.12.1 Betondaki Çekme Dayanımı Değişimi (%),(400 doz, S/Ç=0,60)



Şekil 4.12.2. Betondaki Çekme Dayanımı Değişimi (%),(300 doz, S/Ç=0,60)



Şekil 4.12.3. Betondaki Çekme Dayanımı Değişimi (%),(400 doz, S/Ç=0,50)

4.3.5. Çimento Dozajının Etkisi

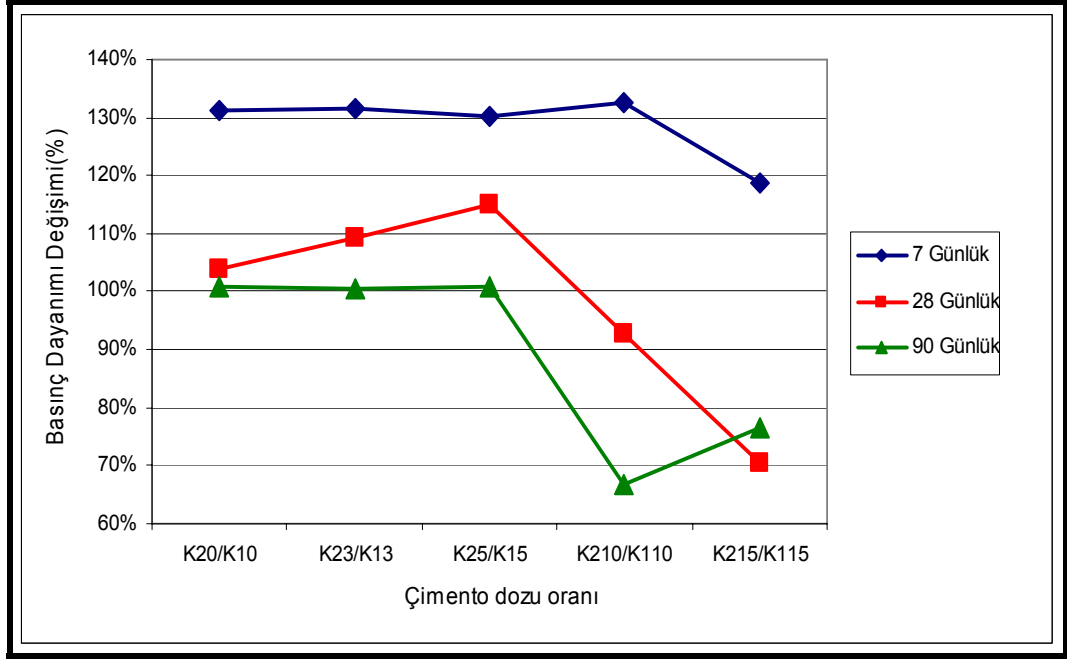
4.3.5.1. Çimento Dozajının Basınç Dayanımına Etkisi

300 doz 0,60 S/Ç oranına sahip numunelerin basınç dayanımları, 400 doz 0,60 S/Ç oranına sahip numunelerin basınç dayanımlarına oranlanarak Çizelge 4.21.'deki bulgulara ulaşılmıştır.

Çizelge 4.21. Çimento Dozajına Göre Basınç Dayanımı Oranları Değişim Yüzdesi

300 doz/400 doz	7 Günlük	28 Günlük	90 Günlük
K2 ₀ /K1 ₀	131,39	103,84	100,83
K2 ₃ /K1 ₃	131,66	109,42	100,55
K2 ₅ /K1 ₅	130,06	115,00	100,98
K2 ₁₀ /K1 ₁₀	132,51	92,60	66,61
K2 ₁₅ /K1 ₁₅	118,57	70,47	76,63

300 doz 0,60 S/Ç oranına sahip numunelerin basınç dayanımları, 400 doz 0,60 S/Ç oranına sahip numunelerin basınç dayanımlarına oranlandığında; aynı su/çimento oranında 28 ve 90 günlük basınç dayanımlı %10 ve %15 borojips içeren numunelerin oranı hariç diğer tüm yaş ve borojips artış oranlarında çimento dozajının azalmasına rağmen basınç dayanımlarının arttığı gözlenmiştir. 400 doz 0,60 S/Ç oranına sahip karışıma giren su miktarının 300 doz 0,60 S/Ç oranına sahip karışımlardan fazla olması basınç dayanımlarını düşürmüştür. Zaten bu durum slump(çökme) artışlarında da görülmektedir. Çimento dozajının artışına rağmen karışıma giren su miktarının artması sebebiyle basınç dayanımındaki bu düşüşlerin olması beklenen bir sonuçtur. Şekil 4.13.'de bu durum grafikte ifade edilmiştir.



Şekil 4.13. Çimento Dozajına Göre Basınç Dayanımı Değişimi Grafiği

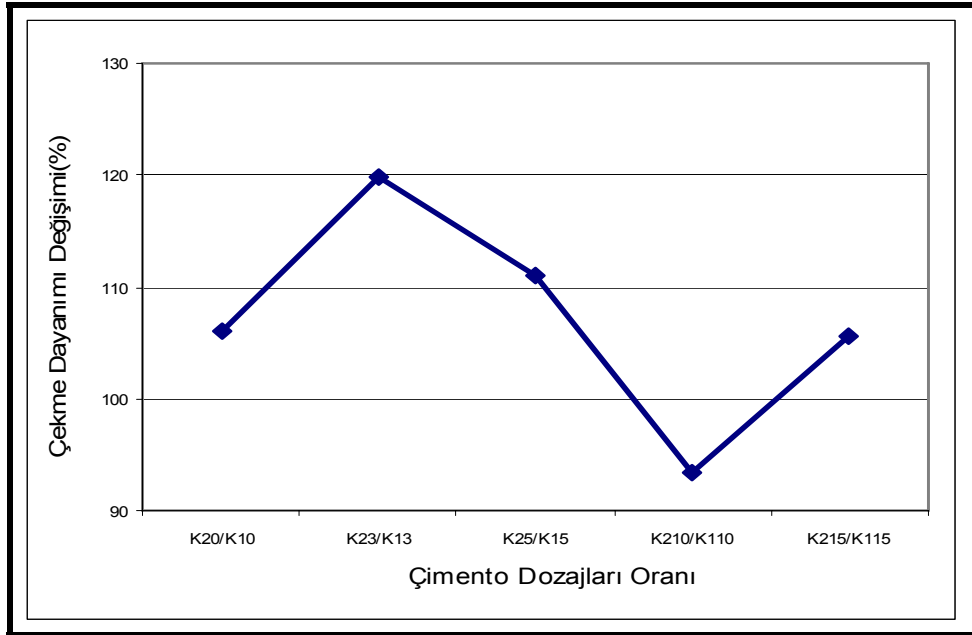
4.3.5.2. Çimento Dozajının Yarmada Çekme Dayanımına Etkisi

300 doz 0,60 S/Ç oranına sahip numunelerin yarmada çekme dayanımları, 400 doz 0,60 S/Ç oranına sahip numunelerin yarmada çekme dayanımlarına oranlanarak Çizelge 4.22'deki bulgulara ulaşılmıştır.

Çizelge 4.22. Çimento Dozajına Göre Çekme Dayanımı Oranları Değişim Yüzdesi

300 doz/400 doz	Çekme Dayanımı Değişimi Oranı %
K2 ₀ /K1 ₀	106,12
K2 ₃ /K1 ₃	119,77
K2 ₅ /K1 ₅	111,10
K2 ₁₀ /K1 ₁₀	71,27
K2 ₁₅ /K1 ₁₅	138,44

300 doz 0,60 S/Ç oranına sahip numunelerin yarmada çekme dayanımları, 400 doz 0,60 S/Ç oranına sahip numunelerin yarmada çekme dayanımlarına oranlandığında; aynı su/çimento oranında sadece %10 borojips içeren numunelerin yarmada çekme dayanımları oranı hariç çimento dozajının azalmasına rağmen yarmada çekme dayanımlarının arttığı gözlenmiştir. Bu durum basınç dayanımında olduğu gibi 400 doz 0,60 S/Ç oranına sahip karışıma giren su miktarının 300 doz 0,60 S/Ç oranına sahip karışımlardan fazla olmasına bağlanabilir. Çimento dozajının artışına rağmen karışıma giren su miktarının artması sebebiyle yarmada çekme dayanımındaki bu düşüşlerin olması beklenen bir sonuçtur. Şekil 4.14.'da bu durum grafikte ifade edilmiştir.



Şekil 4.14. Çimento Dozajına Göre Yarmada Çekme Dayanımı Değişimi Grafiği

4.3.6. Su/Çimento (S/Ç) Oranının Etkisi

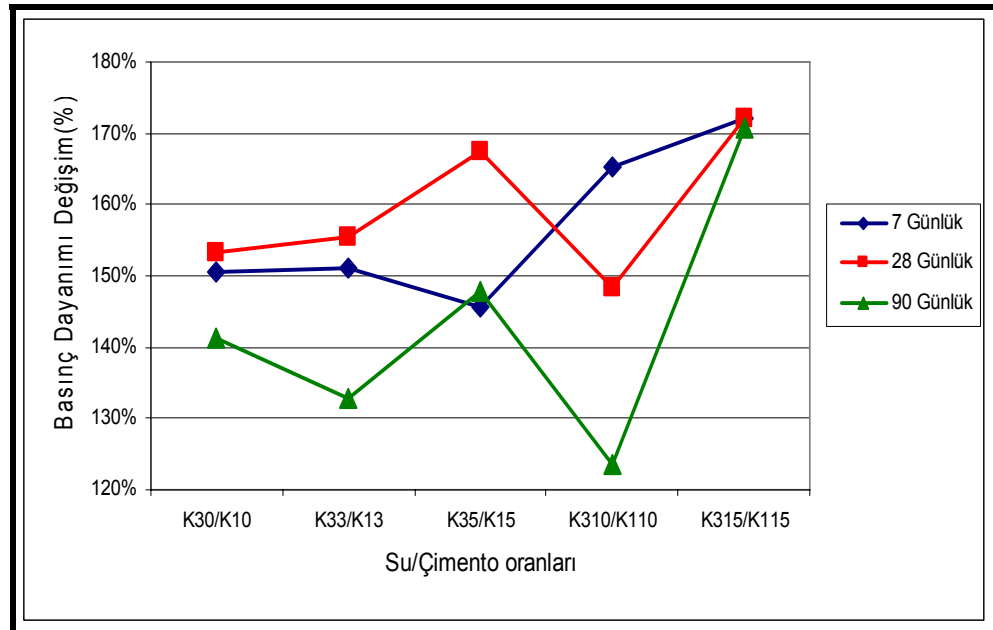
4.3.6.1. Su/Çimento (S/Ç) Oranının Basınç Dayanımına Etkisi

400 doz 0,50 S/Ç oranına sahip numunelerin basınç dayanımları, 400 doz 0,60 S/Ç oranına sahip numunelerin basınç dayanımlarına oranlanarak aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır. Bu bulgular Çizelge 4.23.'te verilmiştir.

Çizelge 4.23. S/Ç Oranlarına Göre Basınç Dayanımı Değişim Yüzdesi

Su/Çimento oranları	7 Günlük	28 Günlük	90 Günlük
K3 ₀ /K1 ₀	150,66	153,29	141,40
K3 ₃ /K1 ₃	151,12	155,47	132,71
K3 ₅ /K1 ₅	145,53	167,41	147,91
K3 ₁₀ /K1 ₁₀	165,15	148,34	123,64
K3 ₁₅ /K1 ₁₅	172,19	172,22	170,63

400 doz 0,50 S/Ç oranına sahip numunelerin basınç dayanımları, 400 doz 0,60 S/Ç oranına sahip numunelerin basınç dayanımlarına oranlandığında; tüm yaş ve borojips artış oranlarında S/Ç oranının azalmasına rağmen basınç dayanımlarının arttığı gözlenmiştir. 400 doz 0,50 S/Ç oranına sahip karışıma giren su miktarının 400 doz 0,60 S/Ç oranına sahip karışımlardan az olması basınç dayanımlarını arttırmıştır. Aynı çimento dozajlı karışımlarda karışıma giren su miktarının azalması işlenebilirliği bir miktar azaltmış olsada basınç dayanımlarını arttırmıştır. Bu karışımdaki su oranları için optimum su oranı denilebilir. Karışıma giren su miktarının aynı çimento dozajında azalması basınç dayanımlarını arttırması beklenen bir sonuçtur. Şekil 4.15.'de grafikte ifade edilmiştir.

**Şekil 4.15.** S/Ç Oranına Göre Basınç Dayanımı Değişimi Grafiği

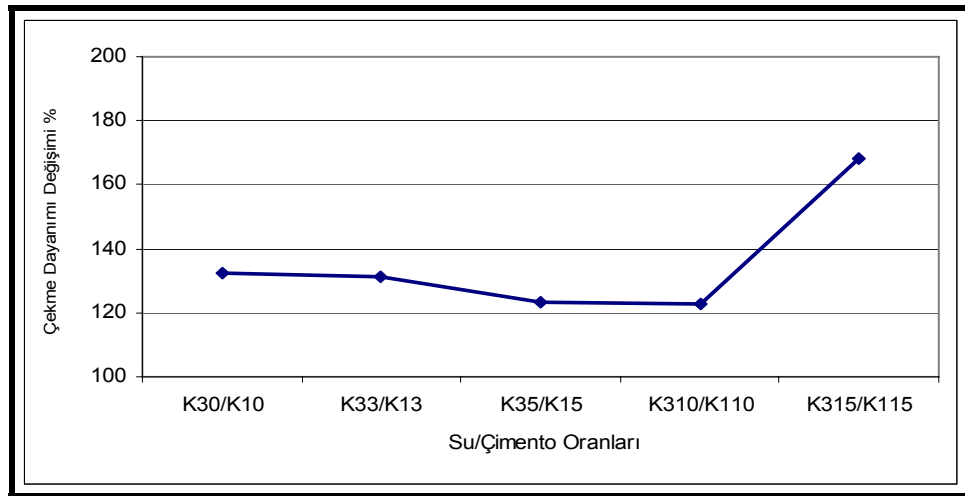
4.3.6.2. Su/Çimento(S/Ç) Oranının Yarmada Çekme Dayanımına Etkisi

400 doz 0,50 S/Ç oranına sahip numunelerin yarmada çekme dayanımları, 400 doz 0,60 S/Ç oranına sahip numunelerin yarmada çekme dayanımlarına oranlanarak Çizelge 4.24.'deki bulgulara ulaşılmıştır.

Çizelge 4.24. Su/Çimento Oranına Göre Çekme Dayanımı Değişim Yüzdesi

S/Ç oranları	Çekme Dayanımı Değişimi %
K3 ₀ /K1 ₀	132,63
K3 ₃ /K1 ₃	131,13
K3 ₅ /K1 ₅	123,47
K3 ₁₀ /K1 ₁₀	122,79
K3 ₁₅ /K1 ₁₅	168,38

400 doz 0,50 S/Ç oranına sahip numunelerin yarmada çekme dayanımları, 400 doz 0,60 S/Ç oranına sahip numunelerin yarmada çekme dayanımlarına oranlandığında; tüm yaş ve borojips artış oranlarında S/Ç oranının azalmasına rağmen yarmada çekme dayanımlarının arttığı gözlenmiştir. 400 doz 0,50 S/Ç oranına sahip karışıma giren su miktarının 400 doz 0,60 S/Ç oranına sahip karışımlardan az olması basınç dayanımlarında olduğu gibi yarmada çekme dayanımını da arttırmıştır. Şekil 4.16.'da çekme dayanımı değişimi grafikte ifade edilmiştir.



Şekil 4.16. S/Ç Oranına Göre Yarmada Çekme Dayanımı Değişimi Grafiği

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1. Taze Beton Özellikleri Üzerinde Gözlenen Bulgular

1. Borojips katkısı kullanımının normal kıvam için gerekli su miktarını arttırdığı görülmüştür.
2. Çimento yerine borojips kullanılması priz sürelerinde uzama yönünde etki göstermiştir. Bu sonuçlar bize borojipsin priz geciktirici olarak kullanılabileceği fikrini vermektedir.
3. Hacim sabitliği deneyi sonuçlarına göre; %15 hariç bütün borojips katkılı numuneler şahit numuneden daha az şişme göstermişlerdir. Bununla beraber bütün numunelerin değerleri $b-a= 4$ mm ve $c-a= 10$ mm sınırlarının altında kalmıştır.
4. Ve-Be ve slump(çökme) deneyi sonuçları incelendiğinde borojips ikamesinin artmasıyla işlenebilirliğin azaldığı görülmektedir.
5. Slump deneyi ile Ve-be deneyi sonuçlarının uyum içinde olduğu gözlenmiştir.
6. Borojips katkılı betonların yoğunluk değerlerinin şahit numunelere yakın değerler aldığı görülmektedir. Bu nedenle borojips katkısının taze betonun yoğunluğuna bariz bir etkisinin olmadığı söylenebilir.

5.2. Sertleşmiş Beton Özellikleri Üzerinde Saptanan Bulgular

1. 400 doz 0,60 su/çimento oranına sahip karışımların basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde; %3 ve %5 borojips ikame oranına sahip karışımların ($K1_3$ ve $K1_5$) 7. ve 28. günde şahit numuneye yakın dayanım değerleri verdiği, 90. günde ise şahit numuneden daha yüksek basınç dayanımı sonuçları verdiği, %10 borojips ikamesine sahip numunelerin ise 7. ve 28. günde şahit numuneden daha düşük basınç dayanımı değerleri vermesine rağmen 90. günde şahit numunenin oldukça üzerinde(%11,25) basınç dayanımı verdiği görülmüştür. %15 borojips içeren numuneler ise her yaşta şahit numunenin oldukça altında basınç dayanımı değerleri vermiştir.

2. 300 doz 0,60 su/çimento oranına sahip karışımların basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde; %5 borojips ikame oranına sahip karışımlardan K2₅ numunesi 7. günde şahit numuneye yakın dayanım değeri vermiş, %3 ve %5 borojips içeren karışımların tüm yaşlarda ise şahit numuneden daha yüksek basınç dayanımı sonuçları verdiği, %10 ve %15 borojips ikamesine sahip numunelerin ise tüm yaşlarda şahit numuneden oldukça düşük basınç dayanımı değerleri verdiği görülmüştür.
3. 400 doz 0,50 su/çimento oranına sahip karışımların basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde; %5 borojips ikame oranına sahip karışımlardan K3₅ numunesi 7. günde şahit numuneden düşük dayanım değeri vermiş, %3 ve %5 borojips içeren karışımların tüm yaşlarda ise şahit numuneden daha yüksek basınç dayanımı sonuçları verdiği, %10 borojips içeren numunelerin 90. günde şahit numuneye yakın ve %15 borojips ikamesine sahip numunelerin ise tüm yaşlarda şahit numuneden oldukça düşük basınç dayanımı değerleri verdiği görülmüştür.
4. Silindir yarma dayanımı sonuçları incelendiğinde; %3 borojips içeren numunelerin şahit numunelere göre silindir yarma dayanımını %7 - %22 arasında arttırdığı, %5 borojips içeren numunelerin ise şahit numunelere göre %12-%26 arasında daha yüksek silindir yarma dayanımı değerleri verdiği görülmüştür. %10 ve %15 borojips içeren numunelerin ise şahit numuneden daha düşük silindir yarma dayanımı verdiği tespit edilmiştir.

5.3. Öneriler

1. Beton basınç deneylerinden elde edilen sonuçlara göre %5 - %10 borojips aralığının daraltılmasıyla(%6, %7, %8 ve %9 oranları için) üretilen karışımların basınç dayanımları ölçülerek; basınç dayanımı için bu aralıkta optimum bir borojips ikame oranının olup olmadığının tespit edilebileceği bir çalışma yürütülebilir.
2. Basınç deneyi sonuçları özellikle %10 borojips içeren betonların zamanla şahit betona yakın basınç dayanımları geliştirdiklerini göstermiştir. Bundan dolayı 6 ay, 1 ve 2 yıllık basınç dayanımı değerlerinin bulunması da yararlı olacaktır.

3. Silindir yarma deneyi sadece 28 günlük numuneler için yapılmıştır. Diğer yaşlarda da örneğin 7.gün, 90. gün ve 1. yılda da borojipsin silindir yarma dayanımına etkisinin inceleneceği bir çalışma yapılabilir.
4. Bu çalışma beton numuneler üzerinde yürütülmüştür. Kullanılan malzemelerin kimyasal ve fiziksel kompozisyonu değişebileceğinden araştırmalar değişik kaynaklı malzemelerle tekrarlanmalıdır.
5. Bu çalışmada yürütülemeyen durabilite (kalıcılık) özelliklerini de kapsayan deneylerin (örneğin : rötre, aşınma, boşluk oranı, ıslanma kuruma, donma çözünme, sülfat ve asit atağı, alkali silis reaksiyonu deneyleri, hidrasyon ısı ölçümü) de kapsadığı bir çalışma yürütülebilir.
6. Katkı içeriği olarak kimyasal katkılarla beraber kullanılarak veya farklı puzolanik katkıları kullanılarak sonuçları değerlendirilebilir.
7. İnce öğütülmüş cüruf veya silis dumanı ile mevcut borojips içeren karışımlar arasında üçlü veya daha çoklu karışımların harç veya beton özelliklerini hangi mertebede iyileştirebileceği araştırılabilir.
8. Eti Maden İşletmeleri Kütahya Emet Bor İşletme Müdürlüğü'nden elde edilen borojips, beton ve çimento katkısı olarak kullanılmadan önce gerekli testler yapılmalıdır.

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
- BAYKAL, E. D. 2003. **Hidrotermal ve Mikrodalga Enerjiyle, Lityum İçeren Borath Fosfatlı Bileşiklerin Sentezlenmesi, Kristal Yapı ve Termokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi**
- BİLİM, C. 2001. **Afşin-Elbistan Uçucu Külünün Beton İçinde Kullanılabilirliği ve Hizlandırılmış Kür Uygulaması**, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Hatay
- BONCUKCUOĞLU, R., YILMAZ, T. M., KOCAKERİM, M. M., TOSUNOĞLU, V. 2001. **Utilization of borogypsum as set retarder in Portland cement production**,
- 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 Tecnical University, ISBN 975-429-113-6, 188 s, Ankara

- FINDIK, A. 2007. **Kolemanit Konsantratör Atığının Beton ve Harç Numunelerin Bazı Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi**, Yüksek Lisans Tezi
- KELEŞ, G., KOCAKERİM, M. M., BONCUKÇUOĞLU, R., 2005. **Borojips ve Kolemanit Konsantrasyon Atığının Çimentoda Kullanılması**, 1. Ulusal Bor Çalıştayı Bildiriler Kitabı Ankara
- KULA, İ., OLGUN, A., ERDOĞAN, Y., SEVİNC, V., 2000. **Effects of colemanite waste cool bottom ash, and fly ash on the properties of cement**,
- KAVAS, T., ÖNCE, G., OLGUN, A., ERDOĞAN, Y., 2005. **Kolemanit Katkılı PÇ Üretiminde Priz Hızlandırıcı Olarak Organik Katkı Malzemesinin Kullanılabilirliği**, 1. Ulusal Bor Çalıştayı Bildiriler Kitabı Ankara
- KULA, İ. 2000. **Bor Endüstri Atıklarının Çimento Üretiminde Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi**, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi
- NEVILLE, A. M., BROOKS, J. J., 1993. **Concrete Technology**. Longman Scientific and Technical, USA.
- OLGUN, A., KAVAS, T., ERDOĞAN, Y., ÖNCE, G., 2006. **Physico-chemical characteristics of chemically activated cement containing boron**,
- 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.
- 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
- ÖZMAL, F., ERDOĞAN, Y., OLGUN, A., ATAR, N., KULA, İ., KALFA, O. M. 2005. **Bor Endüstri Atıkları, Uçucu Kül ve Alünit İçeren Çimentoların Fiziksel ve Mekaniksel Özelliklerinin İncelenmesi**, 1. Ulusal Bor Çalıştayı Bildiriler Kitabı Ankara
- 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 (Rötire) 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. 2005. **Bor Atıklı Çimento Harçlarının Dayanıklılığı**, 1. Ulusal Bor Çalıştayı Bildiriler Kitabı Ankara
- TS 19, 1992. **Çimento-Portland Çimentoları**, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 24, 1985. **Çimentoların Fiziki ve Mekanik Deney Metodları**

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans Eğitimim ve Tez çalışmamın her aşamasında büyük bir sabır ve özveriyle bana destek olan, her türlü problemi aşan, yetersiz ekipmana ve çalışma ortamına rağmen, her türlü imkanları oluşturmaya çalışan, malzeme teminine birlikte gittiğimiz çok değerli danışman hocam Sayın Yrd.Doç.Dr. Umur Korkut SEVİM'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca Yüksek Lisans Tez çalışmamda yardımlarını esirgemeyen ve destek veren Sayın Doç.Dr. Ali Osman ATAHAN, Yrd.Doç.Dr. Faruk Fırat ÇALIM, Yrd.Doç.Dr. Murat BİKÇE ve Yrd.Doç.Dr. Selçuk KAÇIN'a teşekkür ederim.

Borojipsin teminine yardımcı olan Eti Maden İşletmeleri Kütahya Emet Bor İşletme Müdürlüğü'nden İşletme Müdür Yardımcısı Dr. Mehmet SAVAŞ'a, Borojipsin öğütülmesini sağlayan AÇS İskenderun Nardüzü Hazır Beton Tesis Şefi Meriç DEMİRİZ'e, Alper ÖREN'e ve emeği geçen tesis çalışanlarına, preslerinde numune kırımına olanak sağlayan AÇS Antakya Hazır Beton Tesis Şefi Fuat ÇUNKUR'a ve tesis çalışanlarına, agrega temininde yardımlarını esirgemeyen GÜRTAŞ Hazır Beton'dan Aziz KARADENİZ'e, Tufan CEMALİ ve CEMA İnş. Malz. Ltd. Şti. çalışanlarına, Borojips kimyasal analizini yaptıran ÇİMSA Çimento San. A.Ş. Hazır Betonlar Kalite Kontrol Şefi Kadri ŞENDUR'a ve çimento analiz raporlarını temin eden OYAKBETON A.Ş.'den Hakan ÖZBEBEK'e teşekkürlerimi sunarım. Deney çalışmalarında yardımcı olan İnşaat Mühendisliği Bölümü bitirme öğrencileri Necmi OKUMUŞ'a, Ahmet DİNÇ'e, Feyzullah DEMİRTAŞ'a, Ertan KOÇ'a ve Ersin BAYRAKTAR'a teşekkür ederim.

Ayrıca çalışma hayatımızda eğitime olan katkısını eğitim yardımları vererek gösteren firmam BASF YAPI KİMYASALLARI SAN. A.Ş.'ne, Emrah KARATAŞ'a, Engin Cüneyt SEYHAN'a ve tüm çalışma arkadaşlarıma, yüksek lisans öğrenimim boyunca desteklerini esirgemeyen ve tez yazım döneminde hafta sonlarını çaldığım sevgili aileme teşekkür ederim.

ÖZGEÇMİŞ

1971 yılında Niğde ili Bor İlçesine bağlı Çukurkuyu Kasabası'nda doğdum. İlk ve orta öğrenimimi kasabamda, liseyi Adana Motor Teknik Lisesi'nde tamamladım. 1989 yılında girdiğim Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi'nden, 1993 yılı Temmuz döneminde İnşaat Mühendisi ünvanıyla mezun oldum. Mezun olduktan sonra 2 yıl kadar şantiyede çalıştıktan sonra askerlik görevimi tamamladım. 1996 yılından bu yana Yalıtım ve Yapı Kimyasalları sektöründe çalışmaktayım. 2002 yılından bu yana Basf Yapı Kimyasalları San. A.Ş.'de Adana Bölge Müdürü olarak görev yapmaktayım. 2005 yılında Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Yapı Malzemesi Anabilim dalında Yüksek Lisans öğrenimine başladım. Evliyim ve bir oğlum var.