

**SİVAS BÖLGESİ HAZIR BETON  
ÜRETİMİNDE DOĞAL KUM-ÇAKIL İLE  
KIRMATAŞ ÜRÜNLERİNİN MUKAYESESİ**

**Nuray SÖYLEMEZ  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MADEN İŞLETME ANABİLİM DALI**

**2008**

**SİVAS BÖLGESİ HAZIR BETON ÜRETİMİNDE DOĞAL  
KUM-ÇAKIL İLE KIRMATAŞ ÜRÜNLERİNİN MUKAYESESİ**

**Nuray SÖYLEMEZ**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**MADEN İŞLETME ANABİLİM DALI**

**Danışman**  
**Prof. Dr. Ahmet DEMİRCİ**

**SİVAS-2008**

## FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜ MÜDÜRLÜĞÜ'NE

Bu çalışma, jürimiz tarafından, Maden Mühendisliği Bölümü Maden İşletme Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof.Dr. Ahmet DEMİRCİ .....

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ahmet ŞENOL .....

Üye : Yrd. Doç. Dr. Salih YÜKSEK .....

### ONAY

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

.../.../2008

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Prof.Dr. Sezai ELAGÖZ

Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Senatosunun 05.01.1984 tarihli toplantısında kabul edilen ve daha sonra 30.12.1993 tarihinde C.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne hazırlanan ve yayınlanan “Yüksek Lisans ve Doktora tez yazım Klavuzu” adlı yönergeye göre hazırlanmıştır.

## İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER .....	i
ÖZET.....	iv
ABSTRACT .....	v
TEŞEKKÜR .....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ .....	viii
EKLER LİSTESİ .....	x
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Genel.....	1
1.2. Problemin Durumu .....	1
1.3. Tezin Amaçları.....	2
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Agregalar .....	3
2.1.1. Giriş .....	3
2.1.2. Agregaların Sınıflandırılmaları .....	4
2.1.2.1. Çıkarıldıkları Yerlere Göre Sınıflandırma.....	5
2.1.2.2. Birim Ağırılıklarına Göre Sınıflandırma.....	5
2.1.2.3. Boyutlarına Göre Sınıflandırma .....	6
2.1.2.4. Tane Şekline Göre Sınıflandırma .....	7
2.1.2.5. Yüzey Dokusuna Göre Sınıflandırma .....	7
2.1.2.6. Jeolojik Orijinlerine Göre Sınıflandırma.....	7
2.1.2.7. Mineralojik Yapısına Göre Sınıflandırma .....	7
2.1.3. Agrega Özellikleri .....	7
2.1.4. Agregaların Fiziksel Özellikleri.....	8
2.1.4.1. Porozite ve Nem Durumu.....	8
2.1.4.2. Agregaların Birim Ağırılıkları.....	9
2.1.4.3. Agregaların Özgül Ağırlığı .....	10
2.1.4.4. Agreganın Kompozitesi.....	10
2.1.4.5. Agregalarda Dona Dayanıklılık.....	12
2.1.5. Agregaların Mekanik Özellikleri .....	13

2.1.6. Agregalara Zararlı Maddeler ve Taneler .....	15
2.1.7. Agregalarda Granülometri (Tane Büyüklüğü Dağılımı) .....	20
2.1.7.1. Granülometrinin Belirlenmesi (Elek Boyutları) .....	21
2.1.7.2. Granülometri Eğrileri (Tane Dağılımı Eğrisi) .....	22
2.1.7.3. Agregaya Yüzey Şekli ve Biçimi .....	25
2.2. Beton .....	28
2.2.1. Giriş .....	28
2.2.2. Betonun Tanımı ve Sınıflandırılması .....	28
2.2.3. Betonu Oluşturan Malzemeler .....	34
2.2.4. Beton Üretimi ve Üretim Aşamaları .....	38
2.2.5. Betondan Beklenen Özellikler .....	43
2.2.5.1. İşlenebilme .....	44
2.2.5.2. Dayanımlar .....	45
2.2.5.3. Kompasite .....	47
2.2.5.4. Segregasyon .....	47
2.2.5.5. Betonun Terlemesi .....	48
2.2.5.6. Elastisite .....	48
2.2.5.7. Dayanıklılık .....	50
2.2.6. Hazır Betonda Kalite .....	52
3. LABORATUAR ÇALIŞMALARI .....	56
3.1. Kullanılan Malzemeler .....	57
3.2. Laboratuar Deneyleri ve Sonuçları .....	57
3.2.1. Agregaya Deneyleri .....	57
3.2.1.1. Kullanılacak Agregaların Granülometrelerinin Belirlenmesi .....	57
3.2.1.2. Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini .....	60
3.2.1.2.1. İri Agregalar İçin Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini ..	60
3.2.1.2.2. İnce Malzeme için Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini ..	61
3.2.1.3. Nem Oranının Tayini .....	63
3.2.1.4. Kil Tayini Deneyi .....	65
3.2.2. Beton Deneyleri .....	66
3.2.2.1. Taze Beton Deneyleri .....	66
3.2.2.1.1. Kıvam Deneyleri .....	66

3.2.2.1.2. Birim Hacim Ağırlık Deneyi .....	68
3.2.2.1.3. Taze Betonda Hava Miktarı Ölçümü .....	69
3.2.2.1.4. Taze Betonda Sıcaklık Ölçümü .....	70
3.2.2.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri .....	70
3.3. Laboratuar Çalışmaları Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	73
3.3.1. Agrega Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	73
3.3.1.1. Elek Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	73
3.3.1.2. Diğer Agrega Deneylerinin Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	74
3.3.2.1. Taze Beton Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	75
3.3.2.2. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	76
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	78
KAYNAKLAR .....	81
EKLER .....	84
ÖZGEÇMİŞ .....	102

## **ÖZET**

### **Yüksek Lisans Tezi**

### **Sivas Bölgesi Hazır Beton Üretiminde Doğal Kum-Çakıl ile Kırmataş Ürünlerinin Mukayesesi**

**Nuray SÖYLEMEZ**

**Cumhuriyet Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Maden İşletme Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof.Dr. Ahmet DEMİRCİ**

Temel bir yapı malzemesi olan beton, ilerleyen teknolojinin getirdiği avantajlarla birlikte günümüzde çok önemli bir yer tutmaktadır. Agregası, çimento ve su ile birlikte betonu oluşturan temel malzemelerden birisidir. Agreganın beton yapımında ekonomik ve teknik yönlerden çok önemli bir konumu bulunmaktadır. Betonda agregası kullanılması, sertleşme ve beton hacim değişikliğini önlemekte veya azaltmakta, ayrıca çevre etkilerine karşı betonun dayanıklılığını artırmaktadır. Bu çalışma çerçevesinde beton yapımında kullanılan agregaların özellikleri incelenerek, bunlara ait standartlara değinilmiş, bu standartlar kapsamında Sivas bölgesi, Kabaktepe kırmataş ürünlerinin beton agregası olarak kullanılabilirliği ve Hafik dere malzemesi ile mukayesesi yapılarak avantaj ve dezavantajlarına değinilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Beton, agregası, kırmataş, çimento.



## **ABSTRACT**

**Master of Science Thesis**

**Comparison of Naturel Sand-Pebble with Crushed Stone Products  
Used in Ready-Mixed Concrete In Sivas Region**

**Nuray SÖYLEMEZ**

**Cumhuriyet University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Mining Engineering**

**Supervisor: Prof.Dr. Ahmet DEMİRCİ**

Concrete, that is one of the fundamental construction material, has nowadays an important place together with advantages of improving technology. Aggregate is again one of the main material composing concrete with cement and water. Aggregate has a major place in concrete formation in economical and technical ways. Using aggregate in concrete prevents or reduces hardening and concrete volume changes, in addition that increases durability of concrete against environmental effects. In this study, the standards have been defined by examining the features of aggregates used in concrete formation, within the context of these standards the usability of Kabaktepe crushed stone products and the comparison of them with stream material in Sivas Region have been examined, and therefore the advantages and disadvantages of them have been mentioned.

**Key Words:** Concrete, aggregate, crushed stone, cement

## TEŞEKKÜR

Bu tezin oluşturulmasında, çalışmamın başlangıcından son aşamasına kadar bana her türlü yardımı yapan, değerli görüş ve eleştirileri ile bana yol gösteren danışmanım Sayın Prof. Dr. Ahmet DEMİRCİ'ye tez boyunca yaptığı katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Çalışma boyunca bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren Sayın Yrd. Doç. Dr. Salih YÜKSEK'e teşekkür ederim.

Tez konum ile ilgili çalışma sahası hakkında bilgilerini paylaşan Sayın Yrd. Doç. Dr. Ömer Lütfü SÜL'e teşekkür ederim.

Tezimin Laboratuvar çalışmaları sırasında yardımcı olan Sayın Yrd. Doç. Dr. Kazım GÖRGÜLÜ'ye katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmalarımı gerçekleştirdiğim Sivas Beton Santrali Beton Laboratuvarı kalite kontrol sorumlusu Cebrail YILDIZ ve Hacı Ömer KILIÇ'a, bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım Özbelsan A.Ş. Beton Santrali sorumluları Ahmet OKUTUR ve Ahmet KIRKAÇ'a teşekkürlerimi sunarım.

Bilgisayar yazılımı, araştırmalarım ve ulaşım konusunda yardımlarını esirgemeyen Maden Mühendisi arkadaşlarım Sadık KAVCIOĞLU ve Murat ÖZMAZMAN'a teşekkür ediyorum.

Gerek öğrenim hayatım gerekse bu tez çalışmam sırasında her konuda sabırla yardımcı olan ve desteklerini esirgemeyen anneme, babama ve ablama teşekkürlerimi sunarım.

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Max Tane Büyüklüğü 8,0mm Olan Karışık Agregada Granülometri Eğrileri.....	23
Şekil 2.2. Max Tane Büyüklüğü 16mm Olan Karışık Agregada Granülometri Eğrileri.....	23
Şekil 2.3. Max Tane Büyüklüğü 32mm Olan Karışık Agregada Granülometri Eğrileri.....	24
Şekil 2.4. Max Tane Büyüklüğü 63mm Olan Karışık Agregada Granülometri Eğrileri.....	24
Şekil 2.5. Betonu Oluşturan Malzemeler .....	34
Şekil 2.6. Kuru ve Yaş Karışım Sistemi ile Beton Üretimi .....	40
Şekil 2.7. Basınç Dayanımı-Zaman İlişkisi.....	45
Şekil 2.8. Betonda Gerilme ve Deformasyon Etkisi.....	49
Şekil 2.9. Betonun ve Betonu Oluşturan Malzemelerin $\sigma$ - $\epsilon$ Eğrileri.....	49
Şekil 3.1. Çökme Deneyi .....	67

## ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 2.1. Dona Dayanıklılık Deneylerinde Agregada Oluşabilecek Maksimum Ağırlık Kayıpları.....	13
Çizelge 2.2. NaOH Eriyiği ile Karıştırılan Agreganın Kullanım Durumu .....	16
Çizelge 2.3. Agregalarda Kil ve Siltin Bulunma Limitleri .....	17
Çizelge 2.4. Sağlam Olmayan Agreganın Elemanları ve Oranları .....	18
Çizelge 2.5. Agreganın Tane Boyutlarına Göre Sınıflandırma .....	21
Çizelge 2.6. Agregalarda Tane Şekline Göre Sınıflandırma .....	26
Çizelge 2.7. Karakteristik Basınç Dayanımlarına Göre Sınıflandırma.....	30
Çizelge 2.8. Basınç Dayanımlarına Göre Sınıflandırma.....	32
Çizelge 2.9. Kıvamlarına Göre Betonların Çökme Değerlerini Esas Alarak Sınıflandırma .....	33
Çizelge 2.10. Agreganın Tane Büyüklüğüne Göre Sınıflandırma .....	34
Çizelge 2.11. Türk Çimento Standartları .....	36
Çizelge 2.12. Taze ve Sertleşmiş Betondan Beklenen Özellikler .....	43
Çizelge 2.13. Beton Kıvamı ve Özellikleri .....	44
Çizelge 2.14. Beton Mukavemetine Etki Eden Faktörler .....	46
Çizelge 2.15. Betonun E. Modülünü Etkileyen Faktörlerin Sınıflandırılması ..	50
Çizelge 2.16. Beton Kalitesini Etkileyen Faktörler .....	55
Çizelge 3.1. (0-5) mm Boyutunda Kırmataş Ürünlerinin Elek Analizi Sonuçları .....	58
Çizelge 3.2. (5-15) mm Boyutunda Kırmataş Ürünlerinin Elek Analizi Sonuçları .....	58
Çizelge 3.3.(15-30)mm Boyutunda Kırmataş Ürünlerinin Elek Analizi Sonuçları .....	59

Çizelge 3.4. (0-8)mm Boyutunda Dere Malzemesinin Elek Analizi	
Sonuçları .....	59
Çizelge 3.5. Kabaktepe Kırmataş Ürünleri Su Emme Tayini.....	63
Çizelge 3.6. Hafik Dere Malzemesi Su Emme Tayini.....	63
Çizelge 3.7. Yüzeyi Nemi Oranın Tayinin Maksimum Tane Büyüklüğü ile İlişkisi (TS 707) .....	63
Çizelge 3.8. Agreganın Nem İçeriği Oranları .....	64
Çizelge 3.9. Agregaların Kil Tayini Oranları.....	66
Çizelge 3.10. Çökme Sınıfları (TS EN 206) .....	66
Çizelge 3.11. Taze Betona Uygulanan Slump (Çökme) Deneyi Sonuçları.....	68
Çizelge 3.12. Birim Hacim Ağırlık Deneyi Sonuçları.....	69
Çizelge 3.13. Dmax 31,5 için Standart Granülometri Değerleri.....	73
Çizelge 3.14. Özgül Ağırlık ve Su Emme Deney Sonuçları .....	74
Çizelge 3.15. Taze Beton Deney Sonuçları.....	75
Çizelge 3.16. Dere Malzemesi ile Yapılan C 12/15 için Karışım Raporu .....	77
Çizelge 3.17. C12/15 Dere Malzemesi için Beton Dayanım Deneyi Sonuçları	77

## EKLER LİSTESİ

EK 1. Dere Malzemesi Elek Analizi Sonuçları .....	85
EK 2. Dere Malzemesi Elek Analiz Granülometri Sonuçları .....	86
EK 3. Kırmataş Ürünlerinin Elek Analizi Sonuçları .....	87
EK 4. Kırmataş Ürünleri Elek Analiz Granülometri Sonuçları .....	88
EK 5. Dere Malzemesi İçin Karışım Raporu.....	89
EK 6. Kırmataş İçin Karışım Raporu .....	90
EK 7. C12/15 İçin Dayanım Deney Sonuçları.....	91
EK 8. C16/20 İçin Dayanım Deney Sonuçları.....	93
EK 9. C20/25 İçinDayanım Deney Sonuçları.....	95
EK 10. C25/30 İçin Dayanım Deney Sonuçları.....	97
EK 11. 28 Günlük Ortalama Basınç Dayanım Deney Sonuçları .....	99
EK 12. Katkı Analiz Sonuçları (Chrysoplast 250 S).....	100
EK 13. Çimento Analiz Sonuçları (CEM 11/B-LL).....	101

## **1. GİRİŞ**

### **1.1. Genel**

Beton, günümüzde en yaygın olarak kullanılan bir yapı malzemesidir. Çimento, agrega, su ve gerektiğinde bazı katkı maddelerinin bir arada karıştırılması ile üretilir.

Ülkemizde seksenli yıllara kadar; kum-çakıl yığını üzerine birkaç torba çimento atılıp, su ilave edilerek insan gücü veya ilkel gereçlerle biraz karıştırılarak elde edilen beton, daha sonra bilgisayar kontrollü modern santrallerde tamamen mekanize sistem olarak ‘Hazır Beton’ olarak üretilmeye başlamıştır.

Hazır Beton üretimi agrega seçiminden başlayan ve son adımına kadar her aşamada son derece dikkat gerektiren bir standart ve aynı zamanda kendine has kuralları olan bir teknolojidir. Söz konusu kurallar nazar-ı dikkate alınmadığı takdirde can ve mal güvenliği açısından önemli sorunlar yaşandığı bilinen bir gerçektir. Bu nedenle herkesin betonu belirli ölçülerde tanıması gerekmektedir. Betonu yeterince tanıyabilmek ve değerlendirebilmek için öncelikle betonu oluşturan malzemeleri tanımak gerekir.

### **1.2. Problemin Durumu**

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 kalite ve mukavemet sınıflarında 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 mukavemet sınıflarında üretim yapmak gereklidir.

Karasal iklimin hakim olduğu bölgelerde beton kalitesinin artırılması gerekmektedir. Betonun kalitesini etkileyen önemli etkenlerden biri de agregalardır. Sivas ve civarında hazır beton agregası olarak Hafik dere malzemesi kullanılmaktadır. Bunun nedeni olarak yakınlık, dere malzemesinin maliyeti ve elde edilmesinin kırmataşa göre avantaj sağladığı olabilmektedir. Bununla beraber dere yataklarından agregaya kazanımı önemli ölçekte çevre sorunlarının doğmasına yol açmaktadır.

Ancak agregaya kaynaklarının azlığı bölgede sıkıntı yaratmaktadır. İleriye yönelik agregaya kaynak araştırması yapılarak bu sıkıntı biraz olsun giderilebilir. Aynı zamanda doğal malzemenin uygun olmadığı durumlarda kırmataş ürünlerinin kullanılması gereklidir. Bu nedenle kırmataş ürünlerinin hazır beton sektöründe kullanılmasının yaygınlaşması ve kırmataş ürünlerinde kaliteyi elde etmek için sürekli araştırılması ile bölgede olası sorunlar kontrol altına alınabilir.

### **1.3. Tezin Amaçları**

Bu çalışma, agregaya olarak Sivas Bölgesinde tüketilen doğal kum-çakıl ile buna alternatif olarak sunulan kırmataş ürünlerinin beton özelliklerini nasıl değiştireceği laboratuvar ortamında araştırılması esasına dayanmaktadır. Elde edilen sonuçlar ilgili standartlar kapsamında değerlendirilerek agregalar hakkında teknik ve ekonomik bakımdan değerlendirmeler yapılacaktır.



## **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 yapay malzemenin genellikle 100mm'yi aşmayan çeşitli büyüklüklerdeki kırılmamış ve/veya kırılmış tanelerin oluşturduğu bir yığındır (Anonim3, 2004).

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

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

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

Doğal agregaları oluşumları gereği doğanın aşındırma etkisi ile yuvarlaklaştırılmışlardır. Yuvarlak agregasının yığın olarak yerleşmesi geometrik yapısı gereği daha kolay olup, özgül yüzeyi de (kırma agregasına göre)daha küçük olduğundan daha az su ile işlenebilmektedir. Buna karşın kırma agregası 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, beton karışımında hacim olarak en büyük yüzdeyi oluşturan (%60-75) malzemedir. Bu yüzden betonda kullanılan agreganın standartlara uygun, temiz ve kaliteli olması çok önemlidir (Anonim1, 2003).

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

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

- Agregatayı oluşturulurken, mümkünse sert ve temiz bir zemin seçilmeli veya beton döşeme hazırlanarak agregalar bu döşeme üzerine yığılmalıdır. Tabana önceden kum, çakıl veya kaya parçaları 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: Agregalar 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 işleminden 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, silt, 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 taşınması sağlanırsa, beton için herhangi bir olumsuzluk söz konusu olmayacak, özel bir önlem alınması da gerekmeyecektir. Bu agregalar bugüne kadar her türlü yapıda kullanılmıştır (Anonim1, 2003).

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 Agregaları: 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, yapının toplam ağırlığının büyük kısmını oluşturur. Bu ne kadar azaltılabilirse, yapı bittiğinde o kadar hafif olur.

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

ii. Ağır Beton Agregaları: İhtiyaca göre ağır beton elde etmek için kullanılırlar. Ağır betonlar, radyasyon yayılmasının söz konusu olduğu nükleer santrallerle, hastanelerde röntgen odaları gibi geçirimsizliği 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  $2,8 \text{ ton/m}^3$ 'ten büyüktür.

iii. Normal Beton Agregaları: Birim ağırlıkları  $2,4-2,8 \text{ ton/m}^3$  arasında olan agregalardır. Uygulamada en çok kullanılan agrega çeşididir.

### **2.1.2.3. Boyutlarına Göre Sınıflandırma**

Agregaları 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 agregada 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 Orijinlerine Göre Sınıflandırma**

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

#### **2.1.2.7. Mineralojik Yapısına Göre Sınıflandırma**

Agregalar mineralojik yapılarına göre; silis minerali, 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 taşınması 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. Agregada 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 TS 706 standardında belirlenmiştir. Söz konusu özellikler, elek analizi, basınç dayanımı, aşınmaya dayanıklılık, kil-silt içeriği, organik madde içeriği, alkali agregada 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 agregada değildir. Agreganın uygun biçimde seçilip deneylerle uygunluğu saptandıktan sonra beton üretiminde kullanılmasına izin verilmesi gerekir.

#### **2.1.4. Agregaların Fiziksel Özellikleri**

##### **2.1.4.1. Porozite ve Nem Durumu**

Agregada tanelerinde bir miktar boşluk bulunması doğaldır. Agregada tanelerindeki boşluk su emme deneyi yapılarak belirlenir. İri agregada tanelerinin porozitesinin küçük olması ile bu tanelerin mukavemetinin yüksek bir değer alması sağlanır. Mukavemeti yüksek olan taneler kullanılarak üretilen betonların mekanik mukavemeti de artırılabilir (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. Agregataneleri arasındaki boşluklarda su varlığı dört şekilde ifade edilir (Güner ve Süme, 2001).

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

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

c) Kuru yüzeyli doymuş 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 kumda kabarmaya sebep olur. Kumdaki kabarma dikkate alınmadan kullanılırsa gerçek hacminden fazla görüneceğinden  $1m^3$  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 agregada 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 artırır.
2. Kusurlu malzemenin fazla miktarda olması boşluğu arttırdığından birim ağırlığı düşürecektir.
3. Agreganın özgül ağırlığının fazla olması agreganın ağırlığının büyük olduğunu gösterir. Dolayısıyla birim ağırlık artar.
4. Agreganın 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 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 agreganın kökeni hakkında bilgi verir ve beton bileşenlerinin hesabında kullanılır. Betonda kullanılacak agreganın özgül ağırlığının 2,2-2,7 kg/dm<sup>3</sup> 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 agreganın 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 (1)den küçük değer alır.

W: Agreganın ağırlığı(gr)

V: Toplam hacim(cm<sup>3</sup>)

V<sub>d</sub>: Agreganın ile dolu kabın hacmi(cm<sup>3</sup>)

d<sub>A</sub>: Birim ağırlık(gr/cm<sup>3</sup>)

d<sub>G</sub>: Özgül ağırlık(gr/cm<sup>3</sup>)

k: Kompasite

$$d_A = \frac{W}{V} \quad d_G = \frac{W}{V_d} \quad k = \frac{d_A}{d_G} = \frac{V_d}{V}$$

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 mukavemeti düşük olur.
2. Kullanılan çimento miktarı artar.
3. Betonun maliyeti yükselir
4. Kusurlu malzeme miktarı artar. Bu da işlenebilme özelliğine etki ederek mukavemetin düşmesine neden olur.
5. Betonun dış etkilere karşı dayanıklılığı azalır.

Agreganın kompasitesinin düşük olması bazı zararlar meydana getirmesine rağmen bu karakteristiğin hangi değer 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 mukavemetinin de düşük olmasına yol açar. Fakat kırmataş ürünlerinin yüzeylerinin pürüzlü olması, bunlarla çimento hamuru arasında kuvvetli bir aderansın meydana gelmesine sebep olur. Bundan dolayı kırmataş ürünleri kullanılarak üretilen betonların mukavemetinde bir azalma değil aksine artış olduğu gözlenmiştir (Anonim6, 2008).

#### **2.1.4.5. Agregalarda Dona Dayanıklılık**

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. TS 706, 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<sup>2</sup> 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 dayanıklılığını 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 agregada 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; ASTM C 33, 1994)

Agrega Sınıfı	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> çözeltisi içerisinde		MgSO <sub>4</sub> çözeltisi içerisinde	
	TS (%)	ASTM (%)	TS (%)	ASTM (%)
İnce Agregada	15,0	10,0	22,0	15,0
İri Agregada	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 mukavemetleri yüksek agregalar ile üretilen betonların da mukavemeti yüksek olur. Yani mekanik mukavemet ile beton mukavemeti arasındaki ilişki doğrusaldır.

Bu kapsamda betona etki eden başlıca mekanik özellikler, aşağıda ele alınmıştır.

#### i. Agreganın Basınç Mukavemeti:

Mekanik mukavemetin kontrolü için en uygun yol basınç mukavemetinin belirlenmesidir. Agregaların basınç mukavemeti betona göre oldukça yüksektir. Beton mukavemeti normal dayanımlı betonlar için maksimum 250kgf/cm<sup>2</sup>, yüksek dayanımlı betonlar için 500 kgf/cm<sup>2</sup> iken agregada dayanımı çeşitlerine göre 3500 kgf/cm<sup>2</sup>,ye kadar çıkabilmektedir.

Agregaların basınç mukavemeti için çelik bir silindir içine bir miktar iri agregada yerleştirilir. Basınç uygulanır ve ufalanma miktarı ölçülür. Agregaların

8mm'lik elekten elendiğinde ufalanmanın %35'ten az olması halinde mukavemetin yeterli olduğuna kanaat getirilir (Güner ve Süme, 2001).

Basınç mukavemetinin malzemenin porozitesi ile yakın ilişkisi vardır. Porozitenin küçük olması agrega mukavemetini artırır. Ayrıca agreganın jeolojik bakımdan durumu bize mekanik mukavemeti ile ilgili kuvvetli fikirler verir. Betonda kullanılacak agreganın basınç dayanımlarının en az 1000 kgf/cm<sup>2</sup> 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<sup>2</sup> 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 Angeles deneyi ile belirlenir. Bu deneyde kullanılan cihaz iki tarafı kapalı, eksenini etrafında dönebilen, iç çapı 710mm, boyu 508 mm olan bir çelik silindirden oluşmaktadır. Silindir içine belirli ağırlıkta ve sayıda çelik bilyeler mevcuttur. Alet eksenini 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 mukavemet gösteremezler. Özgül ağırlığı fazla ve sert taşların (bazalt) ise aşınmaya karşı mukavemetleri yüksektir. Aşınmaya karşı mukavemetleri yüksek olan agregaların basınç mukavemetleri de 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, 1997).

#### **2.1.6. Agregalara Zararlı Maddeler ve Taneler**

Agrega içinde bulunabilen zararlı maddelerin bir kısmı bağlayıcı maddenin ayrışmasına veya genişmesine sebep olarak betonun parçalanmasına veya zararlı derecede çatlmasına 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, genişleyerek betonu kabul edilebilir sınırdan fazla derecede çatlatması,
- Çimento hamuru ve agrega arasında yapışmayı engelleyerek geçiş bölgesindeki mukavemetin zayıf olması,
- Agregalardaki yumuşak ve mukavemeti zayıf tanelerde beton mukavemetinin 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. Agregada içerisindeki bitki artıkları ve humus gibi bazı organik maddeler çimentonun hidrasyon reaksiyonuna etki eden organik asitler içerirler. Bunların yanında agregada içerisinde sülfat, klorit, karbonat ve fosfat tuzları gibi maddeler de değişik formlarda bulunabilirler. Agregada organik maddelerin fazla miktarda bulunması bunlarla üretilen betonun mukavemetinin %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 agregada, 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 Agregada Kullanım Durumu (Anonim6, 2008)

Eriyik Rengi	Organik Madde	Agregada 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 mukavemetinde azalmalar olur.
- Agregalarda organik maddelerin fazla miktarda olması betonun prizini geciktirir.

- Çiçeklenmeye ve korozyona neden olabilir.

Organik kökenli maddelerin yoğunluğu, mineral kökenli agregatanelerinin yoğunluğundan genellikle daha düşük olur. Yoğunluğu  $2,00 \text{ kg/dm}^3$  olan sıvılarda yüzdürülerek bulunan taneli organik madde miktarı ağırlıkça %0,5'den fazla olmamalıdır (Şimşek, 2003).

ii. Agregalarda Kil ve Siltin Bulunması (Yıkabilir Maddeler)

Yıkabilir maddeler; agregada içinde ince halde dağılmış, topraklar halinde ve/veya agregatanelerine yapışık olarak bulunabilirler. Bu maddeler genellikle kil, silt 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 % Max.
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 silt bulunan agregalar kesinlikle kullanılmamalıdır. TS 3527'ye göre 0,05-0,005 mm irilikteki malzeme silt, 0,005 mm'den küçük malzeme de kil olarak adlandırılır.

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

- İri agregada 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 büzölmelerin meydana getireceği gerilmeler oluşur.

- Çimento ile reaksiyona girerek aderansı önler, hidrasyonu ve prizi geciktirir. Bunun yanında kil, mil ve silt oranının az miktarları betonun önlenebilirliğini ve su geçirmezliğini arttırlar. Olumsuz etkileri nedeniyle mümkün olduğu kadar az bulunmaları tercih edilir.

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

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

Agrega yığıını içerisinde karışmış durumda bulunan kömür, linyit ve odun parçacıkları gibi özgül ağırlıkları  $2,0 \text{ gr/cm}^3$ '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 Agregaya 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, agregaya numunesi yoğunluğu  $2,0 \text{ kg/dm}^3$  olan bir sıvıda yüzdürülerek saptanır. Ancak sıvıyı hazırlamak için kullanılan malzeme çok pahalıdır. Bu yüzden gözlemlerle saptanır.



Hafif maddeler, agregada aşırı miktarda bulunursa betonun sağlamlılığını etkiler. Betonun yüzeyinde ve/veya yüzeye yakın kısımlarda bulunursa, betonun yüzeyinde küçük patlamalara ve lekelerin oluşmasına neden olurlar. Mukavemetleri 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 sülfat-alüminat 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<sup>3</sup> betonda 1,4 gr'den az olacak şekilde sülfat (SO<sub>3</sub>) bulunmasına izin verilebilir. Yalnız barit (BaSO<sub>4</sub>) rutubetli ortamda yapısını değiştirmediğinden, beton agregası olarak kullanılabilir (Şimşek, 1997).

#### v. Agregat-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-agregat reaksiyonunun zararlı bir etki yapması bazı koşullara bağlı bulunmaktadır. Bunlar aşağıda açıklanmıştır (Şimşek, 2003).

a) Çimento içindeki alkali oksit miktarı; çimentodaki alkali oksit (Na<sub>2</sub>O+0,658 K<sub>2</sub>O) %0,6'dan büyük ve agregadaki alkalilik reaktivitesine duyarlı opal, riyolit, tridimüt, andezit tüfleri gibi mineraller bulunuyorsa alkali agregat reaksiyonu ortaya çıkar.

b) Çevre şartları; alkali-agregat 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 agregat tanelerinin bulunması; agregatlar, 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 kürlenmiş 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<sub>2</sub>O olan çimento kullanılır. 24 saat sonunda kalıplardan çıkarılan numunelerin boyları 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. Agregada 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. Agregada granülometrisinin üretilen beton üzerinde büyük etkisi vardır. Granülometri, betonun kompozitesini, 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 eleklerle 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, 1997).

Çizelge 2.5. Agrega Tane Boyutlarına Göre Sınıflandırma (Şimşek, 1997)

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

TS'ye göre, elek analizi için kullanılması gereken kare delikli eleklerin göz açıklıkları 125mm, 90mm, 63mm, 31,5mm, 16mm, 8mm, 4mm, 2mm, 1mm,

0,5 mm ve 0,25 mm olarak belirtilmekte olup ISO tarafından belirtilen elek açıklıkları ile aynıdır (TS 706, 1980).

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

Beton agregata granülometrisinin düzenlenerek sınıflandırılması aşağıda verilen amaçlara yöneliktir (Şimşek,1997).

- 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)**

Aregalarda 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 uyumlu ve/veya “ideal bölge” içinde kalmalıdır.

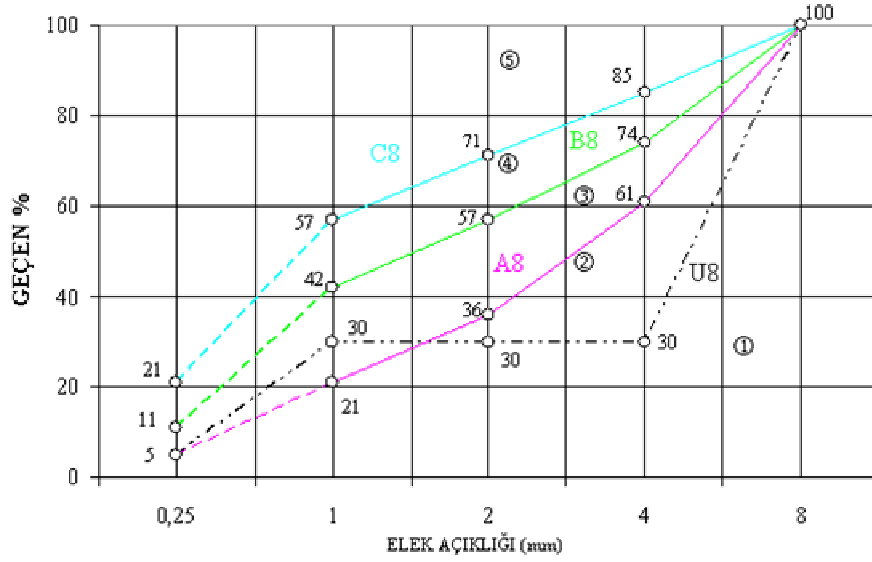
Beton karışım agregasının ideal bölge içinde kalmasının istenmesinin en önemli nedenlerinden biri kompasitesinin yüksek olmasıdır. Dolayısı ile betonun dayanımı da büyük değer alacaktır. Diğer yandan kompasitesi yüksek agreganın kullanılması ile tanelerin arasını doldurmak için daha az çimento kullanımı gerekecek ve daha ekonomik bir beton üretilmiş olacaktır (Şimşek, 1997).

Granülometri eğrilerinin özellikleri, aşağıda verildiği gibidir.

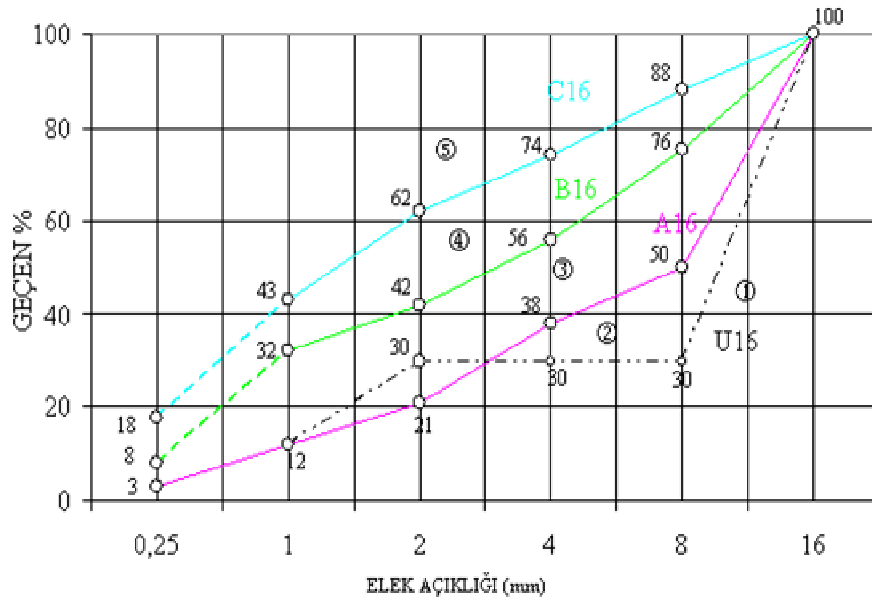
- Sürekli artan eğrilerdir. Yatay kısımları olabilir, fakat azalan kısımları olmaz.

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

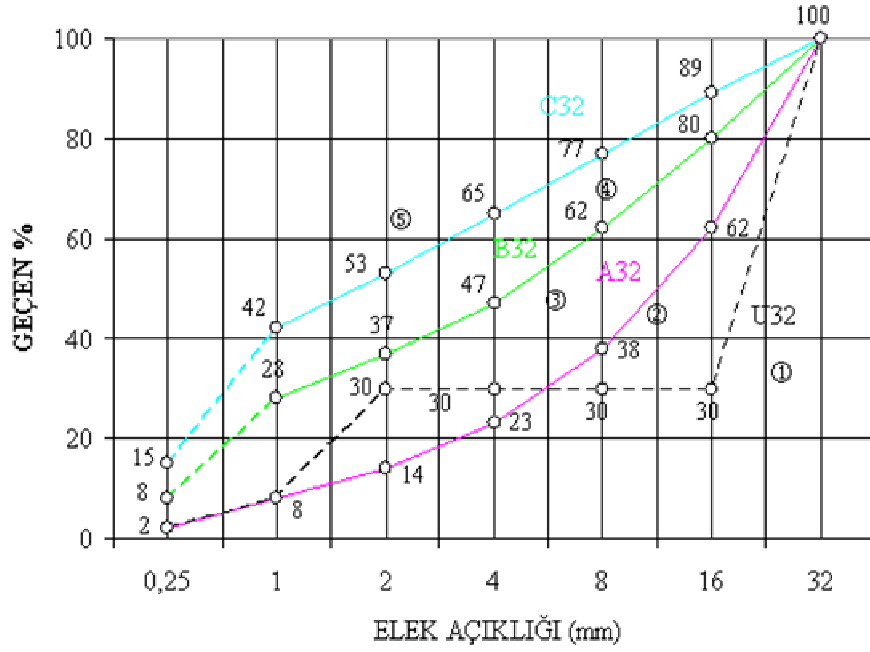
- İki eleğin granülometrik değerleri arasındaki fark bu elekler arasındaki malzeme oranını verir (Güner ve Süme, 2001).



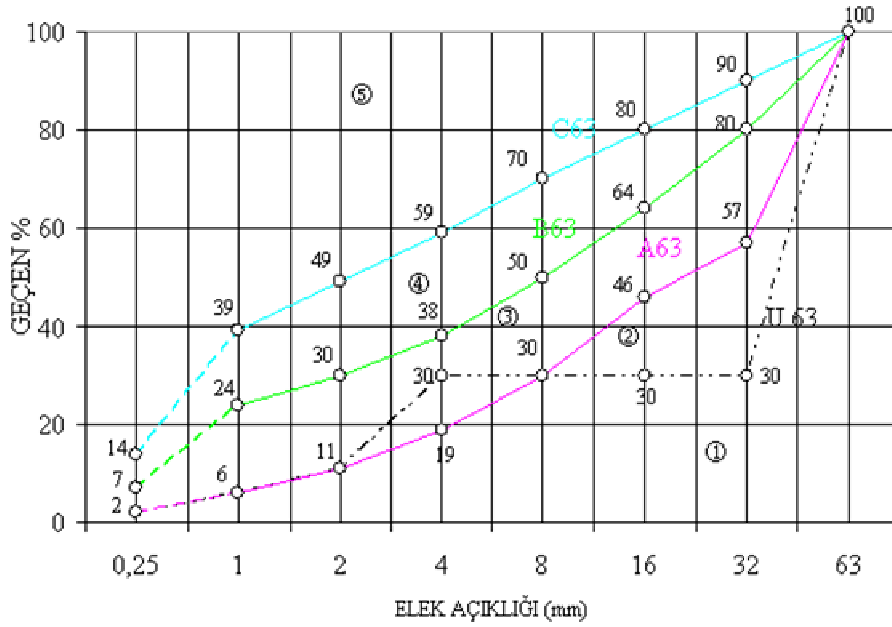
Şekil 2.1. Max Tane Büyüklüğü 8,0mm Olan Karışık Agrega Granülometri Eğrileri. (Güner ve Süme, 2001)



Şekil 2.2. Max Tane Büyüklüğü 16mm Olan Karışık Agrega Granülometri Eğrileri. (Güner ve Süme, 2001)



Şekil 2.3. Max Tane Büyüklüğü 32mm Olan Karışık Agrega Granülometri Eğrileri. (Güner ve Süme, 2001)



Şekil 2.4. Max Tane Büyüklüğü 63mm Olan Karışık Agrega Granülometri Eğrileri. (Güner ve Süme, 2001)

Granülometri deneyi ile  $D_{max}$  belirlendikten sonra o karışımın  $D_{max}$ 'a göre mukayese edileceği sınır eğrisi sınırlarına bakılır. En büyük tane çapına ( $D_{max}$ ) göre sınır eğrileri Şekil 2.1, Şekil 2.2, Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'te verildiği gibi 8, 16, 32 ve 63 mm şeklindedir. A, B, C, diye verilen sınır eğrilerinde B, C arasında bölgede çıkan granülometriye kullanılabilir denir. Fakat A ile B eğrisi arasındaki bölge istenilen karışımdır. Yani en uygun granülometriyi verecektir. Karışım sonucu çizilen eğrinin, büyük bir kısmının bölge içinde kalması için tedbir alınması tavsiye edilir. Karışımın çizilen eğrisinin bölge değiştirmemesi ani çıkış-iniş yapmaması ve sınır eğrilerine paralel gitmesi istenir. Bütün bunlar en az boşluklu betonu elde etmek içindir. (Güner ve Süme, 2001)

### **2.1.7.3. Agregaya Yüzey Şekli ve Biçimi**

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

Çizelge 2.6. Agregalarda Tane Şekline Göre Sınıflandırma (Anonim5, 2008 )

Tane Şekli	Açıklama	Örnekler
Yuvarlak	Tamamen su içerisinde sürtünme nedeniyle yuvarlaklaşmışlardır.	Nehir ya da deniz kıyısı çakılları, çöl, deniz kıyısı ve rüzgarın serpiştirdiği kumlar.
Şekilsiz	Tamamen şekilsizdirler veya sürtünme nedeniyle ve kenarları yuvarlanmış biraz şekillidirler.	Diğer çakıllar, kum veya adi çakmak taşları.
Köşeli	Pürüzlü düzlemsel yüzeylerin kenarlarda kesiştiği bir yapıdır.	Kırılmış kayaların bütün çeşitleri, yamaç molozu, camısı 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 agregaya 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 işlenebilirliğini azaltmakta, su gereksinimini ve hapsolmuş hava miktarını arttırmaktadır. Bu da beton dayanımının ve dayanıklılığının daha az olmasına yol açmaktadır (Erdoğan, 2003).

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. Kıрма agregalar köşeli, kenarlı ve yüzeyleri pürüzlüdür. Kıрма agregalar konkasörlerin ayarsızlığına bağlı olarak yassı ve biçimsiz taneler içerirler. Bu da betonun yerleşmesi sırasında işlenebilirliğini güçleştirir.

Taze betonun su gereksiniminin artması, düşük dayanıma neden olur. Köşeli agregaların yüzey alanı yuvarlak agregaların yüzey alanından daha büyüktür. Bu nedenle köşeli agregalarla yapılan betonlarda, agregaların 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 uygulama 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 hesapları 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 artırma, 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  $\text{cm}^2$  ye 1500 kgf yük taşıyabilecek beton üretilmekte ve 208m. 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 özelliklerinden biri, istenilen biçimin verilebilmesini sağlayan plastik kıvamıdır. Beton karıştırılıp kalıba döküldükten sonra kısa sürede katılaştır 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  $0,70-2,00 \text{ kg/dm}^3$  arasında değişen betonlardır. Mekanik özellikleri normal betona göre düşüktür. Kalifiye insan gücü gerektirir. Bunun yanında yangına, dona-çözölmeye karşı dayanımı daha fazladır.

- Normal Betonlar: Normal doğal taneli agrega ile üretilen ve birim ağırlığı  $2,0-2,8 \text{ kg/dm}^3$  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  $2,8-5,0 \text{ kg/dm}^3$  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 C 12'den daha az basınç dayanımına sahip betonlardır.

- Normal Dayanımlı Betonlar: Beton sınıfı C 12,14,16,20 ve C25'e kadar basınç dayanımı olan betonlardır.

- Yüksek Dayanımlı Betonlar: Bunlar beton sınıfı C 30-35 ve üstü olarak gruplandırılmaktadır.

Basınç dayanımlarına göre sınıflandırma Çizelge 2.7'de verilmiştir.

Çizelge 2.7. Karakteristik Basınç Dayanımlarına Göre Sınıflandırma (TS 11222)

Beton Sınıfları	Basınç Dayanımı Sınıfı	En Düşük Karakteristik Silindir Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	En Düşük Karakteristik Küp Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )
Düşük Dayanımlı Beton Sınıfları	C 8	8	10
Normal Dayanımlı Beton Sınıfları	C 12	12	15
	C 14	14	16
	C 16	16	20
	C 18	18	22
	C 20	20	25
	C 25	25	30
Yüksek Dayanımlı Beton Sınıfları	C 30	30	37
	C 35	35	45
	C 40	40	50
	C 45	45	55
	C 50	50	60
	C 55	55	67
	C 60	60	75
	C 70	70	85
C 80	80	95	
C 90	90	105	
C 100	100	115	

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 dolunun yapıldığı tesislere beton santrali denir (Anonim1, 2003).

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:

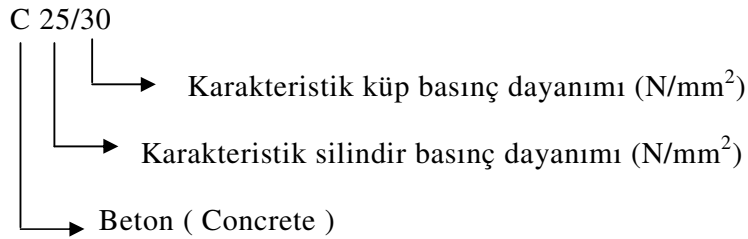
i. Basınç Dayanımlarına Göre;

Bu sınıflandırma Çizelge 2.8’de verildiği gibidir.

Çizelge 2.8. Basınç Dayanımlarına Göre Sınıflandırma (TS EN 206-1)

Basınç Dayanımı Sınıfı	En düşük karakteristik silindir dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	En düşük karakteristik küp dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )
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 basınç dayanımı ve sınıfı özetle şu şekilde gösterilebilir.



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

ii. Kıvam Sınıflarına Göre;

Kıvamına göre sınıflandırma Çizelge 2.9’da verildiği gibidir.

Çizelge 2.9. Kıvamlarına Göre Betonların Çökme Değerlerini Esas Alarak Sınıflandırma (TS 11222)

Beton Sınıfı	Kıvam	Çökme (Slump) cm
K <sub>1</sub>	Kuru	0 ≤ çökme < 5
K <sub>2</sub>	Plastik	5 ≤ çökme < 10
K <sub>3</sub>	Akıcı	10 ≤ çökme < 16
K <sub>4</sub>	Çok Akıcı	16 ≤ çökme < 22
K <sub>5</sub>	Yayılan	22 ≤ çökme < 5

Betonun işlenebilme özelliği kıvamı ile tayin edilebilmektedir. Kıvam, betonun kullanım yerine, betonu yerleştirme, sıkıştırma, mastarlama imkanlarına ve işçiliğine bağlı olarak özenle seçilmesi gereken bir özelliktir (Anonim1,2003).

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.

iii. 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 2.10’ da verildiği gibidir.

Çizelge 2.10. Agrega Tane Büyüklüğüne Göre Sınıflandırma (TS-EN 206-1)

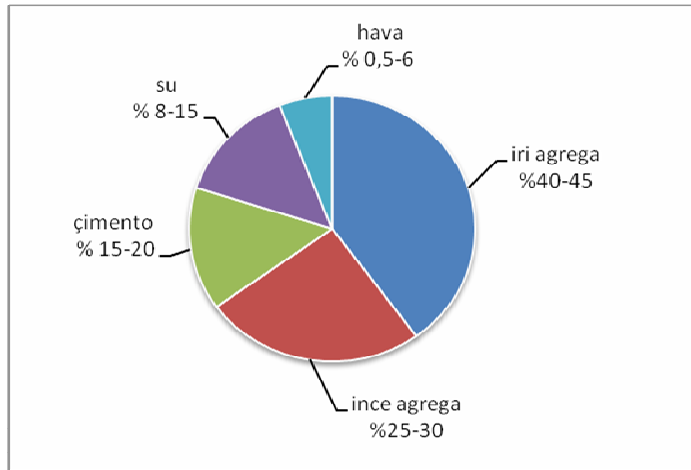
En büyük Agrega Tane Büyüklüğü Sınıfı	D max (mm)
D <sub>1</sub>	12
D <sub>2</sub>	22
D <sub>3</sub>	32
D <sub>4</sub>	64

### 2.2.3. Betonun Oluşturan Malzemeler

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

- Agrega,
- Çimento miktarı ve su/çimento oranında dikkate alınmamak şartıyla toz şeklinde mineral katkı,
- Beton içindeki kimyasal katkıları,
- Başlangıç deneyleri için gerekli kıstasları sağlayacak bileşim oranları

Betonu oluşturan malzemelerin yaklaşık olarak hacimsel dağılımı Şekil 2.5'te gösterilmiştir.



Şekil 2.5: Betonun Oluşturan Malzemeler (Anonim6, 2008)



## 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 hidrasyon 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, hidrasyon hızı ve sıcaklığı, katılma süresi vb. faktörler, çimentonun dolayısıyla betonun özelliklerini 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 katkıları 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. Bunlar; Çizelge 2.11'de özetlenmiştir.

Çizelge 2.11. Türk Çimento Standartları (TS-EN 197-1)

Çimento Tipi	Adı	Notasyon	
CEM I	Portland Çimentosu	CEM I	
	Portland Cürüflu Çimento	CEM II/A-S	CEM II/B-S
CEM II	Portland Silis Dumanlı Çimento	CEM II/A-D	
	Portland Puzolanlı Çimento	CEM II/A-P	CEM II/B-P
		CEM II/A-Q	CEM II/B-Q
	Portland Uçucu Küllü Çimento	CEM II/A-V	CEM II/B-V
		CEM II/A-W	CEM II/B-W
	Portland Pişmiş Şistli Çimento	CEM II/A-T	CEM II/B-T
	Portland Kalkerli Çimento	CEM II/A-L	CEM II/B-L
		CEM II/A-LL	CEM II/A-LL
	Portland Kompoze Çimento	CEM II/A-M	CEM II/B-M
	CEM III	Yüksek Fırın Cürüflu Çimento	CEM III/A
CEM III/C			
CEM IV	Puzolanik Çimento	CEM IV/A	CEM IV/B
CEM V	Kompoze Çimento	CEM V/B	CEM V/B

## 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 arttır.

- b. Priz Geciktiriciler: Betonun katılaşmaya başlama süresini uzatırlar sıcak hava dökümleri için uygundur.
- 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 arttıırırlar.
- e. Su Geçirimsizlik Katkıları: Az da olsa hava sürükleyen katkılarıdır. Ancak betonun yerine yerleştirmesinin iyi bir şekilde yapılması gereklidir.

#### \* Mineral Katkılar

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

Katkı maddelerinin özellikleri kullanılmadan önce dikkatle incelenmeli ve uygulama bilinçli yapılmalıdır. Bazı katkı maddeleri, betonun belirli bir özelliğini istenen biçimde değiştirirken, diğeri 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, silt 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. Agregalar

Agregalar doğal ve yapay 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. Agregaların özelliklerinin betonda kullanılmadan önce deneylerle belirlenmiş olması gerekir (Anonim4, 2005).

### **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 laboratuvar deneyleri yapılır. Bu deneylerden geçen malzemelerde zamanla olumsuz değişiklikler meydana gelmesinin önlenmesi ve kalitenin devamı için sürekli denetimler yapılmalıdır (Anonim4, 2005).

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

Karışım hesaplarının yapılmasıyla beton bileşimine girecek malzeme miktarları belirlenir. Laboratuvar 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.

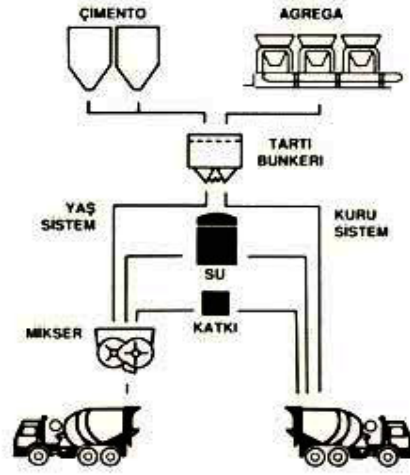
Beton üretimi; su ölçme ve karıştırma işlemlerinin santrallerde ve transmikserde yapılmasına göre ikiye ayrılır.

a- Kuru Sistem: Bu sistemde betonu oluşturan malzemelerden agrega ve çimento beton santralinde ölçülüp karıştırıcıda karıştırılır ve transmikserde aktarılır. Karışım suyu ve/veya katkı maddesi ise beton dökümü yapılacak yerde ölçülerek karışıma ilave edilir. 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).

Kuru ve yaş karışım sistemi ile beton üretimi Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.6. Kuru ve Yaş Karışım Sistemi ile Beton Üretimi (Anonim4, 2005)

#### 4- Betonun Taşınması ve Dökülmesi;

Beton üretim yerinden döküm yapılacak yere ayrılmayacak şekilde taşınmalıdır. Beton karışım oranının saptanmasında taşıma şekli de dikkate alınmalıdır. Taşıma işlemi günümüzde transmikseler 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 transmikselerle 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.
- Beton 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, hidrasyonu yavaşlatacak, buna bağlı olarak ta 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 (Anonim4, 2005).

- 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 hidrasyon 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. Beton ıslak ve devamlı sulama, ıslak çuvalda örtme gibi yöntemler uygulanarak istenilen

sonuç elde edilebilir. Sıcak havalarda (30 °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 hidrasyon 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 masterlama yapılır; daha sonra bir insan beton üzerine çıktığında 1-2 mm derinlikte iz kalınca, ikinci masterlama 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 çıkmayınca 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.

#### 6- Betonun Bakımı;

Yerine yerleştirilen betonun dayanım kazanabilmesi, bünyesindeki çimentonun su ile yapacağı hidrasyon reaksiyonlarının sürekliliği ile



mümkündür. Beton ilk başlarda bileşimindeki suyun bir bölümünü hidrasyon için kullanır. Ancak zamanla sıcaklık, nem, rüzgar gibi faktörlerin etkisi ile su kaybı ve/veya yavaş hidrasyon gözlenebilir. Bu da beton dayanımının azalmasına yol açar. Betonu, yeterli dayanım kazanabileceği ana kadar nem, sıcaklık gibi olumsuz etkenlerden korumak gerekir.

### 2.2.5. Betondan Beklenen 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 sonraki safha olarak ifade edilir.

İyi bir beton Çizelge 2.12.de veriliği gibi, taze haldeyken kolay taşınabilmeli, yerleştirilebilmeli, sıkıştırılabilmeli ve bu işlemler sonrasında ayrışmamalıdır. Sertleşmiş halde ise betonun mekanik mukavemeti yeterince yüksek ve dayanıklı olmalıdır. Sertleşmiş betondan beklenen 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 düzgünleştirilmesi ve hidrasyonun sağlıklı şekilde yer alabilmesi için kür (bakım) işlemleridir (Erdoğan, 2003).

Çizelge 2.12. Taze ve Sertleşmiş Betondan Beklenen Özellikler (Erdoğan, 2003)

Taze Betondan Beklenen Özellikler	Sertleşmiş Betondan Beklenen Özellikler
İşlenebilme özelliği	Dayanım
Uygun kıvam	Dayanıklılık
Segregasyon	Komposite
Terleme	Estetik
	Ekonomi

### 2.2.5.1. İşlenebilme

İşlenebilirlik 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 2.13.de verildiği gibi, betonunun akıcılığı ve/veya kendi ağırlığı altında hareket etme kabiliyeti ile ilgili bir özelliktir (Şimşek, 2003).

Çizelge 2.13. 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 şekilde 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.

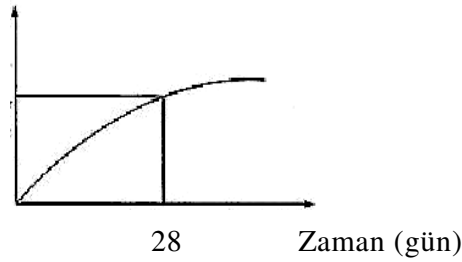
Kimyasal katkıları kullanılarak betonun işlenebilirlik özelliğini arttırmak mümkündür. Akışkanlaştırıcı özelliğe sahip katkı maddeleri kullanarak akışkan betonlar üretilmektedir. Ayrıca betonlardan istenilen işlenebilirlik özelliği, betonun kullanılacağı yere, sıkıştırma ve yerleştirme tekniğine bağlıdır.

### 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. Betonun basınç dayanımı–zaman ilişkisi aşağıdaki Şekil 2.7’de gösterilmiştir.

Basınç Dayanımı ( $\text{kgf/cm}^2$ )



Şekil 2.7. Basınç Dayanımı-Zaman İlişkisi (Güner, Süme, 2001)

Yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi betonun basınç dayanımı uygun koşullarda zamanla artar. Basınç dayanımı standart silindir (15x30) ve küp (15x15) numuneler üzerinde belirlenir. 1, 3, 7, 27, 96. günlerde basınç dayanımı yapılır. Ancak betonarme yapıların dizaynında 28 günlük dayanım sonucu %100 değer olarak kabul görmektedir. Betonların 7 günlük dayanım sonucu 28 günlük dayanımının 2/3’ü kadardır (Şimşek, 1997).

Betonun basınç karşı dayanımı olumlu ve olumsuz yönde olmak üzere birçok etken tarafından etkilenmektedir. Bu etkenler agrega türü ve gradasyonu, çimento türü ve miktarı, su/çimento oranı, betonun bakımı, kimyasal ve mineral katkı maddesi kullanımı, taze betonun üretim metodu, karıştırılma süresi, karışım

aşamaları, yerleştirme metodlarındaki değişkenler şeklinde sıralanabilir (Atış ve diğerleri, 2008 )

Çizelge 2.14. Beton Mukavemetine 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 2.14’de beton mukavemetine 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 mukavemetini arttırmak mümkündür (Uğurlu, 1999).

Basınç dayanımı standart silindir (15x30) ve küp (15x15) numuneler üzerinde belirlenir. 1, 3, 7, 27, 96. günlerde basınç dayanımı yapılır. Ancak 28. gün sonucu %100 değer olarak kabul görür. Betonların 7 günlük dayanım sonucu 28 günlük dayanımının 2/3’ü kadardır (Şimşek, 1997).

## ii. Çekme Dayanımı

Betonun çekme dayanımı, basınç dayanımının %8 ile %14'ü arasındadır. Betonun çekme dayanımının ideal olarak aksenal 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. Komposite

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

Betonun yeterli kompositeye 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).

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

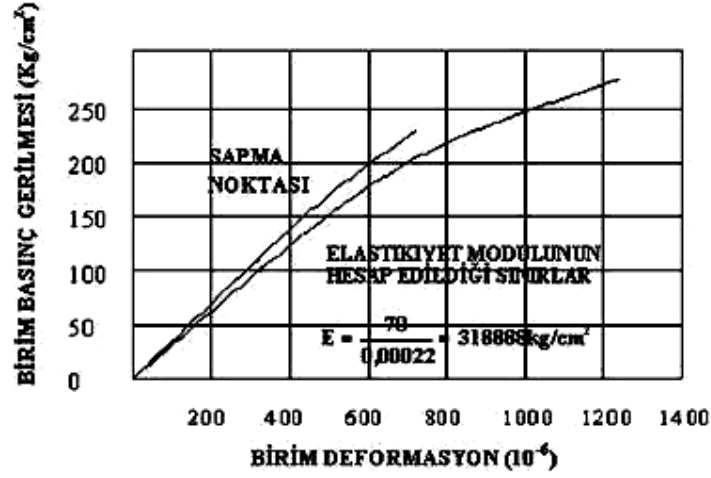
#### **2.2.5.5. Betonun Terlemesi**

Taze karışım içindeki suyun kalıba yerleştirilmiş betonun yüzeyinde birikmesi olayına “terleme” denir. Beton yerleştirildiğinde karışım içindeki malzemenin suyu tutamaması sonucu meydana gelir ve agreganın çökmesi 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 buharlaşmaya kadar yüzeyde herhangi bir düzeltme yapılmamalı, master 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, hidrasyon rötresi, kuruma rötresi gibi tanımlar yapılmaktadır.

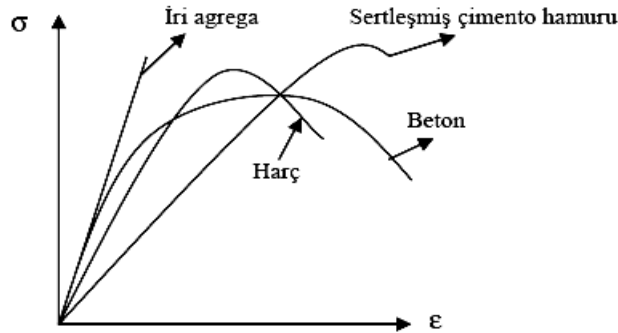
#### **2.2.5.6. Elastisite**

Beton genel olarak elastik bir malzeme değildir. Betonun 28 günlük kırılma mukavemetlerinin %75'ine kadarki basınç dayanımları için gerilme deformasyon oranı oldukça uniformdur. Betonların 28 günlük elastisite modülü yaklaşık olarak  $1-4 \times 10^5$  kgf/cm<sup>2</sup> civarındadır. Şekil 2.8.'de betonda gerilme ve deformasyon etkisi verilmiştir (Şimşek, 2003).



Şekil 2.8. Betonda Gerilme ve Deformasyon Etkisi

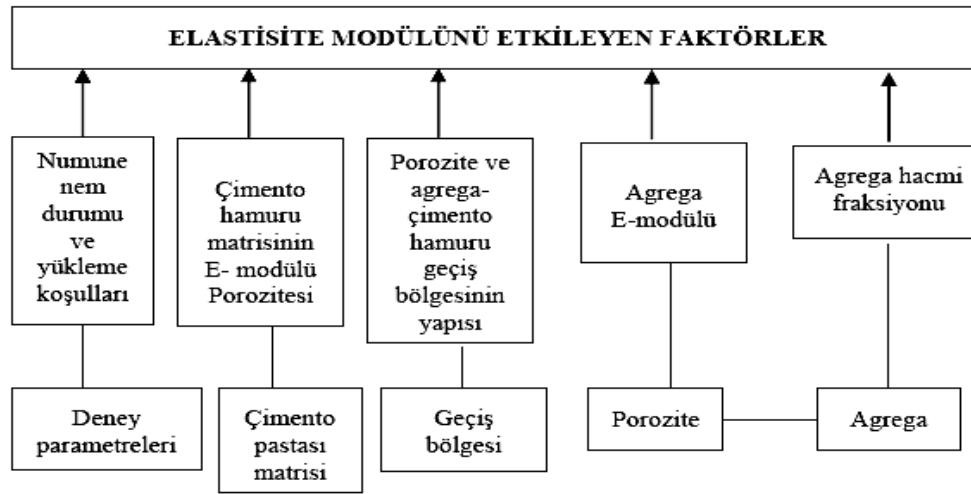
Üç fazlı anizotropik gevrek bir malzeme olarak tanımlanan beton, üzerine gelen değişik yükler nedeniyle farklı davranışlar gösterir. Elastik özellikteki malzemeden elde edilmiş olan bir elemanın P yükü altında göstereceği toplam deformasyon miktarı o elemana uygulanan yükün büyüklüğü ve elemanın toplam 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).



Şekil 2.9. Betonun ve Betonu Oluşturan Malzemelerin  $\sigma$ - $\epsilon$  Eğrileri (Topçu ve Uğurlu, 2007)

Şekil 2.9'dan görüleceği üzere beton ve betonu oluşturan bileşenlerin gerilme-deformasyon davranışları birbirinden oldukça farklıdır. 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). Betonun E-modülünü etkileyen faktörler Çizelge 2.15'te verildiği gibidir.

Çizelge 2.15. Betonun E. Modülünü Etkileyen Faktörlerin Sınıflandırılması (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 geçirimsizliğinin azaltılması ancak porozitenin (boşlukların) azaltılması, kompasitenin artırılmasıyla veya boşlukların bazı katkılarla suyu iter hale getirilmesi ile mümkündür.

Nemlenme, çiçeklenme gibi etkiler betonun su geçirimsizliğine ve su emme özelliklerine bağlıdır. Su geçirimsizliği 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 katkıları kullanılarak dayanıklılık artırılabilir. 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 agregaların kullanılması betonun aşınmaya karşı dayanımını artırır. Aşınmaya çok dayanıklı betonlar, özel agregaların kullanılmasıyla elde edilir. Bu amaçla granit, demir parçacıkları gibi yapay 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, kompasitesi yüksek, geçirimsizliği az bir beton üretilerek, çimento miktarı artırılarak, 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.

### **2.2.6. Hazır Betonda Kalite**

Beton kalitesi, karışım özelliklerinin belirlendiği aşamadan başlar. Kalitenin kontrolü ve seviyesinin belirlenmesi; üretim süreci ve ürünlerin laboratuvar ortamında yapılan deneylerle kanıtlanmış istatistiksel analizlerin standartlarla kıyaslanması sonucu elde edilen verilere dayandırılır.

Hazır betonun kalitesini istenilen düzeyin üzerine çıkarmak ve elde edilen düzeyi korumak için bir takım denetimlerin yapılması gerekmektedir. Bu denetimleri sistem denetimi ve ürün denetimi olmak üzere ikiye ayırabiliriz (Özkul ve Akakın, 2003).

#### i. Sistem Denetimi

Genel olarak yılda en az bir kez yapılmalıdır ve sonucuna göre tesislerin durumu değerlendirilebilir. Yapılacak olan denetimler aşağıda açıklanmıştır.

- Personel Denetim: Hazır beton üretimi, taşınması ve denetimi işlerinde çalışan personelin konuları ile ilgili yeterli eğitime sahip olmaları ve düzenlenen meslek içi eğitim kurslarına katılımları takip edilmelidir.

- Malzeme Denetimi: Tesise giren agrega, çimento ve katkıların miktarı günlük olarak kaydedilmelidir. Hazır beton üreticisi taşeron firmalardan aldığı malzemelerle ilgili bilgi almalı ve TS belgesini aramalıdır. Ayrıca tesis

laboratuvarında agrega ve katkı maddeleri ile ilgili ön deneyler yapılmalı ve amaca uygunlukları incelenmelidir.

Hammaddelerin tesise gelişinden sonra stoklanması da denetlenmelidir. Agregalar tesiste birbirine karışmayacak şekilde depolanır. Çimento silolarında tozlanmayı önleyecek filtreler bulunmalı ve birden çok silo var ise numaralandırılmalıdır. Ayrıca içinde farklı cinsten çimento bulunan siloların üzerine çimento cinsleri yazılmalıdır. Bunun yanında kimyasal katkıların da birbirine karışmayacak şekilde depolanması gereklidir (Özkul ve diğerleri 2003).

- Beton Denetimi: tesiste hazırlanan her sınıf, tip ve türdeki beton için ayrı karışım reçeteleri hazırlanmalıdır. Kullanılan malzemeler ve miktarlarının neler olduğu daha önceden yapılan deneylerle belirlenmelidir. Tesiste bir günde üretilen her bir beton sınıfında numaralar alınmalı ve numuneleri gerekli deneylere tabi tutularak mukavemeti belirlenmelidir. Belirlenen mukavemet değerinin T.S’de belirtilen değerle mukayesesi yapılmalıdır.

- Tartım ve Karıştırma Araçları: Hazır beton tesisinde agrega, çimento, su ve katkı malzemesi tartım araçları (kantarlar) yeterli duyarlılıkta ölçüm yapabilmelidir. ( $\pm$  %3) Kantarların ve diğer ölçüm cihazlarını belirli aralıklarla (en geç ayda bir) doğrulanmaları gereklidir. Bu işleme kalibrasyon denir ve bu deneylerin sonuçları düzenli olarak kayıt edilmelidir. Ayrıca karıştırma ekipmanlarının yeterli homojenliği sağladığı belgelenmelidir (Özkul ve diğerleri, 2003).

- Laboratuvar Denetim: Her hazır beton üretim tesisinde ilgili tüm deneylerin yapılabileceği bir laboratuvar bulunmalıdır. Agregalar ve beton ile ilgili deneylerin yapılabileceği tüm alet ve ekipmanları bulunmalıdır. Ayrıca beton numunelerinin dayanımını belirlemek amacıyla alınan numunelerin saklanabileceği su havuzunun her laboratuvarında bulunması gereklidir. Laboratuvarında bulunan her alet ve ölçüm cihazlarının kalibrasyonu yapılacak not alınmalıdır (Söylemez, 2006)

- Çevre ve İş Güvenliği Denetimi: Çevre ile ilgili yapılan denetimlerde peyzajı çevreye yapılan etkilerin değerlendirmesi yapılmaktadır. İş güvenliği denetiminde ise çalışanların ekipman, tesis ve sağlık kontrolleri gibi işte güvenliği artıracak unsurlar denetlenmektedir.

#### ii. Ürün Denetim

Beton verilen şantiyelere gidilerek, transmikserden beton örnekleri alınır. Eğer beton, pompa ile basılıyor ise pompanın ucundan örneklerin alınması gerekir. Alınan beton örnekleri üzerinde sıcaklık ölçümü ve kıvam (çökme) deneyi yapılır. Sonra beton kalıpları doldurularak saklanır. Kalıpların üzerine alım tarihi ve firma adının yazılması unutulmamalıdır.

Beton kalitesini etkileyen faktörler aşağıda maddeler halinde verildiği gibidir. Bu faktörlerin, el ile hazırlanan beton ve santralde hazırlanan beton üzerindeki etkileri Çizelge 2.16'da kısaca açıklanmıştır.

- Agregas
- Çimento
- Su
- Kimyasal Katkılar
- İşçilik
- Beton reçetesi
- Karıştırma

Çizelge 2.16. Beton Kalitesini Etkileyen Faktörler (Anonim6,2008)

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

Sivas ili Kabaktepe mevkiinde yer alan taş ocağı malzemesinin hazır beton üretiminde kullanılabilirliğinin etüdü ve aynı zamanda doğal kum-çakıl malzemesi ile mukayesesinin yapılabilmesi için öncelikle bazı parametrelerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla laboratuvar ortamında gerek agrega gerekse beton numuneleri üzerinde bir takım deneyler yapılmıştır. Yapılan deneyler aşağıda verildiği gibidir.

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 Basınç Dayanım Deneyi

Deney numunelerinin hazırlanabilmesi ve ilgili deneylerin yapılabilmesi amacıyla Sivas Beton A.Ş.'nin laboratuvarı ve Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü'ne ait Cevher Hazırlama Laboratuvarları'ndan yararlanılmıştır.

Laboratuvar ortamında deneylere ait parametreleri belirlemek için ilk aşamada hammadde kaynağından alınan numuneler çeneli kırıcıdan geçirilip 0-5mm, 5-15mm, 15-30mm tane aralığında sınıflandırılmıştır. Hafik dere malzemeleri ise 0-4mm, 0-8mm, 8-16mm, 16-32mm tane aralığında

sınıflandırılmıştır. Tane sınıflarına ayrılan numuneler üzerinde yapılan çalışmalar ayrıntılı olarak aşağıda sunulmuştur.

### **3.1. Kullanılan Malzemeler**

Bu çalışmada, Sivas ili dahilinde bulunan Kabak Tepe Kırmataş ürünlerini laboratuvar ortamında boyut küçültme işlemlerine tabii tutularak deneylerde kullanılacak boyuta getirilmiştir. İnce kum olarak Sivas ili dahilindeki Hafik ilçesi dere malzemesi ürünlerinden alınan numuneler kullanılmıştır. Ayrıca hazır beton yapımı için CEM 11/B-LL 32,5 R olarak adlandırılan çimento kullanılmıştır. Katkı olarak ta akışkanlaştırıcı özellik taşıyan CHRYSOPLAST 250S kullanılmıştır. Katkı malzemesinin kimyasal analiz sonuçları Ek.11’de, çimento özellikleri ise Ek 12’de verilmiştir

### **3.2. Laboratuvar Deneyleri ve Sonuçları**

#### **3.2.1. Agrega Deneyleri**

##### **3.2.1.1. Kullanılacak Agregaların Granülometrilerinin Belirlenmesi**

Agregan yığnında 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).

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.

Kabaktepe kırmataş ürünlerinden 0-5, 5-15, 15-30 olmak üzere üç farklı boyutta kullanılmıştır. Buna göre elek analiz sonuçları Çizelge 3.1, Çizelge 3.2, Çizelge 3.3’de verildiği gibidir.

Çizelge 3.1. (0-5) mm Boyutunda Kırmataş Ürünlerinin Elek Analizi Sonuçları

Agrega Tanımı		0-5 mm		
Etüv Ağırlığı (gr)		1000		
		Kümülatif Kalan (gr)	Kalan (%)	Geçen (%)
<b>ELEKLER</b>	63	-	-	-
	32	-	-	100
	16	-	-	100
	8	0	0	100
	4	100	10	90
	2	308	31	59
	1	298	30	29
	0,5	76	8	22
	0,25	54	5	16
	0,063	164	16	0
Toplam		1000	100	-

Çizelge 3.2. (5-15) mm Boyutunda Kırmataş Ürünlerinin Elek Analizi Sonuçları

Agrega Tanımı		5-15 mm		
Etüv Ağırlığı (gr)		1500		
		Kümülatif Kalan (gr)	Kalan (%)	Geçen (%)
<b>ELEKLER</b>	63	-	-	-
	32	-	-	100
	16	-	-	100
	8	895	60	40
	4	575	38	2
	2	30	-	-
	1	-	-	-
	0,5	-	-	-
	0,25	-	-	-
	0,063	-	-	-
Toplam		1500	98	-



Çizelge 3.3.(15-30)mm Boyutunda Kırmataş Ürünlerinin Elek Analizi Sonuçları

Agrega Tanımı		15-30 mm		
Etüv Ağırlığı (gr)		1500		
		Kümülatif Kalan (gr)	Kalan (%)	Geçen (%)
<b>ELEKLER</b>	63	-	-	-
	32	0	0	100
	16	1011	31	69
	8	381	25	44
	4	108	7	-
	2	-	-	-
	1	-	-	-
	0,5	-	-	-
	0,25	-	-	-
	0,063	-	-	-
Toplam		1500	64	

Betonu oluşturabilmek için gerekli ince kum olarak Hafik dere malzemesi kullanılmıştır. (0-8)mm boyutundaki dere malzemesinin elek analizi sonucu Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4: (0-8)mm Boyutunda Dere Malzemesinin Elek Analizi Sonuçları

Agrega Tanımı		(0-8mm) Hafik ince Kumu		
Etüv Ağırlığı (gr)		500		
		Kümülatif Kalan (gr)	Kalan (%)	Geçen (%)
<b>ELEKLER</b>	63	-	-	-
	32	-	-	100
	16	-	-	100
	8	0	0	100
	4	66	13	87
	2	70	14	73
	1	78	16	57
	0,5	100	20	37
	0,25	128	26	12
	0,063	58	12	12
Toplam		500	100	

Hafik dere malzemesi ürünleri ile yapılan elek analiz sonuçları ve granülometrilere Ek 1 ve Ek 2.'de verilmiştir.

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

Deney numunelerinin hazırlanmasına 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. Agregaların yığınının farklı noktalardan rastgele alınan 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) kalmayınca kadar kurutulur. (Oda sıcaklığında havlu bir malzemeyle yüzeydeki ıslaklık kurutulabilir.) Bu işleme doygun yüzey kuru hale getirilmesi adı verilir (DYK).

İri agregaların özgül ağırlık ve su emme oranı tayini şu şekilde bulunabilir.

DYK halindeki agregaların 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.

$W_1$ : Etüvde kurutulmuş malzeme ağırlığı(gr)

$W_2$ : DYK halindeki malzeme ağırlığı(gr)

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

$W_4$ : Kavanoz+ su ağırlığı(gr)

$$\text{İri Agregaların Özgül Ağırlığı} = \frac{W_2}{W_2 - (W_3 - W_4)}$$

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

$$\text{Su Emme Oranı} = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100$$

Kabak Tepe Kırmataş ürünlerine ait 5-15mm ve 15-30mm iri agrega üzerinde gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen özgül ağırlık Çizelge 3.14'te ve su emme oranları Çizelge 3.5'de verilmiştir.

### **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 doymun 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 düşünölen 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<sub>2</sub>). 500 gr malzeme etüv kurusu hale getirilerek tartılır(W<sub>1</sub>). 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 bekleddikten sonra ölçü kabı 20 °C (± 3 °C)'de 1000 ml'lik işaret çizgisine kadar su doldurularak tartılır (W<sub>3</sub>). Ölçü kabının daha önceden saptanmış olan boş ve su dolu ağırlığı tartılır (W<sub>4</sub>).

W<sub>1</sub>: Etüvde kurutulmuş malzeme(gr)

W<sub>2</sub>: DYK halindeki malzeme (gr)

W<sub>3</sub>: Kavanoz + su + malzeme (gr)

W<sub>4</sub>: Kavanoz + su (gr)

$$\text{İnce Agreganın Özgül Ağırlığı} = \frac{W_2}{W_2 - (W_4 - W_3)}$$

$$\text{İnce Agreganın Su Emme Oranı} = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100$$

Beton yapımında kullanılan normal agregalarda 2,5-2,8 gr/cm<sup>3</sup> mertebesindedir. Kırmataş agregalarında taşın cinsine bağlı olarak;

- Kumtaşı için 2,0-2,6 gr/cm<sup>3</sup>
- Kalker için 2,5-2,8 gr/cm<sup>3</sup>
- Granit için 2,6-2,8 gr/cm<sup>3</sup> mertebesinde olması şartı aranır.

Kırmataş ve Dere malzemesi için özgül ağırlık deney sonuçları Çizelge 3.14'te su emme oranları ise Çizelge 3.5 ve Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.5. Kabaktepe Kırmataş Ürünleri Su Emme Tayini

Agrega Sınıfı (mm)		0-5	5-15	15-30	
Su Emme	Dara (gr)	W	695	695	695
	Dara+ Kuru Numune (gr)	W <sub>1</sub>	1170	1690	1691
	Dara + DYK Numune (gr)	W <sub>2</sub>	1195	1695	1695
	DYK Ağırlığı (gr)	W <sub>2</sub> -W	500	1000	1000
	Etüv Kuru Ağırlığı	W <sub>1</sub> -W	485	995	996
	Su Emme (%)	(W <sub>2</sub> -W <sub>1</sub> )/ W <sub>1</sub>	3,09	0,5	0,4

Çizelge 3.6. Hafik Dere Malzemesi Su Emme Tayini

Agrega Sınıfı (mm)		0-4	0-8	8-16	16-32	
Su Emme	Dara (gr)	W	695	695	695	695
	Dara+ Kuru Numune (gr)	W <sub>1</sub>	1186	1187	1682	1683
	Dara + DYK Numune (gr)	W <sub>2</sub>	1195	1195	1695	1695
	DYK Ağırlığı (gr)	W <sub>2</sub> -W	500	500	1000	1000
	Etüv Kuru Ağırlığı	W <sub>1</sub> -W	491	492	987	988
	Su Emme (%)	(W <sub>2</sub> -W <sub>1</sub> )/ W <sub>1</sub>	1,83	1,62	1,31	1,21

### 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 3.7. Yüzeyi Nemi Oranın Tayinin Maksimum Tane Büyüklüğü ile İlişkisi (TS 707)

Max. 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 3.7’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 doymuş kuru yüzey haline getirilerek tartılır.

Agreganın yüzey nemi oranı; yüzey neminin agreganın doymuş kuru yüzey halindeki ağırlığına oranı olarak aşağıdaki bağlantı ile hesaplanır.

$N =$  Agreganın yüzey nemi oranı (%)

$M_1 =$  Deney numunesinin deney başlangıcındaki ağırlığı (gr)

$M_2 =$  Deney numunesinin doymuş kuru yüzey halindeki ağırlığı (gr)

$$N = \frac{M_1 - M_2}{M_2} \times 100$$

Kırmataş ve dere malzemesi ile yapılan nem oranı deney sonuçları Çizelge 3.8’de verildiği gibidir.

Çizelge 3.8. Agreganın Nem İçeriği Oranları

Agrega Sınıfı	Nem İçeriği Oranları (%)
0-5mm Kırmataş	0.9
5-15mm Kırmataş	0.7
15-30mm Kırmataş	0.5
0-4mm Dere Malzemesi	2.65
0-8mm Dere Malzemesi	1.20
8-16mm Dere Malzemesi	0.9
16-32mm Dere Malzemesi	0.8

#### 3.2.1.4. Kil Tayini Deneyi

Deney numunesi tartılarak silindirik kap içine konular (1000 ml'lik silindirik kap). Daha sonra 750gr su konularak ağzı kapatılır. 20 dakika sonra kap çalkalanarak bekleme bırakılır. Bu işleme 3 kez tekrar edilir. 1 saat sonunda çöken ince madde oranı ölçülür. 1 saat beklenildiği halde ölçü silindirindeki suyun yeterince berraklaşmamış ise çökeltme tam olarak gerçekleşmediği kanısına varılarak dinlendirme süresi 24 saat geçinceye kadar uzatılır. 24 saat sonra deney numunesi üzerinde biriken mil kumpasla ölçülür. Elde edilen değerler aşağıdaki formül yardımı ile değerlendirilerek ince malzeme için kil miktarı bulunur.

$$m = \frac{Axhx\gamma_{24}}{W} \times 100$$

m : İnce madde oranı (%)

$\gamma$ : Yoğunluk (gr/cm<sup>3</sup>)

W:Numune miktarı (gr)

h:Çöken çamurlu maddenin yüksekliği (cm)

A: Çöken çamurlu maddenin alanı (cm<sup>2</sup>)

$\gamma_{24}$ : 24 saat için-0,9(gr/cm<sup>3</sup>)

$\gamma_1$ :1 saat için-0,6(gr/cm<sup>3</sup>)

İri malzeme için ise numune alınarak kuru ağırlığı saptanır. Daha sonra numune yıkanarak ıslatılır ve ağırlığı saptanır. Elde edilen değerler aşağıdaki formülde yerine koyularak iri agreganın kil oranı bulunur.

M1: Toplam kuru kütle (gr)

M2:Yıkamadan sonraki kütle (gr)

F: Kil miktarı (%)

$$F = \frac{M1 - M2}{M1} \times 100$$

İnce ve iri agrega için yapılan kil tayini oranları Çizelge 3.9'da verilmiştir.

Çizelge 3.9. Agregaların Kil Tayini Oranları

Agrega Sınıfı	Kil Oranları (%)	Agrega Sınıfı	Kil Oranları (%)
0-5mm Kırmataş	1,05	0-4mm Dere Malzemesi	2,34
5-15mm Kırmataş	1,00	0-8mm Dere Malzemesi	1,82
15-30mm Kırmataş	1,00	8-16mm Dere Malzemesi	1,50
		16-32mm Dere Malzemesi	1,35

### 3.2.2. Beton Deneyleri

Genel olarak beton, taze beton ve sertleşmiş beton olmak üzere iki şekilde sınıflandırılmaktadır.

#### 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 3.10'da TS-EN 206'ya göre çökme sınıfları verilmiştir

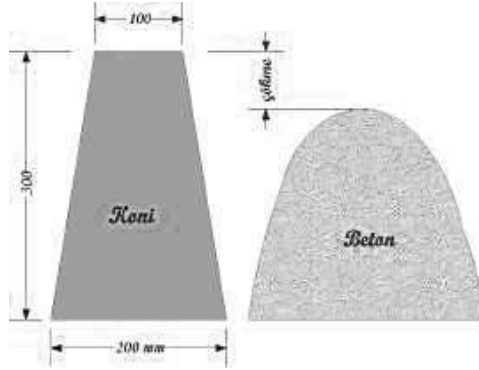
Çizelge 3.10. Çökme Sınıfları (TS EN 206)

Sınıf	Çökme (mm)
S <sub>1</sub>	10-40
S <sub>2</sub>	50-90
S <sub>3</sub>	100-150
S <sub>4</sub>	160-210
S <sub>5</sub>	≥220



### i. 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 kütesinin en yüksek noktası arasındaki çökme noktası Şekil 3.1’de verildiği gibi ölçülerek kayıt edilir (Anonim2, 2004). Elde edilen değer betonun işlenebilirliği hakkında fikir verir.



Şekil 3.1. Çökme Deneyi (Ersoy, 1985)

Taze betonun çökme değerleri Çizelge 3.10’da verilen kıstaslara göre değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 3.11’de verilmiştir.

Çizelge 3.11. Taze Betona Uygulanan Slump (Çökme) Deneyi Sonuçları

Beton Sınıfı	Özellik	Çökme (cm)
C 12/15	300 doz	12
C 12/15	300 doz	13
C 16/20	325 doz	15
C 16/20	325 doz	12
C 20/25	375 doz	14
C 20/25	375 doz	15
C 25/30	400 doz	12
C 25/30	400 doz	10

### 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 (Dmax.'a göre). Deneyleerde 15x15x15 cm boyutunda kübik numune kapları kullanılmıştır. Kap hacmi 0.0034m<sup>3</sup>, kap ağırlığı 1.260 kg olarak tespit edilmiştir. Buna göre;

Birim hacim ağırlığı;

$$B.H.A = \frac{BK - K}{V}$$

BK= Beton + Kabın ağırlığı (kg)

K: Kabın ağırlığı (kg)

V: Kabın hacim (m<sup>3</sup>)

BHA: Birim hacim ağırlığı (kg/m<sup>3</sup>)

Birim hacim ağırlığı deneyi yukarıda açıklandığı şekilde yapılmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 3.12'de verilmiştir.

Çizelge 3.12. Birim Hacim Ağırlık Deneyi Sonuçları

Beton Sınıfı	Özellik	Kümülatif Ağırlık (kg)	Ölçülen Değer (kg/m <sup>3</sup> )
C12/15 Dere Malzemesi	300 doz	8109	2385
C12/15 Kırmataş Ürünleri	300 doz	8109	2385
C16/20 Dere Malzemesi	325 doz	8103	2383
C16/20 Kırmataş Ürünleri	325 doz	8139	2393
C18/22,5 Dere Malzemesi	350 doz	8147	2396
C18/22,5 Kırmataş Ürünleri	350 doz	8081	2376
C20/25 Dere Malzemesi	375 doz	8182	2406
C20/25 Kırmataş Ürünleri	375 doz	8182	2406
C25/30 Dere Malzemesi	400 doz	8208	2414
C25/30 Kırmataş Ürünleri	400 doz	8098	2381

### 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.

Taze betondan numune alma talimatına göre temsilen 20 dm<sup>3</sup>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.

Yapılan hava miktarı ölçüm sonuçları; Çizelge 3.15’de verilmiştir.

#### **3.2.2.1.4. Taze Betonda Sıcaklık Ölçümü**

Taze betonda sıcaklık ölçümü dijital termometre yardımı ile yapılır. Taze betonu temsilen  $20 \text{ dm}^3$  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 yapıp elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınarak sıcaklık tespiti tamamlanmış olur. Taze betonun teslim anındaki sıcaklığı  $+5 \text{ }^\circ\text{C}$  'nin altında kesinlikle olmamalıdır. Yapılan deneylerde, hava sıcaklığına bağlı olarak taze beton sıcaklığının 12-18 arasında değiştiği gözlenmiştir.

Yapılan sıcaklık ölçüm sonuçları; Çizelge 3.15’de belirtilmiştir.

#### **3.2.2.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri**

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

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

Standartlara uygun nitelikte ( $15 \times 15 \text{ cm}$  küp veya  $15 \times 30 \text{ cm}$  silindir) alınan kalıplar, su sızdırmaz ve su emmez özellikte olmalıdır. Kalıp birleşim yeri, macun, yağ veya gres yağı ile su sızdırmayacak şekilde kapatılmalıdır.

Termometre,  $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$  duyarlılığında olmalıdır.

Kürek, kare ağızlı olmalıdır.

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

## ii. Numunenin Alınması

Beton numuneleri, kalıplara yüksekliği 10cm'yi geçmeyen, eşit tabakalar halinde doldurulur. Kp 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 arpmamasına, 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 st yüzeyinden taşan fazla beton, elik mala ile alınmalı ve beton yüzeyi dikkatlice düzeltilmelidir.

Numuneler zarar verilmeden, görünür ve kalıcı şekilde etiketlenmelidir. Numune alınırken, numunenin beton harmanının tamamını homojen bir şekilde temsil etmesine dikkat edilmelidir (Anonim2, 2003).

## 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  $20\pm 2$  °C veya sıcak iklimlerde  $25\pm 2$  °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 Krlenmesi

Kalıptan ıkarılan beton numuneleri deney yapılıncaya kadar  $20\pm 2$  °C sıcaklıktaki su havuzunda kr görmelidir (veya % 55 nemli ortamda) (Anonim2, 2003).

#### 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 (İstanbuluoğlu, 1988).

Deneylerde her test serisi için, 2'nci, 7'nci ve 28'nci günlerde numuneler, tek eksenli basınç dayanımı testine sokulmuştur.

Basınç dayanımı deney sonuçları Ek 7, Ek 8, Ek 9, Ek 10'da verilmiştir.

### 3.3. Laboratuvar Çalışmaları Sonuçlarının Değerlendirilmesi

#### 3.3.1. Agregada Deneysel Sonuçlarının Değerlendirilmesi

##### 3.3.1.1. Elek Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Agregada 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. Çizelge 3.13’de Dmax. 31,5 için standart granülometri değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.13. Dmax 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	Seri										
GRANÜLOMETRİSİ	2	100	100	-	-	-	-	-	-	-	0
OPTİMUM	Seri										
GRANÜLOMETRİ	3	100	100	80	62	47	37	28	18	8	0
ÜST SINIR	Seri										
(C 31,5)	4	100	100	89	77	65	53	42	28	15	0
ALT SINIR (A 31,5)	Seri										
	5	100	100	62	38	23	14	8	6	2	0
U 31,5	Seri										
	6	100	100	30	30	30	30	8	6	2	0

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

Sivas bölgesi kırmataş ürünlerinin ve Hafik dere malzemesi ile yapılan elek analizi değerleri neticesinde her iki agreganın granülometrisinin

kullanılabilir bölgede olduğu saptanmıştır. Elek analizi ve granülometri sonuçları Ek1, Ek2, Ek3 ve E4'te verilmiştir.

### 3.3.1.2. Diğer Agregada Deneylerinin Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Beton agregası olarak değerlendirilen kırmataşın, birim ağırlık, özgül ağırlık ve su emme ile ilgili yapılan deneylerden alınan sonuçların uygunluğu görüldü.

Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen veriler Çizelge 3.14'te verilmiştir. Özgül ağırlık ve su emme oranı değerleri ise aşağıda verilen formüller yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$\text{Özgül Ağırlık} = \frac{W_2}{W_2 - (W_3 - W_4)}$$

$$\text{Su Emme Oranı} = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100$$

Çizelge 3.14. Özgül Ağırlık ve Su Emme Deney Sonuçları

Agrega Tane Büyüklüğü	W2(gr)	W3(gr)	W4(gr)	W1(gr)	Özgül Ağ. (gr/cm <sup>3</sup> )	Su Emme Oranları (%)
0-5mm Kırmataş	500	1086	774,6	485	2,65	3.09
5-15mm Kırmataş	1000	1865	1239	995	2,67	0.50
15-30mm Kırmataş	1000	1826	1204	996	2,64	0.40
0-4mm Dere Malzemesi	500	1114	798	491	2,71	1,83
0-8mm Dere Malzemesi	500	1092	776	492	2,73	1,62
8-16mm Dere Malzemesi	1000	1825	1214	987	2,62	1.31
16-32mm Dere Malzemesi	1000	1842	1216	988	2,67	1.21



### 3.3.2. Beton Deneý Sonuçlarının Deęerlendirilmesi

#### 3.3.2.1. Taze Beton Deneý Sonuçlarının Deęerlendirilmesi

Beton karışım hesabı “TS 802 Beton Karışım Hesabı” standardında belirlenen esaslara uygun olarak hazırlanmıştır. Beton gruplarının tamamında agrega granulometrisi sabit tutulmuştur. En büyük agrega boyutu 32 mm olarak alınmıştır. Hazırlanan beton numunelerinin her bir beton sınıfı içinde karışım oranları aynıdır. Fakat imento ve su dozajı değiştirilmiştir. Karışım beton sınıfı C12/15, C16/20, C20/25, C25/30 olarak seçilmiştir.

Bağlayıcı madde olarak CEM 11/B-LL kullanılmıştır.

Beton karışımı üzerinde yapılan çökme miktarları ilgili şartnamelere göre değerlendirilmiş ve söz konusu değerlerin kullanım alanı açısından bir sorun oluşturmadığı, çökme miktarlarının 10-15 arasında değiştigi gözlenmiştir. Çizelge 3.15’te taze beton deneý sonuçları verilmiştir.

Çizelge 3.15: Taze Beton Deneý Sonuçları

Beton Sınıfı	Hava Yüzdesi (%)	Sıcaklık değerleri (°C)
C12/15 Dere Malzemesi	1,5	15
C12/15 Kırmataş Ürünleri	1,7	14
C16/20 Dere Malzemesi	1,5	12
C16/20 Kırmataş Ürünleri	1,8	15
C20/25 Dere Malzemesi	1,6	18
C20/25 Kırmataş Ürünleri	1,9	15
C25/30 Dere Malzemesi	1,7	16
C25/30 Kırmataş Ürünleri	2,0	15

TS 11222'ye göre hava yüzdesinin %6'yı geçmemesi gerektiği belirtilmiştir. Bu kapsamda numunelerin ölçülen hava miktarlarının, öngörülen standart hava miktarının altında olduğu görülmüştür.

### **3.3.2.2. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi**

Beton karışımları hazırlanmış olan 15x15 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.

Betonun 7 günlük dayanım değerleri, betonun standart mukavemetinin 2/3'ünü oluştururken 2 günlük dayanım deneyinin ise 1/3'ünü oluşturduğu bilinmektedir. Bu nedenle 2, 7 ve 28'nci günlerde basınç deneyi yapılmış ve elde edilen sonuçlar dere malzemesi ile kırmataş ürünlerinin mukayesesinde ışıktutmuştur. Basınç dayanım deney sonuçları Ek7, Ek8, Ek9, Ek10'da verilmiştir.

Çizelge 3.16'da dere malzemesi ile yapılan C 12/15 için hazırlanan beton numunesinin karışım raporu ve Çizelge 3.17'de bu karışım sonucunda elde edilen betonun basınç dayanım deneyi sonuçları verilmiştir.

Çizelge 3.16. Dere Malzemesi ile Yapılan C 12/15 için Karışım Raporu

Karışım Malzemeleri	m <sup>3</sup> /kg	Hacim(m <sup>3</sup> )	Hava sıcaklığı	18 <sup>0</sup>
Çimento (kg)	300	101	Beton sıcaklığı	15 <sup>0</sup>
0-4mm (kg)	545	200	Birim ağırlığı	8109
0-8mm (kg)	545	200	Çimento cinsi	CEM 11/B-LL
8-16mm (kg)	369	135	Malzeme	Dere Malzemesi
16-32mm (kg)	506	193	Kullanılan su	Kuyu Suyu
Su (lt)	135	150	Malzeme toplamı	1964 kg
Katkı Miktarı (lt)	2,1	18,1	Hava % si	1,5
Toplam Malzeme	2403	1000	Çimento özgül ağırlığı	3,03 kg/m <sup>3</sup>
Su Emme (0-4mm)	1,83		0-4 mm özgül ağırlığı	2,71 kg/m <sup>3</sup>
Su Emme (0-8mm)	1,62		0-8mm özgül ağırlığı	2,73 kg/m <sup>3</sup>
Su Emme (8-16mm)	1,31		8-16 mm özgül ağırlığı	2,67 kg/m <sup>3</sup>
Su Emme (16-32mm)	1,21		16-32 mm özgül ağırlığı	2,62 kg/m <sup>3</sup>
0-4mm % si	25		Su özgül ağırlığı	0,99 kg/m <sup>3</sup>
0-8mm % si	27		Katkı özgül ağırlığı	1,16 kg/m <sup>3</sup>
8-16mm % si	23			
16-32mm % si	25		Su/çimento oranı	0,45

Çizelge 3.17. C12/15 Dere Malzemesi için Beton Dayanım Deneyi Sonuçları

Karakteristik Basınç Dayanım Deneyi Sonuçları						
Gün	2 gün	7. gün	7. gün	28. gün	28. gün	28. gün
Test Tarihi	03.06.05	08.06.05	08.06.05	29.06.05	29.06.05	29.06.05
Ağırlığı (gr)	8100	8120	8110	8130	8130	8150
Mukavemet (kg/cm <sup>2</sup> )	111,91	159,82	158,48	217,71	221,88	215,84
Pres Basınç (ton)	25,18	35,96	35,66	48,98	49,92	48,56

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bilindiği gibi beton veya betonarme yapılar, oldukça uzun ömürlü olup bu ömür ve ömür boyunca söz konusu olacak emniyet faktörü, özellikle betonun önemli bir bölümünü oluşturan agregaların fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinden etkilenmektedir. Bu nedenle söz konusu yapıların dayanıklılık performansı, yapı kullanıldığı müddetçe izlenmektedir. Bu durum agrega seçimine belirgin bir önem atfetmektedir.

Sivas il merkezini çevreleyen 30-40 km yarıçaplı alan nazar-ı dikkate alındığında beton hazırlanmasına dönük agrega malzemesi temini bakımından belirgin darboğazlar söz konusudur. Geleneksel olarak Sivas, agrega teminini merkeze 40-50 km mesafede bulunan Hafik bölgesindeki dere malzemelerinden sağlamaktadır. Gerek çevre koruması, gerek kaynakların sınırlılığı ve gerekse belirli olumsuzluklar taşıyan bu dere agregaları, özellikle kırmataşla ikame edilme durumundadır.

Bu duruma alternatif olarak var olan Kabaktepe kırmataş ürünlerinin beton agregası olarak kullanılabilirliğinin belirlenmesi hususu, Sivas için belirgin bir önem taşımaktadır. Bu nedenle bu çalışmada, Hafik dere malzemesi ile Kabaktepe kırmataş ürünleri belirli koşullarda testlere tabii tutularak mukayese edilmişlerdir. Yapılan deneylerden elde edilen bulgular aşağıda verildiği gibidir. Her iki deney setleri için ince malzeme olarak (0-8) dere malzemesi kullanılmıştır.

1. Su emme özelliği açısından ele alındığında Hafik dere malzemesinin, Kabaktepe kırmataş ürünlerinden daha fazla su içerdiği tespit edilmiştir. Bu açıdan bakıldığında Kabaktepe kırmataş ürünleri standartlara uygun sonuçlar vermiştir.
2. Kabaktepe kırmataş ürünlerinden hazırlanan betonda çimento kullanımı daha düşük düzeylerde seyretmiştir. Bu husus özellikle karışımın beklenen davranışında kendini göstermiştir.
3. Her iki malzemedan hazırlanan betonlardan elde edilen numuneler 2. 7. ve 28. gün sonunda basınç dayanım deneylerine tabi

tutulmuştur. İlgili föyler incelendiğinde şu hususların öne çıktığı anlaşılmıştır.

- a. 2. ve 7. gün sonu itibarı ile basınç dayanım testine tabi tutulan numunelerde Hafik dere malzemelerinden üretilen betonun daha yüksek dayanım verdiği gözlenmiştir. Özellikle tanelerin daha az pürüzlü yüzey arz etmesi bu hususu beraberinde getirmiştir.
  - b. 28. gün sonu itibarı ile yapılan testlerde Kabaktepe kırmataş ürünlerinden hazırlanan numunelerin daha yüksek basınç dayanımını arz ettiği gözlenmiştir. Buna göre kırmataş, %10 oranında daha fazla bir dayanım arz etmiştir. Özellikle kırmataşlarda görülen daha iyi aderans özelliği, bu gibi bir sonucu sağlamış olabilir.
4. Yukarıda alınan sonuçlara göre Kabaktepe kırmataş ürünleri, makul ve tercih edilebilir bir agrega oluşturmaktadır. Kaynağın Sivas merkezine yakınlığı ayrı bir tercih konusudur.

Yukarıdaki hususlara rağmen nihai kararın verilmesinde aşağıdaki hususlara dönük ilave çalışmaların yapılmasında yarar görülmektedir:

1. Laboratuvar ortamında yapılan deneyler, agreganın doygun yüzey kuru ağırlığına göre yapılmıştır. Şantiye ortamında rutubet durumu nazar-ı dikkate alınarak ilave çalışmalar yapılmalıdır.
2. Kabaktepe kırmataş ürünlerine dönük beton hazırlanmasında ince malzeme olarak Hafik dere malzemesi kullanılmıştır. Bu deneyler başka ince malzemelerin kullanılmasıyla tekrarlanmalıdır.
3. Kırmataş ürünlerinin üretimi, sınıflandırılması ve karışımı önemli maliyet artışlarını beraberinde getirmektedir. Bu maliyetlerin dengelenebilmesi için ilave tedbirlerin alınması söz konusu olabilir. Burada özellikle kapasite kullanımına ve ürün kalitesinin iyileştirilmesine dönük çalışmalar önem kazanmaktadır.

4. Hafik dere malzemesi istenmeyen empüriteler içerebilir. Özellikle jips, anhidrit ve organik maddeler yer alabilir. Bu hususlara dönük çalışmalara ihtiyaç vardır. Bu maddelerin varlığı tespit edilebildiğinde, kırmataş ürünleri daha kolay tercih edilebilecektir.

## KAYNAKLAR

- Akakın, T., 2003, “Beton Numunesi Alma”, Türkiye Mühendislik Haberleri Sayı 427.
- Anonim1, 2003, “Beton Üretiminde Temel Bilgiler”, THBB Yayını.
- Anonim2, 2004, ‘‘Taze Betondan Numune Alma Kılavuzu’’,THBB Yayınları.
- Anonim3, 2004, “Beton Bileşenleri ve Uygulama El Kitabı”, Lafarge Yayını.
- Anonim4, 2005, “Genel Teknik Bilgiler Kılavuzu”, Betonsa Yayını.
- Anonim5, 2008, Agregas Web Sayfası.
- Anonim6, 2008, Betonsa Web Sayfası.
- Arioğlu, E., Arioğlu, N., Yılmaz, A., O., “Çözümlü Beton Agregaları Problemleri”, Evrim Yayınevi, 1999.
- Arslan, M., Demir, İ., 2005, “Kırşehir Yöresi Kırmataş Agregalarının Mühendislik Özellikleri”.
- Atiş, C., D., Özbebek, İ., Özbebek, H., Özcan, F., Karahan, O., Bilim, C., Sevim, U., K., 2008, “Beton Basınç Dayanımını Etkileyen Bazı Faktörlerin İrdelenmesi”, Çukurova Üniversitesi.
- Canpolat,T.,2004, ‘‘Kabaktepe Kireçtaşı Ocağı İşletme Projesi ve Fizibilitesi’’ Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Sivas.
- Demirci,A., 2008, Kişisel Görüşme.
- Erdoğan, T.,2003, “Betonu Oluşturan Malzemeler”, 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.

- Esenli, V., 1996, “Kırmataş Hammaddeleri ve Standartları”, I. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul.
- Güner, M., S., Süme, V., 2001, “Yapı Malzemesi ve Beton”, 3. Baskı.
- İstanbuluoğlu, S., 1988, “Betonun Basınç Dayanımını Etkileyen Faktörler ve Ramble Betonun Seçimi ile İlgili Bir Çalışma”, TMMOB, Eylül.
- Kırçıl, M., S., 2008, “Betonarme Ders Notları”.
- Özkul, H., 1999, “Her Yönüyle Beton”, İstanbul.
- Özkul, H., Uyan, M., Akakın, T., Yıldız, N., Uçar, S., 2003 “Beton Üretiminde Temel Bilgiler”, THBB Yayınları, sf: 47-57.
- Söylemez, N., 2006, “Toplam Kalite Yönetimi” Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Semineri, Sivas.
- Şimşek, O., 1997, “Beton Teknolojisi”, Ankara.
- Şimşek, O., 2003, “Yapı Malzemesi II”, 2. Baskı, İstanbul.
- Topçu, İ., B., Uğurlu, A., 2007, “Betonda Elastisite Kuramı ve Baraj Betonları Statik E. Modülünün Kompozit Modellerle Tahmini”, İ.M.O. Teknik Dergi.
- 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.



TS EN 12393-3, 2002, Beton, “Sertleşmiş Beton Deneyleri”, Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, Bölüm 3, TSE, Ankara.

TS EN 206-1, Nisan 2002.

Uğurlu, A., 1999, “Agrega-Çimento Hamuru Bağı Üzerine”, II. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul

Yiğit, A., 2005, “Çerçideresi Taşocağı Malzemesinin Beton ve Asfalt Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi”, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Sivas.

## **EKLER**

### EK 1. Dere Malzemesi Elek Analizi Sonuçları

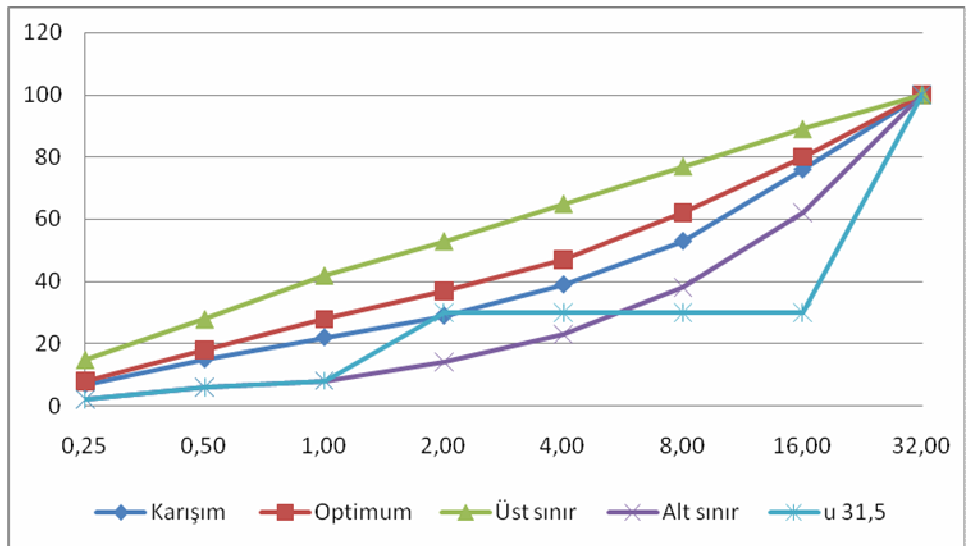
Agrega Tanımı	HAFİK DERE ( 0-4)mm			HAFİK DERE ( 0-8)mm			HAFİK DERE ( 8-16)mm			HAFİK DERE ( 16-32)mm		
	Kümülatif kalan(gr)	Kalan (%)	Geçen (%)	Kümülatif kalan(gr)	Kalan (%)	Geçen (%)	Kümülatif kalan(gr)	Kalan (%)	Geçen (%)	Kümülatif kalan(gr)	Kalan (%)	Geçen (%)
Etüv Kuru Ağırlığı	1000 gr			500 gr			1000 gr			1000 gr		
63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	-	-	100	-	-	100	-	-	100	0	0	100
16	-	-	100	-	-	100	0	0	100	985	98	2
8	0	0	100	0	0	100	982	98	2	15	2	0
4	397	40	60	66	13	87	18	2	0	0	0	-
2	206	21	40	70	14	73	0	0	-	-	-	-
1	123	12	27	78	16	57	-	-	-	-	-	-
0.5	69	7	21	100	20	37	-	-	-	-	-	-
0.25	47	5	16	128	26	12	-	-	-	-	-	-
0.63	158	16	0	58	12	0	-	-	-	-	-	-
<b>TOPLAM</b>	1000	100		500	100		1000	100		1000	100	

## EK 2. Dere Malzemesi Elek Analiz Granülometri Sonuçları

Elek Boyutları (mm)		63	32	16	8	4	2	1	0,5	0,25	
Numune Sınıfı	% Hacim	% GEÇEN ELEK AÇIKLIKLARI									
0-4 mm	25	100	100	100	100	60	40	27	21	16	
0-8 mm	27	100	100	100	100	87	73	57	37	12	
8-16 mm	23	100	100	100	2	0	0	0	0	0	
16-32 mm	25	100	100	2	0	0	0	0	0	0	

Elek Boyutları(mm)		100	32	16	8	4	2	1	0,5	0,25
KARIŞIM GRANÜLOMETRİSİ	Seri 1	100	100	76	53	39	29	22	15	7
OPTİMUM GRANÜLOMETRİ (B 31,5)	Seri 2	100	100	80	62	47	37	28	18	8
ÜST SINIR (C 31,5)	Seri 3	100	100	89	77	65	53	42	28	15
ALT SINIR (A 31,5)	Seri 4	100	100	62	38	23	14	8	6	2
U 31,5	Seri 5	100	100	30	30	30	30	8	6	2

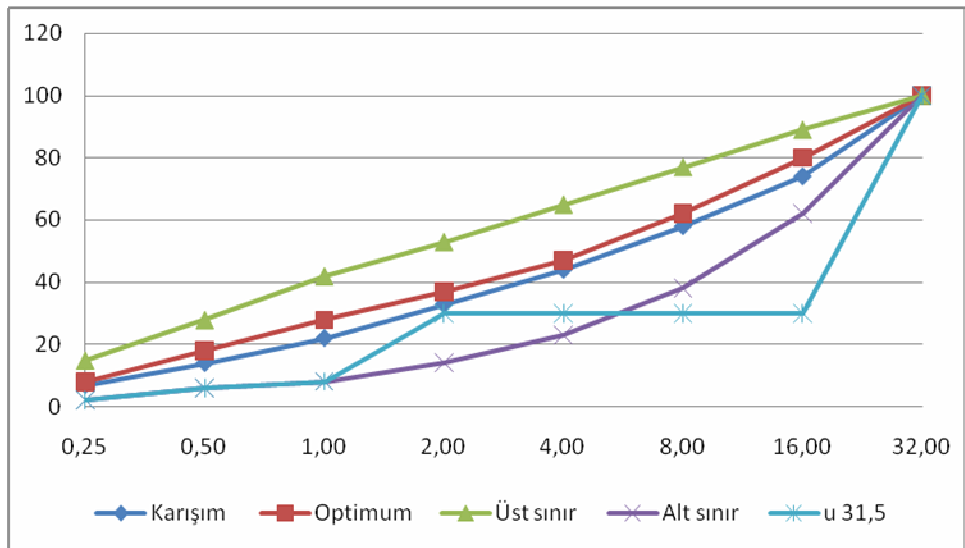


### EK 3. Kırmataş Ürünlerinin Elek Analizi Sonuçları

Agrega Tanımı	KABAKTEPE KIRMATAŞ ( 0-5)mm			HAFİK DERE ( 0-8)mm			KABAKTEPE KIRMATAŞ ( 5-15)mm			KABAKTEPE KIRMATAŞ ( 15-30)mm		
	Kümülatif kalan(gr)	Kalan (%)	Geçen (%)	Kümülatif kalan(gr)	Kalan (%)	Geçen (%)	Kümülatif kalan(gr)	Kalan (%)	Geçen (%)	Kümülatif kalan(gr)	Kalan (%)	Geçen (%)
Etüv Kuru Ağırlığı	1500 gr			500 gr			1500 gr			1500 gr		
63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	-	-	100	-	-	100	-	-	100	0	0	100
16	-	-	100	-	-	100	0	0	100	1454	97	3
8	0	0	100	0	0	100	995	60	40	45	3	0
4	100	10	90	66	13	87	475	38	2	1	-	-
2	308	31	59	70	14	73	30	-	0	-	-	-
1	298	30	29	78	16	57	-	-	-	-	-	-
0.5	76	8	22	100	20	37	-	-	-	-	-	-
0.25	54	5	16	128	26	12	-	-	-	-	-	-
0.63	164	16	0	58	12	0	-	-	-	-	-	-
<b>TOPLAM</b>	<b>1000</b>	<b>100</b>		<b>500</b>	<b>100</b>		<b>1500</b>	<b>98</b>		<b>1500</b>	<b>64</b>	

#### EK 4. Kırmataş Ürünleri Elek Analiz Granülometri Sonuçları

Elek Boyutları (mm)		63	32	16	8	4	2	1	0,5	0,25
Numune Sınıfı	% Hacim	% GEÇEN ELEK AÇIKLIKLARI								
0-5 mm	24	100	100	100	100	90	59	29	22	16
0-8 mm	26	100	100	100	100	87	73	57	37	12
5-15 mm	21	100	100	100	40	2	0	0	0	0
15-30 mm	29	100	100	3	0	0	0	0	0	0
Elek Boyutları (mm)		63	32	16	8	4	2	1	0,5	0,25
KARIŞIM GRANÜLOMETRİSİ	Seri 1	100	100	72	58	44	33	21	14	7
OPTİMUM GRANÜLOMETRİ (B 31,5)	Seri 2	100	100	80	62	47	37	28	18	8
ÜST SINIR (C 31,5)	Seri 3	100	100	89	77	65	53	42	28	15
ALT SINIR (A 31,5)	Seri 4	100	100	62	38	23	14	8	6	2
U 31,5	Seri 5	100	100	30	30	30	30	8	6	2



### EK 5. Dere Malzemesi İçin Karışım Raporu

Karışım No	300 Doz karışım 1	300 Doz karışım 2	325 Doz karışım 3	325 Doz karışım 4	375 Doz karışım 5	375 Doz karışım 6	400 Doz karışım 7	400 Doz karışım 8
Malzeme	C 12/15	C12/15	C 16/20	C 16/20	C20/25	C20/25	C25/30	C25/30
0-4 mm (kg)	545	505	576	518	457	466	458	447
0-8 mm (kg)	545	772	588	518	457	468	466	469
8-16 mm (kg)	369	229	276	374	401	423	362	342
16-32 mm (kg)	500	429	482	508	545	510	561	556
Çimento (kg)	300	290	310	325	370	375	400	400
Su (lt)	145	165	170	155	165	160	150	165
Katkı (lt)	2,1	2,3	2,2	2,3	2,6	2,6	3,2	3,3
Kümülatif Ağırlık (kg)	2402	2399	2407	2401	2397	2404	2400	2382

### EK 6. Kırmataş İçin Karışım Raporu

Karışım No	300 Doz karışım 1	300 Doz karışım 2	325 Doz karışım 3	325 Doz karışım 4	375 Doz karışım 5	375 Doz karışım 6	400 Doz karışım 7	400 Doz karışım 8
Malzeme	C 12/15	C 12/15	C 16/20	C 16/20	C20/25	C20/25	C25/30	C25/30
0-5 mm (kg)	510	583	493	500	453	485	460	447
0-8 mm (kg)	510	586	492	485	490	485	450	549
5-15 mm (kg)	330	275	345	345	421	340	335	292
15-30 mm (kg)	552	471	540	540	458	535	585	556
Çimento (kg)	255	290	290	295	360	365	340	380
Su (lt)	195	170	195	195	180	195	195	170
Katkı (lt)	2,1	2,1	2,4	2,3	3,00	2,6	3,00	3,8
Kümülatif Ağırlık (kg)	2354	2379	2357	2363	2365	2408	2368	2399



### EK 7. C12/15 İçin Dayanım Deney Sonuçları

Karakteristik Basınç Dayanım Deneyi Sonuçları						
C 12/15 Hafik Dere Malzemesi						
Gün	2. gün	7. gün	7. gün	28. gün	28. gün	28. gün
Ağırlığı (gr)	7980	7990	7990	8000	8030	8010
Mukavemet (kg/cm <sup>2</sup> )	111.91	159.82	158.48	217.71	221.88	215.84
Pres Basınç (ton)	25.18	35.96	35.66	48.98	49.92	48.56

Karakteristik Basınç Dayanım Deneyi Sonuçları						
C 12/15 Hafik Dere Malzemesi						
Gün	2. gün	7. gün	7. gün	28. gün	28. gün	28. gün
Ağırlığı (gr)	7980	7995	7990	8000	8030	8010
Mukavemet (kg/cm <sup>2</sup> )	100.07	154.09	156.13	218.46	214.50	216.85
Pres Basınç (ton)	22.52	34.67	35.12	49.15	48.26	48.79

**EK 7'nin Devamı**

Karakteristik Basınç Dayanım Deneyi Sonuçları						
C 12/15 Kabaktepe Kırmataşı						
Gün	2. gün	7. gün	7. gün	28. gün	28. gün	28. gün
Ağırlığı (gr)	8100	8120	8110	8130	8130	8150
Mukavemet (kg/cm <sup>2</sup> )	118.65	194.70	191.55	242.59	242.86	241.36
Pres Basınç (ton)	26.70	43.81	43.10	54.58	54.64	54.31

Karakteristik Basınç Dayanım Deneyi Sonuçları						
C 12/15 Kabaktepe Kırmataşı						
Gün	2. gün	7. gün	7. gün	28. gün	28. gün	28. gün
Ağırlığı (gr)	8100	8120	8110	8130	8130	8150
Mukavemet (kg/cm <sup>2</sup> )	94.96	168.83	182.69	249.00	248.29	244.80
Pres Basınç (ton)	21.95	37.99	40.17	56.02	55.87	55.08

### EK 8. C16/20 İçin Dayanım Deneyi Sonuçları

Karakteristik Basınç Dayanım Deneyi Sonuçları						
C 16/20 Hafik Dere Malzemesi						
Gün	2. gün	7. gün	7. gün	28. gün	28. gün	28. gün
Ağırlığı (gr)	8000	8035	8082	8090	8069	8113
Mukavemet (kg/cm <sup>2</sup> )	141.04	193.42	193.90	251.20	254.63	252.27
Pres Basınç (ton)	31.73	43.52	43.64	56.52	57.29	56.76

Karakteristik Basınç Dayanım Deneyi Sonuçları						
C 16/20 Hafik Dere Malzemesi						
Gün	2. gün	7. gün	7. gün	28. gün	28. gün	28. gün
Ağırlığı (gr)	8101	8120	8086	8138	8124	8130
Mukavemet (kg/cm <sup>2</sup> )	139.81	181.54	181.97	252.01	258.37	255.86
Pres Basınç (ton)	31.46	40.85	40.94	56.70	58.13	57.57

Karakteristik Basınç Dayanım Deneyi Sonuçları						
C 16/20 Hafik Dere Malzemesi						
Gün	2. gün	7. gün	7. gün	28. gün	28. gün	28. gün
Ağırlığı (gr)	8010	7950	7960	8025	8044	8032
Mukavemet (kg/cm <sup>2</sup> )	147.83	200.70	199.95	257.73	264.95	252.17
Pres Basınç (ton)	30.74	45.16	44.99	57.94	59.61	56.74

**EK 8'in Devamı**

Karakteristik Basınç Dayanım Deneyi Sonuçları						
C 16/20 Kabaktepe Kırmataşı						
Gün	2. gün	7. gün	28. gün	28. gün	28. gün	28. gün
Ağırlığı (gr)	8100	8085	8082	8117	8069	8113
Mukavemet (kg/cm <sup>2</sup> )	143.77	198.76	191.54	286.35	277.02	280.36
Pres Basınç (ton)	32.35	44.52	45.60	64.43	62.32	63.08

Karakteristik Basınç Dayanım Deneyi Sonuçları						
C 16/20 Kabaktepe Kırmataşı						
Gün	2. gün	7. gün	7. gün	28. gün	28. gün	28. gün
Ağırlığı (gr)	8110	7985	8003	8034	8040	8025
Mukavemet (kg/cm <sup>2</sup> )	147.83	202.65	196.74	289.15	278.69	283.23
Pres Basınç (ton)	30.74	45.60	44.27	65.06	62.70	59.61

Karakteristik Basınç Dayanım Deneyi Sonuçları						
C 16/20 Kabaktepe Kırmataşı						
Gün	2. gün	7. gün	7. gün	28. gün	28. gün	28. gün
Ağırlığı (gr)	8091	8125	8101	8138	8114	8102
Mukavemet (kg/cm <sup>2</sup> )	127.15	216.28	202.64	307.67	302.86	301.11
Pres Basınç (ton)	28.61	48.66	317.67	68.98	68.39	67.75

### EK 9. C20/25 İçin Dayanım Deneyi Sonuçları

Karakteristik Basınç Dayanım Deneyi Sonuçları						
C 20/25 Hafik Dere Malzemesi						
Gün	2. gün	7. gün	7. gün	28. gün	28. gün	28. gün
Ağırlığı (gr)	8160	8140	8160	8120	8110	8160
Mukavemet (kg/cm <sup>2</sup> )	186.78	234.46	193.71	295.17	294.10	297.07
Pres Basınç (ton)	42.03	52.75	52.58	66.41	66.17	66.84

Karakteristik Basınç Dayanım Deneyi Sonuçları						
C 20/25 Hafik Dere Malzemesi						
Gün	2. gün	7. gün	7. gün	28. gün	28. gün	28. gün
Ağırlığı (gr)	8048	8094	8075	8100	8078	8122
Mukavemet (kg/cm <sup>2</sup> )	180.32	242.14	230.25	305.64	304.44	307.59
Pres Basınç (ton)	40.57	54.48	51.13	68.76	68.49	69.20

Karakteristik Basınç Dayanım Deneyi Sonuçları						
C 20/25 Hafik Dere Malzemesi						
Gün	2. gün	7. gün	7. gün	28. gün	28. gün	28. gün
Ağırlığı (gr)	8100	8110	8150	8080	8076	8094
Mukavemet (kg/cm <sup>2</sup> )	152.59	194.76	189.42	302.70	310.36	308.48
Pres Basınç (ton)	34.33	43.32	42.43	68.10	69.85	69.95

**EK 9'un Devamı**

Karakteristik Basınç Dayanım Deneyi Sonuçları						
C 20/25 Kabaktepe Kırmataşı						
Gün	2. gün	7. gün	7. gün	28. gün	28. gün	28. gün
Ağırlığı (gr)	8095	8075	8110	8100	8116	8122
Mukavemet (kg/cm <sup>2</sup> )	180.32	253.09	248.85	329.75	330.80	336.09
Pres Basınç (ton)	40.57	56.94	55.13	74.19	75.68	75.62

Karakteristik Basınç Dayanım Deneyi Sonuçları						
C 20/25 Kabaktepe Kırmataşı						
Gün	2. gün	7. gün	7. gün	28. gün	28. gün	28. gün
Ağırlığı (gr)	8160	8140	8160	8120	8110	8160
Mukavemet (kg/cm <sup>2</sup> )	170.47	263.56	261.79	354.35	351.35	348.08
Pres Basınç (ton)	38.36	59.30	58.92	79.73	79.05	78.24

Karakteristik Basınç Dayanım Deneyi Sonuçları						
C 20/25 Kabaktepe Kırmataşı						
Gün	2. gün	7. gün	7. gün	28. gün	28. gün	28. gün
Ağırlığı (gr)	8100	8000	8000	8064	8060	8055
Mukavemet (kg/cm <sup>2</sup> )	222.04	292.99	292.09	337.86	345.46	343.10
Pres Basınç (ton)	49.96	65.92	65.72	76.02	77.73	77.18

### EK 10. C25/30 İçin Dayanım Deney Sonuçları

Karakteristik Basınç Dayanım Deneyi Sonuçları						
C 25/30 Hafik Dere Malzemesi						
Gün	2. gün	7. gün	7. gün	28. gün	28. gün	28. gün
Ağırlığı (gr)	7970	8119	8130	8110	8120	8100
Mukavemet (kg/cm <sup>2</sup> )	202.89	276.50	280.80	352.95	356.36	347.57
Pres Basınç (ton)	45.65	62.21	63.18	79.41	80.18	79.46

Karakteristik Basınç Dayanım Deneyi Sonuçları						
C 25/30 Hafik Dere Malzemesi						
Gün	2. gün	7. gün	7. gün	28. gün	28. gün	28. gün
Ağırlığı (gr)	8000	8090	8065	8100	8135	8112
Mukavemet (kg/cm <sup>2</sup> )	185.46	256.57	249.11	360.67	365.21	359.71
Pres Basınç (ton)	41.72	57.72	55.97	81.15	82.17	80.93

Karakteristik Basınç Dayanım Deneyi Sonuçları						
C 25/30 Hafik Dere Malzemesi						
Gün	2. gün	7. gün	7. gün	28. gün	28. gün	28. gün
Ağırlığı (gr)	8100	8094	8115	8122	8170	8130
Mukavemet (kg/cm <sup>2</sup> )	192.35	259.44	250.31	345.28	341.49	352.89
Pres Basınç (ton)	42.13	57.06	56.34	77.97	76.84	80.14

**EK 10'un Devamı**

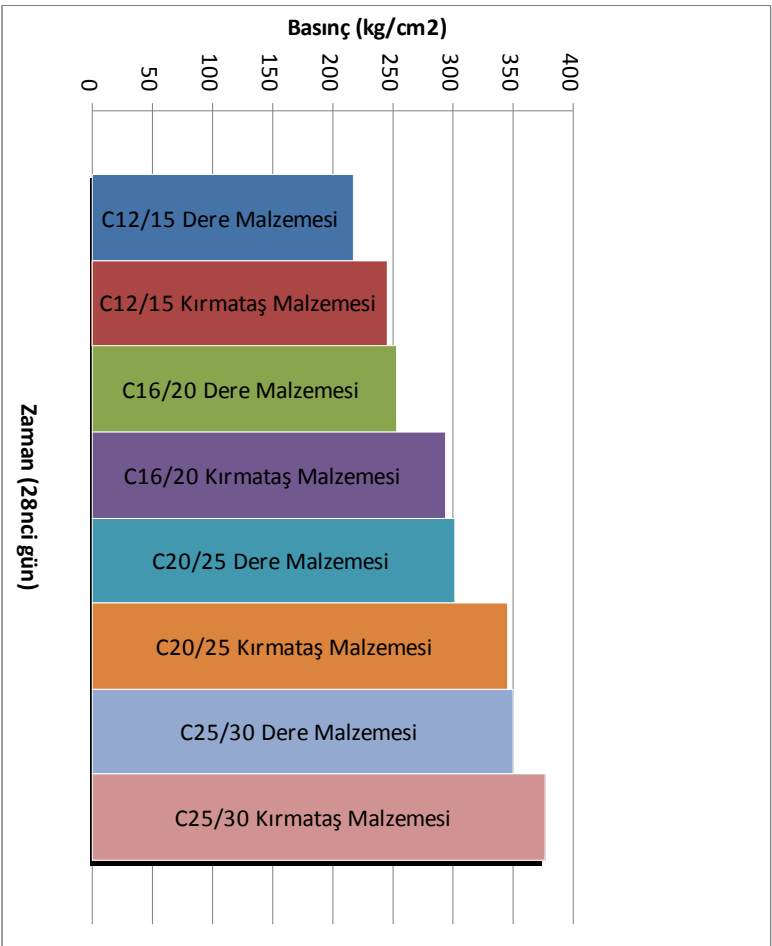
Karakteristik Basınç Dayanım Deneyi Sonuçları						
C 25/30 Kabaktepe Kırmataşı						
Gün	2. gün	7. gün	7. gün	28. gün	28. gün	28. gün
Ağırlığı (gr)	8100	8065	8050	8125	8094	8138
Mukavemet (kg/cm <sup>2</sup> )	195.99	292.03	293.40	372.01	374.63	372.56
Pres Basınç (ton)	44.10	65.71	66.01	83.70	84.29	83.83

Karakteristik Basınç Dayanım Deneyi Sonuçları						
C 25/30 Kabaktepe Kırmataşı						
Gün	2. gün	7. gün	7. gün	28. gün	28. gün	28. gün
Ağırlığı (gr)	8180	8165	8140	8120	8100	8166
Mukavemet (kg/cm <sup>2</sup> )	189.18	287.11	293.04	373.43	370.43	386.01
Pres Basınç (ton)	42.56	64.60	65.94	84.02	83.35	86.85

Karakteristik Basınç Dayanım Deneyi Sonuçları						
C 25/30 Kabaktepe Kırmataşı						
Gün	2. gün	7. gün	28. gün	28. gün	28. gün	28. gün
Ağırlığı (gr)	8170	8128	8136	8175	8146	8122
Mukavemet (kg/cm <sup>2</sup> )	186.45	276.40	293.40	376.82	381.41	375.40
Pres Basınç (ton)	41.95	62.19	48.45	84.78	85.82	84.46



**EK 11. 28 Günüük Ortalama Basıncı Dayanım Deneş Sonuçları**



### EK 12. Katkı Analiz Sonuçları (Chrysoplast 250 S)

	Ölçülen değerler	Standart değerler	Test metodu
Görünüm	Homojen	Homojen	Gözle
Renk	Kahverengi	Kahverengi	Gözle
Yoğunluk(gr/cm <sup>3</sup> )	1.165	1.160±0.01	ISO 758
Suda çözünebilir klor	≤%0.08	≤%0.10	EN480-10
Ph	7.70	8.00±1	ISO 4316
Katkı madde miktarı	34.64	35.50±1,5	EN 480-8
Etkin bileşen	Uygundur	Standart FT-IR Spektrumu	EN 480-6
Alkali miktarı	Uygundur	Üretici Beyanı	EN 480-12

**EK 13. Çimento Analiz Sonuçları (CEM 11/B-LL)**

Ölçüm Sonuçları	CEM I 42,5 R	CEM 11/B-LL
Çözünmeyen Kalıntı	0,88	5,14
MgO (%)	-	-
SO <sub>3</sub> (%)	2,84	2,56
K <sub>2</sub> O (%)	-	-
Kızdırma Kaybı (%)	3,70	11,05
Cl (%)	-	-
Serbest CaO (%)	0,91	0,52
C <sub>3</sub> A (%)	-	-
2C <sub>3</sub> A+C <sub>4</sub> AF (%)	-	-
Özgül Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	3,12	3,03
Özgül Yüzey (gr/cm <sup>3</sup> )	3330	4320
Su/Çimento Oranı (%)	26.6	27.3
Priz Başlangıcı (dakika)	175	185
Priz Sonu (dakika)	240	240
Hacim Genleşme (mm)	-	-
2 Günlük Basınç Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	26.6	16.3
7 Günlük Basınç Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	38.6	26.0
28 Günlük Basınç Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )		

## **ÖZGEÇMİŞ**

Nuray Söylemez, 1981 yılında Ankara'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Ankara'da tamamladı. 2000 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümünde başladığı lisans eğitimini 2004 yılında Maden Mühendisi olarak tamamladı. 2004 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı.