



**MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KOLEMANİT ATIĞININ BETON DAYANIMINA OLAN ETKİSİNİN**  
**İNCELENMESİ**

**UMRAN AYDIN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Antakya/HATAY**  
**HAZİRAN-2009**

**MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KOLEMANİT ATIĞININ BETON DAYANIMINA OLAN ETKİSİNİN**  
**İNCELENMESİ**

**UMRAN AYDIN**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Yrd. Doç. Dr. Umur Korkut SEVİM danışmanlığında hazırlanan bu tez 26.06.2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Umur Korkut SEVİM  
Başkan

Yrd. Doç. Dr. Erdoğan ÖZBAY  
Üye

Doç. Dr. Ergül YAŞAR  
Üye

Bu tez Enstitümüz İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

**Kod No:**

Prof. Dr. Bünyamin YILDIZ

Enstitü Müdür V.

**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

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	IV
ABSTRACT .....	V
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	VIII
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	4
2.1. Giriş.....	4
2.2. Betonda Kolemanit Atığı Kullanımı .....	4
2.3. Priz Zamanı .....	4
2.4. Hacim Genleşmesi.....	5
2.5. Basınç Dayanımı.....	5
2.6. Eğilmeye Çekme Dayanımı.....	6
2.7. Silindir Yarma Dayanımı.....	6
2.8. Kıvam.....	6
2.9. Karbonatlaşma.....	6
2.10. Rötrey.....	6
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	7
3.1. Beton Deneyleri.....	7
3.1.1. Taze Beton Üzerinde Yürütülen Deneyler .....	7
3.1.1.1. Çökme Hunisi Deneyi.....	7
3.1.1.2. Ve-be Deneyi.....	7
3.1.2. Sertleşmiş Beton Üzerinde Yürütülen Deneyler.....	8
3.1.2.1. Basınç Deneyleri.....	8
3.1.2.1.1. Basınç Dayanımının Beton Presi ile Belirlenmesi.....	8
3.1.2.1.2. Basınç Dayanımının Schmidt Çekici ile Belirlenmesi.....	9
3.1.2.1.3. Basınç Dayanımının Ses Hızı İle Belirlenmesi.....	10
3.1.2.1.4. Silindir Yarma Deneyi.....	11

3.2. Puzolanlar ve Çok İnce Öğütülmüş Diğer Mineral Katkılar.....	12
3.2.1. Giriş.....	12
3.2.2. İnce Öğütülmüş Mineral Katkılarının Sınıflandırılması.....	13
3.2.3. Puzolanik Malzemeler.....	14
3.2.3.1. Puzolanların Tanımı.....	14
3.2.3.2. Puzolanik Malzemelerin Tipleri.....	15
3.2.3.3. Puzolanik Reaksiyon.....	15
3.2.3.4. Puzolanik Malzemelerin Kullanımı.....	15
3.2.3.5. Doğal ve Yapay Puzolanlar İçin Deney Metotları.....	16
3.2.3.6. Doğal ve Yapay Puzolanların Betona Mineral Katkı Olarak Uygunlukları.....	16
3.2.4. Bağlayıcı Malzemeler Olarak İnce Öğütülmüş Mineral Katkılar.....	17
3.2.4.1. Su Kireci.....	17
3.2.4.2. Duvar Harcı Çimentosu.....	17
3.2.4.3. Cüruf Çimentosu.....	17
3.2.5. İnce Öğütülmüş Diğer Mineral Katkılar.....	18
3.2.6. İnce Öğütülmüş Mineral Katkılarının Kullanım Amacı.....	18
3.3. Bor.....	19
3.3.1. Giriş.....	19
3.3.2. Bor Ürünleri.....	20
3.3.2.1. Tabii Boratlar.....	20
3.3.2.2. Rafine Boratlar.....	20
3.3.2.3. Özel Bor Kimyasalları.....	20
3.3.2.4. Bor Türevleri.....	21
3.3.3. Bor Ürünlerinin Kullanım Alanları.....	22
3.3.4. İnşaat Sektörü ve Bor.....	24
3.3.5. Kolemanit Atığı.....	25
3.4. Malzeme Özellikleri.....	26
3.4.1. Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri.....	26
3.4.1.1. Çimento.....	26
3.4.1.2. Kolemanit Atığı (KA).....	27
3.4.1.3. Su.....	28

3.4.1.4. Agrega.....	28
3.4.1.4.1. İnce Agrega (Doğal Kum).....	28
3.4.1.4.2. İri Agrega (Kırma taş 5–11 mm).....	29
3.4.1.4.3. İri Agrega (Kırma taş 11–22 mm).....	31
3.5. Deney Yöntemleri.....	32
3.5.1. Hazırlanan Numune Tipleri.....	32
3.5.2. Deneysel Çalışmalar.....	32
3.5.2.1. Yürütülen Deneyler.....	32
3.5.3. Notasyon.....	33
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	35
4.1. Taze Beton Üzerinde Yapılan Deney ve Sonuçları.....	35
4.1.1. Ve-Be Deneyi.....	35
4.1.2. Slump (Çökme) Deneyi.....	36
4.2. Sertleşmiş Beton Numuneleri Üzerinde Yürütülen Deneyler.....	37
4.2.1. Basınç Dayanımı.....	37
4.2.2. Silindir Yarma Dayanımı.....	41
4.2.3. Beton Yüzey Sertliği Yolu İle Yaklaşık Basınç Dayanım.....	44
4.2.4. Betonda Ses Hızı ile Ölçüm.....	47
4.2.5. Su /Bağlayıcı Oranının Basınç Dayanımına Etkisi.....	51
4.2.6. Çimento Dozajının Basınç Dayanımına Etkisi.....	52
4.2.7. Schmidt Çekici İle Basınç Mukavemeti İlişkisi.....	53
4.2.8. Ses Hızı Basınç Mukavemeti İlişkisi.....	55
4.2.9. Ses Hızı İle Schmidt Çekici Mukavemeti İlişkisi.....	57
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	59
5.1. Sonuç.....	59
5.2. Öneriler.....	61
KAYNAKLAR.....	63
TEŞEKKÜR.....	66
ÖZGEÇMİŞ.....	67

**ÖZET****KOLEMANİT ATIĞININ BETON DAYANIMINA OLAN ETKİSİNİN  
İNCELENMESİ**

Bu yüksek lisans çalışmasında Kütahya-Emet ETİ Bor A.Ş. den getirilen kolemanit atığının beton numunelerinin basınç ve silindir yarma dayanımına olan etkisi araştırılmıştır. KA atığı çimento ile %3, %5, %10 ve %15 yer değiştirme oranlarında kullanılmıştır. Basınç dayanımları beton presi, beton Schmidt çekici ve ses hızı vasıtası ile ölçülmüş ve bu üç yöntemin sonuçlarının bir birleri ile olan ilişkisi ayrıca değerlendirilmiştir. Basınç ve silindir yarma dayanımı sonuçları %3 ve %5 KA katkısının betonun dayanım özelliklerini iyileştirdiğini göstermiştir. Özellikle KA katkılı tüm karışımların uzun vadede şahit numuneden daha yüksek dayanım geliştirmesi, KA' nın betonda mineral katkı olarak kullanılabileceği ortaya konulmuştur.

2009, 67 Sayfa

**Anahtar Kelimeler:** Kolemanit, Basınç Dayanımı, Silindir Yarma Dayanımı, Schmidt Çekici, Ses Hızı

**ABSTRACT****INVESTIGATE EFFECT OF COLEMANITE WASTE ON CONCRETE STRENGTH**

In this study, the effect of Colemanite waste, which was brought from Kutahya-Emet Bor Company, on the compressive and cylinder splitting strength of the concrete samples was investigated. CW was substituted with the cement in the ratios of 3%, 5%, 10% and 15 %. Compressive strengths were measured using concrete press machine, concrete Schmidt hammer and sound speed. The relation between the results obtained from these three methods were also evaluated. The results of the compressive and cylinder splitting strength tests showed that 3% and 5 % CW additives improves the strength characteristics of the concrete. Especially all mixes with CW additives which resulted in higher compressive strength than the control sample indicates that CW can be used as a mineral additive in concrete.

2009, 67 pages

Keywords: Colemanit, Compressive Strength, Cylinder Splitting Strength, Schmidt Hammer, Sound Speed.

**SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**

A	: Kesit alanı
B	: Numune kesitinin kenar uzunluğu
D	: Numune kesitinin yüksekliği
E.K.	: Erimez Kalıntı
K.K.	: Kızdırma Kaybı
L	: Destek silindirleri arasındaki mesafe
Ö.A.	: Özgül ağırlık
Ö.Y.	: Özgül yüzey
P	: Uygulanan kuvvet
$\sigma$	: Eğilme dayanımı
K.A.	: Kolemanit atığı



**ÇİZELGELER DİZİNİ**

	<b>Sayfa</b>
Çizelge-3.1. Ses Hızı ile Betonun Kalitesinin Tahmin Edilmesi (Whitehurst, 1951).....	10
Çizelge 3.2. Bor'un Kullanıldığı Sektörler.....	23
Çizelge 4.1. Kullanılan Çimentonun Kimyasal Bileşimi.....	26
Çizelge 4.2. Kullanılan Çimentonun Fiziksel Özellikleri.....	27
Çizelge 4.3. Kolemanit Atığına Ait Kimyasal Analiz Sonuçları.....	27
Çizelge 4.4. Beton Numunelerde Kullanılan Kuma Ait Elek Analizi Sonuçları.....	28
Çizelge 4.5. Beton Numunelerde Kullanılan Kuma Ait Fiziksel Özellikler.....	29
Çizelge 4.6. Beton Numunelerde Kullanılan (5-11 mm) Agregaya Ait Elek Analizi Sonuçları.....	30
Çizelge 4.7. Beton numunelerde kullanılan (11-22mm) agregaya ait elek analizi sonuçları.....	31
Çizelge 4.8. Notasyonlar.....	33
Çizelge 4.9. Karışım Oranları.....	34
Çizelge 5.1 Ve- Be Deney Sonuçları.....	35
Çizelge 5.2 Slump Deneyi Sonuçları.....	36
Çizelge 5.3. Beton Numune Dayanım Sonuçlar.....	37
Çizelge 5.4. Beton Silindir Yarma Dayanım Sonuçlar.....	41
Çizelge 5.5. Beton Schmidt Çekici Dayanım Sonuçlar.....	44
Çizelge 5.6. Ses Hızı İle Ölçüm Sonuçları.....	47
Çizelge 5.7. Ses Hızı Sonuçlarının Pratik Değerlendirmesi (Whitehurst, 1951).....	48
Çizelge 5.8. Ses Hızı Sonuçlarının Pratik Değerlendirme Sonuçları.....	48
Çizelge 5.9. Su/Bağlayıcı Oranın Basınç Dayanımına Etkisi.....	51
Çizelge 5.10. Çimento Dozajının Basınç Dayanımına Etkisi.....	52

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 3.1 Slump (Çökme) Deneyi–(1) deney aletleri–(2) uygulama.....	7
Şekil 3.2 Ve-be Deneyi–(1) deney aletleri–(2) uygulama.....	8
Şekil.3.3. Basınç Deneyi.....	9
Şekil 3.4. Schmidt Çekici Deneyi–(1) deney aleti–(2) uygulama.....	10
Şekil 3.5. Ses Hızı cihazı Deneyi–(1) Deney aleti–(2) Uygulama.....	11
Şekil 3.6. Silindir Yarma Deneyi–(1) Deney aleti–(2) Uygulama.....	11
Şekil 3.7. Kütahya – Emet Kolemanit Tesisi Üretim Şeması (D.P.T.M.).....	25
Şekil 3.8. Beton Numunelerde Kullanılan Kuma Ait Elek Analizi Grafiği.....	29
Şekil 3.9. Agreg a Elek Analizi (5-11 mm).....	30
Şekil 3.10. Agreg a Elek Analizi (11-22 mm).....	31
Şekil 4.1. Beton Basınç Dayanımları(S/B=0,60 ve 400 doz).....	38
Şekil 4.2. Beton Basınç Dayanımları(S/B=0,60 ve 350 doz).....	38
Şekil 4.3. Beton Basınç Dayanımları(S/B=0,50 ve 400 doz).....	39
Şekil 4.4. Beton Basınç Dayanımları(S/B=0,50 ve 350 doz).....	40
Şekil 4.5. Silindir Yarma Dayanımları(S/B=0,60 ve 400 doz).....	42
Şekil 4.6. Silindir Yarma Dayanımları(S/B=0,60 ve 350 doz).....	42
Şekil 4.7. Silindir Yarma Dayanımları(S/B=0,50 ve 400 doz).....	43
Şekil 4.8. Silindir Yarma Dayanımları(S/B=0,50 ve 350 doz).....	43
Şekil 4.9. Schmidt Çekici Basınç Dayanımları(S/B=0,60 ve 400 doz).....	45
Şekil 4.10. Schmidt Çekici Basınç Dayanımları (S/B=0,60 ve 350 doz).....	45
Şekil 4.11. Schmidt Çekici Basınç Dayanımları (S/B=0,50 ve 400 doz).....	46
Şekil 4.12. Schmidt Çekici Basınç Dayanımları (S/B=0,50 ve 350 doz).....	46
Şekil 4.13. Ses Hızı İle Ölçüm (S/B=0,60 ve 400 doz).....	49
Şekil 4.14. Ses Hızı İle Ölçüm (S/B=0,60 ve 350 doz).....	49
Şekil 4.15. Ses Hızı İle Ölçüm (S/B=0,50 ve 400 doz).....	50
Şekil 4.16. Ses Hızı İle Ölçüm (S/B=0,50 ve 350 doz).....	51
Şekil 4.17. 7 Günlük Numunelere Ait Schmidt Çekici İle Basınç Mukavemeti İlişkisi.....	53
Şekil 4.18.28 Günlük Numunelere Ait Schmidt Çekici İle Basınç Mukavemeti	

İlişkisi.....	53
Şekil 4.19. 90 Günlük Numunelere Ait Schmitd Çekici İle Basınç Mukavemeti	
İlişkisi.....	54
Şekil 4.20. 180 Günlük Numunelere Ait Schmitd Çekici İle Basınç Mukavemeti	
İlişkisi.....	54
Şekil 4.21. 7 Günlük Numunelere Ait Ses Hızı Basınç Mukavemeti İlişkisi.....	55
Şekil 4.22 28 Günlük Numunelere Ait Ses Hızı Basınç Mukavemeti İlişkisi.....	55
Şekil 4.23 90 Günlük Numunelere Ait Ses Hızı Basınç Mukavemeti İlişkisi.....	56
Şekil 4.24 180 Günlük Numunelere Ait Ses Hızı Basınç Mukavemeti İlişkisi.....	56
Şekil 4.25 7 Günlük Numunelere Ait Ses Hızı Schmitd Çekici Basınç Dayanım	
İlişkisi.....	57
Şekil 4.26 28 Günlük Numunelere Ait Ses Hızı Schmitd Çekici Basınç Dayanım	
İlişkisi.....	57
Şekil 4.27 90 Günlük Numunelere Ait Ses Hızı Schmitd Çekici Basınç Dayanım	
İlişkisi.....	58
Şekil 4.28 180 Günlük Numunelere Ait Ses Hızı Schmitd Çekici Basınç Dayanım	
İlişkisi.....	58

## 1.GİRİŞ

Dünyanın en önemli cevherlerinden biri olan Bor Madeni'nin gün geç tikçe önemi artmakta ve her geçen gün endüstriye bir parça daha girmektedir. Teknolojinin gelişmesi borun önemini daha da artırmaktadır. Bilindiği üzere en önemli bor bileşiği olan madenler 3 ana grupta toplanmıştır. Bunlar Kolemanit, Tinkal ve Üleksit tir. Türkiye' de ham bor u işleyebilen 4 bor işletmesi bulunmaktadır. Bu tesislerden çevreye 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 atıklarının kimyasal bileşiminde bulunan sekiz oksit (  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ) çimentonun ve çimento üretiminde kullanılan diğer katkı maddelerinin de bileşimini oluşturmaktadır. (Kula, 2000)

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

Betonda kullanılan mineral katkı maddeleri portland çimentosuna benzer mineralojik 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 bağlayıcılığın 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

kullanılabilmektedir. Gerek portland çimentosunun bir kısmını oluşturarak katkı 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. (Sevim, 2003)

Bugün bor ürünleri birçok endüstri dalının ana ham maddesidir. Kullanılan alanlarında tüketimin hızla artışı kadar, yeni kullanım alanlarının da günden güne arttığı ve borun yakın gelecekte enerji üretim kaynağı olarak kullanılabilmek olasılığı bu hammaddeye diğerleri arasında bir ayrıcalık kazandırmaktadır. Türkiye dünya bor rezervlerinin yaklaşık %72'lik kısmına sahiptir ve 1.72 milyon ton bor minerali ve bileşiği üretimi ile ABD'den sonra dünyadaki en büyük ikinci üreticidir. (Özdemir ve Öztürk, 2003)

Dünya'da en çok bor rezervine 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 780 milyon tona; görünür, muhtemel ve mümkün rezervlerin toplamı ise 2.443.142.000 tona ulaşmıştır. Emet, Kestelek ve Kırka havzaları için Eti bank'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.

Bor endüstrinin birçok alanında boy göstermektedir. Bunlar; cam elyafı (Sertleşmiş plastikler, otomotiv parçaları, uçak sanayinde, spor malzemeleri üretimi), optik cam elyafı (Elektronik Sanayi), borosilikat camlar (Oto camları, Çamaşır mak.), seramik sanayi (Sertleştirici ve Karo Kaplama), temizleme ve beyazlatma sanayi (Sabun ve Deterjanlara mikrop öldürücü ve beyazlatıcı olarak), tarım (Bitki örtüsün gelişmesini artırmak veya önlemek amacıyla), metalürji (Ergimeyi hızlandırıcı, Koruyucu cüruf oluşturulması), nükleer Uygulamalar ve birçok ana ve yan sektörde kullanılmaktadır.

**Bu alıřmada;**

Kütahya- Emet Kolemanit atığının (KA), betonun dayanım özelliklerini iyileştirip iyileştirmediğinin anlaşılması ve bu maddenin beton katkısı olarak kullanılabilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla değişik oranlarda KA katkısı ile hazırlanan numunelerin basınç dayanımları; beton test presi, beton Schmidt çekici ve ses hızı cihazı vasıtası ile belirlenmiştir. Böylece hem bu üç yöntemin bir birleri ile ilişkisi hem de KA' nın basınç dayanımına etkisinin belirlenmesi araştırılmıştır. Diğer yandan KA' nın betonun çekme dayanımına olan etkisi silindir yarma deneyi ile belirlenmiştir.

## **2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR**

### **2.1.Giriş**

Bor madeni rezerv olarak en yüksek potansiyelin ülkemizle beraber birkaç ülkede olması, bununla beraber yeni çıkarılmaya başlanılan bir maden olması sebebiyle bu alanda fazla bir bilimsel çalışma yapılmamıştır. Literatür incelendiğinde yine de en çok çalışmanın ülkemizden çıktığı görülmektedir. Bu katkı ile ilgili bilimsel çalışmalar 2003 yılından sonra ivme kazanmıştır. Kolemanit atığı ve buna bağlı olan bilimsel çalışmalar sunulmuştur.

### **2.2.Betonda Kolemanit Atığı Kullanımı**

İnşaat sektöründe genel maliyetler incelendiğinde, maliyetlerin en büyüklerinden birini beton, beton incelendiğinde ise en büyük maliyeti çimento oluşturmaktadır. Kullandığımız tüm puzolanik katkıları çimentoyu azaltıcı amaçlıdır. Kolemanitin üretimi ülkemizde çok yeni olması sebebiyle ülkemizde henüz Kolemanit atığı betonda kullanılmamaktadır. Çimento sektöründe, üretim aşamasında klinker oluşum ısısını düşürücü özelliği sebebiyle kolemanit katkılı çimentoların üretimi ile ilgili çalışmalar devam etmektedir.

### **2.3. Priz zamanı**

Özmal ve arkadaşları (2005), kolemanit katkılı olarak üretilen çimentolarla yapmış oldukları deneysel çalışmalar sonucunda kolemanit katkısının çimentonun priz başlangıç ve sona erme sürelerini uzattığını bildirmişlerdir.

Kavas ve arkadaşları (2005), kolemanit katkılı çimentolara ilave edilen organik katkı maddesinin kolemanitten dolayı uzayan priz zamanlarını kısalttığını tespit etmişlerdir.

Erdoğan ve arkadaşları (1998), kolemanitin çeşitli oranlarda portland çimentosuna ilavesi ile hazırlanan numunelerin priz zamanlarının artan KA yüzdesi ile beraber arttığını ancak TS sınırları içerisinde kaldığını bildirmiştir.

Targan ve arkadaşları (2003), %4 kolemanit katkısının çimentonun priz süresinde büyük bir gecikme etkisi yarattığını rapor etmiştir.

Olgun ve arkadaşları (2007), çimento üretiminde kolemanit konsantratör atığının alçıtışı yerine kullanılmasıyla priz zamanlarının uzadığını tespit etmiştir.

Fındık(2007), yapmış olduğu yüksek lisans çalışmasında KA katkısının çimentonun priz süresinin uzama yönünde bir etkisi olduğunu bildirmiştir.

#### **2.4.Hacim Genleşmesi**

Erdoğan ve arkadaşları (1998), kolemanit konsantratör atığının çeşitli oranlarda portland çimentosuna ilavesi ile hazırlanan numunelerin hacim genleşmelerini incelemiş ve KA katkısının portland çimentosunun hacim genleşmesini etkilemediğini, bütün numunelerin TS sınırlarının altında hacim genleşmesi gösterdiğini rapor etmiştir.

Fındık (2007), yapmış olduğu yüksek lisans çalışmasında KA' nın çimentonun hacim genleşmesine dikkate değer bir etkisinin olmadığını belirtmiştir.

#### **2.5. Basınç Dayanımı**

Özmal ve arkadaşları (2005), KA katkılı olarak üretilen çimentolarla üretilmiş oldukları harç numunelerin basınç dayanımlarının KA yüzdesinin artmasıyla birlikte azaldığını belirlemişlerdir.

Kavas ve arkadaşları (2005), KA katkılı çimentolara ilave edilen %0.5 ve %1.0 oranlarında organik katkı maddesinin, numunelerin basınç dayanımlarını arttırdığını söylemişlerdir.

Erdoğan ve arkadaşları (1998), %1'den %7' ye kadar KA katkısının numunelerin basınç dayanımını arttırdığını bildirmişlerdir.

Olgun ve arkadaşları (2007), kolemanit konsantratör atığı katkısının harç numunelerinin erken yaşlardaki basınç dayanımını düşürdüğünü rapor etmişlerdir

Fındık (2007), %3 ve %5 KA katkısının beton numunelerinin basınç dayanımını arttırdığını rapor etmiştir.



## **2.6. Eğilmede Çekme Dayanımı**

Kavas ve arkadaşları (2005), KA katkılı çimentolara ilave edilen %0.5 ve %1.0 oranlarında organik katkı maddesinin, numunelerin çekme dayanımlarını arttırdığını belirtmişlerdir.

Erdoğan ve arkadaşları (1998), %1'den %7' ye kadar KA katkısı ile hazırlanan numunelerin tamamının şahit numuneden daha yüksek eğilmede çekme dayanımına sahip olduğunu bildirmiştir.

## **2.7. Silindir Yarma Dayanımı**

Fındık (2007) %3 ve %5 KA içeren numunelerin 28. gün silindir yarma dayanımlarının şahit numunelerden yüksek olduğunu, %10 ve %15 KA içeren numunelerin ise şahit numunelere oldukça yakın silindir yarma dayanımına sahip olduğunu rapor etmiştir.

## **2.8. Kıvam**

Fındık (2007), yapmış olduğu yüksek lisans çalışmasında KA katkısının betonun işlenebilirliğini azalttığını çökme ve ve-be deneyleri ile belirlemiştir.

## **2.9. Karbonatlaşma**

Fındık (2007), KA' nın harç numunelerin karbonatlaşmasını bir miktar azalttığını söylemiştir.

## **2.10. Rötire**

Fındık (2007), KA katkısının harç numunelerinin rötire sini azalttığını ve KA' nın rötire azaltıcı katkı olarak kullanılabileceğini bildirmiştir.

### 3.MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1.Beton Deneyleri

##### 3.1.1. Taze Beton Üzerinde Yürütülen Deneyler

###### 3.1.1.1. Çökme Hunisi Deneyi

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



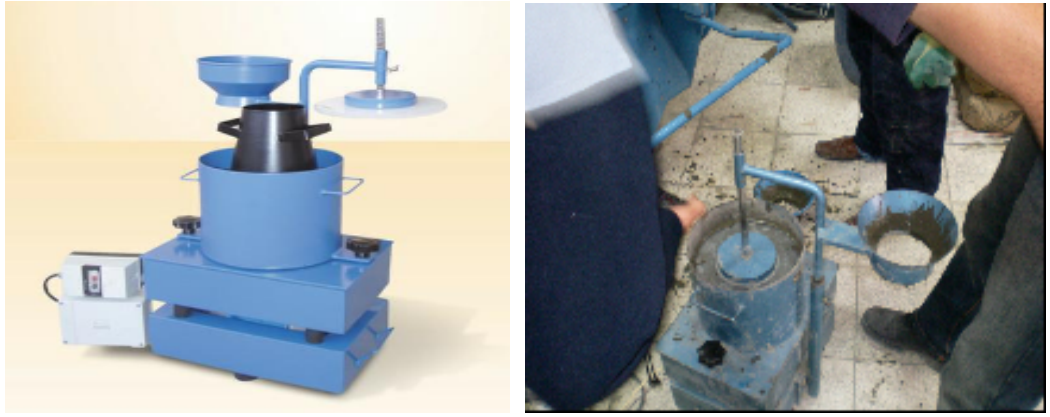
Şekil.3.1 Slump (Çökme) Deneyi–(1) Deney aletleri–(2) Uygulama

Yapılan deneyde şekil.3.1 de ölçüleri verilen kesik huninin içine beton üç kademedeki ve her kademesinde 25 defa şişlenerek doldurulur. Şişlenerek betonun tam sıkışması sağlanmalıdır. Betonun üst kısmı düzeltildikten sonra, slump hunisi yavaşça yukarı doğru çekilir. Kullanılan şiş yardımıyla çökme miktarı tespit edilir.

###### 3.1.1.2. Ve-be Deneyi

Ve-be deneyi de taze betonun işlenebilirliğini öğrenmek amaçlı kullanılmaktadır. Slump deneyinde kullandığımız slump konisi burada da kullanılmaktadır. Şekil.3.2 de

görüldüğü gibi çökme konisine aynı slump deneyinde uygulandığı şekilde taze beton doldurulur. Tam dolduktan sonra koni yavaşça çıkarılır. Saydam plastik sürücü taze betona yavaşça bırakılır. Kronometre ayarlanarak titreşimin başlangıcıyla süre başlatılır. Bir yandan süre takip edilirken bir yandan da şeffaf plastik sürücü takip edilir. Şeffaf plastik sürücünün yüzeyi tamamıyla çimento şerbeti ile kaplandığında kronometre durdurulur. Titreşimin başlangıcından bittiği zamana kadar geçen süreye Ve-be süresi denir.



(1)

(2)

Şekil.3.2. Ve-be Deneyi–(1) Deney aletleri–(2) Uygulama

### 3.1.2 Sertleşmiş Beton Üzerinde Yürütülen Deneyler

#### 3.1.2.1. Basınç Deneyleri

##### 3.1.2.1.1. Basınç Dayanımının Beton Presi İle belirlenmesi

Bu deneyde 15x15x15 cm ölçülerdeki beton küp numuneler pres üzerinde test edilerek basınç dayanımların ölçülmesi amaçlanmıştır.



Şekil.3.3. Basınç Deneyi

#### 3.1.2.1.2. Basınç Dayanımının Schmidt Çekici ile Belirlenmesi

Beton deney çekici, bitmiş yapıdaki beton kalitesini tahribatsız deney metodu ile tayin etmek amacı ile imal edilmiştir. Deneme sırasında yüzeye yakın yerdeki harcın mukavemetine bağlı olarak, ‘geri sıçrama numarası’ ölçülür. Bir kural olarak harcın mukavemeti, betonun mukavemetini sağlayacağı için geri sıçrama numarası da, beton mukavemeti hakkında bir fikir verir. Schmidt çekici ile ölçüm yapılırken darbe anında çekiç, beton yüzeyle 90° açı yapacak şekilde tutulmalı, deney hassasiyeti için her numunede 12 kez okuma alınıp bunlardan en düşük ve en yüksek olanı elenerek geri kalan 10 adet okumanın ortalaması alınmak suretiyle basınç dayanımların ölçülmesi amaçlanmıştır.



(1)

(2)

Şekil.3.4. Schmidt Çekici Deneyi–(1) deney aleti–(2) uygulama

### 3.1.2.1.3. Basınç Dayanımının Ses Hızı İle Belirlenmesi

Betonda yayılma hızının Ses hızı ile tayininde, mekaniğe dönüşen titreşim vuruşlarının ölçülen zamanı deney numunesinin belli bir ölçüm uzunluğu boyunca saptanır ve bu yayılma hızı (km/s) olarak verilir. Ses hız tekniği, betonun mukavemetinin, homojenliğinin, Elastisite modülünün, döküm özelliklerinin ve çatlakların varlığının belirlenmesinde kullanılabilir. Eğer çatlaklar tamamıyla su ile dolu ise çatlakların yerinin belirlenmesi oldukça zorlaşmaktadır. Çizelge 3.1’de Whitehurst (1951), tarafından verilen ses hızları ile beton kalitesi arasındaki ilişki görülmektedir.

Çizelge 3.1. Ses Hızı ile Betonun Kalitesinin Tahmin Edilmesi (Whitehurst, 1951)

Ses hızı (V) km/s	Beton kalitesi
>4.5	Mükemmel
3.5-4.5	İyi
3.0-3.5	Şüpheli
2.0-3.0	Zayıf
< 2.0	Çok zayıf



(1)



(2)

Şekil.3.5. Ses Hızı cihazı Deneyi-(1) Deney aleti-(2) Uygulama

#### 3.1.2.1.4 Silindir Yarma Deneyi

Silindir yarma deneyi 15x30 cm silindir numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu numune deney gününe kadar kürede bekletilir. Silindir prese yan yerleştirilir. Presin uyguladığı basınç silindir numunede çekme gerilmesi oluşturarak silindirin çekmeye karşı dayanımını belirler.



(1)



(2)

Şekil.3.6. Silindir Yarma Deneyi-(1) Deney aleti-(2) Uygulama

Numunenin kırıldığı yük P ve alanı A, kullanılarak silindir yarma dayanımı aşağıdaki şekilde belirlenir.

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{P}{\pi.r.h}, \quad r = \frac{D}{2}, \quad \sigma = \frac{P}{\frac{\pi.D.h}{2}} \rightarrow \sigma = \frac{2.P}{\pi.h.D}$$

### 3.2. Puzolanlar ve Çok İnce Öğütülmüş Diğer Mineral Katkılar

#### 3.2.1. Giriş

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

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

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

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

Katılaşmış haldeki beton için, dayanım kazanma hızı, son dayanım, geçirgenlik, durabilite, donmaya karşı dayanıklılık, sülfat atağı, alkali-silika reaksiyonu,

karbonatlaşma ve termal çatlaklara karşı dayanım gibi özellikler, mineral katkı kullanımını ile oldukça etkilenebilecek özelliklerdir.

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

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

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

### **3.2.2. İnce Öğütülmüş Mineral Katkıların Sınıflandırılması**

İnce öğütülmüş mineral katkıları 3 genel tip içinde sınıflandırılabilirler:

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

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



### 3.2.3. Puzolanik Malzemeler

#### 3.2.3.1 Puzolanların Tanımı

ASTM C 125(1994), 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 prinç kabuğunun (çeltik) yanmasından elde edilen küller, puzolanik karakteristik gösteren malzemeler olarak bilinirler.

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

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

### 3.2.3.2. Puzolanik Malzemelerin Tipleri

Puzolanlar genellikle aşağıdaki gibi gruplandırılırlar;

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

### 3.2.3.3. Puzolanik Reaksiyon

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

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

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

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

### 3.2.3.4 Puzolanik Malzemelerin Kullanımı

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

- 1- Direkt olarak- Kalsiyum hidroksitle karıştırılarak
- 2- Katkılı çimentoların üretiminde katkı olarak (Portland puzolan çimentoları gibi)- Üretim sırasında çimento fabrikalarında Portland çimentosu klinkeri ile birlikte öğütülerek.

- 3- Doğrudan beton karışımına ilave olarak - karışım sırasında ya da karışım operasyonundan önce puzolanı karışıma bir bileşen gibi ilave etme yolu ile.

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

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

### **3.2.3.5 Doğal ve Yapay Puzolanlar İçin Deney Metotları**

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

Yukarıda bahsedilen benzer deneyleri doğal puzolanlar, uçucu küller ve puzolanik katkılar 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 hidrasyona uğradıklarında bağlayabilme özelliği kazanan malzemelerdir. Beton için mineral katkı olarak kullanılan bağlayıcı malzemelerin türleri; su kireci, cüruf çimentosu, pişirilmiş kille karıştırılan kireçtir. Bağlayıcı özelliği olan su kirecinin beton katkısı olarak kullanımı çok yaygın değildir.

#### **3.2.4.1.Su Kireci**

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

#### **3.2.4.2. Duvar Harcı Çimentosu**

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

### **3.2.5. İnce Öğütülmüş Diğer Mineral Katkılar**

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

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

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

### **3.2.6 İnce Öğütülmüş Mineral Katkılarının Kullanım Amacı**

İnce öğütülmüş mineral katkıları genellikle karışımdaki çimentonun bir miktarı ya da ince agreganın bir miktarı ile yer değiştirme sureti ile kullanılır. Bu malzemeler, betonda işlenebilirliği ve bitirilebilmeyi (perdahlama) iyileştirmek (eğer karışım

içindeki ince malzeme miktarı yeterli değilse), kanamayı ve ayrışmayı (segregasyon) azaltmak, 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 miktarına bağlıdır.

### **3.3. Bor**

#### **3.3.1. Giriş**

Bor, periyodik tabloda III A grubunda yer alan, B simgesi ile gösterilen, atom numarası 5 atom ağırlığı 10,81 olan, iki kararlı izotop; B<sup>10</sup> (% 19,8) ve B<sup>11</sup> (%80,2)' den oluşan, metalle ametal arası yarı iletken özelliğe sahip bir elementtir. Tabiatta hiçbir zaman serbest halde bulunmaz. Yer kabuğunda ortalama 10 ppm denizlerde ortalama 4,6 ppm bor bulunmaktadır. Doğada yaklaşık 230 çeşit bor minerali olduğu bilinmektedir (ALTUN, 2005).

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

### 3.3.2. Bor Ürünleri

#### 3.3.2.1. Tabii Boratlar

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

#### 3.3.2.2. Rafine Boratlar

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

\*Boraks pentahidrat,

\*Boraks dekahidrat,

\*Susuz boraks,

\*Borik asit

\*Sodyum perbolat gibi rafine bor ürünlerini ifade etmek üzere kullanılmaktadır.

#### 3.3.2.3. Özel Bor Kimyasalları

Özel bor kimyasallarını oluşturan ürünler ise

\*Elementer bor

\*Bor karbür

\*Bor nitrür

\*Bor halürler

\*İnorganik boratlar

\*Fluoroboratlar

\*Borik asit esterleri

\*Bor hidridler

\*Organobor bileşikleri

\*Bor-Azot bileşikleri

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

\*Sodyum 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 (ALTUN, 2005).

#### **3.3.2.4. Bor Türevleri**

\*Element bor

\*Bor halürler

\*İnorganik boratlar

\*Fluoroboratlar

\*Borik asit esterleri

\*Refrakter bor bileşikleri

\*Bor hidridler, boranlar ve organobor bileşikleri

\*Bor hidrürler

\*Boranlar

\*Organobor bileşikleri olarak tanımlanmaktadır.



### 3.3.3. Bor Ürünlerinin Kullanım Alanları

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

#### a) Cam Endüstrisi

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

#### b) Emaye ve Sır

#### c) Yangına dirençli malzemeler

Selülozik izolasyon malzemeleri, plastikler, tekstil

#### d) Sabun ve deterjanlar (Beyazlatıcı ve parlaticı olarak)

#### e) Kâğıt hamuru (Beyazlatıcı olarak)

#### f) Gübre ve tarımsal ilaçlar

#### g) Metalürji

#### h) Manyetik malzemeler

#### i) Nükleer uygulamalar

#### j) Diğer uygulamalar

Çizelge 3.2. Bor un kullanıldığı sektörler

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

### 3.3.4. İnşaat Sektörü ve Bor

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

-Malzemenin yıpranmasını ve çürümesini önleme,

-Malzeme üzerinde zamanla oluşan lekelenmelere ve renk vermeye karşı koruyucu etki,

-Haşerelere 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 prizleşme süresini uzattığı bilinmektedir. Bunun dışında bor ürünlerinin kullanıldığı inşaat malzemeleri çatı ve bina kaplamaları ve selülozik izolasyondur. Son yıllarda, shingle olarak adlandırılan çatı kaplama malzemelerinin tüketiminde önemli bir artış gözlenmektedir. Özellikle ahşap binalarda ses ve ısı izolasyonu amacı ile kullanılan ve kullanılmış gazete kağıtlarının boraks- borik asit ile karşılaştırılması ile elde edilen selülozik izolasyon malzemeleri de gerek üretim maliyetinin düşüklüğü gerekse uygulama kolaylığı açısından özellikle ahşap yapılarda önemli bir tüketim alanı bulmaktadır (ALTUN, 2005).

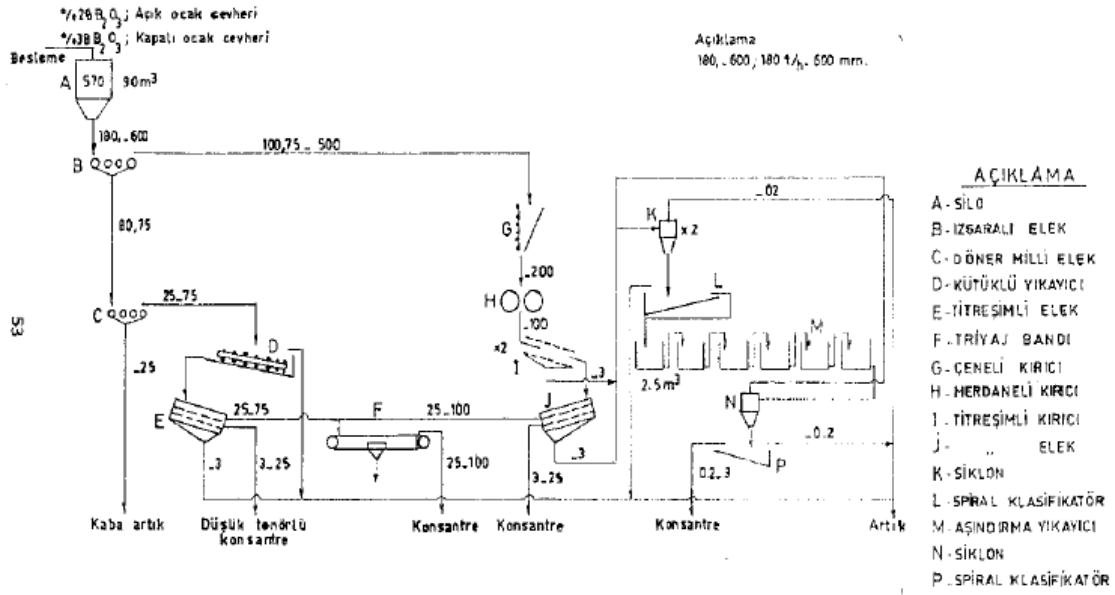
Dünya bor tüketiminin önemli bir bölümü seramik sektöründedir. Ham ve rafine bor ürünleri seramik sektöründe sır ve frit üretiminde katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Bor kullanımı; sıran kırınım değerini yükselterek parlaklığını artırmak, viskozite ve yüzey gerilimini düşürerek pürüzsüz bir yüzey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

Cam ve cam elyafı sanayi, bor minerali ve bor ürünlerinin en önemli kullanım alanlarından birisidir. 2001'de dünyada tüketilen borun %43'ü cam endüstrisinde kullanılmıştır. Borun cam üretimindeki fonksiyonu; güçlü bir fluks olarak camın ergime

sıcaklığını düşürmesi ve böylece erimeyi kolaylaştırması, sıcaklık, viskozite ve yüzey gerilimi arasındaki dengeyi kontrol ederek optimum cam fiberizasyonu oluşumunu sağlaması, yüzey sertliğini ve dayanıklılığını yükseltmesi ve devitrifikasyonu engellemesi olarak özetlenebilir. Düz cam ve saklama kaplarında bor ilavesi yapılmazken özel camlar ve yalıtım camları bor katkıdır.

### 3.3.5. Kolemanit Atığı

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



Şekil.3.7. Kütahya – Emet Kolemanit Tesisi Üretim Şeması (D.P.T.M.)

### 3.4. Malzeme Özellikleri

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

#### 3.4.1. Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

##### 3.4.1.1. Çimento

Bu çalışmada kullanılan çimento, TS EN 197-1: 2002 ile uyumlu normal (CEM I 42,5 R) Portland çimentosu olup, Adana Çimento Sanayi 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 3.3. ve Çizelge 3.4. de verilmektedir.

Çizelge 3.3. Kullanılan çimentonun kimyasal bileşimi

Kimyasal Analiz	Analiz Sonuçları (%)
SiO <sub>2</sub>	19,55
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,31
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,15
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,06
CaO	62,30
MgO	3,14
SO <sub>3</sub>	2,55
Na <sub>2</sub> O	0,36
K <sub>2</sub> O	0,88
Na <sub>2</sub> O +0,658K <sub>2</sub> O	0,94
Erimez Kalıntı	0,42
Serbest CaO	0,31
Kızdırma Kaybı	1,73

Çizelge 3.4. Kullanılan çimentonun fiziksel özellikleri

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

### 3.4.1.2. Kolemanit Atığı (KA)

Bu çalışmadaki katkı Kütahya-Emet Eti Bor A.Ş. den alınıp kurutularak ve öğütülerek kullanılmıştır. Öğütülme işlemi Adana çimento Nardüzü hazır beton tesislerinde yapılmıştır. KA' ya ait Blaine incelik değeri 4140 cm<sup>2</sup>/gr ve yoğunluk 2,43 gr/cm<sup>3</sup> olarak bulunmuştur.

Çizelge 3.5. Kolemanit atığına ait kimyasal analiz sonuçları

ÖZELLİK%	KÜTAHYA-EMET BOR ATIK NUMUNESİ
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24,25
SiO <sub>2</sub>	18,25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,10
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,70
CaO	21,60
MgO	3,10
K <sub>2</sub> O	1,85
Na <sub>2</sub> O	0,02
SO <sub>3</sub>	0,0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,0
TiO <sub>2</sub>	0,28
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,03
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,06
Kızdırma Kaybı	22,76

### 3.4.1.3. Su

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

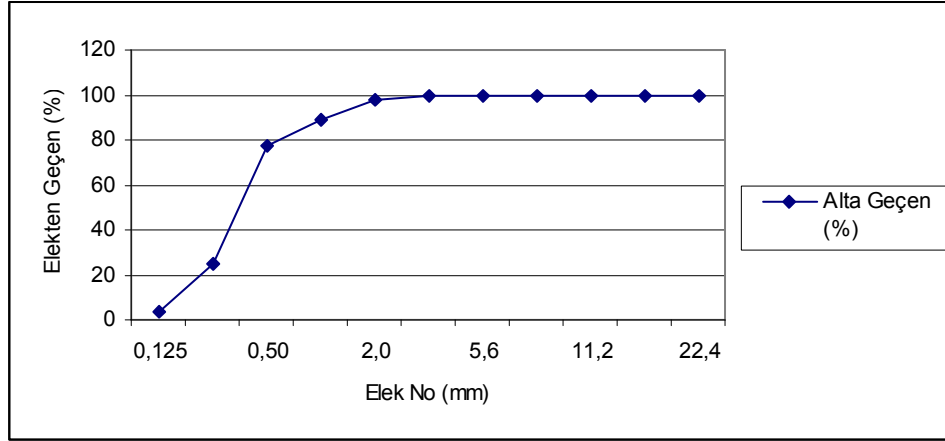
### 3.4.1.4. Agregası

#### 3.4.1.4.1. İnce Agregası (Doğal Kum)

Beton numunelerin hazırlanmasında kuru yıkanmış temiz kum kullanılmış olup, kuma ait elek analizi sonuçları Çizelge 3.6 ve Şekil 3.8' de verilmiştir. Aynı şekilde, bu kuma ait fiziksel özellikler de Çizelge 3.7' te sunulmaktadır. Kullanılan kumun beton ve harç üretiminde kullanılması (ASTM-C33)'e uygundur.

Çizelge 3.6. Beton numunelerde kullanılan kuma ait elek analizi sonuçları

ELEK AÇIKLIĞI	DOĞAL KUM (0-3 mm)		
	ÜSTTE KALAN Ag. (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.3.8. Beton numunelerde kullanılan kuma ait elek analizi grafiği

Çizelge 3.7. Beton numunelerde kullanılan kuma ait fiziksel özellikler

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

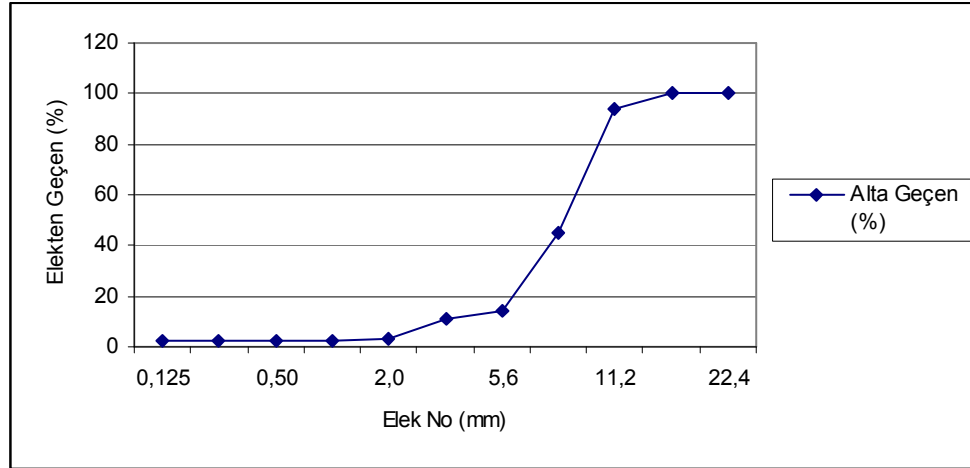
#### 3.4.1.4.2. İri Agregat (Kırma taş 5-11 mm)

Beton numunelerin hazırlanmasında iki farklı granolometri aralığına sahip agregat kullanılmıştır. Bunlarda 5-11 mm dane çapı aralığına sahip agregatdır. Bu agregata ait elek analizi sonuçları Çizelge 3.8 ve Şekil 3.9’de sunulmaktadır.



Çizelge 3.8. Beton numunelerde kullanılan (5-11 mm) agregaya ait elek analizi sonuçları

ELEK AÇIKLIĞI	1 NO KIRMATAŞ (5-11 mm)			
	mm	ÜSTTE KALAN Ag. (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	



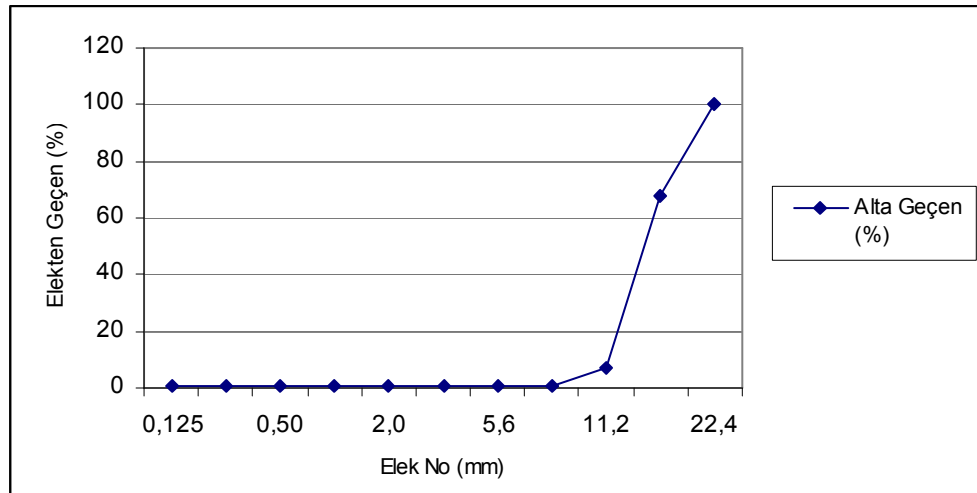
Şekil.3.9. Agregaya Eleme Analizi (5-11 mm)

### 3.4.1.4.3. İri Agrega (Kırma taş 11-22 mm)

Beton numunelerin hazırlanmasında iki farklı granolometri aralığına sahip agregaya kullanılmıştır. Bunlarda 11-22 mm dane çapı aralığına sahip agregadır. Bu agregaya ait elek analizi sonuçları Çizelge 3.9 ve Şekil 3.10' da sunulmaktadır.

Çizelge 3.9. Beton numunelerde kullanılan (11-22mm) agregaya ait elek analizi sonuçları

ELEK AÇIKLIĞI	2 NO KIRMATAŞ(11-22 mm)		
mm	ÜSTTE KALAN Ag. (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.3.10. Agrega Elek Analizi (11-22 mm)

### 3.5. Deney Yöntemleri

#### 3.5.1. Hazırlanacak Numune Tipleri

Deneyler Kolemanit atığı içeren ve içermeyen beton karışımlar üzerinde yürütülmüştür. Yapılan bu deneyler kısım 3.5.2.'de verilmektedir.

Deneylerde; 4 farklı karışım hazırlanmıştır. 0,60 Su/Bağlayıcı oranında 400 ve 350 dozlu, 0,50 S/B oranında ve 400 ve 350 dozlu hazırlanan beton numuneleri kullanılmıştır. Çalışmalar bu numuneler üzerinde yürütülmüştür. Kolemanit atığı karışım oranı betonlarda %0, %3, %5, %10, %15 şeklinde olup, çimentonun yerini alması şeklindedir.

Yukarıdaki özelliklere sahip olarak hazırlanan beton numuneler su içinde küre tabi tutulmuş olup, ortam sıcaklığı  $20\pm 2$  °C dir.

#### 3.5.2. Deneysel Çalışmalar

##### 3.5.2.1. Yürütülen Deneyler

- 1) Kimyasal bileşimlerin tayini,
- 2) Çökme Hunisi Deneyi: %0, %3, %5, %10 ve %15 KA' nın değişim oranına sahip beton karışımlar üzerinde ayrı ayrı yapılmıştır.
- 3) Ve-be Deneyi: %0, %3, %5, %10 ve %15 KA' nın çimento yerine ikamesiyle, 0,50 ve 0,60 su/çimento oranlarında 400 ve 350 dozlu hazırlanan beton karışım numuneleri üzerinde yapılmıştır.
- 4) Basınç Dayanımının Beton Presi ile belirlenmesi: %0, %3, %5, %10 ve %15 KA' nın çimento yerine ikamesiyle, 0,50 ve 0,60 su/çimento oranında 400 ve 350 dozlu hazırlanan beton karışım numunelerinin üzerinde 7, 28, 90 ve 180 gün de basınç testine tabi tutularak bulunmuştur.
- 5) Silindir Yarma Deneyi: : %0, %3, %5, %10 ve %15 KA' nın ikamesiyle, 0,50 ve 0,60 su/çimento oranında 400 ve 350 dozlu hazırlanan beton karışım numunelerinin üzerinde, 28, 90 ve 180 gün de çekme dayanımları bulunmuştur.

- 6) Ses Hızlarının Belirlenmesi : %0, %3, %5, %10 ve %15 KA' nın ikamesiyle, 0,50 ve 0,60 su/çimento oranında 400 ve 350 dozlu hazırlanan beton karışım numunelerinin üzerinde 7, 28, 90 ve 180 gün de ses hızları ile belirlenmiştir.
- 7) Basınç Dayanımının Schmidt Çekici ile Belirlenmesi: %0, %3, %5, %10 ve %15 KA' nın ikamesiyle, 0,50 ve 0,60 su/çimento oranında 400 ve 350 dozlu hazırlanan beton karışım numunelerinin üzerinde 7, 28, 90 ve 180 gün de test çekici ile belirlenmiştir.

### 3.5.3. Notasyon

Deneylerden elde edilen sonuçlar çizelgelerde gösterilirken aşağıdaki notasyon kullanılacaktır.

KA harfleri Kolemanit Atığını ifade etmektedir. A1-B1-C1-D1 harfleri 0,60 ve 0,50 su/çimento oranlı, 400 ve 350 dozlu şahit karışımları, A2-A3-A4-A5-B2-B3-B4-B5-C2-C3-C4-C5-D2-D3-D4-D5 harfleri ise 0,60 ve 0,50 su/çimento oranlı, 400 ve 350 dozlu %3, %5, %10 ve %15 KA katkılı karışımları göstermektedir. Karışım isimleri temsil ettikleri numune özellikleri Çizelge 3.10' da verilmiştir. Çizelge 3.11 ise karışımlarda kullanılan malzeme miktarlarını göstermektedir.

Çizelge 3.10. Notasyonlar

Karışım	Numune İsimleri	KKA Değişim Oranı	Karışım	Numune İsimleri	KKA Değişim Oranı
400 Doz W/C=0,60	A1	Şahit(%0)	350 Doz W/C=0,60	B1	Şahit(%0)
	A2	%3		B2	%3
	A3	%5		B3	%5
	A4	%10		B4	%10
	A5	%15		B5	%15
Karışım	Numune İsimleri	KKA Değişim Oranı	Karışım	Numune İsimleri	KKA Değişim Oranı
400 Doz W/C=0,50	C1	Şahit(%0)	350 Doz W/C=0,50	D1	Şahit(%0)
	C2	%3		D2	%3
	C3	%5		D3	%5
	C4	%10		D4	%10
	C5	%15		D5	%15

Çizelge 3.11. Karışım Oranları

Karışım	KA (%)	Çimento (kg)	KKA (kg)	Su (lt)	Dere Kumu (0-3 mm) (kg)	1.Nolu Agregat (5-11 mm) (kg)	2.Nolu Agregat (11-22 mm) (kg)	Notasyon
400 Doz W/C=0,60	Şahit	29,167	0,000	17,500	37,267	43,478	43,478	A1
	3	28,292	0,875	17,500	37,267	43,478	43,478	A2
	5	27,708	1,458	17,500	37,267	43,478	43,478	A3
	10	26,250	2,917	17,500	37,267	43,478	43,478	A4
	15	24,792	4,375	17,500	37,267	43,478	43,478	A5
350 Doz W/C=0,60	Şahit	25,521	0,000	15,313	39,991	46,656	46,656	B1
	3	24,755	0,766	15,313	39,991	46,656	46,656	B2
	5	24,245	1,276	15,313	39,991	46,656	46,656	B3
	10	22,969	2,552	15,313	39,991	46,656	46,656	B4
	15	21,693	3,828	15,313	39,991	46,656	46,656	B5
400 Doz W/C=0,50	Şahit	29,167	0,000	14,583	39,629	46,234	46,234	C1
	3	28,292	0,875	14,583	39,629	46,234	46,234	C2
	5	27,708	1,458	14,583	39,629	46,234	46,234	C3
	10	26,250	2,917	14,583	39,629	46,234	46,234	C4
	15	24,792	4,375	14,583	39,629	46,234	46,234	C5
350 Doz W/C=0,50	Şahit	25,521	0,000	12,760	42,058	49,068	49,068	D1
	3	24,755	0,766	12,760	42,058	49,068	49,068	D2
	5	24,245	1,276	12,760	42,058	49,068	49,068	D3
	10	22,969	2,552	12,760	42,058	49,068	49,068	D4
	15	21,693	3,828	12,760	42,058	49,068	49,068	D5

Her karışım için 15X15X15 cm' lik küplerden 12 adet, 15X30cm boyutlarındaki silindirlere 6 adet olmak üzere toplamda 240 adet küp 120 adet silindir numune hazırlanmıştır.

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### 4.1. Taze Beton Üzerinde Yapılan Deneyler ve Sonuçları

#### 4.1.1. Ve-Be Deneyi

Ve-be deney sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir. Karışım isimleri temsil ettikleri numune özellikleri Bölüm 3.5.3. Notasyon başlığı altında Çizelge 3.10’da verilmiş olup bundan sonra isimleri verilen numuneler, verilen karışımlar burada verilenlerle aynıdır.

Ve-be deneyi ile ilgili olarak önceki bölümlerde deneyle ilgili olarak ayrıntılı bilgi sunulmuştur.

Çizelge 4.1 Ve- Be Deney Sonuçları

Karışım İsmi	Süre
A1	1 sn. 02 sls.
A2	1 sn. 94 sls.
A3	1 sn. 60 sls.
A4	0 sn. 80 sls.
A5	0 sn. 73 sls.
B1	1 sn. 73 sls.
B2	2 sn. 35 sls.
B3	2 sn. 10 sls.
B4	2 sn. 40 sls.
B5	2 sn. 68 sls.
C1	2 sn. 48 sls.
C2	3 sn. 37 sls.
C3	2 sn. 50 sls.
C4	3 sn. 79 sls.
C5	5 sn. 07 sls.
D1	11 sn. 05 sls.
D2	10 sn. 35 sls.
D3	10 sn. 31 sls.
D4	13 sn. 72 sls.
D5	19 sn. 35 sls.

#### 4.1.2. Slump (Çökme) Deneyi

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

Çizelge 4.2 Slump Deneyi Sonuçları

Karışım İsmi	Slump (Çökme) Değeri (cm)
A1	25,50
A2	23,00
A3	26,00
A4	24,00
A5	24,50
B1	22,00
B2	18,50
B3	20,00
B4	15,50
B5	20,00
C1	13,00
C2	10,50
C3	10,00
C4	8,50
C5	6,70
D1	4,00
D2	3,00
D3	4,50
D4	2,00
D5	0,80

Çökme ve Ve-be deneylerinin sonuçları incelendiğinde tüm karışım gruplarında genel olarak KA' nın işlenebilirliği düşürdüğü görülmektedir. Bunun sebebinin KA' nın sahip olduğu yüksek kızdırma kaybı ( 22.76) olduğu düşünülmektedir.

## 4.2. Sertleşmiş Beton Numuneleri Üzerinde Yürütülen Deneyler

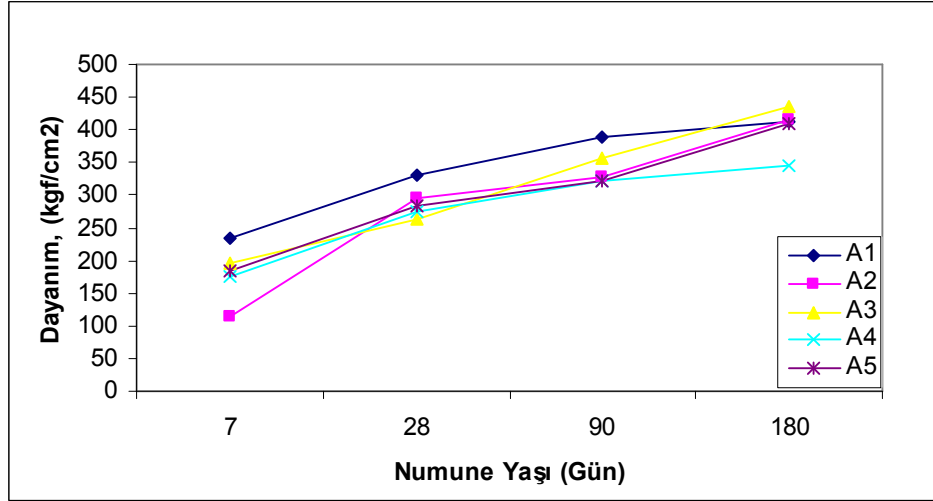
### 4.2.1. Basınç Dayanımı

Kolemanit içeren beton ve beton numunelerden elde edilen basınç dayanımları Çizelge 4.3'te sunulmuştur. Dayanımlar betonda 15x15x15 cm küp kalıplar halinde dökülen betonların kırılmasıyla ortaya çıkmıştır. Şekil 4.1-4.4' te her karışımın basınç dayanımı sonuçları grafiksel olarak sunulmuştur.

Çizelge 4.3. Beton Numune Dayanım Sonuçları

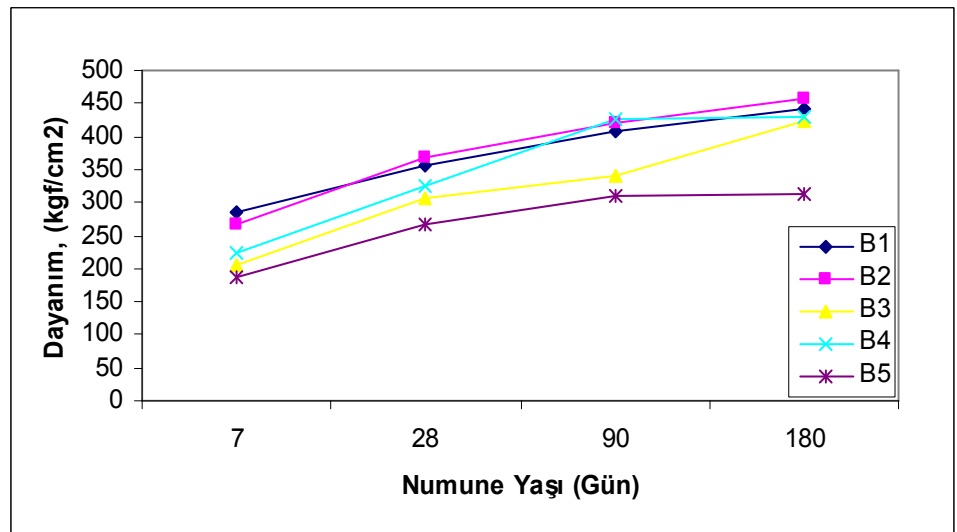
Karışım Adı	7 Günlük (kgf/cm <sup>2</sup> )	28 Günlük (kgf/cm <sup>2</sup> )	90 Günlük (kgf/cm <sup>2</sup> )	180 Günlük (kgf/cm <sup>2</sup> )
A1	235,10	329,80	389,30	411,85
A2	113,43	296,03	328,74	415,14
A3	196,63	264,17	356,30	434,30
A4	176,30	273,53	321,14	343,66
A5	184,80	283,77	320,24	410,49
B1	285,70	354,53	407,18	441,21
B2	267,33	366,63	421,07	456,80
B3	206,17	306,20	341,50	422,24
B4	223,67	325,60	427,69	430,37
B5	187,87	266,30	308,41	312,17
C1	416,70	456,07	505,60	547,39
C2	406,40	463,07	521,98	613,35
C3	385,43	495,10	558,09	622,16
C4	345,63	483,07	488,33	605,51
C5	277,10	375,33	457,16	566,92
D1	462,33	548,49	572,20	584,68
D2	468,67	537,53	562,43	588,48
D3	413,80	490,13	518,07	547,60
D4	449,67	531,17	587,82	624,36
D5	421,03	496,40	508,26	528,32





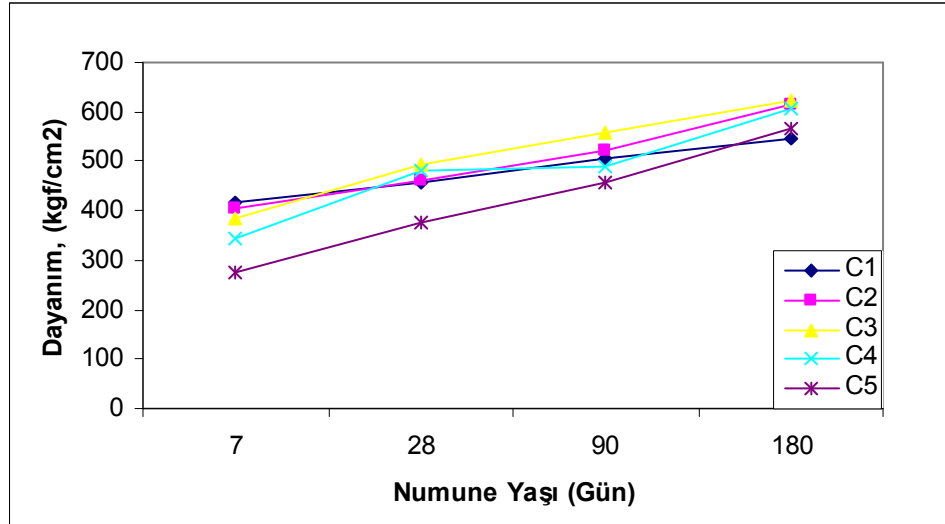
Şekil.4.1. Beton Basınç Dayanımları(S/B=0,60 ve 400 doz)

400 dozlu 0.60 S/B oranına sahip numunelerin basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde %3 ve %5 KA katkısı içeren numuneler (A2 ve A3) 7,28 ve 90. günde şahit numuneye (A1) göre daha düşük basınç dayanımı geliştirirken 180. günde şahit numunenin basınç dayanımından daha yüksek basınç dayanımı değeri vermişlerdir. %10 KA katkısı içeren numuneler ise tüm yaşlarda şahit numuneden daha düşük basınç dayanımları göstermişlerdir. Diğer yandan 7, 28 ve 90. günlerde şahit numuneden daha düşük basınç dayanımı geliştiren %15 KA'lı numuneler (A5) 180. günde şahit numune ile hemen hemen aynı basınç dayanımı değerine ulaşmışlardır.



Şekil.4.2. Beton Basınç Dayanımları(S/B=0,60 ve 350 doz)

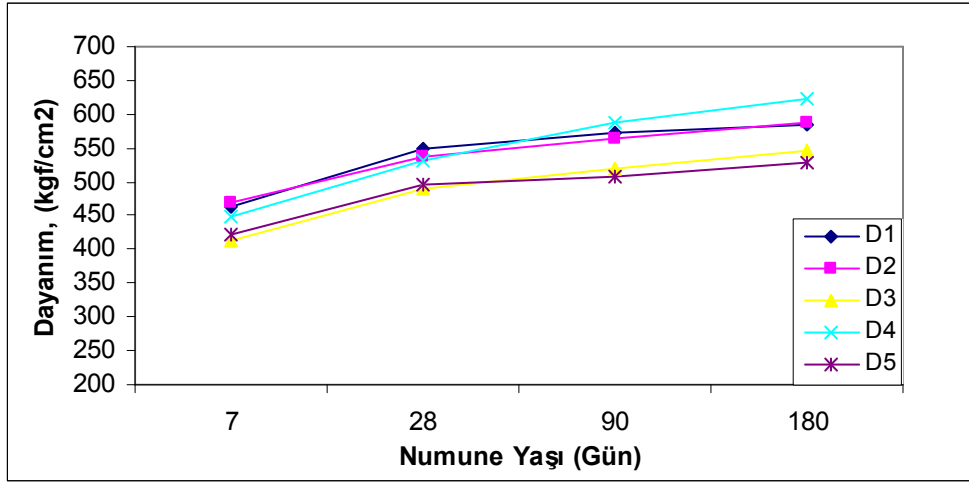
350 dozlu ve 0.60 S/B oranına sahip numunelerin basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde %3 KA katkısı içeren numuneler (B2) 7. günde şahit numuneye (B1) yakın basınç dayanımı geliştirirken 28, 90 ve 180. günlerde şahit numuneden daha yüksek basınç dayanımlarına ulaşmışlardır. %5 KA katkısı içeren numuneler (B3) ise tüm yaşlarda şahit numuneden daha düşük basınç dayanımları göstermek ile birlikte 180. günde şahit numuneye oldukça yakın bir basınç dayanımı değerine ulaşmışlardır. %10 KA katkısı içeren numuneler (B4) 7 ve 28. günde şahit numuneden daha düşük basınç dayanımı geliştirmişlerdir. Ancak aynı karışıma ait numuneler 90. günde şahit numuneden daha yüksek 180. günde ise şahit numuneye oldukça yakın basınç dayanımı değerine ulaşmışlardır. %15 KA' lı numuneler (B5) her yaşta şahit numuneden daha düşük basınç dayanımları geliştirmişlerdir.



Şekil.4.3. Beton Basınç Dayanımları(S/B=0,50 ve 400 doz)

400 dozlu ve 0.50 S/B oranına sahip numunelerin basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde %3 ve %5 KA katkısı içeren numunelerin (C2 ve C3) 7. günde şahit numuneye (C1) yakın basınç dayanımı geliştirdiği 28, 90 ve 180. günlerde şahit numuneden daha yüksek basınç dayanımlarına ulaştıkları görülmektedir. Özellikle %5 KA katkısı içeren numunelerin şahit numunelere göre çok daha yüksek basınç dayanımı değerleri verdiği görülmektedir. %10 KA katkısı içeren numuneler (C4) 7. günde şahit numuneden daha düşük basınç dayanımı geliştirmişlerdir. Ancak aynı karışıma ait

numuneler 28,90 ve 180. günlerde şahit numuneden yüksek yada kıyaslanabilir basınç dayanımı değerlerine ulaşmışlardır. %15 KA katkısı içeren numuneler (C5) 7, 28 ve 90. günlerde şahit numuneden daha düşük basınç dayanımı değeri verirken 180. günde şahit numuneden daha yüksek basınç dayanımı geliştirmişlerdir. Bu gruba ait numunelerin basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde 180. günün sonunda bütün KA katkılı betonları şahit numuneden daha yüksek basınç dayanımı değerine ulaştığı görülmektedir. Bu durum KA' nın puzolanik özelliği olduğu konusunda bir fikir vermektedir.



Şekil.4.4. Beton Basınç Dayanımları(S/B=0,50 ve 350 doz)

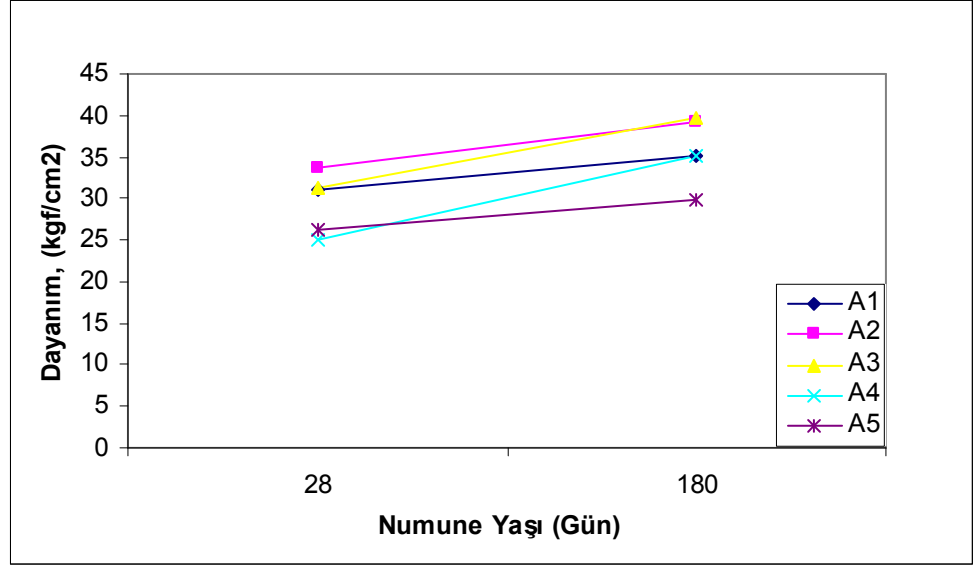
350 dozlu ve 0.50 S/B oranına sahip numunelerin basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde %3 KA katkısı içeren numuneler (D2) her yaşta şahit numuneden yüksek ya da kıyaslanabilir basınç dayanımı geliştirmişlerdir. %5 KA katkısı içeren (D3) numunelerin basınç dayanımı değerleri ise her yaşta şahit numunenin altında kalmıştır. Diğer yandan %10 KA katkılı numuneler 7 ve 28. günlerde şahit numuneye oldukça yakın, 90 ve 180. günlerde ise şahit numuneden daha yüksek basınç dayanımları geliştirmişlerdir. %15 KA katkısı içeren (D5) numunelerin basınç dayanımı değerleri ise her yaşta şahit numunenin altında kalmıştır.

#### 4.2.2. Silindir Yarma Dayanımı

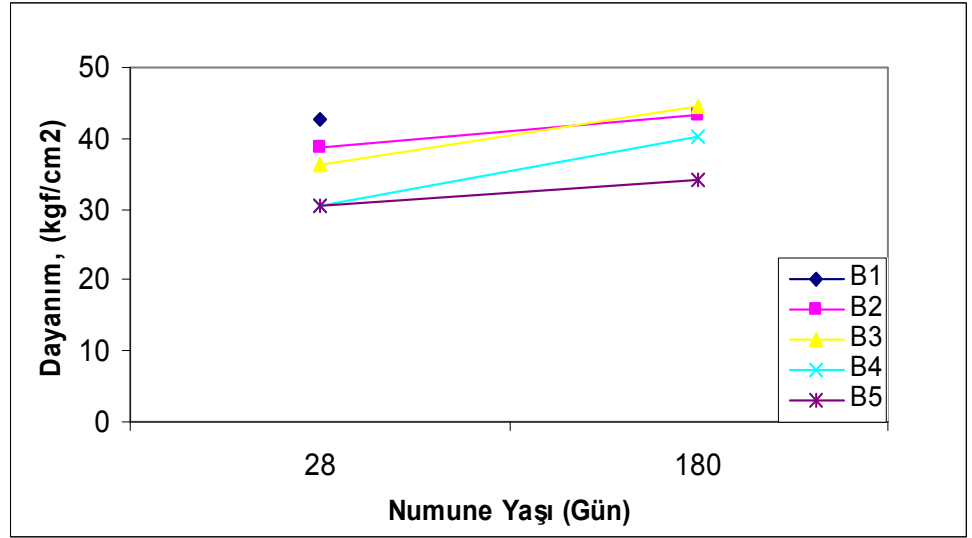
Betonda yarma dayanımı silindir yarma deneyi ile tespit edilmiştir. 28 ve 180 gün kür havuzunda muhafaza edilen numuneler üzerinde deneyler yapılmıştır. Betonda uygulanan çekme dayanım deneyleri (Silindir Yarma) önceki bölümlerde anlatılmıştır. Çizelge 4.4' te karışımlara ait silindir yarma dayanımı sonuçları sunulmuştur. Şekil 4.5-4.8' de her karışıma ait silindir yarma dayanımı sonuçlarının grafiksel olarak gösterimi yer almaktadır.

Çizelge 4.4. Beton Silindir Yarma Dayanım Sonuçları

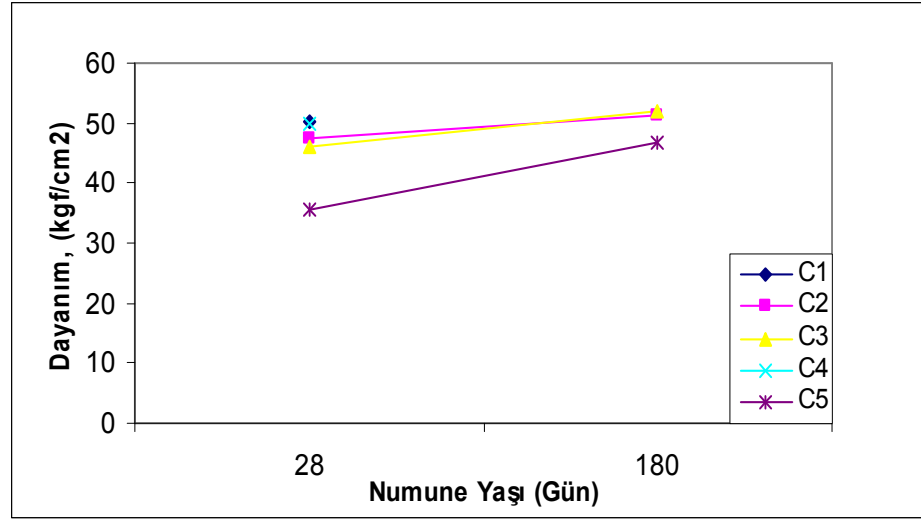
Karışım Adı	28 Günlük (kgf/cm <sup>2</sup> )	180 Günlük (kgf/cm <sup>2</sup> )
A1	31,12	35,13
A2	33,62	39,17
A3	31,39	39,76
A4	24,99	35,09
A5	26,22	29,79
B1	36,25	42,63
B2	38,57	43,26
B3	36,41	44,58
B4	30,37	40,29
B5	30,37	34,03
C1	45,62	50,32
C2	47,39	51,10
C3	46,07	52,10
C4	37,07	49,99
C5	35,60	46,67
D1	49,76	52,34
D2	50,04	52,51
D3	49,79	54,22
D4	44,80	51,66
D5	38,81	48,75



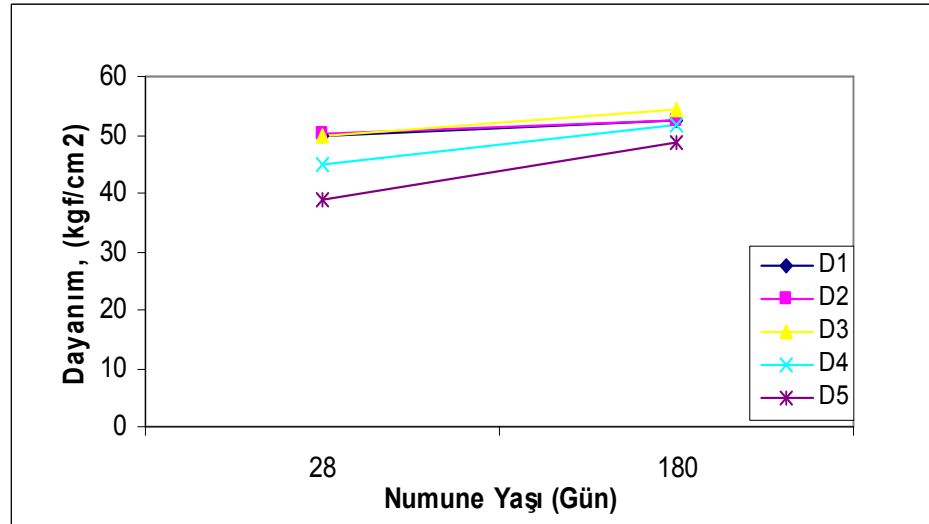
Şekil.4.5. Silindir Yarma Dayanımları(S/B=0,60 ve 400 doz)



Şekil.4.6. Silindir Yarma Dayanımları(S/B=0,60 ve 350 doz)



Şekil.4.7. Silindir Yarma Dayanımları(S/B=0,50 ve 400 doz)



Şekil.4.8. Silindir Yarma Dayanımları(S/B=0,50 ve 350 doz)

Silindir yarma dayanımı sonuçları incelendiğinde tüm karışım gruplarında (A,B,C,D) %3 ve %5 KA içeren numunelerin her iki yaş tada şahit numuneden daha yüksek silindir yarma dayanımı geliştirdiği görülmektedir. Bu sonuçların Fındık (2007)'de tarafından belirlenen 28 günlük silindir yarma dayanımı sonuçları ile de uyumlu olduğu görülmektedir. %10 KA katkılı numuneler ise yine tüm guruplarda 180. gün sonunda şahit numune ile hemen hemen aynı silindir yarma dayanımına

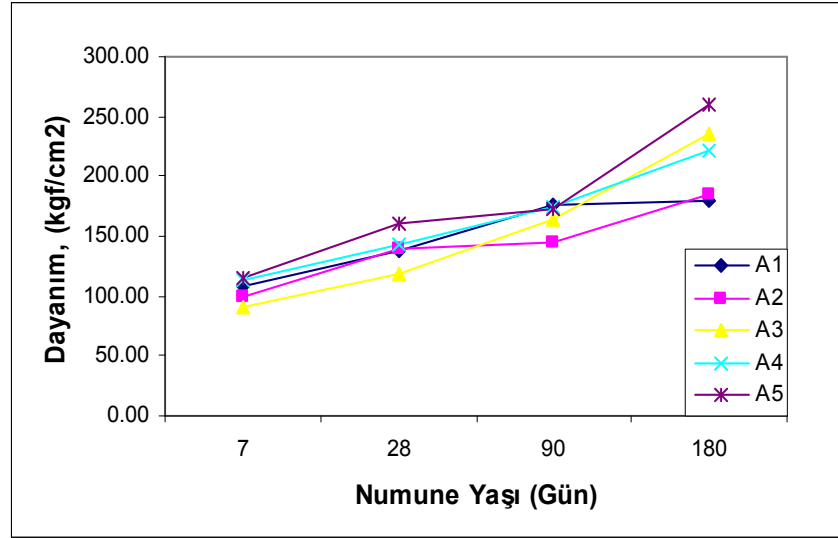
ulaşmışlardır. Diğer yandan %15 KA katkılı numuneler yine tüm karışım gruplarında her iki yaş tada şahit numunenin biraz altında silindir yarma dayanımı değeri vermişlerdir.

#### 4.2.3. Beton Yüzey Sertliği Yolu İle Yaklaşık Basınç Dayanımı

Beton Schmidt çekici deneyleri test presinde kırılarak basınç dayanımı belirlenecek 15X15X15 cm' boyutlarındaki küp numuneler üzerinde yapılmıştır. Schmidt çekici sonuçları Çizelge 4.5'te verilmiştir. Şekil.4.9-4.12' de bu sonuçların grafiksel gösterimi yer almaktadır.

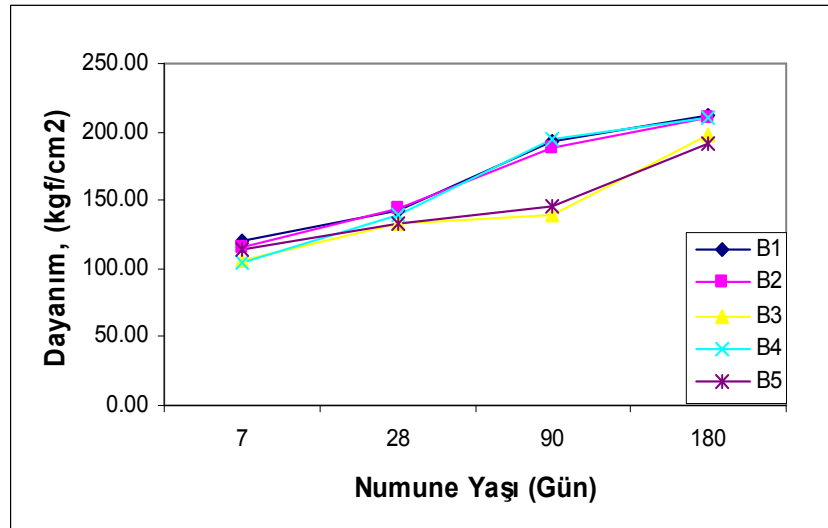
Çizelge 4.5. Beton Schmidt Çekici Dayanım Sonuçlar

Karışım Adı	7 günlük Dayanım (kgf/cm <sup>2</sup> )	28 günlük Dayanım (kgf/cm <sup>2</sup> )	90 günlük Dayanım (kgf/cm <sup>2</sup> )	180 günlük Dayanım (kgf/cm <sup>2</sup> )
A1	108.60	137.50	177.00	180.00
A2	99.50	139.20	145.00	185.00
A3	91.40	119.25	164.20	234.94
A4	113.60	142.50	174.00	222.00
A5	115.40	160.00	173.30	260.00
B1	119.80	142.00	193.50	212.00
B2	115.90	144.00	189.00	210.00
B3	106.80	132.50	140.00	198.00
B4	104.70	140.00	194.40	211.00
B5	113.80	133.00	145.00	190.80
C1	160.00	234.40	278.00	284.70
C2	150.00	262.00	282.20	298.00
C3	160.00	246.00	285.00	304.00
C4	134.00	205.00	266.00	275.00
C5	135.00	172.00	220.00	250.00
D1	189.00	223.60	271.80	304.00
D2	201.00	204.00	285.00	318.70
D3	172.00	255.00	300.00	335.50
D4	170.00	295.00	310.00	347.20
D5	135.00	250.00	275.00	313.00



Şekil.4.9. Schmidt Çekici Basınç Dayanımları(S/B=0,60 ve 400 doz)

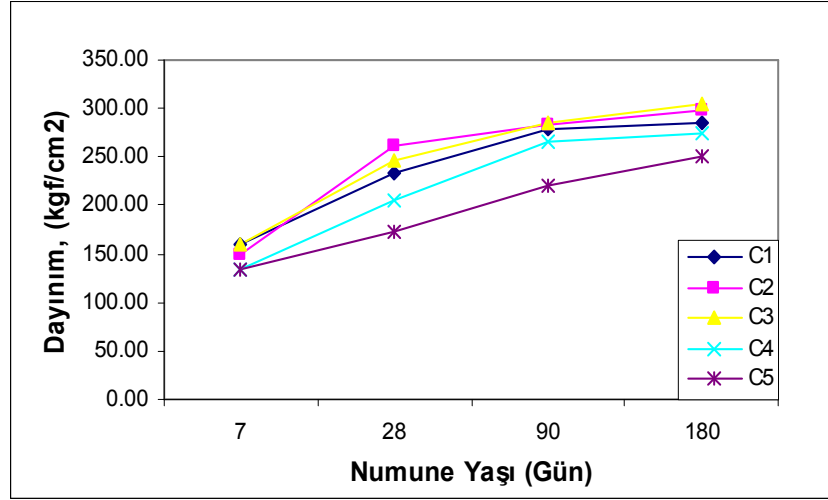
400 Doz 0.6 W/C oranlarına sahip karışımlara (A grubu) ait Schmidt çekici sonuçları incelendiğinde 180. günden önce şahit numuneden daha düşük basınç dayanımı değerlerine sahip KA katkılı numunelerin 180. günün sonunda şahit numuneye göre daha yüksek basınç dayanımlarına ulaştıkları görülmektedir.



Şekil.4.10. Schmidt Çekici Basınç Dayanımları (S/B=0,60 ve 350 doz)

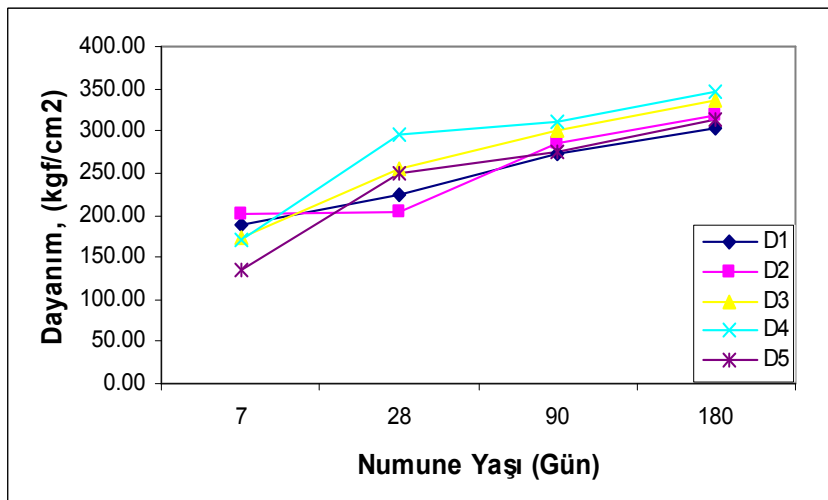


350 Doz 0.6 S/B oranlarına sahip karışımlara (B grubu) ait Schmidt çekici sonuçları incelendiğinde tüm KA katkılı karışımların hemen hemen tüm yaşlarda şahit numuneye yakın basınç dayanımları geliştirdikleri görülmektedir.



Şekil.4.11. Schmidt Çekici Basınç Dayanımları (S/B=0,50 ve 400 doz)

400 Doz 0.50 S/B oranlarına sahip karışımlara (C grubu) ait Schmidt çekici sonuçları incelendiğinde tüm KA katkılı karışımların hemen hemen tüm yaşlarda şahit numuneye yakın ya da daha yüksek basınç dayanımları geliştirdikleri görülmektedir.



Şekil.4.12. Schmidt Çekici Basınç Dayanımları (S/B=0,50 ve 350 doz)

350 Doz 0.5 W/C oranlarına sahip karışımlara (D grubu) ait Schmidt çekici sonuçları incelendiğinde 7 ve 28. günlerde şahit numuneye yakın ya da daha yüksek basınç dayanımı geliştiren KA katkılı karışımların tamamı 90 ve 180. günlerde şahit numune basınç dayanımını geçen bir davranış göstermişlerdir.

#### 4.2.4. Betonda Ses Hızı İle Ölçüm

Betonda ses hızı ölçümleri test presi için hazırlanan 15x15x15 cm ebadındaki küp numuneler üzerinde yapılmıştır.

Çizelge 4.6. Ses Hızı İle Ölçüm Sonuçları

Karışım Adı	7 Günlük Ultrases Geçiş Hızı, (km/s)	28 Günlük Ultrases Geçiş Hızı, (km/s)	90 Günlük Ultrases Geçiş Hızı, (km/s)	180 Günlük Ultrases Geçiş Hızı, (km/s)
A1	4.42	4.44	4.66	4.70
A2	4.07	4.47	4.55	4.64
A3	4.17	4.39	4.46	4.56
A4	3.81	4.03	4.47	4.67
A5	3.82	4.18	4.35	4.65
B1	4.25	4.61	4.66	4.70
B2	4.03	4.59	4.61	4.84
B3	4.21	4.35	4.66	4.73
B4	4.18	4.39	4.60	4.66
B5	4.01	4.18	4.27	4.65
C1	4.51	4.62	4.65	4.67
C2	4.32	4.68	4.78	4.91
C3	4.44	4.68	4.80	4.93
C4	4.50	4.62	4.64	4.89
C5	4.30	4.54	4.62	4.67
D1	4.26	4.75	4.75	4.87
D2	4.65	4.75	4.79	4.98
D3	4.55	4.76	4.77	4.92
D4	4.36	4.76	4.92	5.01
D5	4.38	4.76	4.81	4.95

Çizelge 4.7. Ses Hızı Sonuçlarının Pratik Değerlendirmesi (Whitehurst, 1951)

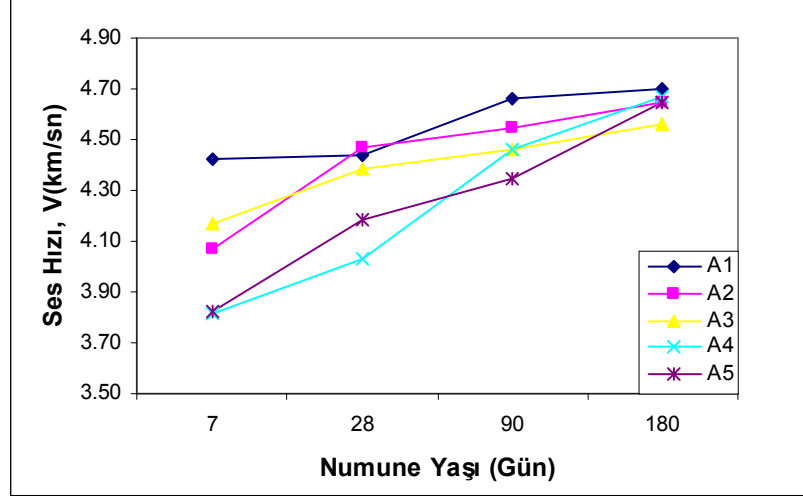
Ses hızı (V) km Is	Beton kalitesi
>4.5	Çok iyi
3.5-4.5	İyi
3.0-3.5	Orta
2.0-3.0	Zayıf
< 2.0	Çok zayıf

Çizelge 4.8. Ses Hızı Sonuçlarının Pratik Değerlendirme Sonuçları

Karışım Adı	7 Günlük Ultras ses Geçiş Hızı, (km/s)	28 Günlük Ultras ses Geçiş Hızı, (km/s)	90 Günlük Ultras ses Geçiş Hızı, (km/s)	180 Günlük Ultras ses Geçiş Hızı, (km/s)
A1	İyi	İyi	Çok iyi	Çok iyi
A2	İyi	İyi	Çok iyi	Çok iyi
A3	İyi	İyi	İyi	Çok iyi
A4	İyi	İyi	İyi	Çok iyi
A5	İyi	İyi	İyi	Çok iyi
B1	İyi	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi
B2	İyi	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi
B3	İyi	İyi	Çok iyi	Çok iyi
B4	İyi	İyi	Çok iyi	Çok iyi
B5	İyi	İyi	İyi	Çok iyi
C1	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi
C2	İyi	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi
C3	İyi	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi
C4	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi
C5	İyi	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi
D1	İyi	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi
D2	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi
D3	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi
D4	İyi	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi
D5	İyi	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi

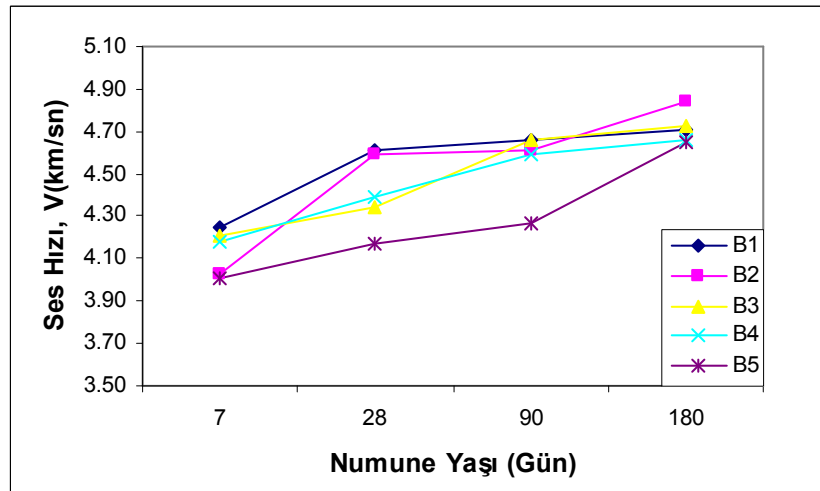
Betonda ses hızı ölçümleri Çizelge 4.6 da verilmiştir. Çizelge 4.8 de ise bu sonuçların Whitehurst, 1951 tarafından verilen tabloya göre değerlendirilmesi yer almaktadır. Çizelge 4.6' incelendiğinde ise özellikle 0.50 S/B oranına sahip C ve D karışımlarının 7. gündeki bazı numuneler hariç çok iyi olarak değerlendirilebildiği görülmektedir. 0.6 S/B oranına sahip A ve B karışımlarının ise ancak 180. günde çok iyi

olarak değerlendirilebilecek duruma geldiği görülmektedir. Buda S/B oranının beton kalitesine etkisini bir kez daha gözler önüne sermektedir. Ses hızı sonuçlarının her karışım için grafiksel olarak gösterimi Şekil 4.13-4.16'da sunulmuştur.



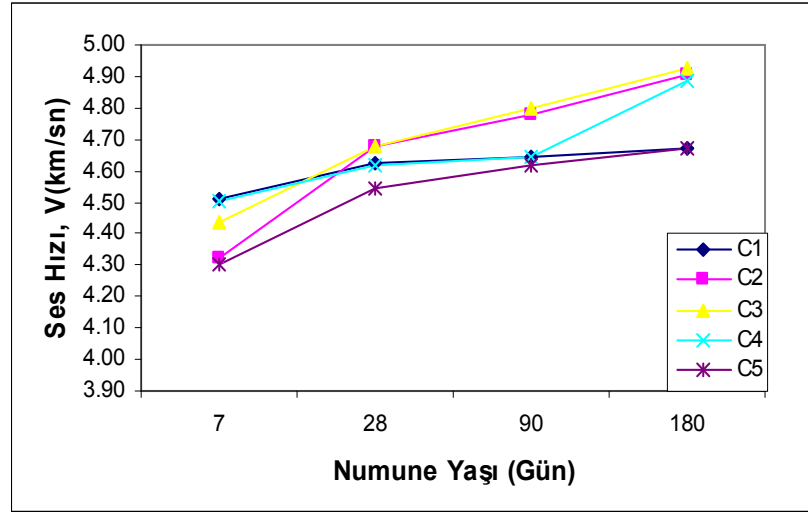
Şekil.4.13. Ses Hızı İle Ölçüm (S/B=0,60 ve 400 doz)

A grubu karışımların (400 doz, 0.6 S/B oranı) ses hızı sonuçları incelendiğinde 7. günde şahit numuneye göre daha düşük ses hızına sahip KA katkılı numunelerin diğer yaşlarda şahit numuneye yakın ya da eşit ses hızı değeri verdiği görülmektedir.



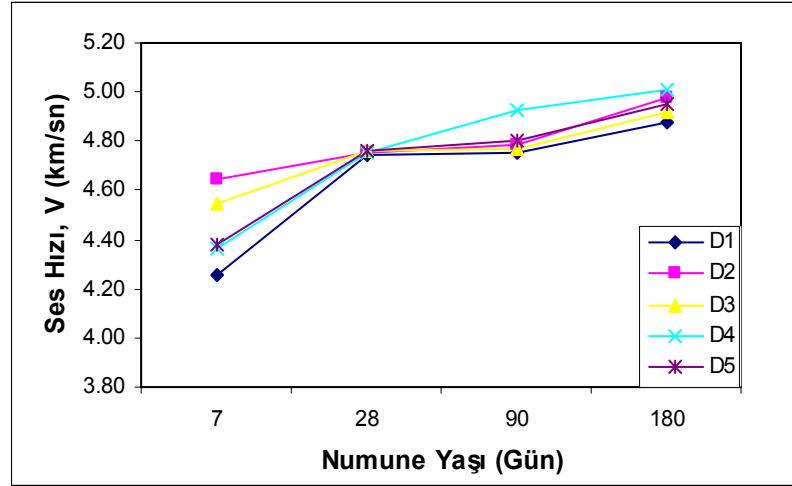
Şekil.4.14. Ses Hızı İle Ölçüm (S/B=0,60 ve 350 doz)

B grubu karışımların (350 doz, 0.6 S/B oranı) ses hızı sonuçları incelendiğinde sırası ile %3, %5 ve %10 KA katkısına sahip B2, B3 ve B4 karışımlarının tüm yaşlarda şahit numuneye yakın ya da daha yüksek ses hızlarına ulaştığı görülmektedir. Diğer yandan %15 KA katkısına sahip B5 karışımları ise 7,28 ve 90. günlerde şahit numuneden daha düşük ses hızı değeri verirken 180. günde şahit numuneye oldukça yakın bir ses geçiş hızı değerine ulaşmıştır.



Şekil.4.15. Ses Hızı İle Ölçüm (S/B=0,50 ve 400 doz)

C grubu karışımların (400 doz, 0.5 S/B oranı) ses hızı sonuçları incelendiğinde KA içeren tüm karışımların tüm yaşlarda şahit numune ile kıyaslanabilir ya da daha yüksek ses hızlarına sahip oldukları görülmektedir. Özellikle 180. günde KA katkısı içeren karışımlar şahit numunenin oldukça üzerinde geçiş hızlarına ulaşmışlardır.



Şekil 4.16. Ses Hızı İle Ölçüm (S/B=0,50 ve 350 doz)

D grubu karışımların (350 doz, 0.5 S/B oranı) ses hızı sonuçları incelendiğinde KA içeren tüm karışımların tüm yaşlarda şahit numuneden daha yüksek ses hızlarına sahip oldukları görülmektedir.

#### 4.2.5. Su /Bağlayıcı Oranının Basınç Dayanımına Etkisi

Çimento dozajının basınç dayanımına etkisi 0.60 S/B oranına sahip 350 ve 400 dozlu karışımları ile 0.50 S/B oranına sahip 350 ve 400 dozlu karışımlar üzerinde incelenmiştir. Çizelge 4.9' da değerler %50 S/B oranına sahip numunelerin basınç dayanımlarının %60 S/B oranına sahip numunelerin basınç dayanımlarına oranının yüzdesi şeklinde verilmiştir.

Çizelge 4.9. Su/Bağlayıcı Oranın Basınç Dayanımına Etkisi

S/B oranı	KKA oranı	7.Gün	28.Gün	90.Gün	180.Gün
0.60	Şahit	121.52	107.50	104.59	107.13
	%3	235.67	123.85	128.09	110.04
	%5	104.85	115.91	95.85	97.22
	%10	126.87	119.03	133.18	125.23
	15%	101.66	93.84	96.31	76.05
0.50	Şahit	110.95	120.27	113.17	106.81
	%3	115.32	116.08	107.75	95.95
	%5	107.36	99.00	92.83	88.02
	%10	130.10	109.96	120.37	103.11
	%15	151.94	132.26	111.18	93.19

Çizelge-4.9 incelendiğinde birkaç numune hariç bütün karışımlarda ve bütün yaşlarda 350 dozlu karışımlar 400 dozlu karışımlara göre daha yüksek basınç dayanımlarına ulaşmışlardır. Bu durum bilinçsizce arttırılan çimento dozajının fayda yerine zarar getireceğini göstermektedir. Bu nedenle artan çimento dozajına bağlı olarak karışama giremeyecek agrega miktarının basınç dayanımını etkilediği ve herhangi bir S/B oranı için maksimum dayanım veren optimum çimento dozajı olduğu düşünülmektedir. Bu durum literatür de belirtmektedir (Postacı oğlu, 1987; Bilim,2006)

#### 4.2.6. Çimento Dozajının Basınç Dayanımına Etkisi

350 dozlu 0.50 ve 0.60 S/B oranına sahip numuneler ile 400 dozlu 0.50 ve 0.60 S/B oranına sahip numuneler üzerinde incelenmiştir. Çizelge 4.10'de verilen değerler 350 dozlu karışımların 400 dozlu karışımların basınç dayanımlarına oranının yüzdesidir.

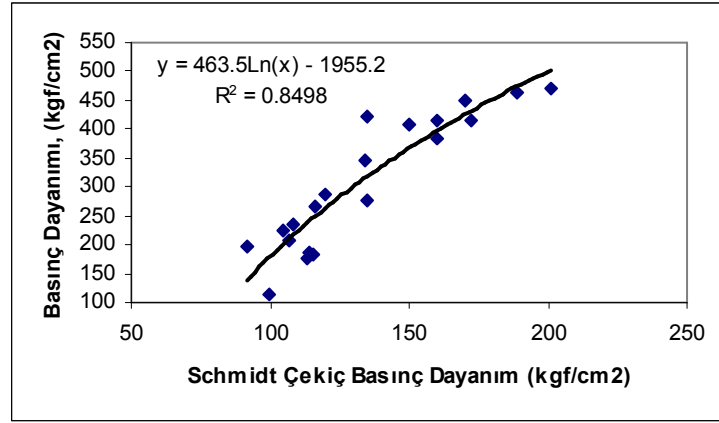
Çizelge 4.10. Çimento Dozajının Basınç Dayanımına Etkisi

Çimento dozajı (kg/m <sup>3</sup> )	KKA oranı	7.Gün	28.Gün	90.Gün	180.Gün
350	Şahit	161.82	154.71	140.53	132.52
	3%	175.32	146.61	133.57	128.83
	5%	200.71	160.07	151.70	129.69
	10%	201.04	163.14	137.44	145.08
	15%	224.11	186.41	164.80	169.24
400	Şahit	177.24	138.29	129.87	132.91
	3%	358.27	156.42	158.78	147.74
	5%	196.02	187.42	156.64	143.26
	10%	196.05	176.60	152.06	176.20
	15%	149.95	132.27	142.76	138.11

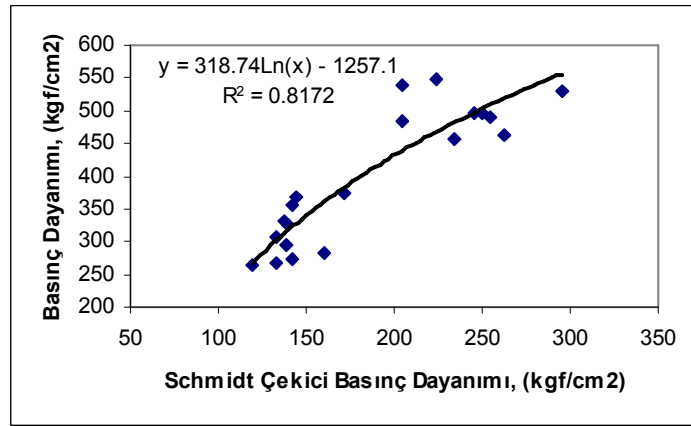
Çizelge 4.10 incelendiğinde 0.50 S/B oranına sahip numunelerin tüm karışımlar ve tüm yaşlar için 0.60 S/B oranına sahip numunelere göre çok daha yüksek basınç dayanımları geliştirdiklerini göstermektedir.

#### 4.2.7. Schmitd Çekici İle Basınç Mukavemeti ilişkisi

Bu bölümde test çekicinden elde edilen mukavemet değerleri ile basınç testinden elde edilen mukavemet değerleri arasındaki ilişki, her yaş için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonuçları Şekil 4.17-4.20'de grafiksel olarak verilmiştir.

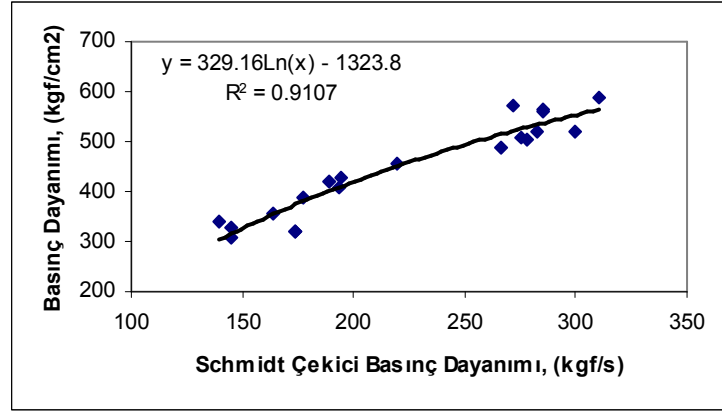


Şekil.4.17. 7 Günlük Numunelere Ait Schmitd Çekici İle Basınç Mukavemeti İlişkisi

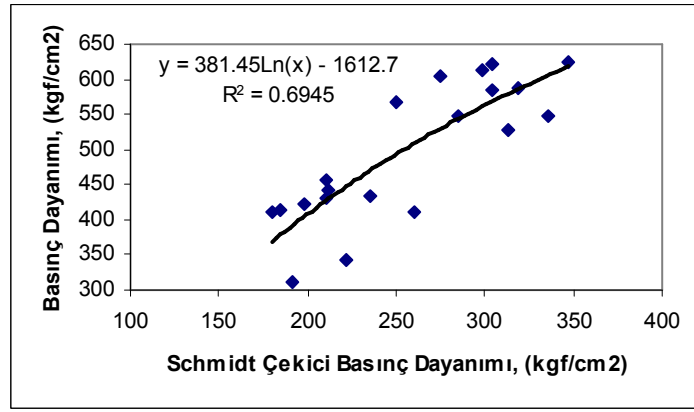


Şekil.4.18. 28 Günlük Numunelere Ait Schmitd Çekici İle Basınç Mukavemeti İlişkisi





Şekil.4.19. 90 Günlük Numunelere Ait Schmidt Çekici İle Basınç Mukavemeti İlişkisi

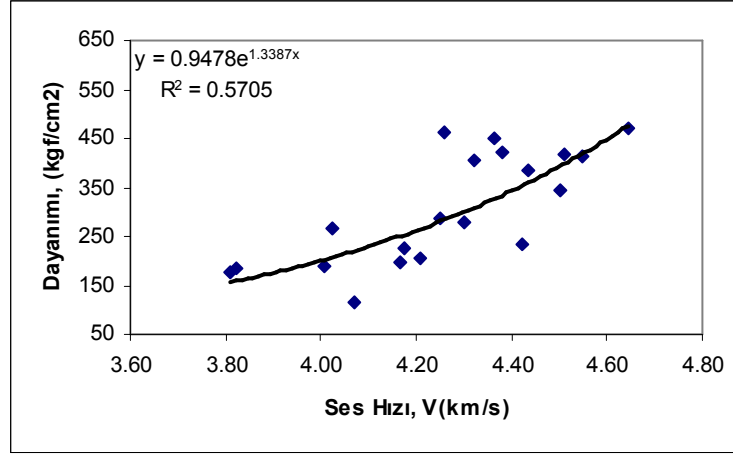


Şekil.4.20. 180 Günlük Numunelere Ait Schmidt Çekici İle Basınç Mukavemeti İlişkisi

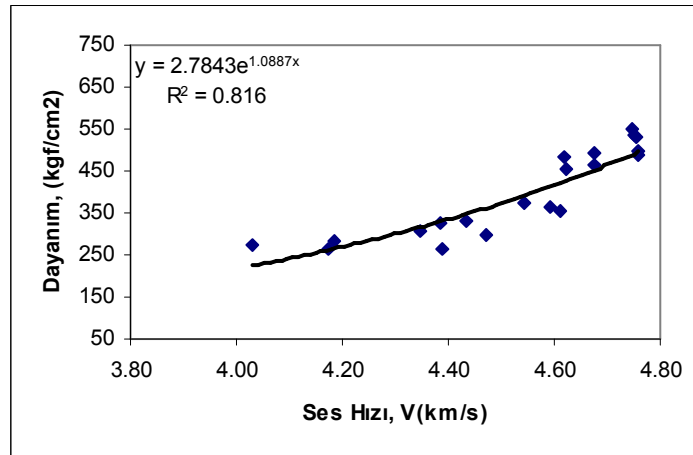
Şekil 4.17, Şekil 4.18, Şekil 4.19 ve Şekil 4.20, den elde edilen korelasyon katsayıları sırası ile 0.8498, 0.8172, 0.9107, 0.6945' dir. Buda bize test çekici ile beton test presinden elde edilen basınç mukavemetleri arasında kuvvetli bir ilişki olduğunu göstermektedir.

#### 4.2.8. Ses Hızı Basınç Mukavemeti İlişkisi

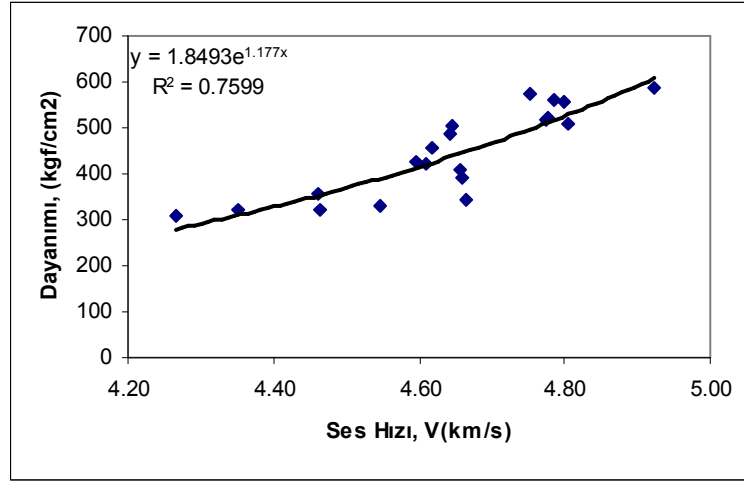
Bu bölümde ultra ses dalga hızları ile basınç testinden elde edilen mukavemet değerleri arasındaki ilişki, her yaş için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonuçları Şekil 4.21-4.24'de grafiksel olarak verilmiştir.



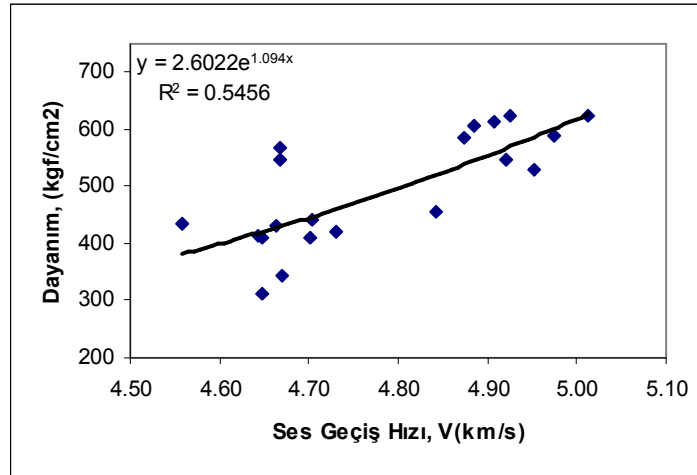
Şekil.4.21. 7 Günlük Numunelere Ait Ses Hızı Basınç Mukavemeti İlişkisi



Şekil.4.22. 28 Günlük Numunelere Ait Ses Hızı Basınç Mukavemeti İlişkisi



Şekil.4.23 90 Günlük Numunelere Ait Ses Hızı Basınç Mukavemeti İlişkisi

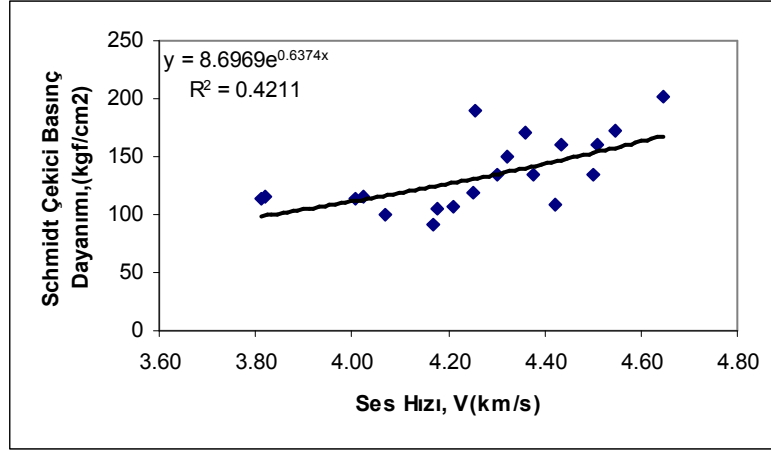


Şekil.4.24 180 Günlük Numunelere Ait Ses Hızı Basınç Mukavemeti İlişkisi

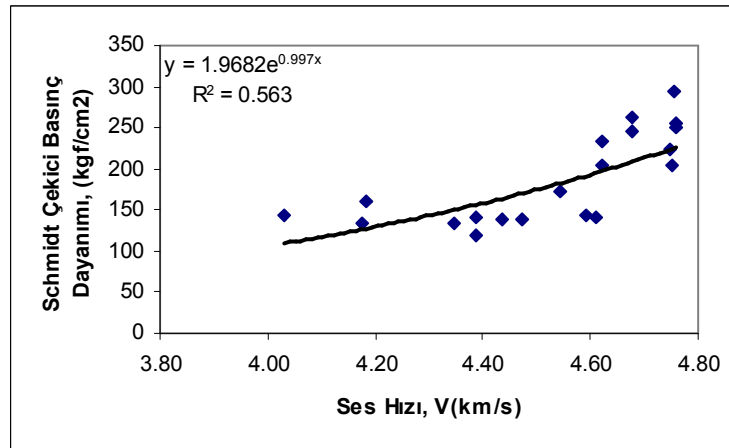
Şekil 4.21, Şekil 4.22, Şekil 4.23, Şekil 4.24, den elde edilen korelasyon katsayıları sırası ile 0.5705, 0.816, 0.7599, 0.5456' tür. Korelasyon katsayıları, ses hızları ile basınç mukavemeti arasında çok kuvvetli olmamakla beraber bir ilişkinin varlığını göstermektedir.

#### 4.2.9. Ses Hızı İle Schmidt Çekici Mukavemeti İlişkisi

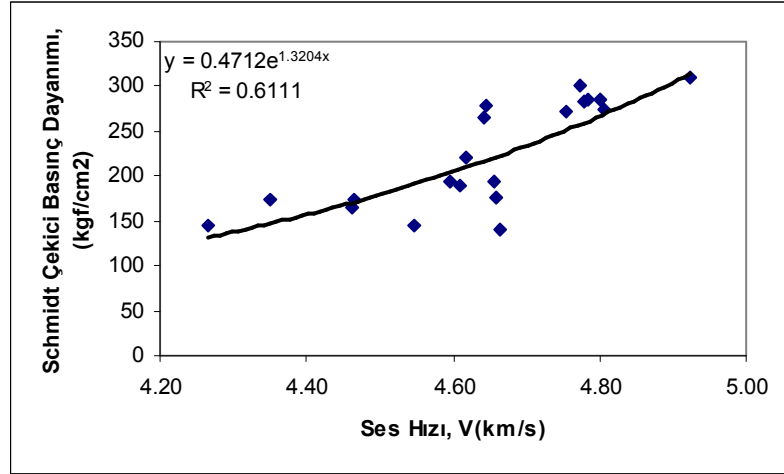
Bu bölümde test çekicinden elde edilen mukavemet değerleri ile ultra ses dalga hızları arasındaki ilişki, her yaş için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonuçları Şekil 4.25-4.28’de grafiksel olarak verilmiştir.



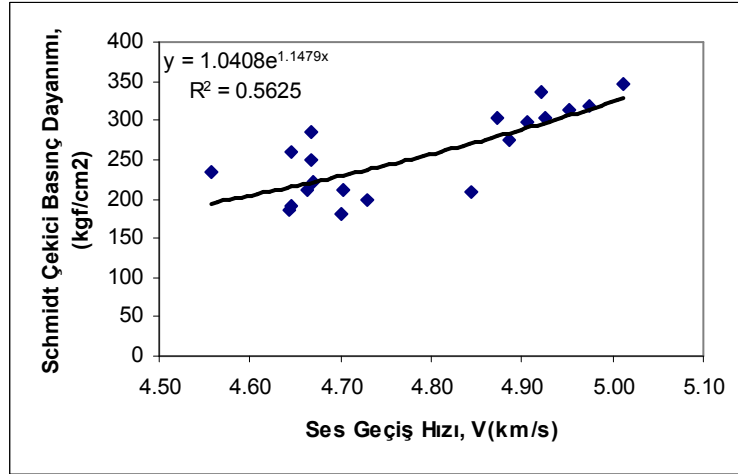
Şekil 4.25 7 Günlük Numunelere Ait Ses Hızı Schmidt Çekici Basınç Dayanım İlişkisi



Şekil 4.26 28 Günlük Numunelere Ait Ses Hızı Schmidt Çekici Basınç Dayanım İlişkisi



Şekil 4.27 90 Günlük Numunelere Ait Ses Hızı Schmidt Çekici Basınç Dayanım İlişkisi



Şekil.4.28 180 Günlük Numunelere Ait Ses Hızı Schmidt Çekici Basınç Dayanım İlişkisi

Şekil 4.25, Şekil 4.26, Şekil 4.27, Şekil 4.28, den elde edilen korelasyon katsayıları sırası ile 0.4211, 0.563, 0.6111, 0.5625'dir. Deney sonuçlarından elde edilen korelasyon katsayıları ses hızları ile test çekici sonuçları arasında zayıf bir ilişki olduğunu göstermektedir.

## 5.SONUÇ VE ÖNERİLER

### 5.1. Sonuç

- 1- Ve-be ve çökme deneyi sonuçları KA katkısının taze betonun işlenebilirliğini azalttığını göstermiştir.
- 2- Slump deneyi sonuçları ile Ve-be deneyi sonuçlarının uyum içinde olduğu gözlenmiştir.
- 3- 400 dozlu ve 0.60 S/B oranına sahip numunelerin basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde %3 ve %5 KA katkısı içeren numunelerin 180. günde şahit numuneden daha yüksek basınç dayanımı değerlerine ulaştıklarını göstermektedir.
- 4- 350 dozlu ve 0.60 S/B oranına sahip numunelere ait basınç dayanımı sonuçları, %3 KA katkılı numunelerin her yaşta şahit numuneye yakın ya da daha yüksek basınç dayanımları geliştirdiklerini göstermektedir. %5 KA içeren numuneler ise 180. günde şahit numuneye oldukça yakın bir basınç dayanımı değerine ulaşmışlardır. Diğer yandan %10 KA katkısına sahip numuneler 90 ve 180. günlerde şahit numunelere göre kıyaslanabilir ya da daha yüksek basınç dayanım değeri vermişlerdir.
- 5- 400 dozlu ve 0.50 S/B oranına sahip numunelerin basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde %3 ve %5 KA katkısı içeren numunelerin 28, 90 ve 180. günlerde şahit numuneden daha yüksek basınç dayanımlarına ulaştıkları görülmektedir. %10 KA katkısı içeren numuneler ise 28, 90 ve 180. günlerde şahit numuneden yüksek ya da kıyaslanabilir basınç dayanımı değerlerine ulaşmışlardır. Diğer yandan %15 KA katkısı içeren numuneler 180. günde şahit numuneden daha yüksek basınç dayanımı geliştirmişlerdir.
- 6- 400 dozlu ve 0.50 S/B oranına sahip numunelerin basınç dayanımı sonuçları, 180. gün sonunda bütün KA katkılı betonları şahit numuneden daha yüksek basınç dayanımı değerine ulaştığını göstermektedir.

- 7- 350 dozlu ve 0.50 S/B oranına sahip numunelerin basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde %3 KA katkısı içeren numuneler her yaşta şahit numuneden yüksek ya da kıyaslanabilir basınç dayanımı göstermektedir.
- 8- Silindir yarma dayanımı sonuçları incelendiğinde tüm karışım gruplarında %3 ve %5 KA içeren numunelerin her iki yaşta da şahit numuneden daha yüksek silindir yarma dayanımı geliştirdiği görülmektedir. %10 KA katkılı numuneler ise yine tüm guruplarda 180. gün sonunda şahit numune ile hemen hemen aynı silindir yarma dayanımına ulaşmışlardır.
- 9- 400 Doz 0.6 S/B oranlarına sahip karışımlara ait test çekici sonuçları, 180. günden önce şahit numuneden daha düşük basınç dayanımı değerlerine sahip KA katkılı numunelerin 180. günün sonunda şahit numuneye göre daha yüksek basınç dayanımına ulaştığını göstermektedir
- 10- 350 Doz 0.6 S/B oranlarına sahip karışımlara ait test çekici sonuçları incelendiğinde tüm KA katkılı karışımların hemen hemen tüm yaşlarda şahit numuneye yakın basınç dayanımları geliştirdikleri görülmektedir.
- 11- 400 Doz 0.50 S/B oranlarına sahip karışımlara ait test çekici sonuçları incelendiğinde tüm KA katkılı karışımların hemen hemen tüm yaşlarda şahit numuneye yakın ya da daha yüksek basınç dayanımları geliştirdikleri görülmektedir.
- 12- 350 Doz 0.5 S/B oranlarına sahip karışımlara ait test çekici sonuçları incelendiğinde 7 ve 28. günlerde şahit numuneye yakın ya da daha yüksek basınç dayanımı geliştiren KA katkılı karışımların tamamı 90 ve 180. günlerde şahit numune basınç dayanımını geçen bir davranış göstermişlerdir.
- 13- A grubu karışımların (400 doz, 0.6 S/B oranı) ses hızı sonuçları incelendiğinde 7.günde şahit numuneye göre daha düşük ses hızına sahip KA katkılı numunelerin diğer yaşlarda şahit numuneye yakın ya da eşit ses hızı değeri verdiği görülmektedir.
- 14- B grubu karışımların (350 doz, 0.6 S/B oranı) ses hızı sonuçları, %3, %5 ve %10 KA katkısına sahip karışımların tüm yaşlarda şahit numuneye yakın ya da daha yüksek ses geçiş hızlarına ulaştığını göstermektedir. Diğer yandan %15 KA katkısına sahip karışımların ise 180. günde şahit numuneye oldukça yakın ses geçiş hızına sahip olduğu görülmüştür.
- 15- C grubu karışımların (400 doz, 0.5 S/B oranı) ses hızı sonuçları incelendiğinde KA içeren tüm karışımların tüm yaşlarda şahit numune ile kıyaslanabilir yada daha

yüksek ses hızlarına sahip oldukları görülmektedir. Özellikle 180. günde KA katkısı içeren karışımlar şahit numunenin oldukça üzerinde ses geçiş hızlarına ulaşmışlardır.

- 16- D grubu karışımların (350 doz, 0.5 S/B oranı) ses hızı sonuçları incelendiğinde KA içeren tüm karışımların tüm yaşlarda şahit numuneden daha yüksek ses geçiş hızlarına sahip oldukları görülmektedir.
- 17- Hemen hemen bütün karışımlarda ve bütün yaşlarda 350 dozlu karışımlar 400 dozlu karışımlara göre daha yüksek basınç dayanımlarına ulaşmışlardır. Artan çimento dozajına bağlı olarak karışıma giren agrega miktarındaki düşüşün basınç mukavemetini etkilediği ve herhangi bir S/B oranı için maksimum dayanım veren optimum çimento dozajı olduğu düşünülmektedir.
- 18- 0.50 S/B oranına sahip numunelerin tüm karışımlar ve tüm yaşlar için 0.60 S/B oranına sahip numunelere göre çok daha yüksek basınç dayanımları geliştirdikleri görülmüştür.
- 19- Test çekici ile beton test presinden elde edilen basınç mukavemetleri arasında kuvvetli bir ilişki olduğu görülmüştür.
- 20- Korelasyon katsayıları, ses hızları ile basınç mukavemeti arasında çok kuvvetli olmamakla beraber bir ilişkinin varlığından bahsedilebilir.
- 21- Deney sonuçlarından elde edilen korelasyon katsayıları ses hızları ile test çekici sonuçları arasında zayıf bir ilişki olduğunu göstermektedir.

## 5.2. Öneriler

- 1- Beton basınç deneylerinden elde edilen sonuçlara göre KA katkısı için %5 ile %10 aralığında optimum bir değer olduğu düşünülmektedir. Bu aralıklar daraltılarak basınç dayanımı için optimum KA katkısının bulunabileceği bir çalışma yürütülebilir.
- 2- Basınç ve silindir yarma deneylerinin sonuçları KA katkısı içeren betonların 180 günde şahit betona yakın veya daha yüksek basınç dayanımları geliştirdiklerini göstermiştir. Bundan dolayı, 1 yıl ve 2 yıllık dayanımı değerlerinin belirlenmesi yararlı olacaktır.



- 3- Test presi, test çekici ve ses hızları arasındaki ilişkiler Excel programı kullanılarak belirlenmiştir. Bu ilişkilerin daha gelişmiş modeller, örneğin genetik algoritma kullanılarak belirlenmesi yararlı olacaktır.
- 4- Bu çalışma beton numuneler üzerinde yürütülmüştür. Kullanılan malzemelerin kimyasal ve fiziksel kompozisyonu değişebileceğinden araştırmalar değişik kaynaklı malzemelerle tekrarlanmalıdır.
- 5- Bu çalışmada yürütülemeyen diğer bazı durabilite özelliklerini de kapsayan deneylerin (örneğin: ıslanma kuruma, donma çözünme, sülfat ve asit atağı, alkali silis reaksiyonu deneyleri, hidratasyon ısı ölçümü) de kapsadığı bir çalışma yürütülebilir.
- 6- Katkı içeriği olarak kimyasal katkılarla beraber kullanılarak veya farklı puzolanik katkıları kullanılarak sonuçları değerlendirilebilir.
- 7- İnce öğütülmüş cüruf veya silis dumanı ile mevcut kolemanit atığı içeren karışımlar arasında üçlü veya daha çoklu karışımların harç veya beton özelliklerini hangi mertebede iyileştirebileceği araştırılabilir.

## KAYNAKLAR

- Aşkın, 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.
- Bilim, C. 2001. **Afşin-Elbistan Uçucu Külünün Beton İçinde Kullanılabilirliği ve Hizlandırılmış Kür Uygulaması**, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Hatay.
- Bilim, C. 2006. **Yüksek Fırın Cürufu Katkısının Çimento Tabanlı Malzemelerde Kullanılabilirliği**. Doktora Tezi Çukurova Üniversitesi FBE Adana.
- Erdoğan, T. Y. 2003. **Beton OTDÜ** Geliştirme Vakfı ve Yayıncılık A.Ş. 741S, Ankara.
- Eti Holding A.Ş. Genel Müdürlüğü **Ferro Bor Ön Fizibilite Etüdü**, 2003, Ankara.
- Erkal, İ. F. 1990. **Etibank Emet Kolemanit İşletmesi Kaba Artıklarının Değerlendirilmesi Olanaklarının Araştırılması**, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- Erdoğan, T. Y. 1995. **Çimentolar** Türkiye Hazır Beton Birliği , 120s., İstanbul.
- Erdoğan, T. Y. 1995. **Karışım ve Bakım Suları**. Türkiye Hazır Beton Birliği, 67s, İstanbul.
- Erdoğan, T. Y. 1997. **Admixtures For Concrete**. Middle East Technical University, ISBN 975-429-113-6, 188 s, Ankara.

- Erdoğan, Y., Zeybek, M.S., Demirbaş, A., **Cement Mixes Containing Colemanite From Concentrator Wastes**. Cement & Concrete Research, Volum 28 No.4 pp 605-609.
- Fındık, A. 2007. **Kolemanit Konsantratör Atığının Beton ve Harç Numunelerin Bazı Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi**, Yüksek Lisans Tezi.
- Keleş, G., Kocakerim, M.M., Boncukçuoğlu, R., **Borojips ve Kolemanit Konsantrasyon Atığının Çimentoda Kullanılması**, 1. Ulusal Bor Çalıştayı Bildiriler Kitabı 2005. Ankara.
- Kula, İ., Olgun, A., Erdogan, Y., Sevinc, V., **Effects of colemanite waste cool bottom ash, and fly ash on the properties of cement**, 2000.
- Kavas, T., Önce, G., Olgun, A., Erdoğan, Y., **Kolemanit Katkılı PÇ Üretiminde Priz Hızlandırıcı Olarak Organik Katkı Malzemesinin Kullanılabilirliği**, 1. Ulusal Bor Çalıştayı Bildiriler Kitabı 2005 Ankara.
- Kula, İ. 2000. **Bor Endüstri Atıklarının Çimento Üretiminde Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi**, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Neville, A. M., Brooks, J. J., 1993. **Concrete Technology**. Longman Scientific and Technical, USA.
- Olgun, A., Kavas, T., Erdoğan, Y., Önce, G., **Physico-chemical characteristics of chemically activated cement containing boron**, 2006.
- Özturan, T., Kocataşkın, F. 1989. **Abrasion Resistance of Concrete as a Two Phase Composite Material**, The International Journal Cement Composites and Lightweight Concrete Volume 9. No.3 pp.169-176.
- Özmal, F., Erdoğan, Y., Olgun, A., Atar, N., Kula, İ., Kalfa, O.M. **Bor Endüstri Atıkları, Uçucu Kül ve Alünit İçeren Çimentoların Fiziksel ve Mekaniksel Özelliklerinin İncelenmesi**, 1. Ulusal Bor Çalıştayı Bildiriler Kitabı 2005 Ankara.
- Postacıoğlu, B. 1986. **Beton**. Matbaa Teknisyenleri Basımevi, c.1, 170s, İstanbul.
- Postacıoğlu, B. 1986. **Beton**. Matbaa Teknisyenleri Basımevi, c.2, 223s, İstanbul.
- Sevim, 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.

- Targan, Ş., Olgun A., Erdoğan Y., Sevinç V., **Influence Of Natural Pozzonal, Colemanite Ore Waste, Bottom Ash, And Fly Ash On The Properties Of Portland Cement.** Cement & Concrete Research, Volum 33 pp 1175-1182.
- TS 3453, 1981. **Beton Elemanlarda Büzülme Oranı (Rötre) Tayini Metodu.**
- T.C. **Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı** Yayın No:Dpt : 2414 – Öik: 474, 1995.
- Tübitak **Bor Raporu** Ek-2h 2002.
- Topçu, İ.B., Boğa, A.R. **Bor Atıklı Çimento Harçlarının Dayanıklılığı**, 1. Ulusal Bor Çalıştayı Bildiriler Kitabı 2005. Ankara.
- TS 19, 1992. **Çimento-Portland Çimentoları.** Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 24, 1985. **Çimentoların Fiziki ve Mekanik Deney Metotları.**
- 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., Taşdemir, M. A., Tokyay, M., Uyan, M. 1999. **Meslek Liseleri İçin Her Yönüyle Beton.** Türkiye Hazır Beton Birliği, 119s, İstanbul.
- Whitehurst, E.A., **'Soniscope Tests Concrete Structures,' J. OF American Concrete Institute**, 47, Feb. 1951, pp. 443-444.
- [http://www.kimyamuhendisi.com/component/option,com\\_docman/task,doc\\_details/gid,211/Itemid,28/.](http://www.kimyamuhendisi.com/component/option,com_docman/task,doc_details/gid,211/Itemid,28/)

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmada Kütahya ETİ Bor A.Ş. den getirilen kolemanit atığı katkılı numuneler üzerinde beton deneyleri uygulandı. Amaç endüstri atığı olan bir malzemenin endüstriye kazandırılmasını sağlamaktır. Tez çalışması incelenecek olursa beton deney sonuçlarında %3 ve %5 Katkılı karışımlarda beton dayanımını bir miktar artırdığı görülecektir.

Yüksek Lisans eğitimi ve tez dönemi boyunca benimle her konuda ilgilenip, her türlü problemi aşan, laboratuvar yetersizliği olmasına rağmen, her türlü imkânları oluşturmaya çalışan, her türlü zamanını ayıran çok değerli danışman hocam, Sayın Yrd. Doç. Dr. Umur Korkut SEVİM' e en içten teşekkürümü sunarım.

Yüksek Lisans tez çalışmamda yardımlarını esirgemeyen Sayın Yrd. Doç. Dr. Faruk Fırat ÇALIMA' a, Yrd. Doç. Dr. Selçuk KAÇIN' a özellikle teşekkür ederim. Bölümümüz Y.Lisans öğrencilerinden Necmi OKUMUŞ' a, Ahmet DİNÇ' e ve bölümümüz mezunu Ferit TARHAN, Semih ÇALIŞ, Tarık KARABACAK, Ersin BAYRAKTAR, Ali POLAT, Başak VARLI, Kenan BİLBEN, Songül TORTUK ve Serkan SOLAK' a bütün yardımları için teşekkür ederim.

Umran AYDIN  
İSKENDERUN 2009

## ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında Batman'ın Beşiri ilçesinde doğdum. İlköğrenimimi Beşiri ilçesinde, orta ve lise öğrenimimi Batman'da tamamladım. 2002 yılında girdiğim Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi'nden, 2006 yılı Haziran döneminde İnşaat Mühendisi unvanıyla mezun oldum. 2006 yılında Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Yapı Malzemesi Anabilim dalında Yüksek Lisans öğrenimime başladım.