

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

128657

**KAROT NUMUNELERİN BASINÇ DAYANIMINA
ETKİ EDEN FAKTÖRLERİN ARAŞTIRILMASI**

İnş.Müh. Nihat KABAY

**F.B.E. İnşaat Anabilim Dalı Yapı Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TE. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON BİREME**

Tez Danışmanı: Doç.Dr. Fevziye AKÖZ

Yard. Doç. Dr. Nihat YÜZFER

Doç. Dr. MUSTAFA KARAGÜLER Doç. Dr. Fevziye AKÖZ

Nihat Yüzer

Mustafa Karagüler

Fevziye Aköz

128657

İstanbul, 2002

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vii
ÖNSÖZ.....	viii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT.....	x
1 GİRİŞ.....	1
2 BETON ve BETONARME.....	3
2.1 Çimento.....	4
2.2 Agrega.....	6
2.3 Beton Karma Suyu.....	7
2.4 Katkı Maddeleri.....	8
2.5 Beton Bileşiminin Saptanması.....	9
2.6 Betonun Taşınması, Yerleştirilmesi ve Bakımı.....	10
2.7 Betonun Mekanik Özellikleri.....	11
2.7.1 Basınç dayanımı.....	12
2.7.2 Çekme dayanımı.....	13
2.7.3 Elastisite modülü.....	14
3 TAHRİBATSIZ DENEYLER.....	17
3.1 Beton Test Çekici.....	17
3.2 Ultrasonik Yöntem.....	18
3.3 Birleşik Yöntemler.....	21
3.4 Diğer Yöntemler.....	22
4 KAROT BASINÇ DAYANIMINA ETKİ EDEN FAKTÖRLER.....	23
4.1 Nemliliğin Etkisi.....	23
4.2 Karot Narinliğinin Etkisi.....	24
4.3 Örselenme Etkisi.....	25
4.4 Karot Alım Yönünün Etkisi.....	26
4.5 Donatı Etkisi.....	26
4.6 Diğer Faktörler.....	27

5	DENEYSEL ÇALIŞMA.....	28
5.1	Numune Üretiminde Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri.....	28
5.1.1	Çimento.....	28
5.1.2	Agregalar.....	29
5.1.3	Katkı maddesi.....	29
5.2	Beton Üretimi.....	30
5.3	Numune Üretimi.....	30
5.4	Numunelerin Kürü.....	31
5.5	Deneyler.....	31
5.5.1	Beton numunelerde yapılan deneyler.....	31
5.5.2	Elemanlarda yapılan deneyler.....	32
5.5.2.1	Elemanlarda yapılan tahribatsız deneyler.....	33
5.5.2.2	Elemanlardan karot alınması ve deneylerinin yapılması.....	33
6	DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	34
6.1	Beton Numunelerin Deney Sonuçları.....	34
6.2	Donatılı ve Donatısız Elemanların Deney Sonuçları.....	37
6.3	Donatısız Karotların Deney Sonuçları.....	39
6.4	Donatılı Karotların Deney Sonuçları.....	41
6.5	Tahribatlı ve Tahribatsız Deney Sonuçlarının Birlikte Değerlendirilmesi.....	42
7	SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	44
	KAYNAKLAR.....	46
	ÖZGEÇMİŞ.....	48

SİMGE LİSTESİ

d	Silindir çapı
d_d	Donatı çapı
D_{max}	Maksimum agrega dane çapı
E_c	Betonun elastisite modülü
E_d	Dinamik elastisite modülü
E_s	Sekant modülü
E_t	Başlangıç teğeti modülü
f_c	Basınç dayanımı
f_{ck}	Karakteristik basınç dayanımı
f_{cs}	Yarma dayanımı
f_{cf}	Eğilme mukavemeti
f_{ctk}	Eksenel çekme dayanımı
g	Yerçekimi ivmesi
h	Yükseklik
h_d	Donatının karot üst tabanına olan uzaklığı
k	Komposite
K_{di}	Donatı düzeltme faktörü
l	Silindir boyu
L	Uzunluk
M_k	Eğilme momenti
P_{cs}	Yarma yükü
R	Yüzey sertliği
t	Ultrases geçiş süresi
V	Ultrases geçiş hızı
w	Su/çimento oranı
W	Mukavemet momenti
σ	Gerilme
ε	Şekil değiştirme
β	Birim ağırlık, yoğunluk
ν	Poisson oranı
σ_{φ}	Çekme gerilmesi
λ	Narinlik
γ	Özgöl ağırlık

KISALTMA LİSTESİ

ACI	American Concrete Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
BS	British Standard
EN	Avrupa Birliği Standardı
TS	Türk Standardları
TSE	Türk Standardları Enstitüsü



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	Su/çimento oranının betonun basınç dayanımına etkisi.....	9
Şekil 2.2	Elastisite modülünün belirlenmesi.....	15
Şekil 3.1	Schmidt çekici.....	18
Şekil 4.1	Karot alım yönleri.....	26
Şekil 5.1	Beton üretiminde kullanılan agregalara ait granülometri eğrileri.....	29
Şekil 5.2	Beton ve betonarme elemanlar üzerinde ölçüm yapılan noktalar.....	31
Şekil 5.3	Yarma deney düzeneği.....	32
Şekil 5.4	Donatısız, 1 ve 2 donatılı karot numuneler.....	33
Şekil 6.1	Beton numunelerin yüzey sertliğinin bağlı değişimi.....	34
Şekil 6.2	Beton numunelerin ultrases geçiş hızlarının bağlı değişimi.....	35
Şekil 6.3	Beton numunelerin basınç dayanımının zamanla değişimi.....	36
Şekil 6.4	Beton numunelerin bağlı basınç dayanımının zamanla değişimi.....	37
Şekil 6.5	Beton ve betonarme elemanların doğrudan ses geçiş hızlarının bağlı değişimi.....	38
Şekil 6.6	Beton ve betonarme elemanların yüzey sertliğinin bağlı değişimi.....	38
Şekil 6.7	Karot numunelerin basınç dayanımına örselenmenin ve kür koşullarının etkisi.....	40
Şekil 6.8	Karot numunelerin basınç dayanımına donatı varlığının ve sayısının etkisi.....	41

Çizelge 2.1	Portland çimento türleri.....	5
Çizelge 2.2	Türkiye’de üretilen çimentolar ve standartları.....	6
Çizelge 2.3	Hazır betonun en büyük agrega dane büyüklüğü.....	7
Çizelge 2.4	Hazır beton kıvam değerleri.....	10
Çizelge 2.5	Betonların işlenebilme özelliği bakımından sınıflandırılması.....	11
Çizelge 2.6	Beton sınıfları ve dayanımları.....	13
Çizelge 3.1	Ultrases geçiş hızına bağlı olarak beton kalitesinin sınıflandırılması.....	20
Çizelge 3.2	Beton dayanımının tahmini amacı ile önerilen bağıntılar.....	21
Çizelge 4.1	Farklı narinlik oranları için dayanım düzeltme faktörleri.....	25
Çizelge 4.2	En büyük agrega tane büyüklüğüne karşılık gelen karot bıçağı iç çapı.....	27
Çizelge 5.1	Üretimde kullanılan çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri.....	28
Çizelge 5.2	Agregaların fiziksel özellikleri ve karışım oranları.....	29
Çizelge 5.3	1 m ³ taze beton için gerçek malzeme miktarları.....	30
Çizelge 5.4	Taze beton özellikleri.....	30
Çizelge 5.5	Numune boyut ve biçimine bağlı olarak uygulanan yükleme hızları.....	32
Çizelge 6.1	Beton numunelere ait tahribatsız deney sonuçları.....	34
Çizelge 6.2	Beton numunelerde yapılan basınç ve yarma deneyi sonuçları.....	36
Çizelge 6.3	Donatısız ve donatılı elemanlarda yapılan tahribatsız deney sonuçları.....	38
Çizelge 6.4	Donatısız karot numunelerin tahribatsız deney sonuçları.....	39
Çizelge 6.5	Karot numunelerde kür koşullarının basınç dayanımına etkisi.....	39
Çizelge 6.6	Donatılı karot numunelerin basınç dayanımının zamanla değişimi.....	41
Çizelge 6.7	Donatı yerinin ve sayısının karot numunelerin basınç dayanımına etkisi.....	42
Çizelge 6.8	Basınç dayanımının yerinde tahmini ile ilgili örnek.....	43

ÖNSÖZ

Çalışma konumu belirlememde ve uygulamamda desteklerini, bilgilerini ve deneyimlerini esirgemeyen Sayın Doç.Dr. Fevziye AKÖZ'e ve Yard.Doç.Dr Nabi YÜZER'e teşekkürü bir borç bilirim. Laboratuar çalışmaları sırasında her konuda bana yardımcı olan çalışma arkadaşlarıma, Yapı Malzemeleri Laboratuvarı çalışanlarına ve desteklerini her zaman hissettiğim aileme sonsuz teşekkürler.



ÖZET

Yerinde beton dayanımının belirlenmesinde önem taşıyan karot numunelerin basınç dayanımlarının hesabı, bir takım faktörlere bağlıdır. Bu faktörler karot numunenin yapı elemanından alınmasından deneye hazırlanmasına kadar geçen bir çok işlemle yakından ilişkilidir.

Hazırlanan bu deneysel çalışmada yapıyı temsilen toplam 8 adet donatılı ve donatısız eleman üretilmiş, bu elemanlardan 48 adet donatılı ve donatısız karot alınarak farklı koşullarda bekletilmişlerdir. Karot numunelerin basınç dayanımları, kontrol amacı ile üretilen beton numunelerle karşılaştırılarak dayanımlardaki farklılıklar ve bu farklılıklara sebep olan faktörler araştırılmıştır.

Karot basınç dayanımı üzerinde etkili olan faktörlerden örselenme, nemlilik ve donatı etkisi bu çalışmanın kapsamında incelenmiş, elde edilen sonuçlar bu konuda yapılan diğer çalışmalarla karşılaştırılarak detaylı bir şekilde verilmiştir.



Anahtar Sözcükler: Karot, boyut etkisi, nemlilik, örselenme, donatı etkisi, beton dayanımı.

ABSTRACT

Calculation of compressive strength of core samples, which is important in determining the concrete quality in-situ, depends on some factors. These factors are related with the operations beginning with taking the core samples from the construction, preparing them to the test and testing.

In this research work, 4 reinforced concrete and 4 concrete structures were produced to simulate the structure in-situ, and 48 cores taken from these structures and kept in different mediums. The compressive strengths of these cores are compared with control samples, and the differences are researched.

Effect of moisture content, rebars and damage given to the core samples while drilling are taken into consideration and the results are compared with similar researchs.



Keywords: Core, size effect, moisture, effect of drilling , effect of rebar, concrete strength.

1. GİRİŞ

Ülkemizin büyük bölümü etkin deprem kuşağı içinde yer almaktadır. Son yıllarda büyük kent merkezlerinden uzaklarda, Erzincan, Dinar ve Ceyhan'da peş peşe yaşanan depremler yeterince değerlendirilmemiş, adeta geçiştirilmiştir. Bunda mal ve can kayıplarının nispeten sınırlı kalması da etkin olmuştur. 17 Ağustos ve 12 Kasım 1999' da Marmara Bölgesini etkileyen deprem, yol açtığı büyük mal ve can kayıpları ile toplumu derinden etkilemiş, depremin yol açtığı ağır hasar ve yıkımlar ülkemizde yapıma ve yapılaşmaya gerekli özenin gösterilmediğini gözler önüne sermiştir.

Bazı durumlarda, yapım aşamasında olan veya yapımı yeni tamamlanmış betonarme yapıların ya da yıllardır kullanılmakta olanların yeniden gözden geçirilip değerlendirilmesi gerekebilir. Bu değerlendirmede temel amaç, yapının kabul edilebilir bir yapı güvenliğini sağlayıp sağlamadığının saptanmasıdır. Yapı güvenliğinden amaçlanan, göçmeye karşı güvenliğin ve kullanılabilirliğin sağlanmasıdır. Yeniden değerlendirme gereksinimi çeşitli nedenlerden kaynaklanabilir. Bu nedenlerden en önemlileri aşağıda sıralanmıştır.

- Yapıdaki beton ile ilgili kuşkular vardır. Bu kuşkular yapım aşamasında betondan alınan numunelerin değerlendirilmesinden ya da numune alınmayan yapılarda gözle yapılan incelemelerde görülen kusurlardan kaynaklanabilir.
- Donatının projede öngörülenden farklı miktarda ve biçimde yerleştirildiğine ilişkin kuşkular vardır.
- Tasarımın yanlış veya yetersiz olduğu kuşkusu vardır.
- Eski yönetmeliğe göre tasarımı yapılmış bir yapının yürürlükteki yönetmelikte öngörülen yapı güvenliğini sağlayıp sağlamadığının araştırılması istenebilir.
- Yapının, tasarımda öngörülenden başka amaçlarla kullanılmasına karar verilmiştir. Bölme duvar yerlerinin, döşeme kaplamasının v.b. değişmesi nedeni ile öz ağırlıktaki değişiklik ve yeni kullanım biçimi sonucu hareketli yüklerdeki değişimler nedeni ile yapı güvenliğinin kontrolü gerekebilir.
- Yapıda gözlenen bozukluklar, örneğin, çatlama, deformasyon veya ezilme.
- Yapıda gözlenen hasar. Bu hasar bölgesel çökme, aşırı çatlama veya deformasyon olabilir.

Yapı güvenliğinden kuşku duyulan bir yapı değerlendirilirken, o yapıdaki gerçek beton dayanımının saptanması son derece önemlidir. Beton dayanımının yapıdan alınan numune

diğer deney yöntemleri ile saptanması, yapım sırasında alınan numunelerle beton dayanımının bilindiği durumlar için de geçerlidir. Bu gibi durumlarda ölçüm sayısı daha az tutulabilir.

Özellikle Marmara Bölgesinde meydana gelen depremlerden sonra hasar gören ya da görmeyen yapıların mevcut durumu önem kazanmış, bu sebeple yapılarda kullanılan malzeme kalitesinin belirlenmesi amacı ile pek çok deneysel çalışma yapılmıştır.

Yapıdaki beton dayanımı yıkıntısız (örselemeyen) yöntemler kullanılarak ya da karot alınarak saptanabilir, ancak, beton ile ilgili bir kuşku varsa kesinlikle karot alınması gerekir. Karot alma ve deneme zor ve pahalı bir operasyon olduğundan ve yapı elemanlarında zayıflamaya yol açabileceğinden karot sayısının kısıtlı olması kaçınılmaz bir zorunluluktur (Tankut ve Ersoy, 1989).

Yapıdan karot numune alınarak basınç deneyinin yapılması ve değerlendirilmesi mevcut yapının beton kalitesi hakkında bir takım bilgiler elde etmemizi sağlayacaktır. Bu deneysel çalışmada, öncelikle, günümüzde oldukça fazla tercih edilen bir yapı malzemesi olan beton ele alınmıştır. Betonlu oluşturan ögeler tek tek incelenerek bu yapı malzemesinin fiziksel ve mekanik özellikleri ile bu özelliklere etki eden faktörler açıklanmıştır. Betonun incelenmesinden sonra yapı elemanlarından karot alımı ve karot deneyleri incelenmiş, deney sonuçları geniş bir şekilde irdelenmiştir.

2. BETON ve BETONARME

Beton, ucuzluğu, şekil verilebilme kolaylığı, fiziksel ve kimyasal dış etkilere dayanıklılığı ile günümüzün en yaygın kullanılan taşıyıcı yapı malzemesidir. Demir donatı ile desteklenerek betonarmenin oluşturulması betonun çekme mukavemetinin yetersizliğini dengelemiş, öngerilmeli betonla büyük açıklıklar geçilebilmiş, katkı maddeleri ile özellikleri istenen yönde etkilenebilmiş, çeşitli tekniklerle ısı, ses, su, buhar geçirimsizliği gerçekleştirilebilmiştir (Öztekin, 1989).

Çok daha önceleri Roma betonu olarak bilinmesine ve kullanılmasına karşın beton, yapay portland çimentosunun üretilmesi ile birlikte, yeni bir kagir yapı malzemesi olarak ancak 1824' lerde ortaya çıkmıştır. Çağımızın en önemli yapı malzemelerinden olan beton, inşaat mühendisliği alanında 1850' li yıllarda betonarmenin icadı ile başta konut yapımı olmak üzere karayolu, demiryolu, köprü, liman ve havaalanı gibi ulaştırma sistemlerinin ve enerji üretimi için çeşitli barajların inşasına kadar çok geniş bir alanda yaygın olarak kullanılmaya başlanmış ve vazgeçilmez bir yapı malzemesi özelliği kazanmıştır. Beton, üretiminde az enerji gereksinimi duyulması, dayanımının ve dayanıklılığının yüksek olması ve estetik görünümlü yapıların yapılabilmesi nedeni ile halen vazgeçilmez bir malzeme olma özelliğini sürdürmektedir. Bu teknik ve ekonomik üstünlüğü sayesinde, geçmişte olduğu gibi gelecek yıllarda da inşaat sektöründe öncü malzeme olma özelliğini sürdürecektir (Erdoğan, 2001; Kocataşkın, 1991).

Betonarme karkas yapıların tasarımı, genel olarak, yapının elemanlarında doğacak çekme gerilmeleri çelik donatılar tarafından, basınç gerilmeleri de beton tarafından taşıtılacak şekilde yapılır. Bu iki malzemenin ayrı ayrı belirli dayanımları taşıması yeterli değildir. Çünkü, bu malzemelerin bir arada, bir bütün olarak çalışması esastır. Bunun sağlanabilmesi için aralarında iyi bir aderans oluşması gerekir.

Beton, çimento, su, doğal veya yapay iri ve ince agregadan oluşan kompozit bir malzemedir. Betona gerektiğinde belirli oranlarda kimyasal ve/veya mineral katkı maddeleri katılır. Betonda çimento ve suyun oluşturduğu hamur fazı sürekli ortamı, agregalar ise dağınık fazı meydana getirirler. Bu anlamda beton aglomera kompozit bir malzemedir. Betonun diğer yapı malzemelerinden üstün kılan en önemli özelliklerinden birisi, istenilen biçimin verilebilmesini sağlayan plastik kıvamıdır. Başlangıçta plastik ya da akıcı kıvamda olup zamanla katılaşarak sertleşerek mukavemet kazanan betondan, işlenebilir olması, mukavemetinin yüksek olması

ve dış etkenlere karşı dayanıklı olması gibi bir takım özellikler beklenir. Basınç dayanımı, betonun kalitesi hakkında genel bir fikir verir, ancak bazı durumlarda geçirimsizlik ve dayanıklılık daha önemli özellik olabilmektedir. Hangi amaçla üretilirse üretilsin, beton üç özelliği bünyesinde bulundurmmalıdır. Bunlar, taze halde iken işlenebilme, sertleşmiş halde iken mekanik dayanım ve çevre koşullarına dayanıklılık yani durabilitedir (Akman, 1992). Betonun oluşturan öğeler aşağıda açıklanmaktadır.

2.1 Çimento

Beton içinde çimentonun işlevi, su ile reaksiyonu sonucu oluşan hidratasyon ürünleri sayesinde agregayı bir arada tutmaktır. Betonun sürekli fazını oluşturan çimento, su ile karşılaştığında reaksiyona girerek sertleşen ve dayanım kazanan, dayanımını su içinde de koruyan, çok ince öğütülmüş, mineral kökenli, hidrolik bağlayıcıdır. Genel olarak toz halde bulunan mineral kökenli bağlayıcılar, su ile karıştırıldıklarında viskoz sıvı veya hamur haline geçerler, daha sonra katılaşır ve zamanla sertleşerek dayanım kazanırlar. Bağlayıcı maddelerin sıvı halden katı hale geçmesi olayına priz denir. Fiziko-kimyasal bir olay olan priz, bağlayıcının su ile temas ettiği anda başlar. Çimento hamuru, beton yapmak için bir araya getirilmiş binlerce irili ufaklı agregatanelerinin yüzeyini kaplayarak ve taneler arasındaki boşlukları doldurarak bağlayıcılık görevi yapar. Çimento üretiminde, belirli oranlarda kalker, kil karışımının içine, ergimeyi kolaylaştırmak için demir filizi içeren toprak katılır. Karışım, döner fırında 1400°C 'ye kadar ısıtılır. Isıtılan maddenin ani soğutulması sonucu meydana gelen granüle malzemeye klinker adı verilir. Klinkerin 4 ana bileşeni vardır. Bunlar, bikalsiyum silikat (C_2S), trikalsiyum silikat (C_3S), trikalsiyum alüminat (C_3A) ve tetrakalsiyum alüminoferrit (C_4AF) dir. Klinkerin çimentoya dönüşmesi, dolayısı ile bağlayıcı özellik kazanması için alçı taşı katılıp çok ince öğütülmesi gerekir (Akman,1990; TS 11222).

Betonu meydana getiren agregatanelerini birbirine bağlayan çimento hamuru, mukavemetini kaybettiğinde çoğu zaman betonun da mukavemeti sona erecektir. Buradan, betonda çimento hamurunun mukavemet üzerinde oynamış olduğu rolün önemi anlaşılmaktadır. Bu bakımdan beton üretiminde çimento dozajı ve cinsi beton mukavemeti açısından çok büyük önem taşımaktadır ve özenle belirlenmelidir. 1 m^3 betonda ağırlık cinsinden çimento miktarına dozaj denir. Çimento dozajı, agreganın granülometri bileşimi ile yakından ilgilidir. Fransız standardında minimum çimento dozajı ile agreganın maksimum dane çapı arasında (2.1)'deki eşitlik verilmiştir (Postacıoğlu, 1987).

$$C_{\min} = \frac{550}{D^{1/5}} \quad (2.1)$$

Günümüzde en yaygın kullanılan çimento türü Portland çimentosudur. Amerikan standartlarında Portland çimentoları 5 tipe ayrılır. Çizelge 2.1' de bu tiplerin birleşim nitelikleri ve kullanım yerleri belirtilmiştir.

Çizelge 2.1 Portland çimento türleri

Tip	Birleşim Özelliği	Hidratasyon Isısı 72 saatte cal/gr	Kullanım Alanı
I	Sınırlama yok	68	Özelliği olmayan tüm işlerde
II	$C_3A < \%8$ $C_3A + C_3S < \%58$	-	Zayıf sülfat etkisi bulunan yerlerde
III	$C_3A < \%15$ C_3S yüksek	83	Yüksek mukavemet istenen yerlerde
IV	$C_3A < \%7$ $C_3S > \%35$ $C_2S > \%40$	47	Düşük hidratasyon ısısı gerektiren durumlarda
V	$C_3A < \%5$	-	Sülfata dayanıklı çimento

Normal Portland çimentosuna üretimin öğütme aşamasında puzolan katılması ile katkılı portland çimentosu elde edilmektedir. Puzolanlar, Portland çimentosunun hidratasyonu sırasında açığa çıkan $Ca(OH)_2$ ile birleşerek mukavemeti ve özellikle kimyasal dayanıklılığı artırırlar.

Alüminli çimentolar, hammaddesi boksit ($Al_2O_3 + nH_2O$) olan farklı bir çimento türüdür. Portland çimentolarının aksine asit ortamlara ve sülfatlara dayanıklılık sağlarlar ve bir iki gün içinde son mukavemetlerine ulaşırlar, ancak ilk günlerdeki hidratasyon ısısı portland çimentolarının 3-4 katıdır, bu nedenle, büyük kütleler halinde dökülmezler ve üretim sırasında sıcaklık yükselmesi denetim altında tutulmalıdır (Akman, 1992).

Ülkemizde üretilen ve TSE tarafından standartları yayınlanmış çimento türleri çizelge 2.2' de verilmiştir.

TC YÜKSEK HAKEM KURULU
PORTLAND ÇİMENTO ENSTİTÜSÜ

Çizelge 2.2 Türkiye’ de üretilen çimentolar ve standartları (Özkul vd, 1999)

Tür	İlgili TS
Portland çimentoları	TS 19
Beyaz portland çimentosu	TS 21
Uçucu küllü çimento	TS 640
Portland cürufu çimento	TS 13139
Katkılı çimento	TS 10156
Traslı çimento	TS 26
Kompoze çimento	TS 12142
Portland kompoze çimento	TS 12143
Sülfatlara dayanıklı çimento	TS 10157
Yüksek fırın cürufu çimento	TS 20
Harç çimentosu	TS 22
Süper sülfat çimentosu	TS 809
Erken dayanımı yüksek çimento	TS 3646
Portland kalkerli çimento	TS 12140
Portland silika fume çimento	TS 12141
Puzolanik çimento	TS 12144

2.2 Agregalar

Agregalar, kum, çakıl, kırmataş gibi doğal kaynaklı veya yüksek fırın cürufu, genleştirilmiş perlit veya kil gibi yapay kaynaklı, mineral kökenli, taneli malzemelerdir. Agregalar, toplam beton hacminin ortalama olarak %75’ ini kapsamaktadır. Bu nedenle betonun doluluğu, dayanımı, dayanıklılığı ve maliyeti açısından çok büyük önem taşır. Agreganın doluluğu, betonun kompazitesini artırarak istenilen dayanımın elde edilmesinde, çevresel ve atmosferik etkilere karşı dayanıklılığının artırılmasında belirleyici bir rol oynar. Betonun iskeletini teşkil eden agregalar, sahip olduğu rijitlik ve hacimsel konsantrasyon nedeni ile çimento hamurunun kapiler boşluklarında kimyasal olarak bağlanmamış suyun zamanla buharlaşması ile ortaya çıkan rötreyi önemli ölçüde azaltır. Bu nedenle beton üretiminde agreganın özelliklerinin ve karakteristiklerinin bilinmesi çok önemlidir. Beton üretiminde doluluğun sağlanması için agregaların granülometri bileşiminin, fiziksel ve mekanik özelliklerinin saptanması gerekir. Taze hazır beton üretiminde taze betonda maksimum dane çapının belirlenmesi için ıslak eleme deneyi uygulandığında elek üstünde kalan malzeme kütlesinin toplam taze beton kütlesine oranı %5’i geçmemek şartı ile bulunacak en büyük agregalar dane büyüklüğünün çizelge 2.3’ teki değerlere uygun olması istenir.

Çizelge 2.3 Hazır betonun en büyük agrega dane büyüklüğü (TS 11222, 1994)

Hazır Beton Türü	D (mm)
1 Nolu Agregalı	8-10
2 Nolu Agregalı	16-20
3 Nolu Agregalı	25-32
4 Nolu Agregalı	63

Beton agregası olarak kullanılacak kültelerde aranan nitelikler ise şöyle sıralanabilir,

- Yeterli basınç dayanımına sahip olmalı,
- Atmosfer etkisi ile yapraklanıp dağılmamalı,
- Donma-çözülme etkisi ile niteliğini kaybetmemeli,
- Islanma-kuruma sırasında hacim sabitliğini korumalı,
- Sülfat ve klor iyonları taşımamalı,
- Çimento ile alkali reaktivliği gibi kimyasal etkileşim yapmamalı.

Tane biçiminin agreganın karakteristikleri üzerinde çok önemli etkileri vardır. En uygun biçimli agrega taneleri küre ve küp şekline mümkün olduğu kadar yaklaşıdır. Uzun ve yassı tanelerin fazla bulunması agreganın kompasitesini ve dolayısı ile betonun kompasitesini azaltacağından betonun mukavemetini önemli ölçüde düşürecektir. Beton oluşturacak agreganın en büyük dane büyüklüğü, çeper etkisi nedeni ile betonun kullanılacağı yapı elemanının cinsi ve en dar kesitinin boyutu ile ilişkilidir. En büyük dane büyüklüğü, en dar kesitin kalıp genişliğinin 1/5' inden, döşeme derinliğinin 1/3' ünden, donatılı betonda en küçük donatı aralığının 3/4' ünden küçük seçilmelidir. Maksimum dane çapı büyük olan karışımlar, maksimum dane çapı küçük olan karışımlara oranla daha az boşluğa sahip olduklarından daha az harca ihtiyaç duyarlar. Yüksek dayanımlı beton yapılmak istendiğinde (2.1) bağıntısından da görüldüğü gibi maksimum dane çapı büyük seçilmelidir (Postacıoğlu, 1987; Akman, 1992; TS 11222; TS 802).

2.3 Beton Karma Suyu

Beton üretiminde kullanılan karma suyunun, çimentonun hidrasyonunu sağlamak, kum ve iri agrega tanelerini ıslatmak ve betonun işlenebilme özelliğinin istenilen düzeyde olmasını sağlamak gibi işlevleri vardır. Karma suyu, beton basınç dayanımını etkileyen önemli faktörlerden biridir. Karma suyu gereğinden az konulur ise, yeterli miktarda su bulunmamasından dolayı çimento hidrasyonunu tam olarak yapamaz, agrega tanelerinin

yüzeyleri tamamen ıslanmaz ve çimento ile arasındaki aderans zayıflar, betonun işlenebilme özelliği yeterli düzeyde olmadığı için yerleştirme zorlaşır. Bu nedenlerle boşlukları çok, hidratasyonu tamamlanmamış ve iyi yerleştirilmemiş bir beton üretilir. Bu betonun basınç dayanımı düşük olur. Benzer şekilde karma suyu gereğinden fazla konulur ise çimento hamurunun mukavemeti düşer, fazla su betonun sıkışmasına engel olarak boşlukları artırır, dolayısı ile betonun dayanımı azalır (Postacıoğlu, 1987).

Beton üretiminde kullanılacak karma suyunun kimyasal açıdan da bir takım özelliklere sahip olması gerekir. Örnek olarak karma suyu asit özelliği taşımamalı ($\text{pH} \geq 7$ olmalı), zararlı etkisi olacak oranda karbonik asit, mangan bileşikleri, amonyum tuzları, serbest klor, madensel yağlar, organik maddeler ve endüstri atıkları içermemelidir. Litresinde en çok çözünmüş olarak 15 gr ve yüzer olarak 2 gr madeni tuz, en çok 2 gr SO_3 bulunabilir (TS 500).

2.4 Katkı Maddeleri

Günümüz beton teknolojisinde kimyasal katkı maddeleri betonun vazgeçilmez bileşenlerinden biri olmuştur. Katkı maddeleri, betona, harca veya çimento hamuruna, üretim aşamasında bağlayıcı dozajının %5' ini aşmadan katılan, organik veya inorganik, sıvı veya katı maddeler olarak tanımlanırlar. Betonun sahip olduğu özellikleri iyileştirmek veya betona yeni özellikler kazandırmak amacı ile kullanılan katkı maddeleri EN 934 Avrupa Birliği standardına göre 9 tipe ayrılmıştır. Bunlar,

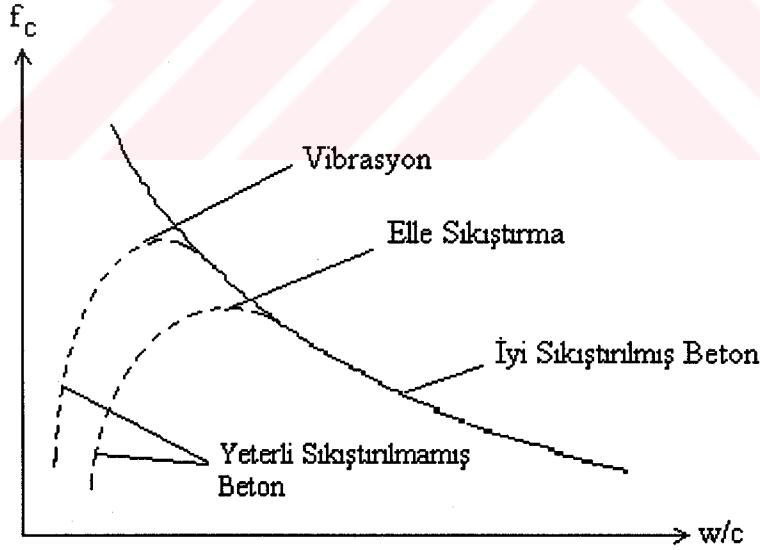
- Su indirgeyici / plastifiyanlar
- Yüksek mertebe su indirgeyiciler / süperplastifiyanlar
- Su tutucular (terlemeyi önleyenler)
- Hava sürükleyiciler
- Priz hızlandırıcılar
- Sertleşmeyi hızlandıranlar
- Priz geciktirenler
- Suya karşı dayanıklılık sağlayanlar
- Çok işlevli katkılar

Betona, özelliklerini iyileştirmek amacı ile ve önceden belirtilmek kaydı ile katılacak kimyasal maddeler mamul standardına uygun olmalıdır. Katkı maddelerinin imalatçısı

tarafından belirtilen özelliklerinin değişmesinden kuşkulandığında, standardına uygun olup olmadığı kontrol edilmelidir (TS 11222; Akman, 1996; Postacıoğlu, 1986).

2.5 Beton Bileşiminin Saptanması

Beton üretiminde amaç, belirli miktar çimento kullanarak yerine dökülmüş beton mukavemetinin maksimum olmasını sağlamaktır. Bu amaca ulaşmak için beton bileşiminin, bir başka deyişle 1 m³ betonu oluşturan malzeme miktarlarının doğru bir şekilde hesaplanması gerekmektedir. İşlenebilirlik özelliği yerine gelmek koşulu ile agreganın maksimum dane çapının (D_{max}) mümkün olduğu kadar büyük seçilmesine ve iri agreganın fazla, ince agreganın az miktarda kullanılmasına dikkat edilmelidir. Bunun için D_{max} ' ın, üretilecek betondaki boşluk miktarının, agreganın granülometri bileşiminin ve karma suyu miktarının belirlenmesi gerekir. Betonarmada kullanılan betonların dozajı genelde 250-400 kg/m³ arasında değişir. Geçirimsizlik ve donatıyı paslanmadan korumak için, çimento dozajının belirli bir düzeyden az olmaması gerekir. Beton dayanımı şekil 2.1' de görüldüğü gibi su/çimento oranı ile de değişir ancak, bu oran istenilen dayanıma göre ayarlanırken, elde edilecek karışımın ekonomik ve işlenebilir kıvamda olmasına özen gösterilmelidir.



Şekil 2.1 Su/çimento oranının betonun basınç dayanımına etkisi (Neville, 1990)

Beton karışım hesapları iki aşamada gerçekleştirilir. Birinci aşamada, örnek beton karışımı teorik yolla hesaplanır. İkinci aşamada ise örnek beton üretilir ve bu betonun taze halde işlenebilmeyi, sertleşmiş halde mukavemeti sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir. İstenilen

sonuç elde edilmiş ise üretime geçilir, edilmemiş ise gerekli düzeltmeler yapılır ve 1 m³ taze beton üretimi için kesin değerler bulunur (Postacıoğlu, 1987; Neville, 1990).

2.6 Betonun Taşınması, Yerleştirilmesi ve Bakımı

Betoniyerden alınan taze beton herhangi bir araç ile taşınarak daha önceden hazırlanan kalıbına dökülür. Bu taşınma esnasında maruz kaldığı çarpma ve sarsıntıların etkisi ile beton, homojenliğini kaybedebilir. Homojenliğin azalması ise beton basınç dayanımının düşmesi anlamına gelir. Betonun kalıbına yerleştirilmesinde belli başlı iki önemli hedef vardır:

- Betonun kalıbın her tarafına yaymak ve donatıları devamlı bir şekilde kaplamasını sağlamak,
- Betonun sıkıştırmak, böylelikle hava boşluklarını dışarıya çıkartarak kompasiteyi arttırmak.

Taze betonun taşıma ve kalıbına yerleştirme sırasında kohezyonunu ve homojenliğini kaybetmemesi ve kalıplarda kolaylıkla yayılarak mümkün olduğunca az boşluk bırakarak doldurma özellikleri işlenebilme ile ifade edilir. Kıvam ise betonun akıcılığı ile ve kendi ağırlığı altında hareket etme kabiliyeti ile ilgili bir özelliktir. Bu özelliğe etki eden faktör su miktarıdır. Taze betonda kıvam, slump deneyi ile ya da VeBe deneyi ile belirlenir. Slump deneyi şu şekilde yapılır. Çökme hunisinin içi ıslak bezle silinir ve huni düz, nemli ve su emmez bir yüzey üzerine yerleştirilir. Taze beton huniye üç tabaka halinde ve her tabaka 25'er kez şişlenerek dökülür. Şişleme bittikten sonra kalıbın üstü tesviye edilir ve huninin etrafına dökülen beton temizlenir. Bu işlemin ardından huni saplarından tutularak yavaşça ve titizlikle düşey olarak yukarı doğru çekilir. Taze beton yığınının yanına konulan çökme hunisinin üzerine yatay olarak yerleştirilen şişleme çubuğunun alt seviyesi ile çöken taze betonun üst yüzünün ortalama yüksekliği arasındaki mesafe betonun çökme değeridir (TS 2871). Bu deney sonucu elde edilen çökme değerine karşılık gelen kıvam sınıfları çizelge 2.4' te verilmiştir.

Çizelge 2.4 Hazır beton kıvam değerleri (TS 11222)

Çökme (cm)	Kıvam	Kıvam Sınıfı
0-4	Kuru	K1
5-9	Plastik	K2
10-15	Akıcı	K3
≥16	Çok Akıcı	K4

Beton, sahip olduğu işlenebilme özelliğine bağı olarak bir takım yöntemlerle kalıbına yerleştirilmelidir. Yerleştirme metotlarının en pratiğı vibrasyondur. Vibrasyona maruz kalan beton bir sıvının karakteristiğine sahip olarak kalıp içerisinde kolaylıkla yayılır. Aynı zamanda betonu oluşturan taneler kütle içinde hareket ederek kompasiteyi arttıracak şekilde en uygun yerlerini alırlar. Bir başka deyişle, vibrasyon, betona geçici bir akıcılık verir. Vibratörün hareketi durdurulunca beton tekrar sıkı kıvamını kazanır. Taze betonun işlenebilme özelliğı bakımından sınıflandırılması çizelge 2.5’ de gösterilmiştir.

Çizelge 2.5 Betonların işlenebilme özelliğı bakımından sınıflandırılması

İşlenebilme Özelliğı	Kıvam	Çökme (cm)	VeBe (sn)	Yapı cinsi veya elemanı	Yerleştirme ve sıkıştırma
Çok zayıf	Çok sıkı	0-2.5	9-18	Donatısız eleman	Yüksek frekanslı vibratör
Zayıf	Sıkı (kuru)	2.5-5.0	4-10	Az donatılı betonarme kirişler, döşemeler	Kuvvetli vibrasyon
Orta	Plastik	5-10	0-4	Çok donatılı kirişler, az donatılı kolonlar	Normal vibrasyon
Yüksek	Akıcı	10-17.5	-	Çok donatılı kolonlar, perdeler	Tokmakla sıkıştırma

Zamanla dayanım kazanan bir malzeme olan betonun bileşimindeki suyun bir bölümü belirli sürede hidratasyon için kullanılır. Bu suyun buharlaşarak kaybolması, hidratasyon için gereken suyun yok olması, dolayısı ile betonun gereken dayanımı kazanamaması ile sonuçlanır. Bu nedenle taze betonun bakımı, karışımın hazırlanması kadar önemlidir. Priz için ideal ortam, nemli ortamdır. Bu nedenle kür yapılırken beton yüzeyleri sürekli ıslatılmalı ve özellikle geniş yüzeylerde buharlaşmanın önlenmesi için yüzey örtülmelidir (Postacıoğlu, 1987).

2.7 Betonun Mekanik Özellikleri

Gevrek bir malzeme olan betonda basınç dayanımı çekme dayanımının 10 katı mertebesinde, bu nedenle beton, yapı elemanında basınç gerilmelerine çalıştırılır ve betonun çekme gerilmeleri altında hemen çatladığı ve iş görmediğı varsayılır. Ancak rötre nedeni ile meydana gelen gerilmelerin karşılanmasında ve eğilmeye çalışan geniş yüzeyli betonlarda, çekme dayanımının da önemli olduğı dikkate alınmalıdır. Aşağıda, betonun

basınç dayanımı, çekme dayanımı, elastisite modülü gibi mekanik özellikleri ve nasıl belirlendiği kısaca açıklanmıştır.

2.7.1 Basınç dayanımı

Betonun tek eksenli basınç kuvveti altındaki davranışları, çeşitli karakteristikler yardımı ile ifade edilmektedir. Bunların içinde en önemlisi ve projelerde esas tutulan büyüklük basınç dayanımıdır. Betonda basınç dayanımı diğer beton nitelikleri ile paralellik gösterir. Genellikle yüksek basınç dayanımına sahip bir beton boşluksuzdur, geçirimsizdir, aşınmaya ve atmosfer etkilerine dayanıklıdır. Basınç dayanımı oldukça basit bir deney ile kolaylıkla saptanabildiğinden betonun sınıflandırılmasında ve değerlendirilmesinde çok önemli bir yer tutar. Şantiyelerde üretilen, hammaddeleri heterojenlik gösteren bir malzeme olan beton zamanla mukavemet kazandığından saklama ortamının sıcaklığı ve rutubetinden etkilenir. Deney numunesinin şekli ve boyutları, deney yükleme hızı da basınç dayanımı üzerinde etkilidir. Beton basınç dayanımı, çapı 150 mm ve yüksekliği 300 mm olan standart deney silindirlerinin ya da 150 mm boyutlu küp numunelerin 28 gün sonunda, TS 3068' e uygun olarak denenmesi ile elde edilir. Beton kalitesinin kabulü için aşağıda verilen iki şartın birden sağlanması gerekir.

$$f_{cm} \geq f_{ck} + 1.0 \text{ MPa} \quad (2.2)$$

$$f_{c,min} \geq f_{ck} - 3.0 \text{ MPa} \quad (2.3)$$

Yukarıdaki ifadelerde f_{cm} , ortalama basınç dayanımını, $f_{c,min}$ ise grubun minimum basınç dayanımını ifade etmektedir. Betonun karakteristik basınç dayanımı f_{ck} (MPa) ise, 15/30 cm boyutlu silindir numunelerin %90'ının üzerinde kalması olası minimum mukavemet değeridir. Beton sınıfları ve dayanımları çizelge 2.6' da verilmiştir (Akman, 1992; TS 500).

Projede beton dayanımı belirlenirken, yapının inşaa edileceği bölgenin durumu da dikkate alınmalıdır. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelikte, deprem bölgelerinde yapılacak tüm betonarme binalarda C16' dan daha düşük dayanımlı beton kullanılamayacağı, birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde C20 veya daha yüksek dayanımlı beton kullanılmasının zorunlu olduğu belirtilmiştir.

Çizelge 2.6 Beton sınıfları ve dayanımları (TS 500)

Beton Sınıfı	Karakteristik Basınç Dayanımı f_{ck} , Mpa	Eşdeğer Küp (150 mm) Basınç Dayanımı Mpa	Karakteristik Eksenel Çekme Dayanımı f_{ctk} , MPa	28 Günlük Elastisite Modülü E_c , MPa
C16	16	20	1.4	27000
C18	18	22	1.5	27500
C20	20	25	1.6	28000
C25	25	30	1.8	30000
C30	30	37	1.9	32000
C35	35	45	2.1	33000
C40	40	50	2.2	34000
C45	45	55	2.3	36000
C50	50	60	2.5	37000

2.7.2 Çekme dayanımı

Beton, basınç dayanımının büyük olması nedeni ile yapılarda basınç gerilmelerine maruz bırakılır, çekme kuvvetleri, meydana geldikleri bölgelerdeki çelik donatılar tarafından karşılanır. Çeşitli nedenlerle, özellikle rötre nedeni ile çatlakların meydana gelmemesi için betonun çekme dayanımının belli bir değerden büyük olması gerekir. Betonun çekme dayanımı dolaylı ve dolaysız olmak üzere iki şekilde belirlenebilir. Dolaylı deneylerden birisi yarmada çekme deneyi diğeri ise eğilmede çekme deneyidir.

Yarma deneyinde, doğrultmanı üzerine yatırılmış, eksenini yatay düzlem içinde bulunan silindirik beton numunesi üzerine çizgisel yükleme yapılır. Böyle bir zorlamada silindirik numunenin basınç tablalarına değdiği doğrultulardan geçen düşey kesitte çekme gerilmeleri oluşur ve numune uygulanan kuvvetin artması ile belli bir yükte ortasından yarılır. Bu durumda betonun yarmada çekme dayanımı (2.4)' de verilen bağıntı yardımı ile bulunur.

$$f_{cs} = \frac{2xP_{cs}}{\pi x d x l} \quad (2.4)$$

Bu bağıntıda f_{cs} , yarmada çekme dayanımını (N/mm^2), P_{cs} , yarma yükünü (N), d, silindirik çapını (mm), l ise silindirik boyunu (mm) ifade etmektedir.

Çekme dayanımının bulunmasında uygulanan bir diğer dolaylı metot ise, prizma şeklindeki beton numunelerin eğilme deneyine tabi tutulmasıdır. Eğilme zorlaması sonunda meydana gelen çekme gerilmeleri uygulanan kuvvet ile artar, gerilmeler çekme mukavemetine eşit

olunca numune kırılır. Numunenin kırılmasına neden olan eğilme momenti M_k , prizmanın mukavemet momenti W ise, bu deney sonunda bulunan betonun eğilmede çekme dayanımı, f_{cf} , (2.5) bağıntısı ile hesaplanır.

$$f_{cf} = \frac{M_k}{W} \quad (2.5)$$

Dolaysız çekme deneyi ise kare veya dairesel kesitli beton numunelere eksenel kuvvet uygulanmak sureti ile yapılır. Bu deneyde, özel metal başlıkları beton prizmanın yüzeylerine özel yapıştırıcılar yardımı ile sabitlenerek yapılır. Eksenel bir P kuvvetinin uygulanması halinde numune eksenine dik kesitlerde P/A ’ya eşit çekme gerilmeleri oluşur. P kuvvetinin değeri arttırılarak çekme gerilmeleri gittikçe büyük değerler alır. Kuvvet bir P_k değerine ulaştığında numune ikiye ayrılarak kırılır. Bu durumda betonun çekme dayanımı, f_{ct} , P_k/A değerine eşit olur. Çekme mukavemetinin zamanla artışı uzun sürmez, 90 günde en son değerine ulaştığı kabul edilir.

Betonun karakteristik eksenel çekme dayanımı (f_{ctk} , N/mm^2), basınç dayanımına bağlı olarak (2.6) bağıntısından da hesaplanabilir. Betonun karakteristik eksenel çekme dayanımı, eksenel çekme deneyinden elde edilecek dayanımın, bu değerden az olma olasılığı %10 olan değerdir.

$$f_{ctk} = 0,35x\sqrt{f_{ck}} \quad (2.6)$$

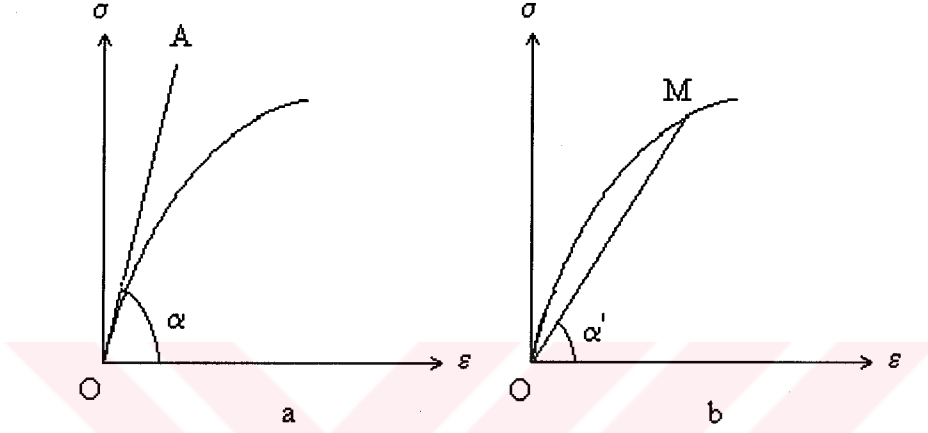
Çeşitli beton sınıfları için bu denklemden elde edilen eksenel çekme dayanımı değerleri çizelge 2.6’da verilmiştir. Eksenel çekme dayanımı, f_{ctk} , silindir yarma deneyinden elde edilen çekme dayanımını 1.5 ile, eğilme deneyinden elde edilen çekme dayanımını da 2.0 ile bölerek yaklaşık biçimde hesaplanabilir (Postacıoğlu, 1987; TS 500).

2.7.3 Elastisite modülü

Betonun elastisite modülünün bilinmesi, beton, betonarme ve öngerilmeli beton yapıların deformasyonlarının hesaplanmasında yarar sağlar. Betonda, elastisite modülü ile basınç dayanımı arasında bazı ilişkiler vardır. Betonun bünyesinde çimento hamuru gibi viskoz bir fazın bulunması bu malzemenin deformasyonunun asıl katı cisimlerin deformasyonundan farklı olmasına yol açmaktadır. Basınç deneyi ile elde edilen gerilme-deformasyon eğrisinde genel olarak başlangıçta bir doğru parçasının bulunmaması, betonlarda sekant modülü (E_{sk}),

başlangıç teğet modülü (E_t), dinamik elastisite modülü (E_d) gibi elastisite modüllerinin bulunmasına sebep olmaktadır.

Sekant modülü (E_s), gerilme-deformasyon eğrisinin herhangi bir M noktasının koordinat merkezini birleştiren OM doğrusunun eğimidir. Şekil 2.2.b' de görüldüğü gibi $E_s = \tan \alpha'$ ' dir. Bu modülün bilinmesi ile deformasyondan gerilmeye geçmek mümkündür, ancak E_s , gerilmenin değeri ile değişen bir büyüklüktür.



Şekil 2.2 Elastisite modülünün belirlenmesi

Başlangıç teğeti modülü (E_t), gerilme-deformasyon eğrisinin başlangıçtaki teğetinin eğimidir. Şekil 2.2.a' daki duruma göre $E_t = \tan \alpha$ ' dır. Bu karakteristik betonun maruz kaldığı gerilmeye bağlı değildir. Gerilmelerin, betonun basınç dayanımının 1/3'ünden küçük olması durumunda, başlangıçtaki teğetin gerilme-deformasyon eğrisi ile çakıştığını pratik bakımdan kabul etmek mümkündür. Bu durumda, beton için Hooke kanunu geçerli olur ve E_t , σ/ϵ oranı ile belirlenebilir.

Dinamik elastisite modülü (E_d), gerilme-deformasyon eğrisinin şekli ile ve uygulanan gerilme hızı ile birlikte değişmektedir. Yükleme hızı belirli bir değerin üstünde arttırılacak olursa, elde edilecek gerilme-deformasyon eğrileri başlangıçta aynı bir OA doğrusuna teğet kalırlar. Bu, E_t ' nin maksimum bir değere ulaşması anlamına gelir ve bu değere dinamik elastisite modülü adı verilir. Bir başka deyişle, gerilme-deformasyon eğrisinin türevinin $\epsilon = 0$ noktasındaki değeri dinamik elastisite modülünü verir. Dinamik elastisite modülü, bu metottan başka beton içinden geçen ultrases hızının (V , km/sn) ölçülmesi ile de bulunabilir. Ses dalgalarının meydana getirdiği şekil değiştirmelerin hareketi dikkate alınarak V ile E_d arasında teorik (2.7) bağıntısı kurulmuştur.

$$E_d = \frac{10^5 x V^2 x \beta}{g} \quad (2.7)$$

Bu ifadede V ses geçiş hızı, km/sn, β betonun birim ağırlığı, kg/dm³, g yerçekimi ivmesi, m/sn² cinsinden yerine konulduğunda, dinamik elastisite modülü E_d, kgf/cm² cinsinden elde edilir.

Normal ağırlıktaki betonlar için j günlük betonun elastisite modülü (E_{ej}, MPa), TS 500' de öngörölen aşağıdaki formölün uygulanması ile de bulunabilir.

$$E_{ej} = 3250x\sqrt{f_{ckj}} + 14000 \quad (2.8)$$

Bu denklemdeki f_{ckj} değeri, j günlük betonun karakteristik silindir basınç dayanımıdır (Postacıoğlu, 1981; 1987; TS500).

3. TAHRİBATSIZ DENEYLER

Yerinde beton dayanımının belirlenmesi tahribatsız deney yöntemleri kullanılarak da yapılabilir. Ancak bu yöntemlerin somut bir takım verilerle (örneğin karotlarla) desteklenmesi olası hataların önüne geçilmesi açısından oldukça önemlidir. Beton dayanımının belirlenmesinde yüzey sertliği, ultrasonik yöntem gibi tahribatsız deney yöntemleri ve birleşik yöntemler yaygın olarak kullanılır. Bu deney yöntemleri, kullanılan aletler ve değerlendirilmeleri aşağıda açıklanmıştır.

3.1 Beton Test Çekici

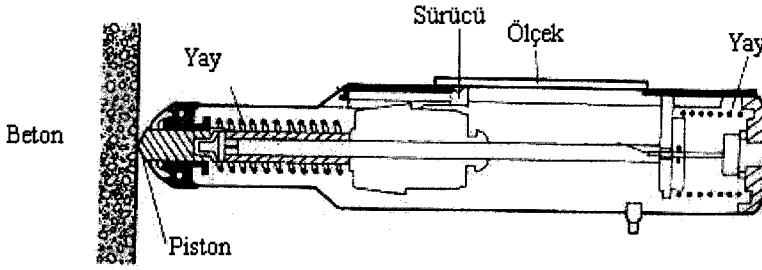
Beton test çekici, beton yüzeyinin sertliğini belirlemeye yarayan bir deney yöntemidir. Sertlik, malzeme yüzeyinin plastik şekil değiştirmeye karşı gösterdiği dirençtir. Cisimlerin sertliği, çekme ve basınç mukavemeti gibi belirli bir karakteristiği ifade etmez, ancak sertliğin bilinmesi aşağıda sıralanan yararları sağlar.

- Sertlik deneyi sonunda malzemenin kökeni hakkında bilgi edinilir, örneğin iki numunenin aynı malzemeye ait olup olmadığı anlaşılabilir.
- Cismin yüzeye yakın kısımlarının mekanik özellikleri, cismin genel özelliklerinden önemli derecede farklı olmasına rağmen, sertliğin bilinmesi ile malzemenin mekanik mukavemetlerinin değeri yaklaşık olarak tahmin edilebilir.
- Sertlik deneylerinin yapılması kolaydır, deney sonunda malzemenin tahrip olması söz konusu değildir. Bu deneyin elde taşınabilir aletlerle yapılması mümkündür. Böylelikle malzeme tahrip olmadan mekanik özellikleri hakkında bilgi sahibi olunabilir.

Cisimlerin sertliği çeşitli metotlar kullanılarak ölçülebilir. Bu metotlar, dayandıkları ilkelere göre üç gruba ayrılabilir. Bunlar, malzeme içine sert bir cismi kuvvet altında batırmak suretiyle yapılan sertlik deneyleri, malzeme yüzeyinin sert bir cisimle çizilmesi yolu ile yapılan sertlik deneyleri, bir bilyayı cismin üzerine düşürmek ve sıçratmak suretiyle yapılan sertlik deneyleridir (Postacıoğlu, 1981).

Betonda sertlik, schmidt çekici yöntemi veya iz yöntemi ile belirlenebilir. Schmidt çekici, 1948 yılında Ernst Schmidt isimli İsviçreli bir mühendisin sıçrama prensibine dayanarak geliştirdiği alete verilen isimdir (Carino, 1993). Schmidt çekici yöntemi, bir cismin yüzeyine çarpan elastik bir kütlenin geri sıçramasının, kütlenin çarptığı yüzeyin sertliğine bağlı olduğu

prensibine dayanmaktadır. Buna göre beton tarafından emilen enerji ile dayanım arasında bir ilişki kurulabilir, ancak beton test çekici ile belirlenen yüzey sertliği, yalnızca betonun yüzeyini temsil eder. BS 1881: Bölüm 202' ye göre, belirlenen yüzey sertliği değerleri betonun sadece 30 mm' lik derinliğinin bir göstergesidir, bu nedenle yüzey sertliğinden betonun basınç dayanımının tahmin edilmesi güvenilir değildir. Deneyde çekiç, şekil 3.1' de görüldüğü gibi beton yüzeyine, en üst sınırına kadar bastırılır, mandal serbest kalır ve yay, çekici betona doğru iter, yüzeyin tepkisi sonucu meydana gelen geri sıçrama uzaklığını sıçrama sayısı olarak kaydeder (Qasrawi, 2000; Ohtsu).



Şekil 3.1 Schmidt çekici (Neville, 1990)

Deney, test edilen bölgede agreganın ya da boşlukların bulunmasına duyarlı olduğundan her bölgeden en az 10-12 ölçüm alınması gereklidir. Betonun sertliği ile dayanımı arasında tek bir bağıntı yoktur, ancak belirli bir beton için deneysel ilişkiler kurulabilir. Sonuç olarak, Schmidt çekici deneyi yapıdaki bir betonun ya da benzer prekast elemanların üretiminde üniformluğun ve rölatif kalitenin ölçümü için kullanışlıdır, ancak tek başına bir kabul deneyi olarak kullanılamaz (Neville, 1990).

3.2 Ultrasonik Yöntem

İnsan kulağının işitebildiği ses titreşimi, 16-16000 Hz arasındadır. Frekansın 16000 Hz' in üzerinde olması durumunda ultrases dalgaları meydana gelir. Ultrases dalgaları, katı, sıvı ve gaz içinde belirli bir hız ile yayılır, boşlukta yayılamazlar. Malzemelerin kontrolünde kullanılan ultrases, 1880 yılında Curie' ler tarafından keşfedilen piezoelektrik olay sayesinde elde edilmektedir. Bu metodun aslı, bir kuvartz diskinin bir alternatif akım alanına yerleştirilmesidir. Kuvartz, piezoelektrik özelliği sayesinde alternatif akımın işareti ile birlikte sürekli ve periyodik olarak belirli yönlerde genişir ve büzülür, bu durumda mekanik bir titreşim yapar ve ultrases üretilir (Aköz, 2001).

Ultrases geçiş hızı yöntemi, ultrasonik dalgaların titreşim ile belirli uzunluktaki bir yolu alması için geçen sürenin ölçülmesini kapsayan bir gerilme dalgası yayılımı metodudur (Carino, 1993). Bu deneyler, 20000 Hz frekansın üzerinde ultrases dalgalar uygulanarak yapılır. Ultrases dalgaları piezo elektrik olayı esasına göre üretilir, bu olay aynı zamanda tersinirdir. Ultrases dalgaları herhangi bir ortamda boyuna dalgalar, enine dalgalar ve yüzey dalgaları olmak üzere 3 şekilde yayılır. Aletin frekansı ne kadar yüksek seçilirse hatalar o kadar küçük olur, ancak bu her zaman geçerli olmayabilir. Örneğin, heterojen yapılı dökme demirler küçük pütürlü ve gözenekli olduğu için, gönderilen ultrases dalgaları kolayca saçılabilir ve cihaz sinyal vermeyebilir. Yayınma hızı, malzemenin elastisite modülü (E) ile poison oranına (ν) ve yoğunluğuna (β) bağlıdır (Topuz, 1993). Yoğunluğun düşüklüğü ya da çatlakların varlığı ses geçiş süresinin uzamasına, dolayısı ile hızın azalmasına neden olacaktır. Deneyde sesin belirli uzunluktaki (L, km) beton elemanı kat etmesi için gereken süre (t, sn) ölçülür. Ses geçiş hızı (V, km/sn), (3.1) bağıntısı ile belirlenir.

$$V = \frac{L}{T} \quad (3.1)$$

Hızın hesaplanmasında ölçülen süreden, sıfır düzeltme süresinin çıkartılmasıyla belirlenen ses geçiş süresi (t, sn) esas alınır. Sıfır süre düzeltmesi, verici ve alıcı transducerlerin birbirleriyle sıkıca birleştirildikleri anda geçen süreye eşittir. Ultrases deneyinin prensibi, (3.2) bağıntısında verildiği gibi, katı bir madde içindeki ses hızının, (V), cismin elastisite modülünün (E), yoğunluğa (β), oranının karekökünün bir fonksiyonu olmasına dayanmaktadır, formüldeki g yerçekimi ivmesini ifade etmektedir.

$$V = f\left(\frac{gxE}{\beta}\right)^{1/2} \quad (3.2)$$

Bu bağıntı Poisson oranı bilindiği takdirde betonun dinamik elastisite modülünün belirlenmesinde, buradan da beton kalitesinin kontrol edilmesinde kullanılabilir.

$$E_d = \frac{\beta x V^2 x (1 + \nu)(1 - 2\nu)}{(1 - \nu)} \quad (3.3)$$

Bağıntıda E_d , dinamik elastisite modülünü (N/mm^2), ν , dinamik poisson oranını, β , yoğunluğu (kg/m^3), V ise ses geçiş hızını (km/sn) ifade etmektedir (BS 1881, 1986).

Ultrases geçiş hızı tekniği ASTM C 597-83 ve BS 1881: Part 203:1986' da açıklanmıştır. Bu yöntemin esas kullanım alanı benzer betonların kalite kontrolünü yapmaktır, ancak ses geçiş hızı basınç dayanımının genel bir göstergesi olarak kullanılamaz, çünkü, örnek olarak betondaki iri agreganın cinsi ve miktarı, hız ile dayanım arasındaki ilişkiyi oldukça etkilemektedir. İlişkiyi, betonun kalitesinden başka yaşı, nem içeriği ve sıcaklığı ile donatının varlığı, yönü, derinliği ve miktarı gibi faktörler de etkiler (Neville, 1990).

Betonda ultrases ölçümünde genellikle tabii frekansı 20 kHz ile 200 kHz arasında olan transducerlar kullanılır. Beton elemanın karşılıklı yüzlerine erişim olmadığı durumlarda ses hızı ölçümü aynı yüzeyde yapılabilir. Transducerlar elemanın aynı yüzeyine belirli bir mesafede yerleştirilir ve ölçüm yapılır, ancak bu şekilde yapılan okumaların doğruluğu azalmaktadır. Ultrases geçiş hızının aynı yüzeyde yapılması, sadece yüzey tabakasının özelliklerini temsil edecektir, derinlerdeki betonun dayanımı hakkında herhangi bir fikir vermeyecektir. Bu teknik, farklı malzemelerle ve farklı karışım oranları ile üretilmiş betonların dayanımının tahmininde kullanılamaz. Çizelge 3.1' de, yoğunluğu yaklaşık olarak 2400 kg/m^3 olan beton için ultrases geçiş hızına bağlı olarak kalite sınıfları verilmiştir.

Çizelge 3.1 Ultrases hızına bağlı olarak beton kalitesinin sınıflandırılması (Qasrawi, 2000)

Ultrases Geçiş Hızı (km/sn)	Beton Kalitesi
>4,5	Mkemmek
3,5-4,5	İyi
3,0-3,5	şüpheli
2,0-3,0	Zayıf
<2,0	ok Zayıf

Özetle, bir yapıda farklı noktalara ultrases deneyi uygulanarak beton kalitesindeki farklılıklar gözlemlenebilir. Ultrases geçiş hızı lmleri,

- Betonun niformluğunun kontrolü,
- Betonun içindeki çatlakların ve boşlukların belirlenmesi,
- Beton ve beton ürünlerinin kalitesinin benzer şekilde üretilen betonla kıyaslanarak kontrol edilmesi,
- Betonun durumunun ve oluşan bozulmaların belirlenmesi,
- Yüzey çatlaklarının derinliğinin belirlenmesi,
- Daha nceki bilgiler var ise dayanımın belirlenmesi

amacı ile yapılır. Yapıdaki betonun en önemli özelliği basınç dayanımı olduğundan, bazı deneysel çalışmalarda ölçülen hız ile dayanım ilişkilendirilmiş ve hız-dayanım eğrileri elde edilmiştir. Hızla ve kolaylıkla uygulanabilmesine karşın, ultrases deneyi sonuçları elemanın yüzey özelliklerine, çelik donatının varlığına, çatlak ve boşluklara, agrega özelliklerine, karışım oranlarına, ve benzeri pek çok faktöre duyarlı olduğu için basınç dayanımının belirlenmesinde tek başına yeterli değildir (Qasrawi, 2000; Neville, 1990).

3.3 Birleşik Yöntemler

Tahribatsız deneyler ile dayanım arasında yapılan korelasyonlar önemli bir sonucu ortaya çıkarmıştır. Bu çalışmalar, hiçbir deney metodunun tek başına kullanılarak betonun yerinde dayanımı üzerine olumlu ya da olumsuz kesin bir yargıya varılamayacağını göstermiştir. Bu amaçla birleşik yöntemler geliştirmek üzere iki veya daha fazla tahribatsız deney sonucunun beton dayanımının yaklaşık olarak belirlenmesinde kullanılması gerektiği ileri sürülmüştür. Bunun sebebi, sonuçların birlikte değerlendirilmesi ile çeşitli faktörlere bağlı olarak oluşan hataların azaltılmasıdır. Örneğin nem oranının artması, ultrases hızı okumalarını artırırken sertlik okumalarının düşmesine neden olmaktadır. Çeşitli seçenekler arasından ultrases ve yüzey sertlik okumalarının kombinasyonu en fazla dikkati çekmiş ve bu yöntem SONREB metodu olarak adlandırılmıştır. SONREB metodu, standart beton karışımı kullanarak bir korelasyonun sağlanması esasına dayanmaktadır. Bu yöntem, çizelge 3.2’ de görüldüğü gibi çoklu regresyon analizi kullanılarak, standart numunelerin basınç dayanımı (f_c), yüzey sertliğinin (R) ve ultrases geçiş hızının (V) bir fonksiyonu olarak ifade edilir. Basınç dayanımının tahminindeki hassasiyeti arttırmak için beton karışımı hakkında yeterli bilginin olması gereklidir. Karışım hakkında yeterli bilgi yoksa, bir düzeltme faktörü elde etmek amacı ile karot numune alınmalıdır (Carino, 1993).

Çizelge 3.2 Beton dayanımının tahmini amacı ile önerilen bağıntılar (Arıoğlu vd., 2000)

Araştırmacı	Regresyon Modeli	A	B	C	R
Wiebenga	$\text{Log}f_c = A + BR + CV$	0.132	0.0279	0.342	0.979
Bellander	$f_c = A + BR^3 + CV$	-25.568	0.000635	8.397	0.956
Meynink ve Samarin	$f_c = A + BR + CV^4$	-24.668	1.427	0.0294	0.948
Tanigawa et al, Ramyar ve Kol	$f_c = A + BR + CV$	-39.570	1.532	5.061	0.942
Yapı Merkezi	$\text{Log}f_c = A(\text{log}(R^3 V^4))^{1/2} + B$	3.077	-6.680	-	0.980
Arıoğlu ve Köylüoğlu, Tanigawa et al.	$f_c = AR^B V^C$	0.016	1.786	2.524	0.981
Arıoğlu ve Köylüoğlu	$f_c = A(R^3 V^4)^B$	0.00153	0.611	-	0.981

Çizelge 3.2' deki bağıntılarda, f_c , 15 cm boyutlu küp numunenin basınç dayanımını (N/mm^2); V , ultrases geçiş hızını (km/sn); R , yüzey sertliğini; A , B ve C , regresyon katsayılarını ifade etmektedir (Arioğlu vd., 2000).

3.4 Diğer Yöntemler

Bu yöntemlerden başka yapıda, beton dayanımını belirlemeyi amaçlayan pull-out, pull-off, break-off gibi kısmen tahribatlı deneyler de uygulanmaktadır.

Çekip çıkarma (pull-out) deneyi ASTM C 900-87' de açıklandığı gibi betonun içerisine önceden yerleştirilen bir başlığı çıkarmak için gerekli olan kuvvetin belirlenmesi ilkesine dayanmaktadır. Başlık çekildiğinde, kesik koni biçiminde bir beton numunesi de çıkarılır. Çekip çıkarma için gerekli kuvvet kesik koninin idealleştirilmiş alanına oranlanarak pull-out dayanımı belirlenir. Betonun kayma gerilmesine çok yakın olan bu dayanım, aynı zamanda betonun basınç dayanımı ile de iyi bir korelasyon göstermektedir.

Pull-off deneyinde çapı 50 mm olan metal bir disk, epoksi harcı kullanılarak beton yüzeyine yapıştırılır. Aderans sağlandıktan sonra diski beton yüzeyinden ayırmak için gerekli olan kuvvet belirlenir. Bu kuvvet disk alanına oranlanarak betonun çekme gerilmesi belirlenir.

Break-Off deneyinde, ASTM C 1150' de açıklandığı gibi silindirik bir karotun betondan koparılıp ayrılması için gerekli olan kuvvet ölçülür. Yerinde dayanımın belirlenmesinde basit, pratik ve ucuz bir yöntem olan bu deneyde yeni yapılarda karot oluşturmak üzere taze beton içine plastik bir kalıp yerleştirilir. Yerinde dayanım tahmin edileceği zaman plastik kalıp çıkartılır ve deliğe bir hidrolik yükleme aleti yerleştirilerek karotun üst noktasına betondan ayrılincaya kadar basınç uygulanır. Uygulanan kuvvetten dayanım belirlenir (Neville, 1990; Carino, 1993).

4. KAROT BASINÇ DAYANIMINA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Betonarme yapılarda, yerinde beton dayanımının belirlenebilmesi için tahribatsız deneylerin yapıldığı bölgelerden yeterli sayıda karot numune alınması gerekir. Karot numunelerin basınç dayanımına betonun yaşı, karot numunenin boyutu, narinliği, nemliliği, örselenmesi, içinde kesilmiş donatı bulunması, donatı miktarı, yeri, yönü, ve benzeri faktörler etkili olur. Tezin konusu olması nedeni ile bu faktörler aşağıda etraflıca incelenmiştir.

4.1 Nemliliğin Etkisi

Bir yapı, servis ömrü boyunca çok farklı hava şartlarına maruz kalır ve hiç bir zaman tam kuru veya tam ıslak olmaz, genelde bu ikisinin arasında kalır. Bu nedenle karotun kür koşulları, yapıdaki betonun basınç dayanımının belirlenmesinde önemlidir. Karot numunelerin nemliliği basınç dayanımını etkileyen önemli bir faktördür. Tamamen suya doymuş karotların dayanımları, kuru ortamda kür edilmiş karotların dayanımlarına kıyasla %10-15 daha düşük olmaktadır. Bu düşüşün sebebi, jel boşluklarından emilen suyun, beton numunesinde şişmeye neden olması şeklinde açıklanmaktadır. Basınç deneyinde, uygulanan kuvvetin artması ile emilen suyun numunenin dışına çıkması engellendiğinden, boşluklarda ilave hidrostatik basınç oluşur. Bu basınç, numunenin yüzeyindeki katı matris ile karşılanmalıdır, bu da enine çatlamalara neden olacaktır. Bundan dolayı nemli numunelerin basınç dayanımı, kuru durumdaki numunelere göre daha düşük değerler alacaktır (Yip ve Tam, 1988; Arıoğlu vd, 1998).

Karotların nem oranlarının değişik olmasından doğacak farklılıkların giderilmesi için bunların deneyden önce en az 40 saat su içinde bekletilmesi gerektiği ASTM' nin 1927 versiyonundan ortaya çıkmıştır. Testlerin üniform koşullarda yapılması açısından numunelerin 48 saat su içinde bekletilmesi ve hemen ardından basınç deneyinin yapılması gerekmektedir. Bloem ve Meininger, Wagner ve Hall, havada bekletilen karot numunelerin basınç dayanımının, suda bekletilenlere göre %10-%20 arasında daha büyük değerler aldığını belirtmektedir. Bu çalışmalara dayanılarak, ACI 3118-89' da, yapıdaki beton nemli ise karotların deneyden önce en az 40 saat su içinde tutulması gerektiği, BS 1881: Part 120: 1983 ise, karotların deneyden önce en az 48 saat boyunca suda bekletilmesi ve ıslak kırılması gerektiği belirtilmektedir. Aksi takdirde, karotlar deneyden önce sıcaklığı 16°C (60 F) ile 27°C (80 F), bağıl nemi %60' dan az olan ortamda 7 gün bekletilmelidir. Bu koşullar ASTM C 42-90' da da benimsenmiştir.

Benzer olarak, Concrete Society' nin beton karot deneyleri ile ilgili bir bildirisinde, karotların başlık yapıldıktan sonra deneyden önce en az 2 gün su içinde bekletilmesi tavsiye edilmektedir. Eğer yapıdaki beton ıslak ise, yerinde eşdeğer küp dayanımı, narinliği bir olan karotun basınç dayanımının 1.5 katı olarak alınır. Yapıdaki beton kuru ise yerinde eşdeğer küp dayanımı, karot basınç dayanımının 1.65 katı olarak alınır (Bartlett ve Macgregor, 1994).

4.2 Karot Narinliğinin Etkisi

Karot narinliği olarak tanımlanan yüksekliğin çapa oranı λ , basınç dayanımını etkileyen önemli faktörlerden biridir. Bu nedenle karot basınç deneyi sonuçlarının değerlendirilmesinde narinlik, bir düzeltme faktörü ile göz önünde tutulmalıdır. Karot basınç dayanımları, 15/30 cm boyutlu standart silindir cinsinden ifade edilecek ise karotların narinlik oranları iki' ye oldukça yakın alınmalıdır. Eğer karot dayanımları 150 mm' lik küp cinsinden ifade edilecek ise alınacak karotların narinliği bir olmalıdır (Arıoğlu vd, 1998). Karot narinliğinin bir'den farklı olması durumunda karotun alındığı yöne göre de değişen (4.1) bağıntısında verilen narinlik düzeltme faktörü kullanılarak hesap yapılabilir.

$$K_{\lambda} = \frac{2.5}{1.5 + \frac{1}{\lambda}} \quad (4.1)$$

Beton numunenin hacmine ve boyutlarına bağlı olarak geliştirilen (4.2) bağıntısı da narinlik düzeltilmesi için kullanılabilir. Bu bağıntıda f_c , basınç dayanımını, $f_{cu,150}$, 150 mm boyutlu küp numunenin basınç dayanımını, V , numunenin hacmini, h ve d ise sırası ile numunenin yüksekliğini ve çapını ifade etmektedir. Bu bağıntı kullanılarak silindir numunenin basınç dayanımı 15 cm' lik küp numune cinsinden ifade edilebilir (Neville, 1990).

$$\frac{f_c}{f_{cu,150}} = 0.56 + \frac{0.697}{\left(\frac{V}{6hd} + \frac{h}{d}\right)} \quad (4.2)$$

Belirli bir karot çapı için, ölçülen basınç dayanımı, numunenin boyuna bağlı olarak değişecektir. Bunun nedeni, yükleme sırasında deney numunesinin şeklinin gerilme dağılımına olan etkisidir. Narinliği bir'den büyük olan karotlarda dayanım, narinliğin artması ile düşecektir. Bu yüzden standart dayanımının belirlenmesinde, deneyden elde edilen dayanımın, farklı narinlik oranları için geliştirilmiş katsayılar ile düzeltilmesi gerekir. Çizelge

4.1' de bazı araştırmacıların çalışmaları sonucu, farklı narinlik oranları için elde ettikleri düzeltme faktörleri verilmektedir (Yip ve Tam, 1988).

Çizelge 4.1 Farklı narinlik oranları için dayanım düzeltme faktörleri

Kaynak	$\lambda=h/d$ oranları		
	1.0	1.5	2.0
Meininger, Wagner ve Hall	0.87	0.96	1.00
Kesler	0.84	1.01	1.00
Hofsoy	0.75	0.91	1.00
Lewandowski	0.81	0.92	1.00
Sangha ve Dhir	0.82	0.98	1.00
Bungey	0.79	0.89	1.00
Tam, Ooi ve Ooi	0.77	0.87	1.00
Yip	0.80	0.91	1.00
Ortalama Değerler	0.81	0.93	1.00
BS 1881:Part 120	0.80	0.92	1.00
ASTM C 42-84a	0.87	0.96	1.00

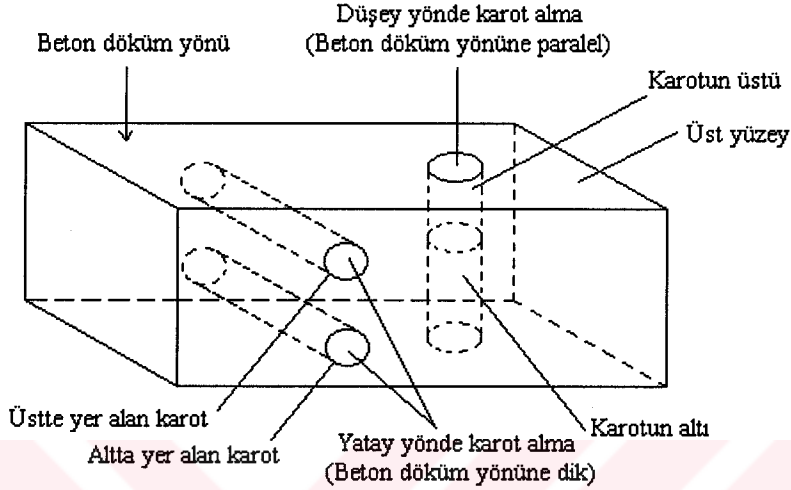
TS 10465' e göre basınç mukavemeti uygulanacak deney numuneleri silindir veya küp şeklinde olmalıdır. Yapı ve yapı bileşeninden basınç deneyine tabi tutulmak üzere çıkarılan deney numunesinin, kesme ve başlık yapma gibi gerekli düzeltme işlemi yapıldıktan sonraki yüksekliği, silindir şeklindeki karotlarda çapına, küp şeklindeki karotlarda ise kenar uzunluğuna eşit olmalıdır. Karot numunesinin çapı 100 mm veya 150 mm olmalıdır. Özel durumlarda, örneğin, narin yapı bileşenlerinde veya donatının sık olduğu yapı ve yapı bileşenlerinde daha küçük çaplı karotlar alınabilir, ancak en küçük çap 50 mm olmalıdır. Kesilerek alınan küp numunelerinin kenar uzunluğu 100 mm' den az olmamalıdır. Karot yüksekliğinin çapına eşit olması durumunda; karot çapı, d , 100 mm veya 150 mm ise $f_{küp,200} = f_{sil,100}$ veya $f_{sil,150}$ ' dir. Karot çapı 50 mm olan bir numune için $0,9f_{sil,50} = f_{küp,200}$ eşitliği geçerlidir (TS 10465, 1992).

4.3 Örselenme Etkisi

Karot alma işlemi sırasında kesilen agreganın çimento hamurundan ayrılma olasılığı çok yüksektir. Bu nedenle, elde edilen karotların basınç dayanımı, aynı narinlikte ve çaptaki yerinde dökülmüş silindir numunelerin basınç dayanımından daha düşük olacaktır. Basınç dayanımındaki bu düşüşün sebebi karot alırken oluşan örselenme etkisidir ve bir düzeltme faktörü ile dikkate alınmalıdır. Greig, 1998, Concrete Society, 1987 ve Bartlett, MacGregor, 1995 kaynaklarında örselenmeye ilişkin düzeltme değeri 1,06 olarak kabul edilmektedir (Arioğlu vd, 1998).

4.4 Karot Alım Yönünün Etkisi

Betonda döküm yönünden kaynaklanan herhangi bir heterojenlik, o betondan alınan karotların basınç dayanımlarını etkileyecektir. Şekil 4.1’ de gösterildiği gibi karotların beton döküm yönüne dik ya da paralel alınması, karot basınç dayanımı sonuçlarının bir takım farklılıklar göstermesine neden olacaktır.



Şekil 4.1: Karot alım yönleri (Yip ve Tam, 1988)

Karot alım yönünün basınç dayanımına etkisinin araştırılması amacı ile gerçekleştirilen deneysel çalışmaların sonuçlarına göre, yatay alınmış karotlar, düşey alınmış karotlara kıyasla narinlik oranı ve yaştan bağımsız olmak üzere %7-12 daha düşüktür. Bu oran Concrete Society 1987 kaynağında %8 olarak belirtilmiştir. Yip ve Tam’ ın beton dayanımının ufak çaplı karotlarla tahmini konulu çalışmalarında, yatay alınan karotlar düşey alınanlara göre, 50 mm çaplı karotlarda %8, 100 mm çaplı karotlarda ise %4 daha düşük dayanım göstermiştir (Yip ve Tam, 1988; Arıoğlu vd, 1998).

4.5 Donatı Etkisi

Alınan karotun içinde bulunan donatının basınç dayanımı üzerindeki etkisi bir düzeltme faktörü ile dikkate alınmalıdır. Genelde içinde donatı bulunan karotun basınç dayanımında beklenen azalma %10’ dan azdır. Örneğin, Bartlett-MacGregor’ a göre tek donatı ve çift donatı durumu için önerilen düzeltme faktörü sırası ile 1.08 ve 1.13 alınmalıdır. Concrete Society kaynağında donatı düzeltme faktörüne (K_{di}) ilişkin olarak (4.3) bağıntısı önerilmektedir.

$$K_{di} = 1,0 + 1,5x \frac{\sum(d_d x h_d)}{dxl} \quad (4.3)$$

Burada, K_{di} , donatı düzeltme faktörünü; d_d , donatı çapını; h_d , donatının karot üst tabanına olan uzaklığını; d , karot çapını ve l , karot yüksekliğini ifade etmektedir (Arnoğlu vd, 1998).

4.6 Diğer Faktörler

Yukarıda bahsedilen faktörlerden başka, alınan karotun yeri ve çapı da basınç dayanımı üzerinde etkilidir. Bir yapı elemanında, betonun kendi ağırlığı ile alt tarafta daha iyi sıkışmasından dolayı, en yüksek dayanım en altta, en düşük dayanım ise en üstte olmaktadır. Basınç dayanımı, üst bölgelerde alt bölgelere oranla %4-20 arasında daha düşük değerler almaktadır. Dayanımdaki bu düşüşte, üst tarafta yer alan betonun terlemeye daha fazla maruz kalması da etkilidir. Özellikle eğilme gerilmesine maruz kalan taşıyıcı sistemlerde çekme bölgesinden elverdiği ölçüde örnek alınmaması önerilmektedir. Zira o bölgede çekme gerilmelerinden kaynaklanan kılcal çatlaklar oluşmaktadır ve bu bölgeden alınan karot numuneler örselenme sonucu meydana gelen çatlakların yanı sıra bu tür çatlakları da içereceğinden, karot dayanımı yerindeki gerçek dayanımdan daha düşük sonuçlar verecektir. Eğer bir kiriş elemanının taşıma gücünün belirlenmesi amacı ile karot alınıyorsa kirişin üst bölgesinden alınması gerekmektedir.

Alınacak karot numunesinin çapı, betonda kullanılan iri agreganın maksimum dane çapının en az 3 misli büyüklükte olmalıdır. Buna göre karot çapı 100-150 mm olmalıdır. Donatının fazla olduğu bölgelerde veya narin yapı bileşenlerinde daha küçük çaplı karotlar alınabilir. Ancak en küçük çap 50 mm olmalıdır. Çizelge 4.2’ de iri agreganın maksimum dane çapına göre alınması gereken karot çapları verilmiştir. Çeşitli araştırmacılar tarafından karot çapına bağlı olarak önerilen düzeltme faktörü 50 mm, 100 mm ve 150 mm çaplı karotlar için sırası ile 1.06, 1.0 ve 0.98’ dir.

Çizelge 4.2: En büyük agreganın tane büyüklüğüne karşılık gelen karot bıçağı iç çapı

Maksimum agreganın tane büyüklüğü (mm)	Delici karot bıçağı iç çapı (mm)
63	150
32	100
16	50
8	50

5. DENEYSEL ÇALIŞMA

Yerinde beton basınç dayanımının belirlenmesi ve karot basınç dayanımına etki eden faktörlerin irdelenmesi amacı ile planlanan bu deneysel çalışmanın programı, numunenin üretimi, kürü, tahribatsız deneyler, karot alınması, karotların ve diğer numunelerin deneylerinin yapılması ve deney sonuçlarının değerlendirilmesi olarak özetlenebilir. Yapıda yerinde yapılan tahribatsız deneyler, elemandan karot alınması ve değerlendirilmesi işlemleri, yapıyı temsilen laboratuarda üretilen beton ve betonarme elemanlarda gerçekleştirilmiştir. Bu elemanlardan alınan karot numunelerin basınç dayanımına etki eden faktörler araştırılmış, yerinde basınç dayanımının belirlenmesi için bağıntılar elde edilmiştir. Bu bölümde numune üretiminde kullanılan malzemeler, numune üretimi ve kürü, elemanlarda ve numunelerde yapılan deneyler aşağıda etraflıca açıklanmıştır.

5.1 Numune Üretiminde Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

Numunelerin hazırlanmasında, özellikleri aşağıda verilen agregalar, çimento ve süperakışkanlaştırıcı katkı maddesi ile üretilen beton ve çelik numuneler kullanılmıştır.

5.1.1 Çimento

Beton üretiminde fiziksel ve kimyasal özellikleri çizelge 5.1’ de verilen, AkçanSA çimento fabrikasından temin edilen PÇ 42.5 çimentosu kullanılmıştır.

Çizelge 5.1 Üretimde kullanılan çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri

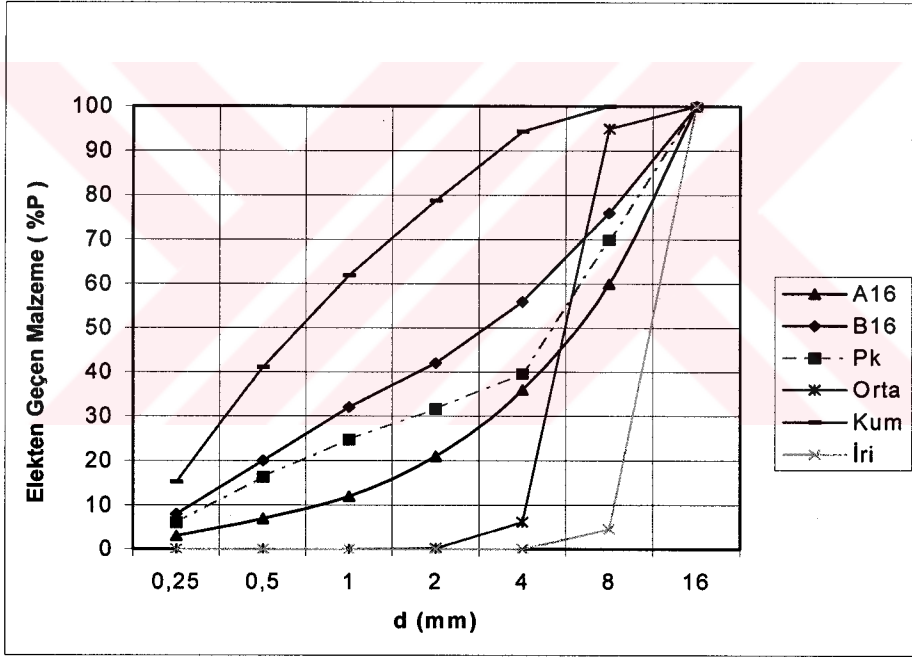
Kimyasal Analiz	Standartlar (%)	Analiz Sonuçları (%)	Fiziksel Deneyler		Standartlar	Deney Sonuçları
Çözünmez Kalıntı	Max 1,5	0,29	Özgül Ağırlık		-	3,12
SiO ₂	-	20,22	Birim Ağırlık		-	1,1
Al ₂ O ₃	-	5,36	Priz Başlangıç		1 saat	02:23
Fe ₂ O ₃	-	3,33	Priz Son		10 saat	03:06
CaO	-	64,39	Hacim Sabitliği		Max 10 mm	2
MgO	Max 5,0	1,04	Özgül Yüzey (cm ² /gr)		Min 2800	3470
SO ₃	Max 3,5	2,44	Basınç Deneyi			
K ₂ O	-	0,87				
Na ₂ O	-	0,21	Gün	Standart (min)	Deney Sonucu	
Cl ⁻	Max 0,1	0,0332	2	20 N/mm ²	24	
Kızdırma Kaybı	Max 4,0	1,60	7	31,5	41,7	
S. CaO		1,50	28	42,5	52,4	

5.1.2 Agregalar

Beton üretiminde fiziksel özellikleri ve karışım oranları çizelge 5.2’ de verilen Silivri Bölgesinden temin edilen, max dane çapı 16 mm olan kalker esaslı kırmataşlar ve max dane çapı 4 mm olan silis esaslı kum kullanılmıştır. Agregaların ve karışımın granülometri eğrileri Şekil 5.1’ de verilmiştir.

Çizelge 5.2 Agregaların fiziksel özellikleri ve karışım oranları

	İri Agrega	Orta Agrega	Kum
β (kg/dm ³)	1,39	1,34	1,6
γ (kg/dm ³)	2,89	2,86	2,63
k (%)	48,0	46,9	61,0
Karışım oranı	%30	%30	%40



Şekil 5.1 Beton üretiminde kullanılan agregalara ait granülometri eğrileri

5.1.3 Katkı maddesi

Pompalanabilir özellikte taze beton elde etmek amacı ile beton üretiminde piyasadan temin edilen, katı madde oranı % 39.3 olan sülfone sentetik polimer esaslı süperakışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır.

5.2 Beton Üretimi

Beton üretiminde çimento dozajı, su/çimento oranı, katkı maddesi oranı sabit tutulmuş, beton kalitesinin her üretimde aynı olması amaçlanmıştır. Beton üretiminde suyun çimentoya oranı, $w = 0.45$ olarak sabit tutulmuş, istenen 15 cm' lik çökme %1.5 oranında süperakışkanlaştırıcı katkı maddesi ile sağlanmıştır. 1 m³ taze beton için gerekli olan malzeme miktarları yapılan ön deney sonuçlarına göre belirlenmiş, gerçek malzeme miktarları çizelge 5.3' de verilmiştir.

Çizelge 5.3 1m³ taze beton için gerçek malzeme miktarları

Çimento (kg)	Su (kg)	Süper Akış. (kg)	Agregalar		
			İri (kg)	Orta (kg)	Kum (kg)
290,1	130,6	0,44	638,3	628,7	771,7

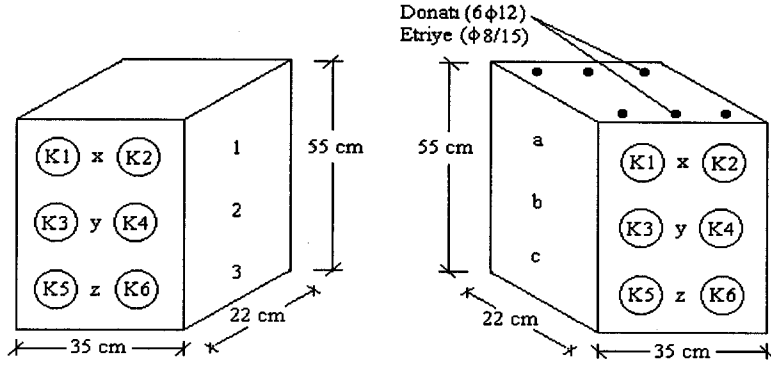
Beton üretimi, 50 lt kapasiteli, düşey eksenli, cebri karıştırıcılı betoniyerde gerçekleştirilmiş, beton üretimi sırasında belirlenen taze beton özellikleri çizelge 5.4' de verilmiştir.

Çizelge 5.4 Taze beton özellikleri

Taze Betonun Birim Ağırlığı (kg/m ³)	Slump (cm)	VeBe (sn)	Kompasite (%)	Hava Boşluğu (%)
2450-2550	14-17	2,5-4	82,7	4,3

5.3 Numune Üretimi

Yerinde beton dayanımının belirlenmesi ve elemanlardan alınan karot numunelerin basınç dayanımına etki eden faktörlerin araştırılması amacı ile gerçekleştirilen bu deneysel çalışmada, yapıdan karot alınan elemanları temsil etmek ve yerinde yapılan tahribatsız deneyleri uygulamak üzere 22x35x55 cm boyutlarında beton ve betonarme elemanlar üretilmiştir. Ayrıca betonun fiziksel ve mekanik özelliklerinin zaman içindeki değişimini incelemek ve alınan karot numunelerin özellikleri ile karşılaştırmak için 28., 56., 90. ve 180. günlerde yapılacak deneyler için 10/20 cm ve 15/30 cm boyutlu silindir ile 15 cm ve 20 cm boyutlu küp numuneler de üretilmiştir. Buna göre, her birinden 4' er adet olmak üzere şekil 5.2' de görülen toplam sekiz adet beton ve betonarme eleman, her birinden 12' şer adet olmak üzere toplam 48 adet küp ve silindir numune üretilmiştir. Bundan başka yarmada betonun çekme dayanımını belirlemek amacı ile 12 adet 10/20 cm boyutlu silindir numune üretilmiştir.



Şekil 5.2 Beton ve betonarme elemanlar üzerinde ölçüm yapılan noktalar

5.4 Numunelerin Kürü

Üretimden 24 saat sonra kalıptan çıkartılan silindir ve küp numuneler deneylerin yapılacağı güne kadar 20 ± 3 °C sıcaklıktaki kirece doymun su içinde, standart koşullarda saklanmış, betonarme ve beton elemanlar ise şantiye koşullarını temsil etmek üzere 7 gün süre ile sulanmış, daha sonra deneylerin yapılacağı ve karotların alınacağı güne kadar sıcaklığı 20 ± 5 °C, bağıl nemi 60 ± 15 olan laboratuvar ortamında bekletilmiştir.

5.5 Deneyler

Özellikleri 5.2' de verilen beton ile üretilen, 15/30, 20x20, 15x15 ve 10/20 cm boyutlu standart beton numunelerde ve 22x35x55 cm boyutlarındaki beton ve betonarme elemanlarda yapılan tahribatsız ve tahribatlı deneyler aşağıda sırası ile verilmiştir.

5.5.1 Beton numunelerde yapılan deneyler

Elemanlar ile aynı günde ve aynı beton ile üretilen standart boyutlu numuneler 24 saat sonra kalıptan çıkartılmış, deney gününe kadar 20 ± 3 °C sıcaklıktaki kür havuzunda bekletilmiştir. Bu numunelerde 28., 56., 90. ve 180. günlerde önce sırası ile ultrases, yüzey sertliği ölçümleri, sonra basınç deneyi yapılmıştır. Ultrases ölçümleri, frekansı 55 kHz olan alet ile her numunede problemler yer değiştirilerek 2 kez tekrarlanmıştır. Yüzey sertliği ölçümleri için numuneler, 3000 kN kapasiteli, yükleme hızı kontrollü basınç aletine yerleştirilmiş, daha önceden belirlenen sabit gerilme altında tutularak N tipi Schmidt çekici ile her numunede en

az 12 vuruş yapılarak yüzey sertlik değerleri (R) tespit edilmiştir. Ses geçiş hızı ve yüzey sertliği değerleri çizelge 6.1’ de verilmiştir.

Tek eksenli basınç deneyinde numuneler, çizelge 5.5’ de verilen yükleme hızı ile yüklenmiş, kırma yükleri (P_k , kN) belirlenmiştir. Üretilen betonun çekme dayanımının belirlenmesi amacı ile yapılan yarma deneyinde 10/20 cm boyutlu silindir numuneler, şekil 5.3’ te görüldüğü gibi aparatın içine yerleştirilmiş, deney 0.80 kN/sn’ lik yükleme hızı ile yapılmış, kırma yükü (P_k , kN) belirlenmiştir.



Şekil 5.3 Yarma deney düzeneği

Çizelge 5.5 Numune boyut ve biçimine bağlı olarak uygulanan yükleme hızları

Biçim	Boyut (cm)	Yükleme Hızı (kN/sn)
Silindir	10/20	2,40
	15/30	5,30
Küp	15	6,80
	20	12,00

5.5.2 Elemanlarda yapılan deneyler

Yapıdaki elemanı temsil etmek üzere hazırlanan donatılı ve donatısız elemanlarda 28., 56., 90. ve 180. günlerde sırasıyla yüzey sertliğinin ve ses geçiş hızının belirlendiği tahribatsız deneyler yapılmış, bu deneylerden sonra basınç dayanımının belirlenmesi için karot numuneler çıkarılmıştır.

5.5.2.1 Elemanlarda yapılan tahribatsız deneyler

Tahribatsız deneyler, elemanlar kuru durumda iken şekil 5.2’ de belirtilen bölgelerde uygulanmıştır. Yüzey sertliğinin belirlenmesi için N tipi Schmidt beton test çekici ile elemanlarda daha önceden belirlenen ve deneye hazırlanan bölgelerde 12’şer kez vuruş yapılmış, ortalama değerler çizelge 6.4 ve 6.5’ de verilmiştir. Ses geçiş süresinin (t , μs) belirlenmesi için frekansı 55 kHz olan PUNDİT tipi ultrases aleti kullanılmış, ölçümler, elemanda karşılıklı yüzeylerde doğrudan ve aynı yüzeyde dolaylı olmak üzere iki farklı şekilde yapılmış, her ölçüm, problemlerin yeri değiştirilmek sureti ile iki kez tekrarlanmıştır. Ölçüm uzaklığının (l , mm) ses geçiş süresine oranlanması ile belirlenen ses geçiş hızının (V , km/sn) ortalama değerleri çizelge 6.4 ve 6.5’ de verilmiştir.

5.5.2.2 Elemanlardan karot alınması ve deneylerinin yapılması

Tahribatsız deneylerin tamamlanmasından sonra aynı gün her elemandan 10 cm’ lik karot ucu ile 6’ şar adet karot numune alınmıştır. Donatısız elemandan alınan karot numunelerin 3’ ü havada 3’ ü suda bekletilmiş, su içeriğinin basınç dayanımına etkisi araştırılmıştır. Donatılı elemandan ise şekil 5.4’ te görüldüğü gibi 1 ve 2 adet donatı kesilecek şekilde 3’ er adet karot numune çıkarılmış, donatı sayısının ve yerinin basınç dayanımı üzerindeki etkisi incelenmiştir.



Şekil 5.4 Donatısız, 1 ve 2 donatılı karot numuneler

Karot numuneler elemandan çıkartıldıktan sonra iki ucu taş kesme aletinde kesilmiş, alçı-çimento karışımından hazırlanan hamur ile 5 mm’ yi geçmeyecek şekilde başlık yapılmış, başlıkların sertleşmesi için karot numuneler 24 saat laboratuvar ortamında bekletilmiştir. Bu numunelerde önce ultrases ölçümü yapılmış, sonra da basınç deneyinden önce numune yaklaşık 8 N/mm^2 ’ lik bir gerilme altında iken Schmidt çekici ile 12’ şer kez vuruş yapılarak yüzey sertliği deneyi yapılmıştır.

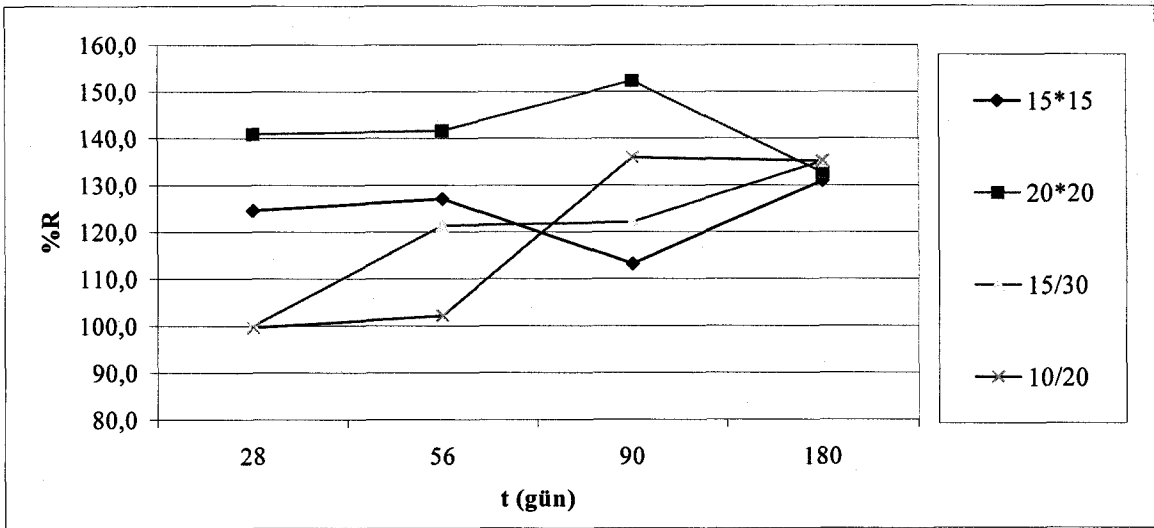
6. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

6.1 Beton Numunelerin Deney Sonuçları

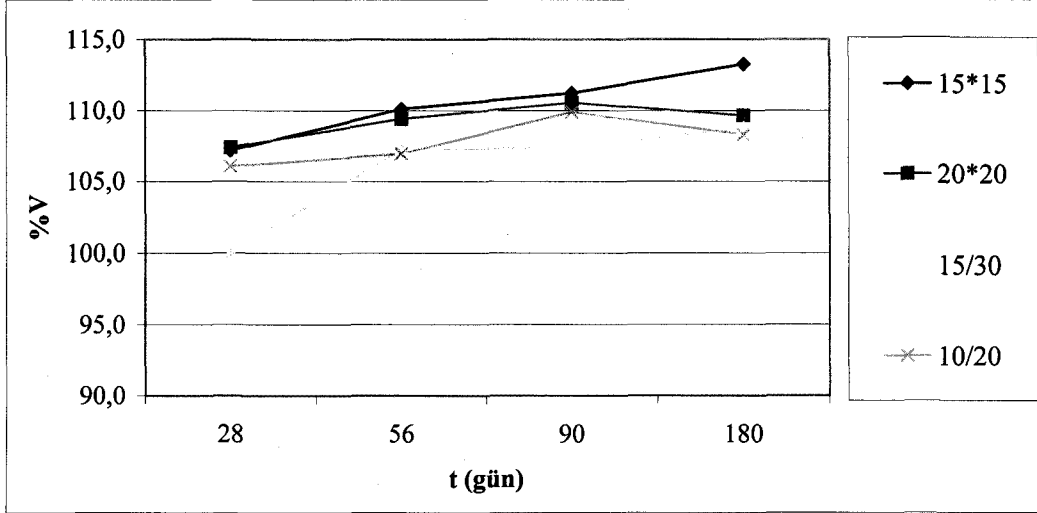
Beton numunelerde yapılan yüzey sertliği, ses geçiş hızı ve birim ağırlık gibi tahribatsız deney sonuçları ve ses geçiş hızı (V , km/sn) ile birim ağırlıktan (kg/dm^3) (3.3) bağıntısı ile hesaplanan dinamik elastisite modülü (E_d , N/mm^2) çizelge 6.1' de, tahribatlı deneylerden elde edilen basınç ve yarma dayanımı sonuçları çizelge 6.2' de verilmiştir.

Çizelge 6.1 Beton numunelere ait tahribatsız deney sonuçları

Boyut (cm)	t (gün)	R_{ort} (vuruş)	σ	Var	R_{max} (vuruş)	R_{min} (vuruş)	V_{ort} (km/sn)	β (kg/dm^3)	E_d (N/mm^2)
15*15*15	28	35,0	5,4	29	45	22	4,77	2,47	57216
	56	35,7	4,7	22	42	27	4,90	2,57	62879
	90	31,8	5,0	25	42	22	4,95	2,56	64017
	180	36,8	5,2	27	47	28	5,04	2,60	67297
20*20*20	28	39,6	3,7	13	45	29	4,78	2,55	59268
	56	39,8	5,6	31	49	32	4,87	2,49	60198
	90	42,8	3,3	11	47	35	4,92	2,57	63314
	180	37,3	4,8	23	48	31	4,88	2,49	60422
15/30	28	28,1	4,9	24	35	19	4,45	2,51	50695
	56	34,1	5,2	27	44	24	4,77	2,64	61303
	90	34,3	4,5	21	43	26	4,78	2,65	61995
	180	38,0	5,5	31	47	25	4,84	2,65	63254
10/20	28	28,0	4,1	17	34	20	4,72	2,55	57791
	56	28,7	2,8	8	36	24	4,76	2,56	59226
	90	38,2	4,0	16	44	28	4,89	2,61	63720
	180	38,0	3,1	10	44	33	4,82	2,61	61837



Şekil 6.1: Beton numunelerin yüzey sertliğinin bağlı değişimi



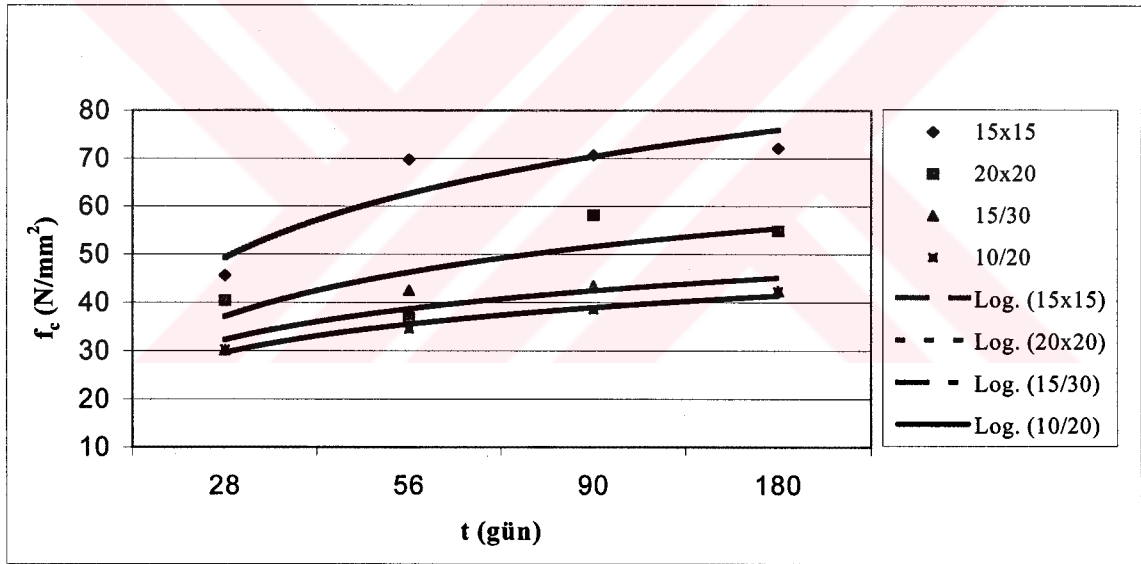
Şekil 6.2: Beton numunelerin ultrases geçiş hızlarının bağıl değişimi

Beton numunelerde 28., 56., 90. ve 180. günlerde yapılan schmidt çekici deney sonuçlarının istatistiksel değerlendirmesinden, ortalama yüzey sertliği R_{ort} , standart sapma σ , varyans Var, maksimum ve minimum yüzey sertliği R_{min} , R_{max} belirlenmiş, sonuçlar çizelge 6.1' de verilmiştir.

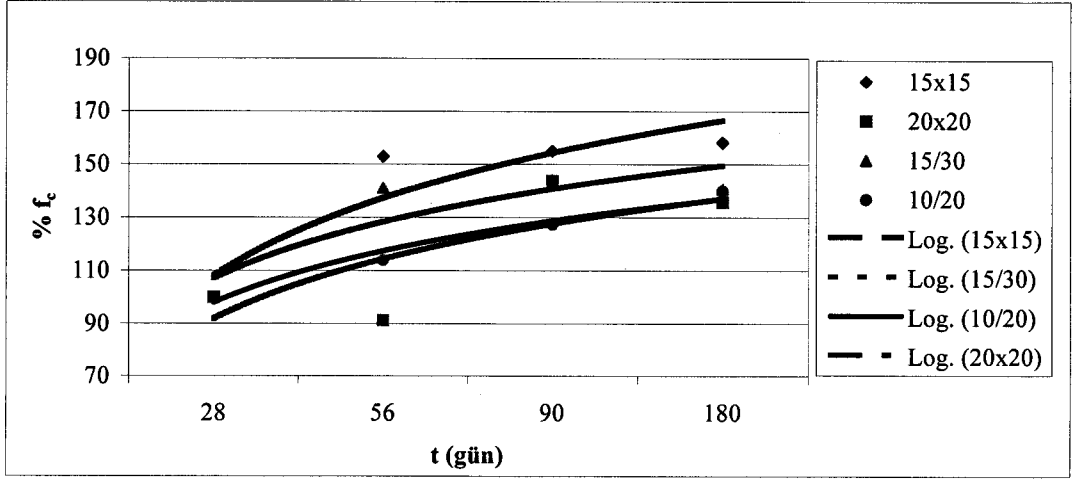
Yüzey sertliğinin ortalama değerlerinin 15/30 boyutlu silindirin 28. günündeki ortalama yüzey sertliğine oranlanması ile bağıl değerler belirlenmiş, bağıl değerlerin zamanla değişimi şekil 6.1' de verilmiştir. Şekil incelendiğinde, küp numunelerin 28. günündeki yüzey sertliği, 15/30 cm boyutlu silindir numuneden 20 cm boyutlu küpte yaklaşık % 40, 15 cm boyutlu küpte ise % 25 daha fazladır. Bu fark çekiç ucunun yüzeye teması ile açıklanabilir. Yüzey sertliği arada farklılıklar olsa da, silindirlerde daha fazla olmak üzere tüm gruplarda zamanla artış eğilimindedir. Tüm grupların yüzey sertliğinin 180. günündeki değeri birbirine yaklaşmıştır. Bu olay, karbonatlaşma derinliğinin schmidt çekicinin etkili olduğu 3 cm' lik derinliğe ulaşmış olması ile açıklanabilir. Yüzey sertliği, betonun yaşı ilerleyince numunenin geometrisinden daha az etkilenmektedir.

Çizelge 6.2 Beton numunelerde yapılan basınç ve yarma deneyi sonuçları

Boyut (cm)	t (gün)	f_c (N/mm ²)	f_{cs} (N/mm ²)
15*15*15	28	45,6	-
	56	69,8	
	90	70,7	
	180	72,2	
20*20*20	28	40,4	
	56	36,9	
	90	58,2	
	180	54,9	
15/30	28	30,2	
	56	42,6	
	90	43,5	
	180	42,4	
10/20	28	30,3	3,1
	56	34,5	3,3
	90	38,5	3,4
	180	42,3	3,4



Şekil 6.3 Beton numunelerin basınç dayanımının zamanla değişimi



Şekil 6.4 Beton numunelerin bağıl basınç dayanımının zamanla değişimi

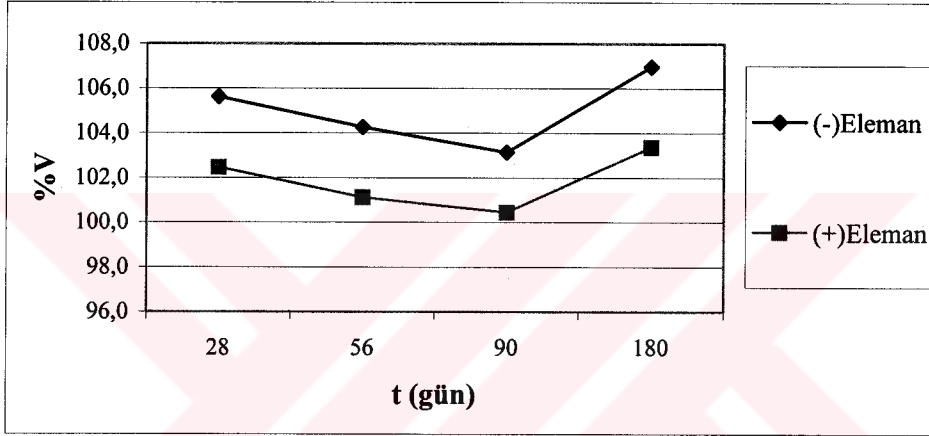
Farklı boyut ve biçimdeki 4 grup beton numunenin 28., 56., 90. ve 180. günlerde yapılan basınç deneyinin ortalama değerleri çizelge 6.2’ de verilmiştir. Basınç dayanımlarının 15/30 cm boyutlu silindir numunenin 28. gündeki ortalama dayanımına oranlanması ile bağıl değerler bulunmuş, bağıl değerlerin zamanla değişimi şekil 6.4’ te verilmiştir. Çizelgenin ve şeklin incelenmesinden basınç dayanımının tüm gruplarda arttığı gözlenmiştir. Küp numunelerin dayanımı, silindir numunelerin basınç dayanımından yüksektir. 15 cm boyutlu küp numunelerin 28. gündeki basınç dayanımı, beton sınıfının belirlendiği 15/30 cm boyutlu silindir numunenin basınç dayanımından 28. günde % 51, 56. günde % 64, 90. günde % 63 ve 180. günde % 70 daha fazladır. Numune alınmasında daha az betona gerek duyulması, kolay taşınması, kür havuzunda daha az yer tutması gibi nedenlerle tercih edilmesine rağmen, silindir numuneden daha fazla değer verdiği için 15 cm’ lik küp numunelerden alınan deney sonuçlarının sınıf dayanımını sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmelidir.

6.2 Donatılı ve Donatısız Elemanların Deney Sonuçları

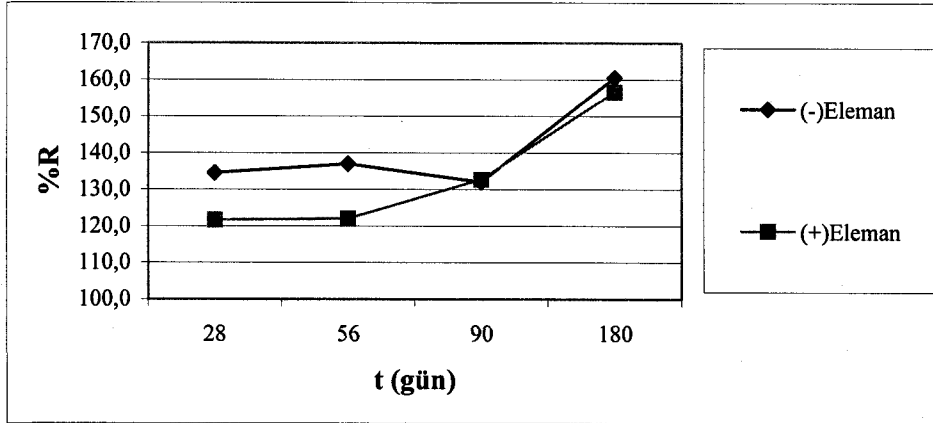
Yapıyı temsil etmek üzere üretilen donatılı ve donatısız elemanlarda tahribatsız deneyler uygulanmıştır. Bu deneylerden elde edilen sonuçlar çizelge 6.3’ te verilmiştir.

Çizelge 6.3 Donatısız ve donatılı elemanlarda yapılan tahribatsız deney sonuçları

Elemanın Yaşı	Donatısız Eleman			Donatılı Eleman		
	R _{ort}	V(km/sn)		R _{ort}	V(km/sn)	
		Doğrudan	Dolaylı		Doğrudan	Dolaylı
28	37,8	4,70	4,33	34,2	4,56	3,18
56	38,5	4,64	3,92	34,3	4,50	3,21
90	37,1	4,59	3,75	37,3	4,47	3,27
180	45,1	4,76	4,18	44,0	4,60	3,62



Şekil 6.5 Beton ve betonarme elemanların doğrudan ses geçiş hızlarının bağıl değişimi



Şekil 6.6 Beton ve betonarme elemanların yüzey sertliğinin bağıl değişimi

Yapıyı temsil etmek üzere hazırlanan elemanlarda yapılan schmidt çekici deneylerinden belirlenen ortalama yüzey sertliği değerleri 15/30 cm boyutlu silindirin 28. günündeki değerlerine oranlanarak bağıl değerleri belirlenmiş, zamana bağlı değişimi şekil 6.6' da

verilmiştir. Elemanda belirlenen yüzey sertliği değerleri standart numunelere göre yaklaşık % 25 daha fazladır. Bu da yapıdaki beton kalitesinin sadece beton test çekici ile belirlenemeyeceğinin açık bir göstergesidir.

Beton numunelerde yapılan karşılıklı ultrases ölçüm sonuçlarına göre küp numunelerin ultrases geçiş hızları silindir numunelerden yüksek çıkmıştır. Beton ve betonarme elemanların ses geçiş hızları ise beton numunelere göre daha düşük değerler almıştır. Ultrases geçiş hızını etkileyen en önemli faktör ölçüm yapılan noktalar arasındaki mesafedir. Transducerlar arasındaki mesafe arttıkça ses dalgalarının dağılma ya da boşluk veya kusurlara rastlama olasılığı arttığından ses geçiş hızlarında düşüş meydana gelmiştir. Betonarme elemanların ses geçiş hızı beton elemanlara göre daha düşük değerler vermiştir. Bunun sebebi, betonarme elemanlarda yerleştirmeden dolayı oluşan boşluklardır.

6.3 Donatısız Karotların Deney Sonuçları

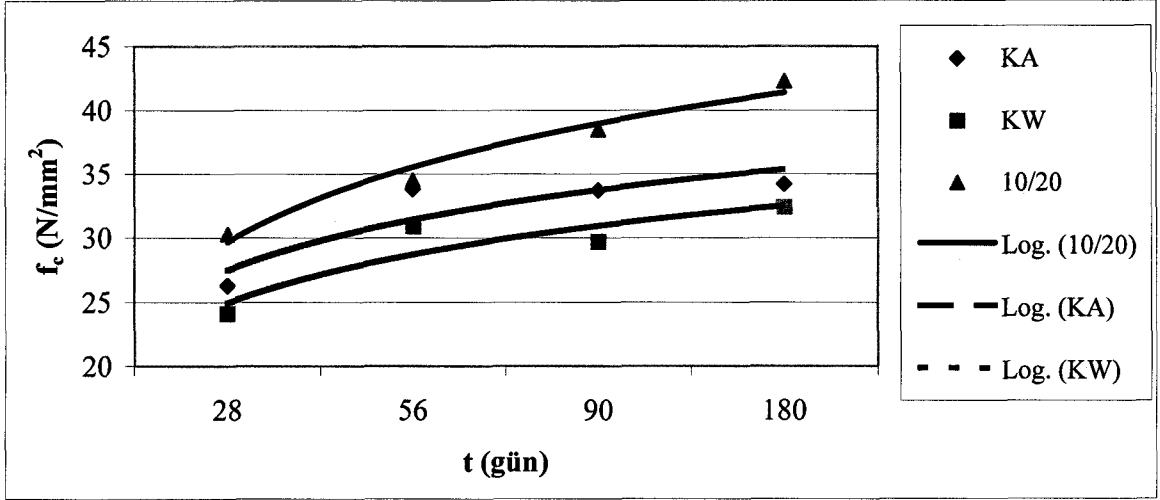
Donatısız elemanlardan alınan karot numuneler, başlık yapılarak deneye hazırlandıktan sonra havada ve suda olmak üzere iki farklı ortamda bekletilmiş, kür koşullarının basınç dayanımı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Karot boyutları, 10/20 cm boyutlu silindir numunelere uyduğundan deney sonuçları bu numunelerin değerleri ile karşılaştırılmış, elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir. Çizelge 6.4 ve 6.5' de KA, alındıktan sonra 3 gün boyunca havada bekletilen karotları, KW ise suda bekletilen karot numuneleri ifade etmektedir.

Çizelge 6.4 Donatısız karot numunelerin tahribatsız deney sonuçları

t (gün)	β (kg/dm ³)			R_{ort} (vuruş)			V (km/sn)			E_d (N/mm ²)		
	KA	KW	10/20	KA	KW	10/20	KA	KW	10/20	KA	KW	10/20
28	2,50	2,50	2,55	46,6	42,8	28,0	4,35	4,46	4,72	48222	50692	57791
56	2,48	2,52	2,56	46,5	42,8	28,7	4,64	4,67	4,76	54428	56023	59226
90	2,50	2,51	2,61	43,2	41,4	38,2	4,59	4,45	4,89	53690	50667	63720
180	2,50	2,54	2,61	47,3	44,0	38,0	4,69	4,75	4,82	56055	58419	61837

Çizelge 6.5 Karot numunelerde kür koşullarının basınç dayanımına etkisi

t (yaş)	Basınç dayanımı, f_c , N/mm ²		
	KA	KW	10/20
28	26,3	24,1	30,3
56	33,8	30,9	34,5
90	33,7	29,7	38,5
180	34,2	32,4	42,3



Şekil 6.7 Karot numunelerin basınç dayanımına örselenmenin ve kür koşullarının etkisi

Karot numunelerde basınç dayanımına etki eden faktörleri araştırmak üzere, donatısız (beton) elemandan 28., 56., 90. ve 180. günlerde karot numuneler alınmış, bunlar nemliliğin etkisinin araştırılması için başlık yapıldıktan sonra suda ve laboratuvar ortamında 3 gün (72 saat) süre ile bekletilmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlar çizelge 6.5' te verilmiştir. Şekil 6.7' nin incelenmesinden 10/20 boyutlu karot numunelerin basınç dayanımının zamanla değişiminin 10/20 cm boyutlu silindirin basınç dayanımı – zaman ilişkisine benzerlik gösterdiği gözlenmiştir. Havada bekletilen karot numunelerin basınç dayanımı, suda bekletilenlerden ortalama % 9 daha yüksek çıkmıştır. Bu değer Yip ve Tam' ın çalışmasında % 10-15, Bartlett – MacGregor kaynağında ise % 10-20 olarak belirlenmiştir.

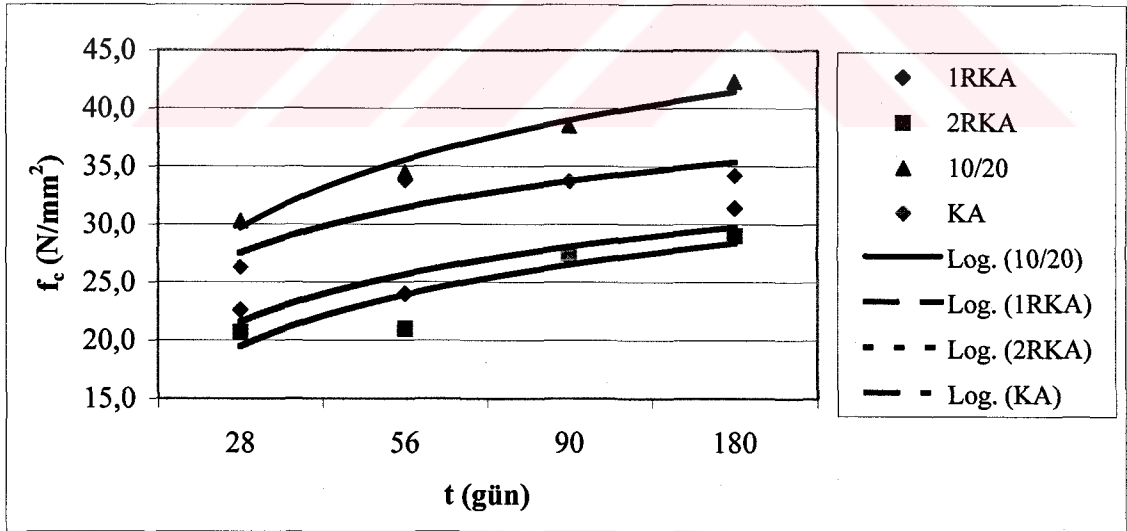
Şekil 6.7' de görüldüğü gibi 10/20 cm boyutlu silindir numunelerin basınç dayanımı karotların basınç dayanımından yüksektir. Alındıktan sonra 3 gün boyunca havada bekletilen grubun basınç dayanımı silindirinkinden ortalama % 15 daha düşüktür. Eleman gerçeği temsil etmek üzere 7 gün süre ile sulanmasına rağmen havada bekletildiği için, çimento hidratasyonundaki gelişmenin yavaşlamış olması nedeni ile basınç dayanımındaki artış hızı yavaşlamıştır. Bu sebeple karot numunelerin basınç dayanımındaki ortalama % 15' lik düşüşte sadece örselenme etkisi değil, hidratasyondaki yavaşlama etkisi de söz konusudur. Örselenme etkisinin tam olarak belirlenmesi için karotun alındığı elemanın ve silindir numunenin aynı koşullarda saklanması doğru olur. Arıoğlu kaynağında örselenmeden dolayı basınç dayanımında beklenen kayıp % 6 olarak verilmiştir.

6.4 Donatılı Karotların Deney Sonuçları

Karot numune alınırken istenmese de zaman zaman donatı kesilebilmektedir. Bu donatıların karot numunenin dayanımına etkisinin araştırıldığı numunelerde şekil 5.4' te gösterildiği gibi istemli olarak donatılar kesilmiştir. Donatılı elemanlardan karot numuneler 1 ve 2 donatı içerecek şekilde alınmış, 1 donatı içeren karotlar 1RKA, 2 donatılı karotlar 2RKA olarak adlandırılmış, bu numuneler havada bekletilmiştir. Donatının karot basınç dayanımı üzerindeki etkisi, havada bekletilen karot numunelerin ve 10/20 cm boyutlu silindir numunelerin deney sonuçları ile karşılaştırılmış, elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Çizelge 6.6 Donatılı karot numunelerin basınç dayanımının zamanla değişimi

T (yaş)	Basınç dayanımı, f_c , N/mm ²			
	1RKA	2RKA	KA	10/20
28	22,6	20,7	26,3	30,3
56	24,0	21,0	33,8	34,5
90	27,0	27,5	33,7	38,5
180	31,4	29,0	34,2	42,3



Şekil 6.8: Karot numunelerin basınç dayanımına donatı varlığının ve sayısının etkisi

Çizelge 6.7 Donatı yerinin ve sayısının karot numunelerin basınç dayanımına etkisi

t (gün)	Basınç dayanımı, f_c , N/mm ²				Bağıntıdan (*)		Deneylerden	
	10/20	KA	1RKA	2RKA	k_{d1}	k_{d2}	KA/1RKA	KA/2RKA
28	30,3	26,3	22,6	20,7	1,11	1,18	1,16	1,27
56	34,5	33,8	24,0	21,0	1,13	1,18	1,40	1,61
90	38,5	33,7	27,0	27,5	1,12	1,18	1,25	1,23
180	42,3	34,2	31,4	29,0	1,07	1,18	1,09	1,18
Ortalama					1,11	1,18	1,22	1,30

$$(*) \quad K_{di} = 1,0 + 1,5x \frac{\sum(d_d x h_d)}{dxl} \quad (6.1)$$

d_d , donatı çapı; h_d , donatının karot üst tabanına olan uzaklığı; d , karot çapı; l , karot yüksekliği.

Deneylerden elde edilen sonuçlar çizelge 6.6 ve 6.7 ile şekil 6.8’ de verilmiştir. Çizelgelerden ve şekilden elde edilen sonuçlara göre, donatılı karotların basınç dayanımı donatısız karotlara göre düşük değerler almıştır. Donatı sayısı arttıkça basınç dayanımındaki düşüş artmıştır. Buna göre 1 donatılı karotların basınç dayanımı donatısız karotlara göre ortalama %18, 2 donatılı karotların basınç dayanımı ise ortalama %23 daha düşük çıkmıştır. Donatı etkisi mevcut bir bağıntı ile kıyaslanmış sonuçlar çizelge 6.7’ de verilmiştir. Donatı etkisi, bir başka deyişle donatı faktörü, K_{do} , donatısız karotun (KA) basınç dayanımı, donatılı karotun basınç dayanımına oranlanarak ve (6.1) bağıntısından araştırılmış, elde edilen değerler çizelge 6.7’ de verilmiştir. Deneylerden elde edilen değerler, bağıntıdan elde edilenlerden ortalama %10 fazla çıkmıştır.

6.5 Tahribatlı ve Tahribatsız Deney Sonuçlarının Birlikte Değerlendirilmesi

Beton ve betonarme elemanlarda yapılan tahribatsız deney sonuçları ile karot numunelerde yapılan ultrases ve basınç deneylerinin birlikte değerlendirilmesi sonucunda aşağıda verilen (6.2) ve (6.3) bağıntıları geliştirilmiştir. Karot alınacak bölgelerde yapılan dolaylı ultrases ölçümleri (V_a) ile alındıktan sonra karotlarda yapılan ultrases ölçümleri (V_{karot}) arasında aşağıda verilen (6.2) bağıntısı geliştirilmiştir. Bu bağıntı yardımıyla karot alınan bölgede yapılan dolaylı ultrases ölçümleri doğrudan ölçümlere (V_k) dönüştürülmüş, (6.3) bağıntısında

bu değerler kullanılarak yerinde basınç dayanımları tahmin edilmiştir. Bu denklemlerin kullanımı ile ilgili bir örnek izelge 6.8’ de verilmiştir.

$$V_k = 3,21 + 0,338 \times V_a \quad r = 0,93 \quad (6.2)$$

$$\ln f_c = 1,061 + 0,0194 \times R_{\text{eleman}} + 0,0737 \times V_k^2 \quad r = 0,94 \quad (6.3)$$

Çizelge 6.8 Basınç dayanımının yerinde tahmini ile ilgili rnek

V_a (km/sn)	V_k (km/sn)	V_{karot} (km/sn)	R_{eleman} (vuruş)	$f_{c,\text{karot}}$ (N/mm ²)	$f_{c,\text{teo}}$ (N/mm ²)
3,90	4,53	4,56	35,8	26,01	26,22
4,35	4,68	4,68	42,9	33,55	33,37

Yerinde beton dayanımının tahmini amacı ile yapılan çalışma aşağıda kısaca özetlenmiştir.

- Elemanda yapılan ultrases ölçümü ile karotunun ultrases ölçümü arasında $V_k = 3,21 + 0,338 \times V_a$ bağıntısı geliştirilmiştir.
- Elemanda yapılan yüzey sertliği (R_{eleman}) lümü, ses geçiş hızı (V_k) ve karot dayanımı arasında $\ln f_c = 1,061 + 0,0194 \times R + 0,0737 \times V_k^2$ bağıntısı geliştirilmiştir.
- Elemanda yapılan lmler (R_{eleman} , V_a) bu bağıntılarda yerine koyularak teorik basınç dayanımı ($f_{c,\text{teo}}$, N/mm²) hesaplanmıştır.

7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

- Beton numunelerde yapılan schmidt deneyi sonuçlarına göre, 28. günde, **küp numunelerin yüzey sertliği silindir numunelerden daha yüksek çıkmıştır.** Ancak 180. günde bütün grupların yüzey sertliği değerleri birbirine yaklaşmıştır. Bu olay, karbonatlaşma derinliğinin schmidt çekicinin etkili olduğu 3 cm'lik derinliğe ulaşmış olması ile açıklanabilir. Elemanların yüzey sertliği değerleri ise birbirine yakın değerler almıştır. Dolayısı ile **donatı, yüzey sertliği okumalarını etkilememiştir.** Bunda, pas payının 5 cm olması etkili olmuştur. **Elemanların yüzey sertliği değerleri 180. günde standart numunelere oranla yaklaşık %25 daha yüksek değerler almıştır.** Bu da yapıdaki beton kalitesinin sadece beton test çekici ile belirlenemeyeceğinin açık bir göstergesidir.
- Beton numunelerde ve elemanlarda yapılan doğrudan ultrases ölçümlerine göre küp numunelerin ses geçiş hızı silindir numunelerden daha yüksek çıkmıştır. **Donatılı elemanların ses geçiş hızı ise donatısızlara göre daha düşük değerler almıştır.** Bunda **donatı çevresinde betonun iyi yerleşmemesinden dolayı oluşan boşluklar rol oynamıştır.** Elemanların ses geçiş hızları 180. günde diğer grupların altında kalmıştır.
- Beton numunelerin basınç dayanımları bütün gruplarda zamanla artış göstermiştir. **Küp numunelerin basınç dayanımı silindir numunelerden yüksek değerler almıştır.** 15 cm boyutlu küp numunelerin basınç dayanımı 15/30 cm boyutlu silindir numunelerin basınç dayanımından 28. günde %51, 56. günde %64, 90. günde %63 ve 180. günde %70 olmak üzere ortalama %62 daha fazla çıkmıştır. 10/20 cm'lik silindirin basınç dayanımı ise 15/30 cm'lik silindirin dayanımına oldukça yakın çıkmıştır. **Pratikte 10/20 cm boyutlu silindirlerin basınç dayanımı 15/30 cm boyutlu silindirlere eşit alınabilir.**
- Nemliliğin karot basınç dayanımı üzerindeki etkisinin belirlenmesi amacı ile yapılan deney sonuçlarına göre alındıktan ve başlık yapıldıktan sonra 3 gün boyunca havada bekletilen karot numunelerin basınç dayanımı suda bekletilen ve nemli halde iken basınç deneyi uygulanan gruba oranla ortalama %9 fazla çıkmıştır. **Nemlilik karot basınç dayanımında düşüşe neden olmuştur.** Yerinde beton basınç dayanımının belirlenmesinde bu faktör dikkate alınmalıdır.

- Örselenmenin karot basınç dayanımı üzerindeki etkisinin araştırılması amacı ile yerinde dökülen 10/20 cm boyutlu silindir numunelerin basınç dayanımı havada bekletilen KA grubunun basınç dayanımı ile kıyaslanmıştır. Buna göre **karot numunelerin basınç dayanımı silindir numunelere göre ortalama %12 daha düşük** çıkmıştır. Ancak bu düşüş yalnız örselenmeden değil, iki grubun kürünün farklılığından da kaynaklanmaktadır. Bu etkinin daha doğru belirlenmesi için karot alınacak elemanın ve standart numunelerin kürünün aynı şartlarda yapılması gerekir.
- Donatı etkisinin karot basınç dayanımına etkisinin belirlenmesi amacı ile yapıyı temsilen üretilen betonarme elemanlardan 1 ve 2 donatı içeren karot numune alınmış, bu karotların basınç deneyi sonuçları kendi aralarında ve donatısız KA grubu ile kıyaslanarak donatı etkisi belirlenmiş, sonuçlar bu konuda geliştirilen bir bağıntı ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre **karot numunede 1 donatının bulunması basınç dayanımını ortalama %18, 2 donatının bulunması ortalama %23 azaltmıştır. 1 Donatılı karotlar için düzeltme faktörü 1.22, 2 donatılı karotlar için 1.30** olarak belirlenmiştir. 180. günlük karotların donatı düzeltme faktörlerinin teorik sonuçlara oldukça yaklaşması bu bağıntının yaşlı betonlarda uygulanmasının daha doğru olabileceğini göstermiştir.
- Yapıyı temsilen üretilen elemanlarda yapılan tahribatsız deneyler ile bu elemanlardan alınan karotlar arasında **basınç dayanımının yerinde tahmini için korelasyonu yüksek bağıntılar** geliştirilmiştir. **Bu bağıntılar kullanılarak yapıdaki basınç dayanımının tahmin edilebilmesi mümkündür.** Bu çalışma tamamen laboratuvar ortamında ve kontrollü bir şekilde yapıldığından güvenilir sonuçlar elde edilebilmiştir. **Bu işlemler yapıda uygulanırken oldukça dikkatli davranılmalıdır.**

KAYNAKLAR

- THBB, (1999), Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, İstanbul.
- Akman, S., (1990), Yapı Malzemeleri, İTÜ Matbaası, İstanbul.
- Akman, M.S., (1992), Deniz Yapılarında Beton Teknolojisi, İTÜ Matbaası, İstanbul.
- Akman, S., (1994), Beton Teknolojisine Giriş, Adım Yayıncılık, İstanbul.
- Akman, M.S., (1996), “Kimyasal Katkıların Betona Uygulanması”, 4. Ulusal Beton Kongresi, 30-31 Ekim-1 Kasım 1996, İstanbul.
- Aküz, F., (2001), “Tahribatsız Deney Yöntemleri ve Yapılarda Uygulanması”, Yapı Malzemesi ve Deprem Semineri, 14-15-16 Mart 2001, İstanbul.
- Arıoğlu, E. ve Arıoğlu, N., (1998), Üst ve Alt Yapılarda Beton Karot Deneyleri ve Değerlendirilmesi, Evrim Yayınevi, İstanbul.
- Arıoğlu, E., Arıoğlu, N. ve Girgin, C., (2000), “A Discussion of the Paper Concrete Strength by Combined Nondestructive Methods Simply and Reliably Predicted”, Cement and Concrete Research, 31: 1239-1240.
- ASTM C 597-71, American Society for Testing and Materials, Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete.
- Bartlett, F.M. ve Macgregor, J.G. (1994), “Effect of Moisture Condition on Concrete Core Strengths”, ACI Materials Journal, 91 (3): 227-236.
- BS 1881 (1986), Part 203
- Carino, N.J. (1993), “Nondestructive Testing of Concrete: History and Challenges”, V. Mohan Malhotra Symposium.
- Erdoğan, Ş., (2001), “Mühendis Gözüyle Beton”, Hazır Beton, Cilt (48):44-49.
- Kocataşkın, F., (1991), “Betonun Dünü, Bugünü, Yarını”, 2. Ulusal Beton Kongresi, 27-30 Mayıs 1991, İstanbul.
- Neville, A.M., (1990), Properties of Concrete, Third Edition, Longman Scientific and Technical, New York.
- Ohtsu, M., “New Trends in Non-Destructive and In-Place Testing of Concrete Structures”
- Özkul, H., Taşdemir, M.A., Tokyay, M., Uyan, M., (1999), Her Yönüyle Beton, THBB, İstanbul.
- Öztekin, E., (1989), “Türkiye’de Beton Kalitesinin ve Denetiminin Mevcut Durumu”, 1. Ulusal Beton Kongresi, 24-26 Mayıs 1989, İstanbul.
- Postacıoğlu, B., (1981), Cisimlerin Yapısı ve Özellikleri, Cilt 1, Teknik Üniversite Matbaası, İstanbul.

Postacıoğlu, B., (1986), Beton, Cilt 1, Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul.

Postacıoğlu, B., (1987), Beton, Cilt 2, Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul.

Qasrawi, H.Y., (2000), "Concrete Strength by Combined Nondestructive Methods Simply and Reliably Predicted", Cement and Concrete Research, 30: 739-746.

Tankut, T. ve Ersoy, E., (1989), "Beton Dayanımının Yapı Güvenliğine Etkisi", 1. Ulusal Beton Kongresi, 24-26 Mayıs 1989, İstanbul.

Topuz, A., (1993), Tahribatsız Muayeneler, Yıldız Teknik Üniversitesi Yayınları, İstanbul.

TS 500, (2000), Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları.

TS 10465, (1992), Beton Deney Metotları, Yapı ve Yapı Bileşenlerinde Sertleşmiş Betondan Numune Alınması ve Basınç Mukavemetinin Tayini.

TS 11222, (1994), Hazır Beton.

TS 2871, (1977), Taze Beton Kıvam Deneyi.

Yip, W.K. ve Tam, C.T. (1988), "Concrete Strength Evaluation Through the Use of Small Diameter Cores", Magazine of Concrete Research, 40 (143): 99-105.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	27.10.1975	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1987-1994	Özel Tercüman Lisesi
Lisans	1994-1999	Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1999-2002	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Yapı Programı
Çalıştığı kurum(lar)		
	1999-2000	İnger İnşaat
	2000-Devam ediyor	YTÜ İnşaat Fakültesi Yapı Malzemeleri Anabilim Dalı Araştırma Görevlisi

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ