

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİLLER İÇERİĞİNİN PORTLAND ÇİMENTOSU
BETONUNUN MEKANİK ÖZELLİĞİNE ETKİSİ

Andaç ÖZDEMİR

Şubat, 2009
İZMİR

FİLLER İÇERİĞİNİN PORTLAND ÇİMENTOSU BETONUNUN MEKANİK ÖZELLİĞİNE ETKİSİ

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Malzemesi Anabilim Dalı**

Andaç ÖZDEMİR

**Şubat, 2009
İZMİR**

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

ANDAÇ ÖZDEMİR, tarafından **ÖĞR. GÖR. DR. AYDIN SAATÇİ** yönetiminde hazırlanan “**FİLLER İÇERİĞİNİN PORTLAND ÇİMENTOSU BETONUNUN MEKANİK ÖZELLİĞİNE ETKİSİ**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

ÖĞR. GÖR. DR. AYDIN SAATÇİ

Yönetici

DOÇ. DR. HALİT YAZICI

Jüri Üyesi

PROF. DR. İ. AKIN ALTUN

Jüri Üyesi

Prof.Dr. Cahit HELVACI
Müdür
Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Yapı malzemeleri konusunundaki tüm bilgilerimi bana öğreten değerli hocam Prof. Dr. Bülent BARADAN'a, tez çalışmalarım boyunca yardımlarını ve bilgilerini esirgemeyip, benimle paylaşan, başta danışmanım Sayın Dr. Aydın SAATÇİ'ye, Araş. Gör. Ali TOPAL'a, Araş. Gör. Burak FELEKOĞLU'na ve Yrd. Doç. Dr. Halit YAZICI'ya;

Tüm okul hayatım boyunca her zaman yanımda olan, bugünlere gelebilmem için çok emek harcayan, zor anlarımda beni hiç yalnız bırakmayan çok sevdiğim annem ve babam, Ülkü ÖZDEMİR ve Ömer ÖZDEMİR'e;

Üniversite hayatım boyunca maddi ve manevi her konuda bana destek olan sevgili dostum, kardeşim Giray IŐIKYAKAR'a sonsuz teşekkür ederim.

Andaç ÖZDEMİR

FİLLER İÇERİĞİNİN PORTLAND ÇİMENTOSU BETONUNUN MEKANİK ÖZELLİĞİNE ETKİSİ

ÖZ

Önemli bir kısmı birinci derece deprem kuşağında bulunan ülkemizde hazır betonun inşaat sektöründe kullanımı son yıllarda oldukça yaygınlaşmış, elle hazırlanan betonların kullanımı ise neredeyse sona ermiştir. Çeşitli amaçlar için üretilen hazır betonun istenen özellikleri sağlaması gerekmektedir. Bu nedenle beton ve bileşen malzemeleri konusunda pek çok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmada, farklı oranlardaki filler içerikleri kullanımının, betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Tez kapsamında, farklı oranlarda bağlayıcı ve filler içeren beton numuneleri hazırlanmış, bu numuneler üzerinde; taze beton ve sertleşmiş beton deneyleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen deney sonuçları incelenerek, seçilen filler oranları için beton numuneleri üzerinde performans analizleri yapılmıştır.

Bu çalışmada filler içeriğinin belirli oranlarda kullanımının betonun mekanik karakteristiğini olumlu yönde geliştirdiğini görüyoruz.

Anahtar sözcükler: Filler, Taze ve Sertleşmiş Beton Deneyleri, Hazır Beton

THE EFFECT OF FILLER CONTENTS ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF PORTLAND CEMENT CONCRETE

ABSTRACT

In our country, use of ready-mix concrete in construction sector has increased considerably in recent years, and hand-mix concretes have nearly come to an end. It is necessary that the ready-mix concrete prepared must meet certain specifications. For this reason, numerous studies have been conducted in the subject of concrete and its ingredients. In the current thesis, the effect of the use of filler materials at different ratios on mechanical properties of concrete have been investigated.

In this context, concrete samples involving different ratios of binders and filler were prepared. On these samples, the fresh and hardened concrete experiments were conducted, and the results obtained were examined, and performance analyses were made for the selected filler ratios.

The results obtained in this study show that the use of fillers ingredient at certain rates improves the mechanical characteristics of concrete positively.

Keywords: Filler, Fresh and Hardened Concrete Experiments, Ready-mix Concrete

İÇİNDEKİLER

Sayfa

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ.....	iv
ABSTRACT.....	v
BÖLÜM BİR – GİRİŞ.....	1
BÖLÜM İKİ – LİTERATÜR ÇALIŞMALARI.....	4
BÖLÜM ÜÇ – DENEYSEL ÇALIŞMA	15
3.1 Amaç	15
3.2 Deneysel Çalışmada İzlenen Yol	15
3.3 Beton Bileşen Malzemeleri ve Özellikleri.....	17
3.3.1 Çimento	17
3.3.2 Agregası	18
3.3.3 Karışım Suyu	20
3.4 Agregası Deneyleri.....	21
3.4.1 Elek Analizi Deneyi	21
3.4.1.1 Granülometri Hesabı	22
3.4.1.2 Agregası Karışımının İncelik Modülü Hesabı.....	24
3.4.2 0-5 mm Boyutlu Agregası İçerisindeki Filler Yüzdesinin Hesabı	25
3.4.3 Agregaların Özgül Ağırlık Tayini Deneyi	25
3.4.3.1 İri Malzemelerin Özgül Ağırlık Hesabı.....	26
3.4.3.2 İnce Malzemenin Özgül Ağırlık Hesabı.....	27
3.4.4 Agregaların Absorbsiyon Yüzdelerinin Hesabı	27
3.4.4.1 İri ve İnce Malzemenin Absorbsiyon Yüzdelerinin Hesabı	28
3.5 Beton Karışımlarının Hazırlanması.....	29
3.6 Taze ve Sertleşmiş Beton Deneyleri.....	31
3.6.1 Taze Beton Deneyleri	31

3.6.1.1 Slump Deneyi.....	31
3.6.1.2 Taze Beton Sıcaklık Ölçümü	34
3.6.1.3 Taze Beton Birim Hacim Ağırlık Deneyi.....	35
3.6.1.4 Taze Beton Hava İçeriği Tayin Deneyi	37
3.6.2 Sertleşmiş Beton Deneyleri	40
3.6.2.1 Sertleşmiş Beton Birim Hacim Ağırlık Deneyi	40
3.6.2.2 Sertleşmiş Beton Yarmada çekme Dayanımı Deneyi	42
3.6.2.3 Sertleşmiş Beton Basınç Dayanımı Deneyi.....	45
BÖLÜM DÖRT – SONUÇLAR.....	55
KAYNAKLAR.....	58

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Doğal agregalardan çakıl ve kum, derelerden, eski dere yataklarından oluşan ocaklardan, denizlerden, ova, teras ve çöllerden sağlanır. Dış etkenlere maruz kalan kayalar doğadaki hem fiziksel hem de kimyasal birçok süreç tarafından aşındırılmakta ve bozulmaktadır. Bu bozulma süreçleri sonucu açığa çıkan ürünler, rüzgar, su, yerçekimi, ya da buzul hareketleri ile taşınmakta ve çeşitli boyutlarda zemin minerali olarak çökelmektedir.

Karaların çok içlerine kadar girmiş olan plaj kumları üniform boyutlu malzemelerdir. Büyük miktarlarda çakıl, silt ve kil içermektedir. Bu tip agregalar genellikle kırma, eleme ve yıkama gibi işlemlerden sonra kullanılır. Ancak doğada hiçbir işlem gerektirmeyen temiz, uygun yapı ve dağılımda agrega bulunabilir.

Deniz kumu temiz ve homojen olmasına rağmen içerisinde tuz, midye, istiridye kabukları v.b. canlı kalıntıları bulundurduğundan, bu tür kumların betonda kullanımı sakıncalıdır. Çöl ve ova kumları ise temiz olmalarına rağmen sadece ince tanelerden oluştuğundan beton yapımı için uygun değildir.

İlgili yönetmelikte filler miktarının doğal agrega içerisinde bulunma oranı, maksimum % 4 olarak belirtilmiştir. Ancak kırma-taş üretimi esnasında, bol miktarda filler malzeme oluşmakta ve ince agreganın içerisinde bulunmaktadır. Kırma-taş agreganın yıkanmak suretiyle fillerden arındırılması, arındırma işleminden sonra beton içerisinde kullanılması tavsiye edilmektedir. Bu işlem külfetli ve zaman alıcı olup, ekonomiklikten uzaktır.

Günümüzde beton çok yaygın olarak kullanılmakta olan bir yapı malzemesidir. Beton kullanımına paralel olarak, beton agregasına olan talep de artmaktadır. Doğal agrega kaynaklarının sınırlı olması, rezervlerinin tükenmekte olması ya da uygun olmaması, çevrenin korunmasına yönelik kaygılar ve yüksek dayanımlı betona olan talep, betonda kırma-taş kullanımını gerekli kılmaktadır. Buna paralel olarak doğal

agregaya alternatif olan kırma-taş kullanımı hızla yaygınlaşmıştır. Konkasör tesislerinde kalkerin kırılıp elenmesiyle farklı boyutlarda kırma-taş agregalar elde edilmektedir. Bu işlem sırasında elde edilen ürünlerden biri de filler olarak kullanılan kırma-taş tozudur. Kırma-taşın içinde 0,063 mm elekten geçen taş tozunun bulunması kaçınılmazdır (Özgan, 2005).

TS 706 EN 12620'de ince agrega genel olarak, 0,063 mm açıklıklı elekten geçen kil, silt ve taş-unu gibi yıkanabilir maddeler olarak sınıflandırılmakta ve bunların ince agrega içerisinde maksimum % 4 oranında bulunmasına müsaade edilmektedir (TS 706 EN 12620, 2003). Oysa kırma-taş tesislerinde üretilen agregaların muhteva ettikleri filler malzemesi oranının % 8 ile % 16 oranları arasında olduğu bilinmektedir.

Bu çalışma ile kırma-taş agregası içerisindeki filler malzemesinin betonun mekanik özelliklerine etkisi araştırılarak, filler malzemesinin betonun mekanik özelliklerini olumsuz yönde değiştirmeden kullanılabilmesi için oranlar saptanmaya çalışılmıştır. Böylelikle günümüzde kimyasal kökenine bakılmaksızın % 4 oranından fazla filler malzemesi içeren agregaların yıkanması gerekliliği ortadan kalkabilecektir.

Yine bu çalışma kapsamında filler malzemesinin çimentonun bir kısmı ile yer değiştirip değiştiremeyeceği de araştırılmış olup, betonda çimento tasarrufunun sağlanması hedeflenmiştir.

Hazırlanan beton numunelerinde kullanılan çimento ve 0-5 mm boyutundaki kumun bir kısmı kırma-taş filler ile yer değiştirilmiştir. Hazırlanan beton numuneler üzerinde taze beton ve sertleşmiş beton deneyleri yapılmıştır. Betonun basınç dayanımının betonarme yapıların tasarımında önemli bir etken olması nedeni ile beton numunelerinin özellikle basınç dayanımı deney sonuçları üzerinde durulmuştur.

Deneyler sonucunda kalker kökenli kırma-taş filler malzemesinin betonun mekanik özelliklerine etkisi ve çimentonun bir kısmı yerine kullanılıp kullanılmayacağı incelenmiştir.

Betonda basınç dayanımları haricinde durabilite, nihai dayanımlar, işlenebilirlik, görünüm, rötre çatlakları ve aderans gibi önemli özellikler de dikkate alınmalıdır (Temzibaşoğlu, 1996). Bu nedenle bu çalışmanın kapsamı dışında kalan diğer beton özellikleri ile ilgili kapsamlı çalışmaların da yapılması düşünülebilir.

BÖLÜM İKİ

LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Son yıllarda betonun içindeki bileşen malzemelerden biri olan filler ile ilgili araştırmalar önem kazanmıştır. Bu toz malzemenin ekonomiye kazandırılması oldukça önemlidir. Klinker ile birlikte öğütülerek veya ince toz haline dönüştürüldükten sonra çimentonun sınırlı bir bölümüyle yer değiştirilip kullanılması olanaklarının araştırılmasına gereksinim vardır. Böyle bir çaba daha az yakıt kullanılmasını sağlar ve çevrenin daha az kirlenmesine katkıda bulunur. Öte yandan, kalker tozu betonun ince agregasının bir bölümüyle yer değiştirilerek de kullanılabilir.

Bu amaçla Uchikawa, Hanehara ve Hirao (1996), kalker filleri, yüksek fırın cürufu tozu ve silisli taş tozu kullanarak yaptıkları çalışmada, bu filler malzemeler kimyasal katkıyla birlikte kullanılırsa, taze betonun plastik viskozitesinin artacağı sonucuna varmışlardır.

Birçok araştırmacı tarafından kalker fillerinin çimento özelliklerine etkileri incelenmiştir. Beton literatüründeki mevcut çalışmalara göre, genelde kalker fillerinin % 5-% 6 oranında çimento klinkerinin öğütülmesi sırasında katılmasının negatif bir etki yapmadığı sonucu çıkmaktadır.

Krstulovic, Kamenic ve Popovic (1994), kalker fillerinin çimentodaki hacimsel konsantrasyonunun harç ve beton mukavemetine etkisiyle ilgili istatistiksel değerlendirmeler yapmış ve lineer bağıntılar önermişlerdir.

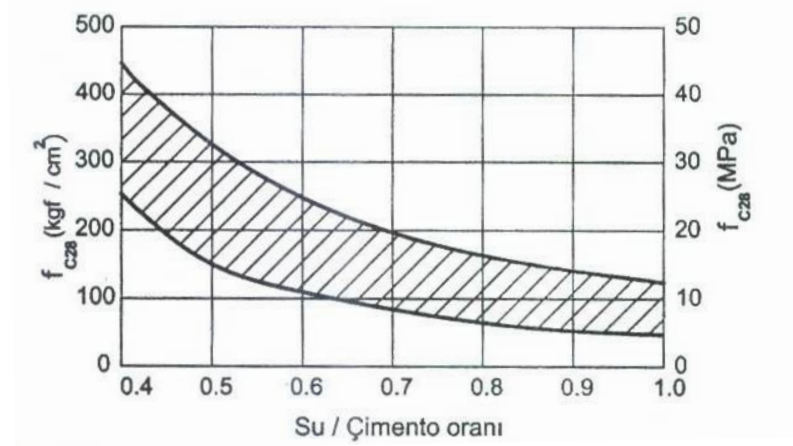
Ülkemiz önemli bir çimento üreticisi olup, çimento üretim miktarında Avrupa'da üçüncü, Dünya'da sekizinci sıradadır (İ.T.Ü.-T.Ç.M.B.-O.D.T.Ü.-Sanayi-Üniversite araştırma geliştirme ve laboratuvar hizmetleri işbirliği, 1995). Başta büyük şehirler olmak üzere beton üretimi için önemli miktarda agregaya gereksinim vardır (Taşdemir ve Atahan, 1996).

Taze betonun işlenebilme niteliği agrega gradasyonu tarafından doğrudan etkilenen bir özelliktir. Agrega gradasyonu iyi olmadığı takdirde, istenilen işlenebilmeyi elde edebilmek için betona daha çok su katmak gerekmektedir ki, bu durum, su/çimento oranını yükseltmekte, betonun dayanımının ve dayanıklılığının düşük olmasına yol açmaktadır. Şayet, su artırıldığında, çimento miktarı da artırılacak olursa, bu durumda da, hem fazla miktardaki çimentonun etkisiyle sertleşmiş betonda daha fazla büzölmeye yol açılmakta, hem de ekonomik beton elde edilememektedir (Erdoğan, 2003).

Betonların basınç dayanımları, beton karışımlarının hazırlanmasında betonun dikkate alınan en önemli özelliğidir. Beton basınç dayanımları betonun yük altında gösterdiği kırılmaya karşı dirençtir. Betonun yük altında kırılması, çimento hamurunun veya agreganın yeterli direnci gösterememesinden, ya da, çimento hamuru ile agrega taneleri arasındaki aderansın yeterince yüksek olmamasından kaynaklanmaktadır. Bir başka deyişle, beton dayanımı, çimento hamurunun dayanımı, agreganın dayanımı ve çimento hamuru ile agrega taneleri arasındaki aderansın büyüklüğüne bağlıdır. Beton dayanımını etkileyen başlıca faktörler şunlardır (Erdoğan, 2003):

- Su/çimento oranı
- Karma suyunun kalitesi
- Agreganın gradasyonu
- Maksimum agrega tane boyutu
- Agrega tane şekli
- Agrega tanelerinin yüzey dokusu
- Agregada bulunan zararlı maddelerin miktarı
- Çimentonun özellikleri
- Beton yapımında kullanılan mineral veya kimyasal katkıların özellikleri ve miktarları
- Betonun karılması, taşınması, yerleştirilmesi ve sıkıştırılması işlemleri
- Betonun hazırlandığı, döküldüğü ve kür edildiği ortamlardaki sıcaklık ve nem miktarı

Betonun dayanımını etkileyen en önemli faktör s/ç oranıdır. Şekil 2.1'de su/çimento oranının dayanıma etkisi sunulmuştur.



Şekil 2.1 Su/çimento oranının beton dayanımına etkisi (Ersoy ve Özcebe, 2001)

Filler malzemesinin betonda kullanımı ile ilgili önceki çalışmalar

Betonun fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesine yönelik çok sayıda araştırma yapılmıştır.

Ünal ve Kibici (2001), mermer tozu atıklarının (havuz çözültisi) beton karışımı içerisinde ince malzeme olarak kullanılması durumunda beton basınç dayanımına etkisini araştırmışlardır. Araştırmacılar deneysel çalışmalarında kum olarak kırma-taş malzeme, çimento olarak da PKÇ 32,5 tipi katkıli portland çimentosu kullanmışlardır.

Araştırma kapsamında tüm beton karışımlarının s/ç oranlarını ve slump değerlerini sabit tutmuşlardır. Mermer tozu (havuz çözültisi) katkıli beton bileşimlerinde çimento dozajı 300 ve 350 kg olmak üzere iki seri karışım amaçlamışlardır. Karışıma ekledikleri mermer tozu miktarlarını da hacimce % 0, % 10, % 15 ve % 20 oranlarında değiştirmişlerdir.

Araştırmacılar taze beton üzerinde birim hacim ağırlık, çökme ve hava boşluğu tayini deneylerini, sertleşmiş beton numuneler üzerinde de 28 günlük basınç mukavemet deneyi, ultrases hızı deneyi, su emme deneyi ve yarmada çekme deneyi yapmışlardır.

Araştırmacılar sonuç olarak, mermer tozlarının beton karışımında kullanılmasının beton kalitesine olumsuz bir etki yapmadığını, mermer atıklarının beton tesislerinde ince malzeme olarak değerlendirilebileceğini böylece ekonomiye katkısının yanında çevresel kirliliğin de azalmasını sağlayabileceğini belirlemişlerdir.

Terzi (2000), deneysel çalışmasında, mermerlerin kesilmeleri esnasında ortaya çıkan mermer tozu atıklarının asfalt betonunda filler malzemesi olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır.

Araştırmacı optimum filler yüzdesi ve optimum bitüm yüzdesini kullanarak, mermerlerin filler malzemesi olarak kullanıldığı Marshall numuneleri hazırlamış ve plastik deformasyon deneyi ile birim deformasyonları elde etmiştir. Elde ettiği deformasyonları karşılaştırmış ve mermer atıkları kullanarak hazırladığı karışımların öğütülen mermer parçaları ile hazırladığı karışımlara göre birim deformasyonlarının alt ve üst sınırlar arasında olduğunu gözlemlenmiştir. Bunun sonucu olarak, atık içerisinde bulunan diğer kimyasal ve metal atıkların birim deformasyon değeri üzerinde fazla bir etkisi olmadığı kanaatine varmıştır.

Sonuç olarak Terzi, özellikle mermer tozunun yaygın olarak bulunduğu bölgelerde, taşıma ve kurutma maaliyetlerinin taş tozu filler maaliyetini geçmediği kesimlerde, asfalt betonu karışımlarında taş tozu yerine mermer tozunun filler malzemesi olarak kullanılabilmesi kanaatine varmıştır.

Taşdemir ve Atahan (1996), filler malzemelerin betonun mekanik özelliklerine ve durabilitesine etkilerini incelemişlerdir. Araştırmacılar deneysel çalışmalarında, PÇ 32,5 cinsindeki çimento, agrega olarak doğal ve kırma-taş agrega, kalker filleri,

akışkanlaştırıcı olarak naftalin sülfonat esaslı süper akışkanlaştırıcı ve silis dumanı kullanmışlardır.

Çalışmalarında araştırmacılar çimento ağırlığının % 10'u oranında mineral filler malzeme (kalker filleri veya silis dumanı) kullanmışlardır. Her beton serisinde su/(çimento+filler malzeme) oranını ve hazırlanan beton karışımların çökme değerlerini (80-90 mm) sabit tutmuşlardır. Ürettikleri betonların adlandırılmasında NB, KB ve SB sembollerini kullanmışlardır. Bu kodlamalar sırasıyla, normal betonu (kontrol betonu), kalker filleri içeren betonu ve silis dumanı içeren betonu simgelemektedir.

Hazırlanan beton numuneler üzerinde çökme deneyi, hava içeriği tayini deneyi, kompasite deneyi, taze beton birim hacim ağırlık deneyi, basınç dayanımı deneyi, eğilme dayanımı deneyi ve gevreklik indisi tayini deneyi yapılmıştır.

Deneysel çalışma sonucunda araştırmacılar çimento ağırlığının % 10'u kadar kalker filleri kullanımının betonun mekanik dayanımlarını fazla etkilemediğini, kalker fillerinin çimentonun klinkeriyle birlikte öğütülerek veya çimentoya doğrudan katılarak kullanılmasının yakıt tasarrufu sağlayacağını ve çevrenin daha az kirlenmesine katkıda bulunulacağını, kalker fillerinin ince agreganın bir bölümü yerine kullanılabileceğini, böylece betonda en zayıf halka olarak bilinen agrega-harç ara yüzündeki boşlukların doldurulmasında kalker fillerinin önemli rol oynayacağını, betonun geçirimliliğinin ve durabilitesinin olumlu yönde etkileneceğini belirlemişlerdir.

Uğurlu (1996), taş-unu katılmayan referans beton ile değişik oranlarda taşunu içeren betonları, sertleşmiş bazı beton özellikleri açısından karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Araştırmacı deneysel çalışmasında agrega olarak kırma-taş agrega ve doğal kum, filler malzemesi olarak kırma-taş taşunu, çimento olarak da CEM I 32,5 tipi çimento kullanmıştır.

Araştırma kapsamında, kırma-taş ve doğal kumdan hazırlanan beton karışımlar olmak üzere 2 ana seri oluşturulmuştur. Her seride 200, 275 ve 350 kg/m³ çimento dozajları esas alınmış ve bir adet referans, dört adet 0-2 mm boyutlu agregadan % 3, % 7, % 10 ve % 15 oranlarında azaltma yapıp yerine taşunu ikame ederek beton karışımları hazırlanmıştır. Beton karışımları hazırlarken herhangi bir kimyasal katkı kullanılmamıştır.

Hazırlanan beton numuneler üzerinde özgül ağırlık deneyi, su emme deneyi, boşluk oranı tayin deneyi, geçirgenlik deneyleri, basınç dayanımı deneyi ve eğilmede çekme dayanımı deneyi uygulanmıştır.

Deneysel çalışma sonucunda araştırmacı aşağıdaki sonuçlara varmıştır:

1. Betonun basınç dayanımı, çekme dayanımı, geçirgenliği, su emme yüzdesi üzerinde bağlayıcı hamurun önemli bir etkisi vardır. Betonun birçok özelliğinin bağlayıcı hamurun yapışma duyarlı olduğu düşünülecek olursa bu yapının değiştirilmesi sonucu beton özellikleri de değişmektedir.
2. Beton içerisine çimento ile aderans verebilecek yapıda herhangi bir malzeme konulması durumunda betonun mikro ve makro yapısı değişerek taze ve sertleşmiş beton özellikleri etkilenmektedir. Bu etkileşim su/çimento oranları yaklaşık aynı olan bütün beton serileri üzerinde somut olarak izlenebilir.
3. Klasik beton anlayışı sonucu, betonda makro ve mikro yapıya duyarlı özelliklerin su/çimento oranıyla doğrudan ilgili olduğu bilinir. Yapılan çalışma ile bu yaklaşım kendi içerisinde saklı kalmak koşuluyla geliştirilmiştir. Şöyle ki; aynı su/çimento oranlarına sahip beton serilerinde su/çimento oranı % 4-6 arasında artmasına rağmen taş-unu ilavesi ile (daha düşük su/çimento oranına sahip betonlara göre) beton özelliklerinde iyileşmeler tespit edilmiştir.
4. Betona taş-unu ilavesiyle betonun basınç ve çekme dayanımlarında bir artış olduğu tespit edilmiştir. Betonun geçirgenliği, su emme yüzdesi ve porozitesinde de azalmalar gözlenmiştir. Beton özelliklerinde meydana

gelen bu iyileşmeler, taş-unu içeriğinin % 7 ve % 10 değerleri için maksimumdur. Taş-unu içeriğinin % 10'u geçmesi durumunda beton özellikleri ya değişmemekte ya da olumsuz yönde değişmektedir.

5. Özellikle düşük dozlu karışımlarda (200 kg/m^3) beton içerisine taş-unu ilave etmenin yararı, betonun kohezyonu, işlenebilirliği ve kompositesi açısından bir zorunluluk olarak karşımıza çıkmaktadır.
6. Yine daha önce yapılan benzer çalışmalarda taş-unu içeriğinin artması ile kuruma rötresinde artışlar olduğu tespit edilmiştir. Bu sebeple % 10'dan fazla taş-unu kullanılması doğru değildir.

Özgan (2005), kırma-taş agrega içerisindeki taş-unu miktarının betonun basınç dayanımına etkisini araştırmıştır. Deneysel çalışmada kırma-taş agrega, kırma-taş taş-unu ve CEM I 32,5 tipindeki çimento kullanmıştır.

Araştırmacı çalışmasında beton numunelerine, ince agregadan ağırlıkça azaltarak yerine yine ağırlıkça taş-unu ilave etmiştir. Çimento dozajını ve numunelerin çökme değerlerini sabit tutmuştur. Kontrol numunesinden % 0, % 5 ve % 10 oranlarında ince agregadan azaltma yaparak taş-unu ilave etmiştir.

Deneysel çalışma sonucunda Özgan taş-unu miktarı arttıkça betonun basınç dayanımının arttığını belirlemiştir. Araştırmacı taş-ununun beton içerisindeki boşlukları doldurarak betonun kompozitesini arttırdığı ve bu neden betonun basınç dayanımının olumlu yönde etkilendiği, bununla birlikte üretilen betonlarda agrega içerisinde bulunan taş-unu miktarının belirli bir orandan fazla olması durumunda yıkanması gerektiği sonucuna varmıştır.

Temzibaşoğlu (1996), kırma-taş tozunun betonda kullanılabilirliğini araştırmıştır. Çalışmada agrega olarak kırma-taş, çimento olarakta CEM I 32,5 tipindeki çimento ve kimyasal katkı olarakta normal akışkanlaştırıcı katkı kullanmıştır.

Araştırmacı deneysel çalışmasında kum ve kırma-taş tozu yüzdeleri arasındaki değişimi, ince agrega olarak tamamen kırma-taş tozundan başlayıp (% 100 kırma-taş

tozu), % 10 artırımlarla tamamen kuma kadar yapmıştır. Çimento dozajı ve çökme değerleri sabit 11 seri olarak hazırlamıştır.

Çalışmalar sonucunda araştırmacı kırma-taş miktarı arttıkça, aynı kıvama getirmek için gereken karışım suyu miktarının arttığını, betonun işlenebilirliğinin olumsuz yönde etkilendiğini ancak kırma-taş toz miktarı ile basınç dayanımlarının arttığını, beton karışımında kırma-taş tozu miktarı arttıkça taze beton birim hacim ağırlığının da arttığını, bu durumda kırma-taş tozunun, betonu daha boşluksuz daha az geçirgen hale getirdiğini belirlemiştir.

Christianto (2004), kimyasal ve mineral katkıların kendiliğinden yerleşen harçların taze durumdaki özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Çalışmada, dört farklı mineral katkı, üç farklı süper akışkanlaştırıcı katkı ve iki farklı viskozite iyileştirici katkıyı değişik oranlarda kullanarak, kendiliğinden yerleşen harç üretilmiştir. Mineral katkı olarak, uçucu kül, tuğla tozu, kalker tozu ve kaolin kullanılmıştır.

Tüm karışımlardaki toplam su miktarı eşit tutulmuştur. Harçların işlenebilirliklerinin tespiti için, yayılma testi (akma gerilmesi ile ilintili olarak kendiliğinden yerleşme kabiliyeti) ve V-hunisi (viskozite ile bağlantılı olarak huniden boşalma süresi) deneyleri yapılmış, ayrıca farklı katkı maddelerinin betonun priz süresine etkilerini tespit etmek amacıyla tüm karışımların priz süreleri ölçülmüştür. Betonun sertleşmiş özelliklerini ölçmek amacıyla tüm karışımların, 7, 28 ve 56 günlerde ultrasonik ses hızları tesbit edilmiştir.

Çalışması sonucunda Christianto uçucu külün ve kalker tozunun işlenebilirlikleri artırmasına rağmen, bu mineral katkıların çimento yerine kullanılması durumunda basınç dayanımlarını azalttığını ancak ince agrega yerine kullanılabileceklerini belirlemiştir.

Yahia, Tanimura ve Shimoyama (2005), toz içeriğinin ve s/ç oranının kırma-taş filler içeren yüksek oranda akışkan harçların reolojik özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Araştırma kapsamında araştırmacılar çimento ağırlığının % 1,6'sı ile % 2,2'si oranında katkı kullanmışlardır. Su/çimento oranını 0,35, 0,40 ve 0,45 olarak seçmişlerdir. Kırmataş tozunu çimentonun hacimce % 0 ve % 50'si oranında kullanmışlardır.

Araştırmacılar belirtilen su/çimento oranlarında ve katkı dozajlarında kırma-taş tozunun harçlara ilavesinin, harçların akışkanlığına bir etkisi olmadığını ancak kritik dozajlardaki kırma-taş tozunun kullanımının, harçların vizkozitesini arttırdığını belirlemişlerdir. s/ç oranı 0,35 olan numunelerde toz miktarının toplam harç miktarının hacimce % 23 ile % 29'u arasında olduğu, s/ç oranı 0,40 ve s/ç oranı 0,45 olan numunelerde ise sırasıyla toz miktarının toplam harç miktarının hacimce % 25 ile % 35 ve % 23 ile % 38'i arasında olduğu karışımların, harç özelliklerini olumlu yönde geliştiren toz içeriğine sahip karışımlar olduğunu belirlemişlerdir.

Nambiar ve Ramamurthy (2005), farklı tipteki filler malzemelerinin köpük betonun özelliklerine etkilerini incelemişlerdir. Araştırma kapsamında filler malzeme olarak kırma-taş tozu ve uçucu kül kullanılmıştır. Köpük beton yoğunluğu 1000, 1250 ve 1500 kg/cm³ olmak üzere 3 seri olarak seçilmiş ve 4 farklı karışım hazırlanmıştır. İlk 3 karışımın hazırlanışında çimento; kum, kırma-taş tozu ve uçucu kül ile 1:1 oranlarında kullanılmış, son karışımında ise çimento, kırma-taş tozu ve uçucu kül 1:0,5:0,5 oranlarında kullanılmıştır.

Deneysel çalışma sonucunda araştırmacılar çimento-kum ve çimento-uçucu kül karışımlarının daha yüksek su emme değerleri verdiğini belirlemişlerdir. Çimento-uçucu kül karışımı en yüksek dayanımı vermiş ve yine çimento-uçucu kül karışımı aynı yoğunluklarda daha yüksek akışkanlık sağlamıştır.

Topçu ve Uğurlu (2003), filler içeriğinin betonun özelliklerine etkilerini incelemişlerdir. Araştırmalarında kapsamında agrega olarak doğal ve kırma-taş agrega kullanmışlardır. Deneysel çalışmalarında filler malzemesini % 3-7-10 ve 15

oranlarında ince agrega ile yer değiştirmişlerdir. S/ç oranını değişken tutup, karışımların çökme değerlerini 100 mm ve 110 mm arasında sabitlemişlerdir. Çimento dozajı olarak da 200, 275 ve 350 kg/cm³ olmak üzere üç seri seçmişlerdir.

Topçu ve Uğurlu beton karışımlarının porozitelerinin, su emme kapasitelerinin ve permeabilitelerinin düştüğünü belirlemişlerdir. Araştırmacıların bulgularına göre filler malzemesinin % 7 oranında kullanımına kadar beton özelliklerinde düzelmeler olmakta ancak % 10 ve daha fazla kullanımı beton özelliklerini değiştirmemekte ya da olumsuz etkilemektedir. Özellikle 200 kg/m³ dozlu çimento kullanılıp, düşük mukavemetli betonlar hedeflenerek hazırlanan karışımlarda filler malzemesinin kullanımı gerekli olmaktadır.

Moosberg-Bustnes, Lagerblad ve Forsberg (2004), filler malzemesinin beton üzerindeki işlevini incelemişlerdir. Araştırmacılar çalışmalarında agrega olarak kırma-taş, filler olarak kuvars, çimento olarak da CEM I 42.5 tipi çimento kullanmışlar, beton karışımlarda s/ç oranlarını değişken tutmuşlardır. Filler malzemesinin değişimini % 10-20-30-40 ve 50 oranlarında agrega ile hacimsel olarak yapmışlardır. Deneysel çalışma sonucunda araştırmacılar filler miktarının artmasıyla, betonun basınç dayanımının da arttığını belirlemişlerdir.

Ludgren (bt), kırma-taş filler malzemesinin çimento hamurunun erken yaş ve düşük sıcaklıktaki dayanım gelişimini araştırmıştır. Deneysel çalışmasında s/ç oranını değişken kabul etmiş ve CEM I 42,5 tipi çimento kullanmıştır. Karışımları 5 °C ve 20 °C sıcaklıklarda hazırlamıştır. Filler malzemesi olarak silika dumanı ve kırma-taş unu kullanmıştır.

Çalışmalar sonucunda araştırmacı kırma-taş filler malzemesinin düşük sıcaklıklarda 0,2 ve 0,5 oranlarında kullanılması halinde verim oranı katsayısının (k) maksimum değere ulaştığı, silika dumanı ile hazırlanan karışımların k katsayısının erken yaşlardaki değerinin, kırma-taş ile hazırlanan karışımların k katsayısından daha büyük olduğunu belirlenmiştir. Ancak ileriki yaşlardaki basınç dayanımları

karşılaştırıldığında, kırma-taş ile hazırlanan karışımların silika dumanı ile hazırlanan karışımlardan daha yüksek dayanım değerleri verdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Baum ve Katz (bt), filler malzemesinin beton karışımlarına etkisini araştırmışlardır. Araştırmaları kapsamında kırma-taş ve kuvars olmak üzere iki çeşit filler malzemesi kullanılmış, beton karışımlarının s/ç oranları 0,50 ve 0,72 olarak alınmıştır. İnce kırma-taş agregası içerisindeki filler malzemesinin bünyesinde kil olduğu ve filler malzemesinin kil içeriğinden arındırılmadan kullanıldığı sürece betonun mekanik özelliklerinin olumsuz etkilendiği belirlenmiştir. Ancak kil içeriğinden arındırılan karışımlarda filler malzemesinin miktarı arttıkça beton özelliklerinin olumlu yönde geliştiği ve özellikle s/ç oranı 0,50 olan karışımlarda bu gelişmenin s/ç oranı 0,72 olan karışımlara göre daha belirgin olduğu görülmüştür.

Zhu ve Gibbs (2002), kendiliğinden yerleşen betonlarda farklı kırma-taş ve kireçtaşı tozunun kullanımının etkilerini araştırmışlardır. Araştırmalarında CEM I 42,5 tipi çimento ve hiper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanmışlardır. Hazırladıkları karışımlarda kırma-taş/kireçtaşı oranını % 55, % 44 ve % 25, s/ç oranlarını da 0,69, 0,57 ve 0,42 olarak seçmişlerdir.

Araştırmacılar çalışmaları sonucunda kırma-taş veya kireçtaşı tozunun beton karışımlarda hiper akışkanlaştırıcılarla kullanılmasının hem beton karışımlarda ekonomiklik sağladığını hem de kontrol karışımına göre basınç dayanımlarının 7 günde % 60-80, 28 günde de % 30-40 oranında arttığını belirlemişlerdir.

Ramachandran (1995), yaptığı çalışmada CaCO_3 'ün C_3S ile tepkimeye girmesini ve tepkime neticesinde C_3S 'in zamana bağlı hidratasyonundaki değişimi incelemiştir. Araştırmacı yaptığı deneysel çalışma sonucunda CaCO_3 miktarının artmasıyla C_3 'ün hidratasyonunun arttığını belirlemiştir.

BÖLÜM ÜÇ

DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1 Amaç

Çalışmanın amacı, filler katılmayan referans beton ile değişik oranlarda filler içeren betonları, taze ve sertleşmiş beton özellikleri açısından karşılaştırmalı olarak incelemek ve belirli bir çimento dozajına sahip bir betonda kullanılan çimentonun bir bölümünü kalker filleri ile değiştirerek, bu filler malzemelerin betonun mekanik özelliklerine etkisini araştırmaktır.

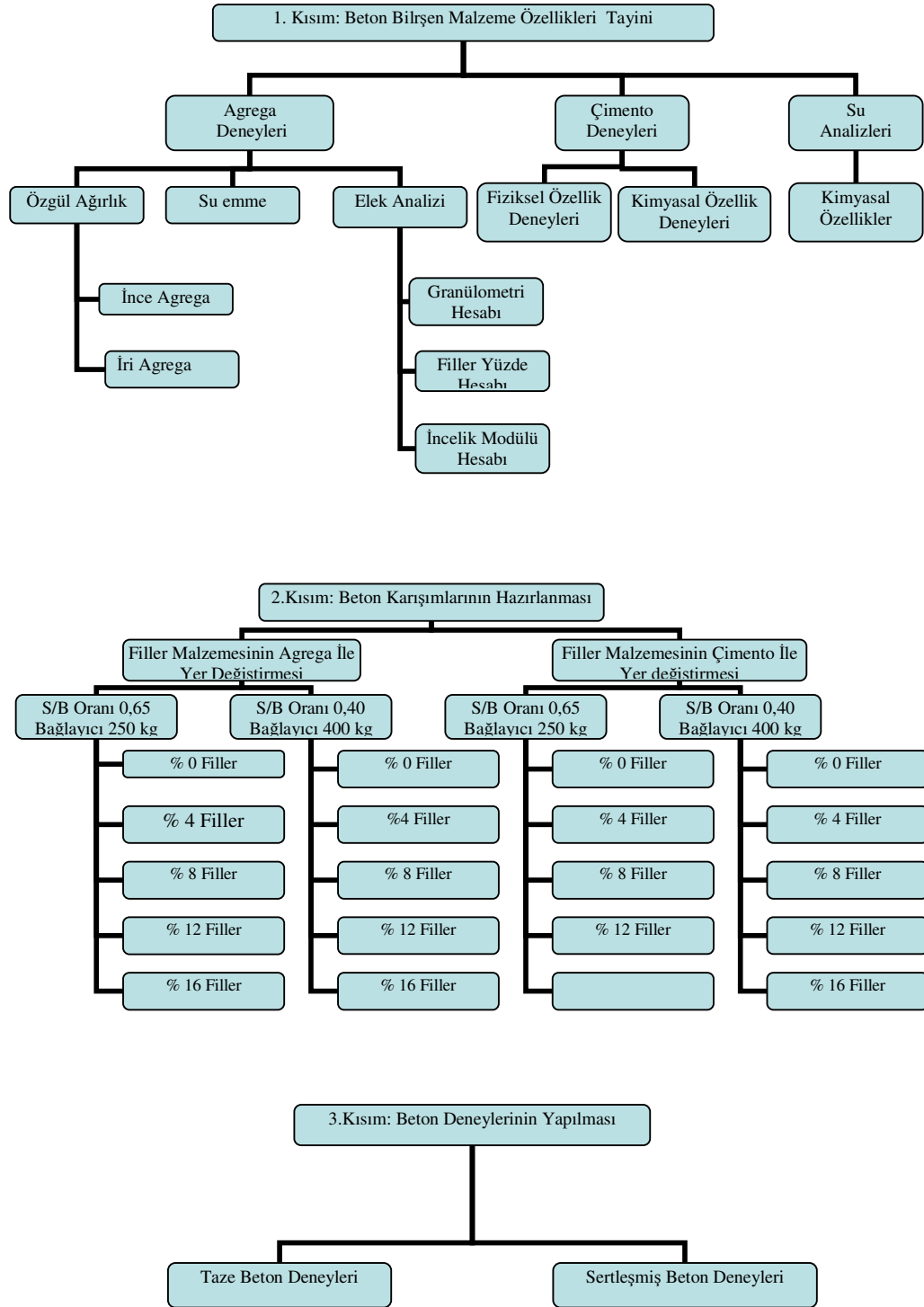
3.2 Deneysel Çalışmada İzlenen Yol

Öncelikle deneysel çalışmada kullanılacak beton bileşen malzemeler seçilmiş ve temin edilecek kuruluşlar belirlenmiştir. Çimento olarak, Burdur iline bağlı Bucak ilçesinde faaliyet gösteren As Çimento A.Ş.'ne ait CEM I 42,5 türü çimento; agregası olarak da yine Burdur iline bağlı Karaçal ilçesinde faaliyet gösteren Gürler A.Ş.'ne ait konkasör tesisinde üretilen kırma-taş agregası kullanılmasına karar verilmiştir.

Temin edilen agregalar üzerinde elek analizi, filler içeriği tayini, özgül ağırlık deneyi, doymuş kuru yüzey özgül ağırlık deneyi ve absorpsiyon yüzdesi hesabı yapılmıştır. İnce malzemenin filler yüzdesi tayini ile 0,063 mm elekten geçirilerek elde edilen çok ince kırma-taş malzeme, filler olarak kullanılmıştır. Beton karışımları hazırlanırken fillerden tamamen arındırılan 0-5 mm boyutundaki ince malzeme kullanılmıştır.

Beton karışımları, 0-5 mm boyutundaki ince malzeme veya bağlayıcı yerine % 0, % 4, % 8, % 12 ve % 16 oranlarındaki filler malzeme kullanılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan beton numunelerinde bağlayıcı miktarı 250 ve 400 kg'da; su/çimento oranı da 0,65 ve 0,40'da sabit tutulmuştur. Su/çimento oranı 0,65 ve bağlayıcı miktarı 250 kg olan numuneler düşük mukavemetli betonlar; su/çimento oranı 0,40 ve bağlayıcı miktarı 400 kg olan numuneler ise yüksek mukavemetli betonlar

amaçlanarak hazırlanmıştır. Deneysel çalışmada izlenen yol 3 ana kısma ayrılmış ve bu kısımlar Şekil 3.1’de ayrıntılı olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Deneysel çalışma akış şeması

3.3 Beton Bileşen Malzemeleri Ve Özellikleri

Beton, kum-çakıl-çimento ve suyun uygun oranlarda karıştırılması ile elde edilen bir yapı malzemesidir. Sözü edilen bu malzemelerin karışımıyla, içine koyulduğu kalıbın şeklini alan plastik bir malzeme elde edilir. Beton kalıba döküldükten kısa bir süre sonra katılaşır ve zamanla dayanım kazanır. Betonun özellikleri, karışımında kullanılan malzemelerin özellikleri ve karışım oranlarıyla yakından ilgilidir. Farklı nitelikli malzemeler ve bazı katkı maddeleri kullanılarak farklı özelliklerde betonlar elde edilebilir.

3.3.1 Çimento

Çimento, kalker ve kireç taşları karışımının yüksek sıcaklıkta pişirildikten sonra öğütülmesi ile elde edilen bir malzemedir. Su ile etkileşime girdiğinde bağlayıcı özelliğini kazandığından “hidrolik bağlayıcı” olarak adlandırılır. Su ile karıştırılıp hamur haline getirildikten sonra havada veya su içinde bırakılırsa yavaş yavaş katılaşarak taşlaşmaya başlar. Priz olarak adlandırılan bu katılaşmanın süresi ortam koşullarına bağlıdır.

Çimentolar üretim biçimlerine ve üretimde kullanılan hammaddelerine göre çeşitli türlerde bulunabilir. Yapılarda en yaygın olarak kullanılan tür portland çimentosudur. Portland çimentoları TS 19’a uygun olmak zorundadır. Portland çimentoları TS 19’da basınç dayanımlarına göre üç sınıfa ayrılmışlardır: CEM I 32.5, CEM I 42.5 ve CEM I 52.5. Buradaki değerler, MPa (N/mm²) cinsinden 28 günlük basınç dayanımlarına karşı gelmektedir.

Bu çalışmada kullanılan çimento, Burdur ili Bucak ilçesinde faaliyet gösteren As Çimento’den temin edilmiştir. CEM I 42,5R tipindeki çimento, deneylerin yapılacağı zamanlarda dökme olarak hazır beton santraline sipariş edilmiş, gelen silobastan deneyde kullanılacak çimento numuneleri alınmıştır. Tez kapsamında kullanılan CEM I 42,5 tipindeki çimentoya ait kimyasal ve fiziksel deneyler, As Çimento inşaat

laboratuvarında yaptırılmış ve elde edilen sonuçlar, Tablo 3.1 ve Tablo 3.2’de sunulmuştur.

Tablo 3.1 CEM I 42,5 tipi çimentonun kimyasal özellikleri

Kimyasal Deneyler	Analiz Sonuçları (%)	TSE EN 197-1’deki Karakteristik Değerler (%)
Kükürt Trioksit (So ₃)	2,67	≤ 4,0
Magnezyum Oksit (MgO)	1,02	≤ 5,0
Kızdırma Kaybı	3,11	≤ 5,0
Çözünmeyen Kalıntı	0,52	≤ 5,0
Klorür Muhtevası	0,0045	≤ 0,10

Tablo 3.2 CEM I 42,5 tipi çimentonun fiziksel özellikleri

Fiziki Deneyler	Analiz Sonuçları	TSE EN 197-1’deki Karakteristik Değerler
Priz Başlaması (dakika)	135	≥ 60
Priz Sonu (dakika)	240	-
Hacim Genleşmesi (mm)	1,0	≤ 10
Özgül Ağırlık (cm ³ /gr)	3,130	-
Özgül Yüzey (cm ² /gr)	3578	-
2 Günlük Basınç Mukavemetleri (MPa)	32,3	≥ 20
7 Günlük Basınç mukavemetleri (MPa)	46,0	-
28 Günlük Basınç mukavemetleri (MPa)	-	≥ 42,5 ; ≤ 62,5

3.3.2 *Agrega*

Agrega, “harç veya beton oluşturmak amacıyla bir bağlayıcı madde ile veya temel tabakalarında, demiryolu balastlarında vb. işlerde tek başına kullanılan kum, çakıl, deniz kabuğu, cüruf ya da kırma-taş gibi mineral kompozisyonlu granüler (taneli) bir

malzemedir” (ASTM, 2003) şeklinde tanımlamaktadır. Agregada betonun hacim olarak % 60 ile % 80’ ini oluşturmaktadır (Ün, 2007).

Çimentonun su ile birlikte meydana getirdiği hamur, agregayı birbirine bağlayarak dayanımı yüksek bir malzemenin ortaya çıkmasını sağlar. Betonun dayanımında en önemli etken doluluğudur. Bu da agreganın granülometresinin iyi olmasına bağlıdır (Kırçıl, 2006).

Yapay agregada, uygun nitelikteki taşların konkasör ile kırılması ile elde edilir ve kırma-taş ya da mıcır olarak adlandırılır. Kullanılan agreganın özellikleri TS 706’ya uygun olmalıdır. Ayrıca, TS 500’de, betonun karışımında kullanılacak agreganın çapı için aşağıdaki koşullar verilmektedir:

“Betonda kullanılacak agreganın en büyük dane çapı, kalıp genişliğinin 1/5’inden, döşeme derinliğinin 1/3’ünden ve iki donatı çubuğu arasındaki uzaklığın 3/4’ünden büyük olmamalıdır”

Bu çalışmada kullanılan kırma-taş agregada Burdur ili Karaçal ilçesinde faaliyet gösteren Gürler A.Ş.’ne ait kırma-taş tesisinden temin edilmiştir. Agregada ait kimyasal özelliklerin belirlenmesi amacıyla Türk Standartları Enstitüsü (T.S.E.) İnşaat Laboratuvarları’nda yaptırılan deneylerden elde edilen değerler Tablo 3.3’de verilmiştir.

Tablo 3.3 Agregada ait kimyasal özellikler

Asitte çözünen sülfat değeri	AS _{0,2} *
Los Angeles katsayısı kategorisi	LA ₂₅ **
Donma çözünme kategorisi	F ₁ ***
Alkali-silika reaktifliği	% 0,051
Klorür (tüm sınıflar için)	% 0,0029

* Havada soğutulmuş yüksek fırın cürufu dışındaki agregalar için asitte çözülebilen sülfat muhtevası kütlece yüzde 0,2’den küçük ve eşit ise, kullanılan agregada AS_{0,2} kategorisine girmektedir.

** Agregadaki kayıp yüzdesi 25’ten küçük ve eşit ise, kullanılan agregada LA₂₅ kategorisine girmektedir.

*** Betonda kullanılan agregalarda, donma çözünme kütlece yüzde kaybı 1’den küçük ve eşit ise, kullanılan agregada F₁ kategorisine girmektedir.

3.3.3 Karışım Suyu

Doğal suların tamamı ve bütün içme suları beton üretiminde kullanılabilir. Karışım suyunda yüksek miktarda kil, organik madde, klorür, sülfat, madeni yağ ve endüstri atıkları bulunması sakıncalıdır. Dolayısıyla bataklık ve endüstri atık suları analiz edilmeden kullanılmamalıdır. Deniz suyunun karışım suyu olarak kullanılması, donatıda korozyona neden olan tuz içerdiğinden, uygun değildir (Kırçıl, 2006).

TS 266’da içme suyu olarak “İçme ve kullanma suları; genel olarak, içme, yemek yapma, temizlik, gıda maddelerinin hazırlanması (gıda maddesi ile doğrudan temas eden) vb. amaçlar için kullanılan, orijinal haliyle veya arıtıldıktan sonra bu standardda belirtilen özellikleri sağlayan, dere, nehir, göl, baraj vb. suları ile kaynak sularıdır“ ifadesi yer almaktadır (TS 266, 1997).

Beton karışımında kullanılan su, Gürler A.Ş.’ne ait hazır beton tesisindeki artezyenden temin edilmiştir. Kullanılan suya ait analizler, T.S.E İnşaat Laboratuvarları’nda yaptırılmış ve elde edilen analiz değerleri Tablo 3.4’de sunulmuştur.

Tablo 3.4 Kullanılan karışım suyuna ait analiz değerleri (mg/lt)

Kimyasal Özellikler	Analiz Sonuçları	TS EN 1008’deki Karakteristik Değerler
Klorür İçeriği	40,2	4500
Sülfat İçeriği	289,8	2000
Alkali İçeriği	113,5	1500
Fosfat İçeriği	100,0	100
Nitrat İçeriği	27,1	500
Kurşun İçeriği	0,009	100
Çinko İçeriği	0,037	100

3.4 Agrega Deneyleeri

Beton tasarımlarında, karışımların hazırlanabilmesi için, bileşen malzemelerden kırmataş agreganın bazı fiziksel özelliklerinin biliniyor olması gerekmektedir. Bu fiziksel özelliklerin tespiti amacıyla agrega deneyleeri yapılmıştır.

3.4.1 Elek Analizi Deneyi

Agregalarda elek analizi deneyi yapılarak agreganın granülometrisi tespit edilebilmektedir. Elek analizi agregayı muhtelif eleklerden eleyerek yapılmaktadır. Elekler dairesel veya kare boyutlarda gözlerden meydana gelmektedir. Beton agregalarında standart elek boyutları 0,25 mm-0,5 mm-1 mm-2 mm-4 mm-8 mm-16 mm ve 32 mm'den oluşmaktadır.

Bu tez kapsamındaki deneysel çalışmalarda elek analizi ilgili standartlarda da belirtilmiş olan çeyrekleme yöntemi ile yapılmıştır. Elek analizi yapılacak agreganın çeyrekleme yöntemi ile seçilmesinden sonra, agrega numuneleri etüvde 1 gün boyunca bekletilerek tamamiyle kuru hale getirilmiştir. 0-5, 5-15 ve 15-25 mm boyutundaki agregaların elek analizi sonuçları Tablo 3.5, Tablo 3.6 ve Tablo 3.7'de verilmiştir.

Tablo 3.5 15-25 mm boyutlu agreganın elek analiz sonuçları

Elek no.	Elekte Kalan (gr)	Kümülatif Kalan (gr)	Elekte Kalan (%)	Elekten Geçen (%)
32	0	0	0	100
16	6456	6456	43,0	57,0
8	8310	14766	98,4	1,6
4	198	14964	99,8	0,2
2	0	14964	99,8	0,2
1	0	14964	99,8	0,2
0,5	0	14964	99,8	0,2
0,25	0	14964	99,8	0,2
PAN	36	15000	100	0

Tablo 3.6 5-15 mm boyutlu agreganın elek analiz sonuçları

Elek no.	Elekte Kalan (gr)	Kümülatif Kalan (gr)	Elekte Kalan (%)	ElektenG (%)
32	0	0	0	100
16	0	0	0	100
8	2852	2852	57,0	43,0
4	1837	4689	93,8	6,2
2	227	4916	98,3	1,7
1	39	4955	99,1	0,9
0,5	8	4963	99,3	0,7
0,25	10	4973	99,5	0,5
PAN	27	5000	100	0

Tablo 3.7 0-5 mm boyutlu agreganın elek analiz sonuçları

Elek no.	Elekte Kalan (gr)	Kümülatif Kalan (gr)	Elekte Kalan (%)	Elekten Geçen (%)
32	0	0	0	100
16	0	0	0	100
8	0	0	0	100
4	222	222	4,4	95,6
2	1402	1624	32,5	67,5
1	1317	2941	58,8	41,2
0,5	986	3927	78,5	21,5
0,25	469	4396	87,9	12,1
PAN	604	5000	100	0

3.4.1.1 Granülometri Hesabı

Agrega yığını (agrega numunesi) içerisindeki tanelerin büyüklüklerine göre dağılımına “gradasyon” veya “granülometri” denilmektedir. Agraga gradasyonunun saptanmasında, agrega numunesinin içerisindeki taneler, büyüklüklerine göre belirli boy gruplarına ayrılmaktadır. Her boy grubunda agrega tanelerinin toplam ağırlıkları bulunarak, tüm agrega yığınının (numunenin) içerisinde ne oranda yer aldıkları belirlenmektedir (Erdoğan, 2003).

Taze betonun işlenebilme niteliği agrega gradasyonunun doğrudan etkilediği bir özelliktir. Agrega gradasyonu iyi olmadığı takdirde, istenilen işlenebilmeyi elde edebilmek üzere betona daha çok su katmak gerekmektedir ki, bu durum, su/çimento oranını yükseltmekte, betonun dayanımının ve dayanıklılığının düşük olmasına yol açmaktadır. Şayet, su arttırıldığında, çimento miktarı da arttırılacak olursa, bu durumda da, hem fazla miktardaki çimentonun etkisiyle sertleşmiş betonda daha fazla büzölmeye yol açılmakta, hem de ekonomik beton elde edilememektedir (Erdoğan, 2003).

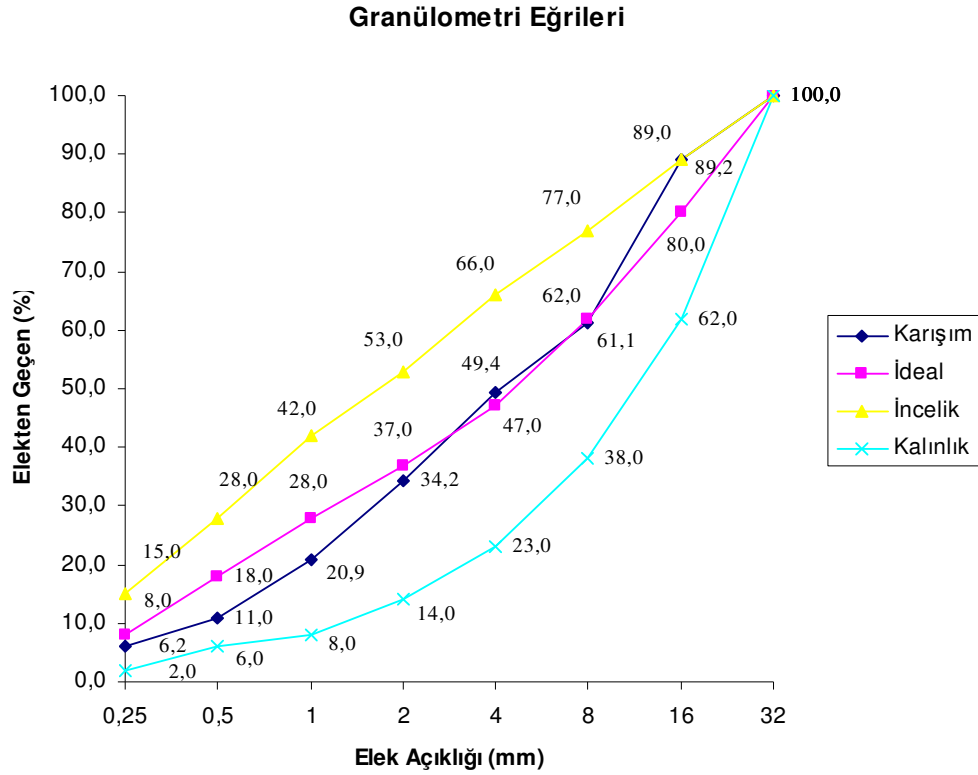
0-5 mm, 5-15 mm ve 15-25 mm boyutundaki agregaların ayrı ayrı yapılan elek analiz sonuçları, agrega granölometrisinin elde edilmesinde kullanılmıştır. En uygun agrega granölometrisinin elde edilebilmesi için farklı miktarlarda 0-5, 5-15 ve 15-25 mm boyutundaki agregalar içeren karışımınların granölometri eğrileri deneme-yanılma yöntemi ile çizilmiş ve standartta belirtilen sınırlar içerisinde kalan en uygun granölometri eğrisine göre karışımın içerdiği agrega miktarları belirlenmiştir. Standartta uygun olarak seçilen granölometri eğrisine göre, karışım hesabında kullanılan agreganın % 25'i 5-15 mm boyutlu agrega, % 25'i 15-25 mm boyutlu agrega ve % 50'si 0-5 mm boyutlu agrega olarak seçilmiştir. Deneysel çalışma kapsamında yapılan granölometri hesap sonuçları Tablo 3.8'de verilmiştir.

Tablo 3.8 Granölometri hesabı

Elek No	Elekten Geçen (%)							Elekte Kalan Miktar (%)
	15-25	5-15	0-5	Karışım	İdeal	İncelik Sınırı	Kalınlık Sınırı	
32	100,0	100,0	100,0	100,0	100	100	100	0,0
16	57,0	100,0	100,0	89,2	80	89	62	10,8
8	1,6	43,0	100,0	61,1	62	77	38	38,9
4	0,2	6,2	95,6	49,4	47	66	23	50,6
2	0,2	1,7	67,5	34,2	37	53	14	65,8
1	0,2	0,9	41,2	20,9	28	42	8	79,1
0,5	0,2	0,7	21,5	11,0	18	28	6	89,0
0,25	0,2	0,5	12,1	6,2	8	15	2	93,8

Tablo 3.8'de elde edilen karışım yüzdeleri kullanılarak çizilen granölometri eğrisi Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Karışım eğrisinde 16 mm boyutlu elekten geçen miktar (89,2) incelik sınırından (89) bir miktar fazla olsa da, granölometri eğrisi deneme-

yanılma yöntemi ile elde edilen standarda en uygun karışım eğrisidir. Granülometri eğrisi Şekil 3.2’de sunulmuştur.



Şekil 3.2 Elde edilen karışımın granülometri eğrisi

3.4.1.2 Agrega Karışımının İncelik Modülü Hesabı

İncelik modülü, agreganın gradasyon özelliği hakkında bilgi sağlayan ampirik bir sayısal değerdir. Bu değer elek analizinde bulunan tane dağılımı oranlarını kullanarak hesap yoluyla elde edilmektedir (Erdoğan, 2003).

İncelik modülü agreganın inceliğini ve kalınlığını ifade eden bir terimdir. İncelik modülü agrega karışımlarının granülometrisini belirtmez. Öyle ki, farklı agrega karışımlarının incelik modülleri de birbiri ile aynı olabilir.

İncelik modülü, elek analizinde göz açıklığı en küçük olan standart elek en altta olmak üzere küçükten büyüğe doğru dizilmiş (birbirinin iki misli büyüklükteki göz açıklığına sahip) olan standart elekler üzerinde kalan agreganın yığılımlı yüzdelerinin toplamının 100'e bölünmesiyle elde edilen sayıdır (Erdoğan, 2003). Deneysel çalışmada kullanılan kırma-taş agreganın incelik modülü 4,279 olarak hesaplanmıştır.

3.4.2 0-5 mm Boyutlu Agreganın İçerisindeki Filler Yüzdesinin Hesabı

Deneysel çalışmada kullanılacak 0-5 mm boyutundaki agreganın içerdiği filler yüzdesi hesaplanmıştır. Hesaplamalarda 1083 kg 0-5 mm boyutundaki agregaya kullanılmıştır. Bu agregalar 100'er kg'lık örnekler halinde etüvde kurutulmuş ve 0,063 mm çaplı elekten geçen malzeme miktarlarının hesabı 5'er kg'lık örnekler alınarak yapılmıştır.

Deney sonucunda, beton karışımlarında kullanılmak üzere, 0-5 mm boyutundaki agregaya içerdiği fillerden tamamı ile arındırılmıştır. 0-5 mm boyutundaki agreganın içerdiği filler yüzdesi % 9,49 olarak hesaplanmıştır.

3.4.3 Agregaların özgül ağırlık tayini deneyi

Agreganın özgül ağırlık değeri, betonda yer alabilecek malzeme miktarlarının hesaplanmasında kullanılmaktadır. Betonda kullanılan çimentonun, suyun ve agregaların özgül ağırlıkları bilindiği takdirde, bu malzemelerin 1 m³'ü içerisindeki hacimleri hesaplanabilmektedir. Aynı şekilde, bu malzemelerin 1 m³'ü içerisindeki hacimleri bilindiği takdirde, ağırlıkları hesaplanabilmektedir (Erdoğan, 2003).

“Agregaların kuru özgül ağırlığı, doygun kuru yüzey özgül ağırlığı ve görünen özgül ağırlığı ince ve iri agregalara ayrı ayrı uygulanan deneylerle tayin edilir” (TS 3526, 1980).

Özgül ağırlık deneyi iri ve ince agregalar için ayrı yöntemler kullanılarak yapılmıştır. Kullanılan yöntemler aşağıda belirtilmiştir.

3.4.3.1 İri Malzemelerin Özgül Ağırlık Hesabı

Özgül ağırlığı hesaplanacak 5-15 ve 15-25 mm boyutundaki iri agregalar bir gün süreyle suda bekletilmiştir. Suda bekletilen agregaların yüzeyinde bulunan su, basınçlı hava yardımı ve havlu ile silinerek doygun kuru yüzey hale getirilmiş, 2 gr hassasiyette tartılarak ağırlığı kaydedilmiştir. Tartım işleminden hemen sonra, agregalar darası bilinen tel sepete konularak su içerisine batırılmış ve agregaların su içerisindeki ağırlığı tartılmıştır. Bu tartımdan boş sepet ağırlığı çıkarılarak numunelerin su içerisindeki ağırlığı hesaplanmıştır. Sudan çıkarılan agrega numuneleri etüvde sabit ağırlığa gelene kadar kurutulmuş ve laboratuvar ısısında bir gün süreyle soğutularak ağırlığı tartılmıştır. Tablo 3.9 ve Tablo 3.10'da 15-25 ve 5-15 mm boyutundaki iri agregaların deney sonucunda hesaplanan özgül ağırlık değerleri verilmiştir.

Tablo 3.9 15-25 boyutundaki iri agreganın özgül ağırlık tayini

A	Kurutulmuş malzeme ağırlığı (g)	1535
B	Doygun kuru yüzey malzeme ağırlığı (g)	1539
C	Doygun malzemenin suda ağırlığı (g)	977
A/(B-C)	Hacim özgül ağırlığı – kuru (g/cm^3)	2,73
B/(B-C)	Hacim özgül ağırlığı - doygun kuru yüzey (g/cm^3)	2,74

Tablo 3.10 5-15 boyutundaki iri agreganın özgül ağırlık tayini

A	Kurutulmuş malzeme ağırlığı (g)	984
B	Doygun kuru yüzey malzeme ağırlığı (g)	988
C	Doygun malzemenin suda ağırlığı (g)	631
A/(B-C)	Hacim özgül ağırlığı – kuru (g/cm^3)	2,76
B/(B-C)	Hacim özgül ağırlığı - doygun kuru yüzey (g/cm^3)	2,77

3.4.3.2 İnce Malzemenin Özgül Ağırlık Hesabı

Agrega numuneleri 24 saat etüvde kurutulduktan sonra kuru ağırlığı tartılmıştır. Bu numune 24 saat su içerisinde bekletildikten sonra suyu süzülerek, ocak üzerinde kuru yüzey doygun hale getirilmiş ve ağırlığı kaydedilmiştir. İnce malzeme ağırlığı daha önceden bilinen volümetrik kaba koyulmuş, üzerine volümetrik kabın yarısına kadar su eklenmiştir. Bu vaziyette birkaç saat bekletilen numunenin ağırlığı tekrar ölçülmüştür. Son aşamada ise volümetrik kap tamamıyla su doldurularak, ağırlığı kaydedilmiştir. Filler malzemesinin hacim özgül ağırlığı 0-5 ince malzeme ile aynı kabul edilmiştir. İnce malzemenin deney sonucunda hesaplanan özgül ağırlık değerleri Tablo 3.11’de sunulmuştur.

Tablo 3.11 İnce malzemenin özgül ağırlık tayini

A	Kurutulmuş malzeme ağırlığı (g)	854
B	Doygun kuru yüzey malzeme ağırlığı (g)	866
C	Volümetrik kab + su + ince agreg ağırlığı (g)	1363
D	Volümetrik kab + 500 ml işaretine kadar su dolu ağırlığı (g)	825
A/(B+D-C)	Hacim özgül ağırlığı – kuru (g/cm ³)	2,60
B/(B+D-C)	Hacim özgül ağırlığı - doygun kuru yüzey (g/cm ³)	2,64

3.4.4 Agregaların Absorbsiyon Yüzdelerinin Hesabı

Agrega tanelerinde iki tip boşluk yer alabilmektedir. Bunlardan birisi, tane yüzeyinde ince çatlaklar olarak oluşmuş olan veya tane içerisinde olup da yüzeydeki boşluklarla bağlantılı olan “su geçirgen boşluklar” dır. Bu tür boşlukların içerisine su girip çıkabilmektedir. Diğeri ise, agreg a yapısından gelen, agreg a tanelerinin içerisinde oluşmuş olan “su geçirmez boşluklar” dır. Bunlara su girememektedir. İçerdiği su miktarlarına göre agregalar, dört değişik durumda bulunabilir (Erdoğan, 2003) :

Tamamen Kuru Durum : Agregada boşluklarında hiç su yoktur.

Hava Kurusu Durum : Agreganın su geçirgen boşluklarının içerisinde bir miktar su vardır. Ancak, boşluklar tamamen su ile dolu değildir ve tanelerin yüzeyinde su yoktur.

Doğgun Yüzey Kuru Durum : Agreganın su geçirgen boşluklarının tamamen su ile dolu, fakat tanelerin yüzeyinin kuru olduğu durumdur.

Islak Durum : Agreganın su geçirgen boşluklarının tamamen su ile doludur ve ayrıca tanelerin üzerinde bir miktar su filmi vardır.

Agregadaki mevcut suyun yüzdesi ve su emme kapasitesi, agreganın “doğgun-yüzey kuru” durumda olduğu varsayımına dayanan karışım hesabında elde edilen su ve agregada miktarlarının düzeltilmesi (gerçeğe uygun hale getirilmesi) amacıyla kullanılmaktadır. Şayet agregada ıslak durumda ise, serbest su miktarı hesaplanmakta ve karışıma girecek su miktarı o kadar azaltılmaktadır. Agregada kuru durumda ise, ne kadar su emebileceği hesaplanmakta ve karışıma girecek su miktarı o kadar artırılmaktadır. Böylece, beton karışımı için yapılan hesaplardaki su/çimento oranından sapma olmamaktadır.

Agreganın su emme kapasitesi, malzemelerin karışımı için yapılan hesaplar için önemlidir. Ayrıca, agreganın su emme kapasitesi, betonun ve betonda kullanılan agreganın dayanıklılığı için de büyük önem taşımaktadır. Su emme kapasitesi yüksek olan gözenekli agregaların içerisine su kolayca girebilmekte ve soğuk havalarda buz haline dönüşerek genişmeye, çatlamaya yol açmaktadır (Erdoğan, 2003).

3.4.4.1 İri Ve İnce Malzemenin Absorbsiyon Yüzdelerinin Hesabı

Absorbsiyon yüzdesi, malzemenin doğgun kuru yüzey ağırlığından, kuru malzeme ağırlığının çıkarılıp yüz ile çarpılması ve bulunan sonucun kuru malzeme ağırlığına bölünmesiyle elde edilir. Filler malzemenin absorbsiyon yüzdesi 0-5 mm boyutundaki ince malzeme ile aynı kabul edilmiştir. Tablo 3.9, Tablo 3.10 ve Tablo 3.11’de verilen ağırlıklar kullanılarak hesaplanan iri ve ince agregada absorbsiyon değerleri aşağıdaki gibidir:

0-5 agrega için absorbsiyon yüzdesi = 1,41

5-15 agrega için absorbsiyon yüzdesi = 0,41

15-25 agrega için absorbsiyon yüzdesi = 0,26

3.5 Beton Karışımlarının Hazırlanması

Beton karışımları hazırlanırken hacimsel yöntem kullanılmıştır. Beton birim hacim ağırlığı sabitlenmeyip, değişken olarak bırakılmış, hazırlanan karışımın hacminin 1m^3 olması sağlanmıştır. Bu nedenle filler malzemesinin bağlayıcı ile yer değiştirdiği karışımlarda, çimento ve filler değişimi ağırlıkça değil, hacimce yapılmıştır.

Beton karışımlarının tümü Gürler A.Ş.'ne ait hazır beton santralindeki laboratuvarında yapılmıştır. Filler miktarının betonun mekanik özelliklerine etkisinin net olarak elde edilebilmesi için $1/25\text{ m}^3$ hacminde hazırlanan beton numunelerine mineral veya kimyasal herhangi bir katkı eklenmemiştir.

Beton karışımlarına girecek malzemelerin miktarlarının hesabında, agregaların kuru yüzey doymun durumda emdikleri su miktarları da göz önünde bulundurulmuştur. Agregaların emdikleri su miktarları agrega ağırlıklarına eklenerek nihai agrega ağırlıkları hesaplanırken, hesaplanan bu su miktarları karışım suyu ihtiyacından çıkarılarak, gerçek karışım suyu ihtiyacı bulunmuştur. Beton numunelerinin su/çimento hesabında da, karışıma giren bu gerçek su miktarı göz önünde bulundurulmuştur.

Karışımlar öncelikle filler malzemesinin 0-5 mm boyutundaki agrega veya bağlayıcı yerine kullanıldığı 2 gruba ayrılmıştır. Bu iki grup kullanılan bağlayıcı miktarına bağlı olarak iki alt gruba, bu gruplar da kendi içinde % 0, % 4, % 8, % 12 ve % 16 oranlarında filler içerecek şekilde 5 gruba ayrılmıştır. Dolayısı ile toplam 20 adet beton karışımı hazırlanmıştır. Her bir karışım için 3 adet 7 günlük basınç dayanımı deneyinde, 3 adet 28 günlük basınç dayanımı deneyinde ve 3 adet de 28 günlük yarmada çekme dayanımı deneyinde kullanılmak üzere 9'ar adet numune hazırlanmıştır. Buna göre deneylerde toplam 180 adet beton numunesi hazırlanmıştır.

1 m³ hacmindeki beton karışımı hedeflenerek hazırlanan beton bileşen malzeme miktarları, Tablo 3.12’de verilmiştir.

Tablo 3.12 1 m³ hacminde hazırlanan beton karışımlarına giren bileşen malzeme miktarları

Karışım no	Filler	S/Ç	Çimento	Filler	0-5 Agregası	5-15 Agregası	15-25 Agregası	Su	S/Ç Hesabında Kullanılan Su
	%		Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg
A ₁	0	0,65	250	0	940,75	499,25	493,75	179,25	162,71
A ₂	4	0,65	250	37,63	903,00	499,25	493,75	179,25	162,71
A ₃	8	0,65	250	75,67	870,25	502,00	496,50	179,25	162,61
A ₄	12	0,65	250	113,97	835,75	504,00	498,50	179,25	162,55
A ₅	16	0,65	250	152,58	801,00	506,25	500,75	179,25	162,48
A ₆	0	0,4	400	0	885,00	469,75	464,75	176,00	160,39
A ₇	4	0,4	400	35,51	852,25	471,25	466,00	176,00	160,34
A ₈	8	0,4	400	71,32	820,25	473,25	468,06	176,00	160,27
A ₉	12	0,4	400	107,45	788,00	475,25	470,00	176,00	160,20
A ₁₀	16	0,4	400	144,10	756,50	478,00	472,75	176,00	160,11
C ₁	0	0,65	250	0	940,75	499,25	493,75	179,25	162,71
C ₂	4	0,65	240	8,33	942,00	500,00	494,50	178,25	161,57
C ₃	8	0,65	230	16,67	943,25	500,64	495,20	177,30	160,43
C ₄	12	0,65	220	25	944,28	501,2	495,75	176,50	159,49
C ₅	16	0,65	210	33,33	945,58	501,89	496,43	175,50	158,35
C ₆	0	0,4	400	0	882,50	468,25	463,25	176,00	160,43
C ₇	4	0,4	384	13,33	879,50	466,75	461,75	178,25	162,60
C ₈	8	0,4	368	26,67	882,04	468,16	463,07	177,30	161,36
C ₉	12	0,4	352	40	883,08	468,71	463,62	176,50	160,36
C ₁₀	16	0,4	336	53,33	884,38	469,40	464,30	175,50	159,15

Tablo 3.12’de deneysel çalışma için hazırlanan 20 seri karışımın içerisine giren bileşen malzeme miktarları gösterilmiştir. Tablo 1 m³ beton taban alınarak hazırlanmıştır. Deneysel çalışmada ise karışımlar 40 dm³ olarak hazırlanmıştır. A serisi karışımlar filler malzemenin 0–5 agregası ile yer değiştirmesiyle oluşan numuneleri, C serisi karışımlar ise filler malzemenin çimento ile yer değiştirmesiyle oluşan numuneleri temsil etmektedir.

Filler malzemesinin 0–5 mm boyutundaki agrega ile hem ağırlıkça hem de hacimsel olarak yer değiştirmesi, hedeflenen betonların 1 m³ hacmi sağlamasında sıkıntı yaratmamaktadır. Ancak filler malzemesinin çimento ile ağırlıkça yer değiştirmesi, bu iki malzemenin birim hacim ağırlıklarının farklı olmasından dolayı, betonların 1 m³ hacmi sağlamasında sıkıntı yaratmaktadır. Bu nedenle deneysel çalışmada filler malzemenin hem 0–5 agrega, hem de çimento ile yer değiştirmesi ağırlıkça değil, hacimsel olarak yapılmıştır.

3.6 Taze ve Sertleşmiş Beton Denepleri

Çalışmada, taze ve sertleşmiş beton numuneleri üzerinde deneyler yapılmıştır. Slump deneyi, taze beton sıcaklık ölçümü, taze beton birim hacim ağırlık deneyi ve hava miktarı tayini taze beton numuneler üzerinde; yarmada çekme dayanımı tayini, 7 ve 28 günlük basınç dayanımı tayini ve sertleşmiş beton birim hacim ağırlık deneyi sertleşmiş beton numuneler üzerinde yapılmıştır.

3.6.1 Taze Beton Denepleri

Taze beton, henüz tamamen katılaşmamış, şekil verilebilir durumdaki betondur. Betonun taşınıp kalıplardaki yerine yerleştirilmesi, sıkıştırılması, yüzeyinin düzeltilmesi gibi işlemler, beton şekil verilebilir durumdayken yapılabilmektedir (Erdoğan, 2003). Genel olarak kolayca karıştırılıp taşınabilme, kalıplara kolayca yerleşebilir akışkanlıkta olma ve ayrışma göstermeme taze betonda aranan başlıca özelliklerdir.

3.6.1.1 Slump Deneyi

“Kıvam”, “taze beton karışımının ıslaklık derecesi” anlamına gelmektedir. Kıvamı çok yüksek olan bir taze beton, düşük kıvamdaki bir betona göre daha rahat karılabilmekte, daha rahat pompalanabilmekte ve çoğu kez de daha rahat yerleştirilebilmektedir. Ancak, beton kıvamının çok yüksek olması, betonun işlenebilirliğinin mutlaka yeterli olduğu anlamına gelmemektedir. Zira, aşırı

derecede sulu bir beton karışımının kalıplara yerleştirilmesi ve sıkıştırılması işlemlerinde betondaki çimento harcı ile iri agregalar kolayca segregasyon gösterebilmektedir (Erdoğan, 2003).

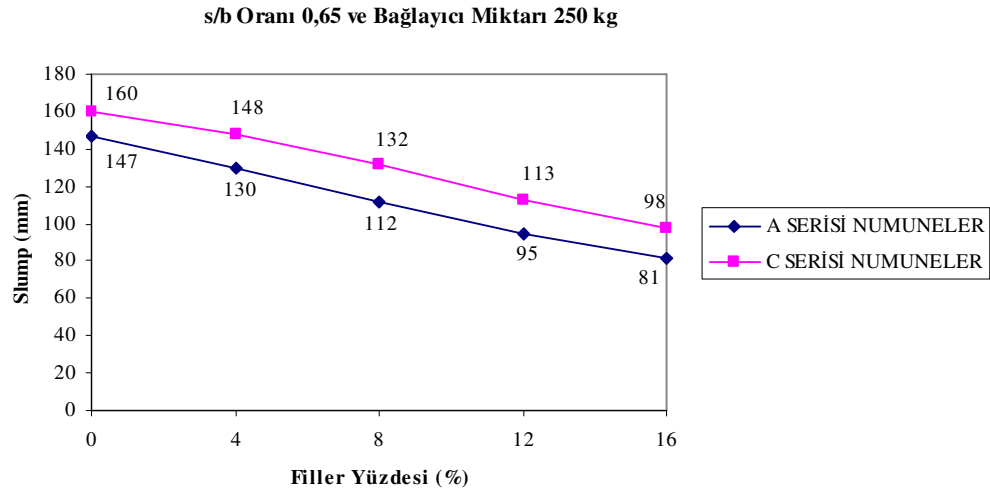
Taze betonun kıvamının ve işlenebilirliğinin araştırılabilmesi için kullanılan deney yöntemleri arasında gerek çeşitli ülke standartlarında yer alan ve gerekse beton teknolojisi ile ilgili olan kimseler tarafından kullanılan en çok dört adet deney yöntemi vardır. Bunlar; çökme deneyi, vebe deneyi, sıkıştırma faktörü deneyi ve sarsma tablası deneyidir (Erdoğan, 2003).

Slump deneyi, betonun kıvam sınıfını belirlemek amacıyla yapılan bir deneydir. Çökme deneyi olarak da bilinir. TS 12350-2'ye göre, deneyde tabanı 20 cm, kesik tepesi 10 cm çapında, yüksekliği de 30 cm olan saçtan koni kullanılır. K_1 (0-5cm), K_2 (5-10 cm), K_3 (10-16 cm), K_4 (16-22 cm) ve K_5 (≥ 22 cm) olmak üzere 5 kıvam sınıfı vardır (TS 12350-2, Nisan 2002).

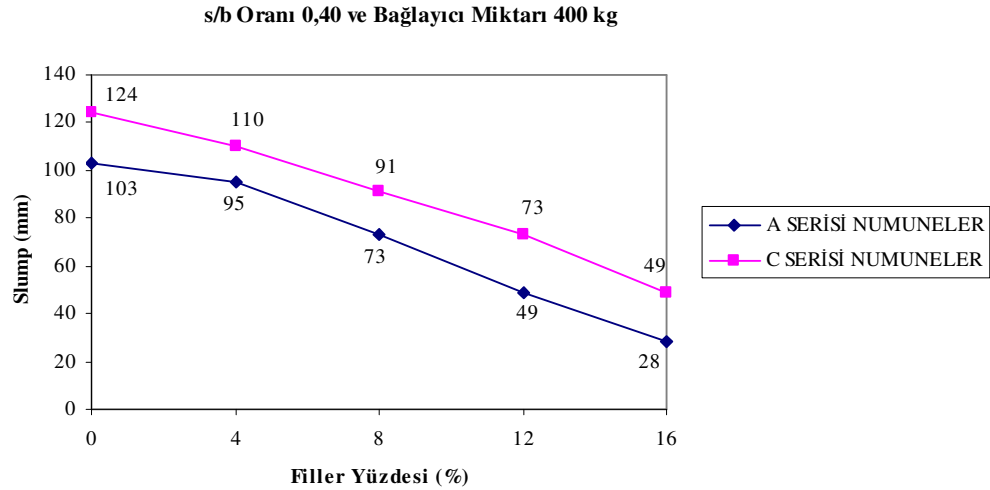
Slump konisi 3 seferde betonla doldurulmuştur. Her seferde beton 25 defa şişlenerek yerleştirilmiştir. Şişleme sayısı her ne kadar standardın öngördüğü bir sayı olsa da, beton sınıfına göre ± 5 değiştirilebilir. Son beton katmanı da şişlendikten sonra slump konisi 5 sn içinde hafif burğu yaparak çekilmiştir. Koni içerisindeki betonda bir miktar çökme meydana gelir. Slump konisi ters çevrilerek bir miktar çöken betonun yanına dik vaziyette koyulmuştur. Çöken betonun üst seviyesi ile koninin üst tabanı arasındaki mesafe çökme değerini vermiştir (Şekil 3.3). Hazırlanan beton karışımları için bulunan çökme değerleri ise, Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'de verilmiştir.



Şekil 3.3 Çökme deneyi (Ersoy ve Özcebe, 2001)



Şekil 3.4 A ve C serisi beton numunelerinin slump değerleri



Şekil 3.5 A ve C serisi beton numunelerinin slump değerleri

Hem düşük mukavemetli, hem de yüksek mukavemetli betonlar hedeflenerek hazırlanan sabit s/b oranına sahip karışımların tümünde, filler miktarı arttıkça, karışımların slump değerlerinde azalma gözlenmiştir. Filler malzemenin hem 0-5 agrega ile yer değiştirdiği karışımlarda, hem de bağlayıcı ile yer değiştirdiği karışımlarda meydana gelen slump kayıplarının nedeni, karışımların içerdiği çok ince malzeme miktarlarının artması, dolayısı ile betonların su ihtiyacının da artması olarak yorumlanabilmektedir.

Filler miktarının artırıldığı karışımlarda betonların istenen slump değerlerini karşılayabilmesi ve işlenebilirliklerinin yüksek olması için, karışım suyu miktarının artırılması gerekmektedir. Bu durum hedeflenen beton basınç dayanımında düşüslere yol açmaktadır. Bu düşüslerin engellenebilmesi için ya çimento miktarında artış yapılabilir, ya da kimyasal akışkanlaştırıcı katkıları kullanılabilir.

3.6.1.2 Taze Beton Sıcaklık Ölçümü

Hazırlanan beton karışımlarının, dijital termometre yardımı ile sıcaklıkları ölçülmüştür. TS EN 206-1 standardına göre, taze beton sıcaklığının + 5 °C ile + 32 °C arasında olması gerekmektedir. Tablo 3.13'de ölçülen taze beton sıcaklıkları ve ortam sıcaklıkları verilmiştir.

Tablo 3.13 Taze beton numuneleri ve ortam sıcaklıkları değeri

Numune No	Taze Beton Sıcaklığı	Ortam Sıcaklığı
A ₁	20,3	26,2
A ₂	20,9	26,2
A ₃	21,2	26,2
A ₄	21,6	26,2
A ₅	20,8	26,2
A ₆	22,1	24,8
A ₇	22,7	24,8
A ₈	23,0	24,8
A ₉	23,4	24,8
A ₁₀	22,9	24,8
C ₁	21,0	24,1
C ₂	21,0	24,1
C ₃	21,4	24,1
C ₄	21,1	24,1
C ₅	20,6	24,1
C ₆	22,5	27,3
C ₇	21,7	27,3
C ₈	21,9	27,3
C ₉	22,3	27,3
C ₁₀	20,8	27,3

3.6.1.3 Taze Beton Birim Hacim Ağırlık Deneyi

“Birim ağırlık”, kelime anlamından da anlaşılacağı gibi, bir birim hacim içerisinde yer alan taze betonun ağırlığını belirtmektedir. Betonun birim ağırlığı, genellikle kg/m^3 veya ton/m^3 olarak ifade edilmektedir.

Betonun birim ağırlığının düşük veya yüksek olması, betonu oluşturan malzemelerin özelliklerine ve beton içerisinde yer alan boşluk miktarına bağlı olmaktadır. Özgül ağırlığı yüksek olan agregaların oluşturduğu betonun birim ağırlığı da yüksek olmaktadır. Öte yandan, içerisinde daha çok hava boşlukları bulunduran betonun birim ağırlığı daha düşük olmaktadır (Erdoğan, 2003).

Hazır beton sektöründe taze betonun birim hacim ağırlığının ölçülmesi, üretilen beton kalitesini kontrol amacıyla sık sık uygulanan bir işlemdir. Hazırlanan taze beton numuneleri üzerinde, TS EN 12350-6'ya uygun olarak birim hacim ağırlık tayini deneyleri yapılmıştır. Deneylerde hacmi ve ağırlığı bilinen silindir boyutlu metal kap kullanılmıştır.

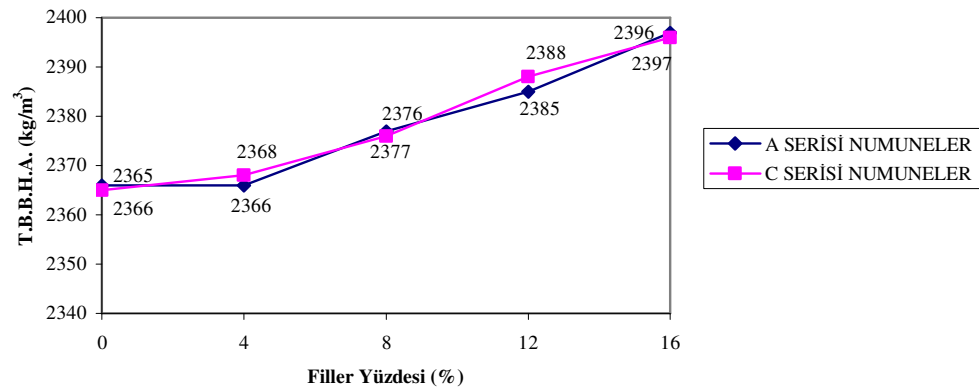
İçi taze beton ile doldurulan silindir kabın dolu ağırlığı tartılmıştır. Dolu ağırlıktan silindirin boş ağırlığı çıkarılarak taze betonun ağırlığı bulunmuştur. Hesaplanan taze beton ağırlığı silindirin hacmine bölünerek taze beton numunelerinin birim hacim ağırlıkları hesaplanmıştır.

Hazır beton standartlarında taze beton birim hacim ağırlıklarının değişken değerlerde bulunabileceği belirtilmiştir. Buna paralel olarak normal yoğunluklu taze beton birim hacim ağırlık değerleri 2000 kg/m^3 ile 2600 kg/m^3 değerleri arasında bulunmalıdır (TS EN 206-1, 2002). Hesaplanan taze beton birim hacim ağırlık değerleri Tablo 3.14'de, A ve C serisi numunelerin taze beton birim hacim ağırlık değerlerinin karşılaştırılması Şekil 3.6 ve Şekil 3.7'de verilmiştir.

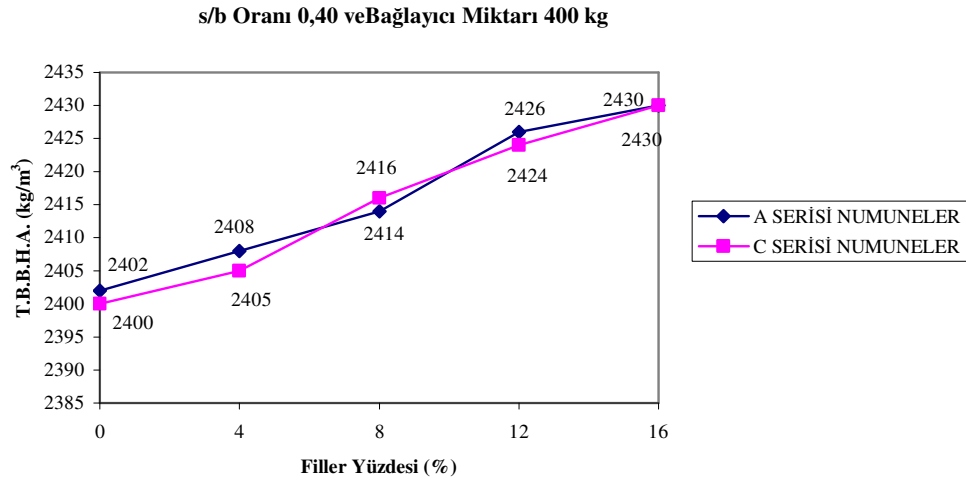
Tablo 3.14 Taze beton birim hacim ağırlıkları.

Numune No	Taze Beton Birim Hacim Ağırlıkları (kg/cm ³)
A ₁	2366
A ₂	2366
A ₃	2377
A ₄	2385
A ₅	2397
A ₆	2402
A ₇	2408
A ₈	2414
A ₉	2426
A ₁₀	2430
C ₁	2365
C ₂	2368
C ₃	2376
C ₄	2388
C ₅	2396
C ₆	2400
C ₇	2405
C ₈	2416
C ₉	2424
C ₁₀	2430

s/b oranı 0,65 ve bağlayıcı miktarı 250 kg



Şekil 3.6 Taze beton numunelerinin birim hacim ağırlıkları



Şekil 3.7 Taze beton numunelerinin birim hacim ağırlıkları

Deneyel çalışma kapsamında hazırlanan A ve C serisi betonların her ikisinde de, filler miktarı arttıkça, taze beton birim hacim ağırlıkları artmıştır. Bu artışın nedeni, filler malzemenin beton içerisindeki boşlukları doldurmasıyla, boşluk miktarı daha az olan dolgun betonlar meydana gelmesidir.

A ve C serisi beton numuneleri karşılaştırıldığında, s/b oranı gerek 0,65 gerekse 0,40 olarak hazırlanan karışımlardaki taze beton birim hacim ağırlık değerlerinin birbirine yakın çıktığı görülmektedir. Filler malzemesinin agregaya veya çimento yerine kullanılması taze beton birim hacim ağırlık değerlerini çok fazla etkilememiştir.

3.6.1.4 Taze Beton Hava İçeriği Tayin Deneyi

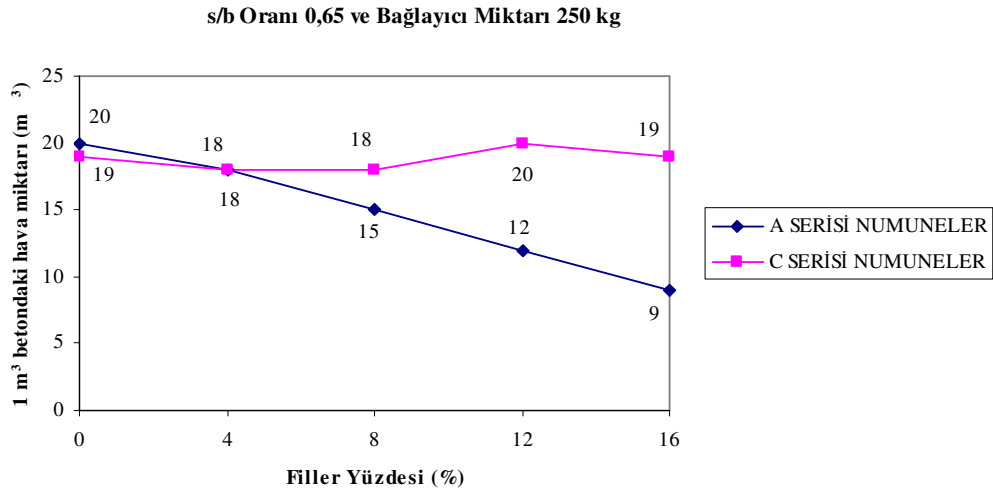
Taze betondaki hava miktarının tayininde kullanılması gereken yöntem TS 12350-7'de belirtilmiştir:

Kap ve kapak düzeneğinin flanşları tamamen temizlenmelidir. Su püskürtme borusunun bulunmaması halinde, dağıtma plakası betona merkezlenerek

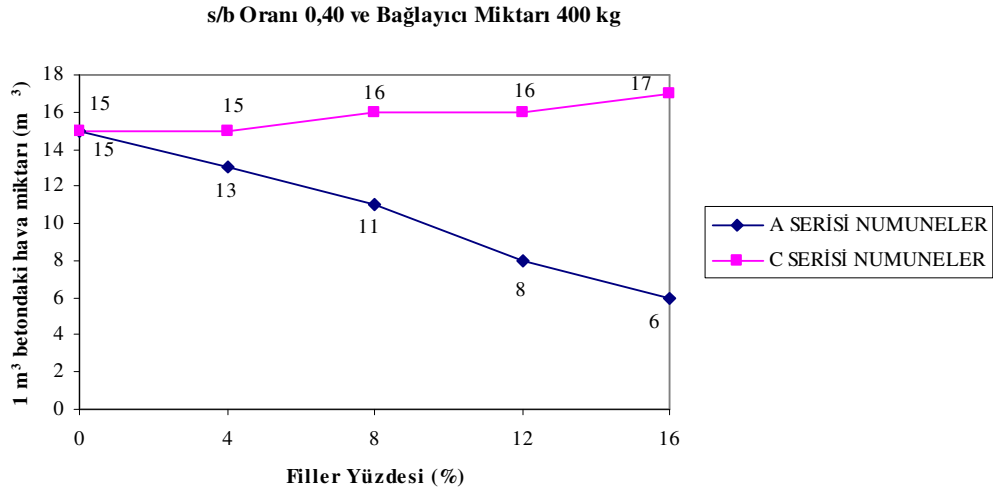
yerleştirilmeli ve oturması için bastırılmalıdır. Kapak düzeneği yerleştirilerek, kaba kelepçelenmelidir. Kapak ve kap arasında basınç kaçağının olmaması sağlanmalıdır.

Cihaza su doldurulur ve kapak iç yüzeyinde bulunan hava kabarcıklarını çıkartmak için tokmak ile hafifçe vurulur. Düşey gözleme borusundaki su seviyesi, hava giriş ağzı açık tutularak, fazla su küçük vanadan tahliye edilmek suretiyle sıfıra getirilir. Hava giriş ağzı kapatılır ve deney (işletme) basıncı P, hava pompası yardımıyla uygulanır. Gözleme borusundaki su seviyesi, h_1 , ölçekten okunarak kaydedilir ve basınç boşaltılır. Boruda oluşan yeni seviye, h_2 tekrar okunur ve h_2 'nin, % 0,2 veya daha küçük hava muhtevası göstermesi halinde h_1-h_2 görünür hava miktarı, A_1 , olarak, % 0,1 yaklaşımla kaydedilir. h_2 'nin % 0,2'den daha fazla hava muhtevasını göstermesi halinde ise, deney basıncı P tekrar uygulanır ve su seviyesi h_3 ve basıncın boşaltılmasından sonraki su seviyesi, h_4 okunur. h_4 , h_2 'nin % 0,1 veya daha küçük hava muhtevasına tekabül etmesi halinde h_3-h_4 görünür hava muhtevası olarak kaydedilir. h_4 , h_2 'nin % 0,1'den daha büyük hava muhtevasına tekabül eden değer olması halinde, kaptan sızıntı olması ihtimali nedeniyle deney geçersiz sayılır (TS 12350-7, 2002).

Taze betondaki hava miktarı hava ölçer adlı alet yardımıyla ölçülmektedir. Beton hava ölçer içerisine 3 tabakada doldurulmuştur. Her bir tabaka 25 defa şişlenmiş, hava ölçer tamamıyla dolduktan sonra, hava ölçer tokmaklanarak beton sıkıştırılmıştır. Mala yardımı ile beton düzlendikten sonra hava ölçerin kapağı kapatılmıştır. Üst vana açılarak hava ölçer sıfır noktasına kadar su ile doldurulmuştur. Hava pompası ile basınç ibresi sabitlenene kadar hava ölçerin içine hava basılmıştır. Göstergeden h_1 değeri okunduktan sonra, havası boşaltılmış ve h_2 değeri okunmuştur. Aynı işlem tekrarlanarak h_3 ve h_4 değerleride okunmuş, bu iki değerin mutlak farkı ile düzeltme katsayısı bulunmuştur. h_1 ve h_2 değerlerinin mutlak farkından da, bulunan düzeltme katsayısı çıkarılmış ve taze beton içerisindeki hava yüzdeleri hesaplanmıştır. Bulunan hava yüzde değerleri Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.8 Taze beton numunelerinin içerdikleri hava miktarları



Şekil 3.9 Taze beton numunelerinin içerdikleri hava miktarları

Şekil 3.8 ve Şekil 3.9 incelendiğinde, filler miktarının artmasıyla, s/b oranı hem 0,65 olan, hem de 0,40 olan A serisi numunelerde hava miktarlarının azaldığı gözlemlenmiştir. Bunun nedeni, A serisi numunelerde 0-5 mm boyutundaki agrega ile yerdeğiştiren filler malzemenin beton içerisindeki birtakım boşlukları kapatmasıdır.

C serisi numuneler için ise durum A serisindeki numunelerin aksinedir. Filler malzemenin çimento ile yerdeğiştirmesi sonucunda, beton karışımların hava miktarlarında herhangi bir değişiklik olmamış, hatta filler miktarı arttıkça hava içeriğinde bir miktar artış olmuştur. Bunun nedeni, C serisi numunelerde, fillerin zaten çok ince bir malzeme olan çimento yerine kullanılmasıdır. Hacimsel olarak yer değiştiren iki malzemedeki fillerin birim hacim ağırlığının çimentonunkinden düşük olması nedeniyle, filler miktarı arttıkça karışımdaki toplam ince malzeme miktarı azalmış, buna paralel olarak da, beton karışımlarının hava miktarları, kontrol numunesinin hava miktarı ile hemen hemen aynı kalmış ya da ona göre bir miktar artmıştır.

3.6.2 Sertleşmiş Beton Deneyleri

Prizini tamamlayıp, katı hale gelen betona sertleşmiş beton denilmektedir. Sertleşmiş beton numuneleri üzerinde yapılan deneylerle betonun mukavemeti, geçirimsizliği, birim hacim ağırlığı gibi özellikleri belirlenir.

3.6.2.1 Sertleşmiş Beton Birim Hacim Ağırlık Deneyi

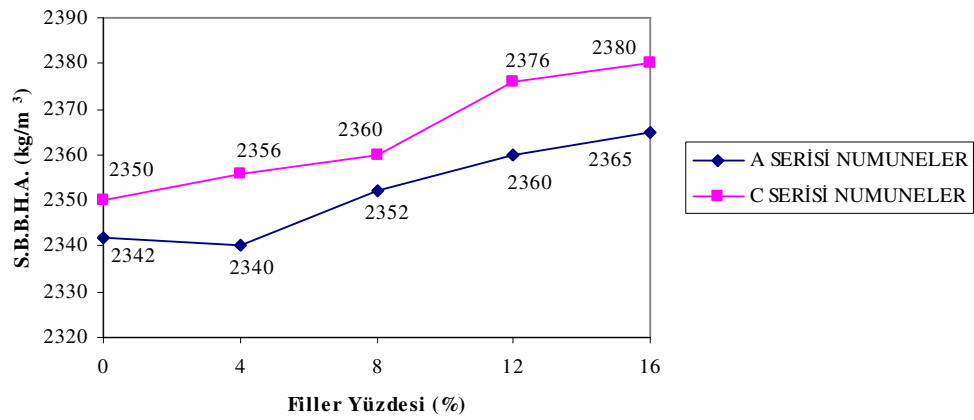
Sertleşmiş beton birim hacim ağırlık deneyleri TS 12390-7, 2002’de belirtildiği gibi yapılmıştır:

Kür havuzundan çıkarılan 15-15-15 cm boyutundaki küp beton numuneleri kurutulduktan sonra 2 gr hassasiyetteki terazide tartılmıştır. Tartım sonucunda ölçülen değer küpün hacmine bölünerek, beton numunelerinin birim hacim ağırlıkları bulunmuştur. Bulunan sertleşmiş beton birim hacim ağırlık değerleri Tablo 3.15’de, A ve C serisi numunelerin sertleşmiş beton birim hacim ağırlık değerlerinin karşılaştırılması Şekil 3.10 ve Şekil 3.11’de verilmiştir.

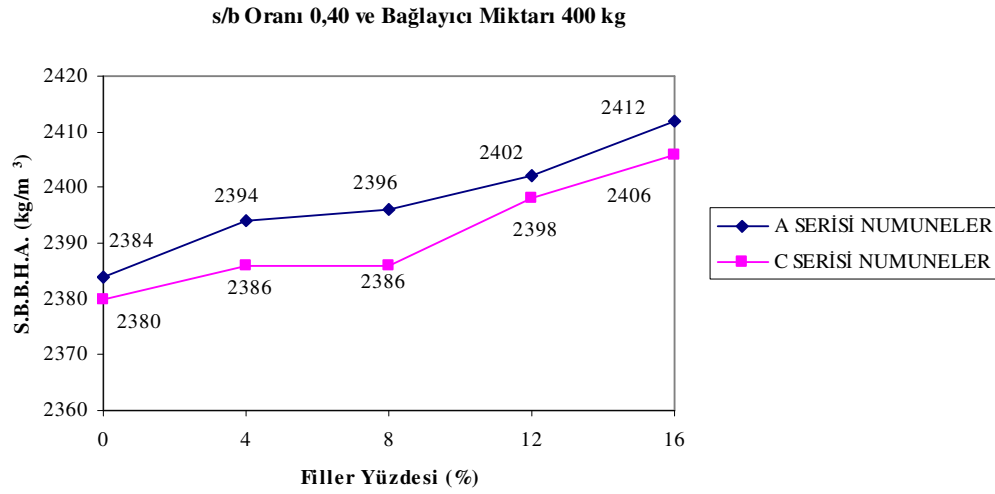
Tablo 3.15 Sertleşmiş beton birim hacim ağırlıkları

Numune No	Sertleşmiş Beton Birim Hacim Ağırlıkları (kg/cm ³)
A ₁	2342
A ₂	2340
A ₃	2352
A ₄	2360
A ₅	2365
A ₆	2384
A ₇	2394
A ₈	2396
A ₉	2402
A ₁₀	2412
C ₁	2350
C ₂	2356
C ₃	2360
C ₄	2376
C ₅	2380
C ₆	2380
C ₇	2386
C ₈	2386
C ₉	2398
C ₁₀	2406

s/b Oranı 0,65 ve Bağlayıcı Miktarı 250 kg



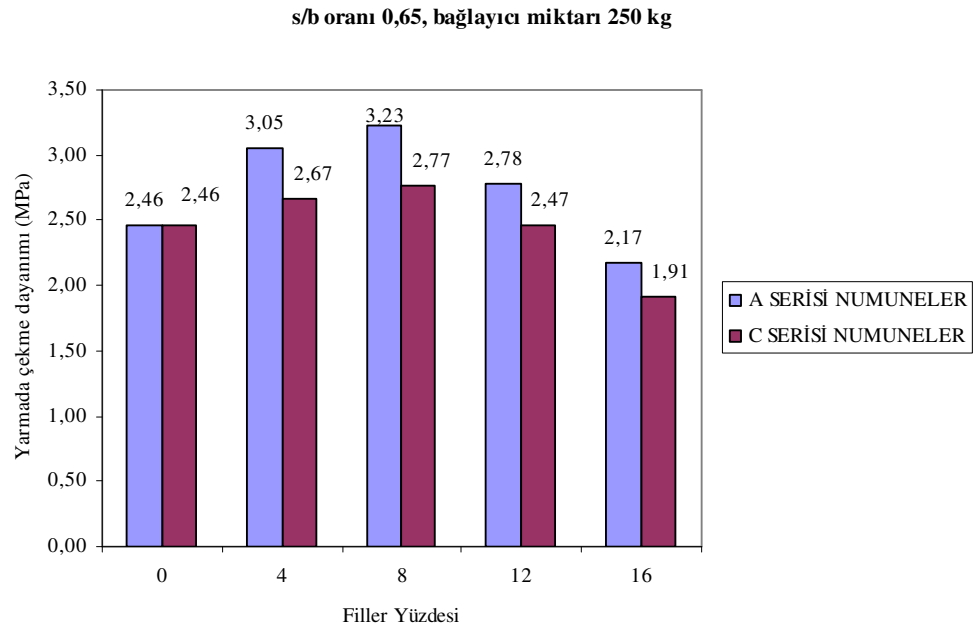
Şekil 3.10 Sertleşmiş beton numunelerinin birim hacim ağırlıkları



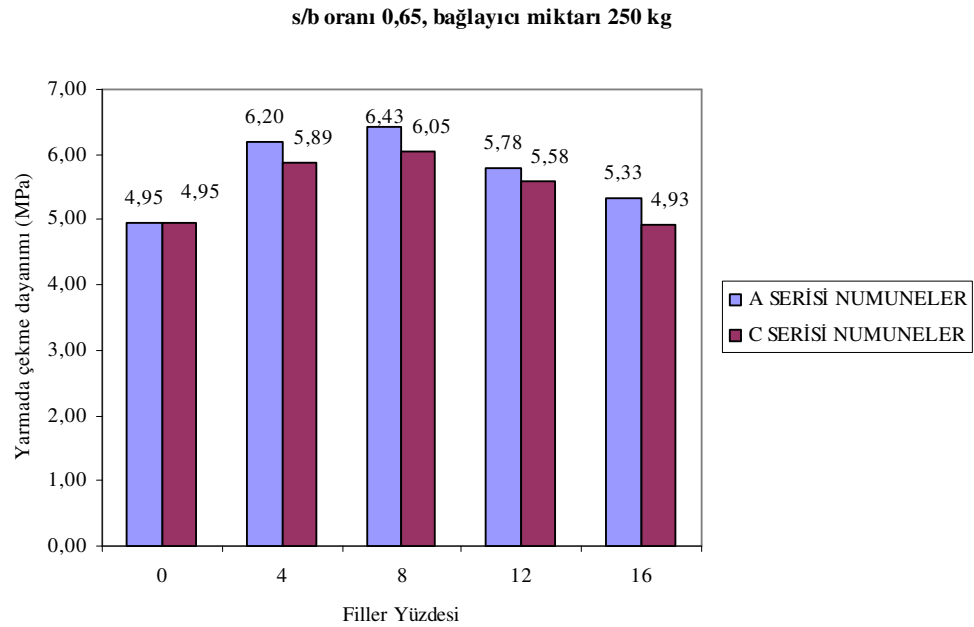
Şekil 3.11 Sertleşmiş beton numunelerinin birim hacim ağırlıkları

3.6.2.2 Sertleşmiş Beton Yarmada Çekme Dayanımı Deneyi

Sertleşmiş beton yarmada çekme deneyi 28 günlük beton numuneler üzerinde yapılmıştır. TS 12390-6’da deney aparatı olarak “Bilinen düz yükleme plakaları yerine veya bu plakalarla birlikte, eğri çelik yükleme parçaları kullanılabilir” ifadesi yer almaktadır. Buna istinaden deneylerde yarmada çekme deney aparatı ve çubukları kullanılmıştır. Numuneler alt ve üstlerinden deney çubukları ile sıkıştırılarak aparatın içine yerleştirilmiştir. Aparat basınç test cihazına konulduktan sonra, beton numuneler bahsedilen yönetmelikte yer alan “Yükleme hızı, 0,04 MPa/s ilâ 0,06 MPa/s arasında sabit gerilme hızı sağlanacak şekilde ayarlanmalıdır. Yük, sabit hızda artırılarak, darbe etkisi oluşturulmadan, seçilen yükleme hızının \pm % 1 sapma sınırları içerisinde kalması sağlanarak, numune kırılıncaya kadar kesintisiz uygulanmalıdır” ifadesi uyarınca 0,05 MPa/s yükleme hızı altında kırılmıştır. Deney sonuçları Şekil 3.12 ve Şekil 3.13’de, kontrol karışımına göre bağıl grafikler ise Şekil 3.14 ve Şekil 3.15’de sunulmuştur.

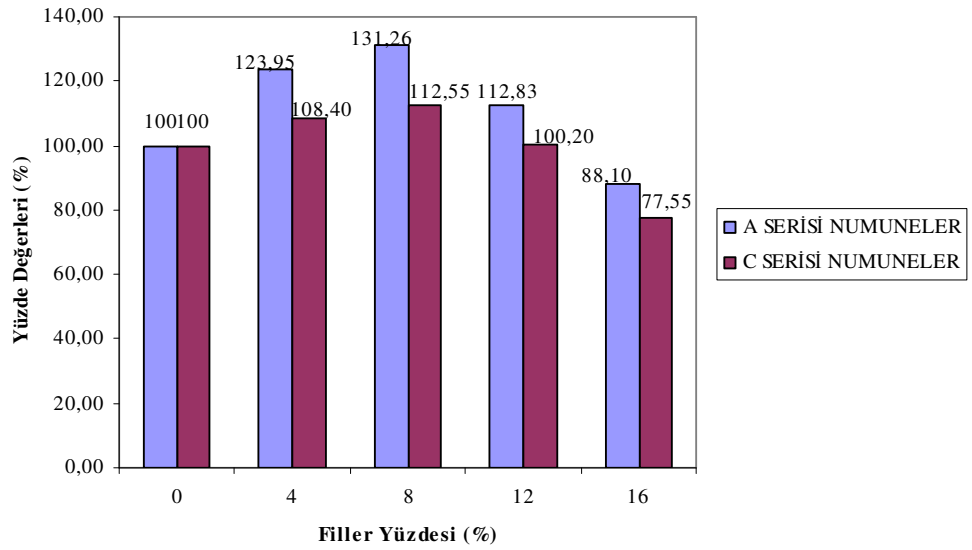


Şekil 3.12 Sertleşmiş beton numunelerinin yarmada çekme dayanımları



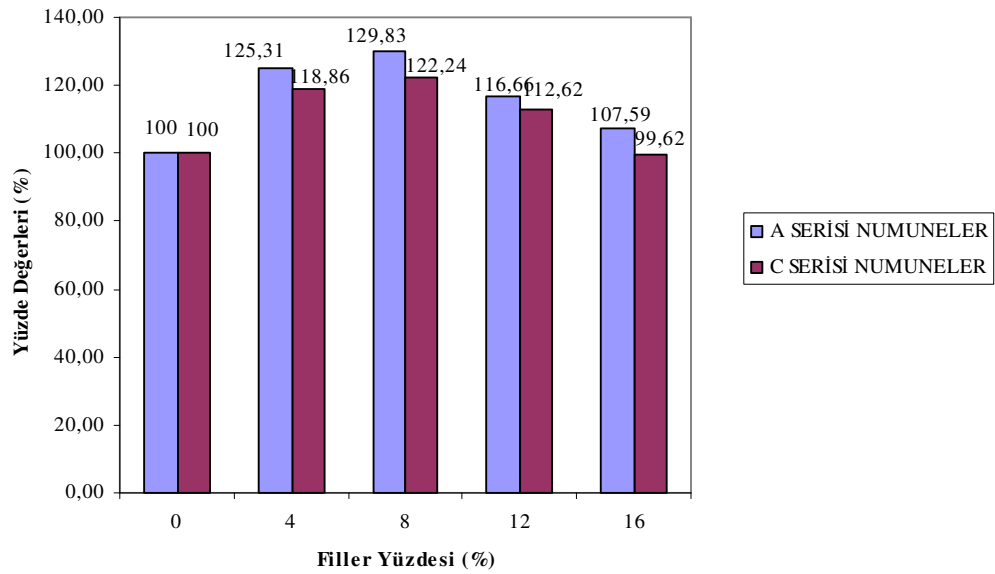
Şekil 3.13 Sertleşmiş beton numunelerinin yarmada çekme dayanımları

s/b Oranı 0,65, Bağlayıcı Miktarı 250 kg



Şekil 3.14 Farklı filler içerikli beton karışımlarının kontrol numunesine göre 28 günlük yarmada çekme mukavemet değerleri

s/b Oranı 0,40, Bağlayıcı Miktarı 400 kg



Şekil 3.15 Farklı filler içerikli beton karışımlarının kontrol numunesine göre 28 günlük yarmada çekme mukavemet değerleri

Şekil 3.12 incelendiğinde A serisi numunelerde yarmada çekme dayanımlarının % 12 filler kullanımına kadar kontrol karışımına göre arttığı görülmektedir. % 16 filler kullanımında ise yarmada çekme dayanımı kontrol karışımına göre düşüktür. Aynı durum C serisi numuneler için de geçerlidir. A ve C serisi numuneler birbiri ile karşılaştırıldığında ise A serisi numunelerin, hem tüm filler yüzdeleri hem de kontrol karışımı için C serisi numunelere göre daha yüksek yarmada çekme dayanımı değerleri verdiği gözlenmiştir.

Şekil 3.13 incelendiğinde hem A serisi hem de C serisi numunelerde tüm filler yüzdelerinin (C serisi % 16 hariç) yarmada çekme dayanımı değerlerinin kontrol numunesine göre yüksek olduğu görülmektedir. A ve C serisi numuneler birbiri ile karşılaştırıldığında ise Şekil 3.12'deki gibi A serisi numunelerin, hem tüm filler yüzdeleri hem de kontrol karışımı için C serisi numunelere göre daha yüksek yarmada çekme dayanım değerleri verdiği gözlenmiştir.

Kontrol numunesinin yarmada çekme dayanım değerini yüz kabul ederek çizdiğimiz bağıl dayanım grafiklerinde, s/b oranı 0,65 olan A serisi numunelerde % 12 filler malzemesi oranına, C serisi numunelerde ise % 8 filler malzemesi oranına kadar dayanımların arttığı görülmektedir. S/b oranı 0,40 olan A serisi karışımlarda tüm filler oranlarında dayanımlar kontrol numunesinden yüksek iken, C serisi karışımlarda % 12 oranında filler malzemesi kullanılan numunelerin dayanım değerleri kontrol numunesinden yüksektir.

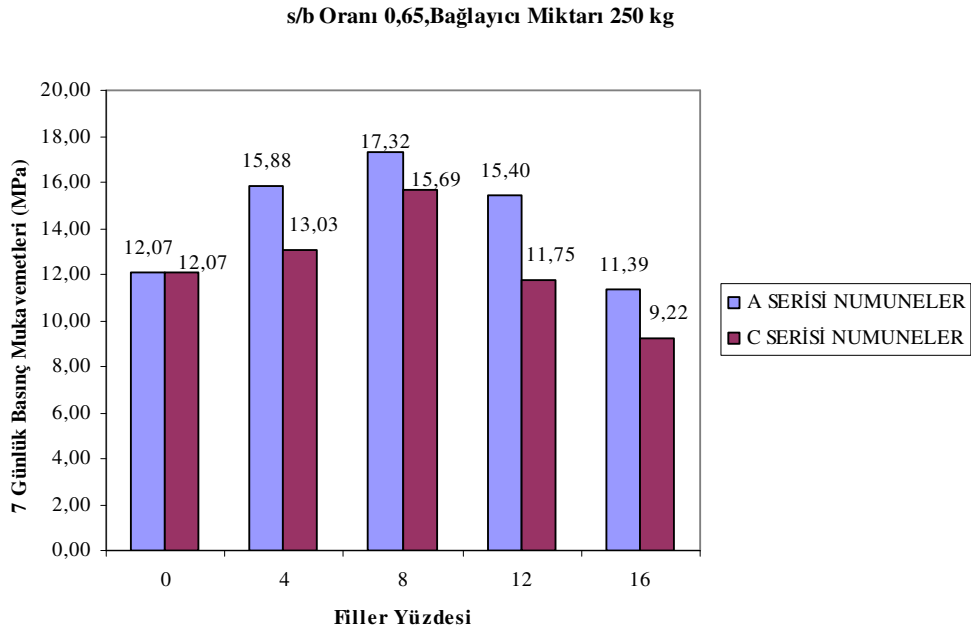
3.6.2.3 Sertleşmiş Beton Basınç Dayanımı Deneyi

Betonun basınç dayanımının belirlenebilmesi için uygulanan “standart deney yöntemi” ile ilgili Türk standardı TS EN 12390-3'dür. Bu standartta deneyin yapılışı, numune boyutları, yükleme hızları, numunelerin hazırlanması, sonuçların gösterilmesi ve deney raporu açıklanmaktadır.

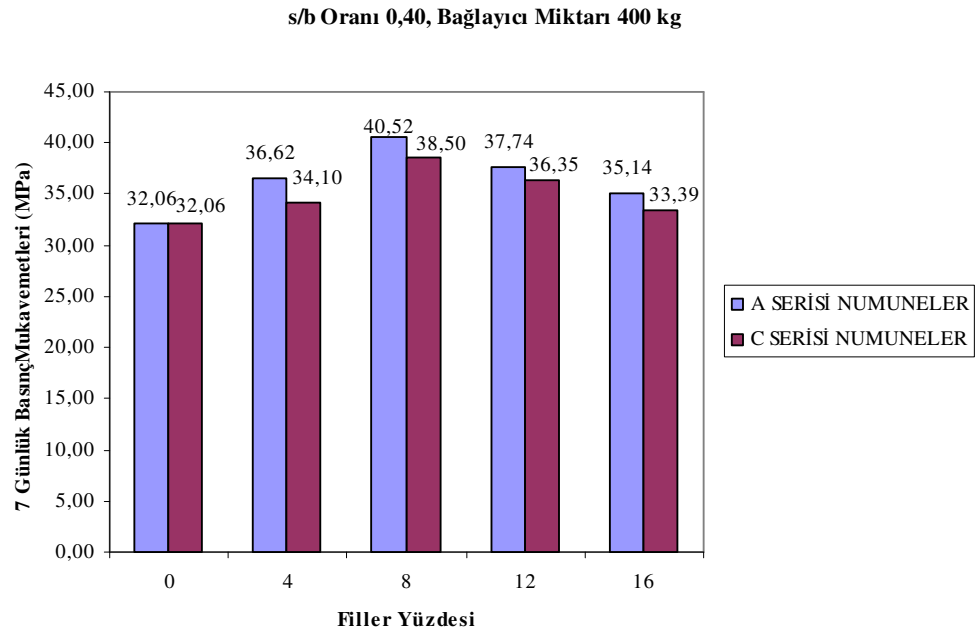
“Beton dayanımı”, üzerine gelen yüklerin neden olacağı şekil değiştirmelere ve kırılmalara karşı, betonun gösterebileceği maksimum direnme” olarak tanımlanmaktadır (Erdoğan, 2003).

Sertleşmiş beton basınç dayanımı deneyleri 15-15-15 cm küp numuneler üzerinde yapılmıştır. Numuneler 23 °C 'de kür havuzunda bekletildikten sonra, kırılmaları 7 ve 28 günlük olarak yapılmıştır. TS EN 12390-3 Standardında belirtilen “0,2 MPa/s - 1,0 MPa/s arasında sabit bir yükleme hızı seçilmelidir. Yük, numuneye, darbe tesiri olmaksızın, seçilen hızdan sapma \pm %10'u geçmeyecek şekilde, en büyük yüke ulaşıncaya kadar sabit hızda uygulanmalıdır”, ifadesine uygun olarak numuneler 0,6 MPa/s yükleme hızı altında kırılmıştır.

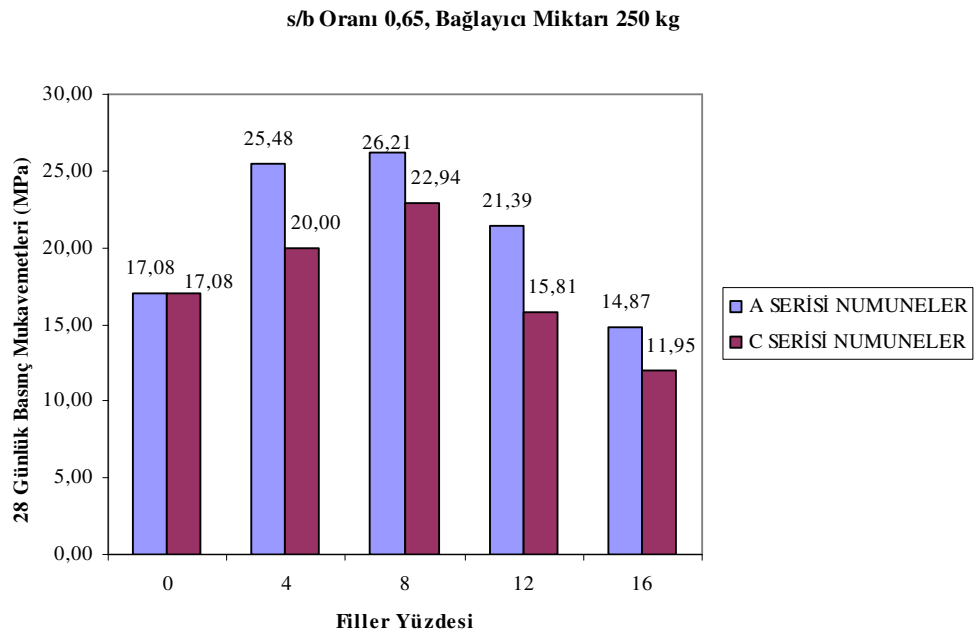
7 ve 28 günlük basınç dayanımı sonuçları sırasıyla Şekil 3.16, Şekil 3.17, Şekil 3.18 ve Şekil 3.19'da verilmiştir. Beton numunelerinin 7 günlük basınç mukavemetlerinin, 28 günlük basınç mukavemetlerine oranı ise Şekil 3.20 ve Şekil 3.21'de sunulmuştur.



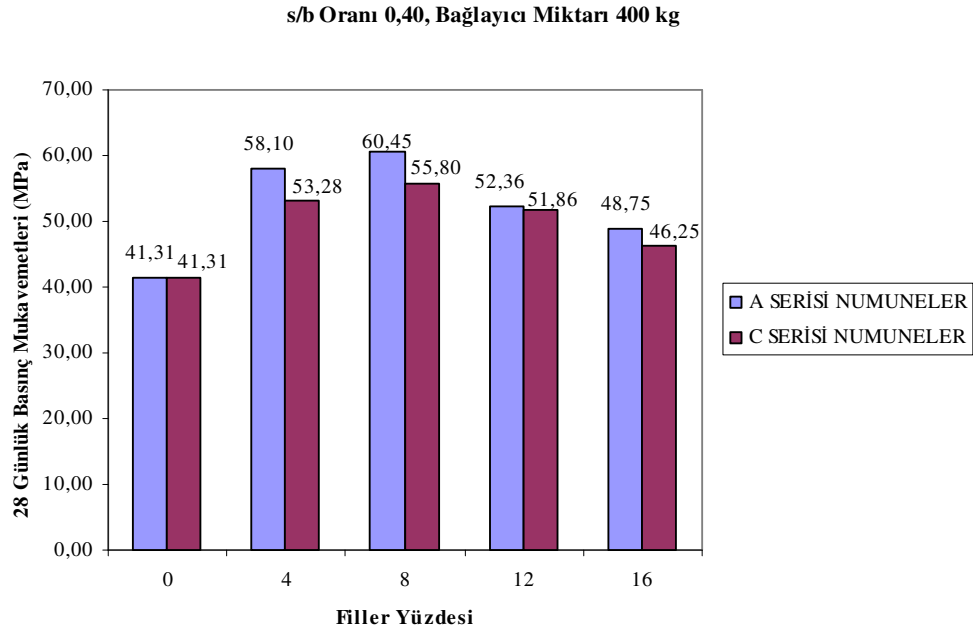
Şekil 3.16 Sertleşmiş beton numunelerinin 7 günlük basınç mukavemetleri



Şekil 3.17 Sertleşmiş beton numunelerinin 7 günlük basınç mukavemetleri



Şekil 3.18 Sertleşmiş beton numunelerinin 28 günlük basınç mukavemetleri



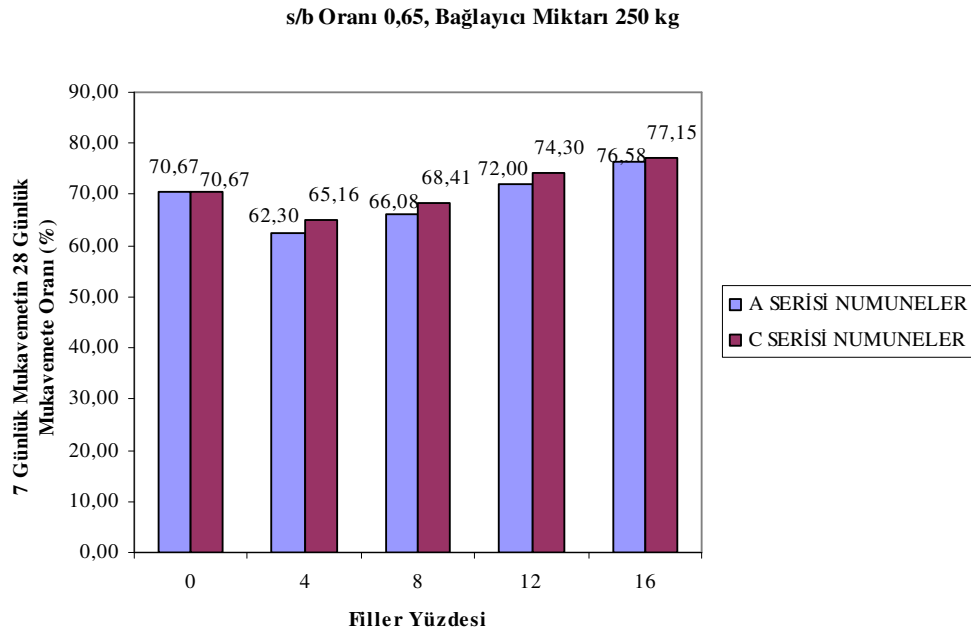
Şekil 3.19 Sertleşmiş beton numunelerinin 28 günlük basınç mukavemetleri

Beton numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımı deney sonuçlarına göre s/b oranı 0,65 olarak hazırlanan karışımların A ve C serisi numunelerinde fillerin sırasıyla % 12 ve % 8 oranına kadarki kullanımında hem 7 hem de 28 günlük basınç dayanımı değerleri artmıştır. Yüksek dayanımlı betonlar hedeflenerek hazırlanan s/b oranı 0,40 olan karışımlarda ise hem 7 hem 28 günlük basınç mukavemet değerleri tüm filler malzemesi kullanım oranları için kontrol numunesine göre artış göstermiştir.

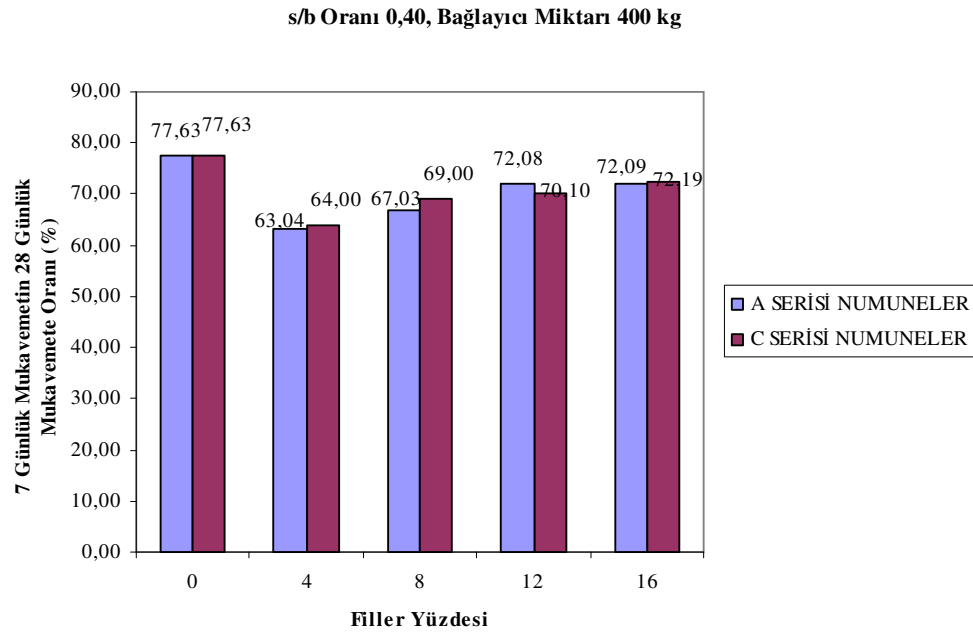
Filler malzemesi, belirli bir orana kadar beton karışımlarına katılırsa, betonun boşluklu yapısını azaltmakta, dolayısıyla betonun basınç mukavemetlerini artırmaktadır. A serisi numunelerde % 12 ve daha fazla, C serisi numunelerde ise % 8 ve daha fazla miktarda filler kullanımı, kontrol karışımına göre basınç mukavemetlerini düşürse de, A serisi numunelerde % 12'den, C serisi numunelerde de % 8 'den daha az filler malzemesi kullanımı basınç mukavemetlerini arttırmıştır. Buna neden olarak aşırı miktardaki fillerin agregayı kaplayarak, aderansı azalttığı söylenebilir.

Hem düşük mukavemetli betonlar hedeflenerek hazırlanan s/b 0,65, bağlayıcı miktarı 250 kg olan beton serilerinde hem de yüksek mukavemetli betonlar hedeflenerek hazırlanan s/b oranı 0,40, bağlayıcı miktarı 400 kg olan beton serilerinde A ve C serisi numunelerin 28 günlük basınç mukavemetleri mukayese edildiğinde, A serisi numunelerin daha yüksek dayanım değerleri verdiği gözlenmiştir.

A ve C serisi numuneler birbiri ile karşılaştırıldığında, A serisi numuneler kullanılan tüm filler oranları için C serisi numunelerden daha yüksek mukavemet değerleri vermiştir. Buna neden olarak A serisi numuneler de filler malzemesinin 0-5 mm boyutlu agrega ile, C serisi numunelerinde çimento ile yer değiştirmesi neticesinde A serisi numunelerdeki bağlayıcı (çimento) miktarının, C serisi numunelerdeki bağlayıcı (çimento+filler) miktarından fazla olması söylenebilir.



Şekil 3.20 Sertleşmiş beton numunelerinin 7 günlük basınç mukavemetlerinin 28 günlük basınç mukavemetlerine oranı

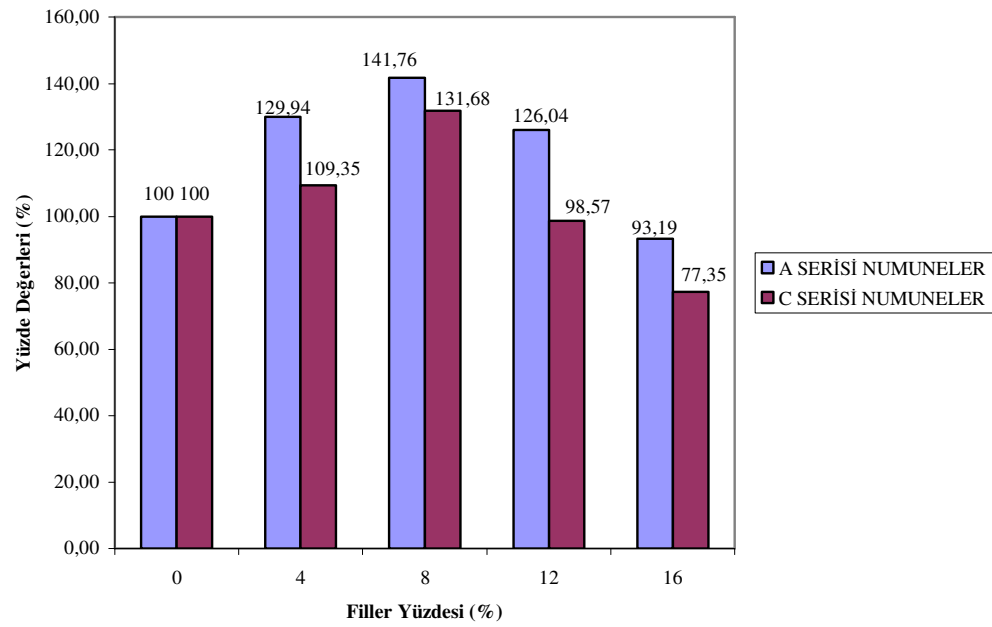


Şekil 3.21 Sertleşmiş beton numunelerinin 7 günlük basınç mukavemetlerinin 28 günlük basınç mukavemetlerine oranı

Şekil 3.20 incelendiğinde, hem A serisi hem de C serisi numunelerde 28 günlük nihai dayanıma göre, ilk 7 günde kazandıkları dayanım oranı % 4 ve % 8 oranlarında filler kullanılan karışımlarda kontrol karışımına göre düşük, %12 ve % 16 oranlarında filler kullanılan karışımlarda ise kontrol karışımına göre yüksek olduğu görülmektedir.

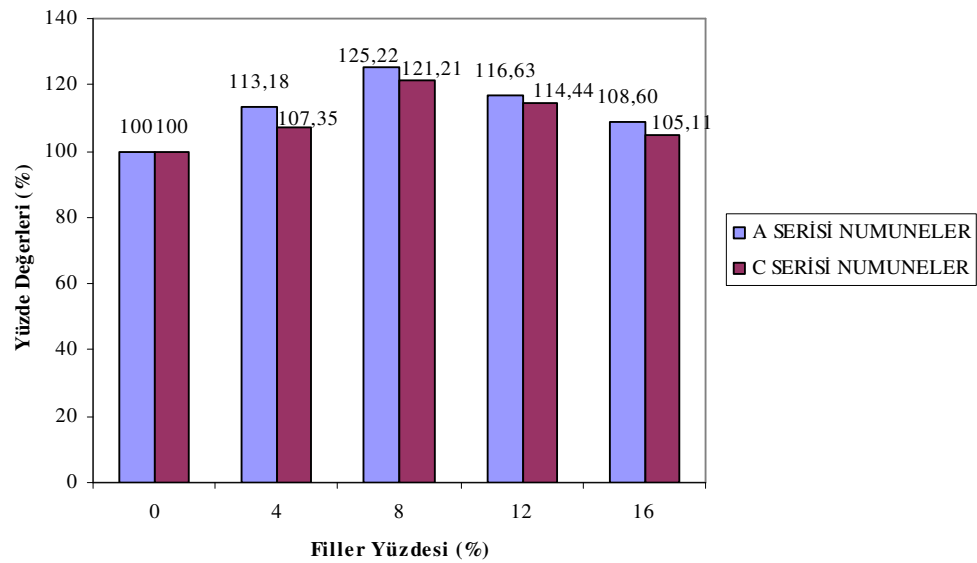
İçerisinde filler malzemesi bulunan beton karışımların, kontrol karışımına göre 7 ve 28 günlük mukavemet dayanım kazanım hızları ve 7/28 günlük mukavemet dayanımlarının kontrol numunesine göre artış oranları kontrol numunesi 100 kabul edilerek, hem A serisi hem de C serisi numuneler için Şekil 3.22-27’de gösterilmiştir.

7 Günlük Basınç Mukavemet Değerleri s/b 0,65



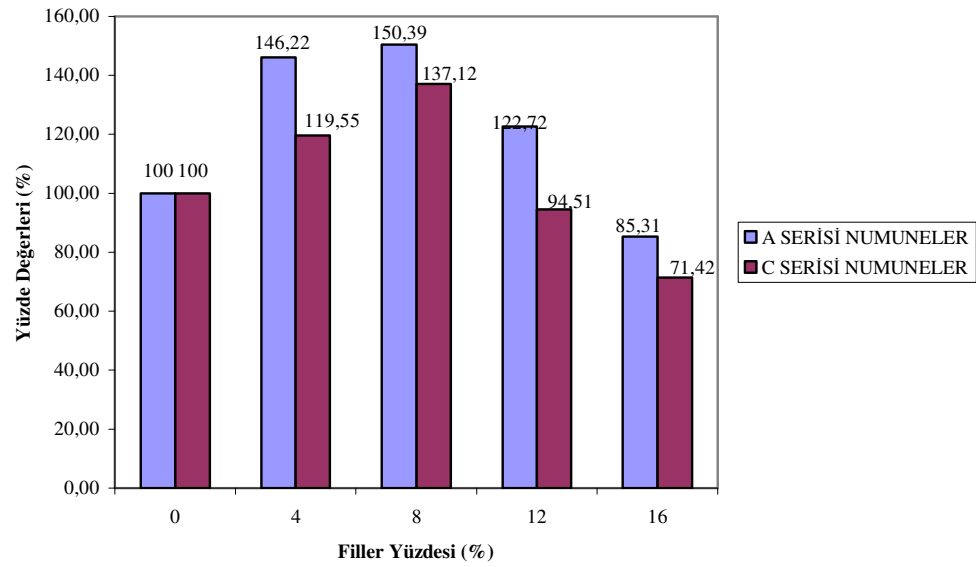
Şekil 3.22 Farklı filler içerikli beton karışımlarının kontrol numunesine göre 7 günlük basınç mukavemet değerleri

7 Günlük Basınç Mukavemet Değerleri s/b 0,40



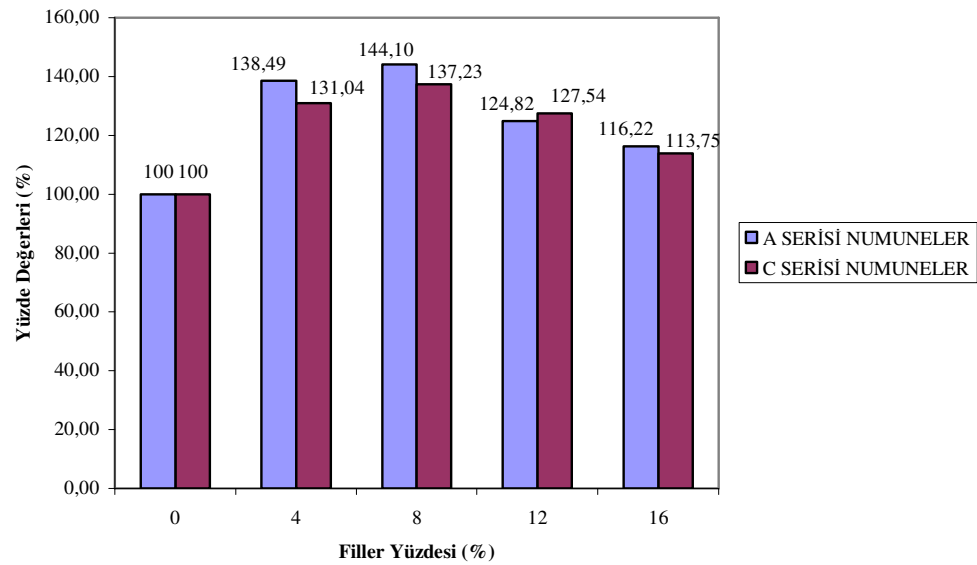
Şekil 3.23 Farklı filler içerikli beton karışımlarının kontrol numunesine göre 7 günlük basınç mukavemet değerleri

28 Günlük Basınç Mukavemet Değerleri s/b 0,65

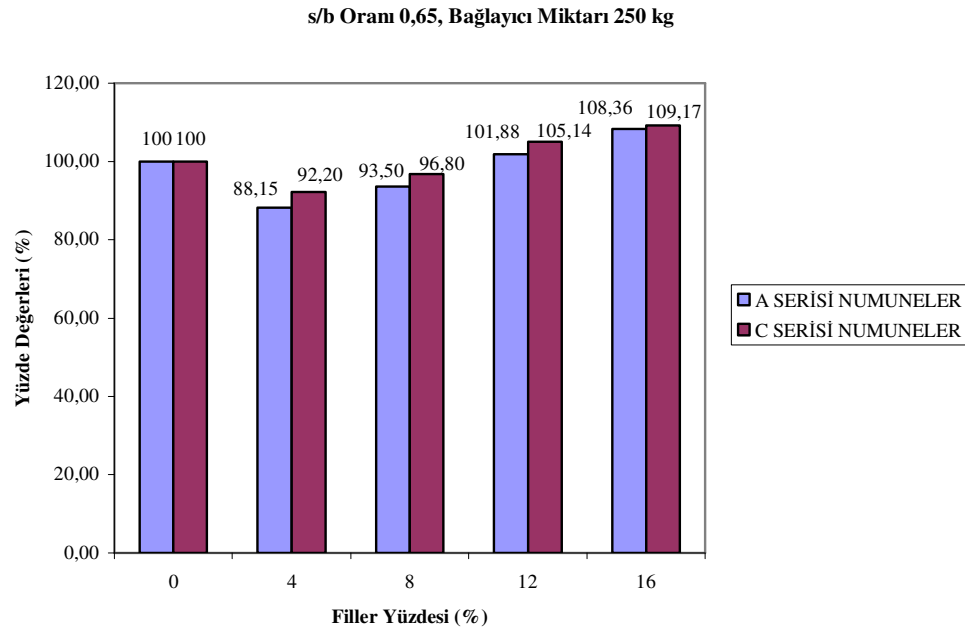


Şekil 3.24 Farklı filler içerikli beton karışımlarının, kontrol numunesine göre 28 günlük basınç mukavemet değerleri

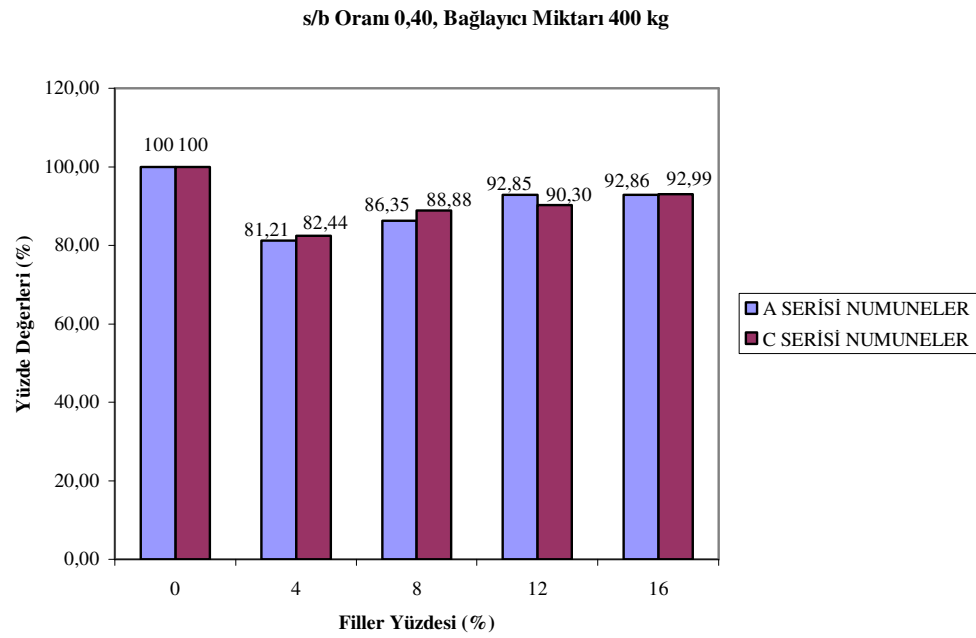
28 Günlük Basınç Mukavemet Değerleri s/b 0,40



Şekil 3.25 Farklı filler içerikli beton karışımlarının, kontrol numunesine göre 28 günlük basınç mukavemet değerleri



Şekil 3.26 Sertleşmiş beton numunelerinin 7 günlük basınç mukavemetlerinin 28 günlük basınç mukavemetlerine oranının kontrol numunesine göre mukavemet değerleri



Şekil 3.27 Sertleşmiş beton numunelerinin 7 günlük basınç mukavemetlerinin 28 günlük basınç mukavemetlerine oranının kontrol numunesine göre mukavemet değerleri

Deneysel çalışmada hazırlanan A ve C serisi numunelerin, kendi serileri içerisinde 7 ve 28 günlük basınç mukavemetleri karşılaştırılmıştır. Filler içeriği % 0 olan kontrol numunesinin basınç değeri 100 olarak kabul edilmiş ve diğer farklı filler içeriğine sahip numuneler kontrol numunesine göre oranlanmıştır.

Şekil 3.22 ve 3.24 incelendiğinde A serisi numunelerde % 12 filler kullanımına kadar dayanım hızları kontrol karışımına göre arttığı, % 16 filler kullanımında ise kontrol karışımına göre azaldığı görülmektedir. C serisi numunelerde ise % 8 filler kullanımına kadar dayanım hızları kontrol karışımına göre artmakta, % 12 ve % 16 oranlarında filler kullanımında ise kontrol karışımına göre dayanım hızları azalmaktadır.

Şekil 3.23 ve 3.25’de ise hem A serisi hem de C serisi numunelerde, kullanılan tüm filler oranlarının dayanım hızları kontrol karışımından yüksektir.

BÖLÜM DÖRT

SONUÇLAR

Bu çalışmada düşük ve yüksek mukavemetli betonlar hedeflenerek iki farklı beton serisi (s/b oranı 0,65 ve 0,40) tasarlanmıştır. Her serinin kendi içerisinde hazırlanan beton tasarımlarında 0-5 mm boyutlu agrega ve çimento yerine kalker kökenli kırma-taş filler malzemesi kullanılarak, bu malzemenin betonun mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir.

Bu çalışmada kullanılan agregalar elek analizi yöntemi ile filler içeriğinden tamamiyle arındırılmıştır. Her bir beton tasarımında kullanılan filler malzemesi karışımlara sonradan ikame edilmiştir.

Deneysel çalışmada beton içerisine belirli yüzdelerde filler malzemesi katılarak betonun boşluklu yapısının en aza indirilmesi, buna bağlı olarak da betonun mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca filler malzemesi belirli yüzdelerde bağlayıcı ile yer değiştirilerek beton karışımlarında ekonomiklik sağlanması amaçlanmıştır. Deneysel çalışma sonucunda filler içeriğinin betonun mekanik özelliklerinde birtakım değişiklikler meydana getirdiği gözlenmiştir.

Beton karışımlarına ince agrega ile % 12 oranına kadar filler malzemesinin yer değiştirmesi ile beton numunelerinin basınç dayanımlarında artış gözlenmektedir. Ancak filler miktarının % 12'den fazla olduğu beton karışımlarının basınç mukavemetleri azalmaktadır. Aynı durum filler malzemesinin çimento ile % 8 oranına kadar yer değiştirmesi için de geçerlidir.

Filler miktarı arttıkça taze beton içerisindeki hava miktarı azalmakta, birim hacim ağırlığı ise artmaktadır. Böylece filler malzemesinin beton içerisindeki boşluklu yapıyı kapattığı sonucuna ulaşılabilir. Boşlukların kapanması ile betonun geçirimsizliği büyük ölçüde artmakta ve daha dolgun betonlar meydana gelmektedir.

Beton içerisindeki filler miktarı arttıkça, betonun işlenebilirliği azalmış, su ihtiyacı artmıştır. Su ihtiyacındaki artış yüksek mukavemetli betonlarda kimyasal katkılarla giderilebilir. Ancak işlenebilirlikteki azalma betonda segregasyona yol açabilir. Özellikle düşük mukavemetli betonlar hedeflenerek hazırlanan, s/b oranı 0,65 olan numunelerde, filler kullanımı betonda gözlenen işlenebilirlik ve segregasyon sorunlarına çözüm olabilir.

Filler malzemesinin, çimento ile yer değiştirdiği C serisi numuneler ile 0-5 agregası ile yer değiştirdiği A sınıfı numuneler karşılaştırıldığında, kırma-taş kalker kökenli filler malzemesinin, betonda bağlayıcı ile kısmen yer değiştirebildiği görülmektedir. Her ne kadar çimento yerine kullanılan kırma-taş filler bir miktar bağlayıcı özellik gösterse de bu konu ile ilgili ileride daha detaylı çalışmalar yapılması gerekmektedir.

Düşük oranda filler içeren betonlar yüksek oranlarda filler içeren betonlara göre, 28 günlük nihai basınç mukavemetinin daha düşük bir bölümünü 7 günde sağlamaktadır.

Kırma-taş filleri ince agreganın bir bölümü yerine kullanılabilir. Böylece betonda en zayıf halka olarak bilinen agregası-ara yüzeyindeki boşlukların doldurulmasında kırma-taş filleri önemli rol oynamaktadır. Beton karışımında filler miktarı arttıkça, taze beton birim hacim ağırlığı da artmaktadır. Bu durumda, fillerin, betonu daha boşluksuz, daha az geçirgen hale getirdiği görülmektedir. Bu durum betonun geçirimsizliği ve bunun sonucu olarak durabilitesi için yararlı sonuçlar verebilir.

Belirli bir orandan daha fazla filler malzemesinin hem 0-5 mm boyutlu agregası ile hem de çimento ile yer değiştirmesinin agregası-matris aderansını olumsuz etkilediği düşünülebilir.

Kırma-taş filler malzemesinin yapısında bulunan CaCO_3 'ün çimento, silis ve alkali ile kimyasal bir tepkime oluşturduğu daha önce yapılmış bazı çalışmalarda saptanmıştır.

Sonuç olarak deneysel çalışma neticesinde elde edilen bulgular şu şekilde yorumlanabilir:

1. Filler içeriğinden tamamiyle arındırılan agregaya ve buna belirli oranlarda filler malzemesinin ikamesi ile hazırlanan tüm karışımların belirli bir oranda kalker fillerine ihtiyacı olduğu görülmektedir. Hiç filler içermeyen kontrol karışımı ile kıyaslandığında, optimum oranı hazırlanan beton tasarımlarına göre farklılık arz etmektedir.
2. Çok ince bir yapıya sahip olan filler malzemesinin beton karışımındaki suyu emmesinden ötürü, etkin s/b oranı azalmaktadır.
3. Filler malzemesi beton içerisindeki boşlukları doldurarak, betonda dolgu görevi yapmaktadır. Böylece beton daha az geçirgen ve boşluksuz yapıya sahip olmaktadır.
4. Hazırlanan beton karışımları içerisinde filler malzemesinin çekirdeklenme etkisi yaptığı, çimento reaksiyonunu hızlandırarak erken dayanıma etki ettiği düşünülmektedir.
5. Filler malzemesinin aşırı miktarda kullanımının agregaya-matris aderansını zayıflattığı, olumsuz etkilediği söylenebilir.
6. Filler malzemesinin beton içerisindeki miktarının artmasıyla betonların su emme miktarları artmış, işlenebilirlikleri azalmıştır.
7. Filler malzemesinin yapısında bulunan CaCO_3 'ün çimento ile girdiği tepkime sonucunda hidrasyon ısı ve beton dayanımları zamanla değişmektedir (Ramachandran, 1995).

İleride yapılacak çalışmalarda daha sık yüzdeler ile filler oranları denenebilir. Böylece filler malzemesinin betonun mekanik özelliklerini olumsuz etkilediği yüzde değeri daha net olarak belirlenebilir. Bu çalışmada beton numunelerinin basınç dayanımı üzerinde durulmuştur. Yine ileride yapılacak çalışmalarda mikro gözenek boyutlarının tayini yapılabilir. Filler malzemesinin betonun durabilitesine ve bu çalışmada incelenmeyen diğer beton özelliklerine etkisinin de araştırılmasında fayda vardır.

KAYNAKLAR

- Baum, H. & Katz, A. (bt). *Influence of fines on concrete mixes*.
- Beton agregaları*. (2003). Türk Standardı 706 EN 12620.
- Beton agregalarında özgül ağırlık ve su emme oranı tayini*. (1980). Türk Standardı TS 3526.
- Beton-karma suyu-numune alma, deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dahil, suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları*. (2003). Türk Standardı TS EN 1008.
- Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları*. (2000). Türk Standardı TS 500.
- Betonda özellik, performans, imalat ve uygunluk* (2002). Türk Standardı TS EN 206.
- Christianto, H. (2004). *Effect of chemical and mineral admixtures on the fresh Properties of self compacting mortars*. Approval of the Graduate School of Natural and Applied Sciences.
- Concrete and aggregates* (2003). American Standard of Testing Materials ASTM 04.02
- Çimento-Portland çimentoları*. (1992). Türk Standardı TS 19.
- Çimentoların bileşim, özellikleri ve uygunluk kriterleri*, (2002). Türk Standardı TS EN 197-1.
- Erdoğan, Y., T. (2003). *Beton*. Ankara: ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını.
- Ersoy, U. ve Özcebe, G., (2001). *Betonarme*. İstanbul, Evrim Yayınevi.
- İ.T.Ü.-T.Ç.M.B.-O.D.T.Ü. (1995). Sanayi-Üniversite araştırma geliştirme ve laboratuvar hizmetleri işbirliği
- Kırçıl, S. (2006). *Betonarme ders notları*.
- Krstulovic, P., Kamenic, N., & Popovic, K. (1994). A new approach in evaluation of filler effect in cement. *I. Effect on Strength and Workability of Mortar and Concrete, Cem. Cone. Rec.*, 24 (4), 721-727.
- Ludgren, M. (bt). Limestone filler as addition in cement mortars: Influence on the Early-age strength development at low temperature. SP Swedish National Testing and Research Institute P.O. Box 857, SE-501 15 Boras.

- Moosberg H.-Bustnes , B. Lagerblad & E. Forsberg, (2004). *The function of fillers In concrete*. Stockholm. Materials and Structures / Materiaux et Constructions, vol. 37, March 2004, pp 74-81.
- Nambiar K. & Ramamurthy, K. (2005). *Influence of filler type on the properties*. Chennai. Cem. Cone. Rec., 28 (2006), 475-480.
- Özgan, E. (2005). *Kırmataş agrega içerisindeki taş unu miktarının betonun basınç dayanımına etkisi*. Kayseri. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 21 (1-2), 198-205.
- Ramachandran V.S. (1995), Concrete Admixtures Handbook.
- Sertleşmiş beton deneyleri, deney numunelerinde basınç dayanımının tayini*. (2003). Türk Standardı TS EN 12390/3.
- Sertleşmiş beton deneyleri, deney numunelerinin yarmada çekme dayanımının tayini*. (2002). Türk Standardı TS EN 12390/6.
- Sertleşmiş beton deneyleri, sertleşmiş betonun yoğunluğunun tayini*. (2002). Türk Standardı TS EN 12390/7.
- Su genel teknik şartnamesi*. (1997). Türk Standardı TS 266.
- Taşdemir, C. ve Atahan, H, N. (1996). Filler malzemelerinin betonun mekanik özelliklerine ve durabilitesine etkisi. İstanbul. *1. Ulusal kırmataş sempozyumu*.
- Taze beton deneyleri*. (2002). Türk Standardı TS EN 12350/2.
- Taze beton deneyleri, hava muhtevasının tayini*. (2002).Türk Standardı TS EN 12350/7.
- Taze beton deneyleri, yoğunluk*. (2002). Türk Standardı TS EN 12350/6.
- Temzibaşoğlu, N. (1996). Kırmataş tozunun betonda kullanılabilirliği. *1.ulusal kırmataş sempozyumu*.
- Terzi, S. (2000). *Mermer toz atıkların asfalt betonunda filler malzemesi olarak kullanılmasının araştırılması*. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Topçu, İ. B, ve Uğurlu, A. (2003). Effect of the use of mineral filler on the properties of concrete. Eskişehir. *Cem. Cone. Res.*, 33 (2003), 1071-1075.
- Uchikawa, H., Hanehara, S. & Hirao, H. (1996). Influence of microstructure on the physical properties of concrete prepared by substituting mineral powder for part of fine aggregate. *Cem. Cone. Res.*, 26 (1), 101-111.

Uğurlu, A. (1996). Taş-unu kullanımının beton özellikleri üzerine etkisi. 1. *Ulusal kırmataş sempozyumu'96*, İstanbul -1996, ISBN 975-395-196-5.

Ün, H. (2007). *Yapı malzemesi bahar yarıyılı ders notları*. Denizli.

Ünal, O. Ve Kibici, A. (2001). *Mermer tozu atıklarının beton üretiminde kullanılmasının araştırılması*. Afyon: Türkiye 3. Mermer Sempozyumu Bildirileri Kitabı.

Yahia, A., Tanimura, M., Shimoyama, Y. (2005). Rheological properties of highly flowable mortar containing filler-effect of powder content and W/C ratio. Sherbrooke. *Cem. Cone. Res.*, 35, 532-539.

Zhu, W. & Gibbs, J. C., (2002). Use of different limestone and chalk powders in self compacting concrete. Paisley. *Cem. Cone. Res.*, 35 (2005), 1457-1462.