

ÇİMENTO DOZAJI VE AGREGA GRANÜLOMETRİSİNİN BETONUN
ÇARPMA DAYANIMI ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Bilge KÜDEN

Yüksek Lisans Tezi
Yapı Eğitimi Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Fahri ÖZKAN
AĞUSTOS-2011

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇİMENTO DOZAJI VE AGREGA GRANÜLOMETRİSİNİN BETONUN ÇARPMA
DAYANIMI ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bilge KÜDEN

091125107

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26 Ağustos 2011

Tezin Savunulduğu Tarih : 22 Eylül 2011

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Fahri ÖZKAN (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri : Yrd.Doç.Dr.Erdinç ARICI (F.Ü)

Yrd.Doç.Dr.Mehmet KARATAŞ (F.Ü)



AĞUSTOS-2011

ÖNSÖZ

Bu çalışmada bana her konuda yardımcı olan bilgileri ve tecrübeleri ile yol gösteren, danışman hocam Doç. Dr. Fahri ÖZKAN' a ve bilgisine her başvurduğumda sabırla yaklaşan, yardımını esirgemeyen Yapı Eğitimi Bölümü üyesi Yrd. Doç. Dr. Erdinç ARICFya teşekkürlerimi sunarım.

Benden desteklerini esirgemeyen, beni bugünlere getiren sevgili annem ve babama, canım aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmalarım esnasında beraber olduğumuz ve birbirimizden desteklerimizi esirgemediğimiz arkadaşım Esra TOPTAŞ'a teşekkür ederim.

Bilge KÜDEN

ELAZIĞ-2011

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	V
SUMMARY.....	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VII
TABLolar LİSTESİ.....	VIII
SEMBOLLER LİSTESİ.....	IX
1 . GİRİŞ.....	1
1.1 Beton.....	2
1.1.1 Taze Betondan Beklenen Özellikler.....	3
1.1.2 Sertleşmiş Betondan Beklenen Özellikler.....	4
1.2 Beton Bileşenleri.....	4
1.2.1 Çimento.....	4
1.2.1.1 Çimento Türleri.....	5
1.2.1.1.1 Portland Çimentoları.....	5
1.2.1.1.2 Diğer Çimentolar.....	6
1.2.1.2 Çimento Miktarının Basınç Dayanımına Etkisi.....	7
1.2.2. Agregalar.....	7
1.2.2.1 Agregaların Sınıflandırılması.....	9
1.2.2.1.1 Kaynaklarına Göre.....	9
1.2.2.1.2 Yoğunluklarına Göre.....	9
1.2.2.1.3 Tane Boyutlarına Göre Agregalar.....	9
1.2.2.1.4 Tane Şekline Göre Agregalar.....	10
1.2.2.1.5 Yüzey Dokusuna, Jeolojik ve Mineralojik Yapılarına Göre Agregalar.....	10
1.2.2.2 Agregaların Özellikleri.....	10
1.2.2.3 Agreganın Granülometrisi.....	11
1.2.2.4 Granülometri Eğrileri.....	12
1.2.2.4.1 Sürekli Granülometri Eğrileri.....	12
1.2.2.4.2 Kesik Granülometri Eğrisi.....	12
1.2.2.5 Agregada Bulunabilecek Zararlı Madde ve Taneler.....	15
1.2.2.6 Agreganın Granülometrisinin ve En Büyük Agreganın Çapının Basınç Dayanımına Etkisi.....	15
1.2.3 Karışım Suyu.....	16
1.2.4 Su/Çimento Oranı.....	17
1.3 Sertleşmiş Betonun Mekanik Özelliklerini Etkileyen Faktörler.....	17
1.3.1 Betonun Taşınması.....	17
1.3.2 Betonun Yerleştirilmesi.....	18
1.3.3 Betonun Sıkıştırılması.....	18
1.3.4 Beton Yüzeyinin Düzgünleştirilmesi.....	19
1.3.5 Yükleme hızı.....	19
1.3.6 Bakım (Betonun Kür Edilmesi).....	19
1.3.7 Betonun Yaşı.....	20
1.4 Betonun Dayanımı.....	20

1.4.1	Basınç Mukavemeti.....	20
1.4.1.1	Beton Kalitesinin Belirlenmesinde Basınç Mukavemetinin Kullanılması.....	24
1.4.1.2	Betonun Yerinde Denetiminin Amacı.....	24
1.4.2	Betonun Çekme Dayanımı ve Çekme Altında Deformasyon Özellikleri.....	25
1.4.2.1	Direk Çekme Dayanımı (Doğrudan Çekme).....	25
1.4.2.2	Yarma Dayanımı.....	26
1.4.2.3	Eğilmede Çekme Dayanımı.....	28
1.4.3	Kesme Dayanımı.....	29
1.4.4	Elastisite.....	29
1.4.5	Çarpma Dayanımı.....	31
1.4.5.1	Charpy Deney Metodu.....	33
2.	LİTERATÜR ÇALIŞMALARI.....	35
3.	MATERYAL VE METOT.....	40
3.1	Deney Numunelerin Hazırlanışı.....	40
3.1.1	Numune Kalıpları.....	42
3.1.2	Deneyde Kullanılan Agregalar.....	42
3.1.3	Deneyde Kullanılan Çimento.....	43
3.1.4	Karışım Suyu.....	43
3.2	Numunelere Uygulanan Deneyler.....	43
3.2.1	Basınç Dayanımı Deneyi.....	43
3.2.2	Eğilmede Çekme Deneyi.....	45
3.3.3	Çarpma Dayanımı Deneyi.....	47
4.	BULGULAR.....	49
4.1	Basınç Dayanımı.....	49
4.2	Eğilmede Çekme Dayanımı.....	50
4.3	Çarpma Dayanımı.....	51
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	53
	KAYNAKLAR.....	54
	ÖZGEÇMİŞ.....	57

ÖZET

Beton ve betonarme elemanlar kullanım yerlerine göre farklı etkilere maruz kalırlar. Bu etkilerden basınç ve çekme kuvvetlerine karşı betonun davranışı üzerine bir çok araştırma yapılmış olmasına karşın betonda çarpma dayanımı etkileri yeterince araştırılmamıştır.

Bu çalışmada agrega granülometrisi ve çimento dozajının betonun çarpma dayanımı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla dane çapı 16 mm olan agreganın üç farklı granülometrisi (A16, B16, C16) kullanılarak iki farklı çimento dozajında (300, 450 doz) olmak üzere toplam 6 seriden numune hazırlanmıştır.

Hazırlanan her serideki numunelerin basınç, eğilmede çekme ve çarpma dayanımlarının belirlenmesi için deneyler yapılmıştır.

Deneyler sonucunda, basınç, eğilmede çekme ve çarpma dayanım değerlerine bakıldığında numunelerde maksimum ve minimum dayanım değerlerini veren tek bir serinin oluşmadığı, bu değerlerin farklı serilerde olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Beton, Agrega Granülometrisi, Çimento Dozajı, Çarpma Dayanımı, Basınç Dayanımı

SUMMARY

Investigation of the Effect on Concrete's Impact Strength of Cement Dosage and Aggregate Granulometry

Concrete and reinforced concrete elements are exposed to different effects according to place of use. A lot of researches have been done for some of these effects like the behaviors of concrete against the compressive and tensile forces but the effect of impact resistance has not been investigated sufficiently.

in this study, it was investigated the effect on impact strength of the dosage of cement and concrete aggregate grading. For this purpose, totally 6 series of samples were prepared with using three different grading of the aggregate with grain diameter 16 mm (A1 6, B16, C16) in two different cement dosage (300, 450 doses),

There were some experiments for determining the compressive strength, strength of flexural and impact for the prepared samples.

As a result of the experiments, it didn't occur a single series which is given the maximum and minimum values due to the pressure, impact resistance and flexural strength of, these values were in the different series.

Keywords: Concrete, Aggregate grading, Cement content, Impact resistance, Compressive strength

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Maksimum tane büyüklüğü 8,0 mm olan karışık agrega granülometri eğrileri.....	13
Şekil 1.2. Maksimum tane büyüklüğü 16 mm olan karışık agrega granülometri eğrileri.....	13
Şekil 1.3 Maksimum tane büyüklüğü 32 mm olan karışık agrega granülometri eğrileri.....	14
Şekil 1.4 Maksimum tane büyüklüğü 63 mm olan karışık agrega granülometri eğrileri.....	14
Şekil 1.5 Prof. H Rüsch tarafından yapılan basit çekme deneyi.....	25
Şekil 1.6. Beton Çekme Deney Elemanları.....	26
Şekil 1.7. Yarmada Çekme Dayanımı.....	27
Şekil 1.8. Eğilmede Çekme Deneyi.....	28
Şekil 1.9. Çarpma dayanımı charpy deney düzeneği.....	33
Şekil 3.1. Deneyde kullanılan kalıplar.....	42
Şekil 3.2. Kür koşulları.....	44
Şekil 3.3. Basınç dayanımı deney düzeneği.....	44
Şekil 3.4. Basınç dayanımı deneyi sonucunda numunenin kırılma şekli.....	45
Şekil 3.5. Eğilme yükü altında kırılma deney aleti ve deney numunesi.....	46
Şekil 3.6. Numunenin kırılma şekli.....	46
Şekil 3.7. Charpy deney düzeneği ve numunenin yerleştirilmesi.....	47
Şekil 4.1. Doz değişimine göre serilerin ortalama basınç dayanımları.....	49
Şekil 4.2. Serilerin ortalama eğilmede çekme dayanımı grafiği.....	50
Şekil 4.3. Serilerin ortalama çarpma dayanımı değerleri (Çort).....	51
Şekil 4.4. Serilerin (qort) değerleri.....	52

TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Beton Sınıfları Dayanımları.....	21
Tablo 1.2. Zamana Bağlı Olarak Basınç Dayanımı Artış Oranları.....	22
Tablo 1.3. Yüksekliğin Kesit Boyutuna Oranının, Dayanıma Etkisi.....	23
Tablo 1.4. Deney Türüne Göre Betonun Çekme Dayanımı.....	27
Tablo 2.1. Deneysel çalışmada kullanılan agregaların fiziksel özellikleri.....	39
Tablo 3.1. Karışıma giren malzeme miktarları 300 doz.....	40
Tablo 3.2. Karışıma giren malzeme miktarları 450 doz.....	41
Tablo 3.3. Seri Adları.....	41
Tablo 3.4. Karışıma giren agregaların fiziksel özellikleri.....	42
Tablo 3.5. PKÇ 42.5 R Tipi çimentonun fiziksel ve kimyasal analizleri.....	43
Tablo 4.1. a_{ort} değerleri.....	49
Tablo 4.2. Serilerin ortalama eğilmede çekme dayanımları.....	50
Tablo 4.3. Serilerin ortalama çarpma dayanımı değerleri.....	51
Tablo 4.4. Deneysel verilerin genel sonuçları.....	53

SEMBOLLER LİSTESİ

a	: Küp numunenin bir kenar uzunluğu (mm)
A	: Numunenin kesit alanı (mm ²)
B	: Kiriş kesitinin eni (mm)
C	: d/2 (mm)
Ç	: Çarpma dayanımı (N/mm)
D	: Kiriş kesitinin yüksekliği (mm)
E_{cj}	: j günlük betonun elastisite modülüdür.
f_{cj}	: j günlük betonun silindir basınç dayanımıdır.
f_{cm}	: Betonun basınç dayanımı
f_{ct}	: Betonun çekme dayanımı (eğilme,yarma) (MPa)
f_{ct s}	: Silindir yarma çekme dayanımı
f_e	: Eğilme dayanımı
f_k	: Kesme dayanımı
f_{yç}	: Yarmada çekme dayanımı
G	: Tokmağın ağırlığı (N)
h	: Son yükseklik (mm)
h₀	: İlk yükseklik (mm)
h₁	: Sarkacın ağırlık merkezinin çıkış yüksekliği (mm)
I	: Atalet momenti (mm ⁴)
L	: Numunenin boyu (mm)
M	: Maksimum moment (N.mm)
P	: Beton yüzey alanına uygulanan eksenel kuvvet (N)
P	: Yarılma yükü

U : Numunenin kırılmadaki potansiyel enerjisi (N.mm)

α : Düşme açısı (derece)

β : Yükselme açısı (derece)

ϵ_e : Eksenel birim deformasyonu

ϵ_y : Yanal birim deformasyonu

μ : Poisson oranı

σ (σ_{ort}) : Basınç Dayanımı (MPa)

1. GİRİŞ

Beton, inşaat sektöründe kullanılan en önemli yapı malzemesi olma özelliğini korumaktadır. Çok geniş kullanım alanına sahip olan beton; betonarme yapıların taşıyıcı sistemlerinde (temel, kolon, perde, kiriş, döşeme vb.), yollarda, sulama kanalı kaplamalarında, köprülerde, barajlarda, limanlarda, hava alanlarında ve nükleer tesisler gibi daha birçok farklı yer altı ve yer üstü yapılarında kullanılmaktadır. Bütün bu farklı kullanım alanları için betonun istenilen dayanım özelliklerini göstermesi teknik özelliklerinin geliştirilmesi, yüksek kalite ve mukavemet sınıflarında üretilmesi gerekir. Bu kalitenin elde edilebilmesi için betonun hazırlanması ve yerleştirilmesi işlemlerinde standartlara tam olarak uyulması gerekmektedir.

Beton; çimento, agrega, su ve gerektiğinde katkı maddesinin belirli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen, kompozit bir malzemedir. Beton, sağlamlığı, çevre koşullarına dayanıklılığı, yangına karşı direnci, kolay şekil alabilmesi ve kolay temin edilmesi ile ekonomik olma özelliklerinden dolayı tercih edilen bir yapı malzemesidir.

Betonun istenilen dayanım özelliklerini göstermesi, standartlara uygun olarak üretilmesi, taşınması, ayrışmadan boşluğu en az olacak şekilde sıkıştırılıp, yerleştirilmesine ve sertleştikten sonra çeşitli fiziksel ve kimyasal etkilere karşı dayanıklılığını sağlaması için gerekli bakım ve kür şartlarının sağlanmasına bağlıdır. Betondan beklenen özellikler, taze halde işlenebilme, sertleşmiş halde iken mekanik dayanım ve dış koşullara karşı dayanıklılıktır.

Mekanik, fiziksel ve kimyasal iç yapısında zaman içerisinde meydana gelecek şekil değişikliklerinin belirli değerleri aşmaması gerekir. Betonun mukavemet ve dayanıklılığını etkileyen en önemli faktörler; betonda kullanılan agrega türü, çimento türü ve miktarı, karışım suyu, su/çimento oranı, kimyasal ve mineral katkı maddeleridir. Betonun kullanım ömrü boyunca uzun yıllar istenilen dayanım ve dayanıklılığı göstermesi için, yapının maruz kalacağı çevresel ve kimyasal etkiler iyi belirlenmeli ve yapısal tasarım, malzeme dayanımları göz önünde bulundurularak durabilite kriterlerine göre yapılmalıdır.

Betondan beklenen dayanım özellikleri, taze betonun özelliklerine bağlıdır. Bu nedenle beton hazırlanırken su/çimento oranının mümkün olduğunca düşük olması, agrega karışım oranlarının ve granülometrisinin düzenlenmesi ile sağlanabilir.

Betonun üzerine değişik yönlerden uygulanan yükler, değişik etkilere sebep olabilmektedir. Basınç, çekme, eğilme ve kayma etkisi yaratacak yükler altında beton şekil değiştirmeye ve kırılmaya karşı mukavemet gösterebilmelidir. Betonun kullanılacağı yapının tasarımı yapılırken, betonun üzerine gelebilecek değişik türdeki yüklerin büyüklükleri göz önünde tutulmakta ve üretilecek betonun mekaniksel özelliklerinin bu yüklerle karşı yeterli dayanım göstereceği varsayılmaktadır. Üretilecek betondaki dayanım değerlerinin, tasarım hesaplarında kullanılmış olan değerlerden daha az olmaması gerekmektedir [1].

Beton ve betonarme yapı elemanları kullanım yerlerine bağlı olarak önemli ölçüde çarpma etkisi altında kalabilirler. Hava alanları, yollar, genel amaçlı döşeme kaplamaları, kazık ve palplanş başlıkları çarpma tesiri altında kalabilmektedir. Betonun yeterli çarpma dayanımına sahip olmaması halinde bu gibi yapılar ve betonarme elemanlar işlevlerini göremez hale gelirler veya faydalı ömürleri kısılır. Bir malzeme üzerinde çarpma etkisi, yüzeyine bir cismin belirli yükseklikten düşmesi ile olabileceği gibi, aniden uygulanan kuvvetler şeklinde de olabilir. Çarpma sonucunda bir cisimde gerilmeler çok kısa sürede büyük değerlere ulaşabilmekte, gerilme ve deformasyonların irdelemesi karmaşık ve zor hale gelebilmektedir [2].

1.1.Beton

Beton; çimento, agrega, su ve gerektiğinde bir katkı maddesini belirli oranlarda bir araya getirerek elde edilmiş bir karışımı, istenilen şekil ve boyutta kalıplar içine boşluksuz olarak yerleştirerek ve uygun bakım koşulları altında sertleştirmek yolu ile elde edilen önemli bir kompozit yapı malzemesidir.

Çimento, su, agrega ve gerektiğinde katkı maddelerinin bir araya getirilmesiyle oluşan betonda, çimento ve suyun birleşmesiyle oluşan "çimento hamuru" bağlayıcılık görevi yapmaktadır. Çimento hamuru, kum-çakıl gibi binlerce agrega tanesinin yüzeyini kaplamakta, taneler arasındaki boşlukları doldurmakta ve beton kütesini oluşturan malzemelerin bir bütün olarak bir arada olmasını sağlamaktadır.

Çimento ve suyun bir araya getirilmeleriyle elde edilen çimento hamuru, başlangıçta, plastik bir yapıya sahiptir ve bu iki malzemenin birleştiği andan itibaren aralarında hidrasyon (çimento ve su arasındaki kimyasal reaksiyonlar) başlamaktadır.

Hidratasyonun devam etmesiyle başlangıçta plastik yapıya sahip olan çimento hamuru giderek plastikliğini kaybetmekte, zamanla katılaşp sert bir malzeme durumunu almaktadır [3].

Çimentonun, suyun, agreganın ve gerektiğinde katkı maddelerinin birlikte karılması sonucunda elde edilen beton karışımı, şekil verilebilir, plastik bir karışımdır. Ancak çimento ve suyun birleştiği anda başlayan hidratasyon devam ettikçe beton, giderek daha katı bir durum almakta ve bir süre sonra şekil verilemez olmaktadır [1].

1.1.1. Taze Betondan Beklenen Özellikler

İyi bir beton taze halde iken; kolay taşınabilmeli, yerleştirilebilmeli, sıkıştırılabilmeli ve bu işlemler sırasında agrega taneleri ayrışmamalıdır. Sertleşmiş halde ise betonun mekanik mukavemeti yeterince yüksek olmalıdır. Bunlarla birlikte hava etkisine, kimyasal etkilere ve aşınma etkisine karşı dayanıklı olmalıdır. Ayrıca ekonomik olmalı; malzeme, üretim, döküm, kalıplama, bakım masrafları az olmalıdır [4].

Betoniyerden veya mikserden çıkan taze betonun, taşıma ve kalıba yerleştirme sırasında kohezyonunu ve homojenliğini kaybetmemesi ve kalıplarda kolaylıkla yayılarak mümkün olduğu kadar az boşluk bırakarak elemanları doldurma özelliklerinin hepsine birden işlenebilme özelliği denir.

Betonun işlenebilme özelliği, homojenliğinin korunması, boşluksuz yerleştirme ve kıvam kavramlarını içermektedir. İşlenebilirlik ise, betonun ayrışmadan yerleştirilip sıkıştırılarak istenen görünüşe sahip olabilmesidir.

Betonun işlenebilme özelliği ile kıvamın karıştırılmaması gerekir. Kıvam betonun akıcılığı (plastikliği) ile veya kendi ağırlığı altında hareket etme kabiliyeti ile ilgili bir özelliktir. Bu özelliğe en önemli etkiyi su yapmaktadır. Bazı katkılar, betona plastikleştirici özellik kazandırır. Akışkanlaştırıcı; çimento hamuru, harç veya beton karışımının plastikliğini artıran malzemedir. Betonun plastisitesi ise, yeni karıştırılmış betonun veya harcın deformasyona karşı direncini ve kalıplanabilme şartlarını belirleyen özelliğidir.

Taze betonun kıvamı, yalnız ilave edilen su miktarının bir fonksiyonu değil, aynı zamanda uygun bir kıvamın elde edilmesi için su ihtiyacını tayin eden agreganın tane şekli ve granülometrisinin de bir fonksiyonudur. Agreganın gradasyonu, en büyük tane boyutu, tane şekli, tanelerin yüzey pürüzlülüğü, taze betonda işlenebilmeyi önemli ölçüde etkiler. Beton kıvamında yuvarlak ve granülometrisi düzgün agreganın karışım suyu ihtiyacı, köşeli ve granülometrisi iyi olmayan agregadan daha azdır [5].

1.1.2. Sertleşmiş Betondan Beklenen Özellikler

Sertleşmiş beton, 7 günlük, 28 günlük, 90 günlük gibi herhangi bir yaş için hedeflenmiş olan minimum beton dayanımından daha az bir dayanım göstermemelidir. Betonun zaman içerisinde çevreden maruz kalabileceği etkenler karşısındaki dayanıklılığına durabilite denir. Bu servis süresince çevrede oluşan yıpratıcı etkenler karşısında yeterince dayanıklı olmalıdır. Donma-çözölmeye, ıslanma-kurumaya, ısınma-soğumaya, aşınmaya, asitlere, sülfatlara ve alkali-agrega reaksiyonu gibi kimyasal reaksiyonlara karşı dayanıklılık gösterecek kalitede olmalıdır.

Basınç dayanım, eğilme dayanımı, çekme dayanımı, tekrarlı yükler altında yorulma dayanımı, gerilme-birim deformasyon ilişkisi, elastik modölü, poisson oranı, ısısal genleşme katsayısı, yoğunluk, betonun zamana bağılı olarak göstereceği büzölme (rötre) ve sabit yükler altında sünme, betonda aranan önemli özelliklerdir [1].

1.2. Beton Bileşenleri

1.2.1. Çimento

Çimento, kalker ve kil karışımının yüksek sıcaklıkta pişirildikten sonra öğütölmesinden elde edilen bağlayıcı bir malzemedir. Çimento su ile karıştırılıp bir hamur haline getirildikten bir süre sonra katılaşıarak taşlaşmaya başlamasına priz süresi denir. Normal koşullar altında katılama 1 ile 10 saatte gerçekleşir. Aşırı olmamak koşulu ile artan sıcaklık altında katılama hızlanır. Katılama ile birlikte "sertleşme" olarak tanımlanan, betonun dayanım kazanma olayı başlar. Dayanım zamanla artar ve çimento hamurunun tam dayanıma ulaşması uzun bir süre alır [6].

Çimentonun sertleşmesi görünüşte fiziksel bir olay olsa da betonda meydana gelen kimyasal bir reaksiyona hidratasyon denir. Çimentoyu oluşturan bileşik maddelerin her birinin su ile kimyasal olarak reaksiyona girmesine hidratasyon olayı, bu olay sonucu açığa çıkan ısı toplamına da "**Hidratasyon ısısı**" adı verilir.

Beton dökümlerinde ısı yükseldikçe iç sıcaklık artar. Baraj vs. gibi kütle betonu dökümlerinde, dökümden sonra ilerleyen zaman içinde soğuma ile birlikte betonda hacim küçölmesi olur. Ayrıca yüksek ısı ile hava kabarcıkları çıkar. Termik rötre ismi verilen bu olaylar çatlamalara neden olur. Hidratasyon ısısı çimentonun kimyasal yapısı kadar inceliğine su/çimento oranına da bağılıdır. C_3A , C_3S oranı yüksek portland çimentolarında hidratasyon ısısı da yüksektir [6].

1.2.1.1. Çimento Türleri

1.2.1.1.1. Portland Çimentoları

a) Normal Portland Çimentosu: Klinkerin %3-5 alçı taşı ile birlikte öğütülmesiyle elde edilen katkısız çimentolardır. Klinker kompozisyonu ve çimento inceliği üzerinde durarak PÇ 42.5 ve PÇ 52.5 üretilir.

Portland çimentosu belirli oranlardaki kalkertaşı (CaO) ve kilin (SiO_2 ve Al_2O_3) karıştırılıp pişirilmesinden sonra, klinkerde öğütülmesi ile elde edilir. Çimentonun sertleşmesini geciktirmek için klinkerin %3-5 alçı taşı ile birlikte öğütülmesiyle elde edilen katkısız çimentolardır [1].

Portland çimentosu pişme esnasında 4 ana bileşen teşekkül eder:

- Triklasyum silikat, $3 \text{CaO} - \text{SiO}_2 = \text{C}_3\text{S}$ (Alit)
- Dikalsiyum silikat, $2\text{CaO} - \text{SiO}_2 = \text{C}_2\text{S}$ (Belit)
- Tetrakalsiyum alümine ferit, $4\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{C}_4\text{AF}$ (Felit)
- Trikalsiyum alüminat, $3\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 = \text{C}_3\text{A}$ (Celit)

Çimentoların ilk günlerdeki dayanımı sıra ile C_3A ve C_3S sağlar. Hidratasyon ısıları fazla olduğundan bu tür çimentoların baraj inşaatı gibi kütle inşaatlarında kullanılması iç gerilmeler yapması nedeniyle sakıncalıdır, çabuk dayanım almasını istediğimiz yerlerde C_3A ve C_3S yüzdesi fazla olan çimentolar kullanılır.

Çimento içindeki C_2S oranı yüksek, C_3S oranı düşük olursa betonun mukavemet kazanması daha az ve çimentonun kimyasal reaksiyon sonucu çıkardığı hidratasyon ısıları daha azdır [7].

Bunlardan kalsiyum silikat ve tri kalsiyum bi silikat priz yapmamaları nedeni ile çimento bakımından önemli değildir. C_3S çimentonun prizini çabuklaştırması ve hızlı dayanım kazanmasına neden olduğundan önemlidir. C_2S ise çimentonun yavaş sertleşip, bir haftadan sonra dayanım kazanmasına neden olur. C_3A çimentonun yavaş fakat sürekli dayanım kazanmasına, CA ise su ile enerjik ve hızlı bir reaksiyon yaparak katılaşmasına ve hızlı dayanım kazanmasına sebep olur [7].

Çimentolarda az miktarda MgO ile K_2O ve NaO_2 gibi alkali oksitler bulunabilir. Bu maddeler çok az bir miktarda bulunmasına rağmen bazı hallerde çimentonun kullanılmasını imkansız hale getirebilirler. Çimentoda ayrıca öğütülmeden önce katılmış olan jipsten dolayı az miktarda SO_3 mevcuttur. Aynı zamanda kil ve kalker karışımında da az miktarda SO_3 bulunabilir.

Çimentoda ki SO_3 miktarı küçük bir değer de olmakla beraber bunun varlığı bazı hallerde çimentonun kullanılmasında önemli zararlar meydana getirebilir [7].

b) Katkılı Portland Çimentosu: Klinkere alçı taşı ve en fazla %19 oranında puzolonik madde katılarak üretilen çimentodur.

1.2.1.1.2. Diğer Çimentolar

a)Traslı çimento: Klinkere alçı taşı ve %20-40 arasında TS 25 'e uygun tras katılarak öğütülen çimentodur [8].

b)Beyaz Portland Çimentosu: Kil yerine Fe_2O_3 oranı çok düşük kaolin (arıkil) kullanılarak üretilmiş olan özel klinkerin alçı taşı ile birlikte öğütülmesiyle elde edilen beyaz renkli bir portland çimentosudur.

c) Uçucu küllü Çimento: Ağırlıkça karşılıklı olarak % 10-30 uçucu kül (TS 639 uygun) %90-70 oranda klinker ve alçı taşı ile öğütülerek elde edilir [9].

d) Yüksek Fırın Cüruf Çimentoları: Demir çelik fabrikalarında demir çelik üretimi yapılan yüksek fırınlarında oluşan cürufun değerlendirilmesi ile elde edilir. Bu çimentolarda ani soğutulmuş granüle hale getirilmiş bazik yüksek fırın cürufu kullanılır. %85-31 kısım cüruf karşılıklı %15-69 kısım klinker ve alçı taşı ile öğütülerek elde edilen cürufu çimentolardır.

e) Süper Sülfat Çimentosu: Ani soğutulmuş bazik granüle yüksek fırın cürufu ile içinde en az %5 SO_3 bulunacak şekilde kalsiyum sülfatın katalizör olarak da az miktarda Portland klinkeri ya da Portland çimentosu ile öğütülmesi ile elde edilen çimentodur.

d) Sülfatlara Dayanıklı Çimento: C_3A miktarı en çok %5 olan klinkerin alçı taşı ile öğütülmesi ile elde edilen çimentodur.

e) Erken Dayanımı Yüksek Çimento: Özel olarak üretilmiş klinkerin alçı taşı ile birlikte ince öğütülmesi ile elde edilen çimentolardır.

2 günde $30 N/mm^2$

7 günde $40 N/mm^2$

28 günde $52.5 N/mm^2$ dayanım kazanırlar.

f) Yüksek Performanslı Çimento: Ani soğutulmuş bazik granüle yüksek fırın cürufu, mikro silis alçı ve klinkerin beraber öğütülmesi ile elde edilen çimentolardır. Yüksek beton performansı beklenen yerlerde özellikle bu tür çimentonun kullanılması tavsiye edilir.

1.2.1.2. Çimento Miktarının Basınç Dayanımına Etkisi

Çimento, karışımda su ile bağlayıcı hamur oluşturarak agrega taneciklerini birbirine bağlayan malzemedir. Bir beton kütlesi, çimento, su ve havadan oluşan bağlayıcı hamur ile agreganın iç içe girmesinden oluşmaktadır. Beton kütlesindeki agrega taneciklerinin yeterli sağlamlıkta (dayanımda) oldukları varsayılırsa, bağlayıcı hamurun agrega tanecikleri arasındaki boşlukları doldurucu yeterlilikte ve sağlamlılıkta olmasının betonun dayanımı üzerindeki etkisi ortaya çıkar. Nitekim, basınç altındaki beton kütlesi en zayıf yeri olan bağlayıcı hamurundan kırılmaktadır ki, bağlayıcı hamurun güçlendirilmesi doğrudan betonun güçlendirilmesidir. Bağlayıcı hamurun yeterliliğinin ve sağlamlılığının diğer faktörlerin yanı sıra önemli ölçüde içindeki çimento miktarına bağlı olduğu bilindiğine göre, belli bir kritik değere kadar betonun içerisinde çimento miktarı arttıkça betonun dayanımı da artacaktır [10].

1 m³ sıkıştırılmış karışım içerisinde bulunması gereken en az çimento miktarı, (dozaj) yapılacak betonun türü ve kullanım amacı, agregası, su çimento oranı, kıvamı gibi birçok faktöre bağlı olarak büyük değişiklikler gösterir [11].

$$M_{\text{ç}} = \frac{550}{\sqrt{D}} \quad (1.1)$$

$M_{\text{ç}}$ = 1 m³ sıkıştırılmış karışım için en az çimento miktarı, kg

D = En büyük agrega çapı, mm.

1.2.2. Agregalar

Agrega, beton yapımında çimento ve su karışımından oluşan bağlayıcı madde yardımı ile bir araya getirilen organik olmayan, kum, çakıl, kırma taş gibi doğal kaynaklı veya yüksek fırın cürufu, genleştirilmiş perlit, genleştirilmiş kil gibi yapay kaynaklı olan taneli bir malzemedir [12].

İyi bir beton üretimi için agregalarda bulunması gereken şartlar şunlardır. Agreganın tane dağılımı (granülometrik bileşim) TS 706'nın [13] gereklerini yerine getirmeli, boşluksuz bir beton karışımı elde edilmesine elverişli olmalıdır. Tane şekli kübik, şekilce kusurlu (yassı ve uzun) taneler içermemelidir. Tane dayanımı, istenen özellikte bir betonun yapımı için yeterli olmalıdır. Sert, dayanıklı ve boşluksuz, aşınmaya dayanımlı olmalıdır. Sık sık donma-çözülme etkisinde kalan betonlar için kullanılan agrega, dona dayanıklı olmalıdır. Kil, şilt, mil ve toz gibi beton dayanımını ve aderansı

olumsuz etkileyen zararlı maddeler ile organik kökenli ve hafif maddeler içermemelidir. Beton ve betonarmenin durabilitesini olumsuz yönde etkilememelidir. Agregalar sertleşmiş betonda zararlı hacim artışına ve bu nedenle tahribata neden olabilen sülfatlar, donatı korozyonuna neden olabilecek bazı tuzlar ve klorür içermemelidir. Betonda alkali silika reaksiyonuna neden olabilecek aktif silisleri içermemelidir.

Tüm taneli, mineral malzemeye beton agregası denilmez. Agregatane boyutları beton agregasının sınırlarını belirler. Tane boyutları elekler vasıtası ile tanımlanır. Bu elekler kare şekilli, örgü telli olurlar. Karelerin kenar uzunlukları, elek no'su, elek göz boyutu, elek açıklığı adları ile tanımlanır. Bir agregatanesinin geçebildiği en küçük eleğin kenar uzunluğu o tanenin çapı olarak tanımlanır.

TS 706'da kabul edilen elek sistemi 31,5 mm, 16 mm, 8 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0,5 mm ve 0,25 mm göz açıklıklı elek takımıdır. Elekler birbirlerinin iki katı olarak artmaktadır. Beton agregaları bazen 63 mm'ye kadar taneler içerebilir. Bunlar kütle ve yol betonlarında kullanılmaktadır. 60 mikron ve 4 mm arasındaki agregaya ince agregat(kum), 4 mm-31,5 mm arasındaki agregaya iri agregatveya çakıl denilmektedir. 31,5 mm -63 mm arasındaki agregaya ise balast denilmektedir.

İnce ve iri agregakarışımı karışık agregatolarak adlandırılır. Karışık agregadoğal karışık agregat, hazır karışık agregatve yerinde karışık agregatolarak gruplandırılır. Beton agregaları yuvarlak, köşesiz olabilir. Dere yataklarından elde edilen agregalar böyledir. Bazı yörelerde doğaltagrega bulunmaz. Bu nedenle büyük taşlar konkasörlerle kırılarak köşeli agregalar elde edilir. Bunlara mıcır veya kırma taş adı verilir. 1 no'lu kırma taşlar ince agregatveya (kırma kum), 2 ve 3 no'lu mıcırlar ise iri agregalardır. Silt'e karşılık gelen kırma malzemeye taş unu veya filler denilir. Betonlarda şilt veya fillerin bazı durumlarda %5 oranında bulunmasına müsaade edilebilir, ancak kilin kesinlikle bulunmaması gerekir.

Kırma taş (mıcır) köşeli olduklarından beton bünyesinde fazla boşluğa neden olurlar. Bu ise daha fazla çimentonun kullanılmasına sebep olur. Bununla beraber betonun işlenebilirliğini azaltarak yerleşmesinde problem çıkarabilir.

Agregalar genel olarak, elde ediliş şekillerine, birim ağırlıklarına, boyutlarına, tane şekline, yüzey dokusuna, kaynaklarına, jeolojik ve mineralojik yapılarına göre sınıflandırılabilir.

1.2.2.1. Agregaların Sınıflandırılması

1.2.2.1.1. Kaynaklarına Göre

Kaynaklarına göre agregalar, doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılır.

- a) Doğal agreg:** Taş ocaklarından, nehirlerden, denizlerden, teraslardan ve göllerden elde edilen kırılmış veya kırılmamış yoğun yapıli agregadır. Taneler genellikle yuvarlaktır.
- b) Yapay agreg:** Yapay agregaların bir diğeri adı da sanayi ürünü agregalarıdır. İkinci bir işlem sonucu beton yapımında kullanılır hale getirilebilir. Bunlar yüksek fırın cürufu, uçucu kül veya yüksek fırın cürufu kumu sanayi ürünü olan kırılmış veya kırılmamış yoğun yapıli agregalardır. Genel olarak yapay agregalar gözenekli bir yapıya sahip olduklarından ses ve ısı yalıtımı ile hacimleri bölme amacıyla üretilen betonlarda kullanılır.

1.2.2.1.2. Yoğunluklarına Göre

- a) Hafif Agregalar:** Doğal hafif agregalar ve Yapay hafif agregalar olmak üzere ikiye ayrılırlar. Betonun birim ağırlığını azaltmak, betona ses ve ısı yalıtım özelliğı kazandırmak için kullanılan agregalardır. Genellikle gözenekli bir yapıya sahiptirler, su emmeleri ve boşluk oranları yüksektir. Basınç, çarpma ve aşımaya dayanımı oldukça düşüktür. Birim ağırlıkları 2000 kg/m^3 'den küçük olan agregalardır. Doğadan doğrudan elde edilebildiğı gibi dolaylı olarak da elde edilmeleri mümkündür. Bu agregalar sünger taşı (ponza, bims), volkan türleri, diatomit, yüksek fırın cürufu, hızar talaşı, rende talaşı ve genleştirilmiş kil, perlit, şist vb. isimler altında sıralanmaktadır.
- b) Normal Agregalar:** Özgöl ağırlıkları $2-3 \text{ gr/cm}^3$ olan, ortalama $2,6 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluğunda, kum, çakıl, kırmataş gibi malzemelerdir.
- c) Ağır Agregalar:** Bunlar ağır beton elde etmek için kullanılır. Birim ağırlıkları 3200 kg/m^3 den büyüktür. Genel olarak nükleer santral ve (Stratejik Askeri) özellik taşıyan inşaatların betonlarında kullanılır. Doğal ağır agregalardan bazıları basit, manyetit, hematit, limonit vb. Yapay ağır agregalara ise çelik ve demir hurdası gösterilebilir [14].

1.2.2.1.3. Tane Boyutlarına Göre Agregalar

Boyutlarına göre, ince agreg (kum), iri agreg (çakıl) ve Tüvenan (karışık) agreg olmak üzere üç sınıfa ayırmak mümkündür [1].

İnce agregada doğal kum, kırma kum (ince mıcır) veya bunların karışımından elde edilen ve 4 mm göz açıklıklı kare gözlü elekten geçen agregadır. İnce agregada taneleri sert ve sağlam olmalıdır.

Doğal çakıl, kırma taş (iri mıcır) veya bunların karışımından elde edilen ve 4 mm göz açıklıklı kare delikli elek üzerinde kalan agregadır. Doğal agregada ocağından doğrudan doğruya elde edilen elenmemiş ince ve iri agregada kullanılması istenmemektedir.

1.2.2.1.4. Tane Şekline Göre Agregalar

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

1.2.2.1.5. Yüzey Dokusuna, Jeolojik ve Minerolojik Yapılarına Göre Agregalar

Agregaları yüzey dokusuna göre düzgün, granüler, pürüzlü, kristalli ve petekli olmak üzere beş grupta sınıflandırılabilir. Agregalar jeolojik orjinlerine göre, volkanik, tortul ve metamorfik şekilde sınıflandırılır. Minerolojik yapılarına göre silis mineralli, karbonat mineralli ve mika mineralli olarak genelleştirilebilir.

1.2.2.2. Agregaların Özellikleri

Agregada maliyeti çimentoya göre oldukça düşük olduğundan, betonda dolgu malzemesi olarak kullanılır. Betonda agregada kullanılması, sertleşen betonun hacim değişikliğini önlemekte, çevre etkilerine karşı betonun dayanıklılığını artırmakta ve (kendi dayanım gücünün yüksekliği nedeniyle) betonda gerekli dayanımın sağlanmasına yardımcı olur. Agregada kaba ve ince agregada olarak iki kısımda incelenir. 4 mm'den iri boyuttaki tanelerden oluşan kısma kaba agregada 4mm'den küçük boyuttaki kısma ince agregada denir [12].

Beton hacminin % 60-80'ini agregadan meydana gelir. Bu yüzden agregada seçimine dikkat edilmelidir. Agregada, gereken mukavemete sahip olmalı ve dış etkenlere dayanabilmelidir.

Kaliteli bir beton üretimi için agregaların aşağıda belirtilen şartları sağlaması gerekir. Çimentonun karma oksitleri ile zararlı bileşikler oluşturmamalı, donatı

korozyonuna sebebiyet vermemeli (deniz kumu tuz içerdği için böyle bir tehlikeye neden olabilir).

Agrega taneleri sağlam olmalı, aşınmaya karşı dayanıklı olmalıdır. Suyun etkisi ile yumuşamamalı ve dağılmamalıdır (kil su içerisinde yumuşar ve dağılır). Tanelerin şekli ve dokusu iyi olmalıdır. Agreg granülometrisi standartlara uygun olmalıdır. Agreg içerisinde aktif silis bulunmamalıdır (agrega alkali reaksiyonuna neden olur). Kil, şilt gibi ince madde içermemelidir [14].

1.2.2.3. Agreganın Granülometrisi

Agrega bileşeni uygun bir tane boyut dağılımı (granülometri) göstermelidir. İyi bir granülometriye sahip agregadaki hava boşluğu, daha az olacaktır ve yoğunluğu da artacaktır. Granülometri, diğer bir deyişle elek analizi bir agreganın tane büyüklüklerine göre dizilişini belirlemek için yapılır. Elek analizinde kullanılan elekler, belirli boyutlarda, dairesel delikli veya kare şeklinde gözleri bulunan genellikle pirinçten yapılmış gereçlerdir. TSE'nin yeni şartnamesinde kare gözlü veya kare delikli eleklerin kullanılması kabul edilmiştir [14].

Eleklerin dizilişi belirli bir geometrik diziye teşkil eder. Özellikle betonun davranışında önemli etkileri olan küçük boyutlardaki tanelerin oranını daha iyi inceleyebilmek için, küçük delik boyutlu eleklerin sayısı daha fazla tutulur.

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

Agrega tane boyutunun ayarlanmasında; çimento kumun boşluklarını, kumda çakılın boşluklarını dolduracak şekilde olmalıdır. Beton mukavemetini dolaylı şekilde etkilerken, işlenebilmeyi doğrudan etkilemektedir. Agreg granülometrisi ile beton karışım elemanları ve betonun fiziksel özellikleri arasında şu bağıntılar mevcuttur [1].

1.2.2.4. Granülometri Eğrileri

1.2.2.4.1. Sürekli Granülometri Eğrileri

Agreganın (O)'dan belirli bir büyüklüğe kadar bütün taneleri içeren agreganın kümülatif (yığışım) % geçeniyle elde edilen sürekli eğridir. TS 706'da belirtildiği gibi Şekil 1.1, Şekil 1.2, Şekil 1.3 ve Şekil 1.4'de gösterilen 3 numaralı bölgeye düşecek tane dağılımları uygun bölge olduğu için kabul edilmelidir. Agreganın eğrisi X eksenine yakınsa kum oranı fazla, Y eksenine yakınsa çakıl oranı fazladır. Eğer eğri köşegenden köşegene doğru bir eğri oluşturuyorsa ince ve iri agreganın oranı birbirine yakın ve uygun olduğu söylenebilir. Genel olarak iri agreganın % 50'nin üstünde, ince agreganın ise % 50'nin altında olması arzu edilir. Şekilde görülen A, B, C eğrileri sürekli granülometri sınır eğrileridir [15, 16].

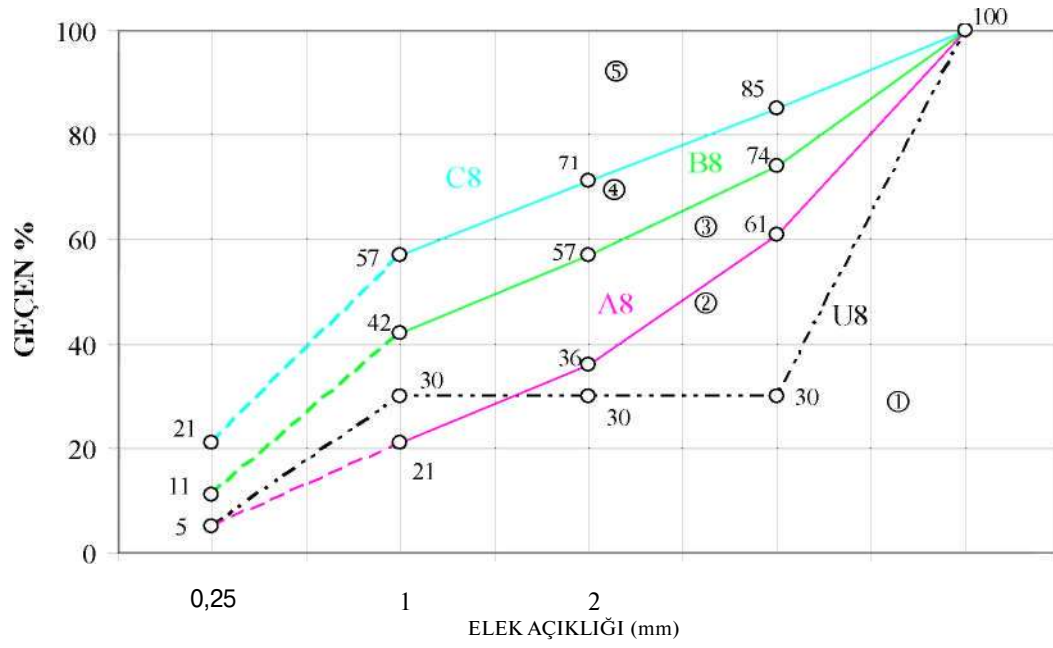
Agreganın granülometrisinin A ile C eğrisi arasında olması istenir. A ile B eğrisi arasındaki 3. bölge, B ile C eğrisi arasındaki 4. bölge kullanılabilir bölge adını alır. A ile C eğrisi dışındaki 1 ve 5 nolu bölgelere düşen granülometri eğrilerine sahip alanda ki agregalar kesinlikle beton yapımında kullanılmamalıdır. BS 12 beton dayanım sınıfına kadar, beton yapımında doğal karışık agreganın kullanılabilir.

1.2.2.4.2. Kesik Granülometri Eğrileri

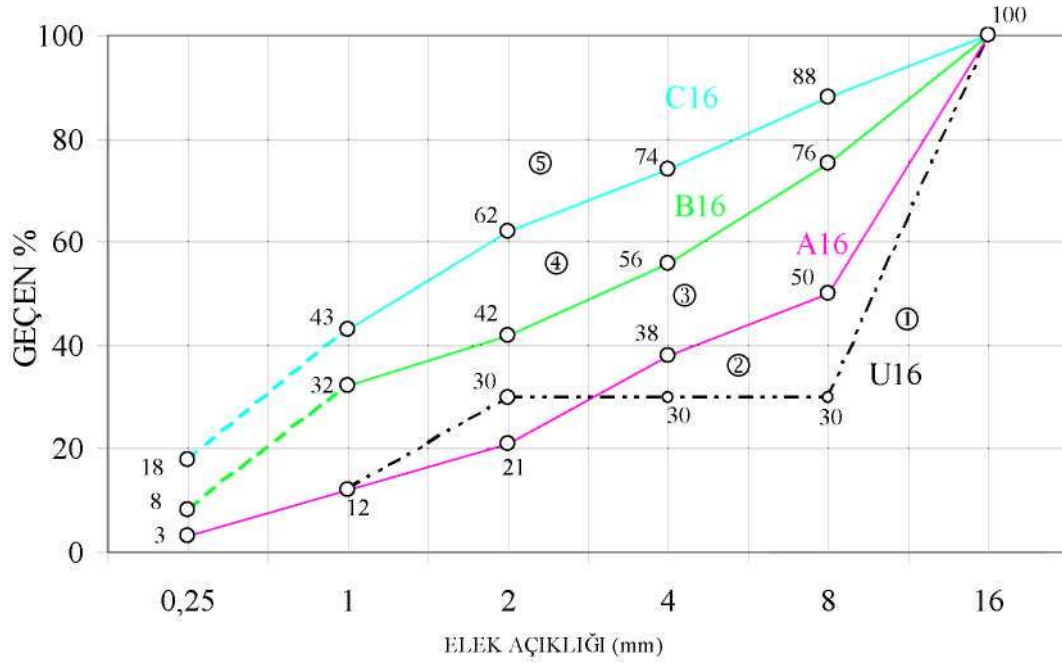
Orta büyüklüklerdeki taneleri içermeyen kesikli granülometri eğrileri, alt sınırı oluşturan U eğrisi ile A eğrisi arasında bulunmalıdır. Kesikli granülometri elde etmek için en az iki tane sınıfı karıştırılmalıdır. Maksimum tane boyutu 32 mm'ye kadar olan kesikli granülometreli hazır karışık agreganın BS 25'den küçük olan betonlar için kullanılabilir [15, 16].

Agreganın en büyük tane boyutu TS 802'ye [17] göre; en dar kesitin kalıp genişliğinin 1/5'inden, döşeme derinliğinin 1/3'ünden, donatılı betonda en küçük donatı aralığının 3/4'ünden küçük seçilmelidir [18].

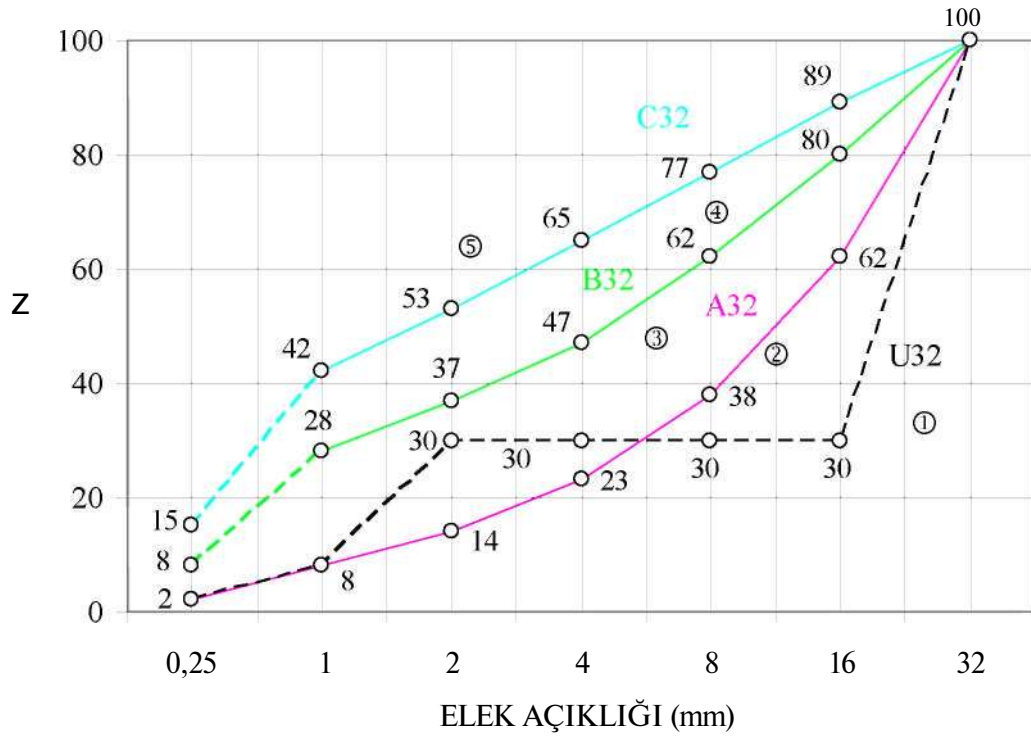
TS 706'da belirtildiği gibi Şekil 1.1, Şekil 1.2, Şekil 1.3 ve Şekil 1.4'de gösterilen granülometri eğrileri kullanılmaktadır.



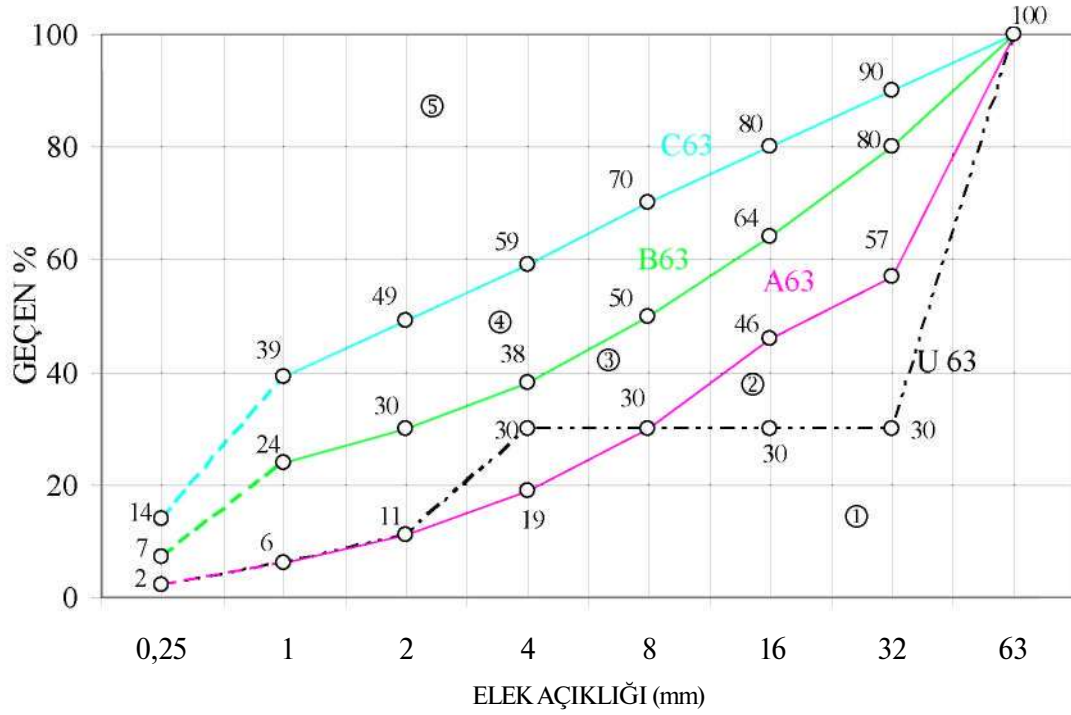
Şekil 1.1. Maksimum tane büyüklüğü 8,0 mm olan kanşık agregra granülometri eğrileri.



Şekil 1.2. Maksimum tane büyüklüğü 16 mm olan karışık agregra granülometri eğrileri.



Şekil 1.3. Maksimum tane büyüklüğü 32 mm olan kanşık agrega granülometri eğrileri.



Şekil 1.4. Maksimum tane büyüklüğü 63 mm olan karışık agrega granülometri eğrileri.

1.2.2.5. Agregada Bulunabilecek Zararlı Madde ve Taneler

Agrega içinde bulunabilen zararlı maddelerin bir kısmı bağlayıcı maddenin ayrışmasına veya genişlemesine neden olur. Betonun parçalanmasına yol açar. Bir kısmı da agregaya ile çimento hamuru arasında kuvvetli bir aderansın oluşmasına engel olur ve beton dayanımı düşer. Şeker vb. maddeler betonun prizini geciktirici etki yapar. Nitrat gibi tuzlar donatının korozyonuna yol açan olumsuz etkiler meydana getirebilir.

Betonda agreganın kullanılmasının sağladığı teknik özellikler, sertleşen betonun hacim değişikliğini önlemesi ve azaltması, sertleşmiş betonun aşınmaya karşı dayanımını artırması, çevre etkilerine karşı dayanıklılığını arttırması ve betonun taşımakta olduğu yüklere karşı dayanımı sağlayabilmesidir. Çimento hamurunun zamanla kuruması nedeniyle yapacağı büzülme ve meydana gelebilecek çatlamlar agreganın tarafından belirli bir ölçüde engellenmiş yada sınırlandırılmış olur [1].

1.2.2.6. Agreganın Granülometrisinin ve En Büyük Agreganın Çapının Basınç Dayanımına Etkisi

Betonda, yeterli basınç dayanımının elde edilmesi, büyük oranda su ve çimentodan oluşan bağlayıcı hamurun niteliğine bağlıdır. İstenilen dayanımı en ekonomik şekilde elde etmek ise, bağlayıcı hamur azaltılıp yerine daha fazla agreganın kullanılmasıyla mümkündür. Öte yandan, yeterli akışkanlığın sağlanması için bağlayıcı hamurun miktarının artırılmasının gerektiği bilinmektedir. Bağlayıcı hamur, agreganın boşluklarını doldurmaktan başka, agreganın taneciklerinin etrafını ince bir tabaka halinde sarmalı ve böylece onların fazla grift olmasını sağlamalıdır. Bu şekilde homojen bir yapı oluşacaktır. Bu durumda, bağlayıcı hamurun miktarında, biri agreganın boşlukları, öteki agreganın yüzeyleri olmak üzere iki unsurun belirleyici olduğu söylenebilir. Bunlardan birini önemseyip, ötekini ihmal etmemek gerekir. İdeal bir granülometrinin mümkün olduğu kadar az boşluklu ve mümkün olduğu kadar az toplam tanecik yüzeyli olması istenir. En az toplam tanecik yüzeyi, agregadaki maksimum tanecik çapının (betonda istenilen şartların sınırları içinde) en büyük alınması ve diğer agreganın çaplarının da buna bağımlı olarak büyümesiyle sağlanır. Agreganın en az boşluklu olması ise, büyük taneciklerin aralarındaki boşlukların sürekli daha küçük taneciklerle doldurulabileceği bir agreganın granülometrisi düzenlemesiyle elde edilir [11].

Beton literatüründe en iyi agrega granülometrisi için aşağıdaki bağıntı verilmektedir [11].

$$\frac{P_i}{P} \times 100 = 20 \times \left(\frac{d_i}{D_{max}} \right)^{y/2} \quad (1.2)$$

P = Toplam agrega miktarı, kg.

P_i = d_i çaplı elekten geçen agrega miktarı, kg.

D_{max} = Agregadaki en büyük tanecik çapı, mm.

D_i = Yüzdesi hesaplanan elek çapı, mm

1.2.3. Karışım Suyu

Beton karma ve temas suyunun en iyisi, içilecek su olmakla beraber daha önce kullanılarak denenmiş ve iyi sonuç vermiş bütün sular, kullanılabilir. Kullanılacak su, asit reaksiyonu göstermemeli (Ph>7), bu suda agresif karbonik asit, mangan bileşikleri, amonyum tuzları, serbest klor, organik maddeler ve endüstri artıkları bulunmamalıdır. Litresinde en çok çözülmüş halde 15 gr. ve yüzer halde 2 gr. madeni tuz, yine litresinde en çok 2 gr. SO₃ bulunabilir. Yapıda kullanılması düşünülen karma suyu ile yapılacak beton numunelerinin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları, aynı şekilde içme suyu ile yapılan beton numune dayanımlarının %90'ından aşağı olmamalıdır. Betonda kullanılacak su TS EN 1008 standartlarına uygun olmalıdır [19].

Beton karma suyu, betonda işlenebilirliği ve çimento hidratasyonunu sağlamak için kullanılan önemli bir hammaddedir. Su miktarı, taze ve sertleşmiş betonun tüm özelliklerini etkileyebilmektedir.

Beton karma suyu, mümkün olabildiği kadar temiz, içinde zararlı etki gösterebilecek kadar klorür, sülfat, asit, şeker, organik madde, endüstriyel atık, yağ, kil ve şilt gibi maddeler olmamalıdır.

Çimento, hidratasyon için ağırlığının % 25'i kadar su miktarına ihtiyaç duyar. Bu miktarın üzerinde kullanılan su miktarı sadece işlenebilirliği arttırma amacına yöneliktir. Bu zamanla betonun bünyesini terk ederek yerini boşluklara bırakmaktadır. Karma suyu miktarı ne kadar fazla olursa boşluklar da o kadar fazla olur ve bu durum sadece dayanımı olumsuz yönde etkilemekle kalmaz, betonun durabilitesini de olumsuz yönde etkiler.

Betonda suyun %10 eksik kullanılması, basınç dayanımını %10, %20 fazla olması ise %30 azalmaya neden olur. Beton karışım dizaynı hesabında, hedeflenen ve üretimde gerçekleştirilen kıvamı daha da arttırmak için, betona fazladan su ilave etmek ise hem dayanımı hem de dayanıklılığı (durability) yok eder [1].

1.2.4. Su/Çimento Oranı

Beton karışımında seçilen su/çimento oranı betona hava ve diğer aşındırıcı etkilere yeterli dayanıklılığı sağlayacak değerde olmalıdır.

İstenilen kıvamda bir karışım üretimi için gerekli su miktarı agreganın en büyük tane boyutuna, tane şekline, gradasyonuna ve karışıma girecek hava miktarına bağlıdır.

Genel olarak betonda su/çimento oranı azaldıkça, dayanım artmaktadır. Ancak, su-çimento oranı optimum değer altına düştüğü takdirde, betonun tam olarak yerleştirilmesi ve sıkıştırılması da ters yönde etkilenmektedir [19].

Bileşime giren su miktarı hem betonun kıvam ve işlenebilme özelliği, hem de mukavemeti üzerinde etkilidir. Eğer yeterli ölçüde su konulmazsa beton çok kuru olur, işlenebilmesi güçleşir, bazı yerlerde çakıllar toplanır ve toplam çimentonun priz almasına yeterli su (nem) kalmayabilir ve böylece betonun mukavemeti düşer. Buna karşılık eğer su gerektiğinden çoksa, aşırı ölçüde buharlaştığında geride boşluklu bir beton kalır, rötire olayı büyük ölçüde artar ve çimento ile agregalar arasındaki birleşim tam sağlanmadığı için betonun mukavemeti düşer [6].

1.3. Sertleşmiş Betonun Mekanik Özelliklerini Etkileyen Faktörler

1.3.1. Betonun Taşınması

Beton taşıma sistemi beton dökümünü olumsuz yönde etkilemeyecek şekilde seçilmelidir. Beton yapım yerinde, döküm (yerleştirme) yerine ayrılmayacak şekilde taşınmalıdır. Beton karışım oranının saptanmasında taşıma şeklide dikkate alınmalıdır. Beton hazırlama tesislerinin döküm yerine olan mesafesi kullanılan taşıma aracının cinsine bağlı olarak ayrılmayı en aza indirecek şekilde seçilmelidir. Taşıma esnasında beton güneş ışınlarına, kuru hava ve rüzgara, yağmur ve donmaya karşı korunmalıdır [1].

1.3.2. Betonun Yerleştirilmesi

Karıştırılan beton bekletilmeden taşınarak kalıplara yerleştirilmelidir. Ancak çok özel hallerde betonun bir süre işlenmeden bekletilmesine izin verilebilir. Bu süre kuru ve sıcak havada yarım saati, nemli ve sıcak havada bir saati geçmemelidir [1].

Betonun temas edeceği kalıp yüzeyleri beton dökümünden önce temizlenmiş olmalı kalıplarda talaş, çivi vb. kalmamasına dikkat edilmelidir. Kalıpların kolay sökülmesini sağlamak üzere beton dökümüne başlamadan önce betonla temas edecek olan yüzeyler ısıtılmalı veya yağlanmalıdır.

Beton serbest olarak 1,5 m'den daha yüksekten dökülmemelidir. Daha yüksekten dökülmesi halinde beton düşürme oluğu kullanılmalı oluk betonun döküldüğü yüzeye mümkün olduğu kadar yaklaştırılmalıdır [1].

Beton, farklı tipte ve büyüklükte malzemelerden oluşan kompozit bir malzeme olduğu için homojen bir şekilde yerleşmesi sağlanmalıdır. Vibrasyonla beton içindeki hava dışarıya çıkartılır. Titreşimle, agregalar arasındaki sürtünme engellenerek betonun akışkanlık kazanması sağlanır. Fazla vibrasyon yapılması durumunda beton içerisindeki ince ve kaba malzemelerin birbirinden ayrılması (segregasyon), betonun homojen dağılımını engellediği için dayanımını düşürür [20].

1.3.3. Betonun Sıkıştırılması

Beton üst yüzeyi tamamen kapalı bir hal alıncaya ve artık hiçbir büyük hava kabarcığı çıkmayıncaya kadar sıkıştırılmalıdır. Sıkıştırma aracının etki alanları yatay ve düşey doğrultuda birbirini kesmelidir [1].

Tokmakla yapılan elle sıkıştırmaya artık şantiyelerde daha az rastlanmaktadır. Tokmakla betonun yeterli şekilde sıkıştırılması çok zahmetli olmaktadır. Çünkü böyle bir sıkıştırma için betonun sıkı kıvamlı olması yani az su ile hazırlanması ve ince tabakalar halinde yapılıp tokmaklanması gerekmektedir.

Donatının sıkı olduğu yerlerde kullanılan yumuşak kıvamlı betonlar vibrasyonla sıkıştırılması halinde çözülebileceğinden bu durumda şişleme ile sıkıştırma yapılır. Yumuşak kıvamlı beton kalıba döküldüğünde kalıbın içine kolaylıkla yerleştiğinden şişleme ile bir miktar hava kabarcığının çıkarılıp sıkıştırılması yeterli olmaktadır. Kaliteli beton elde edilmesinde sıkıştırma işleminin büyük önemi vardır. Yeterli sıkıştırma yapılmaması sonucu kalan boşluklar yüksek su/çimento (w/ç) oranı gibi betonun basınç dayanımının azaltır, su geçirimsizliğini olumsuz yönde etkiler [1].

1.3.4. Beton Yüzeyinin Düzgünleştirilmesi

Sertleşmiş beton yüzeyi pürüzsüz düzgünlükte olmalı, beton yüzeyinde çıkıntılar veya çukurlar yer almamalıdır. İstenilen yüzey düzgünlüğüne sahip olmayan betonlar, yeterli dayanıklılığı (durabiliteyi) gösterememekte, kolayca aşınabilmekte ve beklenen performansı gösterememektedir [1].

Sertleşmiş beton yüzeyinin istenilen düzgünlükte olabilmesi için, yüzey düzeltme işleminin taze betonun kalıplara yerleştirilip sıkıştırılmasından hemen sonra, yani, betonun katılaşma göstermesinden önce uygulanması gerekmektedir.

1.3.5. Yükleme hızı

Beton, zamana bağlı deformasyon gösteren bir malzeme olduğundan, yükleme hızı çok önemlidir. Yapılan deneyler, yavaş yüklenen bir numune dayanımının, hızlı yüklenen bir numuneye oranla daha düşük olduğunu göstermiştir. Bundan dolayı şartname ve yönetmeliklerde standart basınç deneyi tanımlanırken, yükleme hızı da MPa/saniye olarak belirtilir.

1.3.6. Bakım (Betonun Kür Edilmesi)

Kür, çimento hidrasyonunun ilerlemesi için betondaki ısı ve nem değişikliklerini kontrol altında tutma işlemidir. Kür, çimento hamurundaki suyun boşluklarını hidrasyon ürünleri doldurana kadar betonu doygun veya doyguna yakın halde tutmaktadır [21].

Beton yerleştirilip sıkıştırıldıktan sonra karşılaşılabilecek çeşitli fiziksel, kimyasal, mekanik etkilerden korunmalı ve doğa koşullarına göre katılaşmasını çabuklaştıracak veya yavaşlatacak önlemler alınmalıdır. Beton yeter derecede katılaşmaya kadar sıcaklık düşmeleri (soğuk don) ve yükselmeleri, kuruma, yağmur, sel, zararlı kimyasal oluşumlar, titreşim ve sarsıntılara karşı korunmalıdır. Taze beton yeterli bir süre yaş tutulmalı ve kurumaya karşı korunmalıdır. Normal olarak bu süre 7 gündür. [21].

Hava sıcaklığının düşmesi hidrasyon olayını yavaşlatır. Pratik olarak sıcaklığın donma derecesine yaklaşması veya altına düşmesi halinde çimento ile su arasında kimyasal reaksiyon çok yavaşlar. Bu nedenle sertleşmekte olan beton başlangıçta rutubet kaybına karşı korunmalı ve beton sıcaklığı uygun seviyede muhafaza edilmelidir [21].

Soğuk havalarda, gerek don etkisine karşı gerekse kalıp alma süresini kısaltmak için betonu, bir çadır altında gerekli ısıyı sağlamak için ateş yakarak, sıcak hava veya buhar üfleyerek veya benzeri ısıtma yöntemlerini kullanarak muhafaza etmek gerekir [22].

1.3.7. Betonun Yaşı

Beton zamanla dayanım kazanan bir malzemedir. Birleşimindeki suyun bir bölümü zaman içerisinde hidratasyon için kullanılır. Bu suyun buharlaşarak kaybolması, hidratasyon için gereken suyun yok olması ve dolayısıyla betonun gereken dayanımı kazanamaması ile sonuçlanır [23].

Betonarme hesapları, betonun 28 günlük dayanımına göre yapılır. Beton genel olarak 7 günde öngörülen 28 günlük dayanımının yaklaşık % 70' ine ulaşır. Bu nedenle, betonun 28 günlük dayanımını, özellikle ilk hafta içinde bulunduğu ortamın nem oranı ve sıcaklığı önemli ölçüde etkiler [23].

1.4. Betonun Dayanımı

Betondan beklenen mekanik özelliklerin en önemlilerinden olan basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı betonun su/çimento oranı ve taze beton özelliklerini (çökme miktarı, taze beton birim ağırlığı, hava miktarı) etkiler. Beton üzerine değişik yönlerde uygulanan yükler, değişik etkiler yaratabilmektedir.

Basınç, çekme, eğilme ve kayma etkisi yaratacak yükler altında betonun şekil değiştirmeye ve kırılmaya karşı göstereceği direnme kabiliyeti; basınç dayanımı, çekme dayanımı, eğilme dayanımı, kayma dayanımı olarak tanımlanır. Betonun kullanıldığı yapılar; basınç, çekme, eğilme ve kayma yaratacak kuvvetlerin doğrudan etkisi altındadır. Bu nedenle, betondaki basınç, çekme, eğilme ve kayma dayanımlarının bilinmesi, beton yapıların bu yükler altındaki taşıma kapasitelerin bilinmesine yaramaktadır.

1.4.1. Basınç Mukavemeti

Betonun basınç dayanımı, betonun diğer nitelikleriyle paralellik gösterir. Yüksek basınç dayanımlı bir betonun, kompasitesi yüksek, su geçirgenliği düşük, dış etkilere ve aşınması az olur. Dayanım 3, 7, 28 ve 90. günlerde de tayin edilebilir. Beton deney numunesi, alınmış olduğu betonun bütün özelliklerine sahip olan ve kullanılacağı deneye uygun boyutlarda kalıplara dökülüp sıkıştırılarak ve bakımı yapılarak hazırlanmış olan betondur.

Basınç mukavemeti, kontrolü yapılacak beton döküm işinde aynı harmandan alınan deney numunelerinin ortalama basınç mukavemetidir. Tablo 1.1'de. beton sınıfları ve 28 günlük dayanım değerleri verilmiştir [4].

Tablo 1.1. Beton Sınıfları Dayanımları

Beton Sınıfı	Karakteristik Eksenel Basınç Dayanımı Mpa, (kgf/cm ²)	Eksenel Küp Basınç Dayanımı Mpa, (kgf/cm ²)	Karakteristik eksenel çekme dayanımı Mpa, (kgf/cm ²)	Elastisite Modülü Ec, (Mpa)
C 16/20	16(160)	20 (200)	1.4(14)	27 000
C 18/22	18(180)	22 (220)	1.5(15)	27 500
C 20/25	20(200)	25 (250)	1.6(16)	28 000
C 25/30	25 (250)	30 (300)	1.8(18)	30 000
C 30/35	30 (300)	35 (350)	1.9(19)	32 000
C 35/40	35 (350)	40 (400)	2.1 (21)	33 000
C 40/45	40(400)	45 (450)	2.2 (22)	34 000
C 45/50	45 (450)	50 (500)	2.3 (23)	36 000
C 50/55	50(500)	55 (550)	2.5 (25)	37 000
NOT: Mpa=N/mm ² = 10 kgf/cm ²				

Projede öngörülen beton basınç dayanımı (karakteristik dayanım f_k) ile ifade edilir. Karakteristik yük ise, istatistiksel verilere dayanılarak ve yapı ömrü süresince aşılması ihtimali belirli değerlerle belirlenen (%5 veya %10) yük etkisidir. Ortalama yük; benzer yapılarda, bu yapılar için öngörülen "hesap ömrü" süresince oluşabilecek maksimum yük değerlerinin ortalamasıdır.

Beton karışım hesabında esas alınacak ortalama dayanım f_m ile gösterilir. Standart sapma, ortalama değerden sapmaların mertebelerini gösteren istatistiksel bir değerdir.

f_m , standart sapma bilinmediği durumlarda $f_{cm} = f_{ck} + \Delta f$ eşitliği ile bulunur.

Burada Δf , beton sınıfına göre değişmektedir. Beton sınıfı C 14, C 16 için Δf 4 N/mm² alınırken, C 20, C 25, C 30 için Δf 6 N /mm² alınması önerilmektedir.

Beton basınç dayanımı deney sonuçlarının kabul edilmesi için, $f_{cm} > (f_{ck} + 3 \text{ N/mm}^2)$ ve $f_{c \text{ min}} > (f_{ck} - 3 \text{ N/mm}^2)$ koşullarını sağlaması gerekir.

Basınç dayanımı zamana bağlı olarak artar (Tablo 1.2). Genel olarak, standart beton basınç dayanımının 28 günlük değeri % 100 kabul edilir. Beton, yaşlandıkça mukavemet değeri artar ve bu artış 28 güne kadar hızlı, bundan sonra yavaş devam eder [4].

Tablo 1.2. Zamana Bağlı Olarak Basınç Dayanımı Artış Oranları

Beton yaşı (gün)	3	7	28	90	360
Normal	0.40	0.65	1.00	1.20	1.35(1.40)
Çimentosu çabuk sertleşen	0.55	0.75	1.00	1.15	1.20(1.25)

Betonların 7 ve 28 günlük basınç mukavemetleri arasındaki bağıntı da mukavemetin 2/3'si kadar bir mukavemet kazandığı görülür. Betonun 7 günlük basınç mukavemeti, imalatçıya genel olarak kalitesi hakkında fikir vermektedir.

Betonun basınç dayanımının bilinmesi diğer bazı mekanik özelliklerinin tahmin edilmesine yardımcı olur. Yapılan araştırmalara göre betonun basınç dayanımı ile çekme, eğilme ve kesme dayanımları arasında ilişkiler kurulmaktadır. Bu ilişki sonucu elde edilecek dayanımlar, aynı malzeme ile üretilmek şartıyla yaklaşık değerlerdir. Betonda çekme mukavemeti, bir malzemenin eksenel çekme kuvvetlerinin etkisi altında dayanabileceği en büyük gerilmedir (Çekme uygulamadan önce ölçülen en kesit alanına göre hesaplanacaktır.) [4].

$$\text{Betonun basınç dayanımı } (f_{cm}) = P/A \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (1.3)$$

P: Beton yüzey alanına uygulanan eksenel kuvvet (N)

A: Beton kesit yüzey alanı (mm²)

$$\text{Yarmada çekme dayanımı } (f_{yc}) = 0.10 \times \text{betonun basınç dayanımı } (f_{cm}) \quad (1.4)$$

$$\text{Eğilme dayanımı } (f_e) = 0.20 \times \text{betonun basınç dayanımı } (f_{cm}) \quad (1.5)$$

$$\text{Kesme dayanımı } (f_k) = 0.50-0.80 \times \text{betonun basınç dayanımı } (f_{cm}) \quad (1.6)$$

Beton zamanla dayanım kazanan bir malzemedir. İlk 7 günde çok hızlı olan dayanım kazanımı, yavaşlayarak devam eder. Bu nedenle standart dayanımın belirli bir beton yaşı ile ifade edilmesi zorunludur. Bugün tüm uluslar arası ve ulusal yönetmeliklerde 28 günlük basınç dayanımı, standart dayanım kabul edilmiştir. Betonarmede kullanılan normal dayanımlı betonun 28 günlük silindir basınç dayanımı, genellikle 16 ile 50 MPa arasında değişir [23].

Betonun basınç dayanımını birçok değişken etkilemektedir. Numune geometrisi ve boyutları, Standart deney numuneleri olan silindir ve küp arasındaki dayanım farkı, küp numunesinin alanı ve dayanımı silindire oranla daha büyük olduğundan, kırılma yükü yaklaşık % 40 daha fazladır. Küpün keskin köşelerinde büzülme nedeni ile gerilme yığılmaları olabilir. Küp deneyinde kırılma, eğik çatlakların oluşması ile başlar ve giderek bu çatlaklar numunenin bir piramit biçiminde kırılmasına neden olur.

Eksenel basınç altındaki bir numunenin bu tür kırılışının nedeni, pres tablası ile numune arasındaki sürtünmeden dolayı oluşan, yük eksenine dik kesme kuvvetleridir.

Belirli bir numune geometrisi alındığında boyutlar dayanımı önemli ölçüde etkilemektedir. Genellikle numune boyutları küçüldükçe, dayanım artmaktadır. Bu 'boyut etkisi' olarak adlandırılmaktadır.

Numune boyunun, kesit boyutuna olan oranının da dayanımı etkilediği bilinmektedir. Bunun en önemli nedeni, pres ile numune arasında oluşan sürtünme etkisinin, yükün uygulandığı yüzeyden uzaklaştıkça azalmasıdır [23].

Numune boyunun kesit boyutuna oranının (h/a) basınç dayanımına etkisi çok sayıda deneyler sonucu elde edilmiş yaklaşık sonuçlar Tablo 1.3.'de verilmiştir [23].

Tablo 1.3. Yüksekliğin Kesit Boyutuna Oranının, Dayanıma Etkisi

h/a oranı	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
Basınç dayanımının, boyu enine eşit olan bir numune dayanımına oranı	1.0	0.87	0.80	0.75	0.74

Basınç dayanımını etkileyen diğer önemli faktörler, su/çimento oranı, numunenin bakımı (kür), deney sırasında numunenin nemli olup olmaması ve deney presinin özellikleridir. Nemli denenen bir numune, kuru numuneye oranla % 25'e varan bir dayanım azalması gösterebilir [23].

1.4.1.1. Beton Kalitesinin Belirlenmesinde Basınç Mukavemetinin Kullanılması

Beton özelliklerinin tıpkı yaşayan sistemlerde olduğu gibi zamanla gelişme gösterdiği saptanmıştır. Betonun kompozit bir malzeme olmasından dolayı, betonun taşıyıcılığın en belirgin ölçütü basınç dayanımıdır.

Beton üzerinde yapılan araştırmalarda, malzemenin muhtelif özellikleri ve basınç dayanımı arasında ilişkiler aranmış ve bu araştırmalar sonucunda betonun çeşitli özelliklerinin, basınç mukavemeti ile aynı yönde değiştiği görülmüştür. Betonun basınç dayanımı büyük ölçüde betonun kalitesini gösterir [4].

Kalite - kontrol denetiminin ana amacı, üretimin başlangıçta yapılan proje kabullerine uygunluğunu ve ekonomik koşullarda gerçekleşmesini sağlamaktır. Betonun projede belirtilen sınıf dayamıyla, üretim sonrası dayanım ortalaması arasında yönetmeliklerce saptanan durumun gerçekleşmesi gerekir. Beton kalite kontrol amaçlı deneyler tahribatsız, tahribatlı veya yarı tahribatlı metotlarla yapılmaktadır. Genel olarak tahribatlı beton testleri inşaatın çeşitli metotlarla alınarak laboratuvarında basınç ve eğilme presleri altında kırılarak yapılırlar. Tahribatsız ve yarı tahribatlı testler ise inşaat sahasında (yerinde) yapılırlar.

1.4.1.2. Betonun Yerinde Denetiminin Amacı

Betonun kalite kontrolü standart numuneler üzerinde yapılan dayanım deneyleriyle bulunmaktadır. Bu yöntem numune alınması, bakım ve kür, deneyin yapılması ve sonucun alınması aşamalarıyla kolay bir yöntem olup standart bir hal almıştır. Bulunan basınç mukavemeti uygun katsayılarla çarpılarak hesap mukavemetine çevrilir ve kullanılır. Bir yapıda ki betonun standart kür edilmiş numune ile aynı gelişimi göstermesi de beklenemez. Standart numunelerin 28 günlük basınç dayanımları beton kalıbının güvenlik içinde sökülmesi için yeterli mukavemete ulaşmış olup ulaşmadığını belirlemede kullanılamaz. Beton basınç dayanımının kalıp sökülmesi için yeterli olup olmadığı, 28 günü beklemeden sadece tahribatsız deney metotlarıyla belirlenebilir [4].

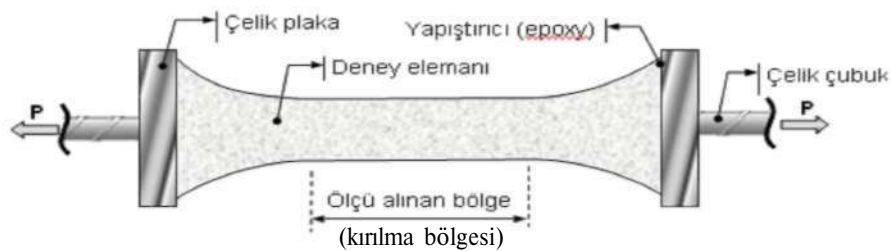
1.4.2. Betonun Çekme Dayanımı ve Çekme Altında Deformasyon Özellikleri

1.4.2.1. Direk Çekme Dayanımı (Doğrudan Çekme)

Betonun çekme dayanımı, basınç dayanımına oranla çok düşüktür. (Çekme dayanımı, basınç dayanımının yaklaşık olarak % 10'u kadardır.) Betonun çekme dayanımının, doğru olarak eksenel çekme altında denenen bir elemandan elde edilmesi gerekir. Önce uzunluğu boyunca kesiti sabit olan prizma veya silindirler denenmiş, ancak pres çenelerinin neden olduğu yerel gerilmeler nedeniyle elemanlar çenenin numuneyi kavradığı yerden kırılmışlardır. Kesitleri genellikle 100x100 mm veya 150x150 mm olan donatısız kirişlerin, tek veya simetrik iki noktasal yük altında denenmeleri öngörülmüştür.

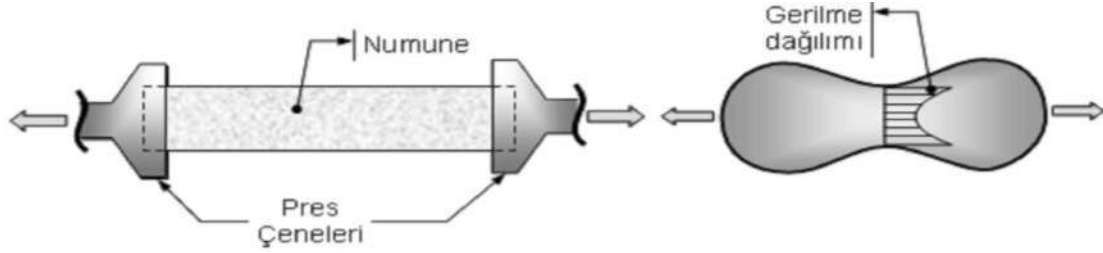
Kırılma altındaki çekme dayanımının saptanabilmesi için de Hooke kanununun kullanılması önerilmiştir. Kesitteki gerilme dağılımı doğrusal olacak ve tarafsız eksen kesitinin ağırlık merkezi ile çakışacaktır. Münih Teknik Üniversitesinde Prof.H. Rüşch tarafından eksenel çekme altında denenen numunelerden elde edilen $\sigma - \varepsilon$ eğrilerinin de, basınç altındakiler benzer biçimde, doğrusal olmadığı ve maksimum gerilmeye (dayanım) ulaştıktan sonra artan birim uzama altında gerilmelerin azalarak negatif eğilimli bir kuyruk oluşturduğu gözlenmiştir [23].

Bir elemanda, çekmeye çalışan en dış lifte maksimum çekme gerilmesine ulaşıldığında kırılma olmamakta ve basınçtakine benzer biçimde "gerilme uyumu" oluşarak, gerilmeler fazla yüklü liflerden daha az yüklü olanlara aktarılmaktadır. Kırılma durumuna, en dış lifin maksimum gerilmeye ulaşması ile değil, birim kısalmasına ulaşması ile gelinmektedir. Altmışlı yıllarda Prof. H. Rüşch, eksenel çekme deneyleri yapmayı başarmıştır. Rüşch tarafından bu amaçla kullanılan deney elemanı, pres çenesinin numuneyi kavradığı yerdeki yerel kırılmayı önlemek için, iki uçta kesit büyütülmüştür. Kullanılan deney elemanı Şekil 1.5'de gösterilmiştir. Yük, beton deney elemanına yüksek dayanımlı yapıştırıcılarla tutturulan çelik plakalardan yararlanılarak uygulanmıştır [23].



Şekil 1.5. Prof. H Rüşch tarafından yapılan basit çekme deneyi

Genel olarak betonun çekme dayanımı betonun kalitesine göre basınç dayanımının %7 ile %17'si arasındadır, yapı tasarımında çoğunlukla basınç dayanımı değerleri kullanılır, doğrudan çekme, yarmada çekme ve eğilmede çekme olmak üzere üç şekilde tayin edilir [24]. Beton çekme deney elemanları Şekil 1.6.'da gösterilmiştir.



Şekil 1.6. Beton Çekme Deney Elemanları

1.4.2.2. Yarma Dayanımı

Çekme dayanımını dolaylı olarak saptanmasındaki diğer bir yöntem de "silindir yarma deneyi" olarak adlandırılan deneydir. Bu deney, pres tablasına yatay olarak yerleştirilen bir standart silindir numunesinin (150x300 mm) altına ve üstüne yerleştirilen çelik lamalara dik yönde basınç uygulanarak gerçekleştirilmektedir. Kırılma, silindirin yük eksenini boyunca yarılması ile oluşmaktadır. Yükün uygulandığı yerlerde oluşan yerel basınç gerilmeleri, bu noktalardan uzaklaştıkça çekme gerilmelerine dönüşmekte ve bu çekme gerilmeleri, çap boyunca neredeyse sabit kalmaktadır. Yükün uygulandığı noktalarda oluşan yerel basınç gerilmelerinin ezilmeye neden olmasını önlemek için, yükün belirli bir alana yayılmasına dikkat edilmelidir. Bu tür deney elemanında yarıma (kırılma), çekme gerilmelerinden meydana gelmesine rağmen, elde edilen sonuçlar betonun gerçek çekme dayanımını vermeyecektir. Bunun nedeni, betonun tek yönlü gerilme altındaki dayanımının, çok yönlü gerilme altındakinden farklı oluşudur. Silindir yarma deneyinden betonun çekme dayanımı, elastisite teorisi kullanılarak aşağıdaki denklemler hesaplanır [23].

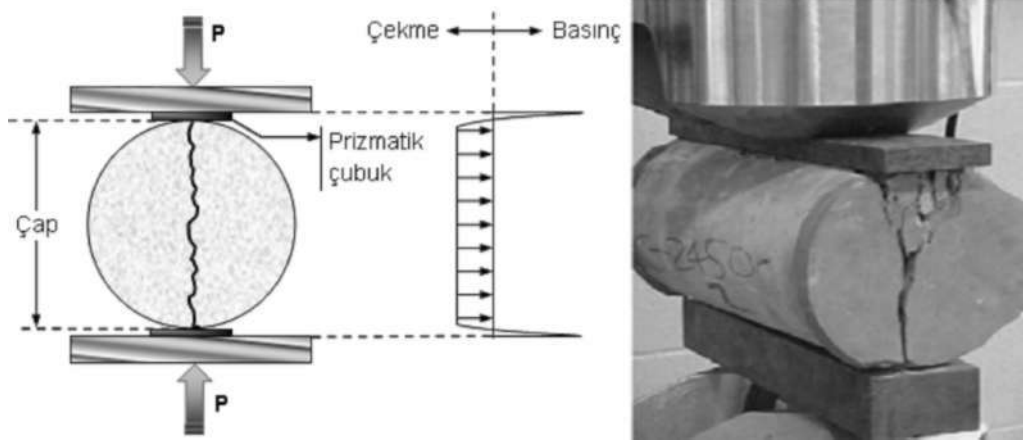
$$\sigma_x = f_{cts} = 2P/\pi dl \quad (1.7)$$

f_{cts} = Silindir yarma çekme dayanımı

P = Yarıma yükü

d = Silindir çapı (genellikle 150 mm)

l = Silindirin boyu (genellikle 300 mm)



Şekil 1.7. Yarmada Çekme Dayanımı

Elastisite teorisine göre, yarma da çekme dayanımı deneyi Şekil 1.7'de gösterildiği biçimde yüklenen bir silindirin yük eksenine doğrultusundaki düzleminde, birbirine dik asal çekme ve basınç gerilmeleri oluşur

Yükün uygulandığı yerlerde oluşan yerel basınç gerilmeleri, bu noktalardan uzaklaştıkça çekme gerilmelerine dönüşmekte ve bu çekme gerilmeleri çap boyunca sabit kalmaktadır, kesitin orta bölgesinde oldukça üniform dağılımlı çekme gerilmeleri oluşmaktadır. Uygulanan gerilme iki yönlü olduğundan asıl çekme dayanımından daha büyük değerler elde edilir. Yarma deneyi süresince, deney aletinin (presin) yükleme tablalarının silindir örneğe göre dikey bir düzlemde tutulması sağlanmalıdır [24].

Tablo 1.4. Deney Türüne Göre Betonun Çekme Dayanımı

Deney Türü	Çekme Dayanımı		Çekme Dayanımı/Eksenel Çekme Dayanımı
	Mpa	(kgf/cm ²)	
Eksenel Çekme	$f_{ct} = 0.35 \sqrt{f_c}$	$f_{ct} = 1.1 \sqrt{f_c}$	1.00
Yarma Silindir	$f_{ct} = 0.50 \sqrt{f_c}$	$f_{cts} = 1.6 \sqrt{f_c}$	1.45
Kiriş (tek yük)	$f_{ct} = 0.70 \sqrt{f_c}$	$f_{ctf} = 2.2 \sqrt{f_c}$	2.00
Kiriş (çift yük)	$f_{ct} = 0.64 \sqrt{f_c}$	$f_{ctf} = 2.0 \sqrt{f_c}$	1.82

Tablo 1.4.'de çift nokta yük altındaki kirişin ortalama dayanımının, tek yük altındakinden daha düşük olduğu görülmektedir.

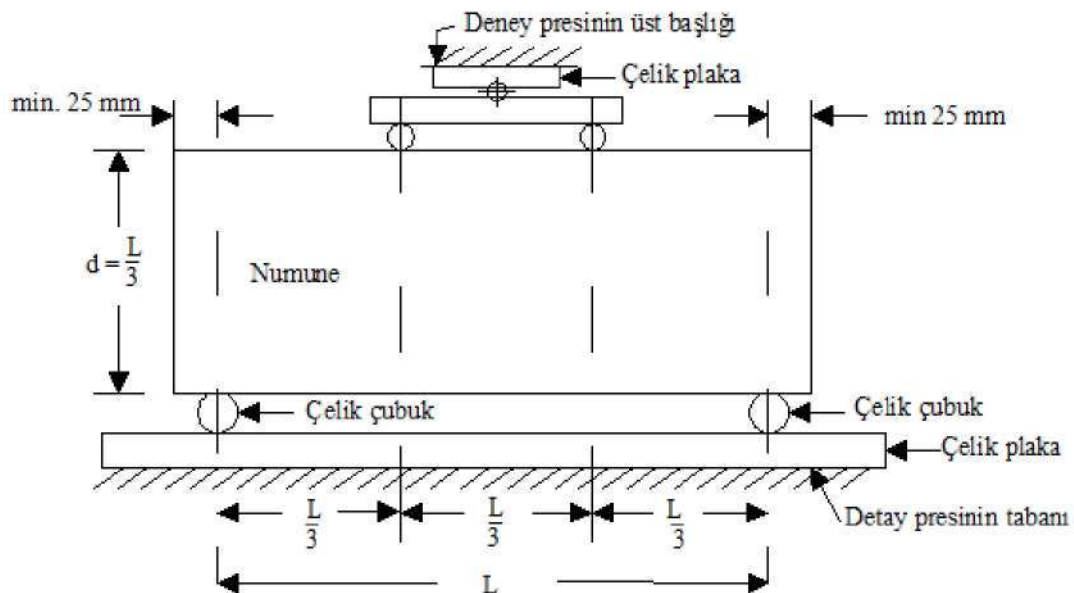
Bunun nedeni, tek nokta yüklü kirişte maksimum momentin tek bir kesiti etkilemesi, çift nokta yüklü kirişte ise, belirli bir kiriş uzunluğunun maksimum momente maruz kalmasıdır. Bu durumda tek nokta yüklü kirişte kırılmanın belirli bir kesitte meydana gelmesi gerekirken, çift nokta yüklü kirişte kırılma, iki noktasal yük arasında herhangi bir kesitte oluşabilir.

Basit çekme altındaki dayanımın, silindir yarma dayanımından düşük olduğu görülmektedir. Dik yönde basınç olan durumlarda betonun çekme dayanımı, tek yönlü basınçtan daha küçüktür [23].

1.4.2.3. Eğilmede Çekme Dayanımı

Bir betonarme kirişin çatlama yükünün hesaplanmasında, kiriş deneyinden elde edilen "eğilme çekme dayanımı" eksenel çekme altındaki bir bağ kirişin çatlama yükünün saptanmasında ise "eksenel çekme dayanımı" temel alınmalıdır. Burulma altında çekmeye dik yönde basınç olduğundan çekme dayanımının, bu gerilme durumunu daha iyi simgeleyen "silindir yarma çekme dayanımı"na göre hesaplanması daha doğru olur [23].

Eğilmede çekme dayanımı ise basınç dayanımının yaklaşık 5'de biri kadardır. Eğilmede çekme dayanımı Şekil 1.8.'de gösterilmiştir.



Şekil 1.8. Eğilmede Çekme Deneyi

1.4.3. Kesme Dayanımı

Betonda klasik kesme kırılmasına pek nadir rastlanıldığından, bu tür kesme dayanımı mühendislik uygulamaları açısından çok önemli değildir. Betonun kesme dayanımının, çekme dayanımından yüksek olması nedeniyle (kayma dayanımı basınç dayanımının % 35'i ile % 80'i arasında değişir) basit kesme durumunda bile kırılma, çekme dayanımının tükenmesi ile meydana gelecektir. Bilindiği gibi basit kesme durumunda, asal çekme gerilmeleri kesme gerilmesine eşittir. Betonun çekme dayanımı kesme dayanımından küçük olduğundan, kesme ve asal çekme gerilmelerinin eşit olduğu bu durumda kırılma, asal çekmeye dik yönde beliren çatlaklardan oluşacaktır. Betondaki çatlaklar, asal çekme gerilmelerine dik yönde oluşur [23].

1.4.4. Elastisite

Beton genel olarak elastik bir malzeme değildir. Elastiktik, üzerindeki yük, kaldırılan malzemenin başlangıç biçimine dönebilme özelliğidir. Betonun gerilme deformasyon ilişkisi, genellikle bir eğri şeklindedir.

Elastisite modülünün zamana bağlı değeri, zamana ve kalıcı yüke bağlıdır. Elastisite modülünün zamanla ilk değerinin yarısına ve hatta daha azına yaklaşması mümkündür. Elastisite modülü, (er — s) eğrisini etkileyen bütün faktörlerden etkilenir.

Elastisite modülü, betonun basınç dayanımının bir fonksiyonu olmaktadır [4].

ACI 318-83 Amerikan Beton Enstitüsü

$$W = 22700 \text{ N/m}^3$$

$$W = 2,27 \times 10^{-5} \text{ N/mm}^3 \text{ için}$$

$$E_{cj} = W^{1.5} \times 0,014 \sqrt{f_{ckj}} \text{ N/mm}^2$$

$$E_{cj} = 1,51 \times 10^{-8} \sqrt{f_{ckj}} \text{ N/mm}^2 \quad (1.8)$$

CEB-78 Avrupa Beton Komitesi

$$E_{cj} = 4415 (f_{ckj} + 80)^{1/3} \text{ N/mm}^2 \quad (1.9)$$

T S 500 Türk Standartları Enstitüsü

$$E_{cj} = 3250 \sqrt{f_{ckj}} + 14000 \text{ N/mm}^2 \quad (1.10)$$

E_j : j günlük betonun elastisite modülüdür.

f_j : j günlük betonun silindir basınç dayanımıdır.

Yükleme, çalışma bölgesi dışına çıktığında eğri baş kısmındaki düzgünlükten ayrılacaktır. Betonun 28 günlük kırılma mukavemetinin % 75'ine kadar ki basınç dayanımları için gerilme-deformasyon oranı oldukça ünitordur. Betonların 28 günlük elastik modülü, yaklaşık olarak $1-4 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ civarındadır [4].

Betonun poisson oranı, genellikle 0,15-0,20 arasında değişebileceği bilinir. Betonun elastisite modülünün bilinmesi, yükler altında oluşacak gerilmelerin ve momentlerinin hesabında gereklidir.

Poisson oranı da betonun yapısal davranışının anlaşılması için gereken bir değerdir. Eksenel yük altında, elastik bölgesel, yanal birim deformasyonun eksenel birim deformasyona oranı poisson oranı olarak adlandırılır.

$$\mu = (\varepsilon_y / \varepsilon_x) \quad (1.11)$$

ε_y = Yanal birim deformasyonu

ε_x = Eksenel birim deformasyonu

μ = Poisson oranı

Poisson oranı, beton numunelerine elastik bölgede basınç gerilmeleri uygulandığında, deney numunelerinde meydana gelen enine birim uzamanın boyuna birim kısalmaya mutlak değerce oranıdır.

Betonun elastisite modülü ile dayanımı arasında bir ilişki vardır. Dayanımı yüksek betonların elastisite modülü de yüksektir. Dayanımı yüksek betonların poisson oranı daha düşüktür.

Statik elastisite modülü (E), beton deney numunelerinde elastik bölgede (beton mukavemetinin 1/3-1/5 değerindeki basınç gerilmelerinde) uygulanan kuvvetin oluşturduğu basınç gerilmelerinin numunelerde meydana getirdiği boyuna birim kısalmaya oranıdır. Bu oran elastik bölgede çizilen gerilme deformasyon doğrusunun eğiminden belirlenir. Yani statik elastikiyet modülü, gerilme deformasyon eğrisi üzerindeki bir nokta ile koordinat merkezini birleştiren doğrunun eğimidir. Elastik sınır; malzemedeki deformasyonun, yük kaldırıldığında tamamen geri dönmemeye başladığı andaki gerilme sınırıdır. Statik elastikiyet modülünün bilinmesi ile gerilme bulunabilir. Elastik kısalma, ön gerilmeli beton elemana ön gerilme kuvveti uygulanır uygulanmaz betonda meydana gelen kısalmadır.

Basınç altında sünme, sürekli basınç etkisi altında kalan betonun zamana bağlı olarak basınç doğrultusunda yük artmaksızın boy değişiminin (kısalmasının) başlangıçtaki boyuna oranıdır. Betonda, boy değişimi, uygulanan basınç nedeniyle deney numunesinin ölçüm boylarında oluşan kılma veya uzamalıdır.

1.4.5. Çarpma Dayanımı

Beton dayanımı, üzerine gelen yüklerin neden olacağı şekil değiştirmelere ve kırılmaya karşı, betonun gösterebileceği maksimum direnme olarak tanımlanmaktadır. Betonun üzerine değişik yönlerde uygulanan yükler, değişik etkiler yaratabilmektedir. Basınç, çekme, eğilme ve kayma etkisi yaratacak yükler altında betonun şekil değiştirmeye ve kırılmaya karşı göstereceği direnme kabiliyeti, sırasıyla basınç dayanımı, çekme dayanımı, eğilme dayanımı ve kayma dayanımı olarak tanımlanmalıdır. Tekrarlı yüklerin etkisi altında betonun şekil değiştirmeye ve kırılmaya karşı göstereceği direnme kabiliyetine ise yorulma dayanımı denilmektedir. Malzemeye etki eden gerilmelerin büyüklüğüne bağlı olarak deformasyonlar meydana gelir, malzemenin bu deformasyonları karşılayamaması durumunda kırılma olayı oluşur.

Betonun kullanılacağı yapının tasarımı yapılırken, betonun üzerine gelebilecek değişik türdeki yüklerin büyüklükleri göz önünde tutulmakta ve betonun bu yüklerle karşı yeterli dayanımı göstereceği varsayılmaktadır. Betonda ki dayanım değerlerinin, tasarım hesaplarında kullanılmış olan değerlerden daha az olmaması gerekmektedir [25].

Yüksek bir yerden kütle ağırlığı fazla olan bir cismin malzeme üzerine düşmesi çarpma olayını meydana getirir. Malzemenin ani bir şekilde yüklenmesi veya çarpma etkisine uğraması statik yüklemelerden daha farklı bir gerilme meydana getirir.

Bir cismin belirli bir yükseklikten düşmesi veya bir kuvvetin birden bire uygulanmasıyla malzeme çarpma etkisine maruz kalmaktadır. Çarpma sonucu, gerilme çok kısa süre içerisinde artarak büyük değerlere ulaşır. Hava alanları bu tür çarpma etkisi altındadır. Tren, lokomotif ve vagonların, raylara ve köprülere ani uyguladığı kuvvet çarpma etkisini meydana getirir. Eğer malzeme çarpma tesirlerine dayanıklı değilse kısa sürede deformasyona uğrar ve beklenen fonksiyonu göstermez. Çarpma olayında malzeme dış kuvvetlerin yapmış olduğu bir etkiye maruz kalmaktadır. Malzemenin kırılma nedeniyle deformasyona uğraması halinde malzeme çarpma etkisiyle mukavemetini kaybeder [26].

Çarpma deneyleri malzeme şekline ve cinsine bağlı olarak farklı şekilde yapılabilmektedir. Bunlar;

- a) Hareketli sarkaç - charpy-izod
- b) Düşen top - düşme makinesinin farklı tipleri ile sabit yükseltideki düşüş veya değişken yükseltideki düşüş
- c) Kesin bir yükseklikten düşürülen yapısal elemanlar
- d) Patlayıcı maddeler

Beton ve betonarme elemanlarda, kullanım yerlerine bağlı olarak önemli ölçüde çarpma etkisi altında kalabilirler. Yollar, genel amaçlı döşeme kaplamaları, kazık ve palplanj başlıkları verilebilir. Betonun yeterli çarpma dayanımına sahip olması halinde bu gibi yapılar ve elemanlar işlevlerini göremez hale gelirler veya faydalı ömürleri kısılır. Bir malzeme üzerinde çarpma etkisi, yüzeyine bir cismin belirli yükseklikten düşmesi yolu ile olacağı gibi dinamik, aniden uygulanan kuvvetler şeklinde de olabilir. Çarpma sonucunda bir cisimde gerilmeler çok kısa sürede büyük değerler ulaşabilmekte, gerilme ve deformasyonlar karmaşık, teorik irdelemese zor hale gelebilmektedir.

Bir cismin çarpma dayanımı, gerilme-birim deformasyon eğrisinin altındaki alan yani tokluğu ile yakından ilişkilidir. Bu alanın büyük olması cismin yüksek dayanımına sahip olması kadar sünek olmasına da bağlıdır. Genelde kırılğan bir malzeme olan betonda dayanım normal agrega kullanılması halinde harç matriksinin ve harç-iri agrega ara yüzeyinin kalitesine bağlıdır [27].

Yükleme şekli esas alındığında malzemeyi kırmak iki yolla mümkündür. Birincisi gerilme-şekil değiştirme diyagramlarının elde edilmesine yapıldığı gibi yükü yavaş yavaş artırmak suretiyle kırmaktır ve kırılma işi şekil değiştirme eğrisinin altında kalan alanla ölçülür. İkincisi ise malzemeye başka bir cismi, mesela bir tokmağı hızla çarpmak suretiyle kırmaktır. Bir ucundan tesbit edilmiş olan B numunesini kırmak için h yüksekliğinden bırakılan G ağırlığındaki tokmağın O noktası etrafında dönerek sarf ettiği iş, tokmağın ilk ve son konumlarındaki potansiyel enerjileri arasındaki farktan $U=G(h_0-h)$ olarak elde edilir. Bu işi kırılan numunelerin A kesit alanına bölmek suretiyle elde edilen,

$$\Phi = U/A = (G \times (h_0 - h_1))/A \quad (1.12)$$

Sayısına malzemenin çarpma mukavemeti denir. Çarpma mukavemetinin birimi kg.cm/cm²'dir. Elde edilen sonuç, deney şartlarına, tokmağın şekline ağırlığına, çarpma hızına bağlı olarak değişir [28].

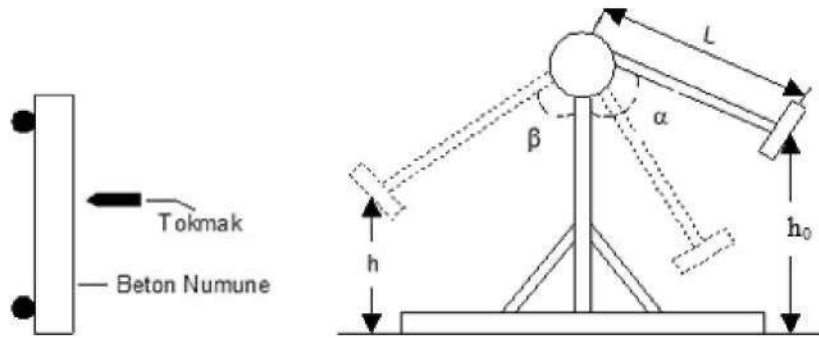
1.4.5.1.Charpy Deney Metodu

Malzemenin çarpma dayanımlarını belirlemek için çeşitli deney metotları uygulanmaktadır. Metaller için çentikli numunelerin yer aldığı Charpy pandülü kullanılırken, yapı taşları için belirli bir ağırlığın belirli bir yükseklikten serbestçe numune üzerine düşürülmesi yöntemi uygulanır. Betonlar için ise standart metot bulunmaktadır [27].

Basınç mukavemeti ve çekme mukavemeti büyük olan betonların çarpma mukavemeti de büyük olur. Betonun deformasyon yapma kabiliyetinde azalma belirli bir süreden sonra, betonun yaşı ilerledikçe çarpma dayanıklılığının azalması yol açar. Bu nedenle betonarme kazık ve palplanjların başları bu tür zorlama ile karşı karşıya gelmektedir. Bu husus göz önünde tutularak bunlar üretildikten sonra fazla bekletilmeden çakılmalıdır [25].

Charpy metodunun temeldeki ana fikri enerjinin korunumudur. Sarkaç belli bir yükseklikte durgun halde iken potansiyel enerjisi maksimumdur. Numuneye çarptığı anda kinetik enerji maksimum seviyeye ulaşmıştır. Numuneyi kırduğunda enerjinin belli bir miktarı numunenin kırılma enerjisi olarak harcanır, geriye kalan enerji vasıtasıyla tokmak devam ederek yükselir. Buradaki enerji kaybı, bize çarpmadaki kırılma enerjisini verir. Kırılma enerjisinden faydalanarak çarpma mukavemeti belirlenir. Genel olarak çarpma dayanımı kg.m/cm^2 veya N.mm/mm^2 cinsinden ifade edilmektedir [2].

Çarpma dayanımı tayini için kullanılan charpy deney düzeneği Şekil 1.8'de gösterilmiştir.



Şekil 1.9. Çarpma dayanımı charpy deney düzeneği

Sarkacın başlangıçta bırakıldığı andaki enerjisi ile numune kullanıldıktan sonra sarkaçta kalan potansiyel enerji farkı, o numunenin kullanılması için gereken enerjiyi başka bir deyimle, darbe direncini verir. Bu enerji aşağıdaki formülle de gösterilebilir

$$\text{Kırılma enerjisi} = G \times (h_0 - h_1) = G \times L \times (\cos \beta - \cos \alpha) \quad (1.13)$$

G = Sarkacın ağırlığı (N)

L = Sarkacın ağırlık merkezinin, sarkacın salınım merkezine uzaklığı (mm)

h_0 = Sarkacın ağırlık merkezinin düşme yüksekliği (mm)

h_1 = Sarkacın ağırlık merkezinin çıkış yüksekliği (mm)

α = Düşme açısı (derece)

β = Yükseklik açısı (derece)

2. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Agrega granülometrisi ve çimento dozajının betonun dayanımına etkisi üzerine birçok araştırma yapılmıştır. Bu çalışmalarda çoğunlukla karışıma giren malzeme özellikleri ve betonun maruz kaldığı şartlar karşısında basınç dayanımının ve çekme dayanımının ne şekilde etkilendiği araştırılmıştır. Fakat çarpma dayanımı üzerine pek fazla bir çalışma bulunmamaktadır. Betonda agrega granülometrisi, çimento dozajı ve betonun çarpma dayanımıyla bağlantılı bazı çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Arıcı, E. [29], betonun çarpma dayanımına basınç dayanımının etkisinin belirlenmesi için yaptığı deneylerde kullanılacak numunelerin karışım hesaplamaları TS 802'e göre yapılmıştır. Numuneler max. agrega çapı 8 mm. olan, iki farklı başlangıç çatlağı boyutuna (relatif çentik boyu (a) 0,2 ve 0,3) ve farklı basınç dayanımına sahip üç seri halinde hazırlanmıştır. Üçüncü seride karışıma akışkanlaştırıcı ilave edilmiştir. 28 günlük numunelerden elde edilen basınç, eğilmede çekme ve yarma dayanımı deneyleri uygulanmıştır. Çarpma dayanımlarının belirlenmesi için ise beton numune boyutlarına uygun olarak hazırlanan Charpy deney düzeneği kullanılmıştır. Bu düzenekte 100x100x500 mm.'lik numunelerin kırılmadaki potansiyel enerji değerleri ve bu değerlerden faydalanılarak hesaplanan Çarpma dayanımı sonuçları elde edilmiştir.

Elde edilen verilere göre, betonun basınç dayanımındaki artışla birlikte numunelerin kırılması için gerekli olan potansiyel enerji (U), betonun çarpma dayanımı (Ç) ve çarpma dayanımının basınç dayanımına oranı (q) değerleri artmıştır. Fakat seriler başlangıç çatlağı boyutuna (a) göre kendi içinde incelendiğinde; çatlak boyu büyük olan numunelerde kesit alanı azaldığından, kırılması için daha az enerji gerekli olmuştur. Buna rağmen, çarpma dayanımları ve q değerlerine bakıldığında kesit alanı ile ters orantılı olduğu görülmektedir. Betonun çarpma dayanımı (Ç) ile basınç dayanımı (G) arasındaki orana (q) baktığımızda bu değerler 0,77 - 0,82 arasında değişmektedir. Bu sonuçlar deneysel veriler açısından olumlu olmaktadır. Charpy metodunun, betona uygulanabilirliğini göstermekle beraber dinamik bir etkide betonun davranışını ve çarpma mukavemetini rahatlıkla belirlenebileceğini göstermiştir.

Şahin, R. vd. [30], su-çimento oranı, çimento dozajı ve hava sürükleyici katkı maddesinden oluşan parametrelerin betonun taze haldeki özellikleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Deney çalışmaları sırasında beton üretiminde, agrega olarak, dere kumu,

kırmataş tozu, orta ve iri kırma taş kullanmışlardır. Çimento olarak Aşkale Çimento Fabrikasının Normal Portland Çimentosu (CEM I 32.5) kullanmışlardır. Karma suyu şebeke suyu olup, katkı maddesi olarak da ASTM C 260-81'e uygun olarak üretilmiş 20 °C'deki yoğunluğu yaklaşık 1 kg/lt olan sentetik bazlı renksiz hava sürükleyici katkı maddesi kullanılmıştır. Maksimum dane çapı 16 mm olarak seçilmiş olup, belirlenen agrega granülometrisi A16/B16 sınırları içerisinde olmakla birlikte Blö'ya daha yakındır. Deney tasarımı aşamasında ve sonuçların istatistiksel analizinde Taguchi Yöntemi kullanılarak optimizasyon yapılmıştır. Optimizasyon sonucunda betonun işlenebilirliği için çimento dozajı; birim ağırlık ve hava içeriği için ise hava sürükleyici katkı maddesi en önemli parametre olarak bulunmuştur. Genellikle betonun donma çözülmeye karşı direncini artırması için kullanılan hava sürükleyici katkı maddesi, taze betonun akışkanlığını da artırmıştır. Deneylerde kullanılan Taguchi Yöntemi; deney sayısını azaltmış, her üç deney için geçerli olacak şekilde parametrelerin optimum seviyelerinin belirlenmesini sağlamış ve yapılmayan deneylerin sonuçlarının kestirimini mümkün kılmıştır.

Sonuç olarak Çimento Dozajının betonun çökmesinde en etkili parametre olduğu görülmektedir. Çimento dozajı arttıkça betonun işlenebilirliğinin göstergesi olan çökmede artmıştır. Bu çalışmada 300 dozlu ve 400 dozlu çimentoların çökme miktarına bakıldığında 300 dozlu betonların ortalama 3,4 cm çökme değerine sahip olduğu görülürken 350 ve 400 dozlu betonlarda sırasıyla ortalama 13,2 ve 19,6 cm çökme değerine ulaştığı görülmüştür.

Mercan, Nil [31], yaptığı bu çalışmada beyaz portland çimentosu, beyaz kalker agrega ve mermer tozu kullanılarak elde edilen beyaz betonun, taşıyıcı elemanlarda kullanımı için en önemli özelliklerinden olan basınç dayanımı üzerinde farklı kür şartlarının etkisi araştırmıştır. Bu amaçla beyaz çimento dozajı 250-650 kg/m³ aralığında değiştirilerek ve kimyasal katkı oranı sabit tutularak, katkılı ve katkısız olmak üzere 10 ayrı karışıma sahip, her deney grubu için 18'er adet olmak üzere toplam 180 adet 100x100x100 mm'lik küp numuneler üretilmiştir. Hazırlanan beton karışımlara 20 ± 2°C su içerisinde, laboratuvar ortamında (14 ± 3°C sıcaklık ve % 68 nem) açık olarak ve naylon örtü içerisinde sarılı olarak üç farklı kür yöntemi uygulanmış olup, üretilen betonlar üzerinde birim ağırlık deneyi, çökme deneyi ve basınç dayanım deneyleri yapılmıştır.

Bulunan basınç deneyi sonuçlarına göre farklı dozajda üretilen numunelerde süper akışkanlaştırıcı katkının ve farklı kür şartlarının beton basınç dayanımları üzerindeki etkileri araştırmıştır.

Buna göre, üretilen betonlarda özellikle ilk günlerde su kürü yönteminin uygulanması ve kimyasal katkı kullanımının betonun dayanım ve dayanıklılığın artmasında etkili olacağı görülmektedir.

Arıcı, E. vd. [2], bu çalışma; betonun çarpma mukavemetini belirlemek için Charpy metodu kullanılmış ve bu metodun betona uygulanabilirliği araştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda 100x100x500 mm'lik beton numunelerde kullanılabilecek boyutlarda Charpy deney düzeneği hazırlanmıştır. Çarpma mukavemetinin belirlenmesi için yapılan deneylerde max. agrega çapı 8 ve 16 mm olan, iki farklı başlangıç çatlak boyutuna (relatif çentik boyu 0.2 ve 0.3) sahip iki seri numune hazırlanmıştır. Ayrıca serilerin basınç, yarma ve eğilme dayanımları belirlenmesi içinde numuneler dökülmüştür. Elde edilen deneysel verilerden çarpma dayanımında max. agrega boyutunun etkisi incelenmiştir.

Tanigawa ve Yamada [32], ise çalışmalarında agreganın boyutundaki değişimin yalnızca betonun iç yapısını etkilemediğini aynı zamanda karışımın dayanımını etkilediğini belirlemişlerdir. Araştırmacılara göre 3 mm'den daha küçük çaptaki maksimum agreganın basınç dayanımını etkilemediğini ve bunun betondaki heteroj enlikle değiştiğini belirlemişlerdir. Burada dikkat edilmesi gereken agreganın boyut etkisinin genellikle numune boyutu / maksimum agrega çapı oranı ile açıklanabileceğini ve agrega boyutunun büyük olmasına rağmen büyük boyuttaki numunelerin daha düşük dayanıma sahip olabileceğini belirtmişlerdir. Çünkü geometrik heteroj enliğin etkisi daha küçük olmaktadır.

Maksimum agrega boyutu sınırlanan değerlerin dışında kaldığı zaman, sınırlamayı sağlayacak boyutlara ulaşmak için agreganın gerekli eleklerden geçirilmesi yoluna gidilir. Bu işlem numune dayanımı üzerinde önemli bir etki olarak göze çarpmaktadır. Örneğin maksimum agrega çapı 38 mm olan karışımından, maksimum çapı 18 mm olan bir karışım elde edilerek beton üretildiğinde dayanımın % 7 arttığı görülmüştür. Bir diğer çalışmada 52,4 mm maksimum agrega çaplı karışımından 38,1 mm maksimum agrega çaplı karışım elde edilerek üretilen numunelere ait dayanım değerlerinin % 17 - 29 arasında arttığı saptanmıştır.

İstanbulluoğlu, S. [33], yaptığı bu çalışmada her bir test serisi için belli oranlarda hazırlanan çimento, agrega ve su (bazen de katkı maddesi) karıştırılarak beton karışımları elde edilmiş ve 20x20x20 cm boyutlarındaki küp numunelerle, farklı agrega türleri (granül kalker kaba EFK) ve farklı çimento dozajları kullanılarak yapılan deneylerde, beklenildiği gibi, karışım içerisindeki çimento miktarı artırıldıkça dayanımının da arttığı gözlenmiştir.

Çimento miktarı arttıkça, dayanımlardaki artışın yanı sıra İm^3 sıkıştırılmış karışım içerisindeki çimento miktarları da önemli ölçüde artmaktadır. Sonuç olarak, yeterli dayanımları sağlayan en düşük çimento oranlı karışımlar: hacimsel % 15 çimento - % 85 granül kalker karışımı ve ağırlık olarak % 30 çimento - % 70 kaba EFK karışımları olup, çimento miktarı arttıkça dayanımın arttığı görülmüştür. Granül kalker agregasında granülometri oranlarını değiştirerek, çimento agrega oranı (hacimsel % 15 çimento - % 85 kalker), kıvam ve diğer faktörler sabit tutularak kırılmış kalkerin granülometri idealden uzaklaştıkça basınç dayanımları düşmüştür. Granülometri idealden uzaklaştıkça basınç dayanımını değeri de düşmüştür. Aynı zamanda da 1 m^3 sıkıştırılmış karışım içindeki su miktarı artarken, çimento ve agrega miktarları azalmıştır. Basınç düşürücü bir unsur olan su çimento oranı da granülometri bozuldukça artmıştır.

Selvi, M. [34], yaptığı çalışmada beton dayanımındaki değişimin çarpma dayanımına olan etkisinin deneysel ve sonlu elemanlar yöntemiyle incelemiştir. Deneysel çalışmasında 10 adet dikdörtgen kesitli $15 \times 15 \times 71$ cm boyutlarında kiriş numune serileri, 30, 35, 40, 45, 50 cm olmak üzere farklı yüksekliklerden düşürülen sabit ağırlıklı çekicini yaratmış olduğu çarpma etkisini incelemiştir. Ankara yöresine ait 0-7 mm ve 7-15 mm çaplarında iki tip dere agregası ve CEM I PÇ 42,5 Portland çimentosu kullanmıştır. Kiriş numunelerin 5 tanesi normal dayanımlı, 5 tanesi ise yüksek dayanımlı betondan olarak üretilmiştir. Belirlenen farklı yüksekliklerden bırakılan 5,25 kg sabit ağırlıklı çekiç, numuneler üzerine göçmeye ulaşıncaya kadar düşürülmüştür. Her bir düşmede ivmeölçer ve kuvvetölçer kullanılarak numunede oluşan içsel etkiler belirlenmeye çalışılmıştır. Her bir numunenin çatlak oluşumu, ivme-zaman ilişkisi, çekiç düşürme sayısı ve numunelerin genel davranışı takip edilmiştir. Deneysel sonuçlara bakıldığında, çekiç düşme yüksekliği arttıkça numuneyi göçmeye götüren düşürme sayısı azalmıştır.

Ünal, O. vd [35], yaptıkları çalışmada, agrega granülometrisi ve kimyasal katkının yüksek performanslı beton özelliklerine etkisi araştırmışlardır. Çalışmada, dört farklı tane boyutundaki agregalardan oluşan beş farklı granülometri seçilmiştir. Karışıma giren agregalardan doğal kum ve kırmataş-I oranları sabit, kırma kum ile kırmataş-II oranları değiştirilmiştir.

Tablo 2.1. Deneyisel çalışmada kullanılan agregaların fiziksel özellikleri

Numune Cinsi	Eleğ Çapı							Karışım Oranı %					Özgöl ağırlık kg/dm ³	Birim Ağırlık kg/dm ³
	31,5 mm	16 mm	8 mm	4 mm	2 mm	1 mm	0,25 mm							
0-3 Doğal	100	100	100	100	77	45	20	14					2,62	1,625
0-6 Kırma	100	100	100	86	52	33	17	42	36	30	24	18	2,65	1,410
6-12 Kırma Taş I	100	100	76	7	5	0	0	16					2,71	1,365
12-22 Kırma Taş II	100	58	2	1	0	0	0	28	34	40	46	52	2,70	1,362

Çalışmada kullanılan agregaların fiziksel özellikleri Tablo 2.1.'de gösterildiği gibidir.

Beton karışımlarında Afyonkarahisar SET çimento fabrikasının üretimi olan PKÇ 42.5 tipi portland kompoze çimentosu kullanılmıştır. Katkılı beton karışımlarında MR 50 orta akışkanlaştırıcı katkı maddesi çimento ağırlığının % 1 oranında kullanılmıştır. Agregaların yeterliliğini belirlemek amacıyla çimento miktarı 350 kg/m³, su/çimento oranı 0,65'e göre uygun beton karışım hesabı yapılarak beton üretilmiştir. Agregaların granülometrisinin beton özelliklerine etkisinin belirlendiği çalışmada 0-3 mm doğal kum, 0- 6 mm kırma kum, 6-12 mm ve 12-22 mm tane boyutlarında kırma taş agregaları olmak üzere dört agrega sınıfı malzeme kullanılmıştır.

Agregaların granülometrisinin beton özelliklerine etkisinin belirlendiği çalışmada elde edilen sonuçlara göre, 0-3 mm doğal kum %14, 0-6 mm kırma % 42, 6-12 mm kırma %16 ve 12-22 mm %28 oranlarına ait beton serisi her bir zaman dilimi içerisinde beton özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Karışımlarında optimum su/çimento oranı 0.65 ve çimento miktarı 350 kg/m³ olarak belirlenerek, katkılı ve katkısız olmak üzere 10 farklı seri beton numuneleri üretilmiştir. Numuneler kalıptan alındıktan sonra 7, 28 ve 56 gün süreyle suda kür edilmiştir. Numuneler üzerinde, birim hacim ağırlığı, ultra ses geçiş süresi ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, agregaların granülometrisinin betonun özellikle basınç dayanımı üzerine etkisinin fazla olduğu belirlenmiştir. Karışımındaki iri malzeme oranının artmasına paralel olarak yerleştirmedeki olumsuz etkilerle birlikte içyapıda boşluk oranı artırdığı ve boşluk oranının artması ile dayanımlarında azaldığı görülmüştür.

3. MATERYAL VE METOT

Deneysel çalışmalara başlamadan önce literatür taraması yapılmıştır. Yapılan bu taramalarda çimento dozajının ve agrega granülometrisinin dayanıma etkisi incelenmiştir. Betonun çarpma dayanım özelliklerinin geliştirilmesinde çimento dozajı ve agrega granülometrisinin etkilerini araştıran bu tez çalışmasında üç farklı granülometri eğrisine göre agrega kullanılmıştır. A16, B16, C16 granülometri eğrisine göre ayarlanmış olan agregalar ile 300 ve 450 dozlu karışımlar hazırlanmıştır. Kalıplara dökülerek laboratuvar şartlarında 24 saat bekletilen numuneler kür tanklarına alınarak deney gününe kadar bekletilmiştir. 28 günü tamamlayan numuneler kürden çıkarılarak basınç, eğilme ve çarpma deneylerine tabii tutulmuşlardır.

3.1. Deney Numunelerin Hazırlanışı

Numuneler hazırlanmadan önce TS 802 esas alınarak karışım hesaplanması yapılmıştır. Bu miktarlar esas alınarak slump deneyi yapılmış ve ortalama 7 cm çökme elde edilecek şekilde malzeme oranları düzenlenmiştir. Karışıma girecek malzeme oranları Tablo 3.1. ve Tablo 3.2.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Karışıma giren malzeme miktarları 300 doz

Malzeme		300 Doz		
		A16	B16	C16
Çimento		300	300	300
Su		175	192	195
Agreganın Çapı	0-1	221	573	874
	1-2	164	178	230
	2-4	272	247	211
	4-8	433	352	245
	8-16	714	418	208
Toplam		2279	2260	2263

Tablo 3.2. Karışıma giren malzeme miktarları 450 doz

Malzeme		450 Doz		
		A16	B16	C16
Çimento		450	450	450
Su		202	204	209
Agreganın Çapı	0-1	196	521	790
	1-2	146	162	208
	2-4	241	225	191
	4-8	385	320	222
	8-16	634	379	188
Toplam		2254	2261	2258

Karışım oranlarına göre toplam 6 seri beton dökülmüştür. Her seride basınç dayanımı için 3 adet 15x15x15 cm'lik küp, eğilmede çekme ve çarpma deneyleri için üçer adet olmak üzere toplam 6 adet 10x10x50 cm'lik kiriş numuneleri hazırlanmıştır. Oluşturulan seri adları Tablo 3.3'de gösterilmiştir.

Tablo 3.3. Seri Adları

Seri Adı	Seri No	Dozaj	Granülometri Eğrisi
Seri I	S1	300	A16
Seri II	S2	300	B16
Seri III	S3	300	C16
Seri IV	S4	450	A16
Seri V	S5	450	B16
Seri VI	S6	450	C16

3.1.1. Numune Kalıpları

Deney numunelerinin hazırlanmasında kiriş numunelerde standart çelik kalıplar ile strafordan yapılmış kalıplar kullanılmıştır. Küp numuneler için plastik kalıplar kullanılmıştır. Küp numunelerde 15x15x15 cm'lik kalıplar, kiriş numunelerde ise 10x10x50 cm'lik kalıplar kullanılmıştır. Kullanılan kalıplar Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Hazırlanan karışımlar kalıplara şişlenerek üç aşamada yerleştirilmiş ve yerleştirme işlemi bittikten sonra üzerleri perdahlanarak numune döküm işlemleri bitirilmiştir.



Şekil 3.1. Deneyde kullanılan kalıplar

3.1.2. Deneyde Kullanılan Agregalar

Deneylerde kullanılan agregalar, minerolojik olarak nehir kumu niteliğinde olup, Elazığ ili, Palu ilçesinden temin edilmiştir. Agregaya ait özellikler Tablo 3.4'de verilmiş olup TS 706'daki sınır değerlere uygun olarak ayarlanmıştır. Maksimum dane çapı 16 mm olarak tercih edilmiştir.

Tablo 3.4. Karışıma giren agregaların fiziksel özellikleri

Özgül ağırlık (gr/cm ³)	Su emme (%)	Aşınma kaybı (%)	Kil miktarı (%)	Donma kaybı (%)
2.48	4	16.6	2.0	1.83

3.1.3. Deneyde Kullanılan Çimento

Deneyde kullanılan numunelerin hazırlanmasında Elazığ Altınova Çimento San. T.A.Ş.'nin ürettiği CEM I 42.5 R çimentosu kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan çimento TS EN 197-1'e uygun olup çimentoya ait özellikler Tablo 3.5'de verilmiştir. Çimento dozajı iki farklı değerde olup, bu değerler 300 ve 450 kg'dır.

Tablo 3.5. PKÇ 42.5 R Tipi çimentonun fiziksel ve kimyasal analizleri

Kimyasal Analiz Sonuçları									
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	T.E.			
32.08	6.05	3.23	49	3.85	3.31	1.05			
Fiziksel Analiz Sonuçları									
45u	Blaine	Priz baş.	Priz son.	Öz. ağı.	Yoğunluk	H.gen.	2 gün	7 gün	28 gün
1.3	3493	1.55	3.05	3.06	980	6	23.8	41.3	57

3.1.4. Karışım Suyu

Türk Standartlarında belirtilen değerlere uygun olarak içme suyu (Elazığ şehir şebekesi) kullanılmıştır.

3.2. Numunelere Uygulanan Deneyler

3.2.1. Basınç Dayanımı Deneyi

Basınç dayanımı deneyi için 3'er adet 150x150x150 mm boyutlarındaki küp numuneler kullanılmıştır. Her dozaj değeri için Al6, B16,C16 eğrisine uygun olarak toplam 18 adet deney numunesi hazırlanmıştır. Numuneler kalıplarından sökülüp kür tankına konularak 28 gün bekletilmiştir.

Kür tankına yerleştirilen numuneler Şekil 3.2.'de görüldüğü gibidir.



Şekil 3.2 Kür koşulları

Kür tankında 28 günlük beton numuneleri çıkarılarak basınç dayanımı deneyi uygulanmıştır. Deneyler Şekil 3.3.'de görülen 25 MN hidrolik yük kontrollü presle yapılmıştır. Yükleme hızı 2 kN/sn olarak uygulanmıştır.



Şekil 3.3. Basınç dayanımı deney düzeneği

Numuneler deney presine yerleştirilip kırma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Numunelerin kırılmasını takiben deney presi ekranından kırılma yükü, gerilme gibi bilgiler okunarak kaydedilmiştir. Uygulanan basınç dayanımı deneyi sonucunda numunelerde oluşan kırılma Şekil 3.4'de görüldüğü gibidir.



Şekil 3.4. Basınç dayanımı deneyi sonucunda numunenin kırılma şekli

Her serinin basınç dayanımı 3 adet 150x150x150 mm boyutundaki numunelerin basınç deneyi sonucundaki kırılma yükleri (P) alınarak, $\sigma = \frac{P}{A}$ formülündeki max yükün (N), numunenin kesit alanına (mm²) bölünmesiyle bulunmuş ve ortalamaları alınmıştır.

3.2.2.Eğilmede Çekme Deneyi

Eğilmede çekme deneyinde orta noktadan yüklenen 100x100x500 mm'lik dikdörtgen kesitli kiriş numuneler kullanılmıştır. Kiriş numuneler makineye tam merkezlenecek şekilde, üst ve alt yükleme silindirleri eksenine dik açı teşkil edecek konumda boyuna yerleştirilmiştir. Numuneler yerleştirme işleminden sonra orta noktasından yüklenerek eğilme yükü altında kırılmaya tabi tutulmuştur. Numunenin yerleştirme ve kırılma anındaki görüntüsü Şekil 3.5.'de ve Şekil 3.6'da görüldüğü gibidir. Deney sonunda elde edilen kırılma yükü yardımıyla eğilmede çekme dayanımı hesaplanmıştır.



Şekil 3.5. Eğilme yükü altında kırılma deney düzeneği ve deney numunesi



Şekil 3.6. Numunenin kırılma şekli

3.3.3. Çarpma Dayanımı Deneyi

Çarpma dayanımının belirlenmesinde Charpy darbe deneyi kullanılmıştır. Numunelere uygulanan çarpma dayanımı deneyinde 100x100x500 mm'lik dikdörtgen kesitli kiriş numuneler Charpy deney düzeneğine mesnetlere tam yaslanacak ve çekiç salınım düzlemiyle numunenin orta nokta düzlemi çakışacak şekilde yerleştirilmiştir. Numuneler yerleştirilip açı kadranı kontrol edildikten sonra, çekiç düşme konumuna getirilerek açısı okunmuştur. Çekiç serbest bırakılarak numuneyi kırması sağlanmıştır. Kalan enerjisi ile bir miktar yükselmiştir. Yükselme miktarına göre kadrandan yükselme açısı okunmuştur. Çarpma deneyinde kullanılan charpy deney düzeneği ve numunenin yerleştirilmesi Şekil 3.7.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Charpy deney düzeneği ve numunenin yerleştirilmesi

Ağırlığı G olan sarkaç, h_0 yüksekliğine çıkarıldığında potansiyel enerjisi (Gxh_0) mertebesindedir. Sarkaç bu yükseklikten serbest bırakıldığında, düşey bir düzlem içinde hareket ederek numuneyi kırar ve aksi istikamette h_1 yüksekliğine kadar çıkar. Böylece, numunenin kırılmasından sonra sarkaçta kalan potansiyel enerji (Gxh_1) mertebesindedir.

Sarkacın serbest bırakılmadan önceki potansiyel enerji ile numune kırıldıktan sonra sarkaçta kalan potansiyel enerji farkı, o numunenin kırılması için gereken enerjiyi verir. Tokmağın ilk ve son konumlarındaki potansiyel enerjileri arasındaki fark ve numune kesit alanından faydalanılarak çarpma dayanımı belirlenir.

$$\text{Kırılma enerjisi} = G \times (h_0 - h_1) = G \times L \times (\cos \beta - \cos \alpha) \quad (3.1.)$$

$$\zeta = U/A = (G \times (h_0 - h_1)/A) \quad (3.2)$$

U = Kırılma için gerekli olan enerji miktarı

ζ = Çarpma dayanımı

G = Sarkacın ağırlığı (N)

L = Sarkacın ağırlık merkezinin, sarkacın salınım merkezine uzaklığı (mm)

h_0 = Sarkacın ağırlık merkezinin düşme yüksekliği (mm)

h_1 = Sarkacın ağırlık merkezinin çıkış yüksekliği (mm)

α = Düşme açısı (derece)

β = Yükseklik açısı (derece)

A = Numunenin kesit alanı (mm²)

4. BULGULAR

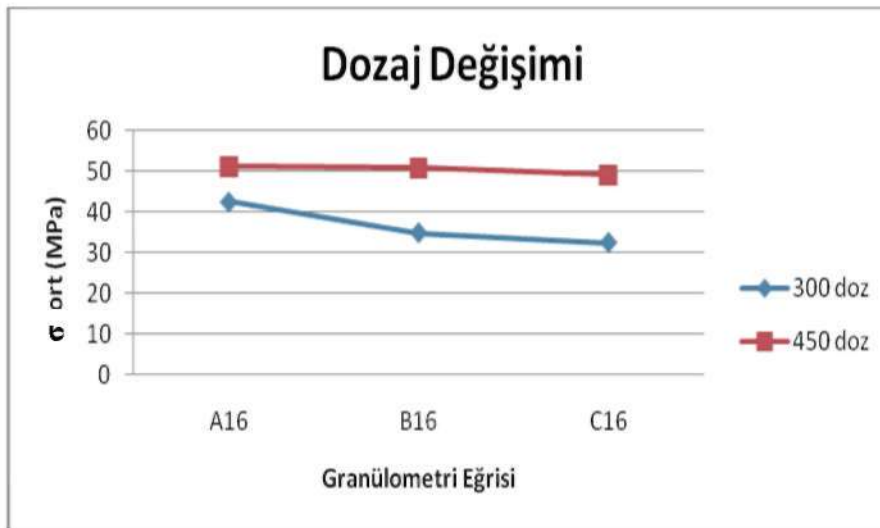
4.1. Basınç Dayanımı

Numunelerin kırılmasını takiben deney presi ekranından kırılma yükü okunarak gerilme değeri hesaplanmıştır. Bu verilere uygun olarak oluşan ortalama basınç dayanımları σ_{ort} değerleri Tablo 4.1'de belirtilmiştir.

Tablo 4.1. σ_{ort} değerleri

Seri No	σ_{ort} (MPa)	Dozaj	Granülometri Eğrisi
S1	42,50	300	A16
S2	34,84	300	B16
S3	32,41	300	C16
S4	51,13	450	A16
S5	50,84	450	B16
S6	49,11	450	C16

Bulunan kırılma yükü ve MPa cinsinden hesaplanan basınç dayanımı değerleri sonucunda ortalama basınç dayanımı değerleri bulunmuştur. Serilere ait bulunan ortalama basınç dayanımı değerleri ve dozaj değişimini gösteren grafik Şekil 4.1.'de gösterilmiştir.



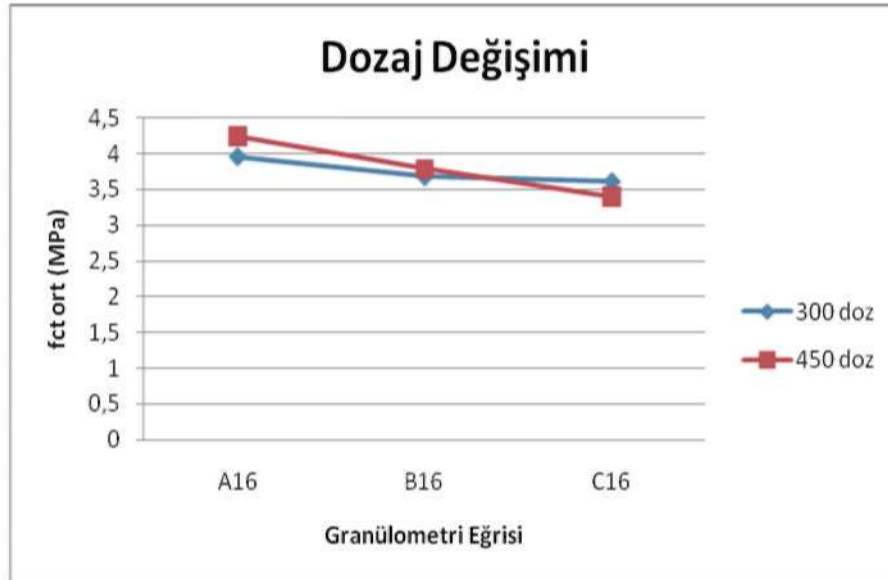
Şekil 4.1. Doz değişimine göre serilerin ortalama basınç dayanımları

4.2. Eğilmede Çekme Dayanımı

Eğilmede çekme deneyine tabi tutulan numunelerin kırılma yüklerinden faydalanarak eğilmede çekme değerleri MPa cinsinden hesaplanmıştır. Hesaplanan değerlerin ortalaması alınarak ortalama çekme dayanımı ($f_{ct_{ort}}$) bulunmuştur. Bulunan bu değerler Tablo 4.2 ve Şekil 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Serilerin ortalama eğilmede çekme dayanımları

Seri No	$f_{ct_{ort}}$ (MPa)
S1	3.96
S2	3.68
S3	3.61
S4	4.25
S5	3.79
S6	3.40



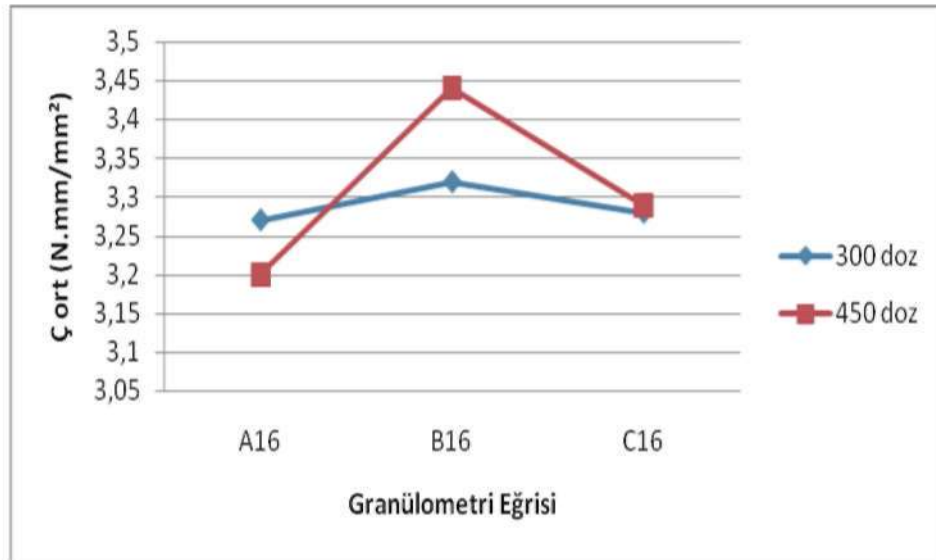
Şekil 4.2. Serilerin ortalama eğilmede çekme dayanım değerleri

4.3. Çarpma Dayanımı

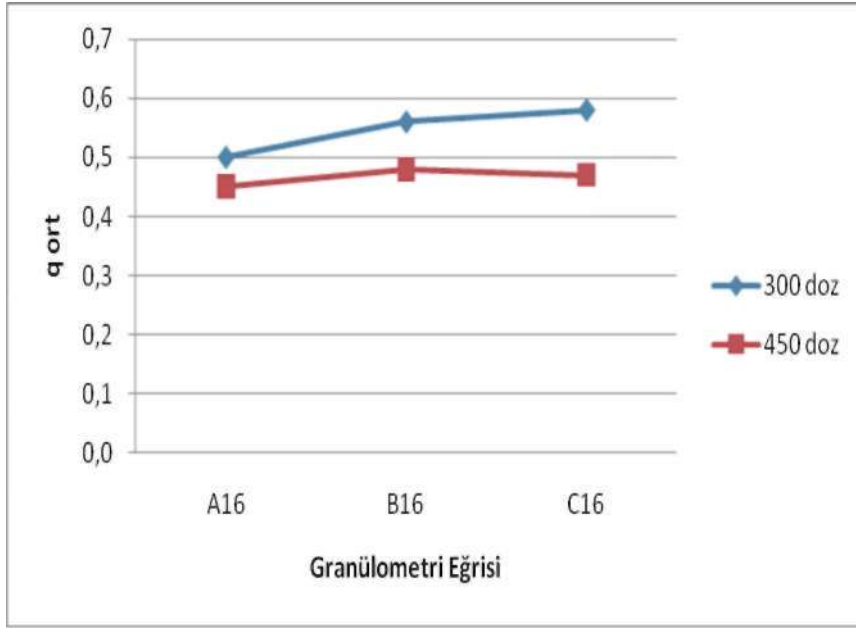
Çarpma dayanımını belirlenmesi için Charpy deneyine tabi tutulan numunelerden elde edilen veriler yardımıyla, kırılma için gereken enerji (U), serilerin çarpma dayanımları (Ç) ve çekme dayanımının etkisinin belirlenmesi amacıyla çarpma dayanımının çekme dayanımına oranı (q) hesaplanmıştır. Bulunan değerler Tablo 4.3, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'de gösterilmiştir.

Tablo 4.3. Serilerin ortalama çarpma dayanımı değerleri

Dmax (mm)	Seri No	U _{ort} (N.mm)	Ç _{ort} (N. mm/mm ²)	σ _{ort} (N/mm ²)	q _{ort}
16	Sİ	32709.68	3.27	42.50	0.50
	S2	33175.85	3.32	34.84	0.56
	S3	32787.37	3.28	32.41	0.58
	S4	32010.42	3.20	51.13	0.45
	S5	34418.97	3.44	50.84	0.48
	S6	32942.76	3.29	49.11	0.47



Şekil 4.3. Serilerin ortalama çarpma dayanımı değerleri (Ç_{ort})



Şekil 4.4. Serilerin (q_{ort}) değerleri

Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Tablo 4.4'de toplu olarak gösterilmiş ve % olarak düşme oranları verilmiştir (-) olarak verilen değerler ise artışı göstermektedir.

Tablo 4.4. DeneySEL verilerin genel sonuçları

Agraga Granülometri Eğrisi	Basınç Dayanımı		Eğilmede Çekme		Çarpma		$q = (\zeta / \sqrt{\sigma})$	
	σ_{ort}	%	f_{ctk}	%	ζ	%	q	%
	Mpa		Mpa		J/mm ²			
A16	42.50	18.02	3.96	7.07	3.27	-1.53	0.50	-12
B16	34.84		3.68		3.32		0.56	
C16	32.41	6.97	3.61	1.90	3.28	1.20	0.58	-3.57
A16	51.13	0.57	4.25	10.82	3.20	-7.50	0.45	-6.67
B16	50.84		3.79		3.44		0.48	
C16	49.11	3.40	3.40	10.29	3.29	4.36	0.47	2.08

300 DOZ

450 DOZ

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan bu tez çalışmasında; betonda kullanılan çimento dozajı ve agrega granülometrisinin betonun çarpma dayanımı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Deneysel çalışmadan elde edilen verilerin ışığında aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

1. Basınç ve eğilmede çekme dayanımlarının en büyük değeri Al6 granülometri eğrisine uygun olarak hazırlanan numunelerde elde edilmiştir. Bu değerleri B16 ve C16 eğrileri ile oluşturulan numunelerin basınç ve eğilmede çekme dayanımları takip etmiştir.
2. 450 dozluk betondan elde edilen dayanım değerleri 300 dozluk betonun dayanım değerlerinde çok yüksek çıkmıştır. Hatta 450 dozluk seriler içinde en düşük basınç dayanımına sahip C16 granülometri eğrisine uygun olarak hazırlanan numunenin basınç dayanım değeri dahi 300 dozlu Al6 granülometri eğrisine uygun olarak hazırlanmış numunenin basınç dayanım değerinden büyük çıkmıştır.
3. Çarpma dayanım değerlerine baktığımızda basınç ve eğilmede çekme dayanım değerlerinden farklı olarak en büyük değerler B16 eğrisi ile hazırlanan serilerde çıkmış ve bunu sırasıyla C16 ve Al6 serileri takip etmiştir.
4. Basınç ve eğilmede çekme dayanımı değerlerinde olduğu gibi çarpma dayanımında da en büyük değer 450 dozluk betondan elde edilmiştir.
5. En büyük q değeri, 300 dozlu C16 granülometri eğrisine uygun seriden elde edilirken 450 dozluk betonda B16 ve C16 eğrilerine uygun seriler arasında pek fark olmamasına (0,48 -0,47) karşın en büyük değer B16 eğrisinde elde edilmiştir.

Çimento dozajı ve agrega granülometrisi, betonun basınç dayanımı üzerinde önemli bir etkiye sahipken Çarpma dayanımı üzerinde aynı etkiye sahip değildir. Özellikle 300 dozlu betonda farklı granülometrilere göre elde edilmiş serilerin basınç dayanımlarındaki değişim oranı, çarpma dayanımındaki değişim oranının yaklaşık 10 katı kadar olmuştur. 450 dozluk numunelerde değişim bu kadar yüksek olmamıştır. Farklı granülometri eğrilerinde ve dozaj değerlerinde tam kapsamlı bir çalışma yapılması uygun olacaktır.

KAYNAKLAR

- [I] **Erdoğan, Y, Turhan,** 2007. Beton, Odtü Yayıncılık, 2.Baskı, Ankara.
- [2] **Arıcı, E., Dursun, R., İnce, R.,** 2007. Betonun Çarpma Mukavemetinin İncelenmesi "Determination of Impact Strength of Concrete", 8th International Fracture Conference, 628-633.
- [3] **Çorbacıoğlu, C. U,** 2008. Beton Karışımının Geçirirliğe ve Mekanik Özelliklere Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [4] **Şimşek, O.,** 2004. Beton ve Beton Teknolojisi, Seçkin Yayıncılık, 1.Baskı, İstanbul.
- [5] **Kocataşkın, F.,** 1991. Betonun Dünyü Bugünü Yarını, 2. Ulusal Beton Kongresi, Yüksek Dayanımlı Beton, Kardeşler Matbaası, (TMMOB İnşaat Müh. Odası)
- [6] **Kaya İ., Kekiñel F., Seno Arda T.,** 1996. Betonarmeye Giriş, Birsen Yayınevi, 9.Baskı, İstanbul.
- [7] **Aydın, A.C.,** Yapı Malzemesi ve İleri Beton Teknolojisi.
- [8] **TS 25,** 2008. ICS 91.100.10, Doğal Puzolan (Tras) - Çimento ve Betonda Kullanılan - Tarifler, Gerekler ve Uygunluk Kriterleri. Türk Standartları Enstitüsü, Necatibey Cad. No: 112 Bakanlıklar/ANKARA
- [9] **TS 639,** 1975. ICS 91.100.10, Uçucu Küller - Çimentoda Kullanılan, Türk Standartları Enstitüsü, Necatibey Cad. No: 112 Bakanlıklar/ANKARA
- [10] **İstanbulüoğlu, Selami,** 1988. Betonun Basınç Dayanımını Etkileyen Faktörler ve Ramble Betonunun Seçimi ile İlgili Bir Çalışma (*) MADENCİLİK, CiltXXVII, Sayı No:3
- [II] **Arıoğlu E., Nasuf E.,** 1986. "Tabaka Kontrolü",TKİ Genel Müdürlüğü, Teknoloji ve Uygulama Geliştirme Projesi Yayını, Ankara, s. 162-196.
- [12] **Çağlayan M., Haberveren S., İpekoğlu B., Kurşun İ.,** 1999. II.Ulusal Kırmataş Sempozyumu 99, ISBN B.L6.0.KGM.O.63.00.03/6061, Beton Yapımında Kullanılan Agregaların Özellikleri, İstanbul
- [13] **TS 706 EN 12620/A1,** Beton Agregaları, ICS 91.100.15, Türk Standartları Enstitüsü, Necatibey Cad. No: 112 Bakanlıklar/ANKARA

- [14] Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Beton Teknolojisi, http://www.teknolojikarastirmalar.com/eegitim/yapi_malzemesi/beton/3.1_.HTM
- [15] **Özışık, G.**, 1998. Beton, İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- [16] Erdoğan., M., İstanbul ve Dolayının Yapay Agregalı Potansiyeli' 3.Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu, Ç.Ü. Mühendislik Fakültesi, Adana.
- [17] TS **802**, 2009. ICS 91.100.30, Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları, Türk Standartları Enstitüsü, Necatibey Cad. No: 112 Bakanlıklar/ANKARA
- [18] Erdoğan., T.Y., 1995. Beton Oluşturan Malzemeler-Agregalar, Türkiye Hazır Beton Birliği Yayını, İstanbul
- [19] Beton İşleri Teknik Şartnamesi-DSİ-www.dsi.gov.tr.
- [20] Türkiye Hazır Beton Birliği Teknik Ofis-Betonun Yerleştirilmesi ve Bakımı
- [21] **Güner, M. S., Süme V.**, 2000. Yapı Malzemesi ve Beton, 2.Baskı
- [22] http://www.linsa.com/uploads/TrbBlogs/pdfs_1/19385_1192060118_636.pdf
- [23] Ersoy, U., **Özcebe G.**, 2001. Betonarme Temel İlkeler TS-500-2000 ve Türk Deprem Yönetmeliğine (1998) Göre Hesap, ODTÜ İnşaat Müh.Böl, Evrim Yayınevi, II.Baskı, İstanbul.
- [24] Ün, H., Pamukkale Üni.İnş.Müh.Böl. Yapı Malzemesi Dersi
- [25] **Şimşek, O.**, Beton Teknolojisi, Ankara.
- [26] **Özdemir, E.**, Beton Çarpma Dayanımını Belirleme Metodları ve Boyut Etkisinin İncelenmesi, Fırat Üniversitesi, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Semineri
- [27] TMMOB İnş. Müh. Od. "4.Ulusal Beton Kongresi", İstanbul, 1996
- [28] **Kocataşkın, F.** 1969. Yapı Malzemesi Bilimi, Arı Kitapevi, İstanbul
- [29] **Arıcı, E.**, 2010. Betonunun Çarpma Mukavemeti Üzerine Basınç Dayanımının Etkisi, Selçuk Üniversitesi ISSN 1302/6178 Journal of Technical-Online Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Volume 9, Number: 1-2010 Teknik-Online Dergi Cilt 9, Sayı:1
- [30] **Şahin, R.**, Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh. Böl, Erzurum, **Taşdemir, Mehmet Ali**, İTÜ İnşaat Fakültesi, Maslak, İstanbul, **Gül, R., Çelik, C.**, 2007. Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh. Böl, Erzurum, Taze Beton Özelliklerinin Optimizasyonu, Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Dergisi, 38 (2), 127-135, ISSN : 1300-903

- [31] **Mercan, Nü**, 2009. Farklı Dozlarda Üretilen Beyaz Betonlarda Dayanımın Kür Şartlarına Bağlı Değişimi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Nisan.
- [32] **Tanigawa,Y.,Yamada, K.**, 1978. Size Effect in Compressive Strength of Concrete , Cement and Concrete Research , 8, 181-190.
- [33] **İstanbüllüoğlu, Selami**, Factors which affect the compressive strength of concrete and a study on the selection of pack concreteMADENCİLİK, Eylül 1988, CiltXXVII, Sayı No:3
- [34] **Selvi, M.**, (2008) "Beton dayanımındaki değişimin çarpma dayanımına olan etkisinin deneysel ve sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmesi" Yüksek lisans tezi Gazi üniversitesi fen bilimleri enstitüsü.
- [35] **Ünal, Osman *, Uygunoğlu, Tayfun*, Coşkun, Ufuk ****, 2005. * Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, Afyonkarahisar **TÜMTAŞ Hazır Beton, Afyonkarahisar, Agrega Granülometrisinin Yüksek Performanslı Beton Özelliklerine Etkisi, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, (2) 13-20

ÖZGEÇMİŞ

1984 yılında Malatya'nın Yeşilyurt ilçesinde doğan Bilge KÜDEN; ilk, orta ve lise öğrenimini Malatya'da tamamladı. 2004 yılında Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Öğretmenliği bölümüne kayıt yaptırmış ve 2009 yılında bu bölümden başarı ile mezun olmuştur. Aynı yıl F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine başlamıştır.