T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

# BARİTİN BETON AGREGASI OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİ VE KALKER İLE DERE MALZEMESİ AGREGALARIYLA KARŞILAŞTIRILMASI

Murat CAYMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
2009

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

# BARİTİN BETON AGREGASI OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİ VE KALKER İLE DERE MALZEMESİ AGREGALARIYLA KARŞILAŞTIRILMASI

Murat CAYMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
2009

Bu tez ...../...../..... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından
oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

| Prof.Dr.Veysel ZEDEF | Prof.Dr. M.Kemal GÖKAY | Yrd.Doç.Dr. Adnan DÖYEN |
|---|---|---|
| (Danışman) | (Jüri) | (Jüri) |

# İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER ..... i
TEŞEKKÜR ..... iv
ÖZET ..... v
ABSTRACT ..... vii
ÇİZELGELER LİSTESİ ..... ix
RESİMLER LİSTESİ ..... xi
1. GİRİŞ ..... 1
1.1. Genel ..... 1
1.2. Tezin Amaçları ..... 2
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI ..... 4
2.1. Agregalar ..... 4
2.1.1. Giriş ..... 4
2.1.2. Agregaların Sınıflandırılmaları ..... 6
2.1.2.1. Çıkarıldıkları Yerlere Göre Sınıflandırma ..... 6
2.1.2.2. Birim Ağırlıklarına Göre Sınıflandırma ..... 7
2.1.2.3. Boyutlarına Göre Sınıflandırma ..... 7
2.1.2.4. Tane Şekline Göre Sınıflandırma ..... 8
2.1.2.5. Yüzey Dokusuna Göre Sınıflandırma ..... 8
2.1.2.6. Jeolojik Oluşumlarına Göre Sınıflandırma ..... 8
2.1.2.7. Mineralojik Yapışma Göre Sınıflandırma ..... 8
2.1.3. Agrega Özellikleri ..... 9
2.1.4. Agregaların Fiziksel Özellikleri ..... 10
2.1.4.1. Porozite ve Nem Durumu ..... 10
2.1.4.2. Agregaların Birim Ağırlıkları ..... 11
2.1.4.3. Agregaların Özgül Ağırlığı ..... 12
2.1.4.4. Agreganın Kompasitesi ..... 12
2.1.4.5. Agregalarda Dona Dayanıklılık ..... 13
2.1.5. Agregaların Mekanik Özellikleri ..... 14
2.1.6. Agregalara Zararlı Maddeler ve Taneler ..... 16
2.1.7. Agregalarda Granülometri (Tane Büyüklüğü Dağılımı) ..... 22
2.1.7.1. Granülometrinin Belirlenmesi (Elek Boyutları) ..... 22
2.1.7.2. Granülometri Eğrileri (Tane Dağılımı Eğrisi) ..... 23
2.1.7.3. Agrega Yüzey Şekli ve Biçimi ..... 24

2.2. Beton .....27
2.2.1. Giriş.....27
2.2.2. Betonun Tanımı ve Sınıflandırılması.....27
2.2.3. Betonu Oluşturan Malzemeler .....32
2.2.4. Beton Üretimi ve Üretim Aşamaları .....35
2.2.5. Betondan Beklenilen Özellikler.....39
2.2.5.1. İşlenebilme ..... 40
2.2.5.2. Dayanımlar..... 41
2.2.5.3. Kompasite ..... 43
2.2.5.4. Segregasyon ..... 43
2.2.5.5. Betonun Terlemesi ..... 44
2.2.5.6. Elastisite..... 44
2.2.5.7. Dayanıklılık ..... 45
3. LABORATUAR ÇALIŞMALARI ..... 49
3.1. Numune Alınan Bölgeler ..... 49
3.2. Laboratuar Deneyleri ve Sonuçları ..... 55
3.2.1.Agrega Deneyleri..... 55
3.2.1.1. Kullanılacak Agregaların Granülometrilerinin Belirlenmesi.....56
3.2.1.2.Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini .....57
3.2.1.2.1. İri Agregalar İçin Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini .....57
3.2.1.2.2 İnce Malzeme için Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini .....57
3.2.1.3. Nem Oranının Tayini ..... 59
3.2.2. Beton Deneyleri.....…….…. 60
3.2.2.1. Taze Beton Deneyleri .....……..60
3.2.2.1.1. Kıvam Deneyleri .....……..60
3.2.2.1.2. Birim Hacim Ağırlık Deneyi .....……..61
3.2.2.1.3. Taze Betonda Hava Miktarı Ölçümü ....…….. 62
3.2.2.1.4. Taze Betonda Sıcaklık Ölçümü .....…. 63
3.2.2.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri.....…….. 63
3.3. Laboratuar Çalışmaları Sonuçlarının Değerlendirilmes ..... 68
3.3.1. Agrega Deney Sonuçları ..... 68
3.3.1.1. Elek Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi ..... 68

3.3.1.2. Doğal Nem Oranı Sonuçlarının Değerlendirilmesi .... 72
3.3.1.3. Özgül Ağırlık ve Su Emme Yüzdesi Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....73
3.3.2.Beton Deneyleri Sonuçları ..... 74
3.3.2.1. Kıvam Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi ..... 74
3.3.2.2. Birim Hacim Ağırlık Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi ..... 74
3.3.2.3. Betonda Hava Miktarı ve Sıcaklık Sonuçları ..... 74
3.3.2.4. Beton Dayanım Deney Sonuçları ..... 75
4.SONUÇLAR ..... 80
KAYNAKLAR ..... .83
ÖZGEÇMİŞ ..... 85

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yapılmasında yardımlarını esirgemeyen Prof.Dr. Veysel ZEDEF hocamız başta olmak üzere, laboratuar çalışmalarında yardımcı olan Korkmaz Hazır Beton (Konya) ve Buğ-Taş Hazır Beton (Sivas) yetkililerine ve ayrıca hammadde temini konusunda yardımcı olan Baras Maden Ltd.Şti. Akşehir Şubesi Barit İşletmeleri yetkililerine teşekkür ederim.

# ÖZET


**Yüksek Lisans Tezi**

**Baritin Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği**

**ve**

**Kalker ile Dere Malzemesi Agregalarıyla Karşılaştırılması**

**Murat CAYMAZ**

**Selçuk Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Maden İşletme Ana Bilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Veysel ZEDEF**
**Jüri: Prof.Dr. M.Kemal GÖKAY**
**Jüri: Yrd.Doç.Dr. Adnan DÖYEN**

**2009, 85 Sayfa**

Temel bir yapı malzemesi olan beton, ilerleyen teknolojinin getirdiği avantajlar ile günümüzde çok önemli bir yer tutmaktadır. Agrega, çimento ve su ile betonu oluşturan temel malzemelerden birisidir. Agrega beton üretiminde teknik ve ekonomik yönlerden çok önemli bir yere sahiptir. Agrega, betonun sertleşmesi hacimsel değişiklikleri minumuma indirgemesi ve çevreden gelecek etkilere karşı betonun dayanımını arttırmaktadır.

Bu çalışmada, beton agregası olarak kullanılan kalker ve dere malzemelerine alternatif olarak baritin kullanılabilirliği araştırılmıştır. Kalker, dere malzemesi ve baritin çeşitli özellikleri irdelenmiş olup bu agregalardan üretilen betonların avantaj ve dezavantajlarına değinilmiştir. Araştırmalar neticesinde üretilen betonların dayanımlarına bakıldığında;

| | 2.Gün | 7.Gün | 28.Gün |
|---|---|---|---|
| Dere Malzemesi | 18,65 MPa | 24,98 MPa | 33,87 MPa |
| Kalker | 18,75 MPa | 28,90 MPa | 37,23 MPa |
| Barit | 21,60 MPa | 38,29 MPa | 43,22 MPa |

sonuçlarına ulaşılmıştır.

Bu sonuçlara göre barit ile yapılan betonun, kalker ve dere malzemesi ile yapılan betonalara göre daha sağlam olduğu tesbit edilmiş olup, barit üretilen betonların tek eksenli basınç dayanımlarına bakıldığında baritten üretilen betonların kullanılmasıında bir sakıncayla karşılaşılmamıştır.

**Anahtar Kelimeler :** Agrega, Kalker, Beton, Barit, Dere Malzemesi

# ABSTRACT

**Master Thesis**

**Usability of Barite as Concrete Aggrete**
**And**
**Lts Comparison with Limestone and Stream Gravel Aggregates**

**Murat CAYMAZ**

**Selcuk University**

**Institute of Science**

**Department of Mining**

**Advisor: Prof.Dr. Veysel ZEDEF**
**Jury: Prof.Dr. M.Kemal GÖKAY**
**Jury: Yrd.Doç.Dr. Adnan DÖYEN**

**2009, 85 page**

Today, concrete that is a basic construction material takes a very important place with its advantages due to advancing technology. Aggregate is one of the basic materials that constitutes concrete together with water and cement. Aggregate has technically and economically important positin for the production of concrete. Aggregate hardens the concrete, minimizes volumetric changes and increases its resistance against environmental effects.

In this study, usability of barite was searched as an alternative to limestone and stream gravel that are used as concrete aggregate. Various characteristics of limestone, stream gravel and barite are studied, and advantages and disadvantages of concrete produced from these aggregates are discussed.
It has been concluded as following:

| | 2nd Day | 7th Day | 28th day |
|---|---|---|---|
| Stream Gravel | 18.65 MPa | 24.98 MPa | 33.87 MPa |
| Limestone | 18.75 MPa | 28.90 MPa | 37.23 MPa |
| Barite | 21.60 MPa | 38.29 MPa | 43.22 MPa |

According to these results, it was established that concrete consist of barite is stronger than aggregate, and no disadvantage was observed wife the barite concrete for using barite as concrete aggregate in respect of resistance.

**Key words :** Aggregate, Limestone, Concrete, Barite, Stream Gravel

# ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 2.1. Dona Dayanıklılık Deneylerinde Agregada Oluşabilecek Maksimum Ağırlık Kayıpları ..... 14
Çizelge 2.2. NaOH Eriyiği ile Karıştırılan Agrega Kullanım Durumu ..... 17
Çizelge 2.3. Agregalarda Kil ve Siltin Bulunma Limitleri ..... 18
Çizelge 2.4. Sağlam Olmayan Agrega Elemanları ve Oranları ..... 20
Çizelge 2.5. Agrega Tane Boyutlarına Göre Sınıflandırma ..... 23
Çizelge 2.6. Agregalarda Tane Şekline Göre Sınıflandırma ..... 25
Çizelge 2.7. Basınç Dayanımlarına Göre Sınıflandırma ..... 30
Çizelge 2.8. Kıvamlarına Göre Betonların Çökme Değerlerini Esas Alarak Sınıflandırma ..... 31
Çizelge 2.9. Agrega Tane Büyüklüğüne Göre Sınıflandırma ..... 32
Çizelge 2.10. Taze ve Sertleşmiş Betondan Beklenen Özellikler ..... 40
Çizelge 2.11. Beton Kıvamı ve Özellikleri ..... 41
Çizelge 2.12. Beton Mukavemetine Etki Eden Faktörler ..... 42
Çizelge 2.13. Beton Kalitesini Etkileyen Faktörler ..... 48
Çizelge 3.1. TS 707' ye Göre Yüzey Nemi Oranın Tayinin Maksimum Tane Büyüklüğü ile İlişkisi ..... 59
Çizelge 3.2. Çökme Sınıfları ..... 60
Çizelge 3.3. Dmaks. 31,5 için Standart Granülometri Değerleri ..... 68
Çizelge 3.4. Kalker için Düzenlemesi Yapılmış Granülometri Değerleri ..... 69
Çizelge 3.5. Kalker için Granülometri Eğrisi ..... 69
Çizelge 3.6. Dere Malzemesi için Düzenlemesi Yapılmış Granülometri Değerleri ..... 70
Çizelge 3.7. Dere Malzemesi için Granülometri Eğrisi ..... 70
Çizelge 3.8. Barit için Düzenlemesi Yapılmış Granülometri Değerleri ..... 71
Çizelge 3.9. Barit için Granülometri Eğrisi ..... 71
Çizelge 3.10. Barit'ten (%100) Üretilen C 30/37 Betonu için Elde Edilen Numune Özellikleri ve Test Değerleri ..... 76
Çizelge 3.11. Barit'ten Üretilen C30/37 Betonu İçin Tek Eksenli Basınç Dayanım Deneyi Sonuçları ..... 76
Çizelge 3.12. Kalker'den (%100) Üretilen C 30/37 Betonu için Elde Edilen Numune Özellikleri ve Test Değerleri ..... 77

Çizelge 3.13. Kalker'den Üretilen C30/37 Betonu İçin Tek Eksenli Basınç Dayanım Deneyi Sonuçları ..... 77
Çizelge 3.14. Dere Kumu'ndan (%100) Üretilen C 30/37 Betonu için Elde Edilen Numune Özellikleri ve Test Değerleri ..... 78
Çizelge 3.15. Dere Kumu'ndan Üretilen C30/37 Betonu İçin Tek Eksenli Basınç Dayanım Deneyi Sonuçları ..... 78
Çizelge 3.16. Kalker, Dere Kumu ve Barit'ten Üretilen Betonların Dayanım Grafikleri ..... 79

# RESİMLER LİSTESİ

Resim 3.1. Akşehir Barit İşletmesi Yerbuldur Haritası ..... 50
Resim 3.2. Akşehir Barit İşletmesi Fotoğrafları ..... 50
Resim 3.3. Sivas Şarkışla Dere Kumu İşletmesi Yerbuldur Haritası ..... 51
Resim 3.4. Sivas Şarkışla Dere Kumu İşletmesi Fotoğrafları ..... 52
Resim 3.5. Karaömerler İşletmesi Yerbuldur Haritası ..... 53
Resim 3.6. Karaömerler İşletmesi Fotoğrafları ..... 53
Resim 3.7. Etüv, Hassas Terazi ve Granülometri Elekleri ..... 56
Resim 3.8. Çökme Deneyi ..... 61
Resim 3.9. Hava Ölçer ..... 63
Resim 3.10. Küp ve Silindir Beton Kalıpları ... ..... 64
Resim 3.11. Kalıplara Doldurulmuş Beton Örnekleri ..... 65
Resim 3.12. Kür Havuzu ..... 66
Resim 3.13. Tek Eksenli Basınç Dayanımı Düzeneği ve Kırılmış Beton Örnekleri..67

# 1. GİRİŞ

## 1.1. Genel

İnsanların barınmak için çeşitli yapılara gereksinimleri vardır. Yapıda en önemli yeri malzeme alır. Sağlam, ekonomik ve iyi bir yapı, malzeme temeli üzerine kurulur. Bir yapının ömrü malzemenin niteliği ve malzemenin uygun kullanılmasıyla arttırılabilir. Aksi taktirde en üstün işçiliğin sağlanması ve gerekli özenin gösterilmesi ekbir fayda sağlamaz.

Beton, günümüzde en yaygın olarak kullanılan bir yapı malzemesidir. Üretimin kolaylığı, ucuzluğu, servis ömrünün uzun oluşu ve üzerine gelen yüklere karşı dayanımı onu en önemli yapı malzemesi durumuna getirmiştir. Çimento, agrega, su ve gerektiğinde bazı katkı maddelerinin bir arada karıştırılması ile üretilir.

Beton üretimi agrega seçiminden başlayan ve son adımına kadar her aşamada son derece dikkat gerektiren bir iş ve aynı zamanda kendine has kuralları olan bir teknolojidir. Betonu oluşturan maddelerden olan su, beton karma işinde kullanılır. Kural olarak içilebilen sular beton üretiminde rahatlıkla kullanılabilirler. Beton yapımında suyun fonksiyonları agregayı ısıtma, priz ve sertleşme esnasındaki kimyasal reaksiyonu sağlamadır. Betona fazla su verilmesi onun işleme kabiliyetini arttırsa da dayanımlarını büyük ölçüde azaltır. Beton yapımında kullanılacak ideal suyun miktarı hidratasyon için gerekli olanı kadar olup, betonda kullanılacak olan suyun temiz olması, fazla miktarda mineral ve yağlı madde içermemesi gerekmektedir. Beton çimento, su, hava ve agrega karışımı bir malzeme olup kalite üzerinde bu malzemelerin oranları doğrudan etkilidir. Söz konusu kurallar dikkate alınmadığı takdirde can ve mal güvenliği açısından önemli sorunlar yaşandığı bilinen bir gerçektir.

Betonun mutlak hacmini %70 oranında agrega ( kum, çakıl, mıcır ) %10 oranında çimento, %20 oranında su oluşturur. Gerektiğinde, çimento ağırlığının %5'inden fazla olmamak kaydıyla katkı malzemesi ilave edilebilir.

Bir yapının iskeletini oluşturan betonarme uygulamalarında kullanılan

betonun, standartlara uygun olarak yüksek kalitede üretilmiş olması o yapının dayanıklılık ve güvenilirliği açısından son derece önemlidir.

Ülkemizin topraklarının tamamına yakın kısmı deprem kuşağında bulunmaktadır. Bu nedenle yapı güvenliği açısından betonun kalitesi vazgeçilmez bir unsur olarak ön plana çıkmaktadır. 1 Ocak 1998 tarihinde yürürlüğe giren "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik"
hükümlerine göre deprem bölgelerinde kullanılacak en düşük beton dayanımı C20 olarak belirlenmiştir. Betondan istenilen sonucu alabilmek için standartlara uygun olarak yüksek kalite ve dayanım sınıflarında üretim yapmak gereklidir.

Yüksek kalite ve dayanımda beton üretmek için agrega olarak baritin kullanılması söz konusu olabilmektedir. Barit, tek eksenli basınç dayanımının yüksek oluşundan dolayı alternatif beton malzemesi olarak kullanılabilmektedir. Dış etkenlere karşı dayanımın fazla oluşu ve korozyona neden olmayışı kullanılabilirliğini daha da arttırmaktadır.

Fakat yoğunluğunun, maliyetinin fazla oluşu ve su emmesinin az oluşundan dolayı dezavantajları da bulunmaktadır. Baritten üretilen betonun kalitesinin yüksek oluşu ise bu dezavantajları ikinci plana bırakmaktadır ki gelişen teknoloji şartları ile baritli betonlar kullanılmaya başlamıştır. Baritli betonlar havaalanlarındaki uçak pistlerinde, röntgen merkezlerindeki radyasyon yayan cihazların bulunduğu odaların duvarlarında ve büyük alışveriş merkezlerinde ve çok katlı binalarda bulunan sığınaklarda kullanılmaktadır.

### 1.2. Tezin Amaçları

Beton üretimi agrega seçiminden başlayan ve son adımına kadar her aşamada son derece dikkat gerektiren bir iş olup aynı zamanda kendine has kuralları olan bir teknolojidir.

Gelişen inşaat ve teknoloji şartlarına bağlı olarak yüksek kalitede betonların üretilmesi söz konusu olmaya başlamıştır. Gerek havaalanı pistlerinde olsun gerek çok katlı binalarda olsun dayanımı yüksek olan betonlar kullanılması gerekmektedir. Yüksek dayanımlı beton kullanım alanları bunlarla da sınırlı olmamakla beraber bu

ihtiyaç çok fazla sektöre yayılmıştır. Bu betonların üretilmesinde de beton kalitesine bağlı olarak kullanılacak agregaların kalitesi ve dayanımlarının yüksek olması gerekmektedir.

Yüksek dayanımlı beton üretimi baz alınarak bu çalışmada, beton üretiminde kullanılan alışıla gelmiş kalker ve dere malzemelerinin yerine baritin kullanılabilirliğinin incelenmesi ve araştırılması amaçlanmıştır.

# 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

## 2.1. Agregalar

### 2.1.1. Giriş

Beton üretiminde kullanılan kum, çakıl, kırmataş gibi malzemelerin genel adı agregadır. Beton agregası, beton veya harç yapımında çimento ve su karışımından oluşan bağlayıcı malzeme ile birlikte bir araya getirilen, organik olmayan, doğal veya kırmataş malzemenin genellikle l00 mm'yi aşmayan çeşitli büyüklüklerdeki kırılmamış ve/veya kırılmış tanelerin oluşturduğu bir yığındır

Kum, çakıl ve/veya kırmataş karışımı agrega olarak tanımlanmaktadır. Genellikle 0-7 mm arasında olan agrega kum, 7-70 mm arasında olan ise çakıl olarak adlandırılmaktadır. Agrega esas olarak bir dolgu malzemesidir ve en önemli fonksiyonu betondaki hacim değişikliklerini azaltmasıdır. Su ve çimentodan oluşan hamur, büyük hacim değişiklikleri gösterir. Agreganın betona girmesi hem bu hacim değişikliğini azaltır, hem de agrega çimentodan daha ucuz olduğundan ekonomi sağlar. Ayrıca betonun iyi işlenebilmesi için agreganın granülometrisi çok önemlidir (Ersoy, 1985).

Kum, doğal veya kırmataş olabilir. Doğal kum, kum ocaklarından, dere yataklarından veya deniz kıyısından elde edilir. Kırmataş kumu ise taşların konkasörle kırılması ile mekanik olarak üretilir ve kırma kum adını alır.

Kalın agrega da ( 7-70 mm ) doğal ve/veya kırmataş olabilir. Doğal agrega dere yataklarından veya özel ocaklardan elde edilir ve "çakıl" olarak adlandırılır. Kırmataş olanı ise, uygun nitelikteki taşların konkasörle kırılmasıyla elde edilir ve kırmataş olarak adlandırılır (Ersoy, 1985).

Doğal agregalar oluşumları gereği doğanın aşındırma etkisi ile yuvarlaklaştırılmışlardır. Yuvarlak agreganın yığın olarak yerleşmesi geometrik yapısı gereği daha kolay olup, özgül yüzeyi de (kırma agregaya göre) daha küçük olduğundan daha az su ile işlenebilmektedir. Buna karşın kırma agrega köşeli ve yüzeyleri pürüzlüdür. Betonda kırmataş kullanılması halinde kırmataşın pürüzlü

yüzeylerinin çimento hamuruyla çakıla göre daha iyi aderans ( kenetlenme ) yapması sonucu, kırmataş ile üretilen betonlarda çakılla üretilen betona göre basınç dayanımında artış olduğu bilinir (Güner ve Süme,2001).

Beton yapımında kullanılan çeşitli agregalardan bazıları; kum, çakıl, kırmataş, yüksek fırın cürufu, pişmiş kil, bims, genleştirilmiş perlit ve uçucu külden elde edilen kül agregasıdır.

Agrega genel olarak; su içinde yumuşamayacak, kimyevi olarak dağılmayacak, çimento ile birlikte zararlı bir birleşime geçmeyecek ve çeliğin korozyonunu hızlandırmamalıdır. Tane şekilleri mümkün olduğu kadar yuvarlak, kürevi veya kübik olmalıdır. Agrega yeteri kadar basınca dayanıklı olmalıdır. Doğal kum ve çakıllarda genel olarak bu dayanıklılık mevcuttur. Kırma kum veya çakıl ile, agrega temini istendiği takdirde kaynak kayaçlarının, 1000 kgf/cm² basınca dayanıklı olması lazımdır.

Agrega, beton karışımında hacim olarak en büyük yüzdeyi oluşturan (%60-75) malzemedir. Bu yüzden betonda kullanılan agreganın standartlara uygun, temiz ve kaliteli olması çok önemlidir.

Agregaların; üretim merkezlerinde, beton santrallerinde veya şantiyelerde agrega yığınlarının depolanmasında ve taşınmasında şu hususlara dikkat etmek gerekir:

- Agrega tanelerinin kirlenmemesi için önlem alınmalıdır. Agreganın kirlenmemesi veya dikkatsizlik sonucu agrega içerisine zararlı maddelerin girmemesi için gerekli özen gösterilmelidir.

- Agrega yığınları oluşturulurken, mümkünse sert ve temiz bir zemin seçilmeli veya beton döşeme hazırlanarak agregalar bu döşeme üzerine yığılmalıdır. Tabana önceden kum, çakıl veya kaya parçalan da serilerek agrega yığını böyle bir zemin üzerine oturtulabilir.

- Çevredeki gevşek toprak tanelerinin rüzgâr etkisiyle agrega tanelerinin arasına karışmamasına dikkat edilmelidir.

- Ayrışmaya neden olunmamalıdır. Agregaların bir yere yerleştirilmesi, depolanması veya taşınması esnasında iri agregaların ve ince agregaların bir yığın

içerisinde adeta ayrı ayrı kümeler oluşturarak ayrışma (segregasyon) yapmasını önleyecek önlemler alınmalıdır.

### 2.1.2. Agregaların Sınıflandırılmaları

Agregalar; çıkarıldıkları yerlere, birim ağırlıklarına, boyutlarına, tane şekline, yüzey dokusuna, kaynaklarına, jeolojik ve mineralojik yapılarına göre sınıflandırılabilirler (Güner ve Süme, 2001).

#### 2.1.2.1. Çıkarıldıkları Yerlere Göre Sınıflandırma

Bunlar, genel olarak üç grup altında mütalaa edilir.

**i. Ocaktan Elde Edilen Agregalar;** Agrega genellikle çakıl veya kırmataş olarak doğadan elde edilir. Sabit bir kaya kaynağından elde edilen agregalar çeşitli minerallerden oluşmakla birlikte, çoğunlukla tek mineral türü hakimdir. Agregalar işlemden geçirilirken tamamı ya da bir kısmı kırılır ve parçalanır. Genellikle taş ocaklarından çıkarılan agregalar için "kırma" terimi kullanılır.

En çok kullanılan kayaç türleri;

- Andezit - Dolomit - Diyorit
- Bazalt - Kireçtaşı - Granit
- Kuvarsit - Gabro - Kumtaşı

**ii. Denizden Elde Edilen Agregalar;** Düz yüzeyli ve yuvarlak şekillidirler. Bunların titiz bir temizlik işleminden geçirilerek, kil, şilt, klor ve tuz miktarının standartlardaki sınırları aşmaması sağlanmalı, içerisinde betona zarar verebilecek organik maddeler (deniz kabuğu vb.) kalmamış olmasına dikkat edilmelidir. Bu işlemler gereğince yapılır ve agreganın standartlarda belirtilen değerleri taşıması sağlanırsa, beton için herhangi bir olumsuzluk söz konusu olmayacak, özel bir önlem alınması da gerekmeyecektir. Bu agregalar bugüne kadar her türlü yapıda kullanılmıştır.

**iii. Dere Agregaları;** Akarsu yataklarındaki agrega ocakları en çok rastlanan

ve genellikle en fazla arzu edilen kaynaklardır. Parçalar genellikle yuvarlaktır. Akıntı dolayısı ile agregalar ufalanmakta ve uygun bir granülometriye sahip olmaktadır. Sürüklenme sırasında meydana gelen aşınmalar zayıf parçaların ufalanarak kısmen elenmesi sağlanmaktadır. Bu agregalar temiz düzgün tanelerden oluşur (Güner ve Süme, 2001).

#### 2.1.2.2. Birim Ağırlıklarına Göre Sınıflandırma

Bunlar, genel olarak üç grup altında toplanırlar.

**i. Hafif Beton Agregalar:** Betonun birim ağırlığını azaltmak ses ve ısı yalıtım özelliklerini artırmak için bazen de cüruf v.b. gibi atık maddeleri değerlendirmek için kullanılan agregalardır. Boşluklu yapıya sahiptirler. Su emmeleri ve boşluk oranları yüksektir (Güner ve Süme, 2001).

Agreganın kendi ağırlığı, betonun toplam ağırlığının büyük kısmını oluşturur. Bu ne kadar azaltılabilirse, beton o kadar hafif olur.

Hafif agregalara örnek olarak, pomza, diyatomit, genleştirilmiş kil, perlit, şist verilebilir. Birim ağırlıkları 2,4 ton/$m^3$'ten küçüktür.

**ii. Ağır Beton Agregalar:** İhtiyaca göre ağır beton elde etmek için kullanılırlar. Ağır betonlar, radyasyon yayılmasının söz konusu olduğu nükleer santrallerle, hastanelerde röntgen odaları gibi geçirimliliği az, kompasitesi yüksek beton üretimi istenen yerlerde kullanılır. Ağır agregalar arasında en çok kullanılanlar; demir cevherlerinden olan mineraller (manyetit, hematit v.s.), çelik veya kurşun parçacıklarıdır. Birim ağırlıkları 2,8 ton/$m^3$'ten büyüktür.

**iii. Normal Beton Agregalar:** Birim ağırlıkları 2,4-2,8 ton/$m^3$ arasında olan agregalardır. Uygulamada en çok kullanılan agrega çeşididir.

#### 2.1.2.3. Boyutlarına Göre Sınıflandırma

Agregalar boyutlarına göre; iri, ince ve karışık agrega olmak üzere üç bölüme ayırmak mümkündür.

**i. İnce Agregalar(Kum):** Doğal kum, kırma kum veya bunların karışımından elde edilen 4 mm çaplı elekten alta geçen malzemelerdir.

**ii. İri Agregalar (Çakıl):** Kırmataş, çakıl veya bunların karışımından elde edilen ve 4mm çaplı eleğin üstünde kalan malzemelerdir.

**iii. Karışık (Tüvenan) Agregalar:** Doğal agrega ocağından doğrudan doğruya elde edilen elenmemiş ince ve iri agrega karışımıdır. Standartlar ve şartnameler, zorunlu kalmadıkça karışık agrega kullanılması istenmemektedir (Güner ve Süme, 2001).

#### 2.1.2.4. Tane Şekline Göre Sınıflandırma

Doğal agrega ocağından çıkan malzemeler genel olarak, yuvarlak, yassı, uzun ve keskin köşelidirler ve bu şekillerine göre sınıflandırılırlar. Aynı zamanda kırma agrega da keskin köşeli agrega grubuna girer.

#### 2.1.2.5. Yüzey Dokusuna Göre Sınıflandırma

Agregaları yüzey dokusuna göre düzgün, granüler, pürüzlü, kristalli ve petekli olmak üzere beş grupta sınıflandırılabilir.

#### 2.1.2.6. Jeolojik Oluşumlarına Göre Sınıflandırma

Agregalar jeolojik oluşumlarına göre, volkanik, tortul ve metamorfik şekilde sınıflandırılır.

#### 2.1.2.7. Mineralojik Yapısına Göre Sınıflandırma

Agregalar mineralojik yapılarına göre; silis mineralli, karbonat mineralli ve mika mineralli olarak genelleştirilebilir.

### 2.1.3. Agrega Özellikleri

Beton hacminin yaklaşık olarak %70'ini oluşturan agregaların nitelik ve nicelikleri, betonun kalitesini ve ekonomisini büyük ölçüde etkiler. Bu nedenle agregaların taşıması gereken bir takım özellikler vardır. Bunlar;

- Agregalar kullanım yerine göre istenen koşulları sağlamalıdır.
- Agregalar sert, temiz, yüksek dayanımlı, kimyasal etkilere karşı dayanıklı olmalıdır.
- Agregaların çimento hamuru ile kimyasal reaksiyona girmemesi gerekir.
- Her mineral kökenli malzeme veya endüstriyel atık beton agregası olarak kullanılamaz.
- Agrega bir anlamda betonun iskeletini oluşturduğundan; özelliklerinin kullanılmalarından önce deneylerle belirlenmesi gereklidir.
- Agreganın şekil ve yüzey durumu beton kalitesini önemli ölçüde etkiler. Uzun, yassı, yapraksı dokulu agregalar kusurlu tanelerdir. Bunların beton üretiminde en alt düzeyde kullanılması gerekir. Ayrıca agregaların yüzeylerinin pürüzlü olması, çimento harcına daha iyi yapışması (aderans) açısından tercih edilir (Güner ve Süme, 2001).
- Agregalarda çok ince kil-silt boyutunda tanelerin varlığı betonun dayanımını düşürür. Agrega içinde bulunabilen organik maddeler kil toprakları, kömür-linyit taneleri yumuşak taneler, klor iyonları ve sülfat varlığı betonun davranışını olumsuz yönde etkiler.
- Beton agregaları donma-çözülme ve aşınma gibi fiziksel etkenlere dayanıklı olmalıdır.
- Agregalar uygun sağlamlıkta ve boşluksuz olmalıdırlar.

Ülkemizde beton agregalarında aranan özellikler Türk Standartları Enstütüsü'nün 706 (TS 706) numaralı standardın da belirlenmiştir. Söz konusu özellikler, elek analizi, basınç dayanımı, aşınmaya dayanıklılık, kil-silt içeriği, organik madde içeriği, alkali agrega reaktivite deneyi gibi deneylerle belirlenir. Bu

deneylerden olumlu sonuç alınması halinde, söz konusu agreganın betonda kullanımına ancak izin verilir.

Her hammadde kaynağı, beton için uygun agrega değildir. Agreganın uygun biçimde seçilip deneyler ile uygunluğu saptandıktan sonra beton üretiminde kullanılmasına izin verilmesi gerekir.

### 2.1.4. Agregaların Fiziksel Özellikleri

#### 2.1.4.1. Porozite ve Nem Durumu

Agrega tanelerinde bir miktar boşluk bulunması doğaldır. Agrega tanelerindeki boşluk su emme deneyi yapılarak belirlenir. İri agrega tanelerinin porozitesinin küçük olması ile bu tanelerin tek eksenli basınç dayanımlarının yüksek bir değer alması sağlanır. Tek eksenli basınç dayanımları yüksek olan taneler kullanılarak üretilen betonların mekanik dayanımları da arttırılabilir (Yiğit, 2005).

Porozitenin yüksek olması ise, agreganın donmaya ve çevre etkilerine dayanıklılığını azaltmaktadır. Agregaların %12'den az su emmesi normal kabul edilir. Boşluklu malzemelerin donmaya karşı dayanıklı olması için doyma derecelerinin %80'den küçük olması gereklidir (Güner ve Süme, 2001).

Agreganın emdiği su miktarı tanelerin kökenine, yapısına ve granülometri bileşimine bağlıdır. Agrega taneleri arasındaki boşluklarda su varlığı dört şekilde ifade edilir (Güner ve Süme, 2001).

a) Tamamen kuru taneler: Agrega tanelerinde herhangi bir şekilde hiç su bulunmamaktadır.

b) Kuru yüzeyli taneler: Tanelerin içindeki boşluğun bir kısmı su ile doludur. Fakat tane yüzeyi tamamen kurudur.

c) Kuru yüzeyli doygun taneler: Tanelerin boşluklarının su ile dolması ve yüzeyinin tamamen kuru olması halidir.

d) Islak taneler: Agregadaki boşluklar su ile dolu olduğu gibi yüzeyde de su vardır.

Agrega su miktarı, agreganın birim ağırlığına, hatta özgül ağırlığına da etki eder. Bu yüzden iyi bir tespit yapılması gerekir (Kırçıl, 2008).

Rutubet iki şekilde önemlidir. Birincisi ince agrega yani kum da kabarmaya sebep olur. Kumdaki kabarma dikkate alınmadan kullanılırsa gerçek hacminden fazla görüneceğinden betona giren kum az olacak, dolayısıyla boşluklu bir beton üretilmiş olacaktır. İkincisi ise su miktarı göz önüne alınmadan agrega kuruymuş gibi su katılırsa beton dayanımında, fazla sudan dolayı önemli düşüşler olacaktır. Bundan dolayı rutubet miktarı tayin ederek o miktarda karışıma daha az su katmamız gerekir (Güner ve Süme, 2001).

#### 2.1.4.2. Agregaların Birim Ağırlıkları

Belirli bir hacmi dolduran agreganın ağırlığına "birim ağırlık" denir. Agregayı kuru halde iken gevşek olarak bir kaba boşaltarak bulunan birim ağırlığa "gevşek birim ağırlık" ve kuru iken belli sayıda çubuk darbesi ile sıkıştırılarak bulunan birim ağırlığa ise "sıkışık birim ağırlık" denir.

Birim ağırlıktan agrega içindeki boşluk miktarı hesaplanabilir. Ayrıca agreganın granülometri bileşimi ve kusurlu malzemenin varlığı hakkında da fikir verebilmektedir. Birim ağırlığa etki eden faktörler;

1. Boşluk miktarının az olması birim ağırlığı arttırır.

2. Kusurlu malzemenin fazla miktarda olması boşluğu arttırdığından birim ağırlığı düşürecektir.

3. Agreganın özgül ağırlığının fazla olması agrega ağırlığının büyük olduğunu gösterir. Dolayısı ile birim ağırlık artar.

4. Agrega kalıba yerleştirilirken sarsıntıya maruz bırakılırsa ve çubukla şişlenirse kabı az boşluk bırakarak doldurulur. Bu da birim ağırlıkta artışa neden olur.

Birim ağırlığı yüksek bir betonun dayanımı, dayanıklılığı ve taşıma gücü fazladır. Agreganın sıkışma oranı ne kadar yüksek olursa basınç dayanımı ve dış etkilere karşı dayanımı da o kadar yüksek olur (Şimşek, 2003).

### 2.1.4.3. Agregaların Özgül Ağırlığı

Agregaların özgül ağırlığı, gerçek birim hacmine karşılık gelen ağırlığı olarak tanımlanır. Bu özellik agrega kökeni hakkında bilgi verir ve beton bileşenlerinin hesabında kullanılır. Betonda kullanılacak agreganın özgül ağırlığının 2,2-2,7 ton/$m^3$ arasında olması istenir.

Özgül ağırlık agreganın uygunluğunu belirtir. Düşük özgül ağırlık sağlam olmayan malzemeyi, yüksek özgül ağırlık ise kaliteli betona uygun agregayı tanımlar. Özgül ağırlık karışım hesabında, bu hesapların düzeltilmesinde ve beton homojenliğinin zorunluluğu durumlarında gereklidir. Düşük özgül ağırlık, agreganın boşluklu ve zayıf olmasına bir işarettir (Güner ve Süme, 2001).

### 2.1.4.4. Agreganın Kompasitesi

Agreganın kompasitesi ile birim hacimdeki agrega tanelerinin işgal ettiği toplam hacim anlaşılmaktadır. Agreganın özgül ve birim ağırlıkları bilinmek suretiyle kompasitesi hesaplanabilir. Agreganın birim ağırlığı her zaman için özgül ağırlıktan küçük olduğundan kompasite ( l ) den küçük değer alır.

Muhtelif faktörlerin etkisi altında bulunan bu karakteristik, agreganın herhangi bir sıkıştırma işlemine maruz bırakılmadan yerleştirilmesi sonucunda 0,40 - 0,70 arasında değer alır. Kompasite değerini (1) e tamamlayan sayı agreganın birim boşluğudur.

Beton üretiminde kullanılacak agreganın kompasitesinin küçük olması şu zararları meydana getirir.

. 1. Üretilen betonun kompasitesi ve tek eksenli basınç dayanımı düşük olur.

2. Kullanılan çimento miktarı artar.

3. Betonun maliyeti yükselir

4. Kusurlu malzeme miktarı artar. Bu da işlenebilme özelliğine etki ederek dayanımının düşmesine neden olur.

5. Betonun dış etkilere karşı dayanıklılığı azalır.

Agreganın kompasitesinin düşük olması bazı zararlar meydana getirmesine rağmen bu karakteristiğin hangi değerin altına düşmemesi gerektiği henüz hiçbir şartnamede belirtilmemiştir.

Çakıl tanelerinin yuvarlak olması dolayısıyla daha az boşluk bırakarak belirli bir hacmi doldurabilir. Buna karşılık kırmataşlarda bulunan keskin köşeler, önemli boşlukların kalmasına sebep olur. Bu durumun sonucu olarak tane limit boyutları aynı olan çakıl ve kırmataş numunelerinden çakıl daha büyük kompasiteye sahip bulunur. Örneğin çakılların kompasitesi 0,65 iken kırmataşın kompasitesi 0,60 dolaylarındadır (Güner ve Süme, 2001).

Agreganın kompasitesinin düşük olması o malzeme ile üretilen betonun dayanımının da düşük olmasına yol açar. Fakat kırmataş ürünlerinin yüzeylerinin pürüzlü olması, bunlarla çimento hamuru arasında kuvvetli bir bağ ( aderans ) meydana gelmesine sebep olur. Bundan dolayı kırmataş ürünleri kullanılarak üretilen betonların dayanımlarında bir azalma değil aksine artış olduğu gözlenmiştir.

### 2.1.4.5. Agregaların Dona Dayanıklılığı

Soğuk iklimlerde üretilen betonun donma etkisi ile yüzeyinin soğumaması ve bir bütün olarak betonun parçalanmaması istenir. Betonun dona dayanıklılığında agrega önemli rol oynar. Bu nedenle donma etkisinde kalacak betonlarda kullanılacak agreganın da dona dayanıklı olması istenir. Türk Standart Enstütüsü'nün 706 ( TS 706 ) numaralı standartın da iri agrega olarak kırmataş kullanıldığında, taşın su emme oranının ağırlıkça % 0,5'den büyük olmaması veya TS 696'ya göre elde edildiği kayacın, suya doygun haldeki küp basınç dayanımının en az 1500 kgf/cm$^2$ olması halinde, agreganın dona dayanıklı olduğunu kabul edilmektedir.

Agregalarda dona dayanıklılık TS 3655'de tanımlanmıştır. Üç farklı dona dayanıklılık deney yöntemi bulunmaktadır. Bunlar;

- Dona dayanıklılığın şiddetli don etkisi altında belirlenmesi (Suda donma),

- Dona dayanıklılığın orta şiddetteki don etkisi altında belirlenmesi (Havada donma),

- Dona dayanıklılığın kimyasal yöntemlerle belirlenmesi (Sodyum Sülfat ve Magnezyum Sülfat Deneyi).

Betonda kullanılan agreganın dona dayanıklılığının araştırmak üzere en çok kullanılan deney yöntemi, agregaların sodyum sülfat veya magnezyum sülfat çözeltisine yaklaşık 18 saat sokulup sonra çıkartılarak kurutulduğu ve bu işlemin 5 kez tekrarlandığı bir yöntemdir. Bu deney sonucunda agregada meydana gelen kırılmalar ve ufalanmalar nedeni ile agrega ilk ağırlığına göre kayıplar vermektedir. Bu ağırlık kayıplarının değerleri en yüksek ağırlık kaybı olarak TS ve ASTM standartlarına göre Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Dona Dayanıklılık Deneylerinde Agregada oluşabilecek Maksimum Ağırlık Kayıpları (TS 3655, 1981; ASTMC 33, 1994)

| Agrega Sınıfı | $Na_2SO_4$ çözeltisi içerisinde | | $MgSO_4$ çözeltisi içerisinde | |
|---|---|---|---|---|
| | TS (%) | ASTM (%) | TS (%) | ASTM (%) |
| İnce Agrega | 15,0 | 10,0 | 22,0 | 15,0 |
| İri Agrega | 17,0 | 12,0 | 27,0 | 18,0 |

### 2.1.5. Agregaların Mekanik Özellikleri

Betonda kullanılan agreganın; kolay kırılmayan, çabuk aşınmayan, sağlam ve sert olması gerekmektedir.

Mekanik dayanımları yüksek agregalar ile üretilen betonların da dayanımı yüksek olur.

Bu kapsamda betona etki eden başlıca mekanik özellikler;

#### i. Agreganın Tek Eksenli Basınç Dayanımı

Mekanik dayanımın kontrolü için en uygun yol basınç dayanımının belirlenmesidir. Agregaların basınç dayanımları betona göre oldukça yüksektir. Beton dayanımı normal dayanımlı betonlar için maksimum 250 kgf/cm$^2$, yüksek

dayanımlı betonlar için 500 kgf/cm$^2$ iken agrega dayanımı çeşitlerine göre 3500 kgf/cm$^2$'ye kadar çıkabilmektedir.

Agregaların basınç dayanımı için çelik bir silindir içine bir miktar iri agrega yerleştirilir. Basınç uygulanır ve ufalanma miktarı ölçülür. Agregaların 8 mm'lik elekten elendiğinde ufalanmanın %35'ten az olması halinde dayanımının yeterli olduğuna kanaat getirilir (Güner ve Süme, 2001).

Basınç dayanımlarınının malzemenin porozitesi ile yakın ilişkisi vardır. Porozitenin küçük olması agrega basınç dayanımlarını arttırır. Ayrıca agreganın jeolojik bakımdan durumu bize mekanik dayanımı ile ilgili kuvvetli fikirler verir. Betonda kullanılacak agreganın basınç dayanımlarının en az 1000 kgf/cm$^2$ olması istenir.

**ii. Agreganın Aşınma Dayanıklılığı**

Agreganın tane dayanımı, alındığı kayacın cinsi ve mevcut durumunun petrografik yönden incelenmesi ile yaklaşık olarak değerlendirilebilir. Tane basınç dayanımının 1000 kgf/cm$^2$ den küçük olması halinde ve kuşkulu durumlarda agregalarda aşınmaya dayanıklılık deney sonuçlarına bakılır. Eğer iri agrega olarak çakıl kullanılıyor ise aşınmaya dayanıklılık deneyleri uygulanarak karar verilir.

Aşınma dayanımı Los Angles deneyi ile belirlenir. Bu deneyde kullanılan cihaz iki tarafı kapalı, ekseni etrafında dönebilen, iç çapı 710 mm, boyu 508 mm olan bir çelik silindirden oluşmaktadır. Silindir içine belirli ağırlıkta ve sayıda çelik bilyeler mevcuttur. Alet ekseni etrafında 100 ve 500 devir döndükten sonra deneye son verilir. Deney esnasında taneler birbirlerine ve bilyelere çarparak ufalanır. Deney sonunda silindirden çıkarılan numune 1,6 mm'lik kare gözlü elekten elenerek, alta geçen miktarın % 5'i hesaplanır. Bu değer deney sonrasındaki kayıp yüzdesini ifade eder. TS 706'ya göre 100 dönme sonunda ağırlıkça %10, 500 dönme sonunda %50'den az kayıp varsa agreganın yeterli dayanıma sahip olduğu kabul edilmektedir. ( ASTM standardına göre 1,7 mm göz açıklıklı elek kullanılmaktadır ) ( Şimşek, 2003 ).

Camsı agregalar, şistler, marnlı kireçtaşları, aşınmaya karşı dayanım

gösteremezler. Özgül ağırlığı fazla ve sert taşların ( kalker, bazalt, vb.) ise aşınmaya karşı dayanımları yüksektir. Aşınmaya karşı dayanımları yüksek olan agregaların basınç dayanımları da yüksek olur (Şimşek, 2003 ).

**iii. Agregaların Çarpma Dayanımı**

Betonun çarpmaya dayanıklı olmasında, kullanılan agreganın önemli etkisi vardır. Bu nedenle kullanılmadan önce kontrol edilmelidir. Basınç deneyinden pek farklı olmayan çarpma deneyinde, agrega çelik bir silindir içine yerleştirir ve belirli bir mesafeden belirli bir ağırlık belirli sayıda düşürülmek suretiyle malzeme çarpma etkisi altında tutulur. Deneyden sonra malzeme eleme işlemine tabi tutulur. Elekten geçen miktara göre çarpma etkisi altında agreganın dayanıklılığı hakkında fikir edinilebilir. Başka bir deyişle; elekten geçen miktar ne kadar fazla ise çarpma etkisiyle agregada parçalanma o kadar fazla olmuş demektir. Bu deneye "Agregada Darbe Katsayısı" tayini denir (Şimşek, 2007).

### 2.1.6. Agregalarda Zararlı Maddeler

Agrega içinde bulunabilen zararlı maddelerin bir kısmı bağlayıcı maddenin ayrışmasına veya genleşmesine sebep olarak betonun parçalanmasına veya zararlı derecede çatlamasına yol açar. Bir kısmı da agrega ile çimento hamuru arasında kuvvetli bir aderansın oluşmasına engel olur ve beton dayanımı düşer. Kısaca zararlı maddelerin agregalarda etkilerini şu şekilde sıralayabiliriz.

- Bağlayıcı maddenin ayrışması,

- Bağlayıcının genişleyerek betonun parçalanması,

- Bağlayıcının, genişleyere kabul edilebilir sınırdan fazla derecede çatlatması,

- Çimento hamuru ve agrega arasında yapışmayı engelleyerek geçiş bölgesindeki dayanımın zayıf olması,

- Agregalardaki yumuşak ve dayanımı zayıf taneler, beton

basınç dayanımlarının zayıf olmasına sebep olmasıdır (Güner ve Süme, 2001).

Agregalarda bulunabilecek zararlı madde ve taneleri başlıklar halinde ele almak mümkündür.

### i. Agregalarda Organik Maddelerin Bulunması

Organik maddeler zayıf asit karakterindedirler. Agrega içerisindeki bitki artıkları ve humus gibi bazı organik maddeler çimentonun hidratasyon reaksiyonuna etki eden organik asitler içerirler. Bunların yanında agrega içerisinde sülfat, klorit, karbonat ve fosfat tuzları gibi maddeler de değişik formlarda bulunabilirler. Agregada organik maddelerin fazla miktarda bulunması bunlarla üretilen beton basınç dayanımlarınının %50 azalmasına ve hatta bazen çimentonun priz yapmamasına dahi sebep olabilir.

Agregalarda organik madde içeriği, basit bir asit-baz reaksiyonu ile denetlenir. Düşük konsantrasyonlu %3'lük NaOH eriyiği ile karıştırılan agrega, eriyik rengini 24 saat içinde değiştirir. Bir süre sonra eriyiğin aldığı renge göre çıkarılabilecek sonuçlar Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2. NaOH Eriyiği ile Karıştırılan Agrega Kullanım Durumu

| Eriyik Rengi | Organik Madde | Agrega Kullanımı |
|---|---|---|
| Renksiz veya çok açık sarı | Hiç yok veya çok az var | Kaliteli beton üretiminde kullanılabilir. |
| Safra sarısı | Az miktarda var | Normal işler için uygun |
| Belirgin kırmızı | Var | Önemsiz işlerde kullanılabilir |
| Belirgin kahverengi | Çok var | Kullanılmaz |

Organik maddelerin zararlı etkisi; organik maddelerin hidrofob (suyu iten) olması ve çimentoda hidrat kristallerin oluşmasına engel olması ile meydana gelir. Bu etkiler;

- Beton dayanımının çok fazla düşmesine neden olur.

- Sertleşmesine zarar verir ve basınç dayanımlarında azalmalar olur.

- Agregalarda organik maddelerin fazla miktarda olması betonun prizini geciktirir.

- Çiçeklenmeye ve korozyona neden olabilir.

Organik kökenli maddelerin yoğunluğu, mineral kökenli agrega tanelerinin yoğunluğundan genellikle daha düşük olur. Yoğunluğu 2,00 ton/$m^3$ olan sıvılarda yüzdürülerek bulunan taneli organik madde miktarı ağırlıkça %0,5'den fazla olmamalıdır (Şimşek, 2003).

**ii. Agregalarda Kil ve Siltin Bulunması (Yıkanabilir Maddeler)**

Yıkanabilir maddeler; agrega içinde ince halde dağılmış, topaklar halinde ve/veya agrega tanelerine yapışık olarak bulunabilirler. Bu maddeler genellikle kil, şilt ve çok ince taş unu'dur. TS 3527'ye göre 63 mikron (200 nolu) elek üstünde yıkama metoduyla yapılan test sonucuna göre maksimum Çizelge 2.3'de verilen limitler içinde bulunmalıdır.

Çizelge 2.3. Agregalarda Kil ve Siltin Bulunma Limitleri (Şimşek, 2003)

| Agrega Tane Sınıfı (mm) | Ağırlıkça % Maks. |
|---|---|
| 0/1,0/2,0/4 | 4,00 |
| 1/2, 1/4,2/4 | 3,00 |
| 2/8, 4/8 | 2,00 |
| 4/16,4/16,8/16 | 0,50 |

Bu limitlerin üzerindeki kil ve şilt bulunan agregalar kesinlikle kullanılmamalıdır. TS 3527'ye göre 0,05-0,005 mm irilikteki malzeme şilt, 0,005 mm'den küçük malzeme de kil olarak adlandırılır.

Kil, şilt ve taş unu tanelerinin fazla miktarda bulunması betona şu yönlerden zarar verir:

- İri agrega ve çimento hamuru arasındaki aderansı zayıftır.

- Agreganın özgül yüzey miktarını arttırırlar. Bunun sonucunda beton için gerekli karma suyu miktarı artar. Dolayısı ile dayanıklılık ve dayanım yönünden zayıf bir beton elde edilir.

- Kil ve siltin önemli özelliklerinden biride su tutma (su emme) kabiliyetlerinin olmasıdır. Su tutma sonucunda hacim genişlemesine neden olur ve büzülmelerin meydana getireceği gerilmeler oluşur.

- Çimento ile reaksiyona girerek aderansı önler, hidratasyonu ve prizi geciktirir. Bunun yanında kil, mil ve silt oranın az miktarları betonun Önlenebilirliğini ve su geçirmezliğini arttırırlar. Olumsuz etkileri nedeniyle mümkün olduğu kadar az bulunmaları tercih edilir.

Beton agregası içerisinde limitler üzerinde ince agrega varsa, agreganın yıkanarak kullanılması zorunluluğu vardır.

### iii. Agregalarda Sağlam Olmayan Maddelerin Bulunması (Hafif Maddeler)

Agrega yığını içerisine karışmış durumda bulunan kömür, linyit ve odun parçacıkları gibi özgül ağırlıkları 2,0 ton/$m^3$'den daha az olan maddeler "hafif maddeler" olarak adlandırılmaktadır. Kömür, fosil, linyit taneleri ve hayvan kabukları normal agregaya oranla hafif olurlar. Mekanik dayanım yönünden yetersizdirler ve beton içinde bulunmaları istenmez. Kömür varlığı kükürdün varlığına gösterge sayılabilir. Kükürt ise beton için zararlı sülfat etkisine yol açar. Çizelge 2.4'de izin verilen maksimum miktarlar verilmiştir.

Çizelge 2.4. Sağlam Olmayan Agrega Elemanları ve Oranları (Şimşek, 2003)

| Yumuşak Elemanın Cinsi | İzin Verilen Yumuşak Eleman Yüzdeleri | |
|---|---|---|
| | Kumlarda | İri Agregalarda |
| Kil Toprakları | 1,0 | 0,25 |
| Kömür ve Linyit | 1,0 | 1,00 |
| Yumuşak Taneler | - | 5,00 |
| Çakmak Taşı | - | 2,00 |

Hafif maddelerin miktarı, agrega numunesi yoğunluğu 2,0 ton/$m^3$ olan bir sıvıda yüzdürülerek saptanır. Ancak sıvıyı hazırlamak için kullanılan malzeme çok pahalıdır. Bu yüzden gözlemlerle saptanır. Hafif maddeler, agregada aşın miktarda bulunursa betonun sağlamlılığını etkiler. Betonun yüzeyinde ve/veya yüzeye yakın kısımlarda bulunursa, betonun yüzeyinde küçük patlamalara ve lekelerin oluşmasına neden olurlar. Dayanımları çok düşüktür. Su miktarının azalıp çoğalması ile hacimlerinde büyük değişiklikler olur. Donma çözülme olaylarında kolay parçalanırlar ve çimento için zararlı maddeleri içerirler (Şimşek, 2003).

**iv. Sülfatın Varlığının Etkisi**

Sülfatın agregalar içinde bulunması, bu maddenin çimento ile sülfo-alümünat denilen genişleyen bir tuzun oluşmasına neden olur. Zamanla büyüyen kristaller şeklinde gelişen bu olay sonucu beton parçalanabilir. Bu bakımdan sülfat miktarının ağırlıkça %1'den fazla olmamasına dikkat edilmelidir. 1 $dm^3$ betonda 1,4 gf'den az olacak şekilde sülfat ($SO_3$) bulunmasına izin verilebilir. Yalnız barit ($BaSO_4$) rutubetli ortamda yapısını değiştirmediğinden, beton agregası olarak kullanılabilir (Şimşek, 2007).

**v. Agrega-Alkali Reaksiyonu Oluşturan Maddeler**

Bu reaksiyonlar betonda içsel korozyon denilen bir hasar türüdür. Bu olay yavaş bir şekilde gelişerek zararlı etkileri beton yapımından bir iki sene sonra ortaya

çıkmaktadır.

Alkali-agrega reaksiyonunun zararlı bir etki yapması bazı koşullara bağlı bulunmaktadır. Bunlar aşağıda açıklanmıştır (Şimşek, 2003).

a) Çimento içindeki alkali oksit miktarı; çimentodaki alkali oksit ($Na_2O$+0,658 $K_20$) % 0,6' dan büyük ve agregadaki alkalilik reaktivitesine duyarlı opal, riyolit, tridimüt, andezit tüfleri gibi mineraller bulunuyorsa alkali agrega reaksiyonu ortaya çıkar.

b) Çevre şartları; alkali-agrega reaksiyonu, sıcaklığın yaklaşık olarak +10 ile +60 C arasında bulunduğu durumlarda ve rutubetli ortamlarda meydana gelmektedir. Çevre şartlarının en önemli olanı rutubettir.

c) Alkaliye duyarlı agrega tanelerinin bulunması; agregalar, reaksiyon yapabilen silisli bileşikler içerebilirler. Bu bileşikler, beton boşluk suyunda çözünen alkali hidroksitler ile şiddetli kimyasal reaksiyona girerler. Berrak, yüksek konsantrasyonlu ve yüksek viskoziteli alkali silikat çözeltisi meydana getirirler. Duyarlı agrega bileşenleri bu sırada yumuşar ve çözünür.

Agregada böyle bir özellikten kuşku duyulursa TS 3322'de öngörülen "Harç çubuğu" adı verilen deneyler yapılır. Bu metot, belirli şartlarda kürlenen harç numunelerinin belirtilen süre sonucundaki boy değişimlerinin (genleşme yüzdesi) ölçülerek çimento-agrega kombinasyonlarının reaktivitelerinin belirlenmesi esasına dayanır. Belirlenen gradasyonda agrega elenerek agrega/çimento oranı 2,25 ve akma değeri %105-120 arasında olacak şekilde bir karışım hazırlanarak 25x25x285 mm boyutundaki prizmatik kalıplara dökülür. Genellikle alkali içeriği kütlece % 1,0’ ine % 1,2 eşdeğer $Na_2O$ olan çimento kullanılır. 24 saat sonunda kalıplardan çıkarılan numunelerin boylan ölçülür. Numuneler 38 derece sıcaklıkta ve kenarlarında ortamı nemli tutan fitil görevi gören kurutma kâğıdının bulunduğu kapalı kaplarda nemli ortamda (su üzerinde) saklanır ve periyodik olarak ölçümleri alınır.

Genleşme limitleri üç numunenin ortalaması alınarak 6 ayda % 0,10 veya 3 ayda % 0,05' tir. 6 aylık genleşme limitlerinin sınır değeri aşmaması gerekir.

d) Çeliğe zarar veren maddeler; donatılı betonda kullanılacak agregalarda, donatının korozyona karşı korumasını tehlikeye sokan tuzlar, zararlı miktarda

bulunmamalıdır. Ön gerilmeli beton için kullanılacak agregalarda, suda çözünen klorürler, klor olarak hesaplandığından ağırlıkça % 0,2' den fazla bulunmamalıdır (Şimşek, 2003).

### 2.1.7. Agregalarda Granülometri ( Tane Büyüklüğü Dağılımı )

Agrega yığınındaki taneler çeşitli boyutlardadır. Agrega yığınında bulunan tanelerin oranlarının dağılımına granülometri denir. Granülometrik bileşim, agrega numunesinde boyutları belirli sınırlar arasında bulunan tanelerin ne miktarda agrega içinde bulunduğunu ortaya koyar. Bu da agrega üzerinde granülometri deneyi yapılarak bulunur. Agrega granülometri sinin üretilen beton üzerinde büyük etkisi vardır. Granülometri, betonun kompasitesini, yoğurma suyu miktarını, dayanım ve dayanıklılığını büyük ölçüde etkiler. Bu nedenle betonda kullanılacak agregaların, özelliği olmayan işlerde kullanılmalarında dahi granülometrik bileşimleri mutlaka belirlenmelidir.

Taze betonun işlenebilme özelliği, agrega gradasyonu tarafında doğrudan etkilenen bir özelliktir. Agrega granülometrisi iyi olmadığı takdirde, istenilen işlenebilmeyi elde edebilmek üzere betona daha çok su ilave etmek gerekir. Bu durum su/çimento oranını yükselterek, betonun dayanımının ve dayanıklılığının düşük olmasına yol açmaktadır (Yiğit, 2005).

#### 2.1.7.1. Granülometrinin Belirlenmesi ( Elek Boyutları )

Bir agrega içindeki tanelerin büyüklüklerine göre kısımlara nasıl dağıldığı, her kısımda ne oranda malzeme bulunduğu deneysel olarak belirli miktardaki agreganın çeşitli eleklerden elenmesi ile belirlenir. Agrega gradasyonunu tayin etmek üzere yapılan elek analizinde değişik göz açıklıklarına sahip kare delikli standart elekler kullanılmaktadır. (Yiğit, 2005)

Deneyin yapılabilmesi için, en büyük göz açıklığına sahip elek en üste en küçük göz açıklığına sahip elek ise en altta olacak şekilde elekler üst üste yerleştirilir. Agregalar en üstteki eleğe dökülür. Eleme işlemi yapıldığında agregalar

tane büyüklüklerine göre çeşitli eleklere takılır ve kalır. Eleklerin üzerinde kalan agrega miktarı tartılarak toplam agrega miktarına oranı hesaplanabilir. Çizelge 2.5'te agregaların tane boyutlarına göre sınıflandırılması verilmiştir (Şimşek, 2007).

Çizelge 2.5. Agrega Tane Boyutlarına Göre Sınıflandırma (Şimşek, 2007)

| Elek Üst ve Alt Boyutları | Malzeme Adı |
|---|---|
| 63 mm-31,5 mm | Balast |
| 31,5 mm-4 mm | İri Agrega |
| 4 mm-60 mikron | İnce Agrega |
| 60 mikron-2 mikron | Süt |
| 2 mikron ve altı | Kil |

TS'ye göre, elek analizi için kullanılması gereken kare delikli eleklerin göz açıklıkları 125 mm, 90 mm, 63 mm, 31,5 mm, 16 mm, 8 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0,5 mm ve 0,25 mm olarak belirtilmekte olup ISO tarafından belirtilen elek açıklıkları ile aynıdır (TS 706, 1980).

Yapı betonları için kullanılan agrega tane büyüklüğünün genellikle 63 mm'yi geçmemesi nedeni ile çoğu zaman kullanılan en büyük elek 63 mm göz açıklıklı elek olmaktadır.

Beton agrega granülometrisinin düzenlenerek sınıflandırılması aşağıda verilen amaçlara yöneliktir (Şimşek, 2007).

a) Maksimum kompasite sağlamak,
b) En az su miktarı ile kalıba iyi yerleştirilebilecek kıvamı sağlamak,
c) Taze betonda ayrışmayı önlemek ve yapışkanlığı sağlamak,
d) Taze betonun iyi ve kolay yerleşmesini sağlamak,
e) Taze betonda terlemenin azalmasını sağlamak.

### 2.1.7.2. Granülometri Eğrileri (Tane Dağılımı Eğrisi)

Agregalarda belirli boyutlardaki tanelerin dağılımını gösteren eğriye granülometri eğrisi denir. Bu eğrinin belirlenmesi için elek analizi deneyi yapılır.

Beton üretiminde kullanılacak karışım agregasının tane dağılımı "ideal granülometri eğrileri" ile uymalı ve/veya "ideal bölge" içinde kalmalıdır.

Beton karışım agregasının ideal bölge içinde kalmasının istenmesinin en önemli nedenlerinden biri kompasitesinin yüksek olmasıdır. Dolayısı ile betonun dayanımı da büyük değer alacaktır. Diğer yandan kompasitesi yüksek agreganın kullanılması ile tanelerin arasını doldurmak için daha az çimento kullanımı gerekecek ve daha ekonomik bir beton üretilmiş olacaktır (Şimşek, 2007).

Granülometri eğrilerinin özellikleri, aşağıda verildiği gibidir.

- Sürekli artan eğrilerdir. Yatay kısımları olabilir, fakat azalan kısımları olmaz.

- Granülometri eğrileri üst sınıra yakınsa daha çok ince, alt sınıra yakınsa daha çok iri malzemeye sahiptir denilir.

- İki eleğin granülometrik değerleri arasındaki fark bu elekler arasındaki malzeme oranını verir (Güner ve Süme, 2001).

#### 2.1.7.3. Agrega Yüzey Şekli ve Biçimi

Agrega tanelerinin şekli, yuvarlak, köşeli, yassı veya uzun olabilmektedir. Yuvarlak agrega taneleri küresel veya küresel şekle yakın olan tanelerdir. Nehir yataklarından elde edilen agregalardaki tanelerin çok büyük bir bölümü yuvarlak bir şekildedir. Kırmataş agregalarındaki tanelerin şekli ise köşelidir. Agregaların yüzey şekli ve biçimine göre sınıflandırılması Çizelge 2.6'da verilmiştir.

Çizelge 2.6. Agregalarda Tane Şekline Göre Sınıflandırma

| Tane Şekli | Açıklama | Örnekler |
|---|---|---|
| Yuvarlak | Tamamen su içerisinde sürtünme yolu ile yuvarlaklaşmaktadır | Nehir yada deniz kıyısı çakılları, çöl, deniz kıyısı ve rüzgarın serpiştirdiği kumlar |
| Şekilsiz | Tamamen şekilsiz veya sürtünme nedeni ile kenarları yuvarlanmış biraz şekillidirler | Diğer çakıllar, kum veya adi çakmak taşları |
| Köşeli | Pürüzlü düzlemsel yüzeylerin kenarlarda kesiştiği bir yapıdır. | Kırılmış kayaçların bütün çeşitleri, yamaç molozu, camsı cüruf |
| Yassı | Agrega eninin diğer iki boyuta göre daha küçük olduğu agregalardır. | Laminalı Kayaç |
| Uzun (Pnömatik) | Genellikle köşeli ve bir boyutun diğer iki boyuttan fark edilir şekilde daha büyük olduğu agregalardır | Laminalı Kayaç |
| Yassı ve Uzun | Tane uzunluğunun eninden ve eninin fark edilir bir şekilde kalınlıktan daha büyük olduğu agregalardır | Laminalı Kayaç |

Agrega tanelerinin şekli olabildiğince yuvarlak (küresel, kübik) olmalıdır. Doğal agregalar oluşmaları gereği dış tesirlerin etkisi ile yuvarlaklaşmışlardır. Tanenin en büyük boyutunun en küçük boyutuna oranı 3'den büyük olan tanelere şekilce kusurlu taneler denir. Kusurlu tanelerin önemli etkisi agrega yığının boşluklu olması ve bu boşluğun çimento hamuru ile doldurulmamasıdır. Sonuçta taşıyıcı iskeleti sağlam olmayan bir yapı meydana gelir. Kaliteli beton yapımında kusurlu tanelerin hiç bulunmaması arzu edilir. Kusurlu taneler, taze betonun İşlenebilirliğini azaltmakta, su gereksinimini ve hapsolmuş hava miktarını arttırmaktadır. Bu da beton dayanımının ve dayanıklılığının daha az olmasına yol açmaktadır (Erdoğan, 1995).

Yuvarlak doğal agreganın yığın olarak yerleşmesi geometrik yapısı gereği

daha kolay olup, özgül yüzeyi de (kırmataş ürünlerine göre) küçük olduğundan dolayı işlenebilirlik için az su gerektirir. Kırma agregalar köşeli, kenarlı ve yüzeyleri pürüzlüdür. Kırma agregalar konkasörlerin ayarsızlığına bağlı olarak yassı ve biçimsiz taneler içerirler. Bu da betonun yerleşmesi sırasında işlenebilirliliğini güçleştirir.

Taze betonun su gereksiniminin artması, düşük dayanıma neden olur. Köşeli agrega tanesinin yüzey alanı yuvarlak agrega tanesinin yüzey alanından daha büyüktür. Bu nedenle köşeli agregalarla yapılan betonlarda, agrega taneleri ile çimento hamuru arasındaki aderans daha iyi olmaktadır. Ayrıca köşeli agregalarla yapılan betonların dayanımı yuvarlak agregayla yapılan betonların dayanımından daha yüksek olabilmektedir.

## 2.2. Beton

### 2.2.1. Giriş

İnsanoğlu binlerce yıl önce taşı, yapı malzemesi olarak kullanmaya başladığında, elinde iyi bir bağlayıcı malzeme olmadığından beton,duvar vs. yapmaları sınırlı kalmıştır. İyi bir bağlayıcı olan doğal çimentonun ilk kez Romalılarca kullanıldığı sanılmaktadır. Bugün kullandığımız çimento John Aspdin adlı bir İngiliz duvarcı tarafından bulunmuştur. Aspdin imal ettiği çimentonun patentini alırken adını Portland'taki taşlara benzediğinden "Portland Çimentosu" olarak tescil ettirmiştir. İlk betonarme yapının 1852 yılında yapıldığı bilinmektedir. Türkiye'de ise ilk betonarme yapı 1920 yılında inşa edilmiştir.

Beton malzeme üzerine en ayrıntılı araştırmalar ve karışım hesaplan için esasların geliştirilmesi 1950-1960 yılları arasına rastlamaktadır. Daha sonraki yıllarda, betonun uzun süredeki davranışı, döküm tekniği, ekipman kalitesinin devamlılığı, kalite kontrol deneyleri, betonda ekonomiyi arttırma, daha zor şartlarda beton yapıların inşası, yeni malzemeler, katkı maddeleri konularında büyük gelişmeler olmuştur (Ersoy, 1985).

Son yıllarda kimyasal katkı maddesi, lif ve taze betona vakum uygulayarak betonun mekanik ve fiziksel özellikleri oldukça geliştirilmiştir. Katkı maddesi kullanarak $cm^2$ ye 1500 kgf yük taşıyabilecek beton üretilmekte ve 208 m yükseklikte binalar inşa edilebilmektedir (Şimşek, 2003).

### 2.2.2. Betonun Tanımı ve Sınıflandırılması

Beton, kum, çakıl (kırmataş, hafif agrega), çimento, su ve gerektiğinde katkı maddelerinin belirli oranlarda homojen olarak karıştırılması ile elde edilen bir yapı malzemesidir. Sözü edilen malzemeler belirli oranlarda karıştırıldığında, kalıplarda istenilen biçimi alabilecek plastik bir malzeme elde edilir. Betonu diğer yapı malzemelerine göre üstün kılan en önemli özeliklerinden biri, istenilen biçimin

verilebilmesini sağlayan plastik kıvamıdır. Beton karıştırılıp kalıba döküldükten sonra kısa sürede katılaşır ve zamanla dayanım kazanır. Betonun özellikleri beton karışımında kullanılan malzemelerin özellikleri ile yakından ilişkilidir (Ersoy, 1985).

Beton, çağdaş toplumun temelini oluşturan malzemelerin en önemli yapı taşlarından biridir. Günümüz dünyasında yaklaşık olarak yılda 6 milyar ton beton üretilmektedir. Betonun bu kadar yaygın kullanımının nedenleri;

- Daha kolay şekil verilebilir olması
- Ekonomik olması
- Dayanıklı olması
- Az enerji tüketilmesi
- Her yerde üretilebilir olması
- Estetik özelliği'dir

Genel olarak betonlar birim ağırlıklarına, basınç dayanımlarına ve üretildikleri yerlere göre sınıflandırılmaktadırlar (Şimşek, 2003).

**i. Birim Ağırlıklarına Göre;**

- Hafif Betonlar: Birim ağırlığı 0,70-2,00 ton/$m^3$ arasında değişen betonlardır. Mekanik özellikleri normal betona göre düşüktür. Kalifiye insan gücü gerektirir. Bunun yanında yangına, dona-çözülmeye karşı dayanımı daha fazladır.

- Normal Betonlar: Normal doğal taneli agrega ile üretilen ve birim ağırlığı 2,0-2,8 ton/$m^3$ arasında değişen betonlardır. Maliyetinin ucuzluğu, dayanımını yüksek olması, kolay işlenebilme özelliklerinden dolayı tercih edilmektedir. Ancak bu tarz betondan elde edilen yapı elemanlarının birim ağırlıkları fazladır. Bu da istenmeyen bir durumdur.

- Ağır Betonlar: Birim ağırlıkları 2,8-5,0 ton/$m^3$ arasında olan betondur. Atom santralleri, hastanelerin ışın tedavisi yapılan bölümlerinde kullanılırlar. Bu betonlarda kullanılan agregalar başlıca barit, limonit, manyetit'tir. Fazla aşınmaları dezavantajıdır.

**ii. Basınç Dayanımlarına Göre;**

- Düşük Dayanımlı Betonlar: Beton sınıfı C12'den daha az basınç dayanımına sahip betonlardır.

-Normal Dayanımlı Betonlar: Beton sınıfı C12,14,16,20 ve C25'e kadar basınç dayanımı olan betonlardır.

- Yüksek Dayanımlı Betonlar: Bunlar beton sınıfı C30-35 ve üstü olarak gruplandırılmaktadır.

**iii. Üretildikleri Yerlere Göre;**

- Şantiye Betonu: Betoniyer ve/veya elle karıştırılarak oluşturulan ve 5 km'ye kadar dağıtım yapılması mümkün olan betondur.

- Beton Santrali Betonu: Beton Santralinde karışım hazırlanarak, transmikserlerle mahaline teslim edilen betondur. Betonun transmikserlerle karıştırılması uzun taşıma mesafesi için ideal olup kıvamı korunabilir. Çimento miktarında tasarruf sağlanır ve basınç dayanımında pek fazla değişiklik olmaz.

Bilgisayar Kontrolüyle istenilen oranlarda bir araya getirilen malzemelerin, beton santralinde veya mikserde karıştırılmasıyla üretilen ve tüketiciye taze beton olarak teslim edilen betona santral betonu yani Hazır beton denir. Hazır beton bileşenlerinin stoklanıp, kontrol altında karıştırılarak, hazır beton üretimin gerçekleştirildiği ve transmikserlere dolumun yapıldığı tesislere beton santrali denir.

Modern santrallerde, kontrollü ve standartlara uygun olarak üretilen hazır betonun avantajları şöyle özetlenebilir:

- Yüksek dayanımlı beton elde etme olanağı
- Daha kaliteli beton üretme avantajı
- Sürekli kalite kontrol olanağı,
- Zamandan büyük tasarruf,
- Çevre temizliği,
- Standartlara uygunluk,

- Yapım sürelerinin kısa olması,
- Temiz ve düzenli şantiye sahası avantajı.

Bunun yanında maliyetinin fazla olması dezavantajıdır. Çalışan kişi sayısındaki fark ve çimento tasarrufu ile maliyet dengelenebilir.

Hazır betonu üç şekilde sınıflandırmak mümkündür. Bu sınıflar;

A ) Basınç Dayanımlarına Göre;

Bu sınıflandırma Çizelge 2.7'de verildiği gibidir.

Çizelge 2.7. Tek Eksenli Basınç Dayanımlarına Göre Sınıflandırma (TS EN 206-1)

| Basınç Dayanımı Sınıfı | En düşük karakteristik silindir numunesi($N/mm^2$) | En düşük karakteristik küp numunesi ($N/mm^2$) |
|---|---|---|
| C 8/10 | 8 | 10 |
| C 12/15 | 12 | 15 |
| C 16/20 | 16 | 20 |
| C 20/25 | 20 | 25 |
| C 25/30 | 25 | 30 |
| C 30/37 | 30 | 37 |
| C 35/45 | 35 | 45 |
| C 40/50 | 40 | 50 |
| C 45/55 | 45 | 55 |
| C 50/60 | 50 | 60 |
| C 55/67 | 55 | 67 |
| C 60/75 | 60 | 75 |
| C 70/85 | 70 | 85 |
| C 80/95 | 80 | 95 |
| C 90/105 | 90 | 105 |
| C 100/115 | 100 | 115 |

Betonun tek eksenli basınç dayanımı ve sınıfı özetle şu şekilde gösterilebilir.

C 25/30'a göre;

30 = Karakteristik küp basınç dayanımı ($N/mm^2$)

25 = Karakteristik silindir basınç dayanımı ($N/mm^2$)

C = Beton ( Concrete )

Betonun tek eksenli basınç dayanımı standart kür koşullarında saklanmış 28 günlük silindir (15 cm çap 30 cm yükseklik) veya küp (kenar uzunluğu 15 cm) numuneler üzerinde ölçülür.

B) Kıvam Sınıflarına Göre;

Kıvamına göre sınıflandırma Çizelge 2.8'da verildiği gibidir.

Çizelge 2.8. Kıvamlarına Göre Betonların Çökme Değerlerini Esas Alarak Sınıflandırma (TS 11222)

| Beton Sınıfı | Kıvam | Çökme (Slump) cm |
|---|---|---|
| $K_1$ | Kuru | 0< çökme <5 |
| $K_2$ | Plastik | 5< çökme <10 |
| $K_3$ | Akıcı | 10< çökme <16 |
| K4 | Çok Akıcı | 16< çökme <22 |
| $K_5$ | Yayılan | 22< çökme <25 |

Betonun işlenebilme özelliği kıvamı ile tayin edilebilmektedir. Kıvam, betonun kullanım yerine, betonu yerleştirme, sıkıştırma, mastarlarım imkanlarına ve işçiliğine bağlı olarak özenle seçilmesi gereken bir özelliktir.

Kıvam kaybı; betonun yalancı priz yapması, uzun taşıma mesafeleri, dökümden önce aşırı karıştırma ve sıcak hava şartlarına bağlı olarak gerçekleşebilir. Dikkat edilmesi gereken diğer bir husus ise kıvam kaybı olduğunda

betona su verilmesidir.

C ) En Büyük Agrega Tane Büyüklüklerine Göre;

Tane büyüklüğü, kalıbın en dar boyutu, döşeme derinliği, en sık donatı aralığı gibi faktörlere bağlı olarak belirlenmelidir. Tane büyüklüğüne göre sınıflandırma Çizelge 2.9' da verildiği gibidir.

Çizelge 2.9. Agrega Tane Büyüklüğüne Göre Sınıflandırma (TS-EN 206-1)

| En büyük Agrega Tane Büyüklüğü | D maks. (mm) |
|---|---|
| $D_1$ | 12 |
| $D_2$ | 22 |
| $D_3$ | 32 |
| $D_4$ | 64 |

### 2.2.3. Betonu Oluşturan Malzemeler

Standartlara göre tarif edilmiş betonun bileşimi aşağıda verilenlerle sınırlandırılmıştır (TS EN 206-1, 2002).

- Agrega,

- Çimento miktarı ve su/çimento oranında dikkate alınmamak şartıyla toz şeklinde mineral katkı,

- Beton içindeki kimyasal katkılar,

- Başlangıç deneyleri için gerekli kıstasları sağlayacak bileşim oranları

Betonu oluşturan malzemelerin yaklaşık olarak hacimsel dağılımı;

% 40 – 45 iri agrega % 25 – 30 ince agrega

% 15 – 20 çimento % 8 – 15 su

% 0,5 – 6 hava

### i. Çimento

Öğütülmüş kalker ve diğer hammaddelerin belirli oranlarda karıştırılıp döner fırınlarda pişirildikten sonra elde edilen klinkerin, alçı taşı ve diğer katkılarla karıştırılıp öğütülmesiyle elde edilen toz halindeki bağlayıcıya çimento denir. Çimento, su ile ıslatıldığında hidratasyon olayı sonucu sertleşen ve bir daha yumuşamayan hidrolik bağlayıcıdır. Çimentonun işlevi; agrega tanelerinin yüzeyini kaplayarak ve taneler arasındaki boşlukları doldurarak bağlayıcılık görevi yapmaktır (Güner ve Süme, 2001).

Çimentonun inceliği, bileşimi, hidrotasyon hızı ve sıcaklığı, katılaşma süresi vb. faktörler, çimentonun dolayısıyla betonun özellilerini doğrudan ve/veya dolaylı olarak etkiler. Ayrıca betonun dış etkilere karşı dayanıklılığı (fiziksel ve kimyasal kökenli) çimento tipine ve miktarına bağlıdır (Topçu, 2006).

Yeni çimento standardı 'TS EN 197-1 Genel Çimentolar Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri' 2004 sonunda yürürlüğe girmiştir. Çimentonun ana hammaddesi klinkerdir. CEM I %95 - %100 klinkerden üretilir ve portland çimentosu adını alır. Diğerleri klinkere, yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı, gibi katkılar eklenerek üretilir. Bu nedenle CEM I dışındaki çimentoların, katkı maddesi ve miktarına bağlı olarak çok sayıda farklı tipleri vardır. TS EN 197-1/2004 de 27 farklı çimento tanımlanmıştır.

### ii. Katkılar

Betonun özelliklerin geliştirmek üzere üretim sırasında ve/veya dökümden önce transmiksere az miktarda ilave edilen maddelerdir. Katkı maddeleri kimyasal ve mineral katkılar olmak üzere ikiye ayrılır.

* Kimyasal Katkılar

a. Su Azaltıcılar (Akışkanlaştırıcılar): Betonda aynı kıvamın veya işlenebilirliğin daha az su ile elde edilmesini sağlar. Kullanılan su miktarı azaldıkça betonun dayanımı artır.

b. Priz Geciktiriciler: Betonun katılaşmaya başlama süresini uzatırlar sıcak hava dökümleri için uygundurlar.

c. Priz Hızlandırıcılar: Betonun katılaşma süresini azaltırlar. Erken kalıp almada ve soğuk hava dökümlerinde don olayı başlamasında betonun katılaşmış olmasını sağlamak için kullanılırlar.

d. Hava Sürükleyiciler: Beton içerisinde hava kabarcıkları oluşturarak betonun geçirimsizliğini, dona karşı direncini ve işlenebilirliğini arttırırlar.

e. Su Geçirimsizlik Katkıları: Az da olsa hava sürükleyen katkılardır. Ancak betonun yerine yerleştirmesinin iyi bir şekilde yapılması gereklidir.

* Mineral Katkılar

Bu katkılar tek başlarına bağlayıcılık özelliği taşımazken çimento ile birlikte kullanıldığında çimentoya benzer görev yaparlar. Mineral katkılar öğütülmüş toz halde silolarda depolanır.

Katkı maddelerinin özelikleri kullanılmadan önce dikkatle incelenmeli ve uygulama bilinçli yapılmalıdır. Bazı katkı maddeleri, betonun belirli bir özelliğini istenen biçimde değiştirirken, diğer bir özelliğini olumsuz yönde etkileyebilir (Ersoy, 1985).

**iii. Karışım Suyu**

Beton üretiminde karışım suyu kuru haldeki çimento ve agregayı plastik işlenebilir bir kütle haline getirmek ve/veya çimento ile kimyasal reaksiyon yaparak plastik kütlenin sertleşmesini sağlamak amacı ile kullanılır (Topçu, 2006).

Burada dikkat edilmesi gereken en önemli husus, betona verilebilecek en büyük zararın, fazla sudan kaynaklandığı hususudur.

Beton üretiminde kullanılan en uygun su içilebilir nitelikte olan sulardır. Yani içinde organik maddeler, kil, şilt gibi ince taneler, asit ve alkaliler, kanalizasyon

artıkları bulunmamalıdır. Deniz suyu beton üretiminde kullanılabilir. Ancak tuzun beton elemanların yüzeylerinde kristalleşmesi sonucu ıslaklıklar ve çiçeklenme meydana gelebildiği gibi, betonarme elemanlarında donatının korozyonu ihtimali vardır. Bu nedenle betonarme betonlarında deniz suyu kullanmaktan kaçınmalı, ön gerilmeli betonda ise deniz suyu kesinlikle kullanılmamalıdır. Temiz, içilebilir, berrak ve kokusuz her su beton üretiminde kullanılabilir (Güner ve Süme, 2001).

**iv. Agrega**

Agregalar doğal ve kırmataş olmak üzere iki farklı kökene sahiptir. Ancak her mineral kökenli malzeme veya endüstriyel atık, beton agregası olarak kullanılamaz. Agregaların beton içerisindeki rolü çok önemlidir. Granülometrisi şekli, yapısı, sertliği v.b. özellikleri beton davranışını direkt olarak etkiler. Agrega özelliklerinin betonda kullanılmadan önce deneylerle belirlenmiş olması gerekir.

### 2.2.4. Beton Üretimi ve Üretim Aşamaları

Betonun iyi olması tüm aşamalarda tekniğe uygun hareket edilmesi ile olur. Betonun hazırlanması ve dökümünde aşağıdaki hususlar önem kazanır (Güner ve Süme, 2001).

**1- Malzemelerin Tespiti ve Deneylerin Yapılması;**

Hazır betonun üretiminde kullanılacak, doğru seçilmiş malzemelerin kalitelerini ve birbirlerine uyumunu incelemek için laboratuar deneyleri yapılır. Bu deneylerden geçen malzemelerde zamanla olumsuz değişiklikler meydana gelmesinin önlemesi ve kalitenin devamı için sürekli denetimler yapılmalıdır.

**2- Karışım Hesaplarının Yapılması ve Miktarlarının Belirlenmesi;**

Karışım hesaplarının yapılmasıyla beton bileşimine girecek malzeme miktarları belirlenir. Laboratuar ortamında temsili numuneler hazırlanarak malzeme miktarları hakkında daha net (yani kâğıt üzerinde kalmayan) fikirler elde edilir.

**3- Malzemelerin Karıştırılması (Betonun Hazırlanması);**

Malzemelerin karıştırılmasında amaç, agrega yüzeylerinin tam olarak çimento hamuruyla kaplanmasını sağlamaktır. Karıştırma sonucunda elde edilen beton homojen olmalıdır. Santrallerde, betoniyerlerle ve elle karıştırma olmak üzere beton üç değişik şekilde üretilebilir. Günümüzde santrallerde üretim yaygın olarak kullanılmaktadır.

Beton üretimi; su ölçme ve karıştırma işlemlerinin santrallerde ve transmikserde yapılmasına göre ikiye ayrılır.

a- Kuru Sistem: Bu sistemde betonu oluşturan malzemelerden agrega ve çimento beton santralinde ölçülüp karıştırıcıda karıştırılır ve transmiksere aktarılır. Karışım suyu ve/veya katkı maddesi ise beton dökümü yapılacak yerde ölçülerek karışıma ilave eldir. Asıl karıştırma işlemi bu aşamada başlar ve homojen bir beton elde edilene kadar devam eder.

Kuru sistem santrallerinin kapasiteleri yaş santrallere göre daha fazladır. Taşıma süreleri de yaş sisteme göre daha uzun olabilmektedir. Bunun yanında teslim yerinde karıştırılan su ve katkı miktarının ayarlanmasına özen gösterilmelidir. Planlanan miktardan eksik ya da fazla olmamasına dikkat edilmelidir.

b- Yaş Sistem: Betonu oluşturan bütün malzemelerin santralde ölçülmesi ve karıştırılması ile elde edilen betondur, Karıştırma süresi bütün katı malzemelerin ve karma suyunun yarısının harmana katılmasıyla başlar ve boşaltma kapağının açılmasıyla biter. Yaş karışımların karıştırma süresi, taşıma süresince transmikserde ek karıştırma işlemi dikkate alınarak en çok yarıya kadar azaltılabilir (Güner ve Süme, 2001).

**4- Betonun Taşınması ve Dökülmesi;**

Beton üretim yerinden döküm yapılacak yere ayrışmayacak şekilde taşınmalıdır. Beton karışım oranının saptanmasında taşıma şekli de dikkate alınmalıdır. Taşıma işlemi günümüzde transmikserler yardımı ile yapılmaktadır. Hazır betonun taşıma süresi en çok iki saat veya toplam 300 devirdir.

Döküm işleminin nasıl yapılacağına önceden karar verilmelidir. Beton dökümü, yapılacak yerin yüksekliğine ve/veya isteğe göre transmikserlerle ya da pompa yardımı ile önceden hazırlanmış kalıplara yapılır. Döküm işlemi yapılırken dikkat edilmesi gereken bir takım hususlar vardır. Bunlar şu şekilde sayılabilir:

- Betonun yerleştirileceği bölgeye döküm yapılmalıdır.
- En fazla 1,5 m yükseklikten dökülmelidir.
- Beton kalıba dik olarak dökülmelidir.
- Beton dökümü anında ara verilmemelidir. Döküm işlemi kesintisiz olmalıdır.
- Döküm anında kalıp ve donatılara darbelerden kaçınılmalıdır.
- Betonun temas edeceği kalıp yüzeyleri döküm işleminden önce temizlenmelidir.
- Beton mümkün olduğunca yatay tabakalar halinde dökülmelidir.
- Betonu 3 metreden fazla yaymamak gerekir.
- Döküm işlemi üretimden itibaren iki saat içinde bitirilmelidir.
- Beton prize başlamadan önce yerine dökülüp işlenmeye başlanmalıdır.

Beton dökümünde dikkat edilmesi gereken diğer bir husus ise hava sıcaklığıdır. Buna göre, hava sıcaklığına bağlı olarak önlemler alınmalıdır.

Hava sıcaklığının düşük olması, hidratasyonu yavaşlatacak, buna bağlı olarak da beton yavaş dayanım kazanacaktır. Soğuk havalarda gerekli ısıyı sağlamak ve kalıp alma süresini kısaltmak için; bir çadır altında sıcak hava veya buhar üfleyici ısıtıcılar kullanmak, saman sermek gibi yöntemler uygulanmalıdır. Beton dökümü esnasında hava sıcaklığının +5 °C düşük olması halinde alınması gereken önlemler aşağıda kısaca açıklanmıştır.

- Don beklentisi olan havalarda dökümden kaçınılmalıdır.
- Yüksek çimento dozu ve düşük su/çimento oranı tercih edilmelidir.
- Düşük kıvamlı beton dökülmesine dikkat edilmelidir.
- Kalıp sökme süreleri don yapan günler kadar uzatılmalıdır.

Beton yerleştirilmeden önce, kalıpların betona değecek bütün yüzeyleri kar, buz ve donmuş kısımlardan temizlenmelidir.

Beton dökümü için en olumsuz ortam; aşırı sıcak, kuru, rüzgarlı havalardır. Hava sıcaklığının fazla olduğu durumlarda ise buharlaşma nedeni ile hidratasyon için gerekli olan su miktarında azalma olacaktır. Havanın rüzgarlı olması da buharlaşmayı arttıracaktır. Bu durumlarda buharlaşmanın önlenmesi, ancak betona bir rutubet kaynağı sağlamakla mümkün olacaktır. Betonu sık sık ve devamlı sulama, ıslak çuvalda örtme gibi yöntemler uygulanarak istenilen sonuç elde edilebilir. Sıcak havalarda (30 $^{0}$C den fazla) döküm yapılırken dikkat edilmesi gereken durumları şu şekilde özetlemek mümkündür.

- Taze betonun sıcaklığı, rüzgarın hızı, bağıl nem ve ortam sıcaklığı denetlenmelidir.
- Çimento, su ve agregalar olabildiğince soğuk olmalıdır.
- Düşük çimento dozu ve hidratasyon ısısı düşük çimentolar tercih edilmelidir.
- Döküm yerine ulaşan beton bekletilmeden yerleştirilmeli ve vibrasyon kısa sürede tamamlanmalıdır.
- Döküm esnasında taban ve kalıplara su püskürtülmesi beton karışımındaki suyun emilmesi açısından faydalıdır.

Beton yerleştirildikten hemen sonra ilk mastarlama yapılır; daha sonra bir insan beton üzerine çıktığında 1-2 mm derinlikte iz kalınca, ikinci mastarlama işlemi yapılır.

Normal betonarme yapılarda kür süresi yaz aylarında en az üç gün olmalı, yüzey sürekli nemli tutulmalıdır.

**5- Betonun Yerleştirilmesi ve Sıkılaştırılması;**

Betonun dökümünden sonraki aşama; yerleştirilmesi ve sıkılaştırılmasıdır. Kalıp içine dökülen taze beton içerisinde boşlukların olması muhtemeldir. Boşluklar betonun dayanımını düşüren ve istenmeyen etkenlerden biridir. Bu nedenle dökümün ardından beton üst yüzeyi tamamen kapalı bir hal alıncaya ve hiçbir hava kabarcığı çıkmayıncaya kadar sıkıştırılmalıdır. Günümüzde bu işlem vibratör adı verilen ekipman yardımı ile yapılmaktadır. Sıkıştırma işlemi sonunda boşluksuz, geçirimsiz ve kalıbın her noktasına istenildiği gibi yayılmış bir beton elde edilir (Erdoğan, 1995).

**6- Betonun Bakımı;**

Yerine yerleştirilen betonun dayanım kazanabilmesi, bünyesindeki çimentonun su ile yapacağı hidratasyon reaksiyonlarının sürekliliği ile mümkündür. Beton ilk başlarda bileşimindeki suyun bir bölümünü hidratasyon için kullanır. Ancak zamanla sıcaklık, nem, rüzgar gibi faktörlerin etkisi ile su kaybı ve/veya yavaş hidratasyon gözlenebilir. Bu da beton dayanımının azalmasına yol açar. Betonu, yeterli dayanım kazanabileceği ana kadar nem, sıcaklık gibi olumsuz etkenlerden korumak gerekir (Erdoğan, 1995).

### 2.2.5. Betondan Beklenilen Özellikler

Betonu taze beton ve sertleşmiş beton olmak üzere iki grupta metala edebiliriz. Karıştırma işlemi tamamlanmış fakat henüz priz aşamasına geçmemiş betona "taze beton" adı verilir. Sertleşmiş beton ise taze betonun katılaşmasından somaki safha olarak ifade edilir (Erdoğan, 1995).

İyi bir beton Çizelge 2.10 de veriliği gibi, taze haldeyken kolay taşınabilmeli, yerleştirilebilmeli, sıkıştırılabilmeli ve bu işlemler sonrasında ayrışmam alı dır. Sertleşmiş halde ise betonun mekanik dayanımı yeterince yüksek ve dayanıklı olmalıdır. Sertleşmiş betondan beklenilen performans önemli ölçüde

taze betonun özelliklerine bağlı olmaktadır. Sertleşmiş betonun özelliklerini çok büyük ölçüde etkileyen başka faktörler de bulunmaktadır. Bunlar, taze betonun uygun tarzda taşınması, yerine yerleştirilmesi, sıkıştırılması, yüzeyinin düzgünlestirilmesi ve hidratasyonun sağlıklı şekilde yer alabilmesi için kür (bakım) işlemleridir (Erdoğan, 1995).

Çizelge 2.10. Taze ve Sertleşmiş Betondan Beklenen Özellikler (Erdoğan, 1995)

| Taze Betondan Beklenilen Özellikler | Sertleşmiş Betondan Beklenilen Özellikler |
|---|---|
| İşlenebilme özelliği | Dayanım |
| Uygun kıvam | Dayanıklılık |
| Segregasyon | Kompasite |
| Terleme | Estetik |
| | Ekonomi |

### 2.2.5.1. İşlenebilme

İzlenebilirlik yeteneği taze betonda gözlenen ve deneylerle değeri saptanabilen bir özelliktir. Bu yeteneği yüksek beton, minimum enerjiyle karıştırılabilen ve kalıba yerleştirilebilen bir malzemedir. Taşınması yerleştirilmesi sırasında karışımda ayrışma olmaz (Şimşek, 2003).

Taze betonun homojenliği, beton özelliklerinin her tarafta aynı olması, betonun ayrışmaması ve su kusmaması anlamına gelir. İşlenebilirlik, betonun bileşimine ve beton malzemelerinin özelliklerine, kalıp özelliklerine, kalıptaki donatının miktarına yerleştirme ve sıkılama yöntemlerine bağlıdır (Güner ve Süme, 2001).

İşlenebilirliğe etki eden faktörler, işlenebilirlik yeteneği, kıvamı, çimento hamuru miktarı, zaman ve ortam koşulları, çimento ve agrega özellikleri, katkı maddeleri, ayrışma ve terlemedir. Kıvam Çizelge 2.11 de verildiği gibi, betonunun akıcılığı ve/veya kendi ağırlığı altında hareket etme kabiliyeti ile ilgili bir

özelliktir(Şimşek, 2003).

Çizelge 2.11. Beton Kıvamı ve Özellikleri (Şimşek, 2003) (TS 500'e göre)

| Kıvam | Çökme | Özellikler |
|---|---|---|
| Nemli toprak | 0 - 2,5 cm | Su miktarı çok az, vibrasyonla özenli ve kuvvetli bir şeklide yerleştirilmediği takdirde betonda boşluklar kalır. |
| Sıkı | 2,5 - 5 cm | Vibrasyonla sıkıştırmaya elverişli betonarme yapılar için uygun |
| Plastik | 5 - 7,5 cm | Donatının fazla olması halinde seçilir. |
| Akıcı | 7,5-15 cm | Su miktarı fazla, vibrasyonla sıkıştırmaya elverişli değil çok sık donatı bulunması halinde kullanılmasına izin verilir. |
| Serbest | 15 cm | Su agrega ve çimentodan kolaylıkla ayrılır. Betonarme de bu kıvama sahip beton kullanılmamalıdır. |

Kimyasal katkılar kullanılarak betonun işlenebilme özelliğini arttırmak mümkündür. Akışkanlaştıncı özelliğe sahip katkı maddeleri kullanarak akışkan betonlar üretilebilmektedir. Ayrıca betonlardan istenilen işlenebilme özelliği, betonun kullanılacağı yere, sıkıştırma ve yerleştirme tekniğe bağlıdır.

#### 2.2.5.2. Dayanımlar

##### i. Basınç Dayanımı

Betonun en önemli mekanik özelliği basınç dayanımıdır. Basınç dayanımı yüksek olan bir beton sert, su geçirmez, dış etkilere dayanıklı ve doludur. Betonun tüm olumlu nitelikleri basınç dayanımı ile paralellik gösterir. Bu nedenle basınç dayanımını saptamak suretiyle betonun kalitesi ve sınıfı belirlenir. Basınç dayanımı standart silindir (15x30) ve küp (15x15) numuneler üzerinde belirlenir. 1., 3., 7., 27.,

96. günlerde basınç dayanımı yapılır. Ancak betonarme yapıların dizayında 28 günlük dayanım sonucu %100 değer olarak kabul görmektedir. Betonların 7 günlük dayanım sonucu 28 günlük dayanımının 2/3'ü kadardır (Şimşek, 2007).

Betonun basınca karşı dayanım: olumlu ve olumsuz yönde olmak üzere birçok etken tarafından etkilenmektedir. Bu etkenler agrega türü ve gradasyonu, çimento türü ve miktarı, su/çimento oram, betonun bakımı, kimyasal ve mineral katkı maddesi kullanımı, taze betonun üretim metodu, karıştırılma süresi, karışım aşamaları, yerleştirme metodlarındaki değişkenler şeklinde sıralanabilir

Çizelge 2.12. Beton Dayanımına Etki Eden Faktörler (Güner ve Süme, 2001)

| Bileşimle İlgili Faktörler | Üretimle İlgili Faktörler | Bakımla İlgili Faktörler |
|---|---|---|
| Agrega | Tartma | Zaman |
| Çimento | Karıştırma | Sıcaklık |
| W/C Oranı | Taşıma | Nem Durumu |
| Su miktarı | Yerleştirme | Rüzgar |
| Katkı Maddeleri | Sıkılama | |

Çizelge 2.12'de beton dayanımına etki eden hususlar açıklanmıştır. Ancak W/C (su/çimento) oranı özel bir anlam taşımaktadır. Betonda W/C oranı betonun basınç dayanımı ve dış iklim faktörlerine karışı dayanıklılığı üzerinde önemli bir rol oynamaktadır. Su ve çimentodan meydana gelen çimento hamurunda, suyun çimentoya oranı ne kadar küçük olursa çimento hamuru o kadar koyu kıvamlı olur. Koyu kıvamlı hamurla elde edilen betonun, basınç ve dış faktörlere dayanımı ve hacim sabitliği oldukça iyi sonuç verir. Beton karışım hesabında W/C oranı, çeşitli iklim koşullarına, beton dökülecek alana ve basınç dayanımına göre seçilir. Ayrıca akışkanlaştırıcı katkı maddeleri kullanarak W/C oranının işlenebilirlikte bir azaltma oluşturmadan indirmek, dolayısıyla beton dayanımını arttırmak mümkündür (Uğurlu, 1999).

**ii. Çekme Dayanımı**

Betonun çekme dayanımı, basınç dayanımının % 8 ile % 14'ü arasındadır. Betonun çekme dayanımının ideal olarak eksenel çekme altında denenen bir elemandan elde edilmesi gerekir. Basınç dayanımına etki eden bütün değişkenler, çekme dayanımını da etkiler. Çekme deneylerinde kullanılan numunelerin herhangi bir noktasındaki yerel zayıflık, elemanın o kesitten kırılmasına sebep olur.Bu durumlarda kırılma yükü normalden düşük olur (Ersoy, 1985).

### 2.2.5.3. Kompasite

Betonun birim hacimde yer alan çimento, kum ve iri agreganın gerçek hacimlerinin toplamına kompasite denir. Kompasite değerinin küçük olması, betonda su veya hava ile işgal edilmiş boşlukların çok olmasına işaret eder. Kompasitenin düşük olması aynı zamanda dayanımı olumsuz yönde etkiler ve fazla çimentoya gereksinim duyulduğundan rötreye sebebiyet vermektedir (Güner ve Süme, 2001).

Betonun yeterli kompasiteye sahip olması için, iri agreganın mümkün olduğunca fazla kullanılması, ince agreganın ise iri agrega taneleri arasındaki toplam boşluğu dolduracak miktarda kullanılması gerekir.

### 2.2.5.4. Segregasyon

Taze betonun taşınması, yerleştirilmesi ve sıkıştırılması sırasında iri tanelerin ince tanelerden ayrışması olayına "segregasyon" denir. Betonun iyi bir şekilde üretilmesi, taşınması ve yerleştirilmesi segregasyonu önemli ölçüde azaltır. Aynı zamanda hava sürükleyici katkı maddesi içeren betonda segregasyon azdır. Segregasyon olayı betonun dayanımını olumsuz yönde etkiler (Şimşek, 2003).

Karışımda fazla su kullanılması, vibrasyon işleminin makul sürede yapılmaması da segregasyon olayını tetikleyen unsurlardır.

### 2.2.5.5. Betonun Terlemesi

Taze karışım içindeki suyun, kalıba yerleştirilmiş betonun yüzeyinde birikmesi olayına "terleme" denir. Beton yerleştirildiğinde karışım içindeki malzemenin suyu tutamaması sonucu meydana gelir ve agreganın çökelmesi ile bağlantılıdır. Terleme sonucu yüzey çok ıslak hale gelir ve bu su kaybı betona su ilave edilerek giderilmeye çalışılırsa boşluklu, zayıf, dayanıksız beton ortaya çıkar. Terleme suyu, tamamen buharlaşıncaya kadar yüzeyde herhangi bir düzeltme yapılmamalı, mastar veya mala ile yüzey üzerinde fazla çalışılmamalıdır. Terleme olayına engel olmak için beton bileşimi ayarlanmalı, sıkıştırma işlemine ve özellikle vibratörlü sıkıştırmaya özen gösterilmelidir (Güner ve Süme, 2001).

Beton yüzeyindeki buharlaşma hızı, terleme oranının gelişme hızından daha fazla ise, plastik büzülme (rötre) çatlakları meydana gelir. Rötre betonun büzülmesi biçiminde bir hacimsel harekettir. Rötrenin temel nedeni betondaki suyun azalmasıdır. Suyun kaybolma biçimine bağlı olarak; plastik rötre, hidratasyon rötresi, kuruma rötresi gibi tanımlar yapılmaktadır.

### 2.2.5.6. Elastisite

Beton genel olarak elastik bir malzeme değildir. Betonun 28 günlük kırılma dayanımlarının % 75'ine kadar ki basınç dayanımları için gerilme deformasyon oranı oldukça uniformdur. Betonların 28 günlük elastisite modülü yaklaşık olarak $l\text{-}4xl0^5$ $kgf/cm^2$ civarındadır. (Şimşek, 2003).

Üç fazlı anizotropik gevrek bir malzeme olarak tanımlanan beton, üzerine gelen değişik yükler nedeniyle farklı davranışlar gösterir. Elastik özellikteki malzemeden elde edilmiş olan bir elemanın P yükü altında göstereceği toplam deformasyon miktarı o elemana uygulanan yükün büyüklüğü ve elemanın toplam boyu ile doğru orantılı, elemanın kesit alanı ile ters orantılıdır. Beton, gevrek ve farklı fazlardan oluşan bir kompozit malzeme olduğundan elastik bir malzeme değildir. Ancak küçük gerilmeler altında elastik özellik gösterebilir. Teorik olarak bu basınç dayanımının % 30-% 40'ı arasındaki bir değere karşılık gelir. Betonda gerilme

arttıkça doğru orantılı olarak deformasyon da artmaktadır (Topçu ve Uğurlu, 2007).

Agreganın dayanımının fazla olmasına karşın beton, kendi bileşenlerine göre daha sünek bir davranış gösterir. Yani betonun diğer fazlar ve bileşenlerine göre inelastik davranışı daha yüksektir. Şekilden görüleceği üzere betonun gösterdiği deformasyon söz konusu faz ve bileşenlerine göre eşdeğer bir basınç dayanımı için daha yüksektir (Topçu ve Uğurlu, 2007).

#### 2.2.5.7. Dayanıklılık

Dayanıklılık, betonun özelliklerini iç ve dış etkiler sonucunda zamanla kaybetmesidir. Dış etkiler; donma etkisi, atmosfer etkisi, zararlı suların etkisi, aşınma ve darbe etkileri olabilir. İç etkiler ise daha çok beton bileşenlerinden kaynaklanan hacim artışı, ısıl genleşme, rötre, çiçeklenme, nemlenme gibi etkilerdir. Dayanıklılık beton bileşimine ve özellikle çimento miktarına bağlı bir özelliktir.

#### i. Geçirimlilik

Boşluklu bir ortamda laminer bir akımla sıvının hareket etmesi sonucunda meydana gelen bir olaydır. Betonun geçirgenliği, beton içerisindeki boşluklar ile çimento hamuru agrega ara yüzeyindeki mikro çatlakların bir fonksiyonudur.

Su geçirimliliğinin azaltılması ancak porozitenin (boşlukların) azaltılması, kompasitenin arttırılmasıyla veya boşlukların bazı katkılarla suyu iter hale getirilmesi ile mümkünüdür.

Nemlenme, çiçeklerime gibi etkiler betonun su geçirimliliğine ve su emme özelliklerine bağlıdır. Su geçirimliliği özellikle baraj, su deposu gibi su yapılarında çok önemlidir. Betonun ayrışmasını önleyici yerleştirme ve sıkılama yöntemlerinin kullanılması, geçirimsizliği sağlayan katkıların kullanılması, beton bileşiminin uygun olarak ayarlanması, ince öğütülmüş çimento kullanılması, bileşimdeki çimento miktarı artırılarak ve/veya su miktarı azaltılarak betonda geçirgenlik azaltılabilir (Güner ve Süme, 2001).

### ii. Donmaya Dayanıklılık

Betonların kompasitesi arttıkça donmaya dayanıklılıkları artar. Hava sürükleyici katkılar kullanılarak dayanıklılık arttırılabilir. Donma etkisi betonun su emmesi durumunda ortaya çıktığından, yapı tasarlanırken betona gelen su hemen uzaklaştırılacak biçimde bazı önlemler de alınabilir (Güner ve Süme, 2001).

### iii. Aşınmaya Dayanıklılık

Beton aşınma etkisi ile dağılmaya başlarsa dayanım azalır. Aşınma, akarsuların, rüzgârın ve trafiğin etkisi ile meydana gelebilir. Basınç dayanımı yüksek betonlar, aşınmaya karşı da dayanıklıdır (Şimşek, 2003).

Yol, hava alanı, su borularında ve genel olarak döşeme kalıplarında kullanılan beton önemli derecede aşınma etkisinde kalır. Betonda çimento miktarı agregaya kıyasla az olduğundan asıl aşınma etkisi agregaya gelir. Bu bakımdan beton üretiminde aşınmaya dayanıklı sert agregalann kullanılması betonun aşınmaya karşı dayanımını arttırır. Aşınmaya çok dayanıklı betonlar, özel agregaların kullanılmasıyla elde edilir. Bu amaçla granit, demir parçacıkları gibi kırmataş agregalar kullanılır.

### iv. Kimyasal Etkilere Dayanıklılık

Betonlar çeşitli kimyasal maddelerin hatta saf suyun etkisiyle bozulabilir. Ancak uygulamada daha çok asitlerin ve sülfatların etkisinden söz edilir. Kimyasal etkilere karşı dayanıklılığı, kompasıtesi yüksek, geçirimliliği az bir beton üretilerek, çimento miktarı arttırılarak, puzolan katkılı çimentolar kullanılarak, beton yüzeyler geçirimsiz tabakalarla kaplanarak kimyasal etkilere karşı dayanıklılık sağlanabilir (Güner ve Süme, 2001).

**v. Çiçeklenme**

Çiçeklenme suyun beton içinde hareketleri ile yüzeye getirilip biriktirildiği çeşitli tuzlar nedeni ile ortaya çıkan çoğunlukla beyaz renkteki leke ve akıntılardır. Çiçeklenme dayanıklılık açısından önem arz eder. Genel olarak betonun kalitesini etkileyen faktörler Çizelge 2.13. verilmiştir.

Çizelge 2.13. Beton Kalitesini Etkileyen Faktörler

| Beton Kalitesini Etkileyen Faktörler | El ile Hazırlanan Beton Uygulaması | Beton Santralinde Hazırlanan Beton Uygulaması |
|---|---|---|
| 1. Agrega | Gelişigüzel dere yataklarından alınarak hiçbir inceleme ve kontrole tabii tutulmadan tüvenan olarak kullanılabilir. | Dere yatakları seçilir. Eleme ve gerekli ise yıkama yapılır. Beton için uygun olan granülometrik agrega kullanılır. |
| 2.Çimento | Çimentonun türü, özelliği, üretim tarihi dikkate alınmadan en ucuz olanı kullanılır. | Üretici firmaların kontrolü altında ve isteğe göre seçilerek kullanılır. |
| 3.Su | En yakınında olan su kullanılır. Kolay işlemek için bol miktarı dikkate alınmaz. | Temiz, içilebilir düzeyde olan su kullanılır. Betona gerektiği kadar su verilir. |
| 4.Kimyasal Katkılar | Pek kullanılmaz. | Standart olarak beton suyunu azaltmak ve dayanımını arttırmak için kullanılır. |
| 5.İşçilik | Bilgi, tecrübe aranmaksızın en ucuza çalışacak işçi tercih edilir | Bilinçli, tecrübeli işçi, teknisyen ve mühendisler tarafından beton hazırlanır. |
| 6.Beton Reçetesi | Ne olduğu önemli değildir. Kullanılacak alana göre birkaç torba çimento, kum ve sudan ibarettir. | Amacına uygun olarak tecrübeli eleman yönetiminde laboratuarda deneyler yapılarak hazırlanır. |
| 7.Karıştırma | Kürek veya betoniyer ile ne kadar süre karıştırılacağı bilinmeden yapılır. | Beton santrallerinde, trans mikserlerde tamamen mekanize sistem olarak üretilir. |

# 3. LABORATUAR ÇALIŞMALARI

## 3.1. Numune Alınan Bölgeler

### i-Konya – Akşehir Mevkii

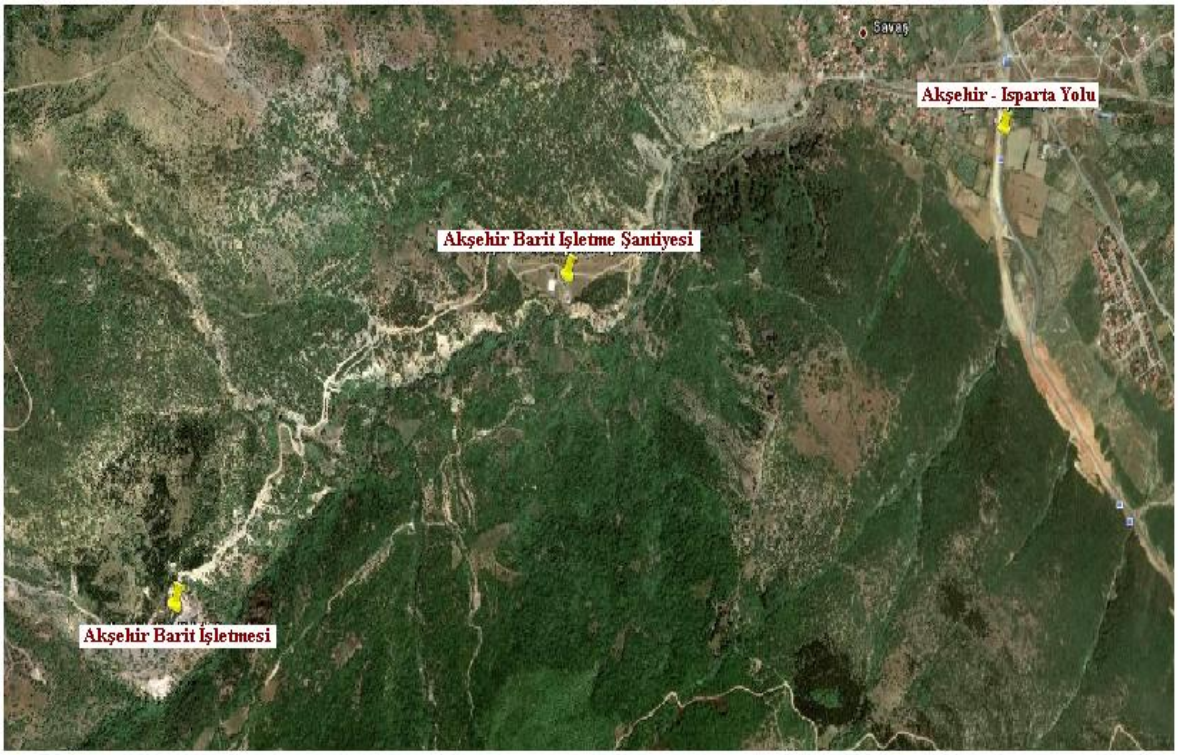
Barit numunleri Konya ili Akşehir ilçesinde bulunan barit işletmelerinden alınmıştır. Deneyde kullanılacak olan Barit'in kimyasal formülü $BaSO_4$, özgül ağırlığı 4,5 ton/$m^3$, sertlik 2.5-3.5, kristal yapısı ortorombiktir. Renksiz, beyaz, bazen sarı ve gri olabilir.

Kullanılan Barit Cevherinin kimyasal bileşimi

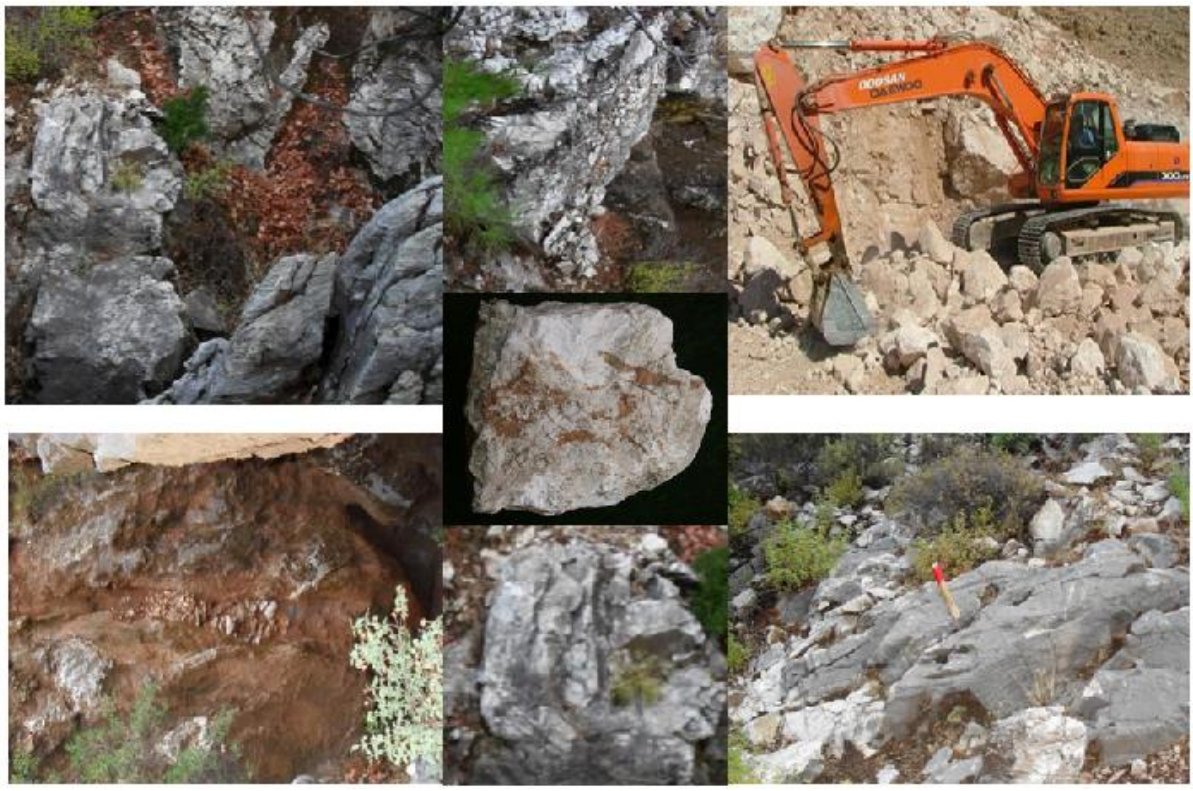
| % $Al_2O_3$ | %$BaSO_4$ | % $SrSO_4$ | %$SiO_2$ | %$Fe_2O_3$ | Sp.gr |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.96 | 93.57 | 1.29 | 1.51 | 0.2 | 4.34 |

Alınan numuneler kırma eleme tesisine kamyonet yardımı ile getirilmiştir. Kırma eleme tesisine getirilen Barit numuneleri burada tersiyer kırıcı yardımı ile tane boyları ufatılmış olup tane boylarına göre sınıflandırılmışır. Klafikasyonu yapılmış numuneler baritten elde edilen betonun deneylerinde kullanılmıştır. Barit numunelerinin alıdığı Akşehir Barit İşletmesi yer bulduru haritası Resim 3.1. verilmiştir. Ayrıca işletmeye ait birkaç fotografta Resim3.2. de verilmiştir.

Resim 3.1. Akşehir Barit İşletmesi Yer Bulduru Haritası




Resim 3.2. Akşehir Barit İşletmesi Fotoğrafları



**ii- Sivas-Şarkışla Kızılırmak Mevkii**

Agrega numunlerini aldığımız işletmenin, Sivas merkeze uzaklığı 100 km olup, Şarkışla ilçesinde bulunmaktadır. Genel formasyon iri boyutlu ( konglomera ) dere malzemesidir. Oluşumu yağmur, kar ve rüzgar yoluyla sürüklenen alüvyonların geniş havzalarda birikmesinden meydana gelen eski bir dere yatağıdır. İşletme 90'lık kırıcı çene ve tersiyer kırıcılar kullanmaktadır. Üretilmiş ve sınıflandırılmış agregalar karayolu ile satışa sunulmaktadır. İşletmeye ait yer bulduru haritası Resim 3.3. de verilmiş olup işletmenin birkaç fotografıda Resim 3.4. verilmiştir.

Resim 3.3. Sivas-Şarkışla Dere Kumu İşletmesi Yerbuldur Haritası




Resim 3.4. Sivas –Şarkışla Dere Kumu İşletmesine Ait Fotoğraflar



**iii- Konya – Karaömerler mevkii**

Kalker numuneleri, Konya merkeze uzaklığı yaklaşık 28 km olup Karaömerler köyünde bulunan kalker işletmelerinden alınmıştır. Genel formasyon mavi-gri,yer yer siyahımsı,gri renkli,kalın katmanlı,kısmen hafif,sert,çatlaklı ve çatlakları kalsit damarları ile dolmuştur. Yer yer killi,kumlu,dolomitik ve breşik kireçtaşı seviyerleri mevcuttur. Mevcut masif ve çatlaklı formasyonlar delme-patlatma yolu ile gevşetilmektedir. Gevşetilen formasyon iş makineleri yardımı ile kırma-eleme tesisine getirilip tane boylarına göre sınıflandırılmaktadır. Sınıflandırılmış malzemeler karayolu taşımacılığı ile piyasaya satışa sunulmaktadır. İşletmeye ait yer bulduru haritası Resim 3.5. ’de ve işletemeye ait birkaç fotoğraf Resim 3.6. ’ da verilmiştir.

Resim 3.5. Karaömerler İşletmesi Yerbulduru Haritası




Resim 3.6. Karaömerler İşletmesine Ait Fotoğraflar



Bu üç farklı işletmelerden alımış olduğumuz numuneler ile aşağıda belirtmiş olduğumuz deneyler ayrı ayrı olarak yapılacaktır.

Agregalarla ilgili Deneyler;

- Elek Analizleri
- Granülometrilerin Belirlenmesi
- Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneyi
- Nem Oranı
- Kil Tayini

Beton ile ilgili Deneyler;

- Taze Betonun Kıvamı (Slump Deneyi)
- Taze Betonun Sıcaklığı
- Taze Betonda Hava Miktarı Ölçümü
- Birim Hacim Ağırlık Deneyi
- Sertleşmiş Betonda Tek Eksenli Basınç Dayanım Deneyi

Deney numunelerinin hazırlanabilmesi ve ilgili deneylerin yapılabilmesi amacıyla Korkmaz Hazır Beton (Konya) ve Buğ-Taş Hazır Beton (Sivas) Tesislerindeki laboratuarlardan yararlanılmıştır.

## 3.2.Laboratuar Deneyleri ve Sonuçları

### 3.2.1. Agrega Deneyleri

Araştırmasını ve incelemesini yapacağımız agrega çeşitleri işletmelerden ayrı ayrı alınmıştır. Dere Kumu agregası ve bu agregadan elde edilen beton deneyleri Buğ-Taş Hazır Beton (Sivas) tesislerindeki laboratuarda yapılmıştır. Kalker ve Barit numunelerinin ve bu numunelerden elde edilen beton deneyleri ise Korkmaz Hazır Beton (Konya) tesislerindeki laboratuarlarda yapılmıştır.

Dere Kumu agrega numuneleri, Sivas – Şarkışla Dere Kumu İşletmesindeki yıkama eleme tesisi ile 0 – 8 mm, 8 – 16 mm ve 16 - 32 mm boyutlarında sınıflandırılmış agregalardan alınmıştır. Her sınıfa ait nunume elek altından alınırken işletme ürünlerini temsil etmesi bakımından bir yerden alınmamış olup birkaç yerden alınmış ve karıştırılmıştır. Karıştırılan numune miktarları herbir sınıf için yaklaşık 500 -750 kg arasındadır. Bu miktardaki numunlerin laboratuara götürülmesi zor olacağı için işletmeyi temsil edecek şekilde alınan numunler ince taneler kaybolmaycak kadar nemlendirilip, dörde bölünerek küçültme için agrega, temiz bir alana her tarafı eşit yükseklikte dairesel olarak serilmiştir. Dairenin çapı serilen malzeme yüksekliğinin 4 katı olacak şekilde ayralanmıştır. Daire şeklindeki alan mala yardımı ile dört eşit kısma bölünerek karşılıklı iki parçası numune oluşturmak üzere bırakılıp diğer iki parça uzaklaştırılmış bu işlem kalan parçalara tekrar uygulanarak deney numuneleri elde edilmiştir. Elde edilen bu numuneler sık dokunmuş bez torbalar içerisine konularak (yaklaşık 25kg'lık) torbanın içine ocağın adı ve numune numarası yazılı etiketler konularak deney yapılacak laboratuara götürülmüştür.Numune olarak alınan bu agregalar yaklaşık 25 kg'lık çuvallara doldurularak Buğ-Taş Hazır Beton (Sivas) tesislerindeki laboratuar ortamına götürülmüştür.

Kalker ve Barit numunleride bu şekilde hazırlanıp deneylerin yapılacağı Korkmaz Hazır Beton (Konya) tesislerindeki laboratuara götürülmüştür. Yapılacak deneyler tamamen Dere Kumu, Kalker ve Barit olacak şekilde ayrı ayrı yapılmıştır. Hiçbir şekilde farklı agrega türleri karıştırılmamıştır.

#### 3.2.1.1. Kullanılacak Agregaların Granülometrilerinin Belirlenmesi

Agregan yığınında bulunan tanelerin oranlarının belirlenmesi elek analizi sonucuna göre tespit edilir. Elek analizi deneyi; bir agrega karışımının kare gözlü standart deney eleklerinden elenmesi yolu ile en büyük tane çapı yönünden çeşitli büyüklüklerdeki agrega bölümlerinin bütün agrega karışımına ağırlıkça yüzde oranlarının bulunması şeklinde

yapılmaktadır (Canpolat, 2004).

Deneyde kullanılacak miktarlar çeyrekleme yöntemi ile 1500 gram'a gelecek şekilde ayarlanmıştır. Deney için malzemenin kuru olması gerekmektedir. Etüvde kurutulan malzeme 0,1 gr duyarlılıktaki terazide tartılarak en üstte bulunan eleğe yani en büyük göz açıklığı olan eleğe boşaltılır. Eleme işleminin ardından eleklerin üzerinde kalan malzemeler ayrı ayrı alınarak tartılır ve kaydedilir. Bu deneyde kullanılacak olan elekler, etüv ve duyarlı terazi Resim 3.7. de verilmiştir.

Resim 3.7. Etüv, Hassas Terazi ve Granülometri Elekleri



### 3.2.1.2. Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini

Deney numunelerinin hazırlanmasında kullanılan agregalar iri ve ince agregalar olarak ayrılarak deneyler gerçekleştirilmiştir.

#### 3.2.1.2.1. İri Agregalar İçin Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini

Özgül ağırlık deneyinin yapılabilmesi için malzemelerin doygun yüzey kuru haline getirilmesi gerekir. Agrega yığınının farklı noktalardan rastgele alman numuneler, içinde 20 °C (± 3 C)'de su bulunan bir kap içine konularak 24 saat bekletilir. Böylece su içinde tane, üzerindeki toz ve yabancı maddelerden temizlenmiş olur. Daha sonra suyu süzülen malzeme, tanelerin üzerinde gözle görülebilen su tabakası (film) kalmayıncaya kadar kurutulur. (Oda sıcaklığında havlu bir malzemeyle yüzeydeki ıslaklık kurutulabilir.) Bu işleme doygun yüzey kuru hale getirilmesi adı verilir (DYK).

İri agrega özgül ağırlık ve su emme oranı tayini şu şekilde bulunabilir;

DYK haldeki agrega örneğinden yaklaşık 800 gr numune alınır. Cam kavanoz su ile doldurularak içerisinde hava kabarcığı kalmayacak şekilde cam kapak kapatılarak tartılır. Cam kavanozun içindeki suyun yarısı boşlatılarak içerisine 800gr numune konur. Daha sonra kavanozun tamamı doluncaya kadar su konulur. Bunu yaparken kavanozun içindeki hava cam kapak yardımı ile alınır. Sonra tartım yapılarak ağırlığı elde edilir. Malzeme etüv kurusu haline getirilerek tartılır.

Malzeme tanelerinin boşluklarına dolan suya bağlı olarak agrega ağırlığındaki artışın agreganın kuru ağırlığına göre yüzdesi olarak ifade edilen değere absorpsiyon (su emme) denir.

#### 3.2.1.2.2 İnce Malzeme için Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini

Deney numunesi su içerisinde 24 saat bekletildikten sonra ince taneleri kaybolmayacak şekilde suyu süzerek akıtılır ve bir tava içine yayılarak konulur. Tava tabanlı ısıtıcı, etüvde veya temiz bir yere serilerek sık sık kontrol edilme şartı ile doygun yüzey kuru hale gelinceye kadar beklenir. Numunenin çok kurumamasına özen gösterilmelidir. DYK haline erişip erişilmediğine göz ile muayene ederek karar verilemiyor ise kesik koni veya kesme yöntemlerinden biri uygulanır.

**i. Kesik Koni Yöntemi**

DYK haline geldiği düşünülen numune geniş yüzeyi alta gelecek şekilde duran kesik koni biçimli metal kalıba gevşek olarak yerleştirilip üst yüzeyi sıkıştırma çubuğu ile 25 kez hafifçe tokmaklanır. Kalıp yukarı doğru düşey olarak hareket ettirilerek çıkarılır. Kalıp

çıkarıldığında numune konikliğini devam ettiriyor ise serbest nem var demektir. Kurutmaya devam edilmesi ve bir kez daha kesik koni uygulaması gerekir. Numune konikliğinin serbestçe bozulduğunun görülmesi halinde DYK halinin sağlanmış olduğuna karar verilir.

**ii. Kesme Yöntemi**

DYK haline geldiği sanılan numune ile yarım küre biçiminde bir yığın yapılır. Yığın mala ile düşey olarak ikiye bölündüğünde ortaya çıkan yüzey düzlemini koruyabiliyorsa kurutmaya devam edilir. Düşey yüzeyin kendini tutamayıp yıkıldığının saptandığı an DYK hali durumuna geldiği kabul edilir.

İnce agreganın özgül ağırlık tayini şu şekilde bulunabilir;

DYK haline gelen malzeme tartılarak ağırlığı bulunur($W_2$). 500 gr malzeme etüv kurusu hale getirilerek tartılır($W_1$). DYK halindeki malzeme ölçü kabına konur ve yarıya kadar su doldurulur. Ölçü kabına hafif hafif vurularak ve aynı zamanda döndürülerek hava kabarcıklarının çıkması sağlanır. En az bir saat bekledikten sonra ölçü kabı 20 °C (± 3 °C)'de 1000 ml'lik işaret çizgisine kadar su doldurularak tartılır ($W_3$). Ölçü kabının daha önceden saptanmış olan boş ve su dolu ağırlığı tartılır ($W_4$).

$W_1$: Etüvde kurutulmuş malzeme(gr)

$W_2$: DYK halindeki malzeme (gr)

$W_3$: Kavanoz + su + malzeme (gr)

$W_4$: Kavanoz + su (gr)

Beton yapımında kullanılan normal agregalarda 2,5-2,8 ton/$m^3$ mertebesindedir. Kırmataş agregalarınında taşının cinsine bağlı olarak;

- Kumtaşı için 2,0-2,6 ton/$m^3$
- Kalker için 2,5-2,8 ton/$m^3$
- Granit için 2,6-2,8 ton/$m^3$ mertebesinde olması şartı aranır.

**3.2.1.3. Nem Oranının Tayini**

Kullanılacak agregaların yüzey neminden kaynaklanan su miktarı göz ardı edilirse beton karışım hesabıyla elde edilen suyun artmasına neden olur. Bu fazla su, su/çimento oranını değiştirir. Bundan dolayı agrega yüzey nem miktarı hesaplanarak karışım için

hesaplanan su miktarından çıkartılması gerekir (TS 3523).

Çizelge 3.1. TS 707 ’ ye Göre Yüzey Nemi Oranın Tayinin Maksimum Tane Büyüklüğü ile İlişkisi

| Maks.. tane büyüklüğü (mm) | 0,25 | 0,5 | 1 | 2 | 4 | 8 | 16 | 32 | 63 | 90 | 125 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Numune Miktar (kg) | | | | | | 2 | 3 | 5 | 10 | 15 | |

Deneyde kullanılacak numune miktarının en büyük tane büyüklüğüne bağlı olarak değişimi Çizelge 3.1'de verildiği gibidir. TS 707'ye göre alınan agrega numunesi, bölgeç veya çeyrekleme yöntemi ile çizelgede belirtilen miktar kadar alınarak tartılır.

Tartım işlemi sırasında agreganın nemini kaybetmemesi için çok hızlı çalışılmalı ve gereken her türlü Önlem alınmış olmalıdır. Tartılan numune madeni kabın içine yayılarak serilir ve ısıtıcı yardımıyla doygun kuru yüzey haline getirilerek tartılır.

### 3.2.2 Beton Deneyleri

Genel olarak beton, taze beton ve sertleşmiş beton olmak üzere iki şekilde sınıflandırılmaktadır. Dere Kumu, Kalker ve Barit’ten elde edilen betonlarda farklı iki gruptan agrega karıştırılmamıştır. Herbir agrega betonu laboratuarlarda, laborantlar eşliğinde hazırlanmıştır. Hazırlanan betonlar için kullanılan karışım oranları 3.3.2. Beton Deneyleri Sonuçları bölümünde tablo halinde ayrı ayrı verilmiştir.

#### 3.2.2.1. Taze Beton Deneyleri

##### 3.2.2.1.1. Kıvam Deneyleri

Betonun işlenebilme özelliği kıvamı ile tayin edilebilmektedir. Kıvam, betonun kullanım yerine, betonu yerleştirme, sıkıştırma, şantiyede beton iletim imkânlarına bağlı

olarak ve yayılma sınıflarına göre belirlenir. Çizelge 3.2'de TS-EN 206'ya göre çökme sınıfları verilmiştir

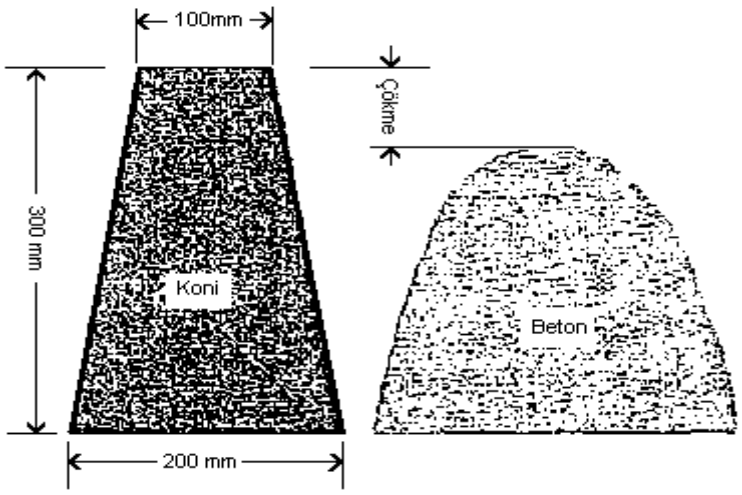
Çizelge 3.2. Çökme Sınıfları (TS EN 206)

| Sınıf | Çökme (mm) |
|---|---|
| $S_1$ | 10-40 |
| $S_2$ | 50-90 |
| $S_3$ | 100-150 |
| $S_4$ | 160-210 |
| $S_5$ | >220 |

Slump (Çökme) Deneyi;

Taze betonun çökme sınıfı slump (çökme) konisi deneyleri ile ölçülmektedir. Çökme deneyi için kullanılacak ekipmanlar, kalıp, sıkıştırma çubuğu, doldurma kepçesi, mala, metre, taban plakası, kürek ve nemli bezdir. Kalıbın iç yüzeyi ve taban plakası, yüzeyinde serbest su kalmayacak şekilde nemlendirilir. Kalıp, iki yanında yerde bulunan ayak basma parçalarına basılarak sabitlenir. Taze beton, kalıba üç eşit yükseklikte olacak şekilde doldurulur. Doldurma esnasında her tabaka 25 defa şişlenir. 2. ve 3. tabakanın şişlenmesi bir alt tabakaya hafifçe işleyecek şekilde olmalıdır. Sıkıştırma işlemi sonrasında kalıbın üst seviyesi mala yardımı ile düzlenir. Taban plakası üzerine düşen beton varsa temizlenir. Kalıp el tutamaklarından tutularak düşey şekilde yukarı çekilir. (Kalıp 5-10 saniye içerisinde çekilmelidir. Deney 150 saniye içerisinde tamamlanmalıdır.) Kalıbın alınmasından hemen sonra, kalıp üst seviyesi ile çöken beton kütlesinin en yüksek noktası arasındaki çökme noktası Resim 3.8.'de verildiği gibi ölçülerek kayıt edilir (Ersoy, 1985). Elde edilen değer betonun işlenebilirliği hakkında fikir verir.

Resim 3.8. Çökme Deneyi




### 3.2.2.1.2. Birim Hacim Ağırlık Deneyi

Hacmi bilinen bir kaba hazırlanan karışım konulur. Karışımın kap içerisinde sıkıştırılması sağlanır. Bu işlem için şişleme çubuğu kullanılır. Malzeme kaba üç eşit yükseklikte konularak her defasında 25 kez şişleme işlemi yapılır. Şişleme işlemi bittikten sonra kabın üzeri mala yardımı ile düzeltilir ve tartılır. Kullanılan kap agrega tane büyüklüklerine göre seçilmelidir (Dmaks.'a göre). Deneylerde 15x15x15 cm boyutunda kübik numune kapları kullanılmıştır. Kap hacmi 0.0034$m^3$, kap ağırlığı 1,260 kg olarak tespit edilmiştir.

Buna göre;

Birim hacim ağırlığı;

BK= Beton + Kabın ağırlığı (kg)

K: Kabın ağırlığı (kg)

V: Kabın hacim ($m^3$)

BHA: Birim hacim ağırlığı ($kg/m^3$)

Birim hacim ağırlığı deneyi yukarıda açıklandığı şekilde yapılmıştır.

### 3.2.2.1.3. Taze Betonda Hava Miktarı Ölçümü

Taze betonun hava içeriği basınç ölçme metodu ile yapıldı. Kullanılan ekipmanlar; hava ölçer (TS 12350-7'ye uygun), şişleme çubuğu, mala, karıştırma kabı, plastik tokmak,

kronometredir. Hava ölçer Resim 3.9. de gösterilmiştir.

Taze betondan numune alma talimatına göre temsilen 20 $dm^3$ 'lük deney numunesi alındı. Beton, ölçü kabına üç eşit yükseklikte konularak her defasında 25 kez şişleme işlemi yapılır. Şişleme çubuğu yardımı ile 25 defa yüzeyin her tarafına yayılacak şekilde şişlenir. Bir üst tabaka doldurulurken şişin alt ucunun alttaki tabakaya 2-3 cm girmesi sağlanmalıdır. Her tabaka şişlendikten sonra (beton üst yüzeyinin ayrışma olmaması şartıyla) büyük hava kabarcıklarının beton yüzeyine çıkışı kesildiği ana ve yüzey düzgün, parlak bir görünüm kazanana kadar tokmakla kabın kenarlarına hafifçe vurularak beton sıkıştırılır. Ölçü kabı üst yüzeyi mala ile sıyrılır ve bir bez yardımı ile kabın kenarları temizlenir. Ölçü kabının kapağı kapatılarak mandallar aynı anda sıkıştırılır. Hava ölçerin alt vanası kapatılır. Üst vidalı kapak açılarak Ölçülü kadranın 0 seviyesine kadar su doldurulur. Su, bu seviyeyi geçerse alt vana açılarak tahliye edilir. Stop vanaları kapatılır. Hava pompası ile ibre sabit kalıncaya kadar P (bar) hava basılır. Bu anda $h_1$ değeri göstergeden okunur. Bu değer hava miktarını verir.

Resim 3.9. Hava Ölçer



### 3.2.2.1.4. Taze Betonda Sıcaklık Ölçümü

Taze betonda sıcaklık ölçümü dijital termometre yardımı ile yapılır. Taze betonu temsilen 20 $dm^3$ numune alınır. Taze beton içine metal uçlu termometre en az 3 cm girecek şekilde yerleştirilir. Sıcaklık sabit olana kadar beklenir ve sabitlenen değer beton sıcaklığı olarak tespit edilir. Bu işlem, üç farklı noktadan yapılıp elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınarak sıcaklık tespiti tamamlanmış olur. Taze betonun teslim anındaki sıcaklığı +5 °C 'nin altında kesinlikle olmamalıdır.

### 3.2.2.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri

Sertleşmiş beton üzerinde basınç dayanımı deneyi uygulanılarak istenilen sonuçların elde edilip edilmediği konusunda karara varılır. Beton numunesi üzerinde basınç dayanım deneyi yapılana kadar gerçekleştirilen işlemler aşağıda açıklanmıştır.

**i. Kullanılacak Ekipmanlar;** sıkıştırma çubukları, mala, termometre, kürek, karıştırma kabı, kalıp ayıracı, tokmak ve numune kabıdır.

Standartlara uygun nitelikte (15x15x15 cm küp veya 15x30 cm silindir) alınan kalıplar, su sızdırmaz ve su emmez özellikte olmalıdır. Küp ve silindir kap örnekleri Resim 3.10. da gösterilmiştir. Kalıp birleşim yeri, macun, yağ veya gres yağı ile su sızdırmayacak şekilde kapatılmalıdır.

Termometre, ± 1 °C duyarlılığında olmalıdır.

Kürek, kare ağızlı olmalıdır.

Kalıp ayırıcı olarak, çimento ile etkileşime girmeyecek nitelikte kalıp yağı kullanılmalıdır.

Resim 3.10. Küp ve Silindir Beton Kalıpları



**ii. Numunenin Alınması;**

Beton numuneleri, kalıplara yüksekliği l0cm'yi geçmeyen, eşit tabakalar halinde doldurulur. Küp kalıplar iki, silindir kalıplar üç aşamada doldurulmalıdır.

Sıkıştırma çubuğunun darbeleri, kalıp en kesit alanına eşit şekilde dağıtılır. İlk dökülen tabakanın sıkıştırılmasında çubuğun kalıp tabanına sertçe çarpmamasına, diğer tabakaların sıkıştırılması sırasında da, bir önceki tabakaya fazla girmemesine dikkat edilmelidir.

Her tabaka, sıkıştırma çubuğu ile en az 25'er defa şişlenmelidir. Sıkıştırma sonrasında kalıbın dış kenarlarına, sıkıştırma çubuğu darbelerinden geriye kalan boşluklar doluncaya kadar tokmak ile hafifçe vurulmalıdır.

Kalıbın üst yüzeyinden taşan fazla beton, çelik mala ile alınmalı ve beton yüzeyi dikkatlice düzeltilmelidir.

Numuneler zarar verilmeden, görünür ve kalıcı şekilde etiketlendirilmelidir. Numune alınırken, numunenin beton harmanının tamamım homojen bir şekilde temsil etmesine dikkat edilmelidir. Alınmış numuneler Resim 3.11. da gösterilmiştir.

Resim 3.11. Kalıplara Doldurulmuş Beton Örnekleri



**iii. Numunelerin Saklanması;**

Numuneler, alındıkları yerden taşınmadan, kalıp içerisinde (16 saatten az, 3 günden fazla olmamak üzere) yeterli sertliğe ulaşıncaya kadar dış etkilerden, şoktan titreşimden ve kurumadan korunur.

Numuneler 20+2 °C veya sıcak iklimlerde 25+2 °C sıcaklıkta, rüzgardan nem kaybından korunacak bir ortamda tutulur (Islak bez ve plastik örtü altında veya kapalı bir

kasada).

Numunelerin taşıma işlemi sırasında, aşırı sıcaklık değişimleri ve rutubet kaybından etkilenmesi önemlidir (Akakın, 2003).

**iv. Numunelerin Kürlenmesi;**

Kalıptan çıkarılan beton numuneleri deney yapılıncaya kadar 20±2 °C sıcaklıktaki su havuzunda kür görmelidir (veya % 55 nemli ortamda). Betonların konulduğu kür havuzu Resim 3.12. de gösterilmiştir.

Resim 3.12. Kür Havuzu



**v. Basınç Dayanımının Belirlenmesi;**

7 ve 28. günlerde kübik numunelerin birim alanının taşıyabileceği yük miktarının belirlenmesi amacıyla yapılan bir deneydir.

Numune kabına doldurularak donmaya bırakılan sıkıştırılmış karışım ilk 24 saat kalıpta bekletilmelidir. 24 saat sonra kalıptan çıkarılan beton numuneler laboratuardaki bekletme havuzunda su içine bırakılır. 7'nci günde kırılacak numuneler 6'ncı gün sudan çıkartılarak 24 saat dışarıda bekletilir. Daha uzun zaman sonra kırılacak numuneler ise kırılmadan 2 gün önce tekrar suya konulup 24 saat suda bekletilir (İstanbulluoğlu, 1988).

Deneylerde her test serisi için, 7'nci ve 28'nci günlerde numuneler, tek eksenli basınç

dayanımı testine sokulmuştur. Deneylerin yapıldığı düzenek ve beton kalıpları Resim 3.13. de verilmiştir.

Resim 3.13. Tek Eksenli Basınç Dayanımı Düzeneği ve Kırılmış Beton Örnekleri



## 3.3. Laboratuar Çalışmaları Sonuçlarının Değerlendirilmesi

### 3.3.1 Agrega Deney Sonuçları

#### 3.3.1.1. Elek Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Agrega elek analizi granülometrisi için TS EN 933-2'de tariflenen ve standarda uygun göz açıklığı ve anma büyüklüğüne sahip elekler kullanılmıştır. Elek göz açıklıkları 0.063-0.125-0.250-0.500-1, 2, 4, 8, 16, 31.5, 63 ve 125 mm olan kare göz açıklıklı elekler yardımı ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu deneyde 3'er adet numunler kullanılmış olup, ortalamaları alınmıştır. Deneyler Buğ-Taş Hazır Beton (Sivas) tesislerindeki laboratuarda yapılmıştır. Çizelge 3.3.'de Dmaks. 31,5 için standart granülometri değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.3. Dmaks. 31,5 için Standart Granülometri Değerleri
(Güner ve Süme, 2001)

| ELEK AÇIKLIĞI | | 63 | 32 | 16 | 8 | 4 | 2 | 1 | 0.50 | 0.25 | 0.63 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| KARIŞIM GRANÜLOMETRİ | Seri 2 | 100 | 100 | - | - | - | - | - | - | - | 0 |
| OPTİMUM GRANÜLOMETRİ | Seri 3 | 100 | 100 | 80 | 62 | 47 | 37 | 28 | 18 | 8 | 0 |
| UST SINIR (C31.5) | Seri 4 | 100 | 100 | 89 | 77 | 65 | 53 | 42 | 28 | 15 | 0 |
| ALT SINIR (A31,5) | Seri 5 | 100 | 100 | 62 | 38 | 23 | 14 | 8 | 6 | 2 | 0 |
| U31,5 | Seri 6 | 100 | 100 | 30 | 30 | 30 | 30 | 8 | 6 | 2 | 0 |

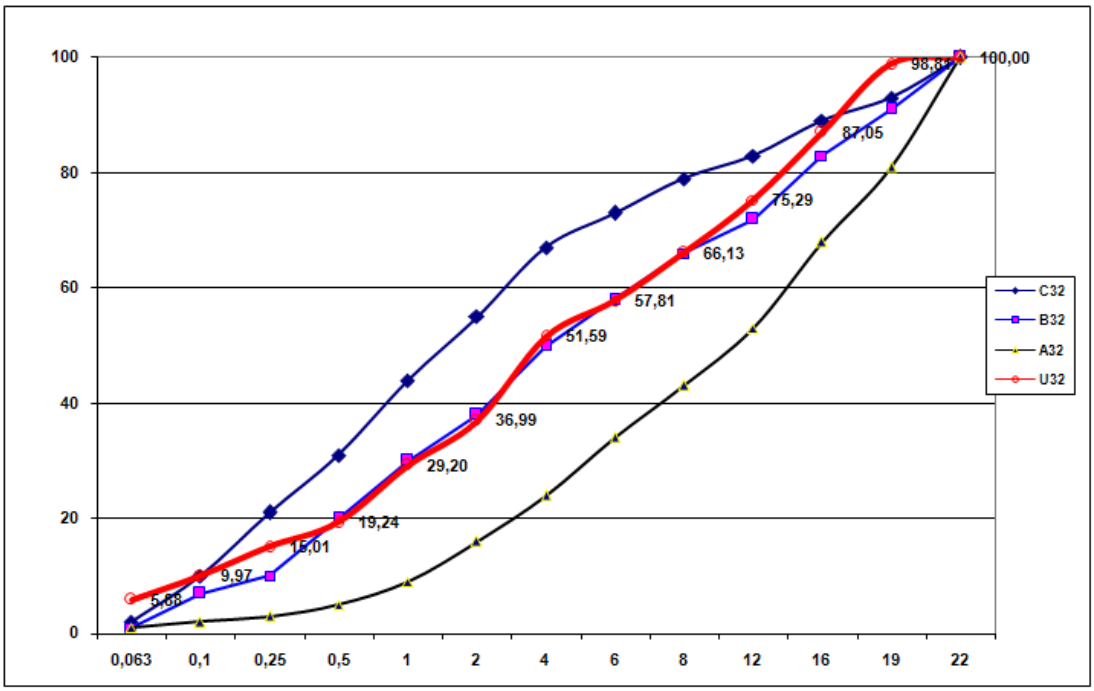
Karışım Granülometrisi laboratuar ortamında hazırlanan beton agregasının sonuçlarını yansıtmaktadır. Bu değerler, alt sınır ve üst sınır arasında ve/veya optimum granülometri ye yakın olmalıdır. U31,5 ise maks. tane büyüklüğü 31,5 mm olan agregaya ait standart granülometri sonuçlarını ifade etmektedir.

Araştırmalarını yapmış olduğumuz agrega türlerinin elek analizi değerleri neticesinde elde edilen verilerin granülometri değerlerine göre, bu agregaların kullanılabilir bölgede olduğu saptanmıştır. Elde edilen veriler aşağıda verilmiştir.

Çizelge 3.4. Kalker İçin Düzenlenmesi Yapılmış Granülometri Değerleri

| KARIŞIM ORANI % | | 0 | 56 | 16 | 28 | 100 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **İNÇ** | **mm** | KUML. | 0--8 | 8--16 | 16--32 | TS 706 | U 32 |
| NO:200 | 0,063 | 0,0 | 10,5 | 0,0 | 0,0 | 2 | 5,88 |
| NO:100 | 0,1 | 0,0 | 17,8 | 0,0 | 0,0 | 5 | 9,97 |
| NO:50 | 0,25 | 0,0 | 26,8 | 0,0 | 0,0 | 9 | 15,01 |
| NO:30 | 0,5 | 0,0 | 34,4 | 0,0 | 0,0 | 14 | 19,24 |
| NO:16 | 1 | 0,0 | 52,2 | 0,0 | 0,0 | 21 | 29,20 |
| NO:8 | 2 | 0,0 | 66,1 | 0,0 | 0,0 | 39 | 36,99 |
| NO:4 | 4 | 0,0 | 91,8 | 1,3 | 0,0 | 51 | 51,59 |
| 1/4 | 6 | 0,0 | 100,0 | 11,3 | 0,0 | 59 | 57,81 |
| 3/8 | 8 | 100,0 | 100,0 | 63,3 | 0,0 | 67 | 66,13 |
| 1/2 | 12 | 100,0 | 100,0 | 99,3 | 12,2 | 79 | 75,29 |
| 3/4 | 16 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 53,8 | 92 | 87,05 |
| 7/8 | 19 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 95,8 | 96 | 98,81 |
| 1 İNÇ | 22 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100 | 100,00 |
| | 25 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100 | 100,00 |

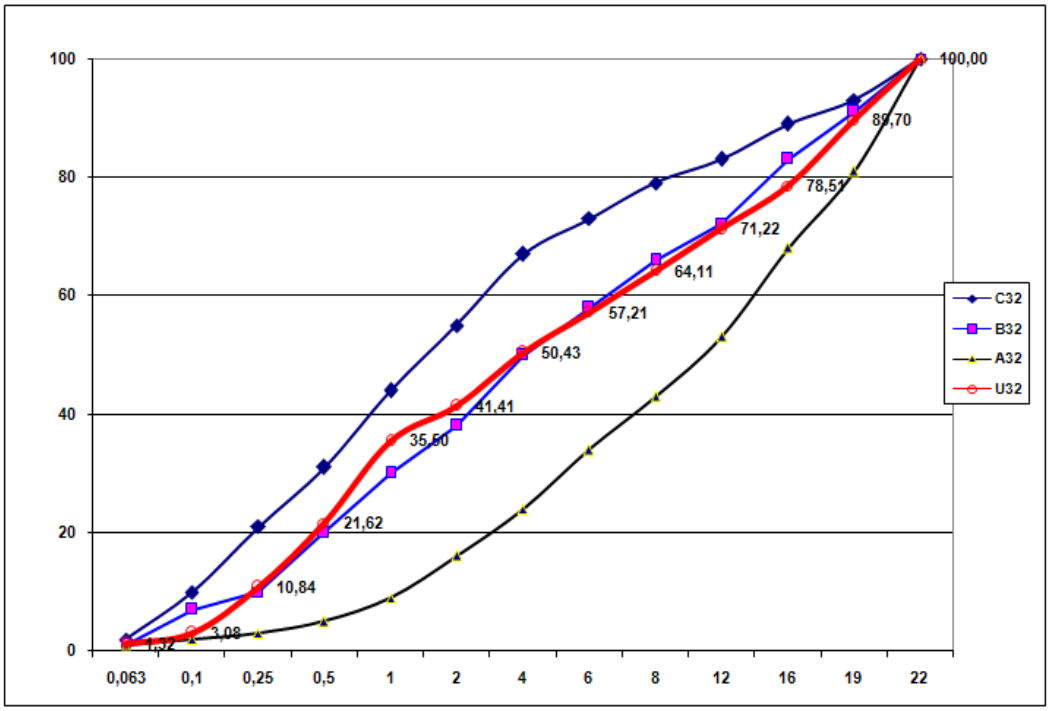
Çizelge 3.5. Kalker Agregası İçin Granülometri Eğrisi




Çizelge 3.6. Dere Kumu İçin Düzenlenmesi Yapılmış Granülometri Değerleri

| KARIŞIM ORANI % | | 0 | 56 | 18 | 26 | 100 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| İNÇ | **mm** | KUML. | **0--8** | **8--16** | **16--32** | TS 706 | U 32 |
| NO:200 | 0,063 | 0,0 | 2,3 | 0,0 | 0,0 | 2 | 1,32 |
| NO:100 | 0,1 | 0,0 | 5,5 | 0,0 | 0,0 | 5 | 3,08 |
| NO:50 | 0,25 | 0,0 | 19,4 | 0,0 | 0,0 | 9 | 10,84 |
| NO:30 | 0,5 | 0,0 | 38,6 | 0,0 | 0,0 | 14 | 21,62 |
| NO:16 | 1 | 0,0 | 63,4 | 0,0 | 0,0 | 21 | 35,50 |
| NO:8 | 2 | 0,0 | 74,0 | 0,0 | 0,0 | 39 | 41,41 |
| NO:4 | 4 | 0,0 | 89,5 | 1,9 | 0,0 | 51 | 50,43 |
| 1/4 | 6 | 0,0 | 100,0 | 6,7 | 0,0 | 59 | 57,21 |
| 3/8 | 8 | 100,0 | 100,0 | 45,1 | 0,0 | 67 | 64,11 |
| 1/2 | 12 | 100,0 | 100,0 | 81,1 | 2,4 | 79 | 71,22 |
| 3/4 | 16 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 17,3 | 92 | 78,51 |
| 7/8 | 19 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 60,4 | 96 | 89,70 |
| 1 İNÇ | 22 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100 | 100,00 |
| | 25 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100 | 100,00 |

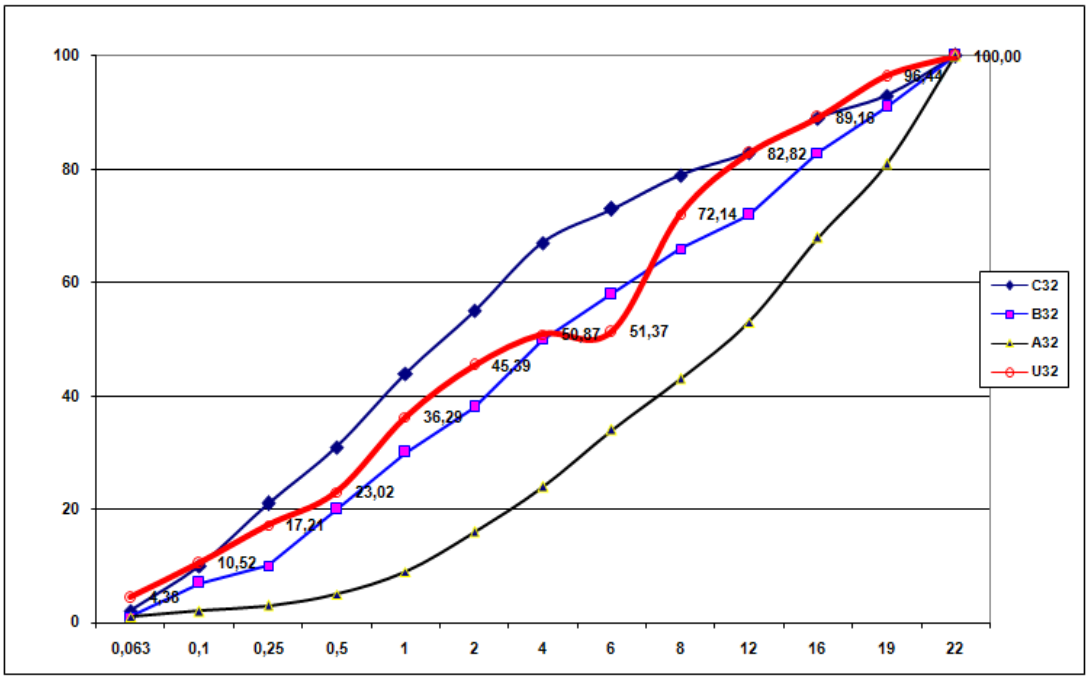
Çizelge 3.7. Dere Kumu Agregası İçin Granülometri Eğrisi




Çizelge 3.8. Barit İçin Düzenlenmesi Yapılmış Granülometri Değerleri

| KARIŞIM ORANI % | | 15 | 50 | 20 | 15 | 100 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| İNÇ | **mm** | KUML. | 0--8 | 8--16 | 16--32 | TS 706 | U 32 |
| NO:200 | 0,063 | 0,0 | 7,0 | 3,5 | 1,1 | 2 | 4,38 |
| NO:100 | 0,1 | 0,0 | 19,3 | 3,5 | 1,1 | 5 | 10,52 |
| NO:50 | 0,25 | 0,0 | 32,7 | 3,5 | 1,1 | 9 | 17,21 |
| NO:30 | 0,5 | 0,0 | 44,3 | 3,5 | 1,1 | 14 | 23,02 |
| NO:16 | 1 | 0,0 | 70,8 | 3,5 | 1,1 | 21 | 36,29 |
| NO:8 | 2 | 0,0 | 89,0 | 3,5 | 1,1 | 39 | 45,39 |
| NO:4 | 4 | 0,0 | 100,0 | 3,5 | 1,1 | 51 | 50,87 |
| 1/4 | 6 | 0,0 | 100,0 | 6,0 | 1,1 | 59 | 51,37 |
| 3/8 | 8 | 100,0 | 100,0 | 34,8 | 1,1 | 67 | 72,14 |
| 1/2 | 12 | 100,0 | 100,0 | 87,3 | 2,4 | 79 | 82,82 |
| 3/4 | 16 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 27,8 | 92 | 89,16 |
| 7/8 | 19 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 76,3 | 96 | 96,44 |
| 1 İNÇ | 22 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100 | 100,00 |
| | 25 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100 | 100,00 |

Çizelge 3.9. Barit Agregası İçin Granülometri Eğrisi




### 3.3.1.2. Doğal Nem Oranı Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bu deneyde 3'er adet numunler kullanılmış olup, ortalamaları alınmıştır. Deneyler Buğ-Taş Hazır Beton (Sivas) tesislerindeki laboratuarda yapılmıştır.

Numunelerin Doğal Nem Oranlarının belirlenmesinde aşağıdaki denklem kullanılmıştır;

$$W_n = \frac{G_n - G_k}{G_d} \times 100$$

$W_n$ : Agrega Doğal Nem ( % )

$G_n$ : Agreganın Doğal Neme Sahip Durumdaki Ağırlığı ( g )

$G_k$ : Agreganın Tam Kuru Durumdaki Ağırlığı ( g )

$G_d$ : Agreganın Doygun Kuru Yüzey Durumundaki Ağırlığı ( g )

bu denklem neticesinde elde edilen değerlerin ortalamaları aşağıda verilmiştir;

| Agrega Sınıfları | Nem İçeriği Oranları ( % ) |
|---|---|
| 0-8 mm Barit | 0,30 |
| 8-16 mm Barit | 0,20 |
| 16-32 mm Barit | 0,20 |
| 0-8 mm Kalker | 0,9 |
| 8-16 mm Kalker | 0,8 |
| 16-32 mm Kalker | 0,7 |
| 0-8 mm Dere Malzemesi | 6,4 |
| 8-16 mm Dere Malzemesi | 2,0 |
| 16-32 mm Dere Malzemesi | 0,9 |

### 3.3.1.3. Özgül Ağırlık ve Su Emme Yüzdesi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bu deneyde 3'er adet numuneler kullanılmış olup, ortalamaları alınmıştır. Deneyler Buğ-Taş Hazır Beton (Sivas) tesislerindeki laboratuarda yapılmıştır.

Numunelerin Özgül Ağırlık ve Su Emme Yüzdelerinin belirlenmesinde kullanılacak denklem aşağıda verilmiştir;

bu denklem neticesinde elde edilen değerlerin ortalamaları aşağıda verilmiştir;

| Agrega Sınıfları | Özgül Ağırlık ( ton/m³) | Su Emme ( % ) |
|---|---|---|
| 0-8 mm Barit | 4,15 | 2,10 |
| 8-16 mm Barit | 4,09 | 1,60 |
| 16-32 mm Barit | 4,11 | 1,20 |
| 0-8 mm Kalker | 2,65 | 3,10 |
| 8-16 mm Kalker | 2,67 | 0,72 |
| 16-32 mm Kalker | 2,64 | 0,63 |
| 0-8 mm Dere Malzemesi | 2,71 | 1,83 |
| 8-16 mm Dere Malzemesi | 2,73 | 1,62 |
| 16-32 mm Dere Malzemesi | 2,67 | 1,21 |

### 3.3.2.Beton Deneyleri Sonuçları

Beton deneyleri için hazırlanan numuneler herbir agrega sınfı için 3'er adet numunler kullanılmış olup, ortalamaları alınmıştır. Beton sınıflarında kullanılan agrega ayrı ayrı tamamen Dere Kumu, Kalker ve Barit'ten hazırlanmıştır. Dere Kumu numunelerinin deneyleri Buğ-Taş Hazır Beton (Sivas) Tesislerindeki laboratuarda yapıldı ve Kalker ile Barit numunelerinin deneyleri Korkmaz Hazır Beton (Konya) Tesislerindeki laboratuarda yapılmıştır.

#### 3.3.2.1. Kıvam Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Taze betona uygulanan Slump ( Çökme ) sonuçları aşağıda verilmiştir.

| Beton Sınıfı | Dozaj | Çökme ( cm ) |
|---|---|---|
| Barit | C 30/37 | 15 |
| Kalker | C 30/37 | 13 |
| Dere Malzemesi | C 30/37 | 13 |

#### 3.3.2.2. Birim Hacim Ağırlık Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

| Beton Sınıfı | Kümülatif Ağırlık ( g ) | Ölçülen Değer ( $kg/m^3$ ) |
|---|---|---|
| Barit | 13120 | 3192 |
| Kalker | 8182 | 2319 |
| Dere Malzemesi | 8130 | 2473 |

### 3.3.2.3. Betonda Hava Miktarı ve Sıcaklık Sonuçları

| Beton Sınıfı | Hava Miktarı (%) | Sıcaklık ( $C^0$ ) |
|---|---|---|
| Barit | 2 | 17 |
| Kalker | 1,9 | 15 |
| Dere Malzemesi | 1,7 | 16 |

### 3.3.2.4. Beton Dayanım Deney Sonuçları

Beton karışımları hazırlanmış olan 15x15x15 cm küp kalıplara doldurulması, sıkıştırılması, yüzey tesviyesi, taşınması ve bakımı, kür havuzlarında tutulması ve basınç dayanımı deneyine tabii tutulması işlemleri ilgili standartlara uygun olarak yapılmıştır.

Deney numunelerinin hazırlanması ve bakımı TS EN 12390-2 ve BS 1881-2'e göre değerlendirilmiş elde edilen ve gözlemlenen değerler açısından beton numunesi olarak kullanım için uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Betonların hazırlanmasındaki karışım oranları herbir agrega türü için ayrı ayrı ve bu karışımlar neticesinde elde edilen betonların Tek Eksenli Basınç Dayanımları aşağıdaki çizelgelerde ayrı ayrı verimiştir.

Çizelge 3.10. Barit'ten (%100) Üretilen C 30/37 Betonu İçin Elde Edilen Numune Özellikleri ve Test Değerleri

| Karışım Malzemeleri | $m^3/kg$ | Hacim($m^3$) | Hava sıcaklığı | 18° |
|---|---|---|---|---|

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Çimento (kg) | 350 | 117 | Beton sıcaklığ | $17^0$ |
| 0-4mm (kg) | 280 | 105 | Birim ağırlığı | 13120 g |
| 0-8mm (kg) | 1427 | 347 | Çimento cinsi | CEM 11/B-LL |
| 8-16mm (kg) | 517 | 139 | Malzeme | Barit Mlz |
| 16-32mm(kg) | 428 | 105 | Kullanılan su | Kuyu Suyu |
| Su (lt) | 185 | 185 | Hava % si | 2 |
| Katkı Miktarı (lt) | 5 | 2 | | |
| Toplam Malzeme | 3192 | 1000 | Çimento özgül ağırlığı | 3,03 kg/$m^3$ |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Su Emme (0-4mm) | 2,30 | 0-4 mm özgül ağırlığı | 2,68 kg/$m^3$ |
| Su Emme (0-8mm) | 2,10 | 0-8mm özgül ağırlığı | 4,10 kg/$m^3$ |
| Su Emme (8-16mm) | 1,60 | 8-16 mm özgül ağırlığı | 4,10kg/$m^3$ |
| Su Emme (16-32mm) | 1,20 | 16-32 mm özgül ağırlığı | 4,10 kg/$m^3$ |
| 0-4mm % si | 15 | Su özgül ağırlığı | 1 kg/$m^3$ |
| 0-8mm % si | 50 | Katkı özgül ağırlığı | 1,16 kg/$m^3$ |
| 8-16mm % si | 20 | | |
| l6-32mm%si | 15 | Su/çimento oranı | 0,53 |

Çizelge 3.11. C30/37 Barit'ten Üretilen Beton İçin Tek Eksenli Basınç Dayanım Deneyi Sonuçları

| Gün | 2. gün | 7. gün | 28. gün |
|---|---|---|---|
| Tek Eksenli Basınç Dayn. (kgf/$cm^2$) | 220,25 | 390,45 | 440,70 |
| Tek Eksenli Basınç Dayn. (MPa) | 21,60 | 38,29 | 43,22 |

Çizelge 3.12. Kalker'den (%100) Üretilen C 30/37 Betonu İçin Elde Edilen Numune Özellikleri ve Test Değerleri

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Karışım Malzemeleri | $m^3$/ k g | Hacim($m^3$) | Hava sıcaklığı | 18° |
| Çimento (kg) | 350 | 117 | Beton sıcaklığ | $15^0$ |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Su (lt) | 165 | 165 | Birim ağırlığı | 8182 g |
| 0-8mm (kg) | 1063 | 401 | Çimento cinsi | CEM 11/B-LL |
| 8-16mm (kg) | 206 | 114 | Malzeme | Kalker Malz. |
| 16-32mm(kg) | 530 | 201 | Kullanılan su | Kuyu Suyu |
| Katkı Miktarı (lt) | 5 | 2 | Hava % si | 1,9 |
| | | | | |
| Toplam Malzeme | 2319 | 1000 | Çimento özgül ağırlığı | 3,03 kg/$m^3$ |
| | | | | |
| Su Emme (0-8mm) | 3,10 | | 0-8mm özgül ağırlığı | 2,65 kg/$m^3$ |
| Su Emme (8-16mm) | 0,72 | | 8-16 mm özgül ağırlığı | 2,67 kg/$m^3$ |
| Su Emme (16-32mm) | 0,63 | | 16-32 mm özgül ağırlığı | 2,64 kg/$m^3$ |
| 0-8mm % si | 56 | | Su özgül ağırlığı | 1 kg/$m^3$ |
| 8-16mm % si | 16 | | Katkı özgül ağırlığı | 1,16 kg/$m^3$ |
| l6-32mm%si | 28 | | Su/çimento oranı | 0,47 |

Çizelge3.13. C30/37 Kalker'den Üretilen Beton İçin Tek Eksenli Basınç Dayanım Deneyi Sonuçları

| Gün | 2. gün | 7. gün | 28. gün |
|---|---|---|---|
| Tek Eksenli Basınç Dayn. (kgf/$cm^2$) | 191,23 | 294,65 | 379,65 |
| Tek Eksenli Basınç Dayn. ( MPa ) | 18,75 | 28,90 | 37,23 |

Çizelge 3.14. Dere Kumu'ndan (%100) Üretilen C 30/37 Betonu İçin Elde Edilen Numune Özellikleri ve Test Değerleri

| Karışım Malzemeleri | $m^3$/ k g | Hacim($m^3$) | Hava sıcaklığı | 18° |
|---|---|---|---|---|
| Çimento (kg) | 350 | 117 | Beton sıcaklığ | $16^0$ |
| 0-8mm (kg) | 1102 | 406 | Birim ağırlığı | 8130 g |
| 8-16mm (kg) | 357 | 131 | Çimento cinsi | CEM 11/B-LL |

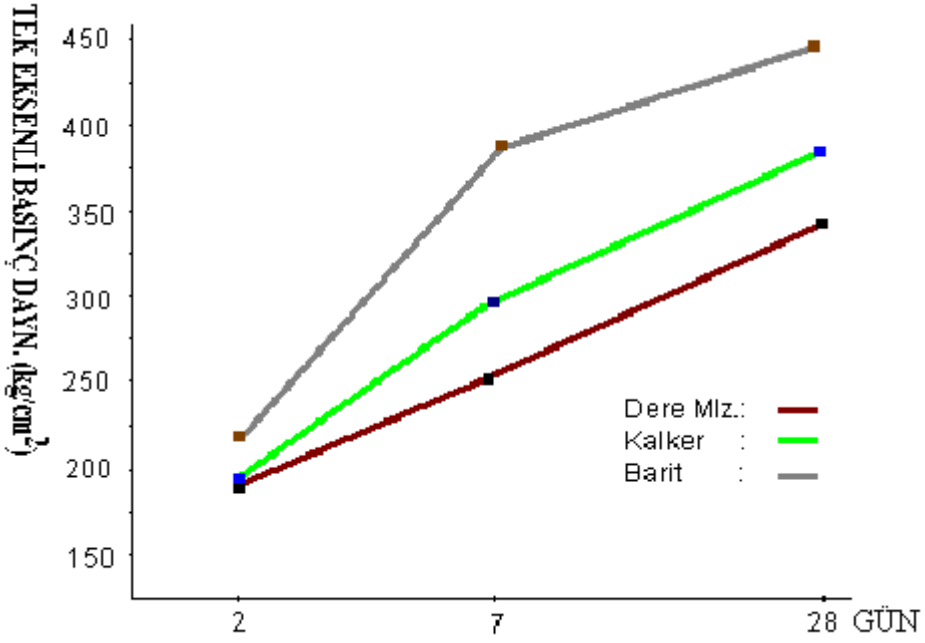
| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 16-32mm(kg) | 504 | 189 | Malzeme | Dere Malzemesi |
| Su (lt) | 155 | 155 | Kullanılan su | Kuyu Suyu |
| Katkı Miktarı (lt) | 5 | 2 | Hava % si | 1,7 |
| Toplam Malzeme | 2473 | 1000 | Çimento özgül ağırlığı | 3,03 kg/m$^3$ |
| Su Emme (0-8mm) | 1,83 | | 0-8mm özgül ağırlığı | 2,71 kg/m$^3$ |
| Su Emme (8-16mm) | 1,61 | | 8-16 mm özgül ağırlığı | 2,73 kg/m$^3$ |
| Su Emme (16-32mm) | 1,21 | | 16-32 mm özgül ağırlığı | 2,67 kg/m$^3$ |
| 0-8mm % si | 56 | | Su özgül ağırlığı | 1 kg/m$^3$ |
| 8-16mm % si | 18 | | Katkı özgül ağırlığı | 1,16 kg/m$^3$ |
| l6-32mm%si | 26 | | Su/çimento oranı | 0,44 |

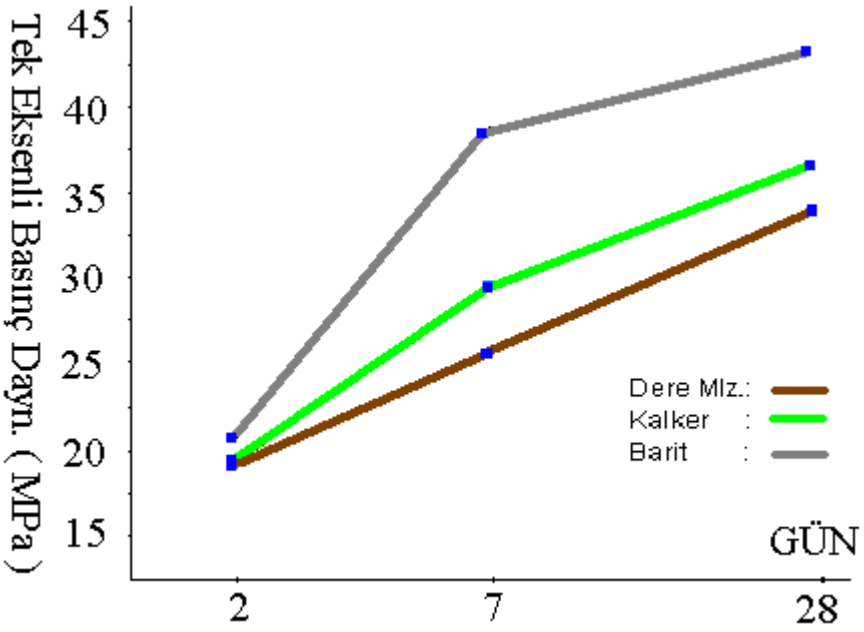
Çizelge3.15. C30/37 Dere Kumu'ndan Üretilen Beton İçin Tek Eksenli Basınç Dayanım Deneyi Sonuçları

| Gün | 2. gün | 7. gün | 28. gün |
|---|---|---|---|
| Tek Eksenli Basınç Dayn. (kgf/cm$^2$) | 190,20 | 254,75 | 345,35 |
| Tek Eksenli Basınç Dayn. ( MPa ) | 18,65 | 24,98 | 33,87 |

Elde edilen Tek Eksenli Basınç Dayanım sonuçlarına göre aşağıdaki grafikler elde edilmiştir.

Çizelge 3.16. Kalker, Dere Kumu ve Barit'ten Üretilen Betonların Dayanım Grafikleri




**SONUÇLAR**

Beton veya betonarme yapıların ömürlerinin uzun oluşundaki emniyet faktörünü, özellikle betonun önemli bir bölümünü oluşturan agregaların fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri etkilemektedir. Bu nedenledir ki betonda kullanılacak olan agrega seçimi çok önemlidir. Agregaların özellikleri, beton özelliklerine etkileri ölçüsünden önem

kazandığından iyi bir beton üretimi için agrega da aranacak koşullar şöyle sıralanabilir;

Agrega sağlam olmalı, aşınmamalı, suyun etkisi ile yumuşamamlalı ve dağılmamalıdır.

Çimento bileşenleri ile zararlı bileşikler oluşturmamalı ve donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye düşürmemelidir.

Tanelerin şekli ve dokusu iyi olmalıdır. Tanelerin şekli kübik, yuvarlak veya kürevi olmalıdır ki taneler arası boşluk minimum olsun.

Agregalar bünyelerinde insan ve çevre sağlığına zararlı maddeler bulundurmamalıdır.

Agregaların bu özellikleri göz önünde bulundurularaktan yapmış olduğumuz bu çalışmada, Akşehir Barit İşletmesinden (Konya) aldığımız Barit'in, Karaömerler Mevkiinde (Konya) bulunan İşletmelerdeki Kalker'in ve Sivas-Şarkışla Kızılırmak Mevkiinde bulunan Dere Kumu İşletmesinden alınan numunelerin önce agrega olarak kullanılabilirlikleri irdelenmiştir. Buralardaki formasyonların agrega olarak kullanılabilirliği irdelenirken bu formasyonlardan da beton üretile bilirliği araştırılmıştır.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Bölgelerden alınan numunelerin tane boyu dağılımları TS 707 de verilen en büyük tane boyutunun 31,5 mm olduğu grafik ile karşılaştırılmış, üç numunenin de tane boyu dağılımlarının standart eğriler arasında kaldığı saptanmıştır. Fakat Barit numunesine ait olan Granülometri Eğrisinin dalgalı bir şekil arz etmesi Barit'in kırma eleme tesislerinden geçirilirken uygun tesislerin araştırılması veya bariti işleye bilecek türden tesisler inşa edilmelidir.

Kalker agregaların doğal nem değerleri, 0,70-0,90 değerler arasındadır. Dere Malzemesi agregaların doğal nem değerleri, ince agregalar için 6,1-6,3 civar iri agregalar için 0,90 – 2,0 değerler arasındadır. Barit agregaların doğal nem değerleri, 0,20 – 0,30 değerler arasındadır. Bu değerlere bakıldığında Dere Malzemelerinin Nem Oranları yüksektir. Nedeni ise bulundukları yer su içerisinde olduğundan ve yıkama eleme tesislerinde geçirilirken su kullanıldığından nem oranları yüksek çıkmaktadır. Diğer iki agrega türünün değerlerinin az çıkması ise bu deney yaz ayları içerisinde yapıldığından işletme sahalarında yağmur veya kar suyu bunmamaktadır. Eğer bu deney bahar aylarında yapılmış olsa idi Dere Malzemesi gibi Kalker ve Barit'inde nem oranları yüksek çıkabilirdi. Elde edilen bu değerlere göre yapılacak beton karışımları için su oranlarına dikkat edilmelidir.

Araştırması yapılan agregaların özgül ağırlıklarına bakıldığında; Kalker ve Dere Malzemelerinin özgül ağırlıklarının birbirine çok yakın olduğu fakat Barit'in özgül ağırlığının bunlara göre çok yüksek olduğu tespit edilmiştir. Kalker ve Dere Malzemesinin özgül ağırlıkları yaklaşık 2,65 – 2,75 arasında iken Barit'in özgül ağırlığı 4,00 - 4,25 arasında değişmektedir. Bu sonuçlar neticesinde Barit'ten üretilen betonun da ağırlığının fazla olacağı bariz olarak ortaya çıkmaktadır. Ayrıca su emme değerleri incelemiş oluğumuz sahalardaki agrega türleri için birbirlerine çok yakındır.

Burada dikkat edilmesi gereken husus Barit'in yoğunluğunun fazla oluşu ve bu nedenle eğer Barit'ten üretilen beton karışımı, beton pompaları yardımı ile dökülüyor ise dikkat edilmelidir. Ağırlığı nedeni ile akıcılığı da az olacağından betonun tamamın Barit'ten değilde bir kısmında Dere Malzemesi veya Kalker kullanılması avantaj sağlayacaktır. Dere Malzemesi ve Kalker betonun hem yoğunluğunu düşürecektir hemde akıcılığını sağlayacaktır. Ayrıca elde edilen sonuçlar beton içinde kullanılacak agregaların özgül ağırlık sınırları 2,50 gr /$cm^3$ – 2,70 gr /$cm^3$ içerisinde olduğundan (Erdoğan, 1995 ), bu agregaların özgül ağırlıklarına göre betonda kullanılmalarında bir sakınca yoktur.

Betonda işlenebilirliği gösteren Slump'tır. Kullanılan agregaların Slumpları birbirlerine cok yakındır. Yaklaşık 13 cm -15 cm arasındadır. Bu değerler araştırdığımız agregalarından üretilen betonların işlenebilir olduklarını göstermektedir.

Bu agregalardan üretilen betonların dayanımlarına bakıldığında Barit'in diğer iki agrega çeşitlerine göre çok fazla tek eksenli basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür. Bunun nedeni ise Barit'in Kalker ve Dere Malzemesine göre daha yoğun olmasından kaynaklanmaktadır.

Barit'ten elde edilen agrega ile üretilecek betonun basınç dayanımın yüksek olması bir avantaj iken Barit'in birim fiyatının yüksek olmasından dolayı yapılarda kullanılması maliyet değerlerini yükseltmesi bakımından da dezavantaj sağlamaktadır.. Ayrıca Barit agregasından elde edilen betonun ağırlığının çok yüksek olması da bir dezavantajdır. Çünki üretilen bu beton çok katlı binalarda kullanılması sakıncalara neden olabilir ancak çok katlı binaların temelinde kullanılması büyük ölçüde temeldeki sağlamlığı arttırabilir.

# KAYNAKLAR


Anoğlu E., ve ark. (1999), "Çözümlü Beton Agregaları Problemleri", Evrim Yayınevi.

Arslan M. Ve Demir İ.,(2005), "Kırşehir Yöresi Kırmataş Agregalarının Mühendislik Özellikleri", G.Ü.Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt:20, Sayı:3 Ankara.

Atiş C. D. ve ark. (2008), "Beton Basınç Dayanımım Etkileyen Bazı Faktörlerin İrdelenmesi", Çukurova Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü.

Canpolat,T.(2004), "Kabaktepe Kireçtaşı Ocağı İşletme Projesi ve Fizibilitesi" Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Sivas.

Erdoğan T.( 1995 ), "Betonu Oluşturan Malzemeler", Türkiye Hazır Beton Birliği Yayınları, İstanbul.

Erol G. (2008), " Boztepe Taş Ocağı malzemesinin Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin Değerlendirilmesi ", Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Sivas.

Ersoy U.( 1985), "Betonarme", Cilt 1, Bizim Büro Basımevi, İstanbul.

Esenli V., 1996, "Kırmataş Hammaddeleri ve Standartları", I. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul.

Güner M. S. ve Süme V.( 2001), "Yapı Malzemesi ve Beton", 3. Baskı, Aktif Yayın Evi, İzmir.

Istanbulluoğlu S. (1988), "Betonun Basınç Dayanımını Etkileyen Faktörler ve Ramble Betonun Seçimi ile İlgili Bir Çalışma", TMMOB, Eylül.

Kırçıl M. S.( 2008) "Betonarme Ders Notları"İTÜ, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

Özkul H.(1999) "Her Yönüyle Beton", Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul.

Özkul H. ve ark. (2003) "Beton Üretiminde Temel Bilgiler", THBB Yayınları.

Söylemez N.( 2008) "Sivas Bölgesi Hazır Beton Üretiminde Doğal Kum – Çakıl ile Kırmataş Ürünlerinin Mukayesesi " Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Sivas.

Şimşek O.( 2007 ), "Beton ve Beton Teknolojisi", Seçkin Yayın Evi, Ankara.

Şimşek O.( 2003 ), "Yapı Malzemesi II", 2. Baskı, Beta Yayın Evi, İstanbul.

Topçu A.(2006 ), 'Betonarme Ders Notları' Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.

TS 3526 ( 1980 ), Beton Agregalarında Birim Ağırlık Su Emme Oranı Tayini, TSE, Ankara.

TS 3527 ( 1980 ) Beton Agregalarında İnce Madde Tayini, TSE, Ankara.

TS 3655 ( 1981 ), Beton Agregalarının Dona Dayanıklılık Deneyi, TSE, Ankara.

TS 3814 ( 1983 ), Beton Agregalarında Tane Şekli Sınıfı Tayini Deney Metodu, TSE, Ankara.

TS 706 ( 1978 ), "Beton Agregaları T.S.E.", Ankara.

# ÖZGEÇMİŞ

Murat CAYMAZ, 1980 yılında Sivas-Şarkışla'da doğdu. İlk ve orta eğitimini Şarkışla'da lise eğitimini Ankara da tamamladı. 1998 yılında Selçuk Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümüne başladı ve lisans eğitimini 2002 yılında Maden Mühendisi olarak tamamladı. 2007 yılında Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı.