

AGREGA TİPİNİN BETONUN ÇARPMA DAYANIMINA
ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Esra TOPTAŞ

Yüksek Lisans Tezi
Yapı Eğitimi Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Erdinç ARICI
AĞUSTOS-2011

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AGREGA TİPİNİN BETONUN ÇARPMA DAYANIMINA
ETKİSİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

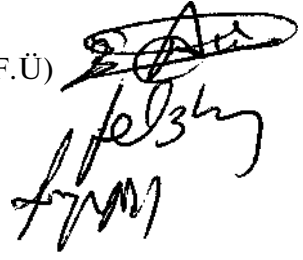
Esra TOPTAŞ

091125103

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26.08.2011

Tezin Savunulduğu Tarih : 23.09.2011

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Erdinç ARICI (F.Ü)
Diğer Jüri Üyeleri: Doç. Dr. Fahri ÖZKAN (F.Ü)
Doç. Dr. Ragıp İNCE (F.Ü)



AĞUSTOS-2011

ÖNSÖZ

Bu çalışmada bana her türlü konuda yardımcı olan bilgilerini esirgemedi benimle paylaşan danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Erdiç ARICI' ya ve Yapı Eğitimi Bölümü üyesi Doç. Dr. Fahri ÖZKAN' a teşekkürlerimi sunarım.

Bana her konuda maddi manevi desteklerini esirgemeyen sevgili eşim Barış TOPTAŞ' a, ilk günden beri yanımdan hiç ayrılmayan biricik oğlum Alp Ege TOPTAŞ' a ve beni bugünlere getiren canım aileme özellikle anneme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmalarım esnasında sürekli beraber olduğumuz ve birbirimize desteklerimizi esirgemediğimiz arkadaşım Bilge KÜDEN' e teşekkür ederim.

Esra TOPTAŞ
ELAZIĞ-2011

İÇİNDEKİLER

SayfaNo

ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	VI
SUMMARY.....	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VIII
TABLolar LİSTESİ.....	IX
SEMBOLLER LİSTESİ.....	X
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Beton.....	2
1.1.1 Çimento.....	3
1.1.2 Agregalar.....	4
1.1.2.1 Agregaların Fiziksel Özellikleri.....	6
1.1.2.1.1 Agregaların Birim Ağırlığı.....	6
1.1.2.1.2 Agregaların Özgöl Ağırlığı.....	6
1.1.2.1.3 Agregaların Rutubet Durumu.....	7
1.1.2.1.4 Agregalarda Kompasite.....	8
1.1.2.1.5 Agregalar Granülometrisi (Tane Dağılımı).....	8
1.1.2.1.6 İncelik Modülü.....	9
1.1.2.2 Agregaların Mekanik Özellikleri.....	9
1.1.2.2.1 Agregaların Tane Dayanımı.....	9
1.1.2.2.2 Agregaların Aşınma Dayanımı (Los-Angeles Deneyi).....	10
1.1.2.2.3 Agregaların Donma-Çözünme Dayanımı.....	11
1.1.3 Karışım Suyu.....	12
1.2 Betondan Beklenen Özellikler.....	13
1.2.1 Taze Betonda Olması Gereken Özellikler.....	13
1.2.2 Sertleşmiş Betonda Olması Gereken Özellikler.....	14
1.2.3 Beton Özelliklerini Etkileyen Faktörler.....	15
1.2.4 Betonun Avantajları Ve Dezavantajları.....	15
1.2.4.1 Betonun Avantajları.....	15
1.2.4.2 Betonun Dezavantajları.....	16
1.3 Beton Dayanımı.....	17
1.3.1 Beton Dayanımını Oluşturan Unsurlar.....	18
1.3.1.1 Çimento Hamurunun Dayanımının Beton Dayanımındaki Önemi.....	18

1.3.1.2	Agrega Dayanımının Beton Dayanımındaki Önemi	18
1.3.1.3	Çimento Hamuruyla Agreg Taneleri Arasındaki Aderansın Beton Dayanımındaki Önemi	19
1.3.2	Beton Dayanımını Etkileyen Faktörler	19
1.3.3	Betonun Basınç Dayanımı	20
1.3.3.1	Beton Basınç Dayanımının "Standart Deney Yöntemi" İle Elde Edilmesi	22
1.3.3.1.1	Numune Şekli	23
1.3.3.1.2	Numune Boyutları	23
1.3.3.1.3	Numunelerin Hazırlanması	23
1.3.3.1.4	Numunelere Uygulanan Kür	24
1.3.3.1.5	Silindir Şekilli Numunelere Başlık Yapılması	25
1.3.3.1.6	Deney Presi	25
1.3.3.1.7	Uygulanan Yükün Hızı	25
1.3.3.1.8	Basınç Dayanımının Bulunabilmesi İçin Gerekli Numune Sayısı	25
1.3.3.2	Basınç Dayanımının "Standart Deney Yöntemi" İle Elde Edilmesindeki Amaçlar	26
1.3.3.3	Ultrasonik Test Cihazı Kullanarak Beton Basınç Dayanımının Bulunması	27
1.3.3.3.1	Ultrasonik Test Cihazı Kullanımı Sonunda Hesaplanan Sesüstü Dalga Hızı Değerini Etkileyen Faktörler	28
1.3.3.3.2	Ultrasonik Test Yöntemiyle Ölçülen Sesüstü Dalga Hızı Değerini Kullanarak Basınç Dayanımının Elde Edilebilmesi	28
1.3.4	Betonun Çekme Dayanımı	29
1.3.4.1	Doğrudan Çekme Dayanımı	30
1.3.4.2	Yarmada Çekme Dayanımı	30
1.3.4.3	Eğilmede Çekme Dayanımı	31
1.3.4.4	Değişik Yöntemlerle Elde Edilen Çekme Dayanımı Değerlerinin Karşılaştırılması	32
1.3.5	Çarpma Dayanımı	34
1.3.5.1	Charpy ve İzod Deney Metotları	36
1.4	Literatür Taraması	38
1.4.1	İlgili Literatürün Işığında Tezin Yeri ve Önemi	38
2.	MATERYAL VE METOD	41
2.1	Deney Numunelerin Hazırlanışı	41
2.1.1	Numunenin Kalıpları	42
2.1.2	Çalışmada Kullanılan Agregalar	43
2.1.3	Çalışmada Kullanılan Çimento	44
2.1.4	Karışım Suyu	44
2.1.5	Deneyde Kullanılan Seriler	44
2.2	Numunelere Uygulanan Deneyler	45
2.2.1	Basınç Dayanımı Deneyi	45

2.2.2	Eğilmede Çekme Dayanımı.....	45
2.2.3	Çarpma Dayanımı.....	46
3.	BULGULAR.....	47
3.1	Basınç Dayanımı.....	47
3.2	Eğilmede Çekme Dayanımı.....	48
3.3	Çarpma Dayanımı.....	48
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	52
	KAYNAKLAR.....	53
	ÖZGEÇMİŞ.....	56

ÖZET

Beton karışımında kullanılan agreganın özellikleri, çimento dozajı ve su miktarı betonun dayanımını etkileyen önemli faktörlerdir. Bu unsurların basınç ve çekme dayanımını nasıl etkilediği bilinse de çarpma dayanımı üzerindeki etkileri tam olarak bilinmemektedir.

Çalışmamızda agrega cinsi ve çimento dozajının çarpma dayanımı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda normal, hafif ve karışık (normal+hafif) agrega ile 300 ve 450 dozlu karışımlar hazırlanarak numuneler dökülmüştür.

Numuneler üzerinde yapılan basınç, eğilmede çekme ve Charpy çarpma deneyi sonucunda beklenildiği gibi en yüksek dayanım 450 dozlu normal agregalı betonda, en düşük dayanım ise 300 dozlu hafif agregalı betonda elde edilmiştir. Fakat çarpma dayanımının çekme dayanımına oranına baktığımızda dalgalanmalar görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Basınç dayanımı, Agrega cinsi, Charpy metodu, Dozaj

SUMMARY

Investigation of the Effect On Impact Strength of the Concrete of Aggregate Type

The properties of aggregate cement dosage and water content which are used in concrete mixture are most important factors as affecting the strength of concrete. Even if there was known how these factors affect the tensile strength and pressure, the impact resistance is not fully understood.

in this study, the effects of impact resistance on aggregate type and the dosage of cement. For this purpose, some samples are prepared with the normal, light weight, and mixed (normal + light weight) aggregates with 300 and 450 doses mixtures.

As expected in charpy impact test, the highest resistance were determined in 450 doses aggregate concrete and the lowest resistance were determined in 300 doses aggregate concrete on the samples under pressure and flexural strength. But some fluctuations.were observed after looking at the ratio of impact strength to tensile strength.

Keywords: Compressive strength, Aggregate type, Charpy method, Dosage

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Charpy deney düzeneği.....	36
Şekil 2.1. Deneyde kullanılan numune kalıpları.....	43
Şekil 2.2. Basınç dayanımı deney düzeneği.....	45
Şekil 2.3. Kiriş numunenin eğilmede çekme dayanımı deneyi.....	46
Şekil 2.4. Numunenin çarpma mukavemeti deneyi.....	46
Şekil 3.1. Serilerin ortalama küp basınç dayanımı değerleri.....	47
Şekil 3.2. Serilerin ortalama eğilmede çekme dayanımı değerleri.....	48
Şekil 3.3. Serilerin ortalama çarpma dayanımı değerleri.....	49
Şekil 3.4. Serilerin qort dayanımı değerleri.....	50

TABLÖLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Los-Angeles deneyinde aralık sınıfları	10
Tablo 1.2. Donma çözülme deneyi için numune miktarı	11
Tablo 1.3. Ultrasonik test yöntemi ile beton kalitesinin değerlendirilmesi	28
Tablo 2.1 300 dozlu serilerin karışım miktarı.....	42
Tablo 2.2. 450 dozlu serilerin karışım miktarı.....	42
Tablo 2.3. Karışıma giren normal agregaların fiziksel özellikleri	43
Tablo 2.4. Karışıma giren hafif agregaların fiziksel özellikleri.....	43
Tablo 2.5. Karışıma giren çimentonun özellikleri.....	44
Tablo 2.6. Deneyde kullanılan seriler.....	44
Tablo 3.1. Deneyde kullanılan serilerin basınç dayanım değerleri	47
Tablo 3.2. Deneyde kullanılan serilerin eğilmede çekme dayanım değerleri	48
Tablo 3.3. Deneyde kullanılan serilerin çarpma dayanım değerleri	49
Tablo 3.4. Deneyde kullanılan serilerin çort değerleri.....	49
Tablo 3.5. Deneyisel verilerin genel sonuçları.....	51

SEMBOLLER LİSTESİ

a = Küp numunenin bir kenar uzunluğu (mm)

A = Numunenin kesit alanı (mm²)

b = Kiriş kesitinin eni (mm)

C = $d/2$ (mm)

ζ = Çarpma dayanımı (N /mm)

d = Kiriş kesitinin yüksekliği (mm)

G = Tokmağın ağırlığı (N)

h = Son yükseklik (mm)

h_0 = İlk yükseklik (mm)

h_1 = Sarkacın ağırlık merkezinin çıkış yüksekliği (mm)

I = Atalet momenti (mm⁴)

L = Numunenin boyu (mm)

M = Maksimum moment (N.mm)

P = Beton yüzey alanına uygulanan eksenel kuvvet (N)

U = Numunenin kırılmadaki potansiyel enerjisi (N.mm)

α = Düşme açısı (derece)

β = Yükselme açısı (derece)

σ (σ_{ort}) = Basınç Dayanımı (MPa)

1. GİRİŞ

İnşaat biliminin gelişmesinde ve ilerlemesinde en büyük etkenler bilim ve teknolojidir. Bu sebeple betondan beklenen özellikler de zaman içerisinde değişmiştir. Geçmişten bugüne kadar betonarme yapımlarda aranan en önemli özellik dayanım ve dayanıklılıktır. Özellikle son yıllarda deprem ve doğal afetlerin artmasıyla yüksek performanslı beton ve depreme dayanıklı yapı tasarımı alanında birçok makalelere ve çalışmalara rastlanmaktadır.

Günümüzde beton çok yaygın olarak kullanılmakta olan bir yapı malzemesidir. Beton kullanımına paralel olarak, beton agregasına olan talepte artmaktadır. Doğal agregaya kaynaklarının sınırlı olması ya da uygun olmaması, çevrenin korunması ve yüksek dayanımlı betona olan talep betonda kırma-taş kullanımını gerekli kılmaktadır. Kırma-taş'ta 75 µm elekten geçen taş tozunun bulunması kaçınılmazdır. Agregalar mineral kökenli, taneli ve genellikle 100 mm'ye kadar çeşitli büyüklüklerde malzemelerdir. Kentleşmenin bir sonucu olarak ortaya çıkan konut ihtiyacını karşılamaya çalışan ve son yıllarda ülkemizin en önemli sektörlerinden biri haline gelen, inşaat sektöründe ve alt yapıda kullanılması zorunlu olan ve ikame edilemez temel girdi durumundadır [1].

Betonun istenilen dayanım özelliklerini göstermesi, standartlara uygun olarak üretilmesi, taşınması, ayrışmadan ve 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. Betonun mekanik, fiziksel ve kimyasal gibi dış etkiler ile kendi iç yapısında zaman içerisinde meydana gelecek şekil değişikliklerinin belirli değerleri aşmaması gerekir. Betonun mukavemet ve dayanıklılığını etkileyen faktörler; taze betonda kullanılan agreganın türü, çimento türü ve miktarı, karışım suyu, su/çimento oranı, kimyasal ve mineral katkı maddesine bağlıdır. Sertleşmiş betonda ise, taze betonun uygun olarak taşınması, yerleştirilmesi, sıkıştırılması, yüzeyinin düzeltilmesi, hidrasyonun sağlanması için kür edilmesi işlemlerinin yapılmasına bağlıdır [2].

Beton ve betonarme elemanlar 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 elemanlar işlevlerini göremez hale gelirler veya faydalı ömürleri kısılır. Bir malzeme üzerinde çarpma etkisi, yüzeyine bir cismin belirli yükseklikten düşmesi ile olacağı 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 [3].

1.1. Beton

Beton, agrega, çimento, su ve gerektiğinde bazı katkı maddelerinin birlikte karıştırılmasıyla elde edilen bir yapı malzemesidir. Beton agregaları minerallerden oluşmuş taneli malzemelerdir. Kum, çakıl ve kırmataş normal ağırlıklı beton yapımında en çok kullanılan agrega cinsleridir. Türk standartlarının tanımlamasına göre, elendiğinde 4.0 mm göz açıklıklı kare delikli elekten geçebilen boyutlardaki agregaya "ince agrega" ve bu elek üzerinde kalan agregaya, "iri agrega" denilmektedir [4].

Çimento, bağlayıcı özelliğe sahip bir malzemedir. Çimentonun sağlayabileceği bağlayıcılık özelliği, bu malzemenin su ile birlikte karıştırılması elde edilmektedir. Çimento ve suyun oluşturduğu malzeme, "çimento hamuru" olarak adlandırılmaktadır. Betonun oluşturulmasında çimento hamurunun işlevi, agrega tanelerinin yüzeylerini kaplamak, agrega taneleri arasındaki boşlukları doldurmak ve agrega tanelerini bir arada tutacak tarzda bağlayıcılık sağlamaktadır. Bu bakımdan, beton, "çimento hamurundan ve agregalardan oluşan kompozit bir malzeme" olarak da tanımlanabilmektedir [2].

Çimento, su ve ince agreganın karışımdan oluşan malzemeye "harç" denilmektedir. Harç, içerisinde iri agrega bulunmayan bir betondur.

Betonun istenilen dayanım özelliklerini göstermesi, standartlara uygun olarak üretilmesi, taşınması, ayrışmadan ve 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. Betonun mekanik, fiziksel ve kimyasal gibi dış etkiler ile kendi iç yapısında zaman içerisinde meydana gelecek şekil değişikliklerinin belirli değerleri aşmaması gerekir. Betonun mukavemet ve dayanıklılığını etkileyen faktörler; taze betonda kullanılan agrega türü, çimento türü ve miktarı, karışım suyu, su/çimento oranı, kimyasal ve mineral katkı maddesine bağlıdır. Sertleşmiş betonda ise,

taze betonun uygun olarak taşınması, yerleştirilmesi, sıkıştırılması, yüzeyinin düzeltilmesi, hidrasyonun sağlanması için kür edilmesi işlemlerinin yapılmasına bağlıdır [2].

Beton, çağımızda irili ufaklı birçok yapıda kullanılmakta olan en önemli ve popüler yapı malzemesidir. İnsanların yaşadıkları evlerin, çalıştıkları işyerlerinin, eğitim gördükleri okulların, spor yaptıkları tesislerin, arabalarını park ettikleri park yerlerinin ve garajların büyük bir bölümünün yapımında beton kullanılmaktadır; üzerinde yürünülen kaldırımlar, seyahat edilen veya insanların ihtiyacı olan malların getirilip gönderildiği karayollarının, demir yollarının, havaalanlarının ve limanların yapımında da beton kullanılmaktadır; içme suyunun veya atık suların depolandığı tanklar ve bu suların taşındığı borular betondan yapılmaktadır; enerji üretimi için kurulan barajların ve atom reaktörlerinin bir bölümünde ve enerji nakli için kullanılan direklerin yapımında, yine, beton kullanılmaktadır. Bu örnekleri daha da arttırmak mümkündür. Betonlu oluşturan elemanlar; çimento, karışım suyu, agrega (kum, çakıl vb.), çeşitli kimyasal ve mineralojik katkıları olarak sıralanabilir [5].

1.1.1. Çimento

Çimento, kalker ve kil karışımının yüksek sıcaklıkta pişirildikten sonra öğütülmesinden elde edilen bağlayıcı bir malzemedir. Çimento su ile karıştırılıp bir hamur haline getirildikten bir süre sonra katılaşarak taşlaşmaya başlamasına priz süresi denir. Normal koşullar altında katılaşma 1 ile 10 saatte gerçekleşir. Aşırı olmamak koşulu ile artan sıcaklık altında katılaşma hızlanır [6].

Katılaşma ile birlikte "sertleşme" olarak tanımlanan, betonun dayanım kazanma olayı başlar. Dayanım zamanla artar ve çimento hamurunun tam dayanıma ulaşması uzun bir süre alır [7].

Çimento, ana hammaddeleri kalkerle kil olan ve mineral parçalarını (kum, çakıl, tuğla, briket vs.) yapıştırmada kullanılan bir malzemedir. Çimentonun bu yapıştırma özelliğini yerine getirebilmesi için mutlaka suya ihtiyaç vardır. Çimento, su ile reaksiyona girerek sertleşen bir bağlayıcıdır. Kırılmış kalker, kil ve gerekiyorsa demir cevheri ve / veya kum katılarak öğütülüp toz haline getirilir. Bu malzeme 1400-1500°C de döner fırınlarda pişirilir. Meydana gelen ürüne "klinker" denir. Daha sonra klinkere bir miktar alçı taşı eklenip (%4-5 oranında) çok ince toz halinde öğütülerek Portland çimentosu elde edilir [7].

Portland çimentosu olarak elde edilen ürün genellikle gri renktedir. Bu gri renk, çimento üretiminde kullanılan hammaddelerde çok küçük miktarda yer alan demir oksitten kaynaklanmaktadır. Pişirilmek üzere seçilen hammadde demir oksit ve mangan oksit bulunmadığı takdirde, üretilen Portland çimentosunun rengi beyaz veya beyaza yakın renkte olmaktadır. Portland çimentosu toz gibi ince tanelidir; tanelerin boyutları 1-200 µm arasında değişmektedir [4].

Portland çimentosunun özgül ağırlığı $3.10-3.15 \text{ gr/cm}^3$ kadardır. Torbalanmış durumdaki çimentonun birim ağırlığı 1.5 t/m^3 civarındadır. Çimento ve suyun birleştirildiği andan itibaren bu iki malzeme arasında "hidratasyon" olarak adlandırılan kimyasal reaksiyonlar başlamakta ve devam etmektedir. Önceleri, yumuşak plastik durumunda olan çimento hamuru, zaman ilerledikçe daha az plastik duruma gelmekte ve katılaşp, sertleşmektedir. Çimento hamurunun katılaşma göstererek şekil verilemez bir duruma gelmesine "priz alma" denilmektedir [8].

Çimento hamurunun katılaşma olayından sonraki safhadaki durumu "sertleşmiş çimento hamuru" olarak adlandırılmaktadır. Çimento hamurunun içerisindeki su ve çimento arasındaki kimyasal reaksiyonlar uygun sıcaklık ve nemlilik ortamı mevcut olduğu sürece devam etmekte, kazanılan dayanım miktarlarında artma olmaktadır [8].

1.1.2. Agreg

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 [9].

Mineral kökenli, 100 mm ye kadar çeşitli boyutlarda tanelerden oluşan kum, çakıl veya kırmataş gibi malzemelere agreg denir. Agregalar elde ediliş şekline bağlı olarak iki grupta toplanabilir [10].

a) Doğal agreg: Teraslardan, nehirlerden, denizlerden, çöllerden, göllerden ve taş ocaklardan elde edilen kırılmış veya kırılmamış agregadır.

b) Yapay Agreg: Yüksek fırın cüruf taşı, izabe cürufu veya yüksek fırın cüruf kumu gibi sanayi ürünü olan kırılmış veya kırılmamış agregadır.

Agregalar tane boyutlarına göre aşağıda gösterildiği gibi sınıflandırılırlar.

1) İnce agregalar: 4 mm açıklıklı kare delikli elekten geçen agregadır.

- Kum: Kırılmamış tanelerden meydana gelen ince agregadır.

- Kırma Kum: Kırılmış tanelerden meydana gelen ince agregadır. Çakılın kırılması ile elde edilir.
- Yapay Kum: Sanayi ürünü olan kırılmış veya kırılmamış ince agregadır.

2) İri agregalar: 4 mm açıklıklı kare delikli elek üzerinde kalan agregadır.

- Çakıl: Kırılmamış tanelerden meydana gelen iri agregadır.
- Kırma Taş: Kırılmış tanelerden meydana gelen iri agregadır.
- Yapay Taş: Sanayi ürünü olan kırılmış veya kırılmamış iri agregadır.

Agregalar kullanma yeri ve amacına göre, granülometrik bilişim, tane şekli, tane dayanımı, aşınma direnci, dona dayanıklılığı ve zararlı maddeler bakımından TS 706 standardının gereklerini yerine getirmelidir. Ayrıca, suyun etkisi altında yumuşamamalı, dağılmamalı, çimentonun bileşenleri ile zararlı bileşikler meydana getirmemeli ve donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye düşürmemelidir.

İyi nitelikteki bir agrega temiz, sert ve sağlam olmalı, bunların yanında suyun etkisiyle yumuşamamalı, dağılmamalı, çimentoların bileşenleri ile zararlı bileşikler meydana getirmemeli ve donatının korozyona karşı tehlikeye düşürmemelidir [11].

Agregalar kullanma yeri ve amacına göre, granülometrik bilişim, tane şekli, tane dayanımı, aşınma direnci, dona dayanıklılığı ve zararlı maddeler bakımından TS 706 EN 12620 standardının gereklerini yerine getirmelidir [10].

Beton yapımında agrega kullanılmasının tek nedeni daha ekonomik beton üretmek değildir. Agregaya, betonun teknik özelliklerine de önemli katkılarda bulunmaktadır. Beton yapımında kullanılan temel malzemeler arasında en pahalı çimentodur. Agreganın maliyeti, çimento maliyetine göre çok düşüktür. O nedenle, istenilen kalitedeki betonu elde edebilmek kaydıyla, betonda mümkün olabildiği kadar çok miktarda agrega kullanılması, betonun daha ekonomik olmasına yol açmaktadır [2].

Agregaların niteliğinin belirlenebilmesi için çeşitli deneyler ve bu deneyler için de belirli ölçeklerde agrega numunelerine ihtiyaç vardır. Bir agrega yığınının numune alınırken dikkat edilmesi gereken en önemli nokta, numunenin agrega yığınını temsil edebilmesidir. Ters durumda yanlış sonuçlara varılır. Bir şantiyede depolanmış agrega yığınının alınacak örnekler yığının tepe ve etek kısımlarından değil orta kısımlarından farklı noktalarından alınmalıdır. Toplanan örnekler daha sonra homojen bir şekilde karıştırılmalıdır. Elde edilen toplam malzeme miktarının, tek bir deney için istenen miktara

kadar küçültülmesi gerekir. Hangi deney isteniyorsa, o deney ile ilgili standartta tek deney için gerekli en az deney numunesi miktarları en büyük tane büyüklüğüne bağlı olarak belirtilir. Örneğin, en büyük tane boyutu 6 mm olan bir agregada birim ağırlık tayini 5 kg agregaya kullanılarak gerçekleştirilmelidir [11].

Deney numuneleri toplam numuneyi dörde bölerek çeyreklemeye yöntemiyle veya bölgeç kullanılarak elde edilir. Bu yöntemler, tek bir deney için gerekli en az miktar elde edilinceye kadar sürekli uygulanır. Sonuçta elde edilen numune üzerinde istenen deney gerçekleştirilir [11].

1.1.2.1. Agregaların Fiziksel özellikleri

1.1.2.1.1. Agregaların Birim Ağırlığı

Agreganın gevşek ve sıkışık birim ağırlığı yığının kompaktitesi ve işlenebilirliği hakkında bilgi verir. Agregaya yığının hacmi belirli bir kap içindeki ağırlığının kabın hacmine bölünmesi ile bulunur. Bu tanıma göre birim ağırlık,

$$\Delta = \frac{P_a}{V} \quad (1.1)$$

denklemlerle elde edilir. Buradaki P_a : agreganın ağırlığı; V: ölçü kabının hacmidir [12].

Agregada birim ağırlık gevşek veya sıkışık deney yöntemleri ile belirlenir. Gevşek birim ağırlığı belirlenmesinde agregaya ölçü kabın içerisine üstten serbest şekilde boşaltılarak doldurulur. Bu durumda agreganın sıkışmamasına ve ayrışmamasına özen gösterilmelidir.

Gevşek birim ağırlık için 16 mm için 3 dm³, 31.5 mm için 14 dm³ lük bir kap içerisinde 5 cm yükseklikten taşacak şekilde dökülür ve üst yüzey düzlenir. Birim ağırlık numune ağırlığı/hacim'dir. Sıkışık birim ağırlık tayininde ise numune kabın içine 3 kademede eşit yükseklikte her kademe 25 defa şişlenerek yerleştirilir [12].

1.1.2.1.2. Agregaların Özgül Ağırlığı

Belli hacim ve sıcaklıktaki bir malzemenin, havadaki ağırlığının aynı hacim ve sıcaklıktaki damıtık suyun havadaki ağırlığına oranıdır. Bu özellik agregaya kökeni hakkında bilgi verir ve beton bileşenlerinin hesabında kullanılır. Betonda kullanılacak agreganın özgül ağırlığının 2,2 - 2,7 kg/dm³ arasında olması istenir.

Özgül ağırlık, agreganın uygunluğunu belirtir. Düşük özgül ağırlık sağlam olmayan malzemeyi, yüksek özgül ağırlık ise kaliteli betona uygun agregayı tanımlar.

Özgöl ağırlık beton karışım hesabında, bu hesapların düzeltilmesinde ve beton homojenliğinin zorunluluğu durumlarında gereklidir. Düşük özgöl ağırlık agreganın boşluklu ve zayıf olmasına bir işarettir. Agregada tanelerinin işgal ettiği mutlak birim hacmin ağırlığına özgöl ağırlık denir [13].

Özgöl ağırlık şöyle hesaplanır:

$$\delta_a = \frac{W_1}{(W_1 + W_2 - W_3)} \quad (1.2)$$

Buradaki:

S_a : Agreganın özgöl ağırlığı,

W_1 : Numune ağırlığı,

W_2 : Su ile dolu ölçü kabı ağırlığı,

W_3 : İçine numune konmuş, su dolu kabın ağırlığıdır.

1.1.2.1.3. Agregaların Rutubet Durumu

Agreganın rutubeti denilince ıslak danelerin, kuru yüzüyle doymun durumdaki danelere göre yüzde cinsinden ağırlığındaki artış anlaşılmakta P_2 ağırlığında ıslak daneler kuru yüzey doymun hale getirildiğinde ağırlıkları P_1 oluyorsa agreganın rutubeti şu ifade ile hesaplanır [14]:

$$m = \frac{P_2 - P_1}{P_1} \quad (1.3)$$

Agrega taneleri boşluk içermesinden dolayı agregalarda bulunabilecek rutubet durumları aşağıdaki gibidir [4].

- a) Fırın kuru: Agregada taneleri içindeki tüm boşlukların kuru olması,
- b) Hava kuru: agregada kuru havada tutulduğunda; yüzeyden itibaren belirli derinlikte boşlukların rutubetsiz, iç kısmının rutubetli olması,
- c) Yüzey kuru-Suya doymun: Agregadaki boşlukların su ile tamamen dolu, yüzeyin ise kuru olması,
- d) Islak: Agreganın yüzeyinde de serbest suyun bulunması durumudur.

Agregayı kurutma metodundan başka birçok değişik yöntemler uygulanarak saptanır. Agreganın rutubetli olması beton üretiminde iki bakımdan göz önünde tutulmalıdır. Birincisi, betona konacak su miktarı, agregada bulunan su miktarı kadar azaltılmalıdır. Rutubetli agregalarda hesaba katılacak ikinci önemli faktör ise rutubetin

hacim kabarmasına neden olmasıdır. Burada söz konusu olan taneler arasındaki boşluğu da içine alan görünen hacimdir. Sonuç olarak, kumun rutubetli olması bu malzemenin miktarının yanlış bir şekilde ölçülmesine yol açmasıdır [2].

1.1.2.1.4. Agregalarda Kompasite

Agreganın kompositesi ile birim hacimdeki agregada tanelerin işgal ettiği hacmin toplamı anlaşılmaktadır. Agreganın özgül ve birim ağırlıkları bilinmek suretiyle kompasitesi hesaplanabilir.

Herhangi bir agreganın birim ağırlığı ve özgül ağırlığının bilinmesiyle, aynı zamanda bu agreganın kompasitesi yani birim hacmindeki tanelerin işgal ettiği gerçek hacim belirlenmiş olur. Çünkü agreganın kompasitesi (k),

$$k = \frac{\Delta}{\delta} \quad (1.4)$$

İfadesiyle hesaplanabilir. Birim ağırlık daima özgül ağırlıktan küçük olduğuna göre kompasite 1'e tamamlayacak değer olacaktır. Boşluk porozitesi (p),

$$p = 1 - k \quad (1.5)$$

formülü ile hesaplanır [11, 15, 16].

1.1.2.1.5. Agregada Granülometrisi (Tane Dağılımı)

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

Bir agregada belirli boyutlardaki tanelerin dağılımını gösteren eğriye granülometri eğrisi denilir. Agreganın granülometri eğrisi elek analizi deneyi ile belirlenir. TS 706 göz önüne alındığında elek analizi deneyinde kare gözlü 31.5 mm, 16 mm, 8 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0.5 mm, 0.25 mm lik elekler kullanılır. Bir agregada yığını üzerinde elek analizi deneyinin nasıl yapılacağı TS 3530'da belirtilmektedir [17].

Terlemeyi önlemek için granülometri düzenlemesi yapılırken agregada içerisinde yeteri miktarda ince tane kalacak şekilde düzenleme yapılırsa ince taneler yukarı doğru hareket eden bu suyu yüzeylerinde tutarak terlemeyi önlerler. Bu hususlara uyulmadığı takdirde [18];

- İşlenebilmeyi sağlamak için gerekli olan su miktarı artar. Dolayısıyla su/çimento oranı artarak dayanım ve dayanıklılık yönünden zayıf bir beton ortaya çıkar.
- Maksimum kompakteyi sağlamak güçleşir ve boşluklu bir beton meydana gelir. Bunun sonucunda ekonomik olarak pahalı bir üretim ortaya çıkar.
- Ayrışma kolaylaşır ve kohezyonu zayıf bir beton ortaya çıkar.
- Terleme dediğimiz olay ortaya çıkar ve sonuç olarak zayıf geçirgenliği ve porozitesi yüksek dayanıksız bir beton ortaya çıkar.

1.1.2.1.6. İncelik Modülü

İncelik modülü, bir agregada numunesinin granülometri eğrisini tek bir sayı ile ifade etmeyi amaçlar. Bu sayı, granülometri eğrisi ile % 100 doğrusu arasında kalan alanla orantılıdır. İncelik modülü, granülometri ordinatlarının 100'den farkının toplamının 100 bölünmesi ile elde edilir. Modül, ne kadar küçükse agregada ince, büyükse iri danelidir [9].

Ayrıca incelik modülü karışımdaki agregada tenlerinin ortalama çapının ne olduğu hakkında bize bilgi verir. Şöyle ki incelik modülü sayısı kadar en alttan itibaren elekler sayılarak buna karşılık gelen aralığı o agregada yığınının ortalama çapı olmaktadır [9].

1.1.2.2. Agregaların Mekanik Özellikleri

1.1.2.2.1. Agregaların Tane Dayanımı

Yüksek dayanımlı beton elde etmek için mekanik dayanımı belirli değerlere ulaşan agregalara gereksinim vardır. Bu nedenle agregaların tane dayanımlarını da belirlemek gerekir.

Agreganın tane dayanımı, alındığı kayacın cinsi ve mevcut durumunun petrografik yönden incelenmesi ile yaklaşık olarak değerlendirilebilir. Eğer kullanılan agregada, kırmataş ise; TS 706'ya göre taşın suya doygun haldeki küp basınç dayanım veya çapı yüksekliğine eşit silindirik basınç dayanımı en az 1000 kgf/cm² (98 N/mm²) ise mekanik özellikler ile ilgili başka bir incelemeye gerek olmaksızın yeterli olduğu kabul edilebilir. Basınç

dayanımı 1000 kgf/cm² den küçük olması halinde ve kuşkulu durumlarda agregalarda aşınmaya dayanıklılık deney sonuçlarına bakılmalıdır. Eğer iri agregalar olarak çakıl kullanılıyorsa, bahsi geçen basınç deneyini yapmak mümkün olamayacağından, yine bu agregalar üzerinde aşınmaya dayanıklılık deneyleri uygulanarak çakılların sağlamlığı hakkında bilgi edinilir [11].

1.1.2.2.2. Agregaların Aşınma Dayanımı (Los-Angeles Deneyi)

Beton yüzeyinin aşınmaya maruz kalacağı durumlarda kullanılacak betonların, aşınmaya dayanıklı agregalarla yapılmış olması istenmektedir.

Agreganın aşınma dayanıklılığını tayin etmek üzere kullanılan Türk ve A.S.T.M standartları şunlardır: TS EN 1097-2 ve ASTM C 131 [26,27]. Kullanılan yöntem "Bilyeli Tambur Deney Yöntemi" olarak, veya yaygın ismiyle "Los Angeles Aşınma Deneyi" olarak anılmaktadır [2].

Deneyde kullanılan aletin detayı eksenini etrafında dönen ve Tablo 1.1.'de agregaların çapına göre belirli miktar ve sayıda çelik bilye ihtiva eden silindirden oluşmaktadır. Silindir içine 5000 gr numune konulur ve alet 33 devir/dakika hızla 500 devir döndürülür ve kapak açılıp malzeme 1.6 mm'lik elekten elenir ve Los-Angeles katsayısı (LA) hesaplanır ve en yakın katsayıya yuvarlanır. Uygulamada, % 50 den az kayıplı agregalar iyi sayılır [12].

$$LA = \frac{5000 - m}{50} \quad (1.6)$$

m= 1.6 mm lik elek üzerinde kalan malzemenin gr ağırlığıdır

Tablo 1.1. Los - Angeles deneyinde aralık sınıfları

Agrega aralığı (mm)	Bilye Sayısı	Bilge Ağırlığı (gr)
4-8	8	3410-3540
6.3-10	9	3840-3980
8-12	10	4260-4420
11.2-16	12	5120-5300

1.1.2.2.3. Agregaların Donma-Çözünme Dayanımı

Betonun donma olayı sonucunda parçalanması bir çok faktörlerin etkisi altında bulunmaktadır. Bu arada en önemli rol agrega taneler tarafından oynanmaktadır. Bunların donma sonucunda parçalanmaları bu malzeme ile üretilen betonların dondan zarar görmesine neden olur. Böyle bir durum olmaması için beton üretiminde kullanılacak olan agregaların donma etkisine dayanıklı olması gerekir ki bu da ancak deneylerle anlaşılır. Su Absorbe etmeyen malzemeler donmaya ve çözünmeye dayanıklıdır. Agregaların su emme özellikleri ne kadar fazla ise donmaya karşı mukavemetleri o kadar azdır [2].

Soğuk iklimlerde üretilen betonun donma-çözünme gibi tekrarlı tesirlerde parçalanmaması istenir. Betonun donma dayanıklılığında agrega önemli rol oynar. Agregaların donma-çözünmeye dayanıklılığı için Tablo 1.2.'de verilen miktarda üç örnek alınır. İlk önce numuneler kurutulup tartılır ve daha sonra üzerinden 10 mm su taşıyacak şekilde metal kaplara yerleştirilir 24 saat 20°C atmosfer basıncında tutulur. Bu numunelere aşağıdaki işlem basamakları 10 defa uygulanır.

1. 2 saatte 20°C den 0°C düşürülür ve 3 saat 0°C de bekletilir.
2. 3 saatte 0°C den - 17.5°C düşürülür ve en az 4 saat-17.5°C de bekletilir.
3. Donma döngüsü tamamlandıktan sonra, çözme döngüsünde 20°C suda en fazla 10 saat bekletilir.

Her bir donma-çözünme döngüsü 24 saat içinde tamamlanmalıdır. 10 tekrar donunda elek üzerindeki malzeme tartılarak kayıp % bulunur. Uygulamada kayıp %4 ten az olması istenir [12].

Tablo 1.2. Donma çözünme deneyi için numune miktarı

Agrega aralığı (mm)	Normal agrega (gr)	Hafif agrega (mi)
4-8	1000	500
8-16	2000	1000
16-32	4000	1500
32-63	6000	-

1.1.3. Karışım Suyu

Karışım suyu olarak doğada bulunan her türlü su kullanılabilir. Ancak karışım suyunda beton prizini, katılaşmayı engelleyecek, donatı korozyonuna sebep olacak maddeler, bitkisel ve hayvansal yağlar, alkali tuzlar, amino asitler ve diğer zararlı maddeler bulunmamalıdır. Bu nedenle tuzlu, şekerli sular, deniz suları, endüstri atıkları ile kirlenmiş sular, bataklık suları vs. beton yapımında kullanılmamalıdır.

Betonda kullanılabilecek en iyi su içme suyudur. TS EN 206 ve TS EN 1008 de beton üretiminde kullanılacak karışım suyunda klor, sülfat, alkali içeriği, toplam katkı madde miktarı ve pH düzeyi sınırlandırılmıştır. Karışım suyunda [12]:

1. pH>4 olmalıdır.
2. Sülfatlar en fazla 200 mg/lt ve alkali-silika reaksiyonuna karşı önlem alınmadıkça alkali miktarı 1500 mg/lt yi geçmemelidir.
3. Şeker, fosfat, kurşun ve çinko miktarı 100, nitrat miktarı 500 mg/lt ile sınırlandırılmıştır. Bunların varlığında priz süresine etkisi belirlenmelidir.
4. Klorür içeriği donatılı betonlarda 1000 ve donatısız betonlarda 4500 mg/lt ile sınırlandırılmıştır.
5. Organik madde miktarı NaOH eklendiğinde belirlenen renk sarıya dönük kahverengi veya daha açık olmalıdır.
6. Askıdaki madde miktarı 4 mi den az olmalıdır.

Bir dereden alınan ve içinde çeşitli maddeler bulunan su, ya dinlenme havuzlarında dinlendirilmeli, yada çeşitli metotlarla temizlenmelidir. Bu konuda yapılan bazı deneyler göstermiştir ki, %1'e kadar SO_4 ihtiva eden suların betonda tesiri pek fazla değildir. %0.5'lik bir SO_4 konsantrasyonu betonda ortalama %4'lük bir mukavemet düşmesine neden olurken, %1'lik bir konsantrasyonda azalma %10'u geçmektedir, %5'lik bir tuz, mukavemeti %30 azaltmaktadır. Az miktarda sülfat ve klorür ihtiva eden yüksek karbonlaşmış mineralli sular, %80 kadar düşük mukavemete neden olmaktadır [19].

Betonda su kullanımının bir diğer alanı ise beton dökümünden itibaren hidrasyonun gerçekleşebilmesi için gerekli olan suyun bünyede bulunmasını temin etmek amacıyla kullanılan yani kür için gerekli olan sudur. Bu suyun karma suyu kadar önemli olmamakla birlikte içerdiği tuzlar ve sülfat iyonları yukarıda sayılan sebeplerden dolayı kötü görünüme ve yapısal bozukluklara sebep olabileceğinden dikkatli olunmalıdır [12].

1.2. Betondan Beklenen Özellikler

Beton, çevresel koşullardan ve içerdği malzemelerin özelliklerinden etkilenip çeşitli problemler oluşturabilir. Şantiyeye uygun koşullarda getirilmeyen, uygun bir şekilde yerleştirilmeyen, vibratörle sıkıştırılmayan, masterlanmayan ve periyodik bakımı(kürü) yapılmayan betonda hem dayanım hem de dayanıklılık yönünde problemler görülür [20].

Yapıda istenilen şekil ve boyutlarda betondan yapılmış elemanların kullanılması için, önce, o şekil ve boyutlardaki kalıplar hazırlanmakta ve içerilerine taze beton yerleştirilmektedir. Kalıpların içerisindeki beton yeterince sertleşip dayanım kazandıktan sonra da, kalıplar sökülmeaktadır. Betonun sertleşmesi ve dayanım kazanması, kalıpların sökülmesinden sonra da devam etmektedir [2].

Bazen, istenilen şekil ve boyutlardaki kalıplar kullanılarak, içerisinde çelik donatı bulunmayan, veya çelik donatı ile takviye edilmiş beton elemanlar bir fabrikada önceden üretilmekte ve sertleşmiş durumdaki bu elemanlar, yapının bulunduğu yere taşınarak kullanılmaktadırlar. Beton bloklar, direkler, borular, panel duvarlar, kirişler, döşemeler gibi elemanlar, önyapımlı (prefabrike) elemanlara örnek olarak belirtilebilecek elemanlardır [2].

Taze Beton: Betonun plastikliğini koruduğu süredeki durumuna taze beton denilir.

Sert Beton: Katılma olayından sonraki duruma sertleşmiş beton denilir.

Betondan beklenen performans betonun plastik olduğu ve sonrasında sertleştiği durumlara göre ayrı ayrı değerlendirilir [20].

1.2.1. Taze Betonda Olması Gereken Özellikler

Taze beton, henüz tamamen katılaşmamış, şekil verilebilir durumdaki betondur. Betonun taşınıp kalıplardaki yerine yerleştirilmesi, sıkıştırılması, yüzeyinin düzeltilmesi gibi işlemler, beton şekil verilebilir durumdayken yapılabilmektedir [2].

Taze beton kolaylıkla karılabilir, taşınabilir, yerleştirilebilir, sıkıştırılabilir ve yüzeyi düzeltilebilir olmalıdır. Bu işlemler sırasında agregalarla iri çimento harcı arasında ayrışma olmamalıdır.

Yerine yerleştirilen taze betonun içerisindeki suyun yukarıya çıkma eğilimi mümkün olduğu kadar az olmalıdır. Betonun homojen yapısı korunmalıdır.

Malzemenin karılmasıdan hemen sonra plastik durumuna sahip bir betonda plastikliğin kaybolmasına kadar geçen sürenin uzunluğu (priz süresi) gerekenden daha uzun olmamalıdır.

1.2.2. Sertleşmiş Betonda Olması Gereken Özellikler

İster yapıdaki kalıbına yerleştirilerek elde edilen beton elemanları üretilmesinde, isterse önyapımlı beton elemanların üretilmesinde, üreticinin ve kullanıcının son hedefi, sertleşmiş durumdaki betonun, kendisinden beklenen özellikleri gösterebilecek kalitede olmasıdır [2].

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.

Sertleşmiş betondan beklenen özellikler başlıca şu şekilde belirtilebilir: Sertleşmiş beton,

- 7 günlük, 28 günlük, 90 günlük, gibi herhangi bir yaş için hedeflenmiş olan minimum beton dayanımında daha az bir dayanım göstermemelidir
- Çevredeki suyun ve diğer sıvıların beton içerisine kolayca girerek olumsuz etki yaratmaması için yeterince geçirimsiz olmalıdır.
- Yapıda hizmet gördüğü süre içerisinde çevrede oluşan yıpratıcı etkenler karşısında yeterince dayanıklı olmalıdır. Bir başka deyişle, donma-çözölmeye, ıslanma-kurumaya, ısınma-soğumaya, aşınmaya, asitlere, sülfatlara ve alkali-agrega reaksiyonu gibi kimyasal reaksiyonlara karşı dayanıklılık gösterebilecek kalitede olmalıdır.
- Yeterli hacim sabitliğine sahip olmalıdır; yani, çatlamalara yol açacak ölçüde büzölme (rötre) veya genleşme göstermemelidir [2].

Basınç dayanım, eğilme dayanımı, çekme dayanımı, tekrarlı yükler altında yorulma dayanımı, gerilme-birim deformasyon ilişkisi, elastiklik modülü, poisson oranı, ısısal genleşme katsayısı, yoğunluk, betonun zamana bağlı olarak göstereceği büzölme (rötre) ve sabit yükler altında sünme, betonda aranılan önemli özelliklerdir.

Betonun zaman içerisinde çevreden maruz kalabileceği etkenler karşısındaki dayanıklılığına durubilité denir. Bu servis süresince çevrede oluşan yıpratıcı etkenler karşısında yeterince dayanıklı olmalıdır.

1.2.3. Beton Özelliklerini Etkileyen Faktörler

Sertleşmiş beton, taze betonun katılaşmasından sonraki safhadaki durumu olarak tanımlandığı için, sertleşmiş betondan beklenen performans, önemli ölçüde taze betonun özelliklerine bağlı olmaktadır.

Taze betonun ve sertleşmiş betonun tüm özellikleri, beton karışımının oluşturulmasında kullanılan çimentonun, agreganın, suyun ve katkı maddelerinin özellikleri ve karışım içerisinde yer almış oldukları oranlar tarafından etkilenmektedir.

Sertleşmiş betonun özelliklerini etkileyen başka faktörlerde vardır. Bunlar:

- Taze betonun uygun tarzda taşınması
- Yerine yerleştirilmesi
- Sıkıştırılması
- Yüzeyinin düzgünleştirilmesi
- Hidratasyonun sağlıklı şekilde yer alabilmesi için kür edilmesi işlemidir.

Sertleşmiş betondan beklenen özelliklerin elde edilebilmesi için bu işlemlerin uygun tarzda yerine getirilmiş olmaları gerekmektedir [2].

1.2.4. Betonun Avantajları Ve Dezavantajları

1.2.4.1. Betonun Avantajları

Betonun çok değişik yapılarda çok değişik amaçlarla kullanılan önemli ve popüler bir yapı malzemesi olmasının nedenleri, bu malzemenin sahip olduğu üstün özelliklerden ileri gelmektedir. Betonu diğer yapı malzemelerinden daha elverişli kılan özellikleri, "betonun avantajları" olarak adlandırabilmek mümkündür [2].

Betonun avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Taze betonun plastik özelliği nedeniyle, istenilen şekil ve boyutlardaki beton elemanlar kolayca üretilmektedir.

- Sertleşmiş beton elemanlar yapıdaki yerinde üretilebildiği gibi, bir fabrikada da önceden üretilebilmekte ve yapıya sertleşmiş beton elemanları olarak getirilip kullanılabilir.
- Beton yerleştirme yöntemlerinde çeşitlilik ve kolaylık bulunmaktadır.
- Sertleşmiş beton oldukça yüksek basınç dayanımına sahiptir.
- Sertleşmiş beton, hizmet gördüğü süre boyunca, çevrede oluşan yıpratıcı etkenlere karşı diğer yapı malzemelerinin çoğundan daha dayanıklıdır, bakım işlemleri ve masraflar gerektirmemektedir.
- Beton, çelik donatılarla çok iyi aderans gösterebilecek kapasitede bir özelliğe sahiptir.
- Beton, diğer yapı malzemelerine göre, daha ekonomiktir.
- Beton, estetik amaçlarla kullanılmaya uygun özellikte bir malzemedir.

1.2.4.2. Betonun Dezavantajları

Mükemmel bir yapı malzemesi olarak nitelendirilebilecek olan betonun, diğer yapı malzemelerine göre bazı eksik yanları da mevcuttur. Bu eksiklikler, "betonun dezavantajları" olarak adlandırılabilir. Aslında, betonun dezavantajı olarak belirtilebilecek özelliklerin hiçbiri, betonun dezavantajlı tarafının bilinmesi ve bu eksiklikleri giderebilecek önlemlerin alınması gerekmektedir [2].

Betonun dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Sertleşmiş beton, çekme dayanımı düşük olan bir malzemedir.
- Sertleşmiş beton gevrek özelliğe sahiptir.
- Beton, çevreden maruz kalabileceği ıslanma-kuruma veya sıcaklık değişiklikleri karşısında bir miktar hacim değişikliği gösterebilmektedir.
- Beton, birçok yapı malzemesi gibi, sabit yükler altında zamanla kalıcı deformasyon gösterebilmektedir.
- Beton, mükemmel bir geçirimsizliğe sahip değildir; içerisine bir miktar su veya zararlı maddeler içeren sular sızabilmekte ve betonun dayanıklılığını azaltabilecek olaylara neden olabilmektedir.
- Betondaki "dayanım/ağırlık" oranı, metallerde olduğu kadar yüksek değildir. Yüksek değerdeki yüklerin taşınabilmesi için, metallere göre, daha büyük boyutlarda beton elemanların kullanılması gerekmektedir.

1.3. Beton Dayanımı

Değişik türdeki yapılarda kullanılmakta olan betonun üzerine değişik yönlerde etki yapan statik veya dinamik yükler (kuvvetler) gelebilmektedir. Beton bu yükleri taşıyabilmek için direnç göstermektedir. Doğal olarak üzerine gelen yükün etkisiyle betonda bir şekil değişikliği meydana gelmektedir. Üzerine gelen yüklerin büyüklüğü arttıkça hem betondaki şekil değişikliklerinin miktarı artmakta hem de bu yükleri taşıyabilmek için daha çok direnç gerekmektedir. Şayet betonun üzerine gelen yüklerin büyüklüğü betonun bu yükselişe karşı koyma kapasitesinden daha büyük boyutlara ulaşır ise çok büyük şekil değişiklikleri yer almakta ve beton kırılmaktadır [2].

Bir malzemenin birim alanının üzerindeki etki yapan yük, "gerilme" olarak adlandırmakta ve kgf/cm^2 veya MPa gibi birimlerle ifade edilmektedir.

"Beton dayanımı", "üzerine gelen yüklerin neden olacağı şekil değiştirmelere ve kırılmaya karşı, betonun gösterebileceği maksimum direnme" olarak tanımlanmaktadır [2, 21].

Betonun kullanılacağı yapının tasarımı yapılırken, betonun üzerine gelebilecek değişik türdeki yüklerin büyüklükleri göz önünde tutulmakta ve üretilecek betonun bu yüklere karşı yeterli dayanımı göstereceği varsayılmaktadır. Üretilecek betondaki dayanım değerlerinin, tasarım hesaplarında kullanılmış olan değerlerden daha az olmaması istenmektedir.

Sertleşmiş betonun belirli dayanımlarda olmasının yanı sıra, yeterli dayanıklılığı göstermesi, su geçirimsizliğinin az olması gibi bazı özelliklere de sahip olması istenir. Bu özelliklerin her biri çok önemli olmakla beraber, beton özellikleri arasında en çok aranılanı ve kullanılabilecek olanı, dayanım özelliğidir. Bunun nedenlerini aşağıdaki gibi özetleyebilmek mümkündür:

- Betonun genellikle kullanıldığı yapılar, basınç, çekme, eğilme ve kayma yaratacak kuvvetlerin doğrudan etkisi altındadır. O nedenle, betondaki basınç, çekme, eğilme ve kayma dayanımlarının bilinmesi, beton yapıların bu yükler altındaki taşıma kapasitelerinin bilinmesine yaramaktadır.
- Sertleşmiş betonda aranılan hacim sabitliği, dayanıklılık, su geçirimsizlik ve dayanım gibi birçok özellik arasında, deneysel olarak en kolay tayin edileni, betonun dayanım özelliğidir.

- Betonun dayanım özelliği ile diğer özellikleri arasında bir korelasyon kurabilmek ve kalitatif (niteleyici) olarak diğer özelliklerin ne büyüklükte olduğunu değerlendirebilmek mümkündür. Örneğin, dayanımı yüksek olan bir betonda, su geçirimsizlik ve dayanıklılık da daha iyi olmaktadır.

1.3.1. Beton Dayanımını Oluşturan Unsurlar

Değişik boyutlardaki agrega tanelerinden ve bu tanelerin yüzeylerini kaplayarak aralarındaki boşlukları dolduran çimento hamurundan oluşan beton, çok fazlı kompozit bir malzemedir.

Betonun yük altında kırılması, çimento hamurunun veya agreganın yeterli direnci gösterememesinden, ya da, çimento hamuru ile agrega taneleri arasındaki aderansın yeterince yüksek olmamasından kaynaklanmaktadır. Bir başka deyişle, beton dayanımı, aşağıda sıralanan dayanımların büyüklüklerine (ne ölçüde iyi olduklarına) bağlıdır:

- Çimento hamurunun dayanımı,
- Agreganın dayanımı, ve
- Çimento hamuru ile agrega taneleri arasındaki aderans.

1.3.1.1. Çimento Hamurunun Dayanımının Beton Dayanımındaki Önemi

Çimento hamuru, bağlacı özelliğe sahip bir malzemedir; agregaların yüzeyini kaplamakta, agrega taneleri arasındaki boşlukları doldurmakta, agrega taneleri ile aderans kurarak, betonun tek bir malzeme durumunu alabilmesini sağlamaktadır.

Sertleşmiş çimento hamurunun dayanımı yüksek olmadığı takdirde, betona uygulanan yükler karşısında, çatlamların ve kırılmaların oluşması be malzemededen başlamaktadır [2].

Çimento hamurunun dayanımı, çimentonun ne ölçüde hidratasyon yapmış olmasına, ve beton yapımında kullanılan su/çimento oranına bağlıdır.

1.3.1.2. Agrega Dayanımının Beton Dayanımındaki Önemi

Beton üretiminde kullanılan agregaların sert, dayanıklı ve temiz olmaları, mümkün olabildiği kadar reaktif silis ve reaktif karbonat içermemeleri gerekmektedir.

Normal ağırlıklı beton üretiminde kullanılan agregalar genellikle çimento hamurunun dayanımından daha yüksek dayanıma sahiptirler. Ancak, beton yapımında kullanılan agregalar düşük dayanımlı ve kolayca kırılabilir türde iseler, uygulanan yükler

altında betonda meydana gelecek çatlama ve kırılma, iri agrega tanelerinin kırılmasıyla başlamaktadır [2].

1.3.1.3. Çimento Hamuruyla Agrega Taneleri Arasındaki Aderansın Beton Dayanımındaki Önemi

Sertleşmiş betondaki kırılmanın başladığı en zayıf bölgeler, iri agrega taneleri ile çimento hamuru arasındaki yüzeylerdir. Taze betonda yer alan terleme olayıyla yukarıya doğru hareket eden su, bazen iri agregaların ve donatının altında birikerek su dolu cepler oluşturulmaktadır. Bu nedenle oluşan boşluklar, çimento hamuru ile iri agrega arasındaki yüzeyde aderansın azalmasına yol açmaktadır [2, 19].

Betonda kullanılan iri agrega tanelerinin büyüklüğü arttığı takdirde, agrega yüzeyinde oluşan kuvvetler de artmakta, aderansın daha zayıf olmasına yol açmaktadır.

1.3.2. Beton Dayanımını Etkileyen Faktörler

Beton üretiminde kullanılan agregaların genellikle yeterli dayanımda oldukları göz önünde tutulur ise, çimento hamurunun dayanımının beton dayanımı üzerindeki rolünü daha iyi anlayabilmek mümkün olur. Çimento hamurunun yeterli dayanımda olması, bir yandan bu malzemenin yük taşıma kapasitesinin yeterli düzeyde olabilmesini sağlar iken, bir yandan da, çimento hamurunun dayanımının yüksek olması, çimento hamurunun içerisinde yer alan jel boşlukları dışındaki diğer boşlukların daha az miktarda yer almış olduklarını işaret etmektedir.

Betonun içerisinde bulunan boşluklar sadece çimento hamurunun içerisinde yer almış olan boşluklardan ibaret değildir. Taze betonun üretimi, taşınması ve özellikle yerleştirilmesi esnasında betonun içerisine bir miktar hava girmektedir. İçerisinde çok büyük boşluklar bulunan beton, o haliyle sertleştiği takdirde, çok düşük dayanımlı bir vibrasyon veya başka yöntemlerle sıkıştırma uygulanarak, taze betonun içerisindeki havanın mümkün olabileceği kadar dışarıya çıkartılması gerekmektedir.

Yeterli dayanıma sahip agregaların kullanılması durumunda elde edilecek olan beton dayanımı, hem hidrasyon sonunda oluşacak jel miktarındaki artışa ve hem de betonun içerisinde yer alan boşlukların miktarındaki azalmaya bağlı olduğuna göre, beton dayanımını etkileyen faktörleri aşağıdaki gibi sıralayabilmek mümkündür [2, 22]:

- Su/çimento oranı,
- Karma suyunun kalitesi,

- Agreganın gradasyonu,
- En büyük agrega tane boyutu,
- Agrega tane şekli,
- Agrega tanelerinin yüzey dokusu,
- Agregada bulunan zararlı maddelerin miktarı,
- Çimento özellikleri,
- Beton yapımında kullanılan mineral veya kimyasal katkıların özellikleri ve miktarı,
- Betonun karılması, taşınması, yerleştirilmesi ve sıkıştırılması işlemleri, betonun hazırlandığı, döküldüğü ve kür edildiği ortamdaki sıcaklık, nem miktarı ve
- Betonun yaşı.

Yukarıdaki faktörler, betonun kazanabileceği dayanımın miktarını etkilemektedir. Ancak, aynı kalitedeki bir betondan değişik şekil ve boyutlara sahip numuneler alınıp, değişik koşullar altında kırılma deneyine tabi tutulacak olursa, bu numunelerin aynı büyüklüklerdeki yükler altında kırılmadıkları görülmektedir. Yani, beton kalitesinin ve numunelerin yaşının aynı olduğu bir durumda, basınç dayanımı deneyi sonunda elde edilen değerler birbirinden farklı olabilmektedir. Deney sonunda elde edilen beton basınç dayanımı değerini etkileyen önemli faktörlerden bazıları aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir [2, 19, 23].

- Silindir numunelerinin sahip olduğu farklı boy/çap oranı,
- Beton numunesinin silindir veya küp şekilli olması,
- Aynı boy/genişlik oranlarına fakat farklı boyutlara sahip numunelerin kullanılması,
- Deney esnasında uygulanan kurulma yükünün hızı,
- Numune kalıplarına yerleştirilen betondaki en büyük agrega tane boyutu,
- Deney anında numunenin sahip olduğu nemlilik durumu,
- Deney anında numunenin sahip olduğu sıcaklık [2].

1.3.3. Betonun Basınç Dayanımı

Betonun basınç dayanımını etkileyen faktörleri iç ve dış faktörler olmak üzere iki gruba ayırmak mümkündür. İç faktörler; betonu oluşturan malzeme tipi ve oranlarından, dış faktörler ise betonun üretimi, bakımı ve servis ömrü boyunca maruz kalacağı

etkilerden kaynaklanmaktadır. Çimento türü, agrega özellikleri, su/çimento oranı, kullanılan kimyasal ve mineral katkıları, beton boşluk yapısı vb. basınç dayanımını etkileyen iç faktörlere, beton döküm ve kür sıcaklığı, kür koşulları, basınç dayanımı deney koşulları, vb. ise dış faktörlere örnek olarak verilebilir.

Betonun kalite kontrolünde standartlarca öngörülen örnek alma yöntemleri kullanılmaktadır. Örneklerin, alındıkları beton karışımının potansiyelini mümkün olduğu kadar gerçeğe yakın temsil edebilmesi için, standartlarda deney sırasında uyulması gereken bazı şartlar önerilmiştir. Numunenin nasıl alınması gerektiğinden kürüne kadar deney yöntemi tanımlıdır. Basınç dayanımı deneyi sırasında uyulması gereken kurallar da bellidir. Basınç dayanımı deneyi sonunda elde edilen dayanım değerini etkileyen önemli faktörlerden bazıları aşağıdaki gibi sıralanabilir [21]:

1. Örnek şekli ve boyutları
2. Kullanılan presin başlık özellikleri
3. Deney esnasında uygulanan yükleme hızı
4. Deney anında örneğin nemlilik durumu
5. Deney anında örneğin sıcaklığı

Beton basınç dayanımını ölçebilmek için değişik deney yöntemleri kullanılmaktadır. Basınç dayanımının bulunabilmesi için uygulanan deney yöntemleri arasında en çok kullanılanları şunlardır:

- Taze betondan hazırlanan standart boyutlu numunelerin beton standartlarında belirtilen süre ve koşullarda kür edildikten sonra kırılmaya tabi tutuldukları "standart deney yöntemi".
- Taze betondan hazırlanan numunelerin bir-iki gün gibi kısa süreyle yüksek sıcaklık ve nem içeren bir ortamda kür edildikten sonra kırıldıkları "hızlandırılmış kür'e tabi tutulan numunelere uygulanan basınç dayanımı yöntemi".
- Sertleşmiş betondan kesilerek çıkarılan karot numunelerin kırılmaya tabi tutuldukları "karot numunelere uygulanan basınç dayanımı yöntemi".
- Beton test çekici denilen bir alet yardımıyla sertleşmiş betonun yüzey sertliğini hasarsız olarak ölçerek betonun basınç dayanımı hakkında yaklaşık bir bilgi elde edildiği "beton test çekici uygulayarak basınç dayanımının bulunduğu deney yöntemi".

- Ultrasonik test cihazı olarak adlandırılan bir cihaz vasıtasıyla sertleşmiş betonun içerisinde hasarsız olarak geçirilen ses dalgalarının hızının ölçüldüğü ve betonun basınç dayanımı hakkında yaklaşık bir bilgi elde edildiği "ultrasonik test cihazı uygulayarak basınç dayanımının bulunduğu deney yöntemi".

Betonun basınç dayanımının belirlenebilmesi için uygulanan değişik deney yöntemleri sonucunda birbirinden farklı değerler elde edilmektedir. Herhangi bir deney yöntemi özel olarak belirtilmediği takdirde ve betonun basınç dayanımından söz edildiğinde, böyle bir değer "standart deney yöntemi" ile elde edilen değer olduğu anlaşılmaktadır [2, 19].

1.3.3.1. Beton Basınç Dayanımının "Standart Deney Yöntemi" İle Elde Edilmesi

Betonla ilgili standartlara ve yapım şartnamelerine 1921 yılında girmiş olan "standart deney yöntemi", betonun basınç dayanımının bulunabilmesi için, günümüzde de kullanılmakta en önemli yöntem durumundadır. Betonun basınç dayanımının elde edilmesi için uygulanan "standart deney yöntemi" ile ilgili basınç dayanımı Türk standardı TS EN 12390-3 ile tayin edilir [22, 23].

"Standart Deney Yöntemi'nin uygulanmasında beton standartlarında belirtilen boyutlara sahip standart silindir veya küp numuneler kullanılmaktadır. Bu numuneler beton taze iken silindir veya küp şekilli çıkarılmaktadır. Kalıplardan çıkartılan sertleşmiş beton numuneleri, deney tarihine kadar (genellikle betonun yaşı 28. Güne gelinceye kadar) beton standartlarının belirttiği kür ortamında saklandıktan sonra, deney presi olarak adlandırılan bir alet vasıtasıyla üniform basınç yükü altında kırılmaya tabi tutulmaktadır [22, 23, 24].

Basınç dayanımı şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (1.7)$$

Buradaki:

σ = Basınç dayanımı (MPa),

P = numunenin kırılma anındaki maksimum yük miktarı (N),

A = Numunenin kesit alanı (mm²).

"Standart Deney Yöntemi'nin uygulanmasında kullanılan beton numunelerinin şekilleri, boyutları, hazırlanması, kürü, deney presinde uygulanan yükün hızı ve numune sayısı aşağıdaki gibidir [22].

1.3.3.1.1. Numune Şekli

"Standart Deney Yöntemi'nde silindir veya küp şekilli beton numuneler kullanılmaktadır.

Basınç dayanımının bulunabilmesi için genellikle silindir şekilli numuneler kullanılmaktadır. Birçok Avrupa ülkesi, son yıllarda, silindir şekilli beton numuneyi daha çok kullanır duruma gelmişlerdir [22].

1.3.3.1.2. Numune Boyutları

Türkiye'de, ABD'de ve birçok ülkede kullanılan "standart boyuttaki beton silindir numune"nin çapı 15 cm ve yüksekliği 30 cm'dir. Standart silindir numunede, boy/çap=2.0'dır [22, 23, 25, 26].

Araştırma amacıyla veya bazı özel uygulamalar için, yukarıda belirtilen standart boyuttan farklı boyutta şilindir numuneler de kullanılmaktadır. Bu numuneler 7.5 cm, 10 cm, 30 cm gibi çaplara sahip olabilmektedirler. Ancak, silindir numunelerin üretiminde boy/çap oranlarının daima 2.0 olmasına dikkat edilmektedir.

Türkiye' dede, "standart boyuttaki beton küp numune" olarak kenarları 20 cm olan numuneler kullanılmaktaydı. Ancak, son yıllarda 20 cm boyutlu küp numuneler kullanılmamakta, daha çok, 15 cm boyutlu küp numuneler kullanılmaktadır [2, 22].

1.3.3.1.3 Numunelerin Hazırlanması

Beton numunelerin hazırlanmalarında çelik, dökme demir veya plastik gibi su emmeyen malzemelerden yapılmış, şekil değişikliği göstermeyen, iç yüzeyleri ve tabanı pürüzsüz düzgünlükte olan kalıplar kullanılmaktadır.

Taze betonun yerleştirilmesi işleminden önce, kalıpların iç yüzeyi çok ince bir madeni yağ tabakası ile kaplanmalıdır. Bu işlem, kalıplardan çıkarılan beton numunelerin yüzeylerinin kalıp malzemesine yapışmamasına, çok düzgün olmalarına yaramaktadır.

Silindir veya küp kalıplara yerleştirilecek taze betonun yerleştirilme yöntemi, taze betonun kıvamına ve uygulanacak sıkıştırılma yöntemine göre farklı olmaktadır. Şöyle ki:

- Kıvamı 7.5 cm'den fazla olan betonlarla 15 cm x 30 cm boyutlu standart silindir elde edebilmek için, betonun kalıp içerisine yerleştirilme işlemi yaklaşık 10'ar cm yükseklikteki üç tabaka halinde yapılmaktadır. Her tabakanın yerleştirilmesini takiben, çapı 1.6 cm olan metal bir çubukla, her tabaka 25 kez

şışlenerek sıkıştırılmaktadır. En üstteki tabakanın yerleştirilmesi ve sıkılaştırılması işlemlerinden sonra, betonun üst kısmı kalıbın üst yüksekliğiyle aynı hizada olacak tarzda, bir mala yardımıyla mümkün olabildiğince düzgün duruma getirilmektedir.

- Kıvamı 2.5 cm'den az olan betonlarla 15 cm x 30 cm boyutlu standart silindir numune elde edebilmek için, betonun kalıp içerisine yerleştirilmesi yaklaşık 15'er cm yükseklikteki iki tabaka halinde yapılmaktadır. Her tabakanın yerleştirilmesini tabiken, dahili, vibratör kullanılarak, vibrasyon işlemlerinin segregasyon oluşturacak kadar uzun tutulmamasına dikkat edilmektedir.
- Kıvamı 2.5 cm ile 7.5 cm betonlara standart silindir numuneler elde edebilmek için, ister şışlenerek sıkıştırma, isterse de vibrasyon yöntemi uygulanabilmektedir.
- Küp numuneler elde edebilmek için, beton yaklaşık iki tabaka halinde yerleştirilmekte ve her tabaka 25'er kez şışlenmek suretiyle sıkıştırılmaktadır; veya beton tek bir tabaka olarak yerleştirip dahili vibrasyon uygulanmaktadır. Sıkıştırılma işlemi takiben, betonun üst yüzeyi, kalıbın üst yüzeyiyle aynı seviyede olacak tarzda düzeltilmektedir.

Yukarıda anlatılan tarzda kalıplara yerleştirilen, sıkıştırılan ve üst yüzeyi düzgünleştirilen beton, kalıplardan çıkartılacakları zamana kadar (genellikle 24 saat kadar) üst yüzeyleri ıslak bir bezle örtülü durumda ve 21-25 °C sıcaklık ortamında tutulmaktadır [2, 19, 22].

1.3.3.1.4. Numunelere Uygulanan Kür

Hazırlanan beton silindir veya küp numuneler, kalıplardan çıkarıldıktan sonra, deney anına kadar (normal olarak 28 gün) 23 ± 2 °C sıcaklık ve % 95 rölatif nem ortamına sahip olan bir kür odasında veya bu sıcaklıktaki su içerisinde bekletilmektedir. Yapının bulunduğu sahada (şantiyede) üretilen beton numuneler, kalıplardan çıkartılıncaya kadar uygun sıcaklık ortamında ve üst kısımları nemli bir bez ile örtülü olarak saklanmaktadır. Kalıplarından çıkartılan numunelerin saklanacakları kür ortamları ise, betonun basınç dayanımının araştırılmasındaki amaca göre aşağıda açıklandığı gibi uygulanmaktadır.

Yapıdaki betonun yerleştirilmesi esnasında alınan numuneler, kalıplardan çıkartıldıktan sonra, yapıda yer alan betonun yakınına yerleştirilerek, yapının bulunduğu yerdeki sıcaklık ve nem ortamında saklanmaktadır [2, 22].

1.3.3.1.5. Silindir Şekilli Numunelere Başlık Yapılması

Beton numunesinin alt ve üst yüzeylerine üniform dağılımlı eksenel yük uygulanabilmesi için, deney presinin başlıklarıyla temas eden beton numunesinin alt ve üst yüzeylerinin mükemmel düzgünlükte olmaları gerekmektedir. Beton numunesinin alt ve üst yüzeylerinde çukurluklar veya çukurluklar bulunduğu takdirde, eksenel yükün üniform dağılımlı tarzda uygulanabilmesi mümkün olamamaktadır.

Beton silindir numunelerin alt ve üst yüzeylerini pürüzsüz düzgünlükteki bir duruma getirebilmek amacıyla, deneyden önce, bu numunelerin alt ve üst yüzeylerinde kükürt-grafit tozu karışımı bir malzemeden veya çimento hamurundan veya çimento-alçı karışımından oluşan ince fakat yüzeyi çok düzgün bir tabaka oluşturulmaktadır. Bu malzeme tabakasına "başlık" adı verilmektedir.

Başlık yapımında kullanılan malzemenin dayanımı, beton dayanımından daha az olmamalıdır. Başlık kalınlığı 3-8 mm' dir; genellikle 5 mm' den daha fazla olmayacak kalınlıkta yapılmaktadır [2, 22, 23, 25].

1.3.3.1.6. Deney Presi

Deney presi, üzerine yerleştirilen numunenin alt ve üst yüzeylerine yük uygulayabilecek iki bloktan oluşmaktadır. Altındaki blok(alt tabla), rijittir. Numune, bu blok üzerine yerleştirilmektedir. Üstteki blok ise, bir yatak üzerine oluşturulmuş küresel şekilli ve oynak başlıktır. Bu tür bir düzen, üst bloktaki başlık plakasının numune üzerine tam olarak oturmasına ve numune yüzeyine uygulanan yükün deney süresince tamamen dik ekseninde uygulanmış olmasına yaramaktadır. Alt yüzeyi dairesel şekilli olan üst bloktaki boyutlar ve bu bloğun sahip olması gereken minimum T kalınlığı standartlarda belirtilmiştir. Gerek alt blok ve gerekse üst blok, çelikten yapılmıştır ve numune ile temas edecek yüzeyler özel olarak sertleştirilmiş çok düzgün yüzeylerdir.

Numuneye uygulanan yük miktarı, deney presi üzerindeki bir göstergeden okunabilmektedir. Yük uygulama işlemi, numune kırılıncaya kadar devam ettirilmekte, böylece, kırılmaya neden olan yükün büyüklüğü elde edilmektedir [22].

1.3.3.1.7. Uygulanan Yüken Hızı

Hidrolik sistemle çalışan deney presleri ile yapılan deneylerde, numunenin üzerine 1.4-3.5 Kgf/cm²/sn hızla yük uygulanmaktadır [2].

1.3.3.1.8. Basınç Dayanımının Bulunabilmesi İçin Gereklî Numune Sayısı

Herhangi bir betonun karışımının herhangi bir yaş'taki basınç dayanımını bulabilmek için, en az 3 adet silindir veya en az 3 adet küp numunenin kırılma deneyine tabi tutulması gerekmektedir.

Her numunenin basınç dayanımı hesaplandıktan sonra, basınç dayanımlarının ortalaması bulunmakta ve o yaş'taki betonun basınç dayanımı olarak belirtilmektedir [22].

1.3.3.2. Basınç Dayanımının "Standart Deney Yöntemi" İle Elde Edilmesindeki Amaçlar

Günümüzde kullanılan en önemli yöntem durumundadır. Bu yöntemin kullanılma amaçları aşağıda sıralanmaktadır:

- Yapıların tasarımında, betonun belirli bir basınç dayanımı değerine sahip olacağı varsayılmakta ve hesaplar ona göre yapılmaktadır.
- Yapıda kullanılmak üzere üretilecek olan betonun basınç dayanımının, tasarım hesaplarında kullanılmış olan değerlerden daha az olmaması gerekmektedir. Bunun için, önce, beton karışım hesapları yapılarak istenilen basınç dayanımını elde edebilmek için betonu oluşturacak malzemelerin hangi oranlarda karılmaları gerektiği araştırmaktadır.
- Yapıda kullanılacak olan beton, karışım hesapları sonunda saptanmış olan malzeme oranlarına uygun olarak üretilmektedir. Bazen, beton santrallerinde üretilerek yapıya taşınan betonun kalitesinden, elde edilmek istenen beton kalitesinden farklılıklar gösterebilmektedir. Bu farklılıklara yol açan bazı nedenler şunlardır: kullanılan malzemelerin cinsinde herhangi bir değişiklik olması, beton santralindeki karılma süresinin gereğinden daha az veya çok fazla olması, üretimden hemen sonraki beton kıvamı ile betonun teslim edildiği andaki kıvamı arasındaki değişiklik nedeniyle veya herhangi bir nedenle beton karışımına su eklenmesi, beton karışımının sıcaklığı, v.b. O bakımdan, yapıda

kullanılmak üzere teslim alınan betonun istenilen kalitede bir beton olup olmadığının mutlaka kontrol edilmesi gerekmektedir.

Betonun kabul veya reddedilmesi için teslim alınan betonun basınç dayanımının araştırılması, standart deney yöntemine uygun olarak yapılmaktadır.

- Betonun üretildiği yöntem, saklandığı kür ortamı, numunelerin farklı şekil ve boyutta olması, uygulanan deney yükünün hızındaki farklılık gibi bir çok faktör, deney sonunda elde edilen basınç dayanımı değerinin farklı olabilmesine yol açmaktadır. Bu faktörlerin her birinin, elde edilen basınç dayanımı değerleri üzerindeki etkisini bulabilmek için, standart deney yöntemi kullanılmaktadır [2].

1.3.3.3. Ultrasonik Test Cihazı Kullanarak Beton Basınç Dayanımının Bulunması

Ultrasonik test cihazının kullanılması ile, herhangi bir beton bloğun bir yüzüne ultrasonik pulse (nabız atışı gibi ritmik sesüstü vuruş) uygulanarak, betonun içerisinde basınç dalgaları oluşturulmaktadır. Betonun içerisinde ilerleyen sesüstü dalgalar, beton bloğun bir başka yüzeyinden geri alınmaktadır. Ultrasonik test cihazı, sesüstü dalganın, betona gönderildiği yüzey ile geri alındığı yüzey arasındaki bir mesafeyi ne kadar zaman süresinde geçtiğini ölçmektedir [2,4].

Ultrasonik cihazın kullanılmasıyla, betonun içerisine gönderilen sesüstü dalgaların betonun bir yüzeyinden diğerine geçme süresi ölçülmekte, dalga hızı hesaplanmaktadır. Hesaplanan sesüstü dalga hızı ile betonun basınç dayanımı ve diğer özellikleri arasındaki ilişki yaklaşık olarak elde edilmektedir.

Ultrasonik test cihazı ile ölçüm yapabilmek için belirli boyutlarda numunelerin kullanılması şart değildir. Ultrasonik test cihazı ile yapıdaki betonun basınç dayanımı ölçülebilmektedir.

Ultrasonik test yönteminin uygulanması durumunda, ölçüm yapılan betonda çatlama veya kırılma oluşmamaktadır. Bu yöntem "Hasarsız Deney Yöntemi'dir

Betonun mukavemeti yoğunluk yardımıyla yaklaşık olarak tayin edilebilir. Yöntemde herhangi bir yapı elemanının üzerindeki iki noktadan ses üstü dalganın geçiş süresi aletin ekranından us cinsinden okunmaktadır. Eğer yapı elemanı boşluksuz bir yapıya sahipse (mukavemeti iyi) süre azalmakta, eğer elemanda boşluk fazla ise (düşük mukavemetli) süre artmaktadır. İki nokta arasındaki mesafe L (mm), geçiş süresi t (μs) ise geçiş hızı v (km/s) cinsinden:

$$V = \frac{L}{t} \quad (1.8)$$

Örneğin yapı elemanlarının boyu $L=350$ mm ve aletten ölçülen sesin geçiş süresi $t=92.7$ us ise $V=3.78$ km/s ve sonuç olarak Tablo 1.3.'den betonun durumunun iyi olduğu sonucuna varılabilir [12].

Tablo 1.3. Ultrasonik test yöntemi ile beton kalitesinin değerlendirilmesi

V (km/s)	Durum
>4.5	Çok iyi
3.5-4.5	İyi
3.0-3.5	Şüpheli
2.0-3.0	Zayıf
<2.0	Çok zayıf

1.3.3.3.1. Ultrasonik Test Cihazı Kullanımı Sonunda Hesaplanan Sesüstü Dalga Hızı Değerini Etkileyen Faktörler

Sesüstü dalganın betonun bir yüzeyinden diğerine geçme süresi (dolayısı ile, sesüstü dalga hızı) aşağıdaki faktörler tarafından etkilemektedir:

1. Cihandaki gönderici ve alıcı başlıkların beton yüzeyi ile temaslarının iyi olup olmaması,
2. Betona sesüstü dalgalarının gönderildiği başlık ile dalgaların geri alındığı başlık arasındaki mesafe,
3. Ultrasonik test yöntemlerinin uygulandığı ortamın sıcaklığı,
4. Betondaki nem miktarı,
5. Betonun içerisindeki demir donatıları.

1.3.3.3.2. Ultrasonik Test Yöntemiyle Ölçülen Sesüstü Dalga Hızı Değerini Kullanarak Basınç Dayanımının Elde Edilebilmesi

Ultrasonik test yöntemi ile, betonun bir yüzeyinden içeriye gönderilen sesüstü dalgalarının beton içerisindeki ilerleme hızı hesaplanmaktadır.

Betonun içerisinden geçen sesüstü dalgalarının hızı ile beton dayanımı arasında doğrudan bir ilişki yoktur. Ancak, sesüstü dalgalarının hızı ile betonun yoğunluğu arasında belirli bir ilişki bulunmaktadır. Yoğunluğu az olan bir betonda, yani, içerisinde daha çok

boşluk bulunan bir betonda, sesüstü dalgasının betonun bir yüzeyinden diğerine ulaşabilme süresi daha uzundur. Bir başka deyişle, betonun içerisindeki boşluk miktarı arttıkça, sesüstü dalganın hızı daha az olmaktadır.

Bilindiği gibi betonun yoğunluğu ile basınç dayanımı arasında belirli bir ilişki bulunmaktadır. Yoğunluğu yüksek olan betonların basınç dayanımları da genellikle yüksektir. Su/çimento oranı yüksek olan betonlar daha çok kapiler boşluk içerdiklerinden, bu betonların yoğunluğu ve basınç dayanımları da yüksek değildir. Sıkıştırılma işlemi yeterince yapılmamış olan betonlarda da daha çok boşluk yer aldığı için, bu tür betonların yoğunluğu ve basınç dayanımları yüksek değildir [4, 11, 15].

1.3.4. Betonun Çekme Dayanımı

Betonun çekme dayanımı,"betonda çekme etkisi oluşturacak kuvvetlerin neden olacağı şekil değiştirmelere ve kırılmaya karşı, betonun gösterebileceği direnme kabiliyeti" olarak tanımlanmaktadır.

Genellikle, yapıdaki betona doğrudan çekme dayanımı uygulanmamaktadır. Ancak, beton elemanların üzerine gelen basınç ve/veya eğilme kuvvetleri betonun içerisinde dolaylı olarak çekme kuvvetlerinin oluşmasına neden olmaktadır.

Betonda büzülme olması durumunda yer alacak şekil değiştirmelerin agrega taneleri ve betondaki donatı tarafından engellenerek serbestçe yer almaması nedeniyle de betonun içerisinde çekme kuvvetleri oluşmaktadır [2].

Betonarme yapıların dizaynında betonun çekme dayanımı öngermeli elemanların çatlama momentlerinin hesaplanmasında, çatlama genişliklerinin kontrol edilmesi için donatı hesaplanmasında, erken yaş termal gerilmelerinin neden olduğu çatlakların belirlenmesinde, sehim hesabının yapılmasında kullanılır. Özellikle yüksek sınıf beton kullanımıyla yapı elemanındaki çatlak ve sehim miktarı azalır. Diğer yandan yüksek dayanımlı betonlarda erken yaş termal gerilmeler daha geniş aralıklarla daha geniş açıklıkta istenemeyen çatlaklara neden olabilir [27].

Betonun çekme dayanımı, üç değişik deney yöntemiyle bulunabilmektedir;

- Doğrudan çekme dayanımı deneyi
- Yarmada çekme dayanımı deneyi
- Eğilmede çekme dayanımı deneyi

1.3.4.1. Doğrudan Çekme Dayanımı

Betonun doğrudan çekme yükleri altındaki dayanımını bulabilmek için standart bir deney yöntemi yoktur. O nedenle, böyle bir deneyde kullanılmak üzere standart boyutlu ve şekilli numuneler de bulunmamaktadır.

Doğrudan çekme yükleri, değişik boyutlardaki silindir, prizma ve özel boyutlu numuneler üzerinde uygulanabilmektedir. Ancak, beton numuneye doğrudan çekme yükleri uygulayabilmek için, kullanılacak numunenin uçlarına özel olarak hazırlanmış metal başlıkların yapıştırılması ve bu metal başlıkların ortasına 90° açıyla dik olacak tarzda metal çubukların bağlı olması gerekmektedir.

Özel başlık düzeni takılan beton numunelerin uçlarındaki metal çubuklar, normal demir çubukların çekme deneyinde olduğu gibi, deney makinesinin çeneleri tarafından sıkıca kavranacak tarzda deney makinesine yerleştirilmektedir. Deney makinesi çalıştırıldığında, makinenin çeneleri birbirinden uzaklaşmakta ve böylece çubuklara ve metal başlıklara sıkıca bağlanmış olan numunelere doğrudan çekme yükleri uygulanmış olmaktadır. Yük uygulaması, beton numune kırılıncaya kadar devam etmektedir [2].

Betonun çekme dayanımı, kırılma yaratacak olan yükün numune boyun ortasındaki numune kesit alanına bölünerek hesaplanır.

Doğrudan çekme yüklerinin etkisiyle bulunabilen çekme dayanımı, betonun sahip olduğu hakiki çekme dayanımıdır. Ancak, herhangi bir düzenleme ile dahi, betona doğrudan çekme yükleri uygulayabilmek hem zahmetli hem de zordur. O nedenle, betonun çekme dayanımının bulunabilmesi için doğrudan çekme deney yöntemi nadiren kullanılmaktadır. Betondaki çekme dayanımı değerlerinin elde edilebilmesi için genellikle kullanılan yöntemler yarmada çekme dayanımı ile eğilme dayanımıdır [2].

1.3.4.2. Yarmada Çekme Dayanımı

Dolaylı çekme yükleri altında betonun çekme dayanımının elde edilebilmesini belirleyen deney yöntemi bütün ülke standartlarında yer almaktadır. Bu konudaki Türk ve ABD standartları, sırasıyla, TS EN 12390-6 ve ASTM C 496'dır [28, 29].

Bu deney yönteminde genellikle silindir şekilli beton numuneler kullanılmaktadır. Küp şekilli beton numunelerin kullanılabilmesi de mümkündür.

Deneyin uygulanmasında, numune, deney presinin üzerine, numune eksenine presin alt tablasına paralel olacak tarzda yatırılmaktadır. Numunenin yan yüzünün alt ve üst kısımlarına 25 mm eninde ve yaklaşık 3 mm kalınlığında kontrplak çiteler

yerleştirilmektedir. Deney presi vasıtasıyla uygulanan basınç yükü numune kırılıncaya kadar devam ettirilmekte ve kırılma yükü ölçülmektedir. Böyle bir yükleme altında, silindir numunenin kırılma tarzı, numunenin ortadan yarılarak iki parçaya ayrılması şeklinde gerçekleşmektedir.

Silindir şekilli beton numuneye alttan ve üstten olmak şartıyla basınç yükünün uygulanması durumunda, beton, yük ekseninde kısaltmaya ve yük eksenine dik olan yatay ekseninde ise uzamaya maruz kalmaktadır. Betonun içerisinde küçük bir eleman incelenecek olursa, bu elemanın üzerinde basınç gerilmeleri ve basınç gerilmeleri nedeniyle ortaya çıkmış olan çekme gerilmeleri bulunmaktadır üzerinde oluşan basınç gerilmesi ve çekme gerilmesi aşağıda belirtilen değerlere eşittir:

$$\text{Basınç gerilmesi} = \frac{2P}{\pi LD} \left[\frac{D^2}{r(D-r)} - 1 \right] \quad (1.9)$$

$$\text{Çekme gerilmesi} = \frac{2P}{\pi LD} \quad (1.10)$$

Yukarıdaki formüllerde,

P: Kırılmaya neden olan basınç yükü, L: Silindir numunenin boyu, D: Silindir numunenin çapı, ve r: Deney numunesi içerisindeki herhangi bir parçacığın pres üst başlığına uzaklığı [26].

1.3.4.3. Eğilmede Çekme Dayanımı

Betonun eğilme dayanımının bulunabilmesi ile ilgili Türk standartları şunlardır: TS EN 12390-5, ASTM C 293 ve ASTM C 78 [300,301,302]. Betonun eğilme dayanımının bulunabilmesi için beton kiriş numuneler hazırlanmakta ve eğilme yükü altında kırılmaya tabi tutulmaktadır.

TS EN 12390-5 ve ASTM C 293, beton kirişin oturtulduğu mesnetlerin arasındaki mesafenin orta noktasından (L/2 mesafesinden) yüklenmesi durumundaki deney yöntemini açıklamaktadır [30,31].

TS EN 12390-5 ve ASTM C 78 de ise, beton kirişin oturtulduğu mesnetlerden L/3 uzaklıktaki iki noktadan yüklenmesi durumundaki deney yöntemi anlatılmaktadır [30,31].

Eğilme dayanımı deneylerinde genellikle kare kesitli kirişler kullanılmaktadır. Kiriş kesiti 10 x 10 x 50 cm'dir.

Numunelerin hazırlanması için kalıplara yerleştirilen taze beton sıkıştırılmakta ve

deney gününe kadar $23\pm2^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta ıslak küre tabi tutulmaktadır.

Beton kiriş numunelerde kırılmaya neden olan yük deney presini göstergesinde okunduktan sonra eğilme dayanımının hesaplanabilmesi için aşağıdaki formül kullanılmaktadır.

$$\sigma_e = \frac{Mc}{I} \quad (1.11)$$

Orta noktadan yüklenen dikdörtgen kesitli beton kiriş numunelerde eğilme dayanımı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$\sigma_e = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (1.12)$$

Mesnetlerden $L/3$ uzaklıktaki iki noktadan yüklenen dikdörtgen kesitli beton kiriş numunelerde ise, eğilme dayanımının hesaplanması için aşağıdaki formül kullanılmaktadır.

$$\sigma_e = \frac{PL}{bd^2} \quad (1.13)$$

σ_e = Eğilme dayanımı, M = Maksimum moment, c = tarafsız eksen ile kiriş yüksekliğinin en uç noktası arasındaki uzaklık, yani, $d/2$, d = Kiriş kesitinin yüksekliği, b = Kiriş kesitinin eni, I = atalet momenti

Eğilme yüküne maruz kalan beton kirişte yer alan kırılmaya, betonun tarafsız eksenin atında oluşan çekme gerilmeleri neden olmaktadır. Bunun nedeni ise, betonun oldukça düşük çekme dayanımına sahip olmasıdır. O bakımdan, beton kirişlerde elde edilen eğilme dayanımı değeri, aslında, betonun çekme dayanımını işaret etmektedir [2, 30, 31].

1.3.4.4. Değişik Yöntemlerle Elde Edilen Çekme Dayanımı Değerlerinin Karşılaştırılması

Aynı kalitedeki betondan üretilmiş olan numunelere değişik deney yöntemlerinin uygulanması sonucunda birbirinden farklı çekme dayanımı değerleri elde edilmektedir. Değişik yöntemlerle elde edilen çekme dayanımı değerlerinin büyüklüğü şu sırayı takip etmektedir:

Eğilmede Çekme Dayanımı > Yarmada Çekme Dayanımı > Doğrudan Çekme Dayanımı

Eğilme yükleri uygulanarak elde edilen çekme dayanımı değerlerinin, doğrudan çekme yükleri altında elde edilen çekme dayanımı değerlerinden daha yüksek olmasının nedenleri aşağıdaki gibi açıklanabilmektedir:

- Gerilme dayanımı $\sigma = Mc/I$ formülüne göre hesaplandığı için, kirişin kesitindeki tarafsız eksen den uzaklaştıkça, elde edilen gerilme dayanımı daha yüksek olmaktadır. Kiriş kesitinin en altında oluşan ve kırılmaya neden olan gerçek çekme dayanımı, hesaplarda bulunan değerden çok daha küçüktür. Bir başka deyişle, eğilme deneyleri sonunda hesaplanan dayanım değerleri, gerçekten daha büyük değerleri yansıtmaktadır.
- Eğilme yükü altındaki kirişte, en büyük çekme gerilmesi, kiriş kesitinin en altında oluşmaktadır. Betondaki çatlaklar burada başlamakta ve iç kısımlara doğru ilerleme eğilimi göstermektedir. Ancak, kiriş kesitinin en alt bölgesinden tarafsız eksene doğru yaklaştıkça, kiriş kesitinde oluşan çekme gerilmeleri daha az olmaktadır. Gerilmeler azaldıkça, çatlakların ilerlemesine veya yeni çatlakların oluşmasına yol açacak enerji de azalmış olmaktadır.
- Doğrudan çekme deneyinde, numune kesit alanının tümü çekme gerilmesi etkisindedir. Numune içerisinde yüksek çekme gerilmesi oluştuğunda, kesit alanın tümü üzerinde aynı ölçüde etkili olmaktadır. Betondaki çatlak beton kesit alanındaki yapısal olarak en zayıf noktaların bulunabilme olasılığı oldukça yüksektir. Öte yandan eğilme yükleri altındaki bir beton kirişlerin kesit alanı ele alınacak olur ise, çekme gerilmeleri kesit alanın tarafsız eksen altındaki bölgesinde etkili olmaktadır. Yüksek miktardaki çekme gerilmeleri ise, kirişin en alt kısımlarda yer almaktadır. Beton kirişin kesit alanında oluşacak çatlak, kiriş kesit alanının en alt bölgesinde bulunabilecek yapısal olarak en zayıf noktada başlamaktadır. Daha üst bölgesinde yapısal zayıflıklar olsa dahi, bu bölgelerinde etki yapan gerilme çok yüksek değildir. Çok yüksek değerlerdeki çekme gerilmesinin etkili olduğu bölge ise, doğrudan çekmeye maruz kalan kesit alanı gibi büyük bir alana sahip değildir. Böyle bir bölgede yapısal olarak zayıf noktaların bulunabilme olasılığı daha düşüktür. O nedenle, doğrudan çekme

yüklerine maruz kalan betonlarda çatlak oluşturacak çekme gerilmesinin büyüklüğünden daha düşüktür.

Yarma deneyi sonucunda elde edilen beton çekme dayanımları da, doğrudan çekme yükleri altında elde edilen değerlerden daha yüksektir. Bunun nedeni şu şekilde açıklanabilmektedir:

Yarma deneyinde meydana gelen kırılma, beton kesitinin orta bölgesinde oluşan üniform dağılımlı çekme gerilmelerinden kaynaklanmaktadır. Çekme gerilmeleri numune çapının tüm yüksekliği boyunca etkili değildir. Burada da nispeten daha küçük bir bölgede yapısal zayıflıkların bulunma olasılığı daha küçüktür.

Yapılan değişik deneysel çalışmalarda, yarma deneylerinden elde edilen çekme dayanımı değerleri doğrudan çekme deneylerinininkine göre %23 - %29 daha yüksektir. İki noktadan eğilme yüklemesi altında elde edilen dayanım değerleri ise, doğrudan çekme deneylerinininkine göre %45 - %97 daha büyüktür [32].

1.3.5. Çarpma Dayanımı

Farklı türdeki yapılarda kullanılmakta olan betonun üzerine değişik yönlerde etki yapan statik ve dinamik yükler gelebilmektedir. Beton, bu yükleri taşıyabilmek için direnç göstermektedir. Üzerine gelen yükün etkisiyle betondaki bir miktar şekil değişikliği meydana gelmektedir. Yüklerin büyüklüğü arttıkça, hem betondaki şekil değişikliğinin miktarı artmakta, hem de bu yükleri taşıyabilmek için daha fazla direnç gerekmektedir. Betonun üzerine gelen yüklerin büyüklüğü, betonun bu yüklere karşı koyma kapasitesinden daha büyük boyutlara ulaşır ise, çok büyük şekil değişiklikleri yer almakta ve beton kırılmaktadır [33].

Betonun dayanımı, üzerine gelen yüklerin neden olacağı şekil değiştirmelere ve kırılmaya karşı, betonun gösterebileceği maksimum direnme olarak tanımlanmaktadır. Betonun üzerine değişik yönlerde 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 betonun bu yüklere karşı yeterli dayanımı göstereceği varsayılmaktadır. Betonda ki dayanım değerlerinin, tasarım hesaplarında kullanılmış olan değerlerden daha az olmaması gerekmektedir [3].

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 kaybederek kırılır [26].

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

- Hareketli sarkaç - Charpy-izod
- Düşen top - düşme makinesinin farklı tipleri ile sabit yükseltideki düşüş veya değişken yükseltideki düşüş
- Kesin bir yükseklikten düşürülen yapısal elemanlar
- Patlayıcı maddeler

Beton ve betonarme elemanlarda, kullanım yerlerine bağlı olarak önemli ölçüde çarpma etkisi altında kalabilirler. Yollar, genel amaçlı döşeme kaplamaları, kazık ve palplanş başlıkları verilebilir. Betonun yeterli çarpma dayanımına sahip olması halinde bu gibi yapılar ve elemanlar işlevlerini göremez hale gelirler veya faydalı ömürleri kısalmır. 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 irdelenmesi zor hale gelebilmektedir [3].

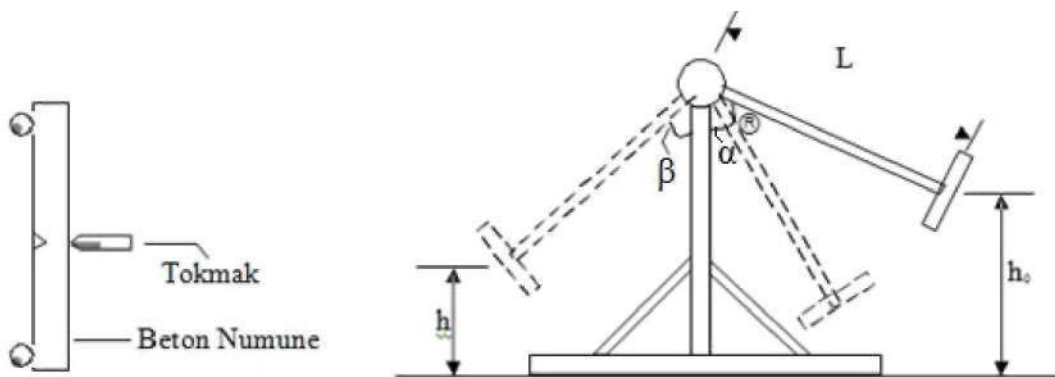
Bir cismin çarpma dayanımı, gerilme-birim deformasyon eğrisinin altındaki alan yani tokluğu ile yakından ilişkilidir. Bu alanın büyük olması cismin yüksek dayanımına sahip olması kadar sünek olmasına da bağlıdır. Genelde kırılma bir malzeme olan betonda dayanım normal agrega kullanılması halinde harç matriksinin ve harç-iri agrega ara yüzünün kalitesine bağlıdır [14].

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 malzemeyi, sarkaç şeklinde G ağırlığındaki bir tokmak vasıtasıyla kırmaktır. Metallerde çarpma dayanımı İzod veya Charpy çentik darbe deneyi kullanılarak belirlenirken, yapı taşlarında ağırlığın belirli bir yükseklikten serbestçe numune üzerine düşürülmesi yöntemi uygulanır [14].

1.3.5.1. Charpy ve İzod Deney Metotları

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 [3].

Darbe deneyinde, numunenin dinamik bir zorlama altında kırılması için gereken enerji miktarı tayin edilir. Bulunan değer, malzemenin darbe mukavemeti olarak tanımlanır. Ağırlığı " G " olan sarkaç, " h_0 " yüksekliğine çıkartıldığında potansiyel enerji ($G \times h_0$) mertebesinde dir. Sarkaç bu yükseklikten serbest bırakıldığında, düşey bir düzlem içinde hareket ederek numuneyi kırar ve aksi istikamette " h " yüksekliğine kadar çıkar. Böylece, numunenin kırılmasından sonra sarkaçta kalan potansiyel enerji ($G \times h$) mertebesinde demektir.



Şekil 1.1. Charpy deney düzeneği

Sarkacın başlangıçta bıraktığı andaki enerjisi ile numune kırıldıktan sonra sarkaçta kalan potansiyel enerji farkı, o numunenin kırılması için gereken enerjiyi başka bir deneyimle, alma yönünden önemlidir.

$$U = G(h_0 - h) = G.L. (\cos\beta - \cos\alpha) \quad (1.14)$$

Bu deney tamamen ampirik olduğu ve şartlar değiştikçe malzeme farklı özellik gösterdiği için numunelerin cihaza uygun bir şekilde yerleştirilmesi ve deney şartları doğru sonuç alma yönünden önemlidir [3].

Deney esnasında sarkaç, daha önce tespit edilen potansiyel enerjiye sahip olabileceği bir yüksekliğe çıkarılır. Daha sonra numune, uygun bir şekilde yerleştirilir. Örneğin, en çok uygulanan Charpy deneyinde numune, mesnetlere tam yaslanacak şekilde ve çekicinin salınım düzlemi ile çentiğin simetri düzlemi 0.5 mm içinde birbirine çıkışacak şekilde yerleştirilir. Bu durum cihaza bağlı, yardımcı bir alete sağlanabilir. Numune uygun şekilde yerleştirildikten sonra, okumaların yapıldığı kadranın göstergesi başlangıç durumuma getirilir ve sarkaç düzgün bir şekilde serbest bırakılır. Sonuç, deneyden sonra kadrandan okunur. Tokmağın ilk ve son konumlarındaki potansiyel enerjileri arasındaki fark bulunur ve numune kesit alanından faydalananarak çarpma mukavemeti belirlenir.

Charpy metodunun temelindeki ana fikri enerjinin korunumudur. Sarkaç belli bir yükseklikte durgun halde iken potansiyel enerjisi maksimumdur. Numuneye çarptığı anda kinetik enerji maksimum seviyeye ulaşmıştır. Numuneyi kırıdığında 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 faydalananarak çarpma mukavemeti belirlenir. Genel olarak çarpma dayanımı kg.m/cm^2 veya N.mm/mm^2 cinsinden ifade edilmektedir [3].

$$\text{Ç} = U/A = (G(h_0 - h))/A \quad (1.15)$$

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 [3].

1.4. Literatür Taraması

Bu tez çalışmasında öncelikle konu ile ilgili literatür taraması yapılarak gerekli bilgi, doküman ve kaynaklar sağlanmıştır. Bu amaçla tez konusu ile ilgili yer ve yabancı tüm kaynaklar araştırılmış ve daha sonra çalışmada kullanılacak malzemeler, çimento CEM I 42.5 R tipi olup, iki farklı tip agrega (normal ve hafif) olarak optimum düzeyde ve en kısa zamanda tedarik edilmiştir. Tüm bu ön çalışmalar yapıldıktan sonra laboratuvar şartlarında, Türk Standartlarına göre gerekli sistem ve düzenekler oluşturulmuş ve deneysel çalışmalara geçilmiştir. Bu tezdeki asıl amaç agrega tipinin betonun çarpma dayanımındaki özelliklerinin incelenmesi olduğundan tez amacına uygun olarak hesapları yapıp, farklı karışım özelliklerde beton numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan bu numuneler gerekli dayanım yaşlarına (28 gün) ulaştıklarında çarpma deneylerine tabi tutulmuştur. Elde edilen deney sonuçları kendi aralarında karşılaştırılmıştır.

1.4.1. İlgili Literatürün Işığında Tezin Yeri ve Önemi

Yapılan literatür araştırmasında agrega deneyleri, beton deneyleri ve betonların dayanım özellikleri ile ilgili kaynaklar toplanmıştır. Bu kaynaklar, kırma taş agreganın dayanım özellikleri, betonun çarpma mukavemetinin etkileri alanında olup, farklı agrega tiplerinin katkılarla beraber kullanılarak oluşturulacak betonun çarpma dayanımı üzerinde göstereceği gelişim etkileri konusunu eksik bırakmaktadır. Betonun dayanımıyla ilgili yapılan çalışmaların bazıları, örnek olarak aşağıda verilmiştir.

Çavuşoğlu ve diğ. [1], bu çalışmada kırılmış dere malzemesinin beton dayanımına etkisi araştırılmıştır. Kırma-eleneç tesisinde 0-9 mm, 9-15 mm ve 15-25 mm boyutunda 3 farklı malzeme üretimi yapılmaktadır. Malzemelerin elek analizi, özgül ağırlık ve su emme kapasitesi, birim hacim ağırlık (sıkışık ve gevşek). İnce madde oranı, hafif madde oranı, dona dayanıklılık, aşınma dayanımı (Los Angeles) değerleri TSE standartlarına göre belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda malzemelerin beton agregası olarak kullanılabilir olduğu belirlenmiştir. Beton testleri ile beton dayanımının su/çimento oranının artmasıyla azaldığı, su/çimento oramı sabit olduğunda çimento dozajının artmasıyla arttığı görülmüştür.

Özturan ve Çeçen [34], kaba agrega tipinin, farklı dayanım seviyelerindeki betonların dayanım özellikleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışmalarında, bazalt, kireçtaşı ve çakıl kaba agrega çeşitleri ile 28 günlük hedef basınçları dayanımları 30, 60, 90, MPa olan betonlar üretilmiş ve bu agregaların beton dayanımını nasıl etkilediğini

araştırmışlardır. Çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre; bazalt ve çakıl kullanılarak yapılan normal dayanamlı beton benzer dayanımlar verirken kireç taşı içeren betonda oldukça yüksek dayanım elde edilmiştir.

Arıcı ve diğ. [3], bu çalışmada 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 çatlağı 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.

Alonso ve diğ. [35], iç volkanik taşlardan elde edilen agregalar ile oluşturulan betonlar ile doğal kaynaklardan elde edilen bazaltik agregalarla oluşturulan betonların dayanım özelliklerini incelemişlerdir. İki farklı tipte kaba agrega ile birlikte süper akışkanlaştırıcı ve süper akışkanlaştırıcısız şekilde dört tip beton dökerek 3, 7, 14, 21, 28 ve 45 günlük yaşlarda betonun dayanım özelliklerini incelemişlerdir. Bu betonların katkılı olanları diğerlerine göre üstün özellikler sergilediğini ve katkılı olarak üretilenlerden ise iç volkanik kaba agregalı betonların daha üstün özellikler sergilediğini ortaya koymuşlardır.

Felekoğlu ve diğ. [36], beton kalite kontrolünde yaygın olarak kullanılan tek eksenli basınç dayanımı deneyinde standart silindir ve küp örnekler kullanılmaktadır. Standartlarca boyutları belirlenmiş bu örneklerin yanında araştırma geliştirme aşamalarında ve karşılaştırmalı deneylerde farklı tip ve boyutta örnekler de tercih edilebilmektedir. Aynı malzeme bileşenleri ve oranları ile aynı beton sınıfında hazırlanan farklı geometrik şekle ve boyuta sahip örneklerin farklı basınç dayanımı değerleri vermesi, deney sonuçları arasında karşılaştırma yapılmasını güçleştirmektedir. Bu çalışmada farklı boyutlarda küp ve silindir formdaki örneklerin basınç dayanımı değerleri iki farklı dayanım sınıfı için incelenmiş ve bu boyutlar arasında geçiş katsayıları önerilmiştir.

Wu ve diğ. [37], kaba agrega tipinin, yüksek performanslı betonun mekanik özellikleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. Bu amaçla kırma kuvarzit, kırma granit, kireçtaşı ve mermer kaba agregalardan 28 günlük hedef dayanımları farklı seviyelerde (30, 60, 90, MPa) beton numuneler oluşturmuşlardır. Bu numuneler üzerinde çeşitli mekanik testler uygulanarak farklı tipteki kaba agregaların yüksek performanslı betonlar üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Araştırma sonucunda belirli su\çimento oranı için betonun

mukavemeti, sertliği ve kırılma enerjisi bilhassa yüksek dayammlı betonlar için agrega tipine bağlı olduğuunu tespit etmişlerdir.

Yazıcıoğlu ve diğ. [38], Elazığ Ferrochrom İşletmesinden elde edilen cürufun betonun basınç dayanımı ve çarpma enerjisine etkileri incelenmiştir. Betonun maksimum agrega tane çapı 4 mm, 8 mm, 16 mm ve 32 mm seçilmiştir. Çimento inceliğinde öğütölen cüruf, beton karışımına Portland çimentosu (CEM I 32,5) ile ağırlıkça % 1, % 3, % 5, % 7 ve % 10 oranlarında yer değiştirilerek kullanılmıştır. Çalışma, sabit slump altında (6-9cm) yapılarak numunelerin 28 günlük basınç dayanımına ve çarpma enerjilerine bakılmıştır. Çalışmada maksimum agrega tane çapı arttıkça betonun basınç dayanımında ve çarpma enerjisinde artış olduğu gözlenmiştir. Cüruf katkısı % 3 olan betonların mukavemeti kontrol betonundan yüksek ve % 5 katkılı betonlarda ise kontrol betonuna denk mukavemetler elde edilmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, maliyeti azaltmak açısından cüruf katkısının % 5'e kadar çimento katkı malzemesi olarak betonda kullanılabileceğini göstermiştir.

Yasar ve diğ. [7], bazaltik ponza taşı ve uçucu külle üretilen hafif betonların dayanım özelliklerini araştırmışlardır. Bu amaçla bazaltik ponza taşı ile kontrol ve çimento ağırlılığının %20 ' oranında uçucu kül katkılı betonlar dökmüşlerdir. Bu şekilde hazırlanan numunelere basınç ve çekme deneyleri uygulamışlardır. Sonuç olarak ise erken yaşlarda uçucu katkılı beton numunelerin dayanımları kontrol betonundan düşük olurken 28 günden sonraki dayanımı kontrol betonundan daha yüksek olduğunu ortaya koymuşlardır

2. MATERYAL VE METOD

Deneylerde kullanılacak numunelerin karışım hesaplamaları TS 802 esasları dikkate alınarak yapılmıştır. Numunelerde max. agregâ çapı 16 mm. olan, hafif, normal ve karışık agregalar kullanılmıştır. 28 günlük numunelerin basınç ve eğilmede çekme dayanımlarının belirlenmesinde yükleme kapasitesi maksimum 2.5 MN olan hidrolik yük kontrollü pres kullanılmıştır. Çarpma dayanımlarının belirlenmesinde ise beton numune boyutlarına uygun olarak hazırlanan Charpy deney düzeneği kullanılmıştır. Basınç dayanımlarının belirlenmesinde standart küp numuneler kullanılırken, eğilme ve çarpma deneylerinde 100x100x500 mm. boyutunda numuneler üzerinde deneyler yapılmıştır.

Deneyisel çalışmalara başlamadan önce literatür taraması yapılmıştır. Yapılan bu taramalarda agregâ tipinin çarpma dayanımına etkisi incelenmiştir. Betonun çarpma dayanımı özelliklerinin geliştirilmesinde agregâ tipinin etkilerini araştıran bu tez çalışmasında iki değişik agregâ tipi kullanılmıştır. Kullanılan bu agregalar hafif agregâ, ve normal agregâdır. Ayrıca karışık (normal+hafif) agregâda kullanılmıştır. Bu agregâlardan oluşturulmuş beton serileri kür havuzunda 23 ± 2 °C lik kirece doymuş su içerisinde 28 gün bekletilmiştir. Bu betonlara basınç, eğilmede çekme ve çarpma dayanım deneyleri uygulanmıştır.

2.1. Deney Numunelerin Hazırlanışı

Deney numunelerin hazırlanmasında kullanılan malzemelerden agregalar ve çimento Elazığ yöresinden temin edilmiştir. Tablo 2.1. ve 2.2.'de belirtilen karışımdaki malzemeler TS 802'ye uygun olarak hazırlanmıştır.

Tablo 2.2. 300 dozlu serilerin karışım miktarı

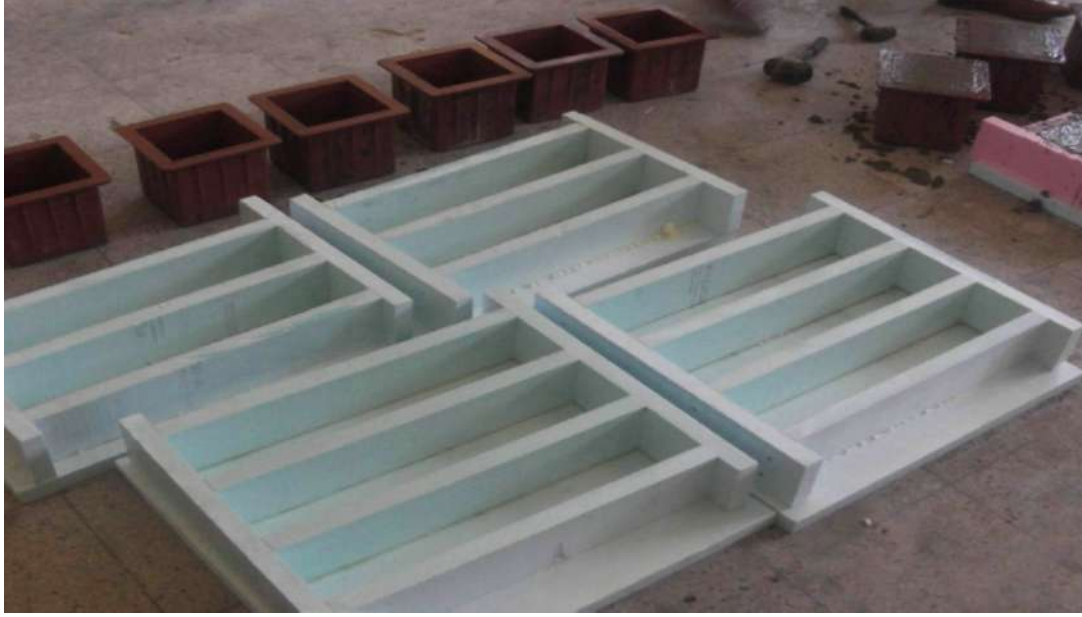
Malzeme		Seril	Seri II	Seri III
Çimento		300	300	300
Su		192	229	390
Normal Agrega	İnce Agregası (0-4)	998	1078	-
	Orta Agregası (4-8)	352	-	-
	İri Agregası (8-16)	418	-	-
Hafif Agrega	İnce Agregası (0-4)	-	-	908
	Orta Agregası (4-8)	-	286	318
	İri Agregası (8-16)	-	323	359
TOPLAM		2260	2216	2275

Tablo 2.2. 450 dozlu serilerin karışım miktarı

Malzeme		Seri IV	SeriV	Seri VI
Çimento		450	450	450
Su		204	285	369
Normal Agrega	İnce Agregası (0-4)	908	901	-
	Orta Agregası (4-8)	320	-	-
	İri Agregası (8-16)	37	-	-
Hafif Agrega	İnce Agregası (0-4)	-	-	867
	Orta Agregası (4-8)	-	237	304
	İri Agregası (8-16)	-	268	343
TOPLAM		1919	2141	2333

2.1.1. Numunenin Kalıpları

Deney numunelerin hazırlanmasında standart plastik küp kalıplar ve strafor dikdörtgen kalıplar kullanılmıştır. Kullanılan küp numuneler 150x150x150 mm'lik ve kiriş numunelerinde 100x100x500 mm'lik olarak hazırlanmıştır. Kullanılan kalıplar Şekil 2.1.'de gösterildiği gibidir.



Şekil 2.1. Deneyde kullanılan numune kalıpları

2.1.2. Çalışmada Kullanılan Agregalar

Çalışmada kullanılan agregalar Elazığ Palu yöresi doğal agregasıdır. Çalışmada kullanılan agregaların fiziksel özellikleri Tablo 2.3. ve 2.4.'de verilmiştir. Bu çalışma TS 706'daki sınır değerlere uygun olarak seçilmiştir. Max. dane çapı 16 mm olarak tercih edilmiştir. Hafif agrega olarak ta Elazığ Yöresinde çıkarılan bazik pomza kullanılmıştır.

Tablo 2.3. Karışıma giren normal 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

Tablo 2.4. Karışıma giren hafif agregaların fiziksel özellikleri

Özgül ağırlık (kg/dm ³)		Su emme (%)		Birim Ağırlık (kg/m ³)	
iri	ince	iri	ince	iri	ince
1.91	2.07	8.3	17.7	789	836

2.1.3. Çalışmada Kullanılan Çimento

Çalışmada kullanılan numunelerin hazırlanmasında Elazığ Altınova Çimento Fabrikası A.Ş.'nin üretmiş olduğu CEM I 42.5 R çimentosu kullanılmıştır.

Tablo 2.5. Karışıma giren çimentonun özellikleri

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

2.1.4. Karışım Suyu

Türk Standartlarında verilen veriler ışığı altında çalışmada içme suyu (Elazığ şehir şebekesi) kullanılmıştır.

2.1.5. Deneyde Kullanılan Seriler

Deneylerde, karışıma giren agrega cinsi ve dozaja göre toplam altı seri hazırlanmıştır. Hazırlanan seriler Tablo 2.6.'da gösterilmiştir.

Tablo 2.6. Deneyde kullanılan seriler

Seri Adı	Seri No	Dozaj	Agrega cinsi
Seri I	S1	300	Normal agrega
Seri II	S2	300	Karışık agrega
Seri III	S3	300	Hafif agrega
Seri IV	S4	450	Normal agrega
Seri V	S5	450	Karışık agrega
Seri VI	S6	450	Hafif agrega

2.2. Numunelere Uygulanan Deneyler

2.2.1. Basınç Dayanımı Deneyi

Basınç dayanımı deneyi için 3'er adet 150x150x150 mm'lik küp numuneler kullanılmıştır. Her agrega tipinden 3'er adet olmak üzere toplam 18 adet deney numunesi hazırlanmıştır. Numuneler kür tankına konularak dökümünden itibaren 28 günlük oluncaya kadar bekletilmiştir. 28 günlük beton numuneler kür tankından çıkarılarak Şekil 2.2.'de görüldüğü gibi deney presine yerleştirilip basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuştur.



Şekil 2.2. Basınç dayanımı deney düzeneği

Numunelerin kırılmasını takiben deney presi ekranından kırılma yükü okunarak kaydedilmiş ve bu değerlerden faydalanarak gerilme değerleri hesaplanmıştır.

2.2.2. Eğilmede Çekme Dayanımı

Eğilmede çekme deneyinde orta noktadan yüklenen 100x100x500 mm dikdörtgen kesitli kiriş numunelerinden oluşan seriler 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 2.3'de görüldüğü gibidir.



Şekil 2.3. Kiriş numunenin eğilmede çekme dayanımı deneyi

2.2.3. Çarpma Dayanımı

Numunelere uygulanan çarpma dayanımı deneyinde 100x100x500 mm dikdörtgen kesitli kiriş numuneler Charpy deney düzeneğine mesnetlere tam yaslanacak ve, çekiç salınım düzlemiyle numunenin orta nokta düzlemi çakışacak şekilde yerleştirilmiştir. Numune yerleştirilme işleminden sonra okumaların yapıldığı kadranın göstergesi başlangıç konumu olan sıfır durumuna getirilip ve sarkaç düşme açısına getirildikten sonra bırakılıp numunenin çarpma deneyi işlemi yapılmıştır. Çarpma işlemi gerçekleştirildikten sonra sarkacın yükselme açısı katrandan okunmuştur. Çarpma deneyinde kullanılan Charpy deney düzeneği ve numunenin yerleştirilmesi Şekil 2.4.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Numunenin çarpma mukavemeti deneyi

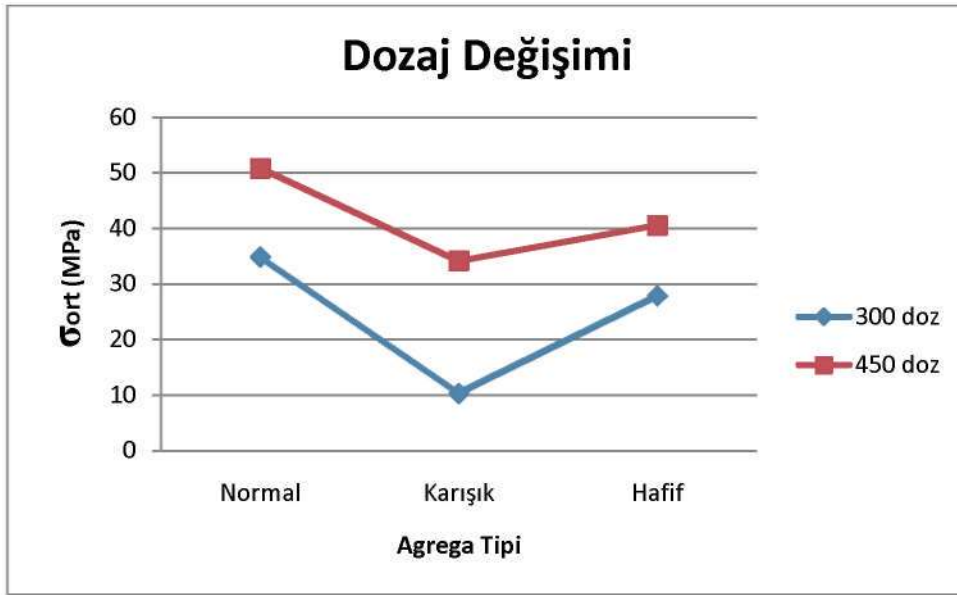
3. BULGULAR

3.1. Basınç Dayanımı

Basınç deneyinden elde edilen max. kırılma yüklerinden faydalanarak basınç dayanım değerleri belirlendi. Bu sonuçlar Tablo 3.1. ve Şekil 3.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Deneyde kullanılan serilerin basınç dayanım değerleri

Seri No	σ_{ort} (MPa)	Dozaj	Agrega tipi
S1	34.84	300	Normal agreg
S2	27.87	300	Karışık agreg
S3	10.32	300	Hafif agreg
S4	50.84	450	Normal agreg
S5	40.57	450	Karışık agreg
S6	34.14	450	Hafif agreg



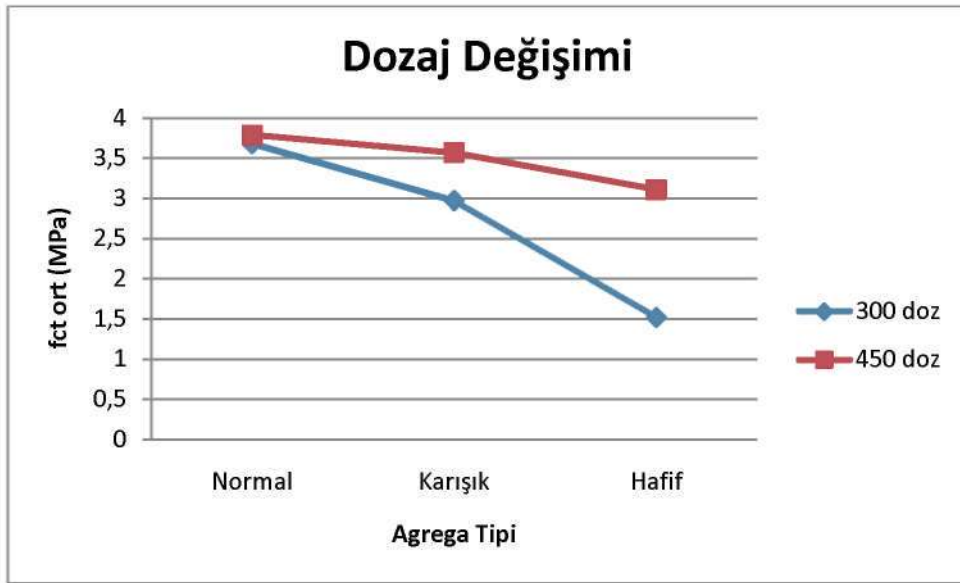
Şekil 3.1. Serilerin ortalama küp basınç dayanımı değerleri

3.2. Eğilmede Çekme Dayanımı

Eğilmede çekme deneyinde orta noktadan yüklenen numunelerin max. kırılma yüklerinden faydalanılarak eğilmede çekme dayanım değerleri belirlenmiştir. Bu sonuçlar Tablo 3.2 ve Şekil 3.2.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.2. Deneyde kullanılan serilerin eğilmede çekme dayanım değerleri

Seri No	fct ort (MPa)	Dozaj	Agrega tipi
S1	3.68	300	Normal
S2	2.97	300	Karışık
S3	1.52	300	Hafif
S4	3.79	450	Normal
S5	3.57	450	Karışık
S6	3.11	450	Hafif



Şekil 3.2. Serilerin ortalama eğilmede çekme dayanımı değerleri

3.3. Çarpma Dayanımı

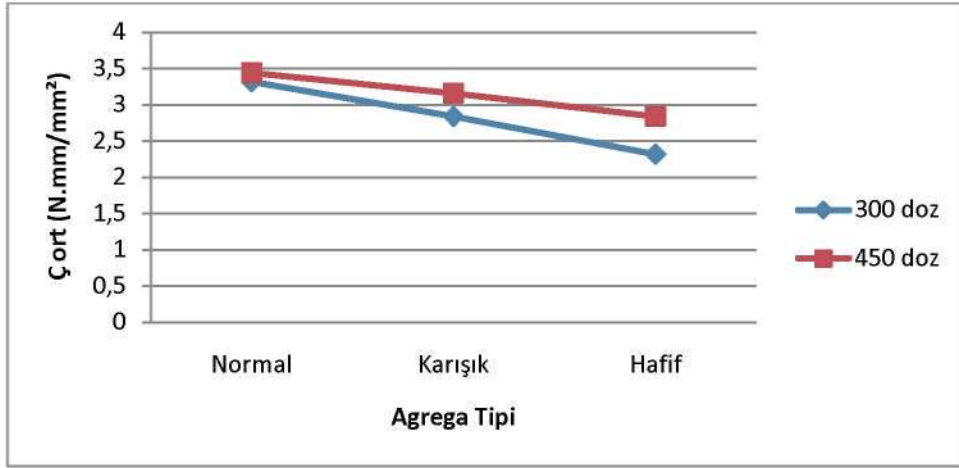
Çarpma dayanımının belirlenmesi için Charpy metodu kullanıldı. Düşme açısı ve yükselme açısından faydalanarak kırılmada gerekli olan enerji miktarları hesaplandı. Bu değerden çarpma dayanımı değeri bulundu.

Ayrıca çekme dayanımının etkisinin belirlenmesi amacıyla çarpma dayanımının,

çekme dayanımına oranı (q) hesaplanmıştır. Bu sonuçlar Tablo 3.3., Tablo 3.4. ve Şekil 3.3., şekil 3.4.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.3. Deneyde kullanılan serilerin çarpma dayanım değerleri

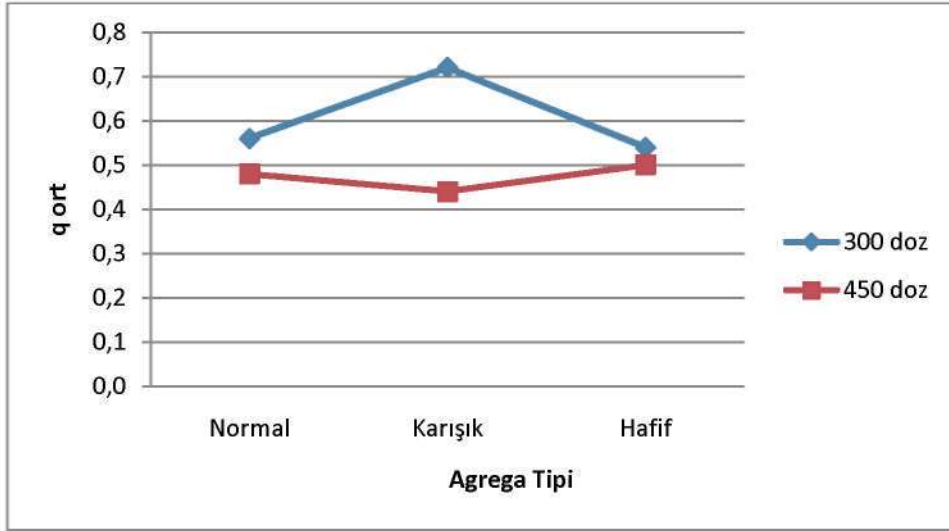
Seri No	Çort (J/mm^2 N mm/mm^2)	Dozaj	Agrega tipi
S1	3.32	300	Normal
S2	2.84	300	Karışık
S3	2.2	300	Hafif
S4	3.44	450	Normal
S5	3.16	450	Karışık
S6	2.58	450	Hafif



Şekil 3.3. Serilerin ortalama çarpma dayanımı değerleri

Tablo 3.4 . Deneyde kullanılan serilerin qort değerleri

Seri No	qort (MPa)	Dozaj	Agrega tipi
S1	0.56	300	Normal
S2	0.54	300	Karışık
S3	0.72	300	Hafif
S4	0.48	450	Normal
S5	0.50	450	Karışık
S6	0.44	450	Hafif



Şekil 3.4. Serilerin qort dayanımı değerleri

Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Tablo 3.5.'de toplu olarak gösterilmiş ve % olarak düşme oranları verilmiştir. (-) olarak verilen değerler ise artışı göstermiştir.

Tablo 3.5. Deneysel verilerin genel sonuçları

Agrega Tipi	Basınç Dayanımı		Eğilmede Çekme		Çarpma		q = (cyv<r)		
	σ_{ort} Mpa	%	f _{ctk} Mpa	%	ζ J/mm ²	%	q	%	
Normal Agrega	34.84	20.01	3.68	19.29	3.32	14.46	0.56	4.36	300 DOZ
Normal + Hafif Agrega	27.87		2.97		2.84		0.54		
Hafif Agrega	10.32		1.52		2.32	18.31	0.72	-34.25	
Normal Agrega	50.84	20.20	3.79	5.80	3.44	8.14	0.48	-2.83	450 DOZ
Normal + Hafif Agrega	40.57		3.57		3.16		0.50		
Hafif Agrega	34.14		3.11		2.58	18.35	0.44	11.00	

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Agrega tipinin betonun çarpma dayanımı üzerindeki etkisinin incelenmesi amacıyla yapılan deneylerden elde edilen verilerin analizleri neticesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

1. Serilerin tamamında en yüksek basınç, eğilmede çekme ve çarpma dayanımı değerleri 450 dozluk betonda elde edilirken, en düşük dayanım değerleri 300 dozluk numunelerde elde edilmiştir.
2. Normal agregalı 450 dozluk numuneler basınç, eğilme ve çarpma dayanımlarında en yüksek değeri verirken hafif agregalı 300 dozlu numuneler en düşük değeri vermiştir.
3. 300 dozluk betonda, karışık agrega ve hafif agregalı numunelerin basınç dayanımları arasında % 60 civarında dayanım kaybı oluşurken, bu kayıp 450 dozluk betonda % 15 civarı olmuştur. Fakat çarpma dayanımına bakıldığında, her iki dozda da bu seriler arasındaki dayanım kaybı yaklaşık % 18 olarak eşit gerçekleştiği görülmüştür.
4. q değerlerine bakıldığında; en yüksek q değerinin 300 dozlu hafif agregalı numunelerde verdiği görülmüştür. Seriler arasında 300 dozlu betonda q değerindeki değişim fazla olurken, 450 dozlu betonda bu değişim aralığı çok fazla olmamıştır.

Düşük dozajlı numunelerde özellikle hafif agregalı betonlarda basınç ve eğilmede çekme dayanımında ani düşüş göze çarparken yüksek dozajlı numunelerde bu dayanımlardaki düşme miktarı aşırı derecede olmamıştır. Çarpma dayanımındaki düşme miktarı basınç ve eğilmede çekme dayanımındaki kadar aşırı derece olmamasının yanında hem düşük hemde yüksek dozajlı numunelerde hemen hemen aynı oranlarda kalmıştır. Çarpma dayanımının dozaj ve agrega tipinden fazla etkilenmemesinin tam olarak açıklığa kavuşturulması için daha geniş kapsamlı çalışma yapılması uygun olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] **I. Çavuşoğlu, A. O. Yılmaz & I. Alp**, Kırılmış Dere Malzemesinin Beton Dayanımı Etkisini İncelenmesi
- [2] **Erdoğan, Y, Turhan**, 2007. Beton, Odtü Yayıncılık, 2.Baskı, Ankara.
- [3] **E. Arıcı, R. Dursun**, 2007. Betonun Çarpma Mukavemetinin İncelenmesi
- [4] **Bozkurt N.**, 2004, Betonun Mekanik Özelliklerinin Gelişmesinde Agrega Tipinin Etkileri
- [5] **TS 19**, 1994. Portland Çimentoları, TSE Ankara.
- [6] **Kaya İ., Kekinel F., Seno Arda T.**, 1996. Betonarmeye Giriş, Birsen Yayınevi, 9.Baskı, İstanbul
- [7] **Yasar, E., Atis, C. D., Kilic, A., Gülsen, H.**, 2003, Strength Properties of Lightweight Concrete Made With Basaltic and Fly Ash, Materials Letters, No. 57, pp. 2267-2270.
- [8] **TS 707**, 1980. Beton Agregalarından Numune Alma ve Deney Numunesi Hazırlama Yöntemi, TSE Ankara.
- [9] **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.
- [10] **TS 706**, 1980. Beton Agregaları, TSE Ankara.
- [11] **Özkul, H., Taşdemir, M. A., Tokyay, M., Uyan, M.**, 1999. Her Yönüyle Beton, Türkiye Hazır Beton, Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul.
- [12] **İnce, R.**, 2004. Yapı Malzemesi, Elazığ
- [13] www.akcansa.com.tr
- [14] **Kocataşkın, F.**, 1969. Yapı Malzemesi Bilimi, Arı Kitapevi, İstanbul.
- [15] **Postacıoğlu, B.**, 1987. Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton, Teknik Kitaplar Yayınevi Cilt 2,
- [16] **TS 3530**, 1999. Beton Agregalarının Tane Büyüklüğü Dağılımı, TSE Ankara
- [17] **Akman, S.**, 1990. Yapı Malzemeleri, İ.T.Ü İnşaat Fak. Matbaası, 2. Baskı, İstanbul
- [18] **TS 699**, 1987. Tabii Yapı Taşları-Muayene ve Deney Metotları, TSE Ankara
- [19] **Özışık, G.**, 2000. Beton. Birsen Yayınevi Kod No:0029, İstanbul
- [20] www.yapınsaat.com
- [21] **Felekoğlu, B., Türkel**, Yükleme Hızının Beton Basınç Dayanımına ve Elastisite Modülüne Etkisi

- [22] **TS 3323**, 1979. Beton Basınç Dane Numunelerinin Hazırlanması Hızlandırılmış Kürü ve Basınç Dayanımı Deneyi, TSE Ankara.
- [23] **TS EN 12390-3**- Sertleşmiş Beton Deneyleri -. Bölüm 5 : Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini.
- [24] **Şimşek, O.**, 1997. Beton Teknolojisi Ankara
- [25] **ASTM C 39**, 1994. Standard Test Method for Compressive ve Strength of Cylindrical Concrete Specimens, Annual Book of ASTM Standards.
- [26] **TS 3068**, 1978. Laboratuvarlarda Beton Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Bakımı, TSE Ankara.
- [27] www.kalitekontrol.org.
- [28] **TS EN 12390-6** - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 6: Çekme Dayanımı Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2002.
- [29] **ASTM C 496**, 1994. Standard Test Method for Split Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens, Annual Book of ASTM Standards.
- [30] **TS EN 12390-5** , 2002. Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 5: Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımlarının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara,
- [31] **ASTM C 78**, 1994. Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete Annual Book of ASTM Standards
- [32] **TS 3129**, 1978. Betonda Yarmada Çekme Dayanımı Tayini Deneyi, TSE Ankara.
- [33] **Özdemir, E.**, Beton Çarpma Dayanımını Belirleme Metodları ve Boyut Etkisinin İncelenmesi, Fırat Üniversitesi, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Semineri
- [34] **Özturan, T. And Çeçen, C.**, 1997. Effect of Coarse Agregate Type on Mechanical Properties of Concretes With Different Strengths, Cement and Concrete Research, No.2, pp.
- [35] **Alonso, E., Martinez, L., Martinez, W., Villaseñor, L.**, 2001, Mechanical properties of Concrete Elaborated With İgneous Aggregates, Cement and Concrete Research, No. 32, pp.317-321
- [36] **Felekoğlu, B., Türkel, S.**, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 35160, İzmir
- [37] **Wu, K.- R., Chen, B., Yao, W., Zhang, D.**, 2001. Effect of Coarse Aggregate Type on Mechanical Properties of High-Performance Concrete, Cement and Concrete Research,

No. 31, pp. 1421-1425.

[38] **Yazıcıoğlu, S., Gönen, T., Çobanoğlu, Ö., C,** F.Ü.Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, Elazığ.

ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında Malatya'da dünyaya gelen Esra TOPTAŞ, ilk orta ve lise eğitimini Malatya'da tamamladı. 2005 yılında Fırat Üniversitesi Yapı Eğitimi Bölümü Yapı Ressamlığı Öğretmenliği bölümünü kazanmış ve 2009 yılında mezun olmuştur. Aynı yıl F.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans Eğitimine başlamıştır.