

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İSTANBUL BİNALARINDA KAROT YARDIMIYLA
BETON NİTELİK DENETİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Bureu AKÇAY

96828

Anabilim Dalı: İnşaat
Danışman: Prof. Dr. Yusuf Hatay ÖNEN

TC YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
BÜYÜK MANTARCIYI

HAZİRAN 2000

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İSTANBUL BİNALARINDA KAROT YARDIMIYLA
BETON NİTELİK DENETİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Burcu AKÇAY

96828

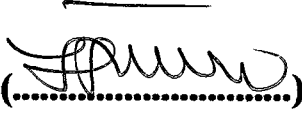
Tezin Enstitüye Verildiği Tarih :22 Haziran 2000
Tezin Savunulduğu Tarih :19 Temmuz 2000

Tez Danışmanı

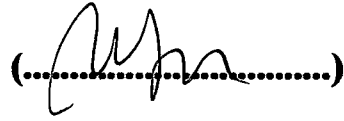
Üye

Üye

Prof.Dr.Y. Hatay ÖNEN Prof.Dr.Resmi YILDIZ Prof.Dr.Muzaffer ELMAS

()

()

()

**TC. YÜKSEKÖĞRETİM KURUMU
DOKÜMANTASYON BİLGİSAYAR**

HAZİRAN 2000

İSTANBUL BİNALARINDA KAROT YARDIMIYLA BETON NİTELİK DENETİMİ

Burcu AKÇAY

Anahtar Kelimeler: Beton Karotları, Yerinde Deneyler, Beton Kalitesi, İstanbul Binaları.

Özet: Ağustos 1999 Gölçük depreminde önemli ölçülerde can ve mal kaybına neden olan betonarme yapılardaki hasar sonrası, birinci dereceden deprem bölgesi olan İstanbul İli ve çevresindeki yapılarda beton dayanımının belirlenmesine gerek duyulmuştur. Bu amaçla, İMO İstanbul Şubesi Beton Araştırma ve Geliştirme Laboratuvarından, yapım zamanı, kat sayısı beton kaynağı ve projedeki beton sınıfı bilinen 511 binadan alınan karotlar üzerinde basınç deneyleri uygulanmıştır.

Yapılan istatistik değerlendirmeler, 511 binadan alınan karotların 1,88 ile 52,00 N/mm² arasında değişen eşdeğer küp karakteristik basınç dayanımlarına sahip olduğunu göstermektedir. Bu dayanımların ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 16,54 N/mm² ve 8,314 olarak bulunmuştur.

İstatistik sonuçların beton kaynağı (yerinde dökme, santral ve hazır beton) ve sınıfına (BS14, BS16, BS18, BS20, BS25, BS30) göre yapılan değerlendirmeler, yerinde dökme betonun BS18 beton dayanım koşullarını sağlayamadığını göstermektedir.

Karotların basınç dayanım deney sonuçlarının ortalama değerlere göre hesaplandığında yerinde dökme betonun %77'si, karakteristik dayanımlara göre hesaplandığında ise %91'i BS14 beton sınıfının basınç dayanımının altında kalmıştır.

Tahribatlı metot olarak bilinen karot alımıyla yerinde beton dayanımının tayininin yapı elemanına verdiği zarar düzeyinin belirlenmesi için yapılan deneysel çalışmada farklı üç dayanımda referans, karot alınmış ve karot deliği rötresiz tamir harcıyla doldurulmuş küp numunelere basınç deneyi uygulanmıştır. Bunun sonucunda, betonda gerekli dayanımın elde edilebilmesi için karot deliklerinin doldurulması gerektiği görülmüştür. Ayrıca, karot deliklerinin, rötresiz tamir betonuyla doldurulması ile, düşük dayanımlı betonlarda %100 ve yüksek dayanımlı betonlarda %93 lük basınç dayanımı elde edildiği bulunmuştur.

TESTING FOR CONCRETE QUALITY IN İSTANBUL BUILDINGS BY CORE SAMPLES

Burcu AKÇAY

Keywords: Concrete Cores, In-situ Tests, Concrete Quality, İstanbul Buildings.

Abstract: The most devastating cause of the August 1999 Gölcük earthquake was obviously the measure of damage occurred in reinforced concrete structures. An attempt has, therefore, been made to document the strength and quality of concrete material used to built the various types of buildings (including houses, governmental and industrial buildings) around the city of Istanbul, located in the first-degree dangerous area for a potential earthquake risk. In this respect, the concrete core samples, collected by the research and development laboratories of the Istanbul branch of Chamber of Civil Engineers, have been tested for their compressive strength. Sample collection applied to a total of 551 buildings, of which the construction details such as the dates for construction, number of storeys, the source and class of the concrete material are known.

As a result of the statistical analyses of the collected data, it has been found that the tested core samples from 511 buildings have equivalent cube characteristics of between 1.88 and 52.00 N/mm². The mean and standard deviation of these characteristic strength values have been found to be 16.54 N/mm² and 8.314 respectively. The statistical results calculated using the source (e.g., cast in place and ready mixed) and class (e.g., C14, C16, C18, C20, C25 and C30) of concrete material indicate that the cast in place concrete is, in general, quite far away from meeting the strength quality of C18 concrete.

The results gathered using the mean values show that approximately 77% of cast in place concrete is below the quality required for C14 concrete. This ratio increases to be about 91% when the equivalent cube characteristics are considered.

In addition to the statistical analyses, another analyses method, known as 'the destructive method' applied to examine the destruction formed in the members of structures by core sampling. For this purpose, compressive strength of three different types of concrete cube samples (with and without core sampled and filled samples) has been determined. As a result, it has been shown that it was necessary to fill the cored holes to receive the level of quality required. It has also been documented that filling the holes with a non-shrink repairing mixture gives a strength of about 100% of the original strength of low quality concrete and a strength of 93% of the original strength of high quality concrete.

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Betonarme yapıların deprem güvenilirliğini belirleyen temel unsurlardan biri olan beton kalitesinden bilinçli veya bilinçsiz verilen ödünler, yıkımlarda ve hasarlarda önemli rol oynamıştır. Mühendislik hizmeti görmeden, hacim ölçekli, elle veya betonyerle dökülen betonlar, ulusal denetim mekanizmasından yoksun hazır beton ve taahhüt kuruluşlarının beton santralleri, şantiyelerdeki bilinçsiz ve bilgisiz kullanıcılar, beton döküm, yerleştirme-sıkıştırma ve bakım işlerindeki itinasızlık mevcut binalardaki beton dayanımları hakkında kuşkular uyandırmaktadır.

Çimento üretiminde 1998 yılında Avrupa birincisi, dünya yedincisi olan, yurtdışında kalitesi ve aldığı büyük projelerle adını duyuran saygın müteahhitlik-mühendislik kuruluşları ülkemizin en büyük ili İstanbul'da çeşitli 511 binadan alınan beton karotların basınç dayanımlarının istatistiki olarak incelemelerini kapsayan bu tezin, beton kalitesiyle ilgilenen tüm kurum ve kişilere yararlı olmasını dilerim.

Bana mühendisliği öğreten tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Yusuf Hatay ÖNEN'e katkıları için, bu konuda çalışma olanağı veren ve beni tüm çalışmalarımda yönlendiren ikinci tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Erbil ÖZTEKİN'e emeği, paylaşmış olduğu zamanı ve sabrı için, deneysel çalışmaları yürüttüğümüz YKS Yapkim A.Ş.'ye yardımları için, yapmış oldukları çalışmaları paylaşan İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi Beton Araştırma ve Geliştirme Labortuarı yöneticisi Sayın Abdülselam SUVAKÇI ve tüm çalışanlarına özverileri için, bilimsel yanından ve fikirlerinden yararlandığım Sayın Yard. Doç. Dr. Ercan ALDANMAZ'a desteği ve sabrı için ve vermiş oldukları moral desteği için aileme teşekkürlerimi sunmak benim için zevkli bir görev olmuştur.

Burcu AKÇAY

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER DİZİNİ ve KISALTMALAR.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi
TABLolar LİSTESİ.....	xiv
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2. BETON DAYANIMININ YERİNDE TAYİNİNDE TAHRİBATSIZ YÖNTEMLER.....	3
2.1. Yapım Sırasında Yerinde Test Yapmanın Gereklere.....	3
2.2. Beton Dayanımını Tayin Etmek İçin Tahribatsız Deney Yöntemleri.....	4
2.2.1. Beton çekici.....	5
2.2.2. Penetrasyon deneyi.....	8
2.2.3. Çekip çıkarma yöntemi.....	10
2.2.4. Ultrases hızı yöntemi.....	12
2.2.5. Olgunluk derecesi.....	14
2.2.6. Kalıba yerleştirilmiş silindir numune.....	17
2.2.7. Birleşik yöntemler	18
2.3. Özet	18
BÖLÜM 3. BETON KAROT NUMUNE.....	20
3.1. Karot Alınacak Yerın Belirlenmesi.....	20
3.2. Karot Boyutlarının Belirlenmesi.....	22
3.3. Karot Sayısının Belirlenmesi.....	22
3.4. Karot Alma İşlemi.....	25

3.5. Alınan Karotların Deneye Hazırlanması.....	28
3.6. Beton Karotların Basınç Deneyi.....	29
3.7. Beton Karotunun Dinamik Elastisite Modülünün Bulunması.....	32
3.8. Karotların Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi.....	33
3.9. Karotların Karbonatlaşma Derinliği.....	35

BÖLÜM 4. KAROT BASINÇ DAYANIM DEĞERİNE ETKİ EDEN

FAKTÖRLER.....	37
4.1. Karot Çapı.....	37
4.2. Karot Narinlik Oranı.....	38
4.3. Karot Numunesinin Örselenme Durumu.....	40
4.4. Karot Alma Yönü.....	40
4.5. Betona Uygulanan Kür Koşulları.....	40
4.6. Karot Numunesinin Nemliliği.....	42
4.7. Karot İçerisindeki Boşluk Oranı.....	42
4.8. Karot İçinde Bulunan Donatı.....	42
4.9. Karot Basınç Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	43
4.10. Değerlendirme.....	45

BÖLÜM 5. BETON KAROT ALIMI İLE İLGİLİ TÜRK STANDARTI VE DİĞER STANDARTLARLA KARŞILAŞTIRILMASI.....

5.1. Beton Yaşı.....	46
5.2. Ölçüm Yerlerinin Sayısı, Numune Sayısı.....	46
5.3. Karot Alınacak Yerin Durumu.....	48
5.4. Deney Numunesinin Şekil ve Boyutları.....	48
5.5. Deney Numunesinin Şekil ve Boyutlarındaki Toleranslar.....	50
5.6. Başlıklama.....	52
5.7. Numunelerin Kürü ve Bakımı.....	53
5.8. Karot Numunesinin İçinde Bulunan Donatılar.....	53
5.9. Karot Numunelerinin Basınç Dayanımının Ölçülmesi.....	54
5.10. Ölçüm Yerine Ait Tutanak ve Deney Raporu.....	60

5.10.1. Deney raporu kapsamında deney numunelerinin alımına ait bilgiler.....	62
5.10.2. Deney raporu kapsamında deney laboratuvarına ait bilgiler.....	63
BÖLÜM 6. KAROT ALMANIN YAPI ELEMANINA VERDİĞİ ZARAR DÜZEYİNİN İNCELENMESİ	65
6.1. Deneysel Çalışma.....	65
6.1.1. Amaç ve kapsam.....	65
6.1.2. Deney sonuçları.....	72
BÖLÜM 7. DEĞERLENDİRME VE YORUM.....	77
7.1. İstanbul ve Civarından Alınan Karot Numunelerinin Basınç Dayanım Değerlerinin İstatistik İncelenmesi	77
7.2. Yöntem.....	77
7.3. Değerlendirme Kriterleri.....	79
7.3.1. İstatistik incelemelerin genel değerlendirilmesi.....	79
7.3.2. Projedeki beton sınıfına göre değerlendirme.....	82
7.3.3. Beton kaynağına göre değerlendirme.....	82
7.3.4. Binaların yapım yılına göre değerlendirme.....	85
7.3.5. Binanın bulunduğu yere göre değerlendirme.....	85
7.3.6. Binanın kullanım amacına göre değerlendirme.....	85
7.3.7. Bina kat adedine göre değerlendirme.....	91
7.3.8. Katlara göre değerlendirme.....	91
7.3.9. Katlar arasındaki değişime göre değerlendirme.....	91
7.3.10. Karot alınan yapı elemanına göre değerlendirme.....	96
7.3.11. İstatistik değerlendirme yapılan binaların beton kaynaklarının kalite değişkenliklerine göre değerlendirilmesi.....	96
7.3.12. Beton kaynaklarının projelerinde öngörülen beton sınıfına ait basınç dayanımına göre değerlendirilmesi.....	100
7.3.13. Sonuç.....	107

KAYNAKLAR.....	110
ÖZGEÇMİŞ.....	112



SİMGELER DİZİNİ ve KISALTMALAR

ε	:hata miktarı
γ	:Betonun birim ağırlığı, N/ mm ³
ν	:Poisson sayısı
ϕ_c	:numunenin çapı
ρ_d	:donatının özgül kütlesi (7,85 g/cm ³)
ϕ_r	:donatı çapı
\bar{x}	:ortalama değer
d	:üst yüzeyden ölçülen karbonatlaşma derinliği, mm
d	: karot çapı, mm, cm
\underline{d}	:donatı aksının numunenin en yakın yüzeyine olan mesafesi
D	:karot alım yönüne bağlı katsayı
E_d	:Elastisite modülü, kN/mm ²
f_k	:karot dayanımı, N/mm ² , kgf/ cm ²
$f_{küp200}$:ortalama küp basınç dayanım değeri
f_λ	: λ narinliğine sahip karotun basınç dayanımı
f_{kar}	:Karakteristik eşdeğer küp basınç dayanımı
f_{min}	:Binaya ait en küçük eşdeğer küp karot basınç dayanım değeri
f_{ort}	:Binaya ait eşdeğer küp karot basınç dayanım değerlerinin ortalaması
f_s	:standart kür edilmiş küp numunenin 28 günlük basınç dayanımı, N/mm ²
f_y	:yerinde beton dayanımı, N/mm ²
$f_{y,küp}$:150 mm küp cinsinden yerinde basınç dayanımı
$f_{y,sil}$:silindir numune yerinde basınç dayanımı
G	:donatının kütlesi (g)
K	:karbonatlaşma katsayısı , mm/ $\sqrt{yıl}$
K	:sıkıştırmaya bağlı faktör
K_λ	:narinlik oranı düzeltme faktörü
K_d	:karot çapı düzeltme faktörü
K_{do}	:donatı düzeltme faktörü

K_f	:küp / silindir çevirme çarpanı
K_k	:kür şartları için düzeltme faktörü
K_δ	:örselenme düzeltme faktörü
K_s	:istatistik katsayı (%95 güvenlik derecesine göre student katsayısı)
K_s	:standart silindirde ayırışma nedeniyle düzeltme faktörü
l	:alıcı-verici arsındaki mesafe
l	:başlıklanmamış numune boyu
$M_{(t)}$:t yaşında sıcaklık – zaman faktörü, gün veya saat derecesinde
n	:numune karot sayısı
n_k	:karot sayısı
n_s	:standart (laboratuvarda dökülmüş, sıkışma ve kür koşullarını sağlayan) silindir numune sayısı
P_k	:kırılma yükü, kN, kgf
Q	:gaz sabiti ile bölünen aktivasyon enerjisi, Kelvin derece
s	:standart sapma
t	:güvenilirlik sayısına ve serbestlik derecesi (n-1)'e göre değişen student katsayısı
t	:geçen süre, gün veya saat
\underline{t}	: karotun yaşı
T_0	:taban sıcaklık
T_a	:t zamanı boyunca ortalama beton sıcaklığı
t_e	:belirlenmiş T_s sıcaklığı için gün ve ya saat olarak eşdeğer yaş
T_s	:belirlenmiş sıcaklık, Kelvin derece
V	:değişkenlik katsayısı
\underline{V}	: boyuna basınç dalga hızı
V	:donatı hacmi (cm ³)
V_1	:standart numunenin ultrases hız değeri, km/sn
V_2	:yerinde dayanımı ölçülen numunenin ultrases hız değeri, km/sn
V_k	:karot deneylerinin değişkenlik katsayısı
V_s	:standart silindir numunelerinin değişkenlik katsayısı
z	:karot karakteristik mukavemeti

AASHTO :American Association State Highway and Transportation Officials
Standard

ACI :American Concrete Institute

ASTM :American Standard of Testing and Measuring

BSI :British Standard Institution

TS :Türk Standartları



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	N Tipi Beton Test Çekicinin boyuna kesiti.....	6
Şekil 2.2.	Penetrasyon Deneyi boyunca betondaki kırılma bölgesinin tahmini şekli.....	9
Şekil 2.3.	Agrega tipinin beton basınç dayanımı ve penetrasyon miktarı arasındaki ilişkiye etkisi.....	9
Şekil 2.4.	Çekip çıkarma deneyinin şematik gösterimi.....	10
Şekil 2.5.	Ultrases hızı ölçümü işleminin prensibi.....	13
Şekil 2.6.	Dayanım kazanma hızının sıcaklıkla lineer değiştiğini kabulüne dayanan olgunluk fonksiyonu.....	15
Şekil 2.7.	Yerinde yerleştirilen silindir beton numuneler için kalıp sistemi.....	17
Şekil 3.1.	Karot alma aleti.....	26
Şekil 3.2.	Alınmış karot numune.....	26
Şekil 3.3.	Karot alınmış kolon.....	27
Şekil 3.4.	Karot Kesme Aleti	28
Şekil 3.5.	Başlıklanma işleminden önce ve başlıklanmış karot numuneleri.....	29
Şekil 3.6.	$\lambda > 0,8$ olan karotların eşdeğer küp dayanımlarının birim ağırlıkla olan ilişkisi.....	31
Şekil 3.7.	$\lambda > 0,8$ olan karotların eşdeğer küp dayanımlarının 24 saat içerisindeki nem içeriği değişimi ile olan ilişkisi.....	31
Şekil 6.1.	A. Karot deliği açılmış numune B. Karot deliği doldurulmuş numune..	66
Şekil 6.2.	Karot delikleri Emaco S88C tamir harcıyla doldurulmuş tüm numuneler.....	66
Şekil 6.3.	Doldurulmuş bir numunenin basınç altında kırılmış hali.....	71
Şekil 6.4.	Karot delikleri doldurulan numunelerin basınç dayanımının karot yüksekliği ile değişimi.....	72
Şekil 6.5.	Doldurulan harcın kırılmadan sonra bile bütünlüğünü bozmamasına örnek.....	72

Şekil 6.6.	Her sınıf dayanımına ait referans, boş ve dolu numunelerin basınç dayanımlarının karşılaştırılması.....	74
Şekil 6.7.	Karot boşluğu kesit alanında dikkate alınmış ortalama basınç dayanımlarının karşılaştırılması.....	75
Şekil 7.1.	Ortalama Dayanım Değerlerinin Yüzde Dağılım Histogramı.....	80
Şekil 7.2.	Binaların Karakteristik Dayanımlarının Dağılımı.....	81
Şekil 7.3.	Beton Sınıfları Esas Alınarak, Karot Sonuçlarının Eşdeğer Küp Karakteristik Basınç Dayanımları Değerlendirmesi.....	83
Şekil 7.4.	Beton Kaynağına Göre Karot Basınç Dayanımlarının Değerlendirilmesi.....	84
Şekil 7.5.	Binaların Yapım Yıllarına Göre Karakteristik Dayanımlarının Dağılımı.....	86
Şekil 7.6.	İlçelere Göre Beton Dağılımının Dağılımı.....	89
Şekil 7.7.	Bina Cinslerine Göre Beton Karot Basınç Dayanımlarının Değerlendirilmesi.....	90
Şekil 7.8.	Bina Kat Adetlerine Göre Karot Basınç Dayanımları.....	92
Şekil 7.9.	Karotların Alındığı Katlara Göre Sınıflandırılmış Yapıların Karot Basınç Dayanımlarının Dağılımı.....	93
Şekil 7.10.	Binaların Kendi İçindeki Beton Dayanımlarının Katlara Göre Değişimi.....	95
Şekil 7.11.	Yüksek Katlara Doğru Artan Beton Dayanımı Gösteren Binalar.....	95
Şekil 7.12.	Yüksek Katlara Doğru Azalan Beton Dayanımı Gösteren Binalar.....	95
Şekil 7.13.	Karot Alınan Elemana Göre Beton Karot Basınç Dayanımlarının Değerlendirilmesi.....	97
Şekil 7.14.	İstatistik Olarak Değerlendirilen Binaların Karakteristik Basınç Dayanımlarından Hesaplanan Standart Sapmaların Beton Kaynağı Bazında Değerlendirilmesi	99
Şekil 7.15.	BS14 Betonları İçin Beton Kaynağı-Karot Basınç Dayanımı.....	102
Şekil 7.16.	BS16 Betonları İçin Beton Kaynağı-Karot Basınç Dayanımı.....	102
Şekil 7.17.	BS18 Betonları İçin Beton Kaynağı-Karot Basınç Dayanımı.....	103
Şekil 7.18.	BS20 Betonları İçin Beton Kaynağı-Karot Basınç Dayanımı.....	103

Şekil 7.19.	BS14 Betonları İçin Beton Kaynağı-Karot Basınç Dayanımı.....	105
Şekil 7.20.	BS16 Betonları İçin Beton Kaynağı-Karot Basınç Dayanımı.....	105
Şekil 7.21.	BS18 Betonları İçin Beton Kaynağı-Karot Basınç Dayanımı.....	106
Şekil 7.22.	BS14 Betonları İçin Beton Kaynağı-Karot Basınç Dayanımı.....	106



TABLULAR DİZİNİ

Tablo 2.1.	Beton Basınç Dayanımının Tayininde Yerinde Yöntemlerin Karşılaştırılması.....	8
Tablo 3.2.	Farklı güvenilirlikler düzeyleri için t değerleri.....	24
Tablo 4.1.	Farklı karot çapları için düzeltme faktörü ve değişkenlik katsayıları (Barlett, MacGregor, 1995).....	38
Tablo 4.2.	ASTM C 42’de verilen narinlik dayanım düzeltme faktörleri.....	39
Tablo 4.3.	Beton sınıflarının karakteristik silindir ve küp dayanımları.....	40
Tablo 5.1	Sertleşmiş Betondaki Ölçüm Yeri Sayısı (n).....	47
Tablo 5.2.	ASTM C 42’ye Göre Karot Numunelerinin Narinlik Oranlarına Göre Basınç Dayanımı Düzeltme Katsayıları.....	56
Tablo 5.3.	Beton Sınıfları ve Dayanımları.....	58
Tablo 5.4.	İstatistiki Değerlendirmede Kullanılan Kabul Faktörleri (ks).....	59
Tablo 6.1.	Hedeflenen Basınç Dayanımı 80 kgf/cm ² olan Betonların Karışım Oranları ve Özellikleri.....	67
Tablo 6.2.	Hedeflenen Basınç Dayanımı 150 kgf/cm ² olan Betonların Karışım Oranları ve Özellikleri.....	68
Tablo 6.3.	Hedeflenen Basınç Dayanımı 200 kgf/cm ² olan Betonların Karışım Oranları ve Özellikleri.....	69
Tablo 6.4.	EmacoS88C ile yapılan harçların karışım oranları.....	70
Tablo 6.5.	Hazırlanan örneklerin basınç dayanımları.....	70
Tablo 6.6.	Numunelerin kırılma yükleri ve alınan karotların yükseklikleri.....	73
Tablo 7.1.	İstatistiki Değerlendirmede Kullanılan Kabul Faktörleri.....	78
Tablo 7.2.	Beton Sınıflarının Karot Basınç Dayanım Değerlerinin Karakteristikleri.....	83
Tablo 7.3.	Beton Kaynağına Göre Sınıflandırmanın Karot Basınç Dayanım Değerlerinin Karakteristikleri.....	84
Tablo 7.4.	Binaların Yapım Yıllarına Göre Karakteristik Dayanımlarının İstatistik Değerlendirme Sonuçları.....	87

Tablo 7.5.	İlçelere Göre Beton Dayanımlarının Karakteristikleri.....	88
Tablo 7.6.	Bina Cinsi Sınıflandırmasına Göre Beton Karot Basınç Dayanımlarının Karakteristikleri.....	90
Tablo 7.7.	Bina Kat Adetlerine Göre Sınıflandırılmış Yapıların Karot Basınç Dayanım Karakteristikleri.....	92
Tablo 7.8.	Katlara Göre Sınıflandırmaya Ait Karot Basınç Dayanım Değerlerinin Karakteristikleri.....	94
Tablo 7.9.	Karot Alınan Eleman Sınıflandırmasına Göre Beton Karot Basınç Dayanımlarının Karakteristikleri.....	97
Tablo 7.10.	İstatistik Değerlendirme Yapılan Binaların Beton Kaynakları Sınıflandırmasına Göre Karakteristikleri.....	98
Tablo 7.11.	Karakteristik Dayanımların Sınıf Dayanımı ve Beton Kaynağına Göre Değerlendirilmesi.....	101
Tablo 7.12.	Ortalama Dayanımların Sınıf Dayanımı ve Beton Kaynağına Göre Değerlendirilmesi.....	104

1. GİRİŞ

1999 yılında yaşanan depremler sonrası, binalardaki beton kalitesi tekrar gündeme gelmiştir. Türkiye’de hazır beton, son 10 yılda diğer yöntemlerin yerini almaya başlamış ve bu endüstri 4-5 yıldır iyice yaygınlaşmıştır. Diğer yandan ilkel yöntemlerin rasgeleliği ve denetimsizliği mevcut yapılardaki betonların kalitesi hakkında ciddi tereddütler oluşturmaktadır.

Beton denetiminde global olarak basınç dayanımı kullanılmaktadır. Betonun diğer mekanik özellikleri de basınç dayanımıyla ilintili olduğundan betonu basınç dayanımı ile karakterize etmek benimsenen yaklaşım olmaktadır. Bu çerçevede; İstanbul’da bulunan binalarda depremden sonra beton kalitesine ilişkin tahribatlı yöntemlerle yapılan inceleme sonuçlarının değerlendirilmesi tezin ana konusu olmuştur.

Yapılan tez sekiz bölümden oluşmaktadır;

- Bölüm 1, Giriş
- Bölüm 2, Beton Dayanımının Yerinde Tayininde Tahribatsız Yöntemler
- Bölüm 3, Beton Karot Numune
- Bölüm 4, Karot Basınç Dayanımına Etki Eden Faktörler
- Bölüm 5, Beton Karot Alımı İle İlgili Türk Standardı ve Diğer Standartlarla Karşılaştırılması
- Bölüm 6, Karot Almanın Yapı Elemanına Verdiği Zarar Düzeyinin İncelenmesi
- Bölüm 7, Değerlendirme ve Yorum
- Bölüm 8, Sonuç.

İkinci Bölümde tahribatsız deneyler, kullanım alanları, özellikleri ve standartları açıklanmıştır. Ele alınan yöntemler, beton çekici (Schmidth çekici), penetrasyon deneyi, çekip çıkarma deneyi, ultrases hızı, olgunluk derecesi ve kalıba yerleştirilmiş

silindir numune yöntemleridir.

İkinci Bölümde, karot numune alımının gerekçeleri ve karot numune basınç deneyi anlatılmıştır. Karot numune alımı tahribatlı bir yöntem olması nedeniyle alım işlemi sırasında dikkat edilmesi gereken unsurlar belirtilmiştir.

Bölüm 4'de karot basınç dayanım değerine etki eden faktörler incelenmiştir. Bu faktörler karot çapı, narinlik oranı, numunenin örselenme durumu, karot alma yönü, betona uygulanan kür koşulları, numunenin nem içeriği, numune içindeki boşluk oranı, karot içinde bulunan donatılar olarak sayılmıştır. Bu faktörler karot basınç dayanımını bir düzeltme katsayısı ile etkilemektedir. Bu çerçevede TS10465 standardına özel bir yer verilmiştir.

Beşinci Bölümde Türk Standardı diğer standartlarla karşılaştırılmış, burada İngiliz ve Amerikan Standartlarına ağırlıkla yer verilmiştir. Karşılaştırmada temel alınan değerler, beton yaşı, numune sayısı, karot alınacak yerin durumu, karot numunesinin biçim ve boyutları, başlıklama, numunelerin kuru ve bakımı, numune içindeki donatı olmuştur.

Altıncı bölümde karot alma işleminin yapı elemanına verdiği tahribatı belirlemek için yapılan ek çalışma açıklanmıştır. Bu amaçla üç ayrı dayanım düzeyinde 20 cm'lik küp numuneler hazırlanmış, bunların üçte ikisine karot deliği açılmış deliklerin yarısı özel tamir harcıyla doldurulmuştur. Dolu, boş ve karot deliği doldurulmuş numuneler basınç deneyine tabi tutularak elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

Bölüm 7'de İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi Beton Araştırma Geliştirme Laboratuvarının almış olduğu karot numunelerinin basınç dayanımlarına ilişkin veriler istatistiki olarak incelenmiştir. Bu veriler 511 yapıdan alınan 2879 adet karotun dayanım değerleridir. Karot basınç dayanım değeri ile birlikte incelenen, dayanım sınıfı, beton kaynağı, yapım yılı, kat sayısı, bina cinsi gibi bilgiler de dikkate alındığında yaklaşık 23000 civarında veri incelenmiştir. Bu verilerin bir bölümü de bina sahiplerine tek tek ulaşılarak zor derlenen bilgiler olmuştur.

2. BETON DAYANIMININ YERİNDE TAYİNİNDE TAHRİBATSIZ YÖNTEMLER

Yapıda sertleşmiş beton dayanımının tayinini gerektiren durumlarda tahribatlı ve tahribatsız yöntemler kullanılmaktadır.

Tahribatsız yöntemler, yapıda herhangi bir tahribat yapmayan, rezonans frekans tekniği, mekanik ses-dalga tekniği, ultrases hızı tekniği gibi dinamik yöntemler, standart numune deneyleri gibi sertlik deneyleri statik yöntemler, radyoaktif yöntemler, olgunluk yöntemi, ses yayılımı ölçme yöntemi ve yükleme deneyi, çekip çıkarma gibi metotlardır.

Tahribatlı metotlar, tahribatsız metotlara göre daha güvenilir sonuçlar veren, standart numune dayanımlarına dönüştürülebilen karot numunelerin deneylerini içerir.

Tahribatsız Deneyler olarak adlandırılan yerinde yapılan deneyler yapıda bulunan betonun özellikleri hakkında bilgiler elde etmek için uygulanır. Bu deneylerin birçoğu beton basınç dayanımını belirlemek üzere yapılır. Genelde iki sebepten dolayı beton dayanımının belirlenmesi gerekmektedir:

1. Mevcut yapının beton dayanımının tespiti
2. Yeni yapım boyunca dayanım gelişiminin gözlenmesi

2.1. Yapım Sırasında Yerinde Test Yapmanın Gereklere

Önceleri standart silindir ve küp numuneler basınç dayanımı için kullanılmaktaydı. Numune hazırlanması ve test uygulaması zor olmayan silindir örneklerin dayanımının hesaplanması kolaydır. Düzgünce yapıldığı zaman bu deney, deney içinde ve laboratuvarlar arasında düşük değişimler gösterir. Bu yüzden silindir numunelerle yapılan basınç dayanım testi standart olarak alınmaktadır.

Standart prosedürlere göre uygulandığı gibi bu deney sadece, sahadaki dayanımı bilmek açısından, beton potansiyel dayanımı gösterir. Bu deney genelde üretilen betonun kalite kontrolü için kullanılmaktadır. Yerleştirme, sıkıştırma ve kür koşullarının etkilerini görmeye olanak vermediği için betonun yerinde dayanımı belirlemeye yönelik bir deney değildir. Yapıda aynı olgunluk derecesine sahip, aynı standart kür edilmiş silindir numunelerin olması olağan değildir. Aynı zamanda standart kürü görmüş silindirler 28. günlerinde test edilirler ve güvenli kalıp alma zamanı gibi dayanımları belirlemek için kullanılamazlar. Yerinde deneyler, yapıda ve yapı elemanında çeşitli yapım işlemleri gerektiğinde dayanımın belirlenmesi için de gereklidir.

Hızlı iş programları, kalıp sökme ve hazırlama, kür sürelerinin değiştirilmesi ve benzer uygulamalarla karşılaşıldığında beton basınç dayanımının mümkün olduğunca erken ve güvenilir bir şekilde elde edilmesi gerekir. Bu gibi durumlarda yerinde dayanımın belirlenmesi için, güvenilir yerinde deneylerin uygulanmasını gerektirir. Yerinde deneylerin kullanılması sadece güvenliği arttırmakla kalmaz, iş programının hızlanmasına izin verdiği için yapım maliyetlerinin düşmesini de sağlar.

Birçok dizayn standartları, silindir basınç dayanımını esas alır. Buradan, yapım yüklemeleri altındaki yapı kapasitesine geçerken, yapıdaki betonun kalitesini silindir dayanımı şeklinde belirlemek gerekmektedir. Eğer yerinde deneyler kullanıldıysa, bu deneylerin sonucunda bulunan değerler ile silindir basınç dayanımı arasında korelasyon bağlantısı kurmak zorunludur. Yerinde dayanım deney sonuçlarının yorumu için genelde kabul edilmiş yöntemler de bulunmaktadır. Bu farklılıklar yerinde deneylerin uygulanmasının yaygınlaştırılması ve birbirleriyle karşılaştırılması ile azalacaktır.

2.2. Beton Dayanımını Tayin Etmek İçin Tahribatsız Deney Yöntemleri

Yerinde deneyin amacı yapıda bulunan betonun özelliklerini delik açmadan veya karot numunesi almadan belirlemektir. Genellikle silindir basınç dayanımı belirtilen özelliktir. Dayanımı belirlerken zorunlu olan, beton dayanımı ile yerinde deney sonuçları arasındaki bağlantıyı bilmektir. Genelde birçok bağlantı laboratuvar

kurulan amprık bağıntılardır. Dayanım tahminin doğruluğu, direk olarak beton dayanımı ile yerinde deneylerden ölçülen sonuçlar arasında yapılan korelasyonun derecesine bağlıdır. Bu nedenle, yerinde deney sonuçlarının kullanımında, deneyle hangi değerlerin bulunduğu ve bu değerlerin beton basınç dayanımı ile ilişkisini bilmek gerekir. Tezin bu bölümünde yaygın olarak kullanılan yerinde deney metotlarını ve deney sonuçlarını etkileyecek faktörler incelenecektir.

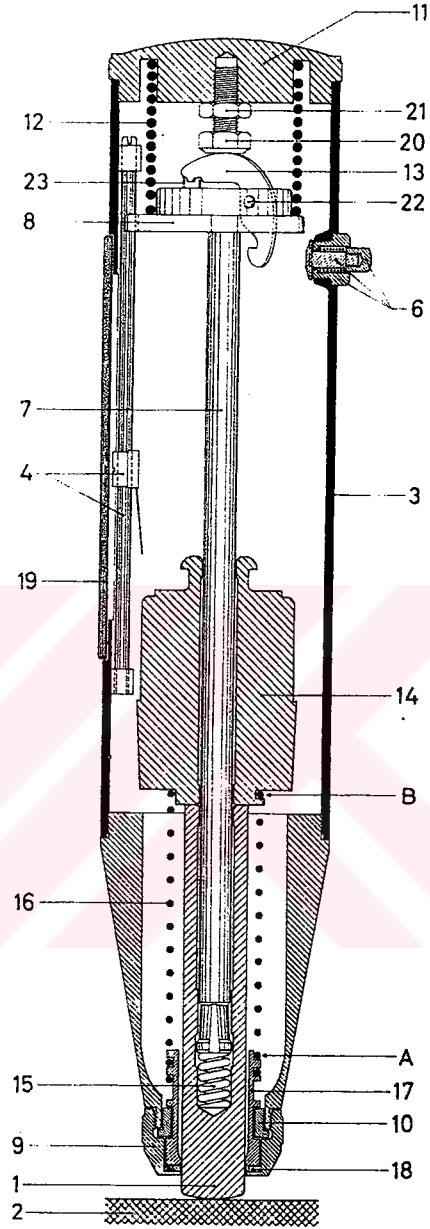
İncelenecek olan deney metotları

1. Beton çekici (Schmidth çekici)
2. Penetrasyon deneyi
3. Çekip çıkarma
4. Ultrases hızı
5. Olgunluk derecesi
6. Kalıba yerleştirilmiş silindir numune

2.2.1.Beton çekici

Beton çekici, Schimidt çekici veya İsveç çekici olarak adlandırılır ve dört ana bileşenden oluşur. Bunlar; 1)dış gövde, 2)darbe pistonu, 3)çekiç, 4)yay. Deney yapılırken darbe pistonu dış gövdeden çıkar ve beton yüzeyi ile temas haline getirilerek itilir. Piston çıktığı zaman mandallanmış mekanizma harekete geçerek pistonun üst noktasına kadar gider. Aletin gövdesi beton elemanına doğru itilir. Bu eylem, çekiç ile gövde arasındaki yayın uzamasına sebep olur. Gövde limiti kadar itildiğinde mandal serbest kalır ve yay çekici beton elemana doğru iter. Çekiç, sıçrama ve pistonun omuz alanına etkir. Geri tepen çekiç, sıçrama mesafesini veren göstergelyi harekete geçirir. Sıçrama mesafesi 10'dan 100'e kadar numaralarla ayrılmış göstergeden okunur. Bu değerler beton çekiç okumaları olarak kaydedilir.

1. Darbe silindiri
2. Beton yüzeyi
3. Dış silindir
4. Kılavuz çubuklu binici
6. İtme düğmesi silindiri
7. Çekiç kılavuz barı
8. Disk
9. Başlık
10. İki parçalı halka
11. Arka kapak
12. Basınç zembereği
13. Çene
14. Çekiç
15. Tutucu zemberek
16. Darbe zembereği
17. Kılavuz manşon
18. Keçe yıkayıcı
19. Ölçek camı
20. Sürgü vidası
21. Kilit somunu
22. İğne
23. Çene yayı



Şekil 2.1. N Tipi Beton Test Çekicinin boyuna kesiti

Beton özelliklerini belirlemek için geri tepme değerlerinin kullanılmasında bu enerji kayıpları uzak etkenlerdir. Beton tarafından absorbe edilen enerji betonun gerilme – şekil değiştirme ilişkisine bağlıdır. Böylece, absorbe edilen enerji betonun dayanımı ve sertliği ile ilgili olduğu ortaya çıkar. Düşük dayanımlı ve düşük sertlikteki beton, yüksek dayanımlı ve yüksek sertlikteki betona göre daha çok enerji absorbe eder. Bu da düşük dayanımlı betonun düşük çekiç okuma değerleri vereceğini gösterir. Buradan aynı dayanımda fakat farklı sertlikte olan iki beton karışımından yapılan çekiç okumalarından dayanımları eşit olmasına rağmen farklı değerler çıkabileceği anlaşılır. Aynı şekilde farklı dayanımlardaki iki betondan, düşük dayanımlı betonun sertliği yüksek dayanımlı olandan daha fazla ise aynı çekiç okuma değerleri de alınabilir. Kullanılan agrega tipi betonun sertliğini etkileyen bir faktördür ve bu yapıda bulunan betonun aynı malzemeden yapılmış bile olsa dayanımları arasında korelasyon yapmayı gerektirir.

Beton çekici deneyinde, pistonun etkilediği yerdeki beton geri sıçrama mesafesine etkir. Buradan, deneyin, uygulandığı bölgeye göre yerel şartlara hassasiyet gösterdiği anlaşılır. Eğer piston sağlam bir agreganın üzerine geldiyse, normal olmayan yüksek okuma değerleri verir. Diğer yandan, piston geniş bir hava boşluğunun veya yumuşak bir agreganın üzerine geldiyse düşük okuma değerleri verecektir. Bu olasılıklar nedeniyle bir test için en az 10 çekiç okuması önerilir. ^[14] Eğer bir okuma ortalamadan 7 birim daha farklıysa, okuma göz ardı edilir ve kalan okumalarla yeni ortalama bulunur. İkidenden fazla değer ortalamadan 7 birim farklıysa, tüm okuma değerleri ihmal edilecektir.

Çekiç okuma değerleri pistonun değdiği betonun dış yüzeyine yakın bölgelere ait değerler verebildiğinden betonun iç yüzeyini temsil edemez. Karbonatlaşmış tabakanın bulunması betonun iç yüzeyinden farklı olarak yüksek okuma değerleri verir. Aynı şekilde kuru yüzeyler nemli iç yüzeylere göre daha yüksek değerler verir. Kür şartları beton üst yüzeyindeki dayanıma iç yüzeylerinkinden daha büyük bir etki eder. Test düzgün olmayan bir beton yüzeyinde yapıldığında, piston altında yerel kırılmalar oluşacağından gerçek dayanımdan daha düşük değerler alınır. Mala ile düzeltilmiş ve sertleşmiş yüzeyler yüksek okuma değerleri verebilir. Sonuç olarak,

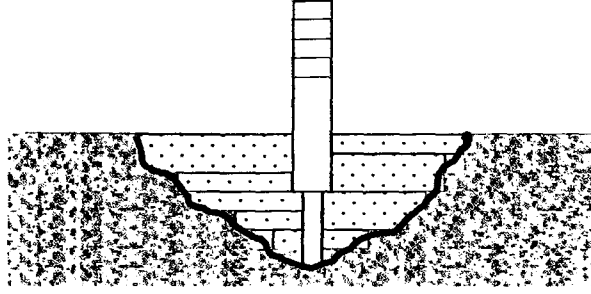
sıçrama mesafesi çekiç özelliklerinden ve aynı çekiç için geliştirilen korelasyon bağlantısından etkilenir.

Özetle, uygulaması kolay olan çekiç okumaları deneyinde deney sonucuna etkileyecek basınç dayanımından başka etkenler de bulunmaktadır. Deney sonuçları değerlendirilirken, kullanıcı bu etkilere dikkat etmelidir.

2.2.2. Penetrasyon deneyi

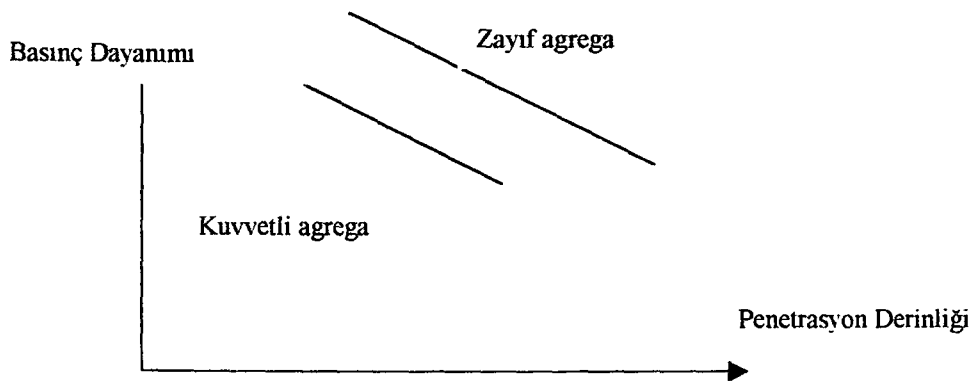
Penetrasyon tekniği, betonun içine giren sertleşmiş çelik bir rotu tetikleyen özel dizayn edilmiş bir tabancanın kullanılmasını içerir. Bu çelik çubuğun girme miktarı beton dayanımı için ayırıcı bir özellik olmaktadır. Çubuğun beton çekiç pistonuna göre daha fazla enerji ile etki etmesinden başka beton çekiç deneyi ile aynı yöntem olduğu düşünülür. ^[14] Penetrasyon deneyinin teorik analizleri beton çekiç deneyine göre daha karışıktır. Deneyin esası yine, çubuğun kinetik enerjisinin ve betondaki enerjinin absorbe edilmesine dayanır. Çubuğun beton içerisine girme mesafesi kendi iç kinetik enerjisinin absorpsiyonundan etkilenir. İç kinetik enerji, çubuğun itilme gücüne, ilk ateşlemede çubuğun tabanca içinde bulunduğu yere, çubuğun tabanca içerisinde ilerlerken kaybettiği sürtünmeye bağlıdır. Bu deneyde esas alınması gereken çubuğun iç kinetik enerji değerinin de göz önünde bulundurulmasıdır. ASTM C 803'e göre 10 deneyden fazla yapılıyorsa çubuğun çıkış hızının % 3 'ten fazla oranda değişim yapmasına izin verilir.

Çubuk, betonun içerisine iç kinetik enerjisi beton tarafından tamamen absorbe edilene kadar girer. Çubuk ve beton arasındaki sürtünme nedeniyle bir kısım enerji, beton kırılmasından ve ezilmesinden dolayı da bir kısım enerji absorbe edilir. Kırılma bölgesinin geometrisinin etkisi bir çalışmada henüz incelenmemiş ama Şekil 2.2 genel olarak kabul edilmektedir. Burada betonun ağırlıkla kırıldığı bir çukur bölge görülmektedir ve enerji buradan absorbe edilmektedir.



Şekil 2.2. Penetrasyon Deneyi boyunca betondaki kırılma bölgesinin tahmini şekli

Çubuk ucu çimento harcı ve agrega arasında dolaşır. Genelde kırılma bölgesi çimento matrisi ile agrega parçalarının arasında gelişir. Harcın ve agreganın dayanım özellikleri penetrasyon mesafesini etkiler. Beton basınç dayanım testinde bu karşılaştırma yapılırsa çimento hamurunun basınç dayanımına hakim olduğu görülür. Buradan penetrasyon deneyinin önemli karakteristiğinin agrega tipi olduğu ve penetrasyon miktarı ile beton basınç dayanımı arasında korelasyon bağıntısında güçlü bir etkisi olduğu anlaşılır. Şekil 2.3'te ampirik korelasyon bağıntısı zayıf (kireç taşı) ve kuvvetli agrega (kuvars) için şematik olarak verilmiştir. Eşit basınç dayanımları için, zayıf agregadan yapılmış betonun penetrasyon miktarı kuvvetli agrega ile yapılmış olandan daha fazla olacaktır.

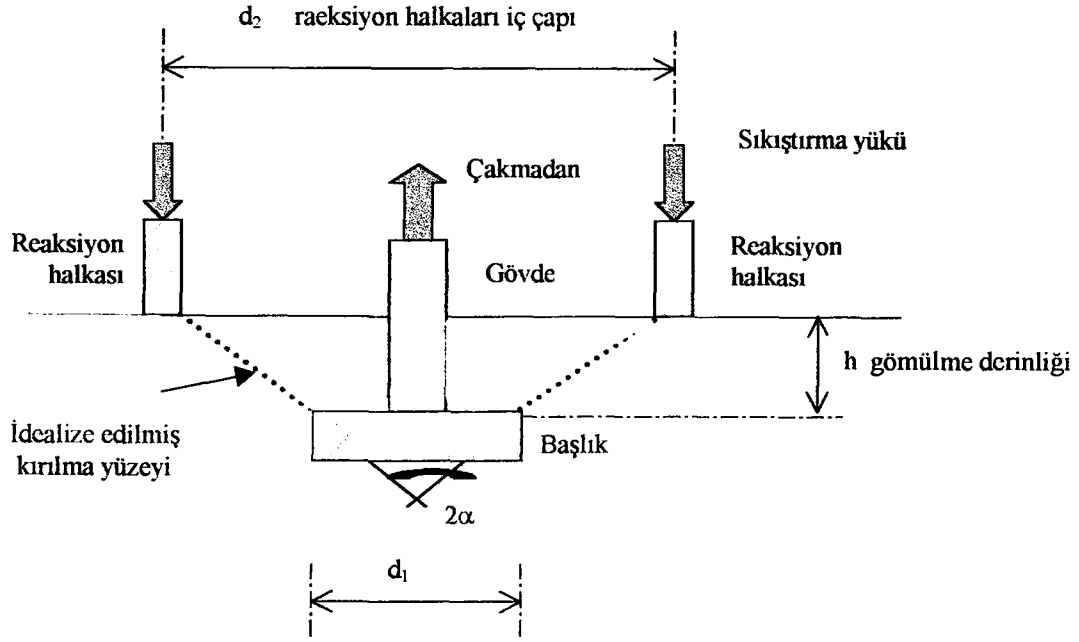


Şekil 2.3. Agreganın tipinin beton basınç dayanımı ve penetrasyon miktarı arasındaki ilişkiye etkisi

Penetrasyon deneyinin beton içerisinde yapılmasından dolayı, deney sonuçları yerel yüzey bozukluklarından ve nem içeriğinden etkilenmez. Buna rağmen, sertleşmiş yüzey tabakaları -mala ile düzeltmeler sonucuyla oluşan gibi- düşük penetrasyon değerleri verebilir. Buna ek olarak, penetrasyonun beton içerisindeki doğrultusu penetrasyon beton yüzeyine dik olarak yapıldığı sürece önemsizdir. Pratikte çubuk uzunluğunu vermek yerine basınç dayanımı ile penetrasyon derinliği arasındaki bağlantı belirtilir. Buradan deney sonuçlarının değişkenliği incelenirken değişkenlik katsayısının hesaplanmasında görünen çubuk uzunluğu yerine penetrasyon derinliği alınır.

2.2.3. Çekip çıkarma yöntemi

Çekip çıkarma deneyinde yapıdan veya beton numunesinden genişlemiş başı ile yerine konmuş metali çekmek için gereken son yük ölçülür. Beton yüzeyine karşı oluşan, krika ile uygulanan çekme yükü, reaksiyon halkasına doğru ve ortak merkezli yerleştirilir. Yerleştirilen parça çekildiğinde düzgün yüzeyli bir koni şeklinde betonda bir kırılma yüzeyi oluşur (Şekil 2.4). Reaksiyon halkasının çapı d_2 konik kısmın en büyük çapını, d_1 ise yerleştirilen kafanın çapını verir. Gömme derinliği ve başlık çapı eşit olmak zorunda olması istenirken bu boyutların büyüklükleri ile ilgili bir zorunluluk yoktur. Reaksiyon halkasının iç çapı içerdeki başlık çapının 2,0 – 2,4 katı arasında olabilir. Bu da reaksiyon halkalarının arasında kalan mesafe ile içerdeki başlığın çapı arasında beliren kesik koniğin iç açısı 54 ile 70 derece arasında olabileceği anlaşılır. Benzer geometri yerinde deney sonuçlarını kullanmak için geliştirilecek olan korelasyon bağıntısında da kullanılmalıdır.



Şekil 2.4. Çekip çıkarma deneyinin şematik gösterimi

Penetrasyon ve beton çekici yöntemlerinden farklı olarak, çekip çıkarma yönteminde betona, gerilme analizine izin veren statik yükleme uygulanır. Sonlu elemanlar metodu kullanarak, beton kırıldığında ve herhangi bir kırık gelişmeden önceki gerilmeler hesaplanabilir. Deneyde betona, üç boyutlu son derece üniform olmayan bir gerilme hali uygulandığı kabul edilir. Kırılmadan önce, çekme gerilmelerinin kırılma yüzeyine yaklaşık olarak dik olduğu, basınç gerilmelerinin ise reaksiyon halkasından başlığa doğru yöneldiği görülmüştür. Asal gerilmenin büyüklüğü üniform değildir ve yerleştirilen başlığın üst köşesinde en büyük değerini alır.

Bir seri analitik ve deneysel çalışmalar sonucunda çekip çıkarma deneyinin kırılma mekanizması belirlenmiştir. Muzaffer Yener ve arkadaşlarının 1984 yılında yaptığı bir çalışmada kırılma konisinde yerleştirilen başlık bölgesinde çekme yüklemesi ile başlayan çevresel çatlaklar yüksek gerilmelerin son değerine vardığında kırılma oluşur. Yükün artmasıyla çevresel çatlama, reaksiyon halkasına doğru ilerler. Kırılma mekanizmasının, en son çekip çıkarma yükünün büyüklüğü ile belirlendiği ile ilgili bir ortak görüş bulunmamaktadır.

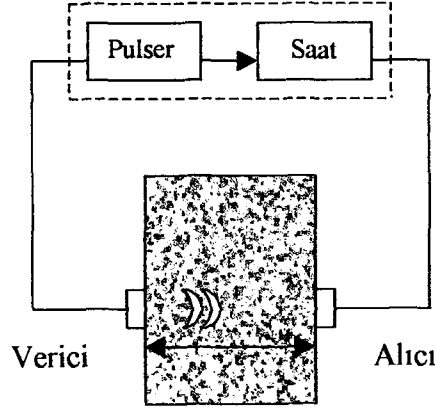
Çekip çıkarma deneyinin olumlu yanı, betonda iyi belirlenmiş bir kırılmanın oluşacağı ve betonun statik dayanım özelliklerinin ölçülebilmesidir. Buna rağmen, bu

dayanım özelliklerinin neler olduğuna dair bir fikir birliği bulunmamaktadır. Beton dayanımı ile çekip çıkarma dayanımı arasında amprik korelasyon bağlantısı kurmak zorunludur. Bu bağlantı sadece değişik test durumlarında ve korelasyon deneyi için hazırlanan beton malzemesinde uygulanabilir.

Çekip çıkarma dayanımı yerleştirilen başlık ve reaksiyon halkası ile belirlenen kırık koninin komşu bölgelerindeki beton parçası tarafından yönetilir. Yerleştirilen parçanın gömülme derinliği 25 – 30 mm arasında değişir. Buradan da küçük bir parça betonun test edildiği anlaşılır. Betonun heterojen olmasından dolayı çekip çıkarma deneyinin ortalama değişim katsayısı karot dayanımlarına göre %7 – 10 arasında değişir. Bu da standart silindir basınç dayanımının değişim katsayısının yaklaşık olarak iki üç katıdır.

2.2.4. Ultrases hızı yöntemi

Ultrases hızı yöntemi beton elemana doğru gönderilen vibrasyonel enerjinin hızının ölçülmesinden ibarettir. İşlemin prensibi Şekil 2.5'te gösterilmiştir. Pulser kısa aralıklı yüksek voltajlı sinyalleri verici rızanans frekansı titreştirmesi için gönderir. Elektriksel itki başladığında elektronik saat çalışır. Verici vibrasyonları viskoz sıvı başlıklarıyla betonun içine iletir. Vibrasyonel dalga eleman içerisinde ilerleyerek beton yüzeyinin diğer ucunda bulunan alıcıya ulaşır. Dalga alıcı kafa tarafından algılandığında elektronik saat kapanır ve ulaşma süresi tespit edilir. Verici ve alıcı arasındaki direk mesafe ulaşma süresine bölüldüğünde beton içindeki ultrases hızı elde edilmiş olur.



Şekil 2.5. Ultrases hızı ölçümü işleminin prensibi

Ultrases hızı değeri elastisite modülünün karekökü ile doğru, betonun yoğunluğunun karekökü ile ise yaklaşık olarak doğru orantılıdır. Elastisite modülünün betonun basınç dayanımının karekökü ile orantılı olduğu ACI 318'de olduğu gibi kabul edilirse, betonun ultrases hızı basınç dayanımının dördüncü dereceden kökü ile orantılı olur. Buradan şu sonuç çıkarılabilir; verilen beton karışımında zamanla basınç dayanımı arttıkça ultrases hızı küçük bir oranda artar.

Ultrases hızı değerine etki eden ve değiştiren beton dayanımdan başka etkenler de vardır. Bunlardan en önemli faktör betonun nem içeriğidir. Beton nemliliği hava kurusundan suya doymun hale gelinceye kadar nem içeriği değiştirilirse ultrases hızı değeri % 5 oranında artar (Bungey 1982). Bu yüzden yerinde dayanım değerleri yapılırken betonun nem içeriği de hesaplamalardan doğru değerlere ulaşabilmek için göz önünde bulundurulmalıdır. Basınç dayanımı ve ultrases hız değerleri arasındaki amprik korelasyon bağıntısı betonun yapıda bulunduğu nem içeriğinin benzeri durumlar hazırlanarak kurulmalıdır.

Diğer etkileyici faktör ise çelik donatının bulunmasıdır. Çünkü ultrases hızı çelik içerisinde, betondan yaklaşık olarak % 40 oranında daha fazla değerler verir. Sık donatılı bir betonarme elemanın ultrases hızı değeri seyrek donatılı elemandan daha büyük olacaktır. Bu durum özellikle dalgaların ilerleme yönüyle donatıların birbirine paralel olması durumunda problem çıkartır. Donatının bulunması ve yönelimi hesaplarındaki hatalar beton dayanımı hakkında yanlış yaklaşımlara sebep olabilir.

Düzeltilme faktörleri Malhotra ve Bungey (1982) tarafından önerilmiş fakat bunların güvenilirliği şüphelidir.

Ultras ses hızı ölçümleri aynı zamanda alıcı ve verici arasındaki güzergahta bulunabilecek boşluk ve çatlaklardan da etkilenir. Dalga bu devamsızlıklarda sapabilir, bu yüzden de ulaşım güzergahı ve ulaşma süresi artabilir. Beton eleman içerisindeki durum hakkında ek bir bilgi olmaksızın ultras ses hızı değerindeki düşüşler düşük basınç dayanımı gibi yanlış fikirler verebilir.

Bu yöntemde, alıcı ile verici arasındaki beton dolaşma zamanına etkir. Bu yüzden deney sonuçları normal heterojenlikteki betonlar için hassastır. Bu yüzden bu yöntemin grup içi dağılım katsayısı düşük olmaktadır. Buna rağmen, uygun sonuçlar yerinde dayanım tahminlerinde yüksek güvenilirlik anlamında fikirler verebilecektir.

2.2.5. Olgunluk derecesi

Yeni dökülmüş betonlar, içerisindeki su ve çimento mineralleri arasındaki eksotermik reaksiyonun sonucunda dayanım kazanırlar. Yeterli nemlilik durumunda, hidrasyon reaksiyonunun hızı beton sıcaklığından etkilenir. Sıcaklığın artması reaksiyon hızının artmasına neden olur. Hidrasyonun derecesi yani herhangi bir yaştaki dayanımı betonun termal geçmişinin fonksiyonudur.

Olgunluk metodu sıcaklık ve zamanın dayanım gelişmesindeki kombine etkisi için hesaplama tekniğidir. Genelde olgunluk fonksiyonu denilen betonun termal geçmişi sıcaklık ve zamanın birlikteki etkisini veren olgunluk değerini hesaplamak için kullanılır. Beton dizayn dayanımı, dayanım – olgunluk bağlantısı anlamına gelen kendi olgunluk fonksiyonu ile denir. Eğer aynı beton örnekleri farklı kür koşullarına tabi tutulursa, basınç – olgunluk bağlantısı ve termal geçişleri dayanımlarının tahmininde kullanılabilir.

Olgunluk fonksiyonu, betonun termal geçmişini olgunluk değerine dönüştüren matematiksel bir ilişkidir. Birçok fonksiyon bu ilişki için önerilmiştir. Olgunluk fonksiyonunda anahtar özellik ilişkide kullanılan sıcaklığın dayanımın gelişme hızına

etkisinin gösterilmesidir. İki tane ilişki yaygın olarak kullanılmaktadır. Birinde, dayanım gelişme hızı sıcaklığın lineer fonksiyonu olduğu kabul edilir ve Şekil 2.6'da verilen basit olgunluk fonksiyonunu oluşturur. Bu durumda herhangi bir yaştaki olgunluk betonun sıcaklık eğrisiyle T_0 sıcaklığının arasında kalan alanın miktarı kadardır. Bu alan için sıcaklık – zaman faktörü terimi kullanılır ve aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$M_{(t)} = \Sigma (T_a - T_0) \Delta t \quad (2.1)$$

Burada,

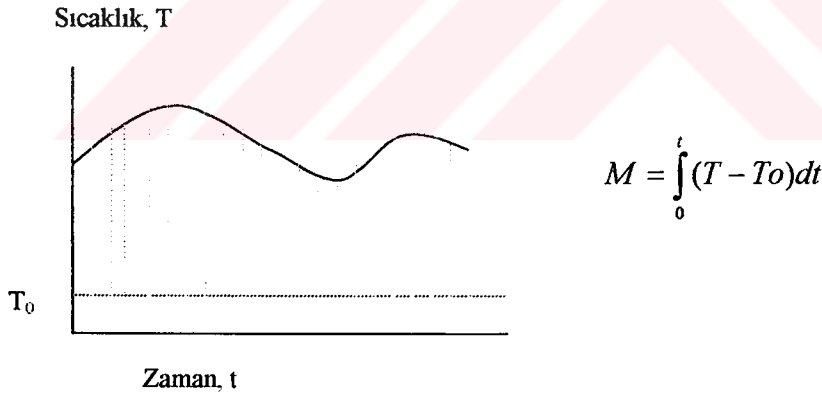
$M_{(t)}$: t yaşında sıcaklık – zaman faktörü, gün veya saat derecesinde

t :geçen süre, gün veya saat

T_a :t zamanı boyunca ortalama beton sıcaklığı

T_0 :taban sıcaklık

olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 2. 6. Dayanım kazanma hızının sıcaklıkla lineer değiştiğini kabulüne dayanan olgunluk fonksiyonu

Genellikle, taban sıcaklık -10°C kabul edilen dayanım artışının sona erdiği sıcaklığın altındadır. Aynı zamanda, taban sıcaklığı için tek bir değer kullanılması çok uygun bir yaklaşım olmayıp özel malzemeler ve beton karışımları için düzenlenmelidir. Örneğin ASTM C 1074'de, 1. Tip çimentodan yapılmış normal sıcaklığı $0 - 40^{\circ}\text{C}$ olan betonlar için taban sıcaklığını 0°C olarak belirtilmiştir. Bu standartta aynı

zamanda farklı kür koşullarında ve diğer çimento tiplerinden yapılmış betonlar için taban sıcaklıkları deneysel değerleri de verilmiştir.

Olgunluk fonksiyonu için kullanılan diğer denklemde, beton dayanım artışının sıcaklığı ile üssel olarak artmaktadır. Bu üssel fonksiyon betonun bazı özel sıcaklıklardaki “eşdeğer yaşı” hesaplamak için kullanılır. Bu fonksiyon aşağıda verildiği gibidir.

$$t_e = \sum e^{-Q\left(\frac{1}{t_a} - \frac{1}{T_s}\right)\Delta t} \quad (2.2)$$

Burada,

- t_e : belirlenmiş T_s sıcaklığı için gün ve ya saat olarak eşdeğer yaş
 Q : gaz sabiti ile bölünen aktivasyon enerjisi, Kelvin derece
 T_a : geçen t zamanı boyunca betonun ortalama sıcaklığı, Kelvin derece
 T_s : belirlenmiş sıcaklık, Kelvin derece
 t : geçen zaman, gün veya saat
olarak tanımlanmaktadır.

Bu üssel fonksiyonu kullanabilmek için aktivasyon enerjisi denilen çimento malzemesinin doğasına bağlı olan bir karakteristik değere ihtiyaç vardır. Aktivasyon enerjisi ile taban sıcaklığı arasındaki ilişki N. Carino tarafından 1984 yılında tanımlanmıştır. ASTM C 1074 1.Tip çimentodan yapılmış betonlar için. (2.2) denkleminde kullanılmak üzere 5000°K olarak verilmiştir.

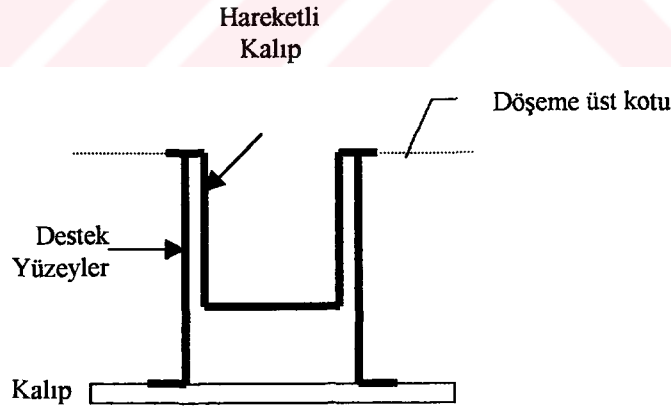
Olgunluk metodunu kullanmak için yapıda kullanılacak olan betonun dayanım – olgunluk bağıntısı kurulmalıdır. Betonun yerindeki sıcaklık geçmişi düzenli olarak takip edilmeli ve bu bilgidен yerinde olgunluk değeri (sıcaklık – zaman faktörü veya eşdeğer yaş) hesaplanır. Yerinde olgunluk değeri ve dayanım – olgunluk bağlantısı bilindiğinde betonun yerinde dayanımı hesaplanabilir. Olgunluk derecesini otomatik olarak hesaplayan aletler bulunmaktadır.

Olgunluk metodu betonun dayanım gelişimin tahmini için kullanılır. Dayanım tahmini iki önemli kabule dayanır:

- 1)hidratasyonun devamı için her zaman yeterli su bulunmaktadır.
- 2)dayanım-olgunlaşma bağlantısını geliştirmek için kullanılacak beton yapıdaki beton ile aynı olmalıdır.

2.2.6. Kalıba yerleştirilmiş silindir numune

Bu yöntem delik açmadan yeni dökülmüş döşemelerin silindirik beton numunelerini içerir. Aşağıdaki Şekil.2.7.'de görüldüğü gibi kalıbın dış tabakası tutturmak için destek bir silindir kalıp kullanılır. Dış tabaka farklı döşeme kalınlıkları için ayarlanabilir. Kalıp döşeme döküldüğünde dolar ve kalıptaki beton döşeme ile aynı kür koşullarında kalmış olur. Bu yöntemin amacı yapıdaki beton ile aynı termal geçmişe sahip olan numunelerle çalışmaktır. Betonun yerinde dayanımına ihtiyaç duyulduğunda kalıp yan yüzeylerden çekilerek sıyrılır. Silindir başlıklararak basınç testine tabi tutulur. Silindirlerin boy/çap oranı 2'den düşük olduğu zaman ölçülen basınç dayanımları düzeltme faktörleriyle düzenlenir



Şekil 2.7. Yerinde yerleştirilen silindir beton numuneler için kalıp sistemi

2.2.7. Birleşik yöntemler

Beton basınç dayanım değerinin güvenilirliğini artırmak için iki yöntemin verileri tek bir korelasyon bağıntısı ile birleştirilebilir (örneğin, beton çekici ile ultrases hızı veya penetrasyon ile ultrases hızı gibi). Ultrases hızı ile beton çekicinin kombinasyonunun doğruluğu arttırdığı belirtildiği halde bir çok uygulamada artış sadece marjinal olmaktadır (Tanigawa, Baba ve Mori 1984; Samarin ve Dhir 1984; Samarin ve Meynink 1984). Ayrıca birleşik yöntemleri kullanmak ekonomik olmadığı düşünülmektedir.

2.3. Özet

Yerinde beton dayanımın tahmininde kullanılan yöntemler, güvenilirlikleri ve yapılabirlikleri açısından bir çok değerlendirmeye tabi tutulmuşlardır. Bunlar arasından ACI-228-IR-89'da verilen değerlendirme aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 2.1 Beton Basınç Dayanımının Tayininde Yerinde Yöntemlerin Karşılaştırılması ^[6].

Deney tipi	Güvenilirlik	Uygulama kolaylığı	Doğruluk	Ekonomiklik
Beton çekici	zayıf	iyi-çok iyi	zayıf-iyi	çok iyi
Penetrasyon	iyi	iyi	iyi	zayıf-iyi
Çekip çıkarma	iyi	iyi	iyi	zayıf-iyi
Ultrases hızı	zayıf-iyi	zayıf	zayıf-iyi	zayıf-iyi
Olgunluk derecesi	iyi	çok zayıf	iyi	çok zayıf
Kalıba yerleştirilmiş silindirler	iyi	çok iyi	iyi	zayıf-iyi

Yerinde deneyler, yapıdaki beton dayanımının tahmininde karot deneylerine alternatif veya az sayıdaki karot verilerine ek olarak kullanılır. Bu yöntemler bazı dayanım bağlantılarıyla kurulan beton özelliklerinin ölçümüne dayanır. Yöntemlerin güvenilirliği yerinde deneylerden elde edilen fiziksel büyüklüklerle basınç dayanımı arasında kurulan korelasyonun derecesine de bağlıdır. Deney sonuçlarının uygun değerlendirilmesinde kullanıcı deney sonucuna etki edecek olan basınç dayanımındansa bu faktörlere dikkat etmelidir. Ek olarak yapılacak önemli araştırmalar, bu yöntemlerin basınç dayanımı ile bağlantısının nasıl olduğunu ve bu deney sonuçlarının dayanımdan başka diğer faktörlere nasıl etkilediğini açıklamalıdır.



3. BETON KAROT NUMUNE

Betondan karot numune alma, betonun yapı içindeki davranışını ve niteliğini değerlendirmek amacıyla yapılmaktadır. Karot almak taşıyıcı elemanların taşıma kapasitesini bir ölçü azaltması nedeniyle özenle yapılması gereken bir işlemdir.

Mevcut yapıların performansının değerlendirilmesinde ve betonun laboratuvar şartları dışında gerçek basınç dayanımının belirlenmesinde kullanılan karot ile aynı zamanda yoğunluk, su emme, alkali-agrega reaktivitesi, çekme dayanımı ve benzeri bilgiler de elde edilebilir.

Karot alma tahribatlı bir yöntem olması nedeniyle karot alınacak yerin, karot sayısının ve karot boyutlarının dikkatle seçilmesi gerekmektedir. Taşıyıcı elemanın taşıma gücünün performansının belirlenmesi için karot alınacaksa, taşıyıcı elemanın kuvvet ve moment gerilme değerlerinin en kritik değerlerde olacağı beklenen bölgeler seçilmemelidir. Betonun yerinde kalitesinin ölçülmesi için karot alınacak ise şantiyede dökülen betonların genel kalitesini, değişik dökümleri ve harmanları gösterecek biçimde uygun yerlerden alınmalıdır. Test sonuçları istatistiksel olarak değerlendirilmek isteniyorsa yeter sayıda karot almak gerekmektedir. Türk Standartlarına göre numune sayısı 12'den fazla ise istatistiksel değerlendirme yapılabilir. Bir çok etkeni içeren karot numune alma işleminin, güvenilir bir optimizasyon yapabilecek mühendisler tarafından yapılması gerekmektedir.

3.1.Karot Alınacak Yerin Belirlenmesi

Taşıyıcı elemanın gerilme dağılımının karot alınacak yerin seçiminde dikkat edilmesi gerektiğine değinilmiştir. Bu konuda J. H. Bungey'in ^[1] 1989 yılında yaptığı çalışmada betonarme kolon, kiriş, döşeme ve duvarlar ayrı incelemiştir. Taşıyıcı elemanın taşıma gücünü belirlemek amacıyla karot alınıyorsa en büyük kesit

ortalaması ve en düşük dayanım beklenen yerler tercih edilmektedir. Kolonda en yüksek dayanım alt, en düşük dayanım üst kısmında oluşmaktadır ^[1]. Bu konuda kolonun kendi ağırlığı nedeniyle sıkışmanın daha fazla alt bölgelerde oluşacağı ve dayanımın burada daha fazla olduğu durumlarla da karşılaşılmaktadır. Kat veya yapı içinde en çok zorlanan ve en kritik elemanlardan karot alınırken elemanın en çok zorlanan bölgesinden karot alınmamalıdır. Binanın beton kalitesini temsil eden karotlar alınıyorsa genelde taşıyıcı eleman kesitlerinin 3 katta bir değiştiği göz önünde bulundurulmalıdır. Kalite kontrolü amacıyla kolondan ve ya betonarme duvardan karot alınıyorsa ortalama beton dayanımını verebilecek bir bölge olarak, karot alma kolaylığı da göz önünde bulunarak kolon orta bölgeleri tercih edilmektedir.

Kirişteki beton kalitesini belirlemek için tarafsız eksenin altında kalan bölgesinden, taşıma gücünü belirlemek için ise tarafsız eksenin üstünde kalan bölgesinden karot alınmaktadır. Ancak eğilme gerilmesi altında olan kirişlerin çekme bölgesinden karot örneği alınmamasına dikkat edilmelidir. Bu örneklerde çekme gerilmeleri altında oluşan kılcal çatlaklar fazla olacağından örnekler kirişi yeterince temsil etmeyebilir.

Döşemelerin yüzeyleri genelde su kaybı nedeniyle kılcal çatlaklar içermektedir. Bu nedenle döşemenin üst kısmından alınacak beton karot dayanım değerleri ile döşemenin beton dayanım değerleri arasında farklılıklar olmaktadır. O nedenle döşemeden karot alındığında üst 3 – 5 cm' lik bölümü kesilip atılacak derinlikten alınmalıdır.

Karot alınacak yerin seçiminde aynı zamanda alınacak yapı elemanında bulunan donatıların konumuna da dikkat edilmelidir. Donatının sık olduğu bölgede karot almak daha zahmetli ve dayanımın doğruluğu açısından şüpheli değerler verebilmektedir. Amaç alınan karotun içinde donatı bulunmamasıdır. Bu konu 4 . Bölümde incelenmiştir.

3.2. Karot Boyutlarının Belirlenmesi

Karot boyutları çap ve λ (yükseklik / çap) ile karakterize edilen “narinlik oranı” ile gösterilmektedir. 1 ve 2 arasında değişen bu oran, daha küçük hacimli numune olarak kesite daha az zarar vermek amacıyla 1'e yakın seçilmektedir. Düşey alınmış ve $\lambda=1$ olan karot basınç dayanımı 15 cm'lik küp dayanımına karşılık gelmektedir. Karotun çapı ile betonda kullanılan en büyük dane çapı arasındaki oran en az 3:1 tercihen 4:1 olmalıdır. Karot çapı Türk ve İngiliz Standartlarında 100-150 mm. arasında değişmekte iken Avustralya Standartlarında 75 mm.'ye, Türk standartları ise 50 mm'ye kadar izin verilmektedir. Betonun fiziksel özellikleri belirlemek için karot örneği alınıyorsa 50-75 mm. çapında hatta daha küçük çaplarda da seçilebilir.

Karotun uzunluğu deney için seçilen uzunluktan daha fazla alınmalıdır. Çünkü, karot numunesi kesilip, başlıklanacaktır. Ancak, karot alma işlemi elemanın taşıma kapasitesini belirlemek için alınıyorsa gerçek dayanımı verecek olan numunenin tamamı (en zayıf bölgeleriyle) direkt deneye tabi tutulmalıdır.

Karot boyutlarının seçiminde λ narinlik oranını ve bu oranın dayanım düzeltme katsayısına etkisi Karot Basınç Dayanımına Etki Eden Faktörler kısmında incelenecektir.

3.3. Karot Sayısının Belirlenmesi

Betondan karot alma deneyi pahalı ve tahribatlı olması nedeniyle alınacak karot sayısının dikkatle seçilmesi gerekmektedir. Bu aşamada karot alma diğer tahribatsız deneylerinin kontrolünü güvenilirliğini sağlamak için yapılması durumunda örnek sayısının az olmasında bir sakınca görülmemektedir. Ancak dayanım sadece karot deneyleri ile tespit edilecekse istatistiksel anlamda yeter sayıda numune alınmalıdır.

Dayanımı belirlemek için en az 4 tane karot almak gerekmektedir. Diğer yandan, %95 güvenlikli, beton harmanından dayanımının \pm %12 gerçek dayanımı arasında değişen değerleri verebilecek olan tek bir karot örneği de alınabilir. Eğer karot örneği sayısı n artarsa dayanımdaki hassasiyet \pm %12 / $(n)^{-1/2}$ kadar artacaktır. Bu

yaklaşımın hızı $\pm \%10$ değişiminde ve $\%99$ güvenilirlikte çok daha belirgin olmaktadır. Potansiyel dayanımı tahmin etmek için deney yapılıyorsa, şüpheli harmanlardan en az alınacak olan karot numune sayısı dört olmasına rağmen, $\pm \%15$ hassasiyet gerekli olduğu için karot numune sayısı arttırılmalıdır. [3]

Diğer bir yaklaşımla karot sayısı aşağıdaki t-student dağılımı ile belirlenebilir. [5]

$n < 30$ numune sayısı için ortalamanın alt ve üst sınırları

$$\frac{X_o}{\bar{X}} = 1 - \frac{ts}{\bar{X}\sqrt{n}} \quad (3.1)$$

ile bulunur. Bu bağıntıdan alt sınır değerinin ortalama değere oranı

$$\frac{X_{min}}{\bar{X}} = 1 - \frac{ts}{\bar{X}\sqrt{n}} \quad (3.2)$$

$$\frac{X_{max}}{\bar{X}} = 1 + \frac{ts}{\bar{X}\sqrt{n}}$$

dir.

Değişkenlik katsayısı $V = s / \bar{x}$ olduğundan

$$\frac{X_{min}}{\bar{X}} = 1 - \frac{tV}{\sqrt{n}} \quad (3.3)$$

elde edilmektedir.

Burada,

t :güvenilirlik sayısına ve serbestlik derecesi (n-1)'e göre değişen student katsayısı
V :değişkenlik katsayısı
s :standart sapma
 \bar{x} :ortalama değer
n :numune karot sayısı
olarak tanımlanmaktadır.

Bu yöntemde karot sayısına göre alınacak olan t istatistiksel faktörün farklı güvenilirliklerde aldığı değerler Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Farklı güvenilirlik düzeyleri için t değerler

N	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
%90 t	3,08	1,64	1,48	1,42	1,38	1,36	1,35	1,34	1,33	1,33
%95 t	6,31	2,35	2,02	1,9	1,83	1,8	1,77	1,75	1,74	1,73
%99 t	31,82	4,54	3,36	3	2,82	2,72	2,65	2,6	2,57	2,54

Karot sayısının belirlenmesinde kullanılan diğer bir yaklaşım hata miktarı ana etken alınmaktadır.^[4] Buna göre;

$$\varepsilon = \bar{X} - X \text{ min} = ts$$

$$\varepsilon = \frac{s}{\sqrt{n}} t$$

(3.4)

olup burada,

ε :hata miktarı
s :standart sapma değeri
olarak tanımlanmaktadır.

Arioğlu'ların^[5] bu konuda yaptığı çalışmada, karot sayısının artmasıyla ϵ hata oranı azalmaktadır. Bu konuda Greig 1988 yılında yaptığı çalışmada 6 adet karot sayısına göre %10 değişkenlik katsayısı ile alındığında teorik olarak alt sınır değeri ortalama değerinin % 85'i olarak tespit edilmiştir.^[2]

ACI 228 nolu komitesinde belirtilen başka bir yöntemle göre de (3.5) 'te verilen eşitlik kullanılmaktadır.

$$\frac{nk}{ns} = \left(\frac{Vk}{Vs} \right)^2 \quad (3.5)$$

Burada,

n_k : karot sayısı

n_s : standart (laboratuvarda dökülmüş, sıkışma ve kür koşullarını sağlayan) silindir numune sayısı

V_k : karot deneylerinin değişkenlik katsayısı

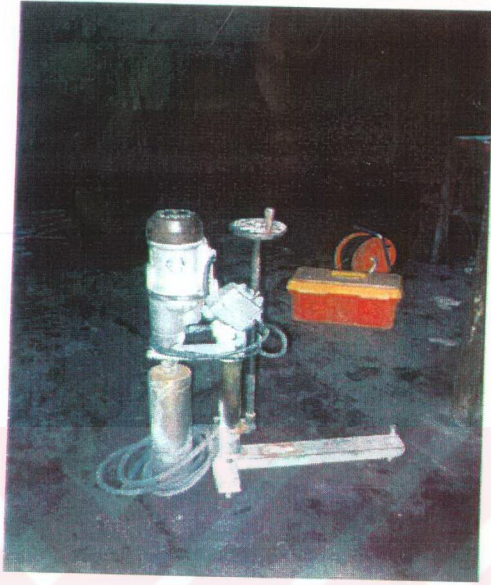
V_s : standart silindir numunelerinin değişkenlik katsayısı

olarak tanımlanmaktadır.

V_s değeri ise genelde % 3- 6 arasında değişmektedir. V_k değeri için bu yayında % 5 değeri önerilmektedir. Bu durumda laboratuvardaki standart silindir numunelerindeki güven derecesini gerçekleştirmek için 3 tane karot numunesi almak gerekmektedir. Ancak bu değişkenlik derecelerinde beton üretmek ve şantiyede bu değerleri yakalayabilmek çok zordur.

3.4. Karot Alma İşlemi

Deneyler, döküm yönüne dik yönde alınmış karot numunelerinin basınç dayanımının, paralel yönde alınmış karot numunelerine göre daha yüksek değerler verdiğini göstermiştir. Ancak yüksek dayanımlı betonlarda karot alma yönünün basınç dayanımına etkisi olmadığı ifade edilmektedir^[3].



Şekil 3.1. Karot alma aleti



Şekil 3.2. Alınmış karot numune

Kesme işlemi 75 mm. karotlara kadar elle kontrol edilebilen elmas uçlu döner başlıklı makinelerle yapılmaktadır. Hava ve ya su soğutmalı kesme makineleri elektrik, fueloil veya hava motoru ile çalışmaktadır. Düzgün bir karot numunesi çıkarabilmek için makine yapı elemanına sağlam, oynamayacak şekilde tespit edilmelidir.



Şekil 3.3. Karot alınmış kolon.

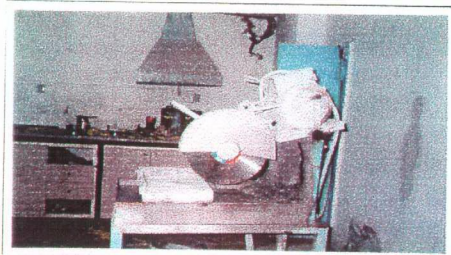
Karot alım işleminden hemen sonra karot izleme formu doldurulmalıdır. Karot numarası ve üst yüzeyi numunenin üzerine okunaklı ve kalıcı bir şekilde yazılmalıdır. Karot izleme formunda bulunması gereken bilgiler aşağıda liste halinde verilmiştir.

- Karot numarası
- Karot alım tarihi
- Karot alınan yer
- Karot alınan müşteri veya şantiye adı
- Karot alınan makine cinsi
- Karot alan teknisyenin adı

- Karot alınan taşıyıcı elemanın tanımlanması (kat, kot, eleman no veya aksları ...) ve görsel özellikleri
- Karot çap ve yüksekliği
- Karot delme yönü
- Karot şekli
- Varsa karotta bulunan donatıların adet, çap ve ara mesafeleri
- Karot alınan yerin nemlilik durumu
- Ek Bilgiler
- Karotun dış görünüşü (boşluk durumu, midye kabuğu, çatlak...)
- Karot yüzeyinde bulunan boşluklar
- Temin edilebilirse beton karışım bilgileri
- Karot numunesinin fotoğrafı

3.5. Alınan Karotların Deneye Hazırlanması

Alınan karotların agrega özellikleri, donatı özellikleri, çatlak ve boşlukları incelenir. λ narinlik oranının izin verdiği ölçüde varsa donatının ve ince çatlakların bulunduğu kısımlar atılmaya çalışılır. Bu bölgeler, gerçek dayanımın bulunmasını engellemesine rağmen λ oranının 2'den küçük olmasına dikkat edilmelidir. Bu değer 1,2 civarında olması tavsiye edilmektedir ^[6]. Karot çapı ve yüksekliği simetrik ölçümlerin ortalaması olarak alınır ve λ hesaplanır. Ölçümlerin duyarlılığı ± 1 mm. içerisinde olmalıdır.



Şekil 3.4. Karot Kesme Aleti

Karotun deneye tabi tutulabilmesi için başlık yapılması gerekmektedir. Kullanılacak olan başlık ucuz, kolay uygulanabilen ve hızlı deney yapma olanağını sağlayan çabuk sertleşebilen bir malzeme olması gerekmektedir. Bu özelliklere uygun olarak %70 kükürt ve %30 ince kumdan yapılan ve ya yüksek alümin içerikli çimento harçları kullanılmaktadır. Kükürtlü başlık yapımından 2 saat, yüksek alümin içerikli başlık yapımından 1 saat sonra deney yapılmaktadır. Kükürt karışımı başlık yapımı sık rastlanmaktadır. Başlık kalınlığı alt ve üst kısımlarda 1,5-3 mm. arasında yapılır.



Şekil 3.5. Başlıklanma işleminden önce ve başlıklanmış karot numuneleri

Yoğunluğu belirlenmiş olan karotlar doygun yüzey kuru haldeyken basınç deneyine tabi tutulur. Kuru halde olan karotların dayanımı aynı betonun suya doygun haldeki gerçek dayanımından yaklaşık olarak %15 daha az olması beklenir.

3.6. Beton Karotların Basınç Deneyi

Basınç deneyi, yükleme hızı 12-24 N/mm² arasında olan ve sabit hızlı bir pres ile yapılmalıdır. Kırılma süresi de basınç deneyi sırasında kaydedilmelidir.

Karotlarda, kırılmadan önce yan yüzeylerinde genelde çapraz çatlaklar görülür. Karot daha sonra orta noktasından mafsallaşarak basınç-kayma kırılma moduna göre kırılırlar. Eğer kırılma sırasında boyuna ya da enine çatlaklar ve ya bir bölgede

yoğunlaşan çatlaklar görülüyorsa karot alımında veya deneyde hata yapıldığı anlaşılmaktadır. Karotların tahrip edilmiş halde veya hatalı boyutlarda olması bu duruma neden olabilir. Aynı zamanda yanlış başlık kullanımı, karotun su içerisinde uzun süre kalması, hatalı yükleme durumları yanlış değerler bulunmasına neden olmaktadır.

Karotun basınç dayanımı aşağıdaki formülle bulunmaktadır.

$$f_k = \frac{P_k}{F} = \frac{P_k}{0,785 d^2} \quad (3.6)$$

Burada,

f_k : karot dayanımı, N/mm² , kgf/ cm²

P_k : kırılma yükü, kN, kgf

F : karot kesit alanı, mm² , cm²

d : karot çapı, mm, cm

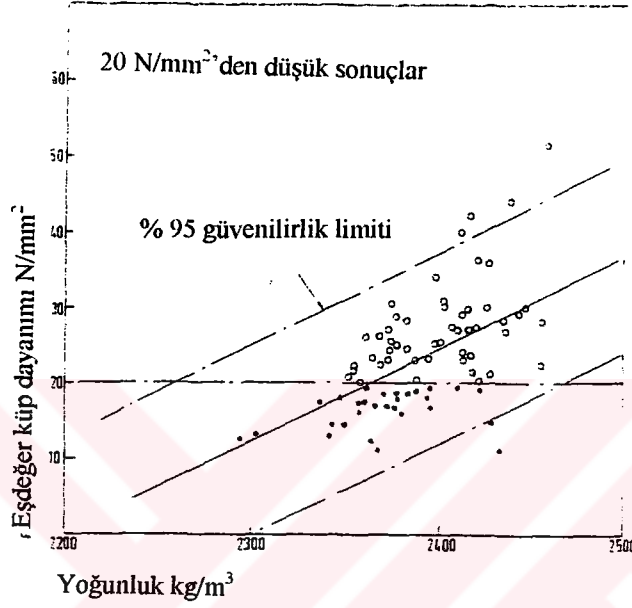
olarak tanımlanmaktadır.

Yükleme hızı ve karotun suya doygun ve ya kuru halde deney yapılması sırasındaki dayanım farklılıkları, P. J. E. Sullivan'ın yapmış olduğu bir çalışmada görülmektedir.^[31] Yüksek Alüminli çimentolu betondan ön germeli ve prefabrik olarak üretilmiş kiriş normal Portland çimentolu ile yerinde dökülmüş betondan imal edilmiş betonarme kirişlerden alınan karotlar farklı yükleme hızlarında basınç deneyine tabi tutulmuştur. Aynı zamanda bu karotların bir kısmı 28 günlük periyodunu 50°C su tankında, ikinci grup karotlar ise 20°C su tankında suya doyurulmuştur. İkinci gruptaki karotlar en az 7 gün suya doyurulmuştur. Günlük olarak numuneler ultrases hızı cihazıyla test edilmiş ve birim ağırlıkları ölçüldüğü belirtilmiştir.

Sullivan bu çalışmasında karot dayanımlarından eşdeğer küp dayanımlarına geçmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

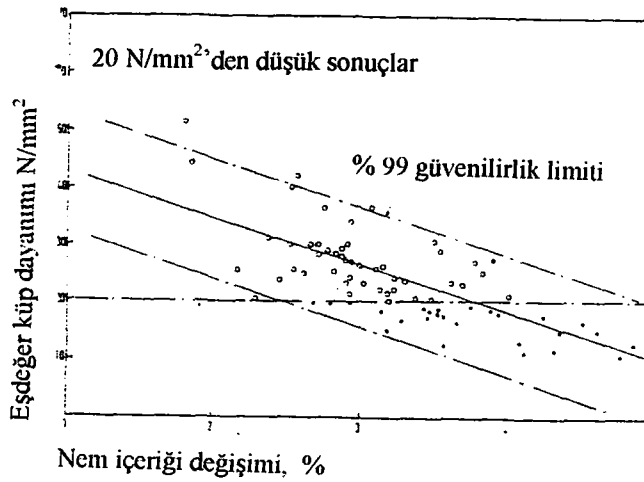
- Yükleme hızı arttıkça genel olarak dayanım artmaktadır.

- Karotlar kuruduktan sonraki birim ağırlıkları arttıkça betonun basınç dayanımı da artmaktadır. Buradan da yüksek dayanımlı betonların yüksek birim ağırlıkta olmasının ve bunda da sıkıştırmanın beton performansına olumlu etkisi görülmektedir.



Şekil 3.6. $\lambda > 0,8$ olan karotların eşdeğer küp dayanımlarının birim ağırlıkla olan ilişkisi

- Nem içeriğinin arttıkça karotların basınç dayanımı düşmektedir. Buradan düşük porozitede olan betonların yüksek dayanım vereceği görülmektedir.



Şekil 3.7. $\lambda > 0,8$ olan karotların eşdeğer küp dayanımlarının 24 saat içerisindeki nem içeriği değişimi ile olan ilişkisi

3.7. Beton Karotunun Dinamik Elastisite Modülünün Bulunması

Dinamik elastisite modülü karot örneği üzerinde yapılan ultrases hızı ölçümleri ile belirlenir. 100 mm'den küçük olmayan karotların ultrases hızı değerlerinde nem içeriği ve kullanılan agreganın jeolojik özellikleri etkilidir. Ölçüm yapılacak yüzeyin orta noktasına yüzeye tam temas etmiş alıcı ve verici yerleştirilir. Karot boyu, alıcıdan gönderilen sesin vericiden alınması arasında geçen süreyle bölünerek boyuna basınç dalga hız değerleri (V) hesaplanır.

$$V = \frac{l}{t} \quad (3.7)$$

Burada,

- V : boyuna basınç dalga hızı
l : alıcı-verici arasındaki mesafe
t : geçiş süresi
olarak tanımlanmaktadır.

Boyuna basınç dalga hızı değeri ile betonun dinamik elastisite modülü arasında aşağıdaki bağıntılar vardır.

$$E_d = \frac{\gamma}{K} V^2 \quad (3.8)$$

$$K = (1-\nu) / (1+\nu)(1-2\nu) \quad (3.9)$$

Burada,

- E_d : Elastisite modülü, kN/mm²
 γ : Betonon birim ağırlığı, N/ mm³
 ν : Poisson sayısı
olarak tanımlanmaktadır.

Elde edilen ultrases hız ölçüm değerleri ile beton dayanımı arasında regresyon bağıntıları kurulmuştur.^[5] Buna göre,

$$f = A e^{BV} \quad (3.10)$$

$$f = A V^B \quad (3.11)$$

$$f = A V^4 \quad (3.12)$$

olmaktadır.

Karot içinde bulunabilecek olan donatılar ultrases hızı değerini değiştirmektedir. Bunun için donatısız olan karotları kullanmak önerilmektedir. Ancak zorunlu durumlarda düzeltme faktörü ile düzeltilmiş değerler kullanılmalıdır. Bungey'in 1989 yılındaki çalışmasında vermiş olduğu aşağıdaki bağıntılarda bulunan düzeltme faktörü kullanılabilir.

$$\log_e \frac{f_s}{f_y} = Kfs (V_1 - V_2) \quad (3.13)$$

Burada,

f_s : standart kür edilmiş küp numunenin 28 günlük basınç dayanımı, N/mm²

f_y : yerinde beton dayanımı, N/mm²

V_1 : standart numunenin ultrases hız değeri, km/sn

V_2 : yerinde dayanımı ölçülen numunenin ultrases hız değeri, km/sn

K : sıkıştırmaya bağlı faktör

olarak tanımlanmaktadır.

3.8. Karotların Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

Beton karotlarının fiziksel özellikleri ile mekanik verilerin (basınç, çekme, eğilme dayanımları ve elastik modülleri) yanı sıra elde edilen deneysel veriler olan birim ağırlık, özgül ağırlık, doluluk oranı, geçirimsizlik, su emme ve kılcallık katsayısı gibi büyüklükleri de söz konusu olmaktadır. Bu değerlerin korelasyonu ile bilinen fiziksel büyüklüklerden dayanım değerine de ulaşılabilir.

Karotun kuru birim ağırlığı, karotun kuru ağırlığının (M_k) toplam hacmine (V) oranıdır. Aynı şekilde ıslak birim ağırlığı, ıslak haldeki ağırlığının (M_d) toplam hacmine oranıdır.

$$\gamma_k = M_k / V \quad (3.14)$$

$$\gamma_s = M_d / V \quad (3.15)$$

Özgül ağırlık ise karot kuru ağırlığının (M_k) doygun haldeki (V_d) hacmine oranıdır.

$$\rho = M_k / V \quad (3.16)$$

Karot birim ağırlığı arttıkça beton basınç ve çekme dayanımları ile elastisite modülü artmaktadır. Bu nedenle yüksek dayanımlı ve yüksek birim ağırlıklı agregalar beton üretiminde kullanılmalıdır. Bu paralellik agreganın jeolojik özelliklerine göre değişebilir.

Su emme oranı karotun emdiği suyun ağırlığının ($M_s - M_k$), kuru karot ağırlığına (M_k) oranıdır.

$$w_a = (M_s - M_k) / M_k \quad (3.17)$$

Betonun birim ağırlığı arttıkça su emme oranı azalacaktır. %3-5 arası su emme oranı beton için normal olarak kabul edilen değerdir. Buradan su emme değeri yüksek olan beton karotların basınç dayanımının düşük olacağı görülmektedir.

Boşluk oranı karot içindeki boşlukların hacminin (V_b) toplam hacime (V) oranıdır.

$$n = V_b / V \quad (3.18)$$

Boşluk oranı arttıkça karot basınç dayanımının düşeceği bilinmektedir.

Geçirimsizlik t (cm) kalınlığındaki beton numunesinden su sütunu cinsinden uygulanan P su basıncında 1 cm^2 'lik bir alandan 1 saniyede geçen su miktarına (q) oranıdır.

$$k = q / (P/t) \quad (3.19)$$

Karot numunesinin kılcallık katsayısını belirlemek için kuru bir karotun alt yüzeyi su yüzeyi ile temas halinde t süresince bırakılarak su emme miktarı tespit edilir. Buradan kılcallık katsayısı,

$$q^2 = K*t \quad (3.20)$$

formülündeki K katsayısıdır.

Kılcallık katsayısı ve boşluk oranı arttıkça beton karot numunesinin beton basınç ve çekme dayanımı dolayısıyla da elastisite modülü düşmektedir.

3.9. Karotların Karbonatlaşma Derinliği

Karbonatlaşma olayı, priz ve sertleşme aşamasında ortamdaki karbondioksitin kalsiyum hidroksit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ile reaksiyona girerek beton içerisindeki boşluklarda kalsiyum karbonat (CaCO_3) çökelleri oluşturması olayıdır. Karbondioksitin asit karbonik şekilde süzülmesi durumunda betonda rötire oluşur. Bu büzülme %50 –60 bağıl nem ortamında en yüksek değerlerine ulaşır.



Karbonatlaşma olayı, karbonatlaşma derinliği ile ifade edilir. Bu büyüklük,

$$d = K\sqrt{t} \quad (3.22)$$

- d : üst yüzeyden ölçülen karbonatlaşma derinliği, mm
K : karbonatlaşma katsayısı , mm/ $\sqrt{\text{yıl}}$
t : karotun yaşı

ile ifade edilir.

Dış ortam koşullarına ve betonun karakteristik dayanımına göre değişen K katsayısının değeri ile ilgili olarak bir çok çalışma yapılmıştır.

Karotlar üzerinde karbonatlaşma derinliği ölçümünde karot yüzeyi pH'a duyarlı bir malzeme püskürtülür. Ayırıcı malzeme olarak fenolftaleyn kullanılıyorsa açık renkli olarak kalan bölgenin derinliği ölçülür. Bu bölgede daha yüksek alkali özellik yani karbondioksitin nüfuz etmesi görülür.

4. KAROT BASINÇ DAYANIM DEĞERİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Karot numunesinin basınç dayanımı değerine, karotun ve numunenin alınması sırasındaki bazı özelliklerinin değiştirici etkileri olmaktadır. Bu etkenlerin her biri değişik fonksiyonların sonucu olan düzeltme faktörleri ile basınç dayanımına etkir.

Bu faktörler aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Karot çapı
- Karot narinlik oranı
- Karot numunesinin örselenme durumu
- Karot alma yönü
- Betona uygulanan kür koşulları
- Karot numunesinin nemliliği
- Karot içerisindeki boşluk oranı
- Karot içinde bulunan donatı

4.1. Karot Çapı

Alınan karotun çapı beton basınç dayanımının hesaplanması sırasında direkt kullanılan bir özelliktir. Bu yüzden karot çapı seçimi ve bunla ilgili düzeltme faktörleri özenle seçilmelidir. Şartnamelerin verdikleri değerlere Bölüm 5'te değinilmiştir. Türk Standardı 100 mm veya 150 mm çapındaki karot numunelerinin basınç dayanımını, kenar uzunluğu 200 mm olan standart küp basınç dayanım değerine eşit kabul etmektedir. Aynı zamanda bazı durumlarda alınmak zorunda kalınan 50 mm çapındaki karot numunelerinin basınç dayanımı 0.9 katsayısı ile çarpılarak eşdeğeri kenarları 200 mm olan standart küp basınç dayanımı elde edilir

Karot çapı, beton içerisinde bulunan agrega en büyük dane çapına bağlı olarak seçilir. Standartlar karot çapının kullanılan en büyük dane çapının üç katından büyük olması zorunluluğu getirir. Karot numunelerinin standart sapması karot çapı, maksimum agrega çapı ve karot dayanımı ile değerlendirilirse; değişmeyen

maksimum agrega çapında standart sapma büyüklüğü karot çapı küçüldükçe artmaktadır. Standartlarda karot çapına ilişkin düzeltme katsayıları yerine narinlik oranına bağlı düzeltme katsayıları kullanılmaktadır. Ancak Barlett – MacGregor’un aynı betondan aldığı numunelerde yaptığı çalışmalarda belirtilen farklı karot çaplarına ilişkin düzeltme faktörleri ve önerilen değişkenlik katsayıları Tablo 4.1’de verilmiştir. Buradan da anlaşılacağı gibi uygun olan karot çapı 100 mm’ dir. Karot çapı küçüldükçe düzeltme katsayısının değeri artmaktadır. Mikro karot uygulamalarının değişkenlik katsayıları standart küpün değişkenlik katsayılarına oranla çok daha fazladır (Yaklaşık olarak mikro karotların (çapı 28 mm) değişkenlik katsayısı standart küp numunelerin değişkenlik katsayısından 6 kat daha fazladır (Indelicato, 1993)).

Tablo 4.1. Farklı karot çapları için düzeltme faktörü ve değişkenlik katsayıları (Barlett, MacGregor, 1995)

Karot Çapı (mm)	Düzeltilme Faktörü K_d	Değişkenlik Katsayısı (%)
50	1,06	11,8
100	1	0,0
150	0,98	1,8

4.2. Karot Narinlik Oranı

Beton karot numunesinin boy/çap oranı beton basınç deneyinde kırılma yüküne etkiyen bir faktördür. Kısa numuneler, test cihazının yanıl uzamalara izin vermemesinden dolayı, daha büyük yüklerde kırılır. Genel olarak narinlik oranı 2 olan numunelerde bu yanıl deformasyonların deney sonucunu etkilemeyecek düzeyde kaldığı kabul edilmektedir.

Uygulamada standart silindir (narinlik oranı 2 olan) numuneler yerine kısa örnekler almak, kısa zamanda delme işleminin tamamlanması, kolay taşınabilir olması nedeniyle ve özellikle elemana az zarar vermek için tercih edilmektedir. Böyle durumlarda bulunan karot basınç dayanımının belli bir düzeltme katsayısı ile hesaplanması gerekmektedir. ASTM dört farklı narinlik oranı için düzeltme

hesaplanması gerekmektedir. ASTM dört farklı narinlik oranı için düzeltme katsayıları vermiştir (Tablo 4.2). İngiliz standardında ise hem karot narinlik oranına hem de karot alım yönüne bağlı olarak değişen bir düzeltme katsayısı vardır. Bu katsayısı aşağıda verilen Denklem 4.1.'deki gibidir.

$$\frac{D}{1,5 + 1 \lambda} \quad (4.1)$$

- λ :narinlik oranı, l/d
D :karot alım yönüne bağlı katsayı
D=2,3 düşey alınmış karotlar
D=2,5 yatay alınmış karotlar

Tablo 4.2. ASTM C 42'de verilen narinlik dayanım düzeltme faktörleri

ASTM C 42 yayım yılı	Numunenin yükseklik/çap oranı. l/d			
	1.0	1.25	1.5	1.75
C 42-1927	0,85	0,94	0,95	0,98
C42-1949	0,85	0,94	0,96	0,98
C42-1961	0,89	0,94	0,96	0,98
C42-1968	0,91	0,94	0,97	0,99
C42-1977, 1990 ve 1994	0,87	0,93	0,96	0,98

Narinlik oranı düzeltme faktörünü temsil etmesi için geliştirilen matematiksel modellerden biri de Barlett ve MacGregor'un 1995 yılında verdikleri ve değişik kür şartlarını da göz önünde tutan set formülleridir. Bunlar,

$$\text{Islak kür edilmiş} \quad 1 - \{ 0,117 - (4,3 \times 10^{-4}) f_c \} (2 - \lambda)^2 \quad (4.2)$$

$$\text{Atmosferde bırakılmış} \quad 1 - \{ 0,144 - (4,3 \times 10^{-4}) f_c \} (2 - \lambda)^2 \quad (4.3)$$

Barlett ve McGregor aynı çalışmalarında düzeltme faktörünün etkisi yüksek dayanımlı betonlarda azaldığını, beton basınç dayanımı arttıkça düzeltme faktörü 1'e yaklaştığını yazar. EN206 Avrupa Beton Standardında küp↔silindir ilişkisi aşağıdaki Tablo 4.3'te verilmiştir. Buradan da görüleceği gibi BS70'lere kadar küp/silindir numunelerin basınç dayanım değerleri arasındaki oran 1,20-1,25 mertebesindedir. Deney yapmadan önce kür edilmiş betonların düzeltme faktörü havada bekletilmiş numunelerinkine göre değeri çok düşük de olsa azalmaktadır. Yapılan çalışmalarda narinlik oranı 2 ve 1 olan karotların basınç dayanımlarının değişimlerinde bir farklılık görülmemiştir ^[15].

Tablo 4.3. Beton sınıflarının karakteristik silindir ve küp dayanımları

Beton Sınıfı	Minumum karakteristik silindir dayanımı N/mm ²	Minumum karakteristik küp dayanımı N/mm ²	Küp/silindir basınç dayanım oranı
BS8	8	10	1,25
BS12	12	15	1,25
BS16	16	20	1,25
BS20	20	25	1,25
BS25	25	30	1,20
BS30	30	37	1,23
BS35	35	45	1,29
BS40	40	50	1,25
BS45	45	55	1,22
BS50	50	60	1,20
BS55	55	67	1,22
BS60	60	75	1,25
BS70	70	85	1,21
BS80	80	95	1,19
BS90	90	105	1,17
BS100	100	115	1,15

4.3. Karot Numunesinin Örselenme Durumu

Karot numunesi alınırken yapılan delme işlemi sırasında kesilen agregalar nedeniyle bazı ayrılmalar olabilmekte ve bu da karot basınç dayanımını etkilemektedir. Alınan karotla aynı narinlik ve çapta dökülmüş silindir numunelere göre basınç dayanımı düşük olmaktadır. Araştırmalar örselenme ile ilgili düzeltme faktörünü 1,06 olarak tespit etmiştir ^[15].

4.4. Karot Alma Yönü

Karot numunesinin heterojenliği beton döküm yönünden etkilenmektedir. Sadece karot alım yönü değişken alındığında, yatay alınmış karotların basınç dayanımı düşey alınmış olanlarınkine göre % 7 – 12 daha azdır^[16]. Karot alma yönü İngiliz Standartlarında denklem (4.1) de verilen D değerinde görülmektedir. Yatay alınmış karotlarda 2,5 olan bu değer düşey alınmış olanlarda 2,3'tür. Buradan da anlaşılacağı gibi düşey alınmış bir karot numunesi için düzeltme faktörü 1,09 olacaktır.

4.5. Betona Uygulanan Kür Koşulları

Beton üretiminden sonra uygun şartlarda kür edilmesi durumunda basınç dayanımı üzerindeki olumlu etkisi bilinmektedir. Beton yapıda kuru havada kaldığından yerinde yapılan deneylerle laboratuvarında dökülmüş aynı betonun numunelerinin basınç dayanımı arasında % 50'ye varan farklılık olabilir. Aynı şekilde beton numunelerin test edilmeden önceki nemlilik durumu da basınç dayanımını etkilemektedir. Yerinde deneylerin amacı yapıdaki mevcut betonunun dayanımını tespit etmek olduğuna göre karot numunelerinin alımından test edilme aşamasına kadar geçen süredeki kür koşulları yapı ile benzer olmalıdır.

4.6. Karot Numunesinin Nemliliği

Beton numunelerinin nem içeriğinin beton basınç dayanım değerine direk etkisi vardır. Aynı şekilde tamamen suya doymuş karotlar ile kuru ortamda kür edilmiş karotlara göre basınç dayanımı %10 – 15 düşük olmaktadır (Bungey, 1989). Barlett

ve MacGregor'un 100 mm çapındaki karotlarda yaptığı çalışmalar sonucunda %40 – 60 rutubet ortamında 7 gün kuru olarak kür edilmiş karot numunesinin basınç dayanımı, en az 40 saat kirece doyurulmuş suda bekletilen numunelerin basınç dayanımından %15 fazla olmaktadır. Karot numunesi alındıktan sonra hiçbir kür uygulanmadan test edilirse ıslak numuneye göre % 9 daha fazla basınç dayanımı vermektedir.

4.7. Karot İçerisindeki Boşluk Oranı

Betonun iyi sıkıştırılmaması sonucu oluşan fazla boşluk oranları yoğunluk deneyi yapılarak belirlenebilir. Ancak İngiliz standartları fazla boşluk oranları ile ilgili düzeltme faktörlerini karot yüzeyine bakılarak verilen referans resimlerin karşılaştırılması ile yapar.

4.8. Karot İçinde Bulunan Donatı

Karot numunelerinin içinde donatı bulunmaması gerekmektedir. Ancak donatı bulunması durumunda düzeltme faktörü ile bulunan basınç değeri düzeltilmelidir. İngiliz Standartlarının verdiği donatı düzeltme faktörleri yaygınca kullanılmaktadır. Bu faktörlerin bulunan donatı miktarına göre değişimi Bölüm 3'te incelenmiştir.

4.9. Karot Basınç Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Karot alma işleminin amacı mevcut betonun yerinde dayanımının ölçülmesidir. Yerinde küp veya silindir basınç dayanımı şeklinde ifade edilen bu değer, standart numuneye kıyasla standart boyutları olan ancak standart sıkışma ve kür koşullarını taşıyabilen büyüklüklerdir. Türk standardı karot numunesinin yukarıda belirtildiği gibi düzeltme faktörleri vermemekle birlikte karot numunesinin öngörülen beton dayanımının en az % 85'ini sağlaması gerektiğini yazar. Bu da karot numunesinin beton basınç dayanımında yaklaşık olarak 1,176 değerinde bir düzeltme faktörüne karşılık gelir. İngiliz ve Amerikan Standartları bu durumu karot basınç dayanımlarında değerlendirir. İngiliz literatürlerinde standart laboratuvar koşulları

(yerleştirme, sıkıştırma, kür) için gerekli düzeltmelerden sonra elde edilen basınç dayanımına “potansiyel dayanım” denmektedir.

İngiliz Standartlarının yaklaşımında karot alım yönüne bağlı olarak iki denklem verilmiştir. Düşey alınmış donatı bulunmayan karot numunesinin 150 mm küp dayanımı cinsinden beton yerinde dayanımı Denklem (4.4) ile hesaplanabilir.

$$f_{y,küp} = K_{\lambda} K_{\delta} K_s K_{do} K_f f_{\lambda} \quad (4.4)$$

Burada,

$f_{y,küp}$: 150 mm küp cinsinden yerinde basınç dayanımı

K_{λ} : narinlik oranı düzeltme faktörü $K_{\lambda} = 2 / (1 + 1/\lambda)$

K_{δ} : örselenme düzeltme faktörü $K_{\delta} = 1,06$

K_s : standart silindirde ayrışma nedeniyle düzeltme faktörü

Ayrışma varsa $K_s = 0,869$

Ayrışma yoksa $K_s = 1$

$$1 + 1,5 \frac{\sum \phi_{\tau d}}{\phi_{c1}}$$

K_{do} : donatı düzeltme faktörü

K_f : küp / silindir çevirme çarpanı $K_f \cong 1,25$

λ : narinlik oranı

f_{λ} : λ narinliğine sahip karotun basınç dayanımı

olarak tanımlanmaktadır.

$f_{\lambda,d}$ kırılma yükünün preste okunan değerinden elde edilir.

$$f_{\lambda,d} = \frac{P_k}{A} = \frac{P_k}{0,785 d^2}$$

(4.5.)

P_k : kırılma yükü

A : karot kesit alanı

Yatay alınmış karotlarda ise denklem aşağıdaki şekilde kurulmuştur.

$$f_{y, küp} = f_{y, küp} (düşey) \times K_y \quad (4.6)$$

K_y : karotun yatay alınması ile ilgili düzeltme faktörü $K_y=1,08$

Betonun yerinde silindir basınç dayanım değeri için Barlett ve MacGregor'un 1995 yılında verdiği denklem (4.7) kullanılabilir. Bu denklemi kullanarak standartlarda verilen karakteristik silindir dayanımları elde edilirken numunenin nemlilik durumu da göz önüne alınır.

$$f_{y, sil} = K_\lambda K_d K_\delta K_{do} K_k f_\lambda \quad (4.7)$$

Burada,

$f_{y, sil}$: silindir numune yerinde basınç dayanımı

K_λ : narinlik oranı düzeltme faktörü

Islak kür koşullarında $K_\lambda = 1 - \{ 0,117 - 4,3(10^{-4}) f_\lambda \} (2 - 1/\lambda)^2$

Hava kürü koşullarında $K_\lambda = 1 - \{ 0,144 - 4,3(10^{-4}) f_\lambda \} (2 - 1/\lambda)^2$

K_d : karot çapı düzeltme faktörü

d=50 mm için $K_d = 1,06$

d=100 mm için $K_d = 1,00$

d=150 mm için $K_d = 0,98$

K_δ : örselenme düzeltme faktörü $K_\delta = 1,06$

K_{do} : donatı düzeltme faktörü

Bir adet donatı için $K_{do} = 1,08$

İki adet donatı için $K_{do} = 1,13$

K_k : kür şartları için düzeltme faktörü

Islak kür $K_k = 1,09$

Havada kür $K_k = 0,96$

olarak tanımlanmaktadır.

4.10. Değerlendirme

Yukarıda verilen denklemler içerisinde karotun tüm dış etkenlerini de değerlendirerek İngiliz Standardının gelişmiş hali olan Barlett-McGregor denklemi (4.7) daha sağlıklı görünmektedir. Ancak bu yaklaşımın geçerliliği seri deney sonuçları ve bu sonuçların karşılıklı korelasyonu ile belirlenebilir.

İlgili Türk Standartlarında verilen ve yukarıda belirtilen yaklaşım karot dayanım sonuçlarının doğruluğundan çok % 85 güvenilirlik derecesi ile sorgulanmalıdır. TS10465 dışındaki ilgili Türk Standartlarındaki hesaplamalar ve bilgiler %95 güvenilirlik derecesinde verilmiştir. Kuşkusuz bu farklılık tasarım içerisinde kullanılacak karot basınç dayanımı ile ilgili şüpheler uyandıracaktır.



5. BETON KAROT ALIMI İLE İLGİLİ TÜRK STANDARTI VE DİĞER STANDARTLARLA KARŞILAŞTIRILMASI

Sertleşmiş betondan numune alınması ve bu numunelerin beton basınç dayanımının belirlenmesi için hazırlanmış olan TS 10465^[8] aşağıda anlatılmış ve BS, ASTM standartları ile karşılaştırılmıştır.

Türk Standartları'nda belirtildiği gibi bir yapı veya yapı elemanına ait beton kalite kontrolü taze beton halinde iken yapılmamış, mevcut veriler yetersiz ise veya yapı elemanında dayanım hakkında şüphe uyandıracak durumlar (çatlaklar, kısmi yıkılma, doğal don hasarları) söz konusu ise tahribatlı deney metodu veya tahribatsız ve tahribatlı deney metotları birlikte uygulanmaktadır.

5.1. Beton Yaşı

TS 10465'e göre tahribatlı deney metodu yalnızca sertleşmiş beton üzerinde yapılabilir. Sertleşmiş beton –bu standarda göre- beton imal yaşı 28 gün olan beton demektir. Ancak karot alımı için beton dökümünden sonra 14 gün bekleme zorunluluğu da getirilmiştir. İlgili BS 1881^[9] standardında imal yaşı belirtilmemekle birlikte dayanım kazanmış betonda uygulanmakta denilmektedir. ASTM C42^[10] Amerikan Standardına göre ise imal yaşı en azından 14 gün olan betonlardan karot alınabilir denmektedir.

5.2. Ölçüm Yerlerinin Sayısı, Numune Sayısı

TS 10465'te numune sayısı TS 500 Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları Standardında^[7] belirtilen nitelik kontrolü için gerekli deney numune sayısına bağlı olarak tespit edilmiştir. Bu değerler için baz alınan yapıda bulunan beton miktarıdır. Deney numune sayısı (N), TS 500'de belirtildiği gibi her 50 m³ 'lük beton imalatından alınması gereken numune sayısı olan en az 3'tür.

Eğer yapının bir katında kullanılan beton hacmi 50 m^3 'den az ise yine en az 3 numune almak gerekmektedir. BS 25'den daha yüksek dayanımlı beton kullanılıyorsa alınacak numune sayısı en az 6 olmaktadır.

Ölçüm yerlerinin sayısı (n) alınan karot numunesinin çapına, beton içerisindeki agreganın en büyük dane çapına ve karakteristik beton dayanımına bağlı olarak değişmektedir. Aşağıdaki Tablo 5.1 'de verilen ölçüm yeri sayısı TS 10465 te öngörülen değerlerdir.

Tablo 5.1 Sertleşmiş Betondaki Ölçüm Yeri Sayısı (n)

Alınan Karot Çapı	Maksimum Dane Çapı $D_{(max)}$	Minimum Ölçüm Yeri Sayısı (n)	
		Basınç Dayanımı < 30 N/mm^2	Basınç Dayanımı $\geq \text{BS30}$
$D \geq 100 \text{ mm}$	$> 32 \text{ mm}$	$n \geq 3$ (n>N)	$n \geq 6$
$D < 100 \text{ mm}$	$\leq 16 \text{ mm}$	$n \geq 6$ (n>2N)	$n \geq 12$
$D < 100 \text{ mm}$	$> 16 \text{ mm}$	$n \geq 9$ (n>3N)	$n \geq 18$

Eğer tahribatsız metotlardan geri tepmeli beton test çekici deneyi uygulanacaksa deney numunesi sayısı $n \geq 3N$ olmalıdır.

TS 10465'te alınması gereken karot sayısı ve ölçüm yerlerinin sayısı belirtilmesine rağmen BS ve ASTM' nine ilgili standartlarında bu değerler verilmemiştir.

5.3. Karot Alınacak Yerin Durumu

TS 10465, beton dayanımının kolonların alt ve üst kısımlarında farklı olacağından karot alınırken buna dikkat edilmesi gerektiğini, taşıma gücünü etkilemeyecek yerlerden alınmasını önerir.

Yapı bileşenlerinin kenar bölgelerinden en az, en büyük dane çapının iki katı kadar mesafe içeriden ve sulu kesme metoduyla karot alınması gerekmektedir. Karot alma yerleri belirlenirken aynı zamanda donatının az olduğu yerler tercih edilmeli, bunun için donatının yer ve özelliklerini belirten cihazlarla karot alım yerinin tespit edilmesi gerekmektedir.

ASTM C42'de yatay yüzeylerden dik olarak alınacak olan karot numunelerinin mümkün olduğunca yük taşıyıcılığı fazla olan birleşim noktalarına yakın olmayan, köşelerden uzak ve beton kalitesini temsil edecek beton yüzeylerden alınması gerektiği yazılıdır. Dikey yüzeylerden dik alınan numuneler ve ya beton yüzeyine dik olan numuneler, mümkünse yük yoğunluğunun orta noktasına yakın (kirişin orta noktası) veya birleşim noktaları ve taşıyıcılık özelliği açıkça belli olan köşelerden uzak bölgelerden alınmalıdır.

BS standartlarında bu konuyla ilgili bir bölüm bulunmamaktadır.

5.4. Deney Numunesinin Şekil ve Boyutları

TS basınç dayanımının ölçüleceği test numunelerinin silindir veya küp olması gerektiğinden bahsederken BS 1881 ve ASTM C42 sadece silindir şeklindeki karot numunelerinde bahsetmektedir. TSE'ye göre kesme ve başlık yapma işleminden sonra silindir numunelerinin yüksekliği çapına eşit, küp şeklindeki numunelerde ise kenar uzunlukları birbirine eşit olmalıdır.

TS 10465 ve BS 1881 karot numune çapının 100-150 mm. arasında olmasını önerirken, ASTM C42 en küçük karot çapının 4 inch (102 mm) olması gerektiğini belirtir. Aynı zamanda bu üç standart karot çapının, beton içinde kullanılan agreganın en büyük dane çapının üç katından az olmaması gerektiğini belirtir. Bunun yanında ASTM C42 karot çapının, test edilecek olan karot örneğinde kullanılan agrega en büyük dane çapının 2 katından az olmaması gerektiğini belirtir. Ancak TS 10465 özel durumlarda -narın yapı bileşenlerinde veya donatının sık olduğu bölgelerden alınacak- karot numuneleri için en küçük çap 50mm olabileceğini belirtir. Kesilerek alınan küp numuneleri için en küçük kenar uzunluğu 100 mm' den az olamaz.

ASTM C 42, numunenin boyu, başlıklandıktan sonra boyunun olabildiğince çapının iki katı civarında olmasını istemektedir. Aynı zamanda yüksekliğinin başlıklanmadan önce çapının % 95'inden küçük ve ya başlıklandıktan sonra yüksekliği çapından küçük olan örneklerin test edilemeyeceği belirtilmektedir.

BS 1881 test edilecek karot numunesi betonunun sıkıştırılmış olma durumunu da göz önünde bulundurmaktadır. Sıkışmanın tanımı, karot örneğinin yüzeyinin standartta verilen 5 resimle karşılaştırılmasıyla yapılır. Bu resimlerdeki boşluk miktarı ile numunede bulunan boşluk miktarları değerlendirilir. Referans verilen dört çeşit boşluk değerlendirilmesi aşağıdaki gibidir.

- (a) Küçük boşluk. Boşluk ölçüleri herhangi bir doğrultuda 0,5 mm'den küçük ve 3 mm'den büyük olmayan boşluklar.
- (b) Orta büyüklükteki boşluk. 3 mm'den büyük fakat 6 mm'den büyük olmayan ebatlar içeren boşluklar.
- (c) Büyük boşluk. 6mm'den daha büyük ölçüler içeren boşluklar.
- (d) Gözeneklilik. Örneğin yetersiz sıkıştırma ve bağlayıcı malzeme eksikliği ile oluşan birbirleriyle bağlanarak gelişen boşluklar

Standartta verilen, gerçek ölçülerdeki karot numunelerinin 125 mm × 80 mm boyutlarındaki beş resim aşağıdaki boşluk derecelerini içerir:

- (a) Boşluksuz.
- (b) % 0.5 boşluk içeren.
- (c) %1.5 boşluk içeren.
- (d) %3 boşluk içeren.
- (e) %13 boşluk içeren.

Bu incelemenin yapılabilmesi için standartta verilen karot resimlerinin güçlü ışık altında çekilmiş 125 mm × 80 mm ebatlarındaki kartları hazırlanır. Bu resimler elastik bantlarla karotlara yerleştirilir. Daha sonra karotun her yüzeyi içerdiği boşluklar değerlendirilerek standartta verilen %0 boşluk oranlı resimden başlanarak

karşılaştırılır. Bu değerlendirmenin sonucunda % 0,5 hatalı yaklaşımla karot numunelerinin boşluk oranı tahmin edilir.

Türk ve Amerikan standartlarında karot numunelerinin boşluk değerlendirilmesi ile ilgili bir bölüm bulunmamaktadır.

5.5. Deney Numunesinin Şekil ve Boyutlarındaki Toleranslar

Deney numunesinin boyutları ile ilgili toleranslar TS 10465'te şöyle belirtilmektedir.^[8]

“Basınç yüzeyleri, düz ve paralel olmalı, deney uygulama eksenine göre dik açılı ($90^\circ \pm 0,5^\circ$) olmalıdır.”

Aynı zamanda TS 10465 1.4.4.3 – Başlıklama kısmında deney numunelerinin düzlemden sapması, 0,1 mm'yi aşması halinde aksenal sapmalar oluşmuş ise başlıklamayla düzeltilmesi gerektiği belirtilir.

BS 1881 beton karot numunelerinin boyut ve şekillerindeki toleransları BS 308 Part 3 'ü referans olarak dört kısımda inceler.

- (a) Düzlemsellik. Hazırlanmış yüzeylerde 0,06 mm mertebesinde düzlemsellik toleransı olabilir.
- (b) Karesellik. Son olarak hazırlanmış olan örneğin ekseni referans eksenine göre en fazla 2,0 mm genişliğinde sapma yapmış olabilir.
- (c) Paralellik. Paralellik toleransı, hazırlanmış örneğin üst yüzeyi ile alt yüzeyinin 2,0 mm genişliğinde birbirlerinden farklı düzlemlerde olabilmeleri demektir.
- (d) Silindiriklik. Karot numunesinin silindiriklik toleransı, karot çapının % 3'ü kadar olabilir.

ASTM C 42 bu konuyu basınç testine numunenin son düzeltme kısmında değinir. Test için karot numunesinin düzgün yüzeyli, boyuna aksına dik ve tüm numune boyunca aynı çapta olması gerekmektedir. Eğer zorunlu ise aşağıdaki koşullarda numune kesilerek düzeltilebilir.

- (a) Çıkıntılar, varsa, yüzeyde 0,2 inç (5 mm) çok olamaz.
- (b) Son halde boyuna aks diklikten 5° ‘den daha fazla ayrılamaz.
- (c) Numune boyunca çaplar, numune için belirtilecek olan çaptan 0,1 inç (2,5 mm)‘den fazla olamaz.

Buradan, Türk Standardı deney numunesinin yüzeyi ile ilgili olarak sadece düz olması gerektiğini belirtirken, İngiliz Standardı 0,06 mm, Amerikan Standardı 5 mm’ ye varan çıkıntılara izin verdiği görülür. Karotun boyuna aksının diklikten sapması Türk ve Amerikan Standartlarında 5° olarak belirtilirken, İngiliz Standardı 2 mm olarak uzunluk ölçüsü vermiştir. Deney numunelerinin düzlemden sapması Türk Standardında 0,1 mm, İngiliz Standardında 2 mm verilmiştir. Bu tolerans Amerikan Standardında bulunmamaktadır. Diğer yandan Türk Standardında belirtilmeyen silindirik İngiliz Standardında karot çapının % 3’ü kadar farklı çaplara kadar izin verilirken, Amerikan Standardına 2,5 mm farklılığa izin verilmektedir

Karot numunelerinin ebatlarının ölçümü ile ilgili olarak ASTM C42 6.5 Measurement başlığı altında şu açıklamaları getirmiştir. Deneyden önce başlıklanmış örneğin boyu 0,1 inç (2,5 mm) duyarlılıkla ölçülür ve bu değer uzunluk / çap oranında kullanılır. Ortalama çap bulunurken numunenin orta kısmından sağ ve sol tarafından alınan ölçümlerin ortalamasıdır. Mümkünse karot çapı 0,01 inç (0,25 mm) yada en azından 0,1 inç hassasiyetle ölçülmelidir.

5.6. Başlıklama

TS 10465 deney numunelerinin basınç yükünün eşit olarak dağıtılabilmesi için başlık yapılması gerekliliğini TS 3068 “Laboratuvarda Beton Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Bakımı”^[11] standardına göre belirtir. Deney numunelerinin alt ve üst yüzeylerindeki başlıklar bütün yüzeyi kaplayacak şekilde ve en fazla 5 mm

kalınlığında olmalıdır. Kullanılan başlık % 70 kükürt ve % 30 grafitten meydana gelir. Deney numuneleri alınırken yapı içerisinde kırık olmadığı halde kesimden dolayı hasara uğraması durumunda, bu kısımlar çimento harcıyla doldurulabilir ve deneye tabi tutulabilir.

İngiliz ve Amerikan Standartları başlıklama sürecinde aynı yolu izlemektedirler. Buna göre başlık mümkün olduğunca ince olmalı ve hiç bir noktasında 10 mm kalınlığı geçmemelidir. Üst yüzey başlıklanmadan önce yüzey pürüzlendirilmelidir. İki farklı başlıklama metodu önerilmektedir.

(a) Islak alanda bulunan numuneler için uygun olan başlık, yüksek alüminli çimento esaslı üç bileşenli harçla yapılır. Diğer bileşeni 300 µm kum olan bu karışım ıslatılmış numune yüzeyine geçirilmiş metal bir halkanın içinde yatay bir şekilde çapı değiştirmeden düzgün bir yüzey elde ederek yerleştirilir. Bunun için ince bir şekilde kalıp yağı sürülmüş cam başlık parçası bileziğin üstüne bastırılarak başlık malzemesinin bileziğin tüm kenarlarına temas etmesi sağlanır. Bu başlık sistemi kullanılıyorsa gerekli olan nem ve sıcaklık sınırlamaları şöyledir: en az %90 nemlilik ve $20 \pm 5^\circ$ sıcaklık.

(b) Ağırlıkça eşit oranlarda karıştırılmış olan silisli kum ve kükürtten oluşan karışımdan yapılan başlık kuru karotlar için kullanılır. Silisli kum 300 ve 150 µm inceliğinde olmalıdır. Aynı zamanda bu karışım içine % 1 – 2 oranında karbon ve % 2 – 4 oranında polisüfit katılarak 130 – 150 °C arasında ısıtılıp karışımın kendi kendine soğumasına izin verilir. Parafinle ince kaplanmış ve hafifçe ısıtılmış çelik plakanın üzerine bu karışım dökülür. Numune kullanılacak yüzeyin aksı dikkate alınarak bu tabakanın üzerine konulur. Birkaç dakika sonra keskin bir bıçak yardımıyla artan malzemeler alınır ve plaka kaldırılır. Başlık malzemesi hiçbir zaman, deney yapılırken, betondan önce akma veya kırılma göstermemelidir.

5.7. Numunelerin Kürü ve Bakımı

Türk Standardı alınan karot numunesinin deney yapılana kadar 23 ± 2 °C sıcaklıkta ve doymuş rutubetli kür odasında saklanması gerektiğini söyler.^[12] Deney esnasında ise numuneler hava kurusu halde bulunmalıdır. Ancak karot alınan yapı bileşeni sürekli olarak su ile temas halinde ise kür su içinde yapılmalıdır.

ASTM numunelerin deneyden en az 40 saat önce kirece doyurulmuş $73,4 \pm 3,0$ °F ($23,0 \pm 1,7$ °C) sıcaklıktaki suda bulunması gerekliliğini yazar. Deney için bekletilmek zorunda kalan karotların ise telhis bezi veya uygun bir ürünle nemliliği korunmalıdır.

İngiliz Standardı karotun başlıklandıktan sonra 20 ± 2 °C sıcaklıktaki suya deney yapılmadan 48 saat önce kür için bırakılması söyler. Eğer deneyden önce bekletme süresi ölçüm ve diğer işlemler için 1 saati geçiyorsa numune tekrar kür havuzuna alınır. Yüksek dayanımlı betonların suda bırakılma süresi başlık malzemesinin özelliğine bağlı olarak değişir. Eğer yüksek alüminli çimentodan başlık yapıldıysa suda kalan başlık malzemesi betondan beklenenden daha fazla dayanıma sahip olacaktır. Başlık malzemesi bu dayanıma ulaşmadan numune kür havuzundan çıkarılmalıdır.

5.8. Karot Numunesinin İçinde Bulunan Donatılar

Türk Standartları basınç deneyi yapılacak olan karot numunesinin içinde basınç doğrultusunda donatı bulunmasına izin vermez. Aynı zamanda basınç doğrultusuna dik veya eğik konumda bulunabilecek olan donatılar deney sonucuna azaltıcı etki eder. Bulunan donatı hacmi karot hacminin %5'inden fazla veya numunenin boyunun 1/3 yüksekliğinde bulunan donatı hacminin karot toplam hacminin %1 oranından fazla olması durumunda bu numuneden elde edilen değer beton basınç dayanımını temsil edemez. Bu oranların tespiti için basınç deneyinden sonra donatının ağırlığı tartılır ve aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$V = \frac{G}{\rho d}$$

(5.1)

Burada,

ρd : donatının özgül kütlesi (7,85 g/cm³)

V : donatı hacmi (cm³)

G : donatının kütlesi (g)

olarak tanımlanmaktadır.

ASTM C 42 donatı içeren karot örneklerinin, içermeyenlere göre daha farklı basınç dayanımı verebileceğini, bunun için mümkünse donatı içermeyen karot numunelerinin alınmasını, ya da uzunluk / çap oranı 1,0 ve büyük olan karot numunelerinin kullanılması gerektiğini belirtir. Donatı içeren karot numuneleri çekme dayanımı için kullanılamaz. Eğilme dayanımını belirlemek için test edilecek olan karot numunesinin çekme gerilmesi alan kısmında donatı bulunmamalıdır.

İngiliz Standartlarında ise karot içinde bulunabilecek donatı oranı verilmemekle birlikte sadece karot aksına dik olan donatılar içeren numunelerin basınç dayanımının hesaplanması ile ilgili bir bölüme yer vermiştir.

5.9. Karot Numunelerinin Basınç Dayanımının Ölçülmesi

TS, kür havuzundan çıkarılan deney numunelerinin hava kurusu hale gelene kadar bekletilmesini ve tartılarak yaklaşık birim ağırlığının bulunmasını yazar. Karot numunelerinin basınç dayanım testi TS 3114'e uygun olarak yapılır. Basınç deneyinin yapılacağı yükleme makinesinin hızı dakikada 140 kg/cm² civarında olmalıdır. Yükleme hızı ASTM ve BSI standartlarında 0,2 – 0,4 N/(mm²/dakika) arasında değişen bir hızla yükleme yapan makinelerde deney yapılmasını gerektirmektedir. Bulunan kırılma yükü numune kesit alanına bölünerek karot basınç dayanımı elde edilir.

TS 10465'ün öngördüğü şekil ve boyuttaki -yüksekliği çapına eşit olan numuneler- 100 ve 150 mm çapında veya kenar uzunluğundaki karot numunelerinin basınç dayanım değerleri kenar uzunluğu 200 mm olan standart küp numunenin basınç dayanım değerine eşit olduğunu kabul eder. Aynı şekilde karot çapı 50 mm olan bir numune için bulunan değer 0,9 katı kenar uzunluğu 200 mm olan standart küp numunesine eşittir.

Türk Standardı karot numunelerinin boyunun çapına eşit olması gerektiğini yazarken İngiliz ve Amerikan Standartları farklı boy/çap oranlarında olabilecek karot numuneleri için düzeltme katsayıları vererek basınç dayanımının hesaplanmasına olanak verir.

BSI 1881'e göre donatı içermeyen karot numunesinin basınç dayanımı aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$\text{yerinde. küp. dayanımı} = \frac{D}{1,5 + \frac{1}{\lambda}} \times \text{karotun. ölçülen. basınç. dayanımı} \quad (5.2)$$

Burada,

D :yatay alınan karotlar için 2,5
düşey alınan karotlar için 2,3

λ :karotun tüm deneye hazırlıklarından sonraki boy/çap oranı

olarak tanımlanmaktadır.

Karot aksına dik donatı içeren numuneler için basınç dayanımı aşağıdaki şekilde bulunabilir.

(a) Eğer numune bir tek donatı içeriyorsa

$$1 + 1,5 \frac{\phi r d}{\phi c l} \quad (5.3)$$

(b) Numune birden fazla donatı içeriyor ve en az iki donatının çapı en büyük donatı çapından fazla ise bütün donatılar göz önüne alınır. Eğer çok fazla fark varsa sadece en büyük donatının çapı esas alınır.

$$1 + 1,5 \frac{\sum \phi_r d}{\phi_c l} \quad (5.4)$$

Burada,

$\phi_r d$: donatı çapı

ϕ_c : numunenin çapı

d : donatı aksının numunenin en yakın yüzeyine olan mesafesi

l : başlıklanmamış numune boyu

olarak tanımlanmaktadır.

Amerikan Standardı narinlik oranını 2,10'dan büyük olan karot numunelerinin limit değerler olan 1,94 – 2,10 arasında olacak hale getirilmesini ve bu durumda basınç dayanım değerinde herhangi bir düzeltmeye gereksinim olmadığını yazar.

Eğer narinlik oranı 1,94'ten daha düşük ise aşağıdaki tabloda verilen düzeltme faktörleri kullanılmaktadır.

Tablo 5.2. ASTM C 42'ye Göre Karot Numunelerinin Narinlik Oranlarına Göre Basınç Dayanımı Düzeltme Katsayıları

Karot numunesinin l/d narinlik oranı	Dayanım Düzeltme Katsayısı
1,75	0,98
1,50	0,96
1,25	0,93
1,00	0,87

Yukarıdaki tabloda verilen düzeltme faktörleri 1600 – 1920 kg/m³ (100 – 120 lb/ft³) arasında birim ağırlığa sahip hafif betonlarda ve normal betonlarda uygulanabilir. Yükleme anında kur veya ıslak olan numunelere uygulanabilen bu değerler 13,8 – 41,4 MPa arasındaki betonlar için kullanılabilir. Verilen narinlik oranına uymayan karotların basınç dayanım düzeltme değerleri interpolasyon ile bulunabilir.

ASTM C 42, narinlik oranı ile düzeltme yapıldığında, karot çapı 0,25 mm (0,01 inç) duyarlılıkla ölçülen numunelerin basınç dayanımının 69 kPa (10 psi); 2,5 mm (0,1 inç) hassasiyetle ölçülen karot numunelerinin basınç dayanımının ise 345 kPa (50 psi) yaklaşımla elde edileceğini belirtir.

Basınç dayanımı 32,0 – 48,3 MPa (4500 – 7000 psi) arasında olan karotların tek operatörlü değişimin dağılımı % 3,2 olarak bulunduğu Amerikan Standartlarında yazılmıştır. Böylece aynı malzeme ve aynı operatör kullanılarak düzgünce hazırlanmış iki farklı tek karot testi sonuçlarının birbirinden, ortalama değerlerinin % 9'undan fazla farklılık gösteremeyeceği belirlenebilir.

Karotlar üzerinde çoklu laboratuvar değişim dağılımının 32 MPa ve 48,3 MPa arasındaki basınç dayanımına sahip betonlar için % 4,7 olduğu bulunmuştur. Böylece aynı koşullarda hazırlanmış betondan alınmış farklı karotlara, iki farklı laboratuvar da düzgünce hazırlanmış iki farklı testin sonuçlarının birbirinden her birinin ortalama değerlerinin % 13'ünden fazla farklılık gösteremeyeceği belirlenebilir.

Aynı dayanım aralığındaki karotların farklı laboratuvar ortamındaki değişim dağılımı % 4,7 olarak bulunmuştur. Benzer yaklaşımla, ayrı alınmış 100 mm çapında iki karot numunesinin ortalamasının alındığı tek bir testle tanımlanan ve aynı sertleşmiş betondan alınan, farklı laboratuvarlarda test edilen örneklerin basınç dayanımları birbirlerinden en fazla % 13 oranında farklı olabilir.

TS 10465'e göre karot basınç dayanımının en küçük tekil değeri ile ortalama değeri sırasıyla Tablo 5.3'te verilen eşdeğer küp dayanım ile ve seri dayanım değerinin en az % 85'ini sağlaması gerekmektedir.

Numuneden elde edilen sonuçların değerlendirilmesinde dikkat edilmesi gereken hususlardan biri TS 10465'te şöyle anlatılmıştır.

“Yapı boyutlarının numune boyutlarına göre farklı ve betondaki sıcaklık değişiminin de numunelerinkinden başka türlü olması sebebiyle , yapıda numuneleri göre farklı sertleşme durumları meydana gelebileceği göz önüne alınmalıdır.”

Tablo 5.3. Beton Sınıfları ve Dayanımları

Beton Sınıfı	Silindir Basınç Dayanımı N/mm ²	f_{EK} Eş Değer Küp Basınç Dayanımı N/mm ²	$f_{EK} \geq f_{EK+3}$ Seri Dayanımı N/mm ²
BS14	14	16	19
BS16	16	20	23
BS20	20	25	28
BS25	25	30	33
BS30	30	35	38
BS35	35	40	43
BS40	40	45	48
BS45	45	50	53
BS50	50	55	58

Türk standartları elde edilen sonuçların, alınan numune sayısına göre istatistiki ve istatistiki olmayan olmak üzere iki metotla değerlendirmesini yapar.

İstatistiki olmayan değerlendirmede, uygun olarak alınan 100 veya 150 mm çapındaki karot numunelerinin basınç mukavemet değerlerinin kenarları 200 mm olan standart küp dayanımına ($f_{küp} 200$) eşit kabul eder. Bulunan bu değer aşağıdaki iki şartı sağlamalıdır.

- Ortalama $\bar{f}_{\text{küp } 200} \geq 0,85 f_{\text{SK}}$
- En küçük tekil değer $f_{\text{küp,min } 200} \geq 0,85 f_{\text{EK}}$

Bir yapı veya yapı bileşeninde en az 12 tane karot numunesine ait basınç dayanım değeri veya 35'ten fazla vuruş deneyi sonucu varsa istatistiki değerlendirme yapılabilir.

Yapılan istatistiki değerlendirme sonucunda aşağıdaki eşitlik sağlanmalıdır.

$$Z = \bar{f}_{\text{küp } 200} - k_s \cdot S \geq 0,85 f_{\text{EK}} \quad (5.5)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (f_{\text{küp } 200} - \bar{f}_{\text{küp } 200})^2}{n-1}} \quad (5.6)$$

Burada,

- z : karot karakteristik mukavemeti
- $f_{\text{küp } 200}$: ortalama küp basınç dayanım değeri
- s : $f_{\text{küp } 200}$ değerlerinin standart sapması
- n = numune ve veya ölçüm yeri sayısı
- k_s = istatistik katsayı (%95 güvenlik derecesine göre student katsayısı)

olarak tanımlanmaktadır.

Tablo 5.4. İstatistiki Değerlendirmede Kullanılan Kabul Faktörleri (ks) ^[8]

Numune ..sayısı (n)	Kabul Faktörleri (ks)
12	1.95
15	1.88
20	1.84
25	1.75
30	1.70
≥35	1.64

Amerikan Standardı aynı zamanda karot numuneleri için yarmada çekme ve eğilme dayanımı deneylerini de içerir.

Yarmada Çekme deneyi için ASTM C 42’de belirtilen şekilde ve uygun kür koşullarında karot numuneleri hazırlanır. Yükleme levhası ve numune arasındaki temas çizgisi düzgün olmalıdır. Aynı zamanda bu yüzeyde 0.01 inç (2.5mm) derinliğinden veya yüksekliğinden daha fazla yüzey bozuklukları bulunmamalıdır. Bu ön şartlar sağlanmıyorsa, karot numunesi kesilir veya başlıklama yapılabilir. Yarmada çekme dayanım testi yapılacak olan karot numunesinin başlık yapımında yüksek dayanımlı alçı yapıştırıcıları kullanılmalıdır.

Eğilme Dayanımı tespit edilecek olan numunesi genelde kesit alanı 6×6 inç (150×150 mm) ve yüksekliği en az 21 inç (530 mm) olan prizmadır. Ancak bir kirişte eğilme deneyi için iki deney yapılacaksa numune yüksekliği en az 33 inç (840 mm) olmalıdır. Kesme işlemi betona şok ve ısınma nedeniyle zarar vermeyecek şekilde yapılmalıdır. Kesilen yüzey düzgün, düzlem, paralel, basamakları olmayan ve rijit olmalıdır. Elle kesilecek olan kiriş numunelerinde kırık ve parçalanmalar olmasından kaçınılmalıdır.

Deney numuneleri $73.4 \pm 3^{\circ}\text{F}$ ($23 \pm 1.7^{\circ}\text{C}$) sıcaklıkta kirece doyurulmuş suda eğilme deneyinden en az 40 saat önce kür edilmelidir. Test edilmek üzere kür

havuzundan çıkarılan numunelerin bekleme sürecinde nemlilik durumu daha önce verilen şartlara uygun olarak korunmalıdır. Bu durumda aynı zamanda kırışın yapıda bulunduğu nemlilik oranına da dikkat edilmelidir. Eğilme numunesinin yüzeyinde bulunabilecek küçük miktarlardaki kurumalara bağlı olarak çekilme çekme gerilmeleri oluşturacağından eğilme dayanımının değerinde gözle görülür değişimler oluşacaktır.

5.10. Ölçüm Yerine Ait Tutanak ve Deney Raporu

Türk Standartları karot numunesi ile ilgili olarak, örneğin alındığı yerde ve deney yapıldığı yerde olmak üzere iki farklı rapor düzenlenmesi gerektiğini yazar. Buna göre, Ölçüm Yerlerine Ait Tutanak ve Deney Raporu olmak üzere iki farklı doküman hazırlanır. Bu dokümanlar deney en az beş yıl deney yapılan yerde saklanmalıdır.

Ölçüm Yerlerine Ait Tutanak' ta bulunması gereken veriler aşağıda sıralanmıştır.

- Proje adı
- Yapı yeri
- Yapı bileşeni
- Ölçüm yerlerinin işaretlenmesi

Karot numunelerinde,

- Beton proje kalitesi
- Karot alınma tarihi
- Betonun yaşı
- Karot alma cihazı
- Numunelerin ölçüm değeri
- Numunelerin işaretlenmesi
- Karotların alındığı doğrultu (yatay/düşey)

Schmidth çekici deneylerinde,

- Deney tarihi
- Deneyi aleti

- Ölçüm yerlerinin durumu
- Herbir ölçüm yerine ait R geri tepme ve d iz çapı (bilyalı test çekici kullanıldığında) değerleri

Deney Raporu ise, Türk Standartlarına göre yapı ve yapı bileşenlerindeki sertleşmiş betondan alınan numuneler ile yapılan basınç dayanım değerine ait en az aşağıdaki bilgeleri içermelidir.

- Ölçüm yerlerinin durumu
- Ölçüm yerlerinin işaretlenmesi
- Deney yerine ait bilgiler
 - Tahribatlı deney metodunda
Duruma göre teçhizatın yeri ve hacimsel olarak oranı
 - Tahribatsız deney metodunda
 - Geri tepmeli veya bilyalı test çekiçlerine ait deney sonuçları ve olması gereken değerler
 - Vuruş açısı
 - Ölçüm yeri değerleri (R_m duruma göre d_m)
 - Deney raporu değerleri (\bar{R}_m duruma göre \bar{d}_m)
 - Deneyin yapıldığı laboratuvarın adı, deneyi yapanın ve/veya raporu imzalayan yetkililerin adları, görev ve meslekleri
 - Deney tarihi
 - Deneyde uygulanan standartların numaraları
 - Deney sonuçlarını değiştirebilecek faktörlerin mahzurlarını gidermek üzere alınan tedbirler
 - Uygulanan deney metotlarında belirtilmeyen veya mecburi görülmeyen, fakat deneyde yer almış olan işlemler
 - Rapor tarih ve numarası

İngiliz Standardı ise alınan karot numuneleri ile ilgili olarak yazılacak deney raporlarını iki kısımda düzenlemiştir. Deney numunelerinin alımında tutulması gereken rapor ve deney laboratuvarında tutulması gereken rapor olan bu dökümanlar, zorunlu ve isteğe bağlı kısımlar içermektedir.

5.10.1. Deney raporu kapsamında deney numunelerinin alımına ait bilgiler

Zorunlu Bilgiler

- Karot numunesinin tanımlanması
- Karot alım tarihi
- Beton döküm yönüne bağlı olarak karot delme yönü (yatay, düşey, diyagonal)
- Karotu alan kişinin adı
- Karot saklama koşulları
- Biliniyorsa deney anında betonun yaşı

İsteğe bağlı bilgiler

- Projenin adı
- Proje kısmı veya bileşeni
- Beton dayanımı
- Beton karışım detayları
- Kullanılan katkılar

5.10.2. Deney raporu kapsamında deney laboratuvarına ait bilgiler

Zorunlu Bilgiler

- Numunenin tanımlanması
- Kabul edildiğinde numunenin durumu (yetersiz sıkışma, gözeneklilik ve kabul edilemeyen ölçümleri de içeren)
- Numunenin geliş tarihi
- Ortalama çap
- Kabul edildiği halde maksimum ve minimum boylar
- Numunenin özağırlığı (kabul edildiği veya doyurulduğu halde hacim hesaplama metodunu içeren)

- Hazırlandıktan sonra boy ve ilk haline göre kesilen yerler
- Hazırlama metodu
- Beton sıkışması, malzemelerin dağılımı, boşlukların sınıflandırılması ve çatlakların durumu
- Deney tarihi
- Deney anında biliniyorsa numune yaşı
- Dayanım testinden önce suda bekletilmiş haldeki numunenin boyu
- Kırılma anındaki en büyük yük
- Ölçülen basınç dayanımı ve hesaplanan yerinde küp dayanımı
- Betonun görünümü ve kırılma şekli
- Donatının ebat, yer ve ara mesafeleri
- BSI standartlarına göre test yapıldığına dair belge
- Diğer bilgiler

İsteğe Bağlı Bilgiler

- Karotun teslim anındaki fotoğraflarının kopyaları
- En büyük dane çapını, dağılımının belirtilerek agreganın tanımlaması
- Diğer bilgiler

6. KAROT ALMANIN YAPI ELEMANINA VERDİĞİ ZARAR DÜZEYİNİN İNCELENMESİ

Beton basınç dayanımının mevcut yapılarda tespitinde tahribatlı bir yöntem olarak bilinen karot alımının yapı elemanına kesitte meydana gelen alan kaybı nedeniyle azaltıcı bir etkisi olduğu bilinmektedir. Bu nedenle karot alımı ile açılan delikler genişleme yapan bir harç ile doldurulmalıdır. Bu malzeme betonla iyi bir aderans sağlamalı ve elemanın yük altında davranışını olumsuz etkilememelidir.

6.1. Deneysel Çalışma

6.1.1. Amaç ve kapsam

Çalışmanın amacı son zamanlarda gündemde olan karot alma deneyi ve bu deneyin beton basınç dayanımına etkisini farklı beton sınıfları incelemektir.

Amaca uygun bir çalışma programı gerçekleştirmek için:

- Farklı beton sınıflarında 20 cm * 20 cm * 20 cm ebatlarında küp numuneler hazırlanmıştır.
- Hazırlanan her takımdan karot alınmamış, karot alınıp herhangi bir dolgu malzeme ile doldurulmamış ve doldurulmuş şekilde basınç dayanım testine tabi tutulmuştur.

Söz konusu olan deney serisinde basınç dayanımları yaklaşık olarak 80 kgf/cm², 150 kgf/cm² ve 200 kgf/cm² olan beton serilerinin her birinden iki set toplam 36 adet küp numune hazırlanmıştır. Karışımda kullanılan agreganın maksimum dane çapı 20 mm olarak seçilmiştir.



A



B

Şekil 6.1. A. Karot deliği açılmış numune B. Karot deliği doldurulmuş numune

Numunelerin simgelenirken önce hedeflenen basınç dayanımı, daha sonra da kırım anındaki durumu kullanılmıştır. Örneğin 80REF1, hedeflenen basınç dayanımı 80 kgf/cm^2 olan referans yani karot alınmamış örneklerin 1 nolu numunesini temsil eder. Aynı şekilde 200BOS2, hedeflenen basınç dayanımı 200 kgf/cm^2 olan karot alındıktan sonra tamir harcı ile doldurulmamış örneklerin 2 nolu numunesini temsil eder. Bu setlerde beton dökümleri basınç dayanımlarına göre yapılmıştır yani hedeflenen basınç dayanımları aynı olan betonların karışım oranları da aynıdır. Numunelerin karışım oranları Tablo 6.1, Tablo 6.2, ve Tablo 6.3’te verilmiştir.

YKS Yapkim A.Ş. Laboratuvarlarında hazırlanan numuneler İstanbul İnşaat Mühendisleri Odası Beton Araştırma ve Geliştirme Laboratuvarına getirilmiştir. Her setten dört adet küp şahit numune olarak, bırakılmış diğer sekiz numuneden karot alınmıştır. Karot alınan iki numune daha sonra SKW MBT Emaco S88C tamir harcı ile doldurulmuştur.



Şekil 6.2. Karot delikleri Emaco S88C tamir harcıyla doldurulmuş tüm numuneler

Tablo 6.1. Hedeflenen Basınç Dayanımı 80 kgf/cm² olan Betonların Karışım Oranları ve Özellikleri

Beton Hazırlama Tarihi : 27.03.2000 / 28.03.2000

Malzeme	Kum	Taş tozu	I No	II No	
Karışım oranı	25	30	25	20	
Rutubet Düzeltmesi					
Rutubet (%)	3,50	3,00	0,30	0,20	Toplam su (kg)
Su Emme (%)	1,20	2,00	0,54	0,43	
Fark	2,3	1,0	-0,24	-0,2	
Rutubet Düzeltmesi	10,53	5,58	-1,14	-0,88	14,09

Malzeme	Karışım (1 m ³ için)	Düzeltilmiş Karışım (1 m ³ için)
Çimento	220	220
Su	210	196
Kum	458	468
Taş tozu	558	563
I No	474	473
II No	381	380
Katkı	0	0
Toplam	2300	2300
Su/Çimento oranı	0,96	0,89

TAZE BETON ÖZELLİKLERİ

Beton Sıcaklığı (° C)	19,6
Slump (mm)	170
Birim ağırlık (kg/m ³)	2294

Tablo 6.2. Hedeflenen Basınç Dayanımı 150 kgf/cm² olan Betonların Karışım Oranları ve Özellikleri

Beton Hazırlama Tarihi : 29.03.2000 / 30.03.2000

Malzeme	Kum	Taş tozu	I No	II No	
Karışım oranı	25	25	25	25	
Rutubet Düzeltmesi					
Rutubet (%)	3,50	3,00	0,30	0,20	Toplam su (kg)
Su Emme (%)	1,20	2,00	0,54	0,43	
Fark	2,3	1,0	-0,24	-0,2	
Rutubet Düzeltmesi	10,14	4,48	-1,10	-1,05	12,46

Malzeme	Karışım (1 m ³ için)	Düzeltilmiş Karışım (1 m ³ için)
Çimento	300	300
Su	210	198
Kum	441	451
Taş tozu	448	452
I No	457	456
II No	458	457
Katkı	0	0
Toplam	2314	2314
Su/Çimento oranı	0,70	0,66

TAZE BETON ÖZELLİKLERİ

Beton Sıcaklığı (° C)	21
Slump (mm)	170
Birim ağırlık (kg/m ³)	2300

Tablo 6.3. Hedeflenen Basınç Dayanımı 200 kgf/cm² olan Betonların Karışım Oranları ve Özellikleri

Beton Hazırlama Tarihi : 05.04.2000 / 06.04.2000

Malzeme	Kum	Taş tozu	I No	II No	
Karışım oranı	25	22	25	28	
Rutubet Düzeltilmesi					
Rutubet (%)	1,50	3,00	0,30	0,20	Toplam su (kg)
Su Emme (%)	1,20	2,00	0,54	0,43	
Fark	0,3	1,0	-0,24	-0,2	
Rutubet Düzeltilmesi	1,29	3,85	-1,07	-1,15	2,91

Malzeme	Karışım (1 m ³ için)	Düzeltilmiş Karışım (1 m ³ için)
Çimento	350	350
Su	210	207
Kum	430	432
Taş tozu	385	388
I No	446	445
II No	501	500
Katkı	0	0
Toplam	2322	2322
Su/Çimento oranı	0,60	0,59

TAZE BETON ÖZELLİKLERİ

Beton Sıcaklığı (° C)	20,4
Slump (mm)	170
Birim ağırlık (kg/m ³)	2314

EmacoS88C kullanıma hazır, toz halde, sadece su eklenen tiksotropik ya da akıcı kıvamda, ayrıışmayan, *büzülmeyen (rötresiz)* yüksek mukavemetli karışımlar veren bir tamir harcıdır. Bu malzeme beton yapı elemanlarının onarımında, deniz yapılarının onarım ve bakımında, betonların sülfat, sülfid ve klor etkilerine karşı korunmasında, beton yapı elemanlarının montajında dolgu olarak, çatlak kaya enjeksiyonunda ve zemin ankrajlarının şerbetlenmesinde kullanılmaktadır. Malzemenin plastik kıvamda, % 50 akmaya sahip bir harç olabilmesi için her 30 kg'lık miktarına 4,5 – 5 lt su katılmaktadır.

EmacoS88C tamir harcının I no ve II No mıcırlarıyla yapılan farklı karışımlarının basınç dayanım deneyleri YKS Yapkim Laboratuvarlarında 03.02.2000 yapılmıştır. Hazırlanan karışımların içeriği Tablo 6.4'da, 1,7;28 günlük dayanım sonuçları da Tablo 6.5'de verilmiştir.

Tablo 6.4. EmacoS88C ile yapılan harçların karışım oranları.

Malzeme	Karışım1	Karışım2	Karışım3
EmacoS88C (g)	1000	1000	1000
Su (g)	160	160	160
Kırma Taş I (g)	-	500	500
Kırma Taş II (g)	-	-	500

Buradan da anlaşılacağı gibi EmacoS88C tamir harcı uygun karışımda hazırlanırsa çok yüksek dayanımlar elde edilebilir.

Tablo 6.5. Hazırlanan örneklerin basınç dayanımları

Gün	Karışım1 Basınç dayanımı (kgf/cm ²)	Karışım2 Basınç dayanımı (kgf/cm ²)	Karışım3 Basınç dayanımı (kgf/cm ²)
1	633	662	988
7	715	750	762
28	811	952	898

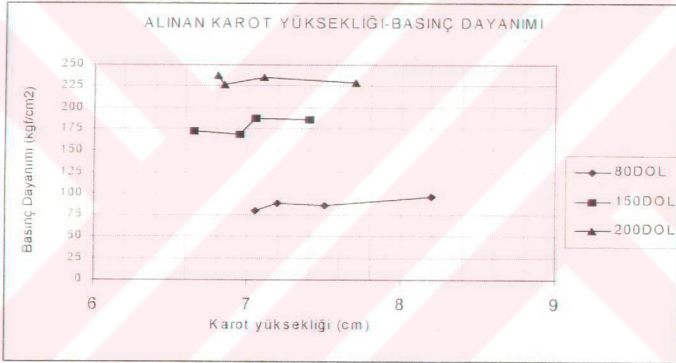
Hazırlanan küp numuneler karot alma makinesiyle 64 mm çapında karotlar alınmıştır. Tamir harcı ile doldurulacak olan numunelerin i yüzeyleri aderansı tam olarak sağlayabilmek için pürüzlendirilmiştir. Bu işlemden sonra su ile hazırlanan harç deliklere doldurulmuş ve mukavemetini alması için bekletilmiştir. Bu esnada herhangi bir kr uygulanmamıştır.



şekil 6.3. Doldurulmuş bir numunenin basınç altında kırılmış hali

6.1.2. Deney Sonuçları

Yapılan deneyler sonucunda karot deliklerinin tamir harcı ile doldurulmasıyla beton basınç dayanımının karot alınmamış numunenin basınç dayanımına yaklaştığı görülmüştür. Alınan karotların yükseklikleri birbirlerinden farklıdır. Karot yüksekliğinin basınç dayanımını da etkisi bu deneysel çalışma içerisinde görülmüştür. Doğal olarak karot yüksekliği fazla olan ve doldurulmamış numunelerin basınç dayanımı karot yüksekliği az olana göre daha düşük olmaktadır. Ancak tamir harcı ile doldurulan numunelerde ise delik derinliği yüksek olanın basınç dayanımı daha fazla çıkmıştır. Numunelerin kırılma yükleri, basınç dayanımları ve alınan karotların yükseklikleri Tablo 6.6'da verilmiştir.



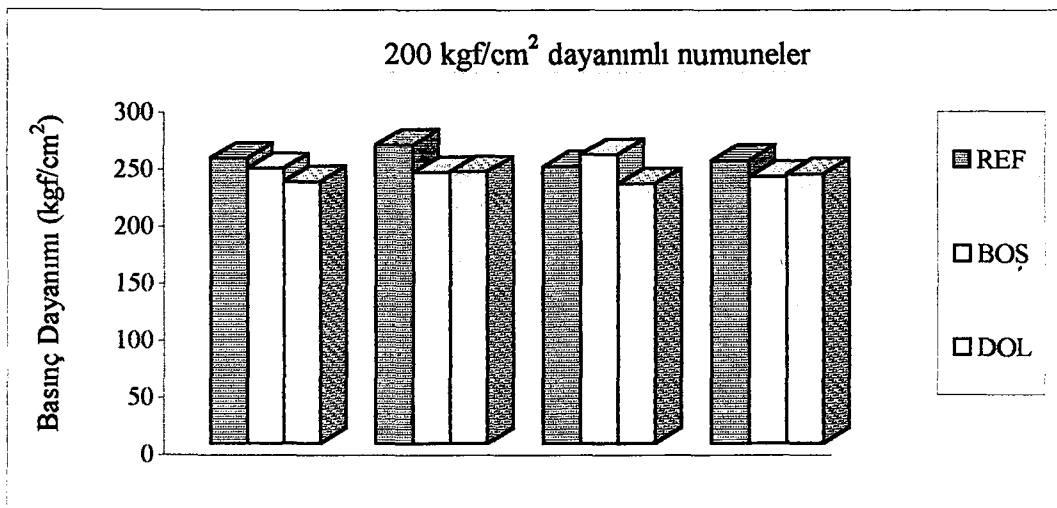
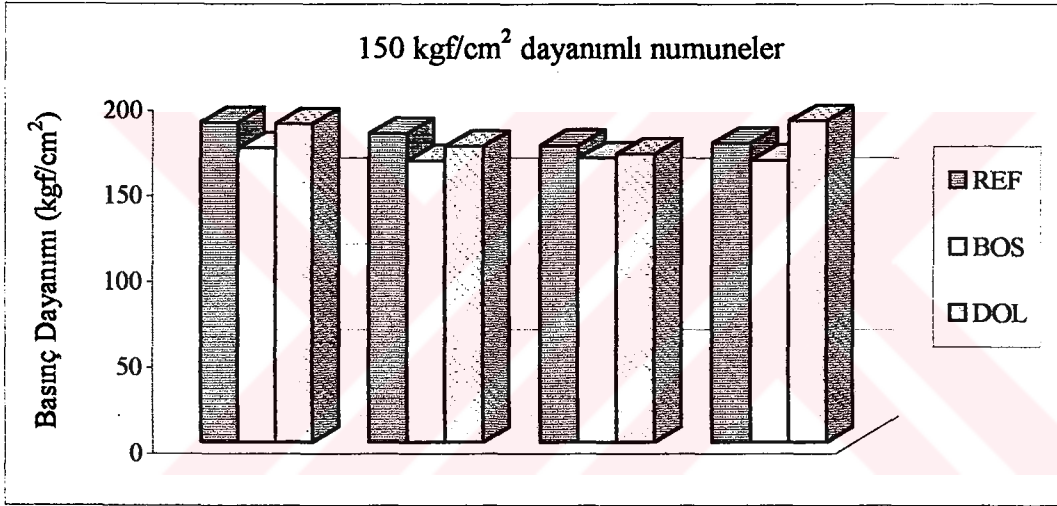
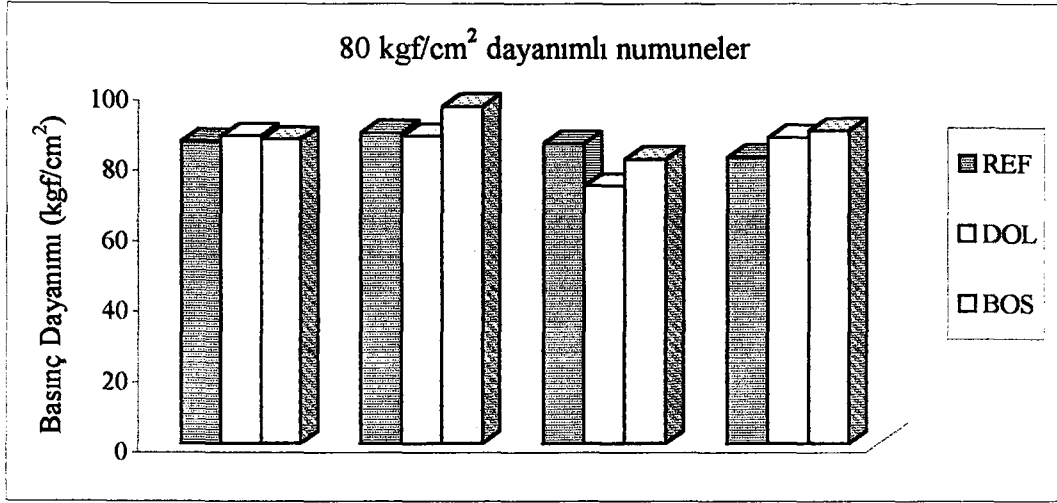
Şekil 6.4. Karot delikleri doldurulan numunelerin basınç dayanımının karot yüksekliği ile değişimi



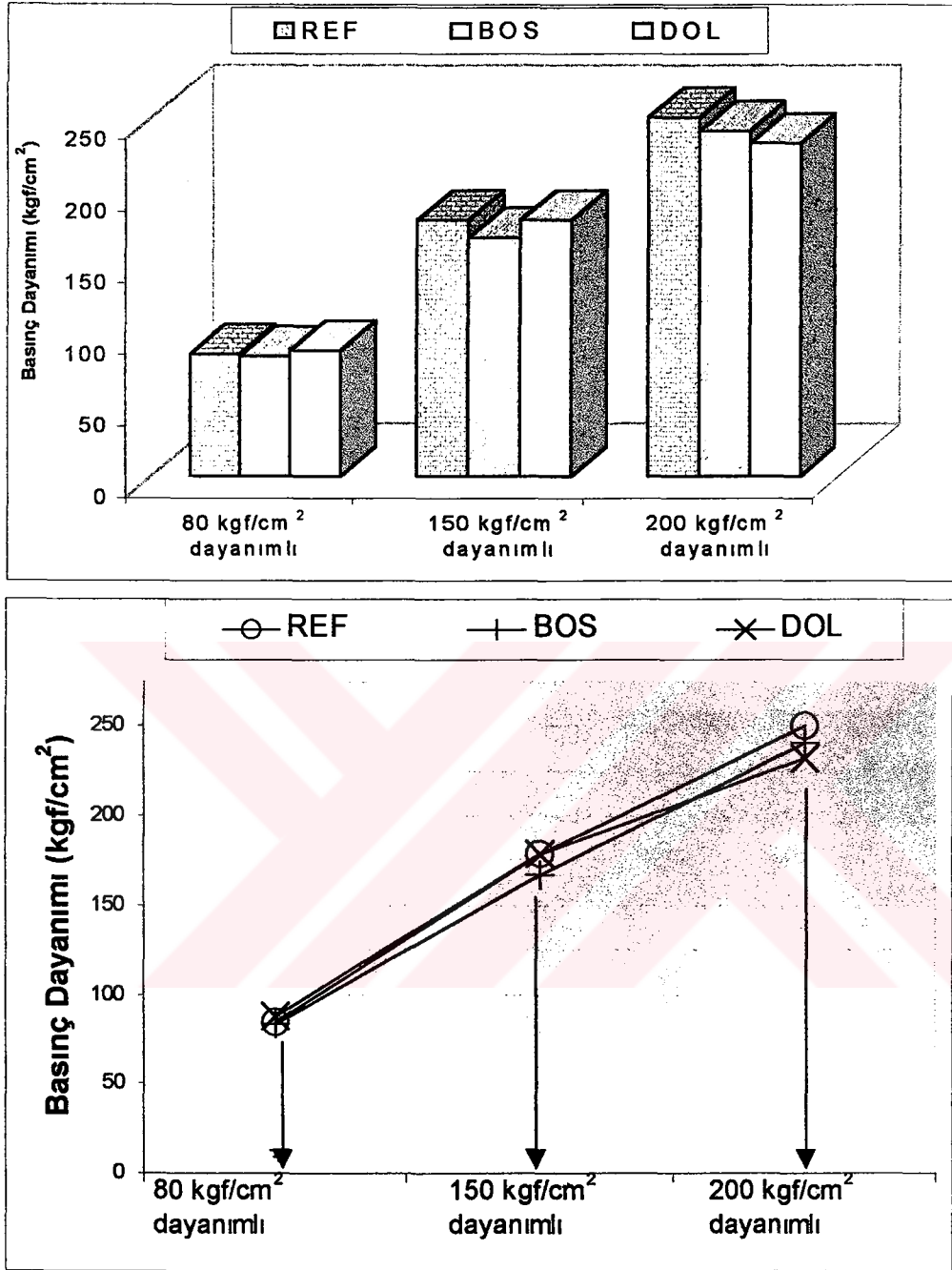
Şekil 6.5. Doldurulan harcın kırılmadan sonra bile bütünlüğünü bozmasına örnek

Tablo 6.6. Numunelerin kırılma yükleri ve alınan karotların yükseklikleri

Numune	Kırılma Yüğü (ton)	Alınan karotun yüksekliği (cm)	Basınç dayanımı (kgf/cm ²)	Karot deliği dikkate alınmamış dayanım (kgf/cm ²)	Ortalama basınç dayanımı (kgf/cm ²)	Karot deliği dikkate alınmamış ortalama dayanım (kgf/cm ²)	referansa göre % değişim
80REF1	34,25	-	85,63		85		100
80REF2	35,25	-	88,13				
80REF3	34	-	85,00				
80REF4	32,5	-	81,25				
80BOS1	30,75	7,35	87,12	76,88	83,54	73,28	98,3
80BOS2	30,5	7,8	87,12	76,25			86,2
80BOS3	25,25	8,5	73,06	63,13			
80BOS4	30,75	7,18	86,85	76,875			
80DOL1	34,5	7,5	86,25		87,81		103,3
80DOL2	38,25	8,2	95,63				
80DOL3	32,25	7,05	80,63				
80DOL4	35,5	7,2	88,75				
150REF1	74,5	-	186,25		178,44		100
150REF2	72	-	180,00				
150REF3	69,25		173,13				
150REF4	69,75		174,38				
150BOS1	60,75	7,1	171,34	151,88	166,43	147,19	93,3
150BOS2	58,5	6,8	164,10	146,25			82,5
150BOS3	58,25	7,6	165,78	145,63			
150BOS4	58	7,4	164,47	145,00			
150DOL1	74,25	7,4	185,63		178,44		100
150DOL2	69	6,65	172,50				
150DOL3	67,25	6,95	168,13				
150DOL4	75	7,05	187,50				
200REF1	99,75	-	249,38		250		100
200REF2	104,5	-	261,25				
200REF3	96,75	-	241,88				
200REF4	99	-	247,50				
200BOS1	85,5	6,9	240,28	213,75	240,77	213,75	96,3
200BOS2	84	7,1	236,91	210,00			85,5
200BOS3	89,5	7,15	252,65	223,75			
200BOS4	83	6,9	233,25	207,50			
200DOL1	91,5	7,7	228,75		232,19		92,9
200DOL2	95	6,8	237,50				
200DOL3	90,75	6,85	226,88				
200DOL4	94,25	7,1	235,63				



Şekil 6.6. Her sınıf dayanımına ait Referans, Boş ve Dolu numunelerin basınç dayanımlarının karşılaştırılması



Şekil 6.7. Karot boşluğu kesit alanında dikkate alınmış ortalama basınç dayanımlarının karşılaştırılması.

Tablo 6.6.'dan da görüleceği gibi karot deliği açılmış numuneler toplam kesit alanı ile basınç dayanımı hesaplandığında referans numunenin basınç dayanımını yakalayamamaktadır. Buradan karot alma işlemi sırasında yapı elemanının tahrip olarak yaklaşık % 15 oranında basınç dayanımı kaybettiği görülmüştür. Ortalama kesit alanındaki azalma %12 civarında olmasına rağmen basınç dayanımındaki azalma daha fazla olmuştur.

Numune içerisinde boşluk göz önüne alınarak kesit alanından karot çapı ve yüksekliğinden oluşan dikdörtgenin alanı çıkarılmıştır. Bu hesaplama ile bulunan basınç dayanımları yaklaşık olarak referans basınç dayanımından % 7 daha düşük olmaktadır. Numuneler doldurularak test edildiğinde basınç dayanımı tekrar artmaktadır (Şekil 6.7 ve 6.8). Karot alındıktan sonra açılan delikler mutlaka tamir harçlarıyla doldurulmalıdır.

Düşük dayanımlı numunelerde açılan karot delikleri tamir harçlarıyla doldurulması betonları referans dayanımlarına geri getirmiştir. Yüksek dayanımlı betonlarda ise bu tamirat beton basınç dayanımını büyük ölçüde (% 7 dayanım kaybı ile) referansa yaklaştırmaktadır.

7. DEĞERLENDİRME VE YORUM

7.1. İstanbul ve Civarından Alınan Karot Numunelerinin Basınç Dayanım Değerlerinin İstatistikî İncelenmesi

Yaşanan son büyük depremler sonucunda insanlar oturdukları, çalıştıkları, sahip oldukları ve canlarını emanet ettikleri yapıları sorgulamaya başlamışlardır. Bu sorgulama Türkiye şartlarında çok değişkenlik gösteren ve kalitesinin yetersiz olduğu bilinen yapılardaki beton dayanımlarını tayin etmeyi gündeme getirmiştir. Bu amaçla İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi Beton Araştırma ve Geliştirme Laboratuvarına yüzlerce başvuru yapılmıştır. Bu başvurular sonucu, İstanbul yöresinde 511 binaya ait 2789 adet karot dayanım sonuçları elde edilmiştir.

7.2. Yöntem

Karot numuneleri alınırken binanın bulunduğu ilçe veya semt, karot alınan taşıyıcı eleman ve elemanın bulunduğu kat not edilmiştir. Daha sonra başvuruda bulunan kişiler tekrar aranarak binanın yapım yılı, yapım amacı, bina kat adedi, projedeki beton sınıfı, mevcut betonların kaynağı tespit edilmeye çalışılmıştır.

Bu amaçla öncelikle her binaya ait karakteristik karot basınç dayanımları hesaplanmıştır. Hesaplama metodu olarak TS 10465’de verilen metod kullanılmıştır. Buna göre binadan alınan karot sayısı 12’den az ise istatistikî olmayan metot, fazla ise istatistikî metot kullanılmıştır.

İstatistikî olmayan metotta karakteristik basınç dayanımı aşağıdaki formüllerle bulunmuştur. Bulunan bu iki değerden küçük olanı o binanın karakteristik beton karot basınç dayanımını gösterir.

$$f_{kar} = \frac{f_{ort}}{0,85} - 3 \quad (7.1)$$

$$f_{kar} = \frac{f_{min}}{0,85}$$

Burada,

f_{kar} :Karakteristik eşdeğer küp basınç dayanımı

f_{ort} :Binaya ait eşdeğer küp karot basınç dayanım değerlerinin ortalaması

f_{min} :Binaya ait en küçük eşdeğer küp karot basınç dayanım değeri

olarak tanımlanmaktadır.

İstatistiki metotta ise aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$f_{kar} = f_{ort} - s \times ks \quad (7.2)$$

Burada,

f_{kar} :Karakteristik eşdeğer küp basınç dayanımı

f_{ort} :Binaya ait karot eşdeğer küp basınç dayanım değerlerinin ortalaması

s :Karot basınç dayanım değerlerinin standart sapması

ks :Numune sayısına bağlı kabul faktörü

olarak tanımlanmaktadır.

Bağıntı 7.2'de kullanılan istatistiki kabul faktörünün değerleri Tablo 7.1.2de verilmiştir.

Tablo 7.1. İstatistiki Değerlendirmede Kullanılan Kabul Faktörleri

Numune Sayısı (n)	12	15	20	25	30	≥35
Kabul Faktörü (ks)	1,95	1,88	1,84	1,75	1,70	1,64

7.3. Değerlendirme Kriterleri

Karot alınımından sonra elde edilen bilgilerle karakteristik beton basınç dayanım değerleri istatistiki olarak incelenmiştir. Her binaya ait özellikler tespit edilemediği için sadece varolan binaların karot dayanım bilgilerinden yararlanılmıştır. Tüm bilgiler ise genel karot dayanım değerlendirilmesinde kullanılmıştır.

Genel değerlendirmede karakteristik karot basınç dayanım değerleri alınmıştır. Bu değerlendirmeler,

- Ortalama dayanım
- Standart sapması
- En büyük dayanım değeri
- En küçük dayanım değeri
- Numune sayısı
- Bina sayısı
- Türk Standartlarında verilen en düşük dayanımlı beton sınıfı olan BS 14'e göre verilerin küçük kalma miktarı % olarak verilmiştir.

Buna göre istatistiki değerlendirme için yapılan sınıflandırmalar aşağıdaki gibidir.

- Projedeki beton sınıfına göre
- Beton kaynağına göre
- Binanın yapım yılına göre
- Binanın bulunduğu yere göre
- Bina kullanım amacına göre
- Bina kat adedine göre
- Katlara göre
- Katlar arasındaki dayanım değişimine göre
- Karot alınan yapı elemanına göre
- İstatistik değerlendirme yapılan binaların beton kaynaklarına göre kalite değişkenliklerine göre

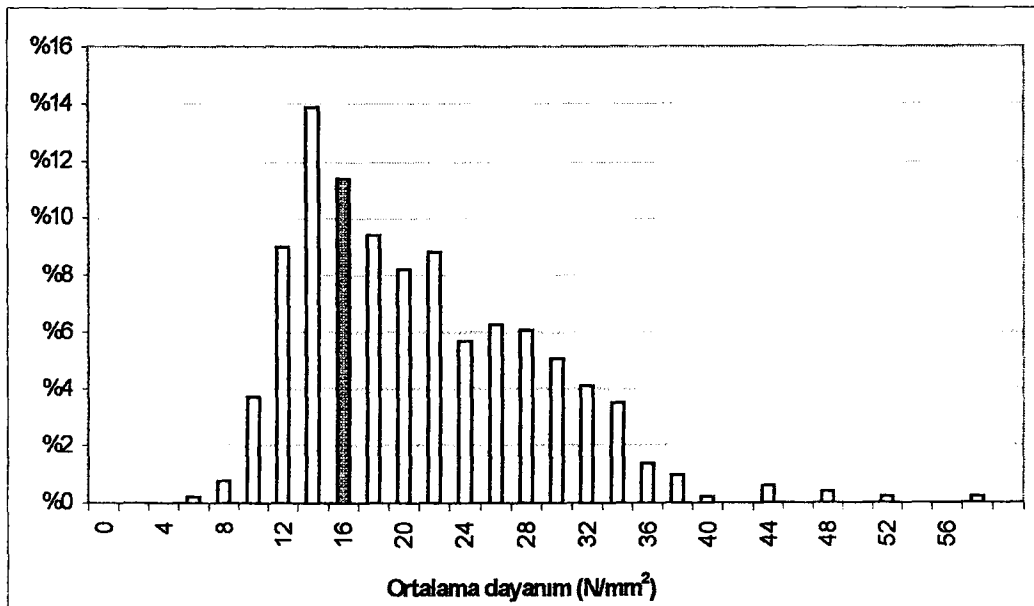
- Beton kaynaklarının projelerinde öngörülen beton sınıfına ait basınç dayanımına göre

Bu değerlendirme hem karakteristik karot basınç dayanım değerine hem de ortalama basınç dayanım değerine göre yapılmıştır.

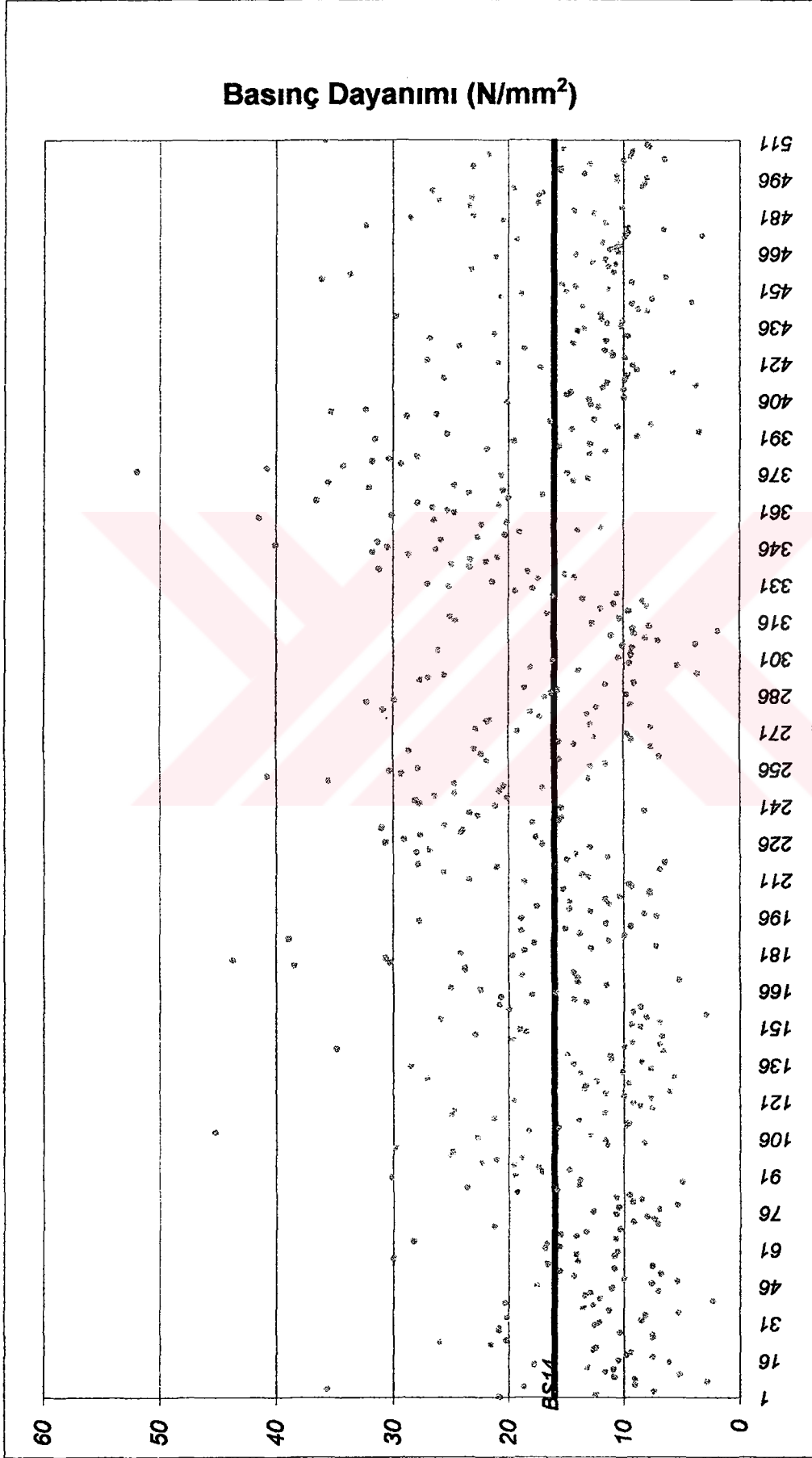
7.3.1. İstatistik incelemelerin genel değerlendirmesi

Binaların ve kullanılan betonların özellikleri dikkate alınmadan yapılan bu değerlendirme ile tüm verilerin karakteristikleri eşdeğer küp basınç dayanımı olarak tespit edilmiştir. Histogramı Şekil 7.1’de verilen 511 binanın incelenmesinden aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur.

- Karakteristik eşdeğer küp dayanımların ortalaması $16,54 \text{ N/mm}^2$
- Standart sapma $8,314$
- En büyük değer $52,00 \text{ N/mm}^2$
- En küçük değer $1,882 \text{ N/mm}^2$
- BS14 sınıf dayanımından küçük olan binaların tüm binalara oranı $\% 57,7$



Şekil 7.1. Ortalama Dayanım Değerlerinin Yüzde Dağılım Histogramu



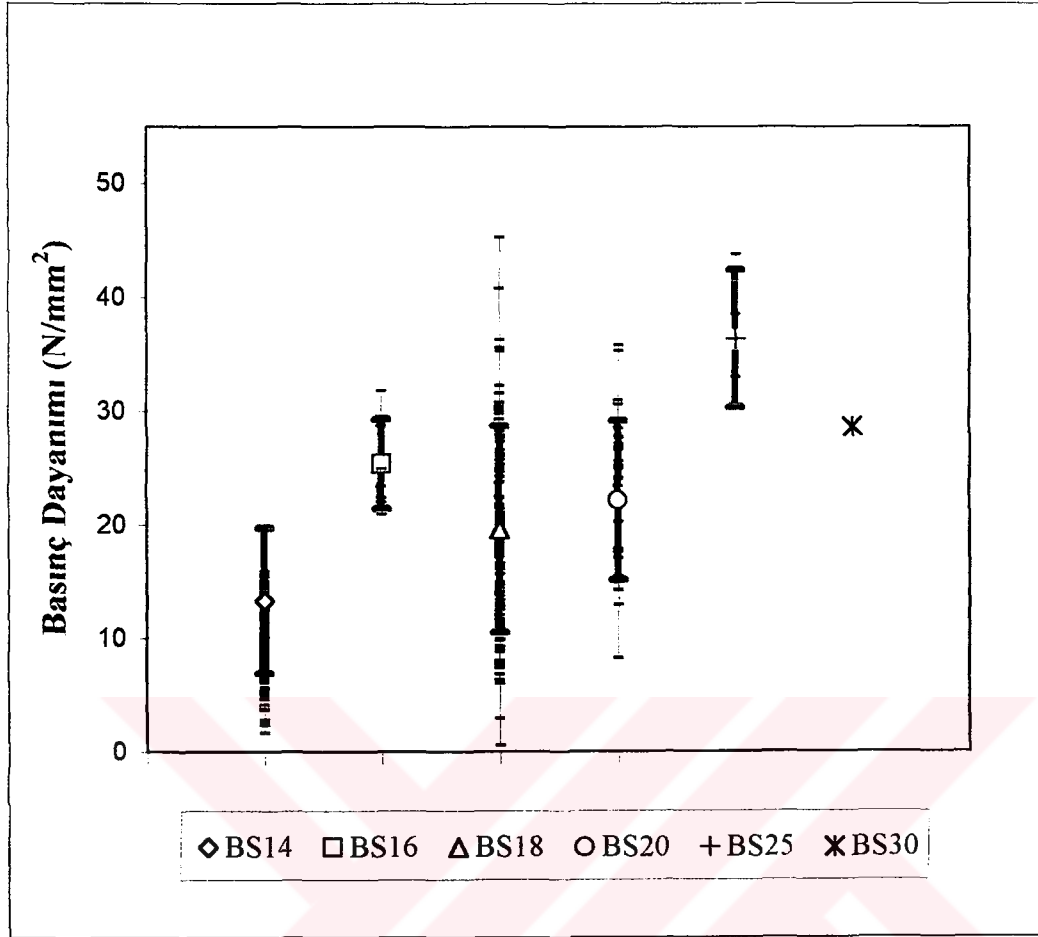
Şekil 7.2. Binaların Karakteristik Dayanımlarının Dağılımı

7.3.2. Projedeki beton sınıfına göre değerlendirme

Binaların projelerinde kullanılan beton sınıflarına göre yapılan değerlendirme, her binanın sahip olması gereken beton kalitesini yakalayıp yakalayamadığını vermektedir. Bu bilgilerin öğrenildiği 449 binada altı beton sınıfı kullanılmıştır. Karakteristik dayanımların ortalamasından da görüleceği gibi BS25 ve BS16 dışındaki betonlar sınıf dayanımlarını tutmamaktadır. BS16 beton sınıfı aynı toplu konuta ait hazır beton kullanılmış 8 binadan alınmış numunelerin sonuçlarıdır. Yapı denetimine dikkat ederek proje dayanımından daha fazla dayanımda beton kullanmayı seçtiklerinden bu sınıfa ait numunelerin sonuçları yüksek çıkmıştır. Beton sınıflarına ait değerlendirmeler Tablo 7.2’de ve Şekil 7.3’te verilmiştir. Hata Barları, ortalamaların standart sapmalarına göre hesaplanmış ve grafiklerde koyu renkli kalın çizgilerle gösterilmiştir. Bu gösterim tarzı tüm grafiklerde kullanılmıştır.

7.3.3. Beton kaynağına göre değerlendirme

Hala geleneksel yöntemlerin kullanıldığı ülkemizde beton kalitesi değişkendir. Bu amaçla betonun üretim yolunun mevcut binalardaki karot dayanımları ile karşılaştırılması yapılmıştır. 446 binadan alınan numunelerden yapılan değerlendirme ile TS500’ün en düşük betonarme betonu sınıfı olarak kabul ettiği BS14 dayanımını dahi yakalayamayan binaların %73’ü geleneksel yerinde dökme betonlarla yapılan binalardır. Ancak en yüksek karakteristik basınç dayanımı olarak gözüken yerinde dökme betonun dayanımı olan $45,29 \text{ N/mm}^2$ 1980’lerde Fenerbahçe Orduevinde dökülen betondur. Bu ve benzeri uç noktadaki örnekler dağılımın standart sapmasını ve karakteristik dayanımların ortalamasını etkilemektedir. Yerinde dökme betonun binaların karakteristik dayanımlarının ortalaması olan değeri BS14 sınıfının eş değer küp dayanımı olan 16 N/mm^2 dahi tutmadığı gibi standart sapması da göz önüne alındığında kendi içinde de %73’ü bu sınıfın altında kalmaktadır. Bu değerlendirmeler Tablo 7.3 ve Şekil 7.4’te görülmektedir. Bu değerlendirme ile bu üç sektörün karşılaştırılması mevcut yapılarda yapılmıştır.



Şekil 7.3. Beton sınıfları esas alınarak, karot sonuçlarının eşdeğer küp karakteristik basınç dayanımları değerlendirilmesi

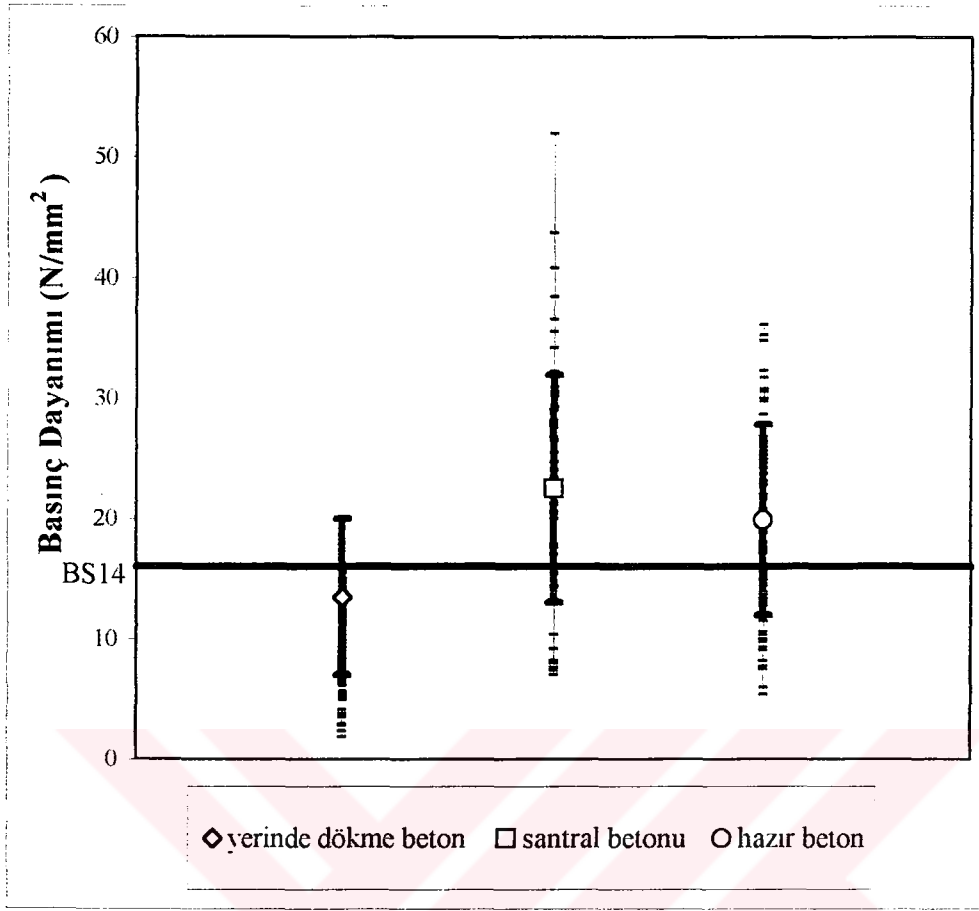
Tablo 7.2. Beton sınıflarının karot basınç dayanım değerlerinin karakteristikleri

BETON SINIFI	Ortalama Dayanım (N/mm ²)	Standart Sapma	En Büyük Dayanım (N/mm ²)	En Küçük Dayanım (N/mm ²)	Bina Sayısı	sınıftan düşük olan yapılar	sınıftan düşük olan yapılar (%)
BS14	13,34	6,362	40,12	1,72	250	175	%70
BS16	25,4	3,96	31,76	20,94	8	0	%0
BS18	19,6	9,111	52	0,55	149	99	%66
BS20	22,16	7,021	35,76	8,24	37	22	%59
BS25	36,36	6,01	43,76	30,24	4	4	-
BS30	28,59	-	-	-	1	1	-

toplam 449

Projede verilen beton sınıfını tutmayan bina sayısı

309



Şekil 7.4. Beton kaynağına göre karot basınç dayanımlarının değerlendirilmesi

Tablo 7.3. Beton kaynağına göre sınıflandırmanın karot basınç dayanım değerlerinin karakteristikleri

BETON	Ortalama	Standart	En Büyük	En Küçük	Bina	BS14'den az	BS14'den az
KAYNAĞI	Dayanım	Sapma	Dayanım	Dayanım	Sayısı	dayanımlı	dayanımlı
	(N/mm ²)		(N/mm ²)	(N/mm ²)		yapılar	yapılar(%)
YERİNDE DÖKME	13,52	6,53	45,29	1,88	246	180	%73
SANTRAL BETONU	22,51	9,45	52,00	7,00	91	28	%31
HAZIR BETON	19,93	7,94	38,94	5,41	109	38	%35

Toplam 446

BS 14 sınıfı beton dayanımını yakalayamayan bina sayısı 246

7.3.4. Binaların yapım yılına göre değerlendirme

Binaların yapım yılına göre yapılan değerlendirmede 448 bina incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda 1970 yılından sonra her yıla ait karakteristik değerlerin ortalaması hesaplanmıştır. 1970 yılından önceki değerler değerlendirmeye tek bir ad altında girmiştir. Bu değerlendirmelerin sonuçları Şekil 7.5 ve Tablo 7.4'te verilmiştir.

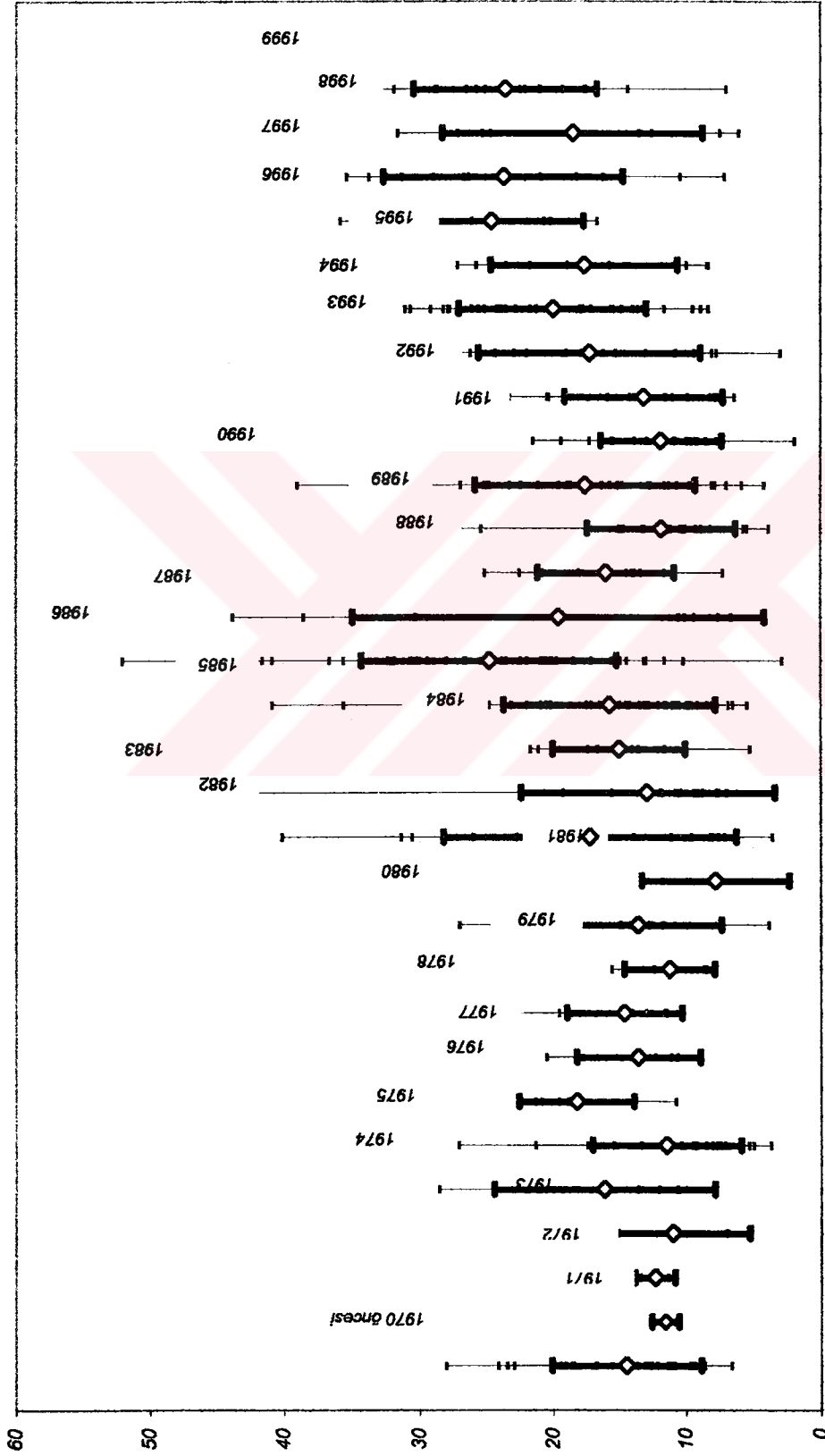
7.3.5. Binanın bulunduğu yere göre değerlendirme

Binaların bulunduğu yere göre yapılan bu değerlendirme ile İstanbul ve civarındaki ilçelerin karakteristik beton basınç dayanımları bulunmuştur. Hesaplamaların sonuçları Tablo 7.5 ve Şekil 7.6'da görülmektedir.

7.3.6. Binanın kullanım amacına göre değerlendirme

Bu yaklaşım ile farklı amaçlarla yapılmış binaların yapım kalitesi ve beton dayanımı karşılaştırılmıştır. Konut, iş yeri, kamu binaları ve endüstri yapılarından oluşan bu sınıflandırmada 488 adet bina incelenmiştir. Ülkemizde bilinen kamu binaların kalitesizliği de bir kez daha görülen bu değerlendirmede endüstri yapılarında bir derece daha fazla olan kalite anlayışı ve yapı denetimi de görülmüştür. BS14 beton sınıfından küçük kalma olasılığını da içeren bu inceleme Tablo 7.6 ve Şekil 7.7'de görülmektedir.

Basınç Dayanımı (N/mm²)



Bina Yapım Yılı

Şekil 7.5. Binaların Yapım Yıllarına Göre Karakteristik Dayanımlarının Dağılımı

Tablo 7.4. Binaların yapım yıllarına göre karakteristik dayanımlarının istatistiksel değerlendirme sonuçları

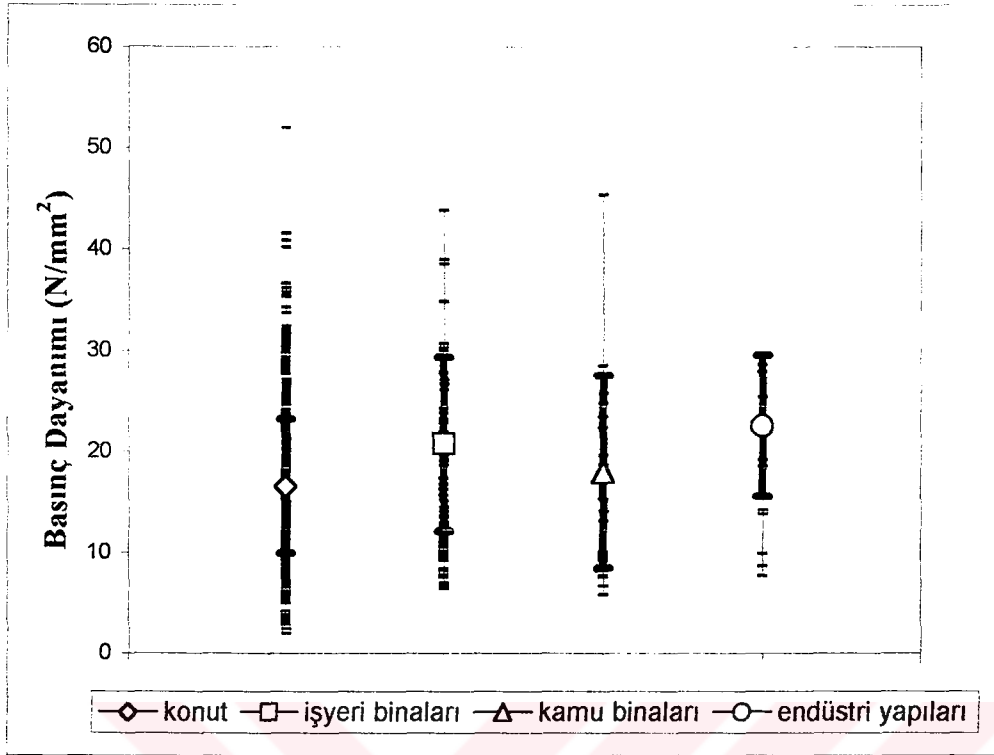
Yapım Yılı	Ortalama Dayanım (N/mm ²)	Standart Sapma	En Büyük Dayanım (N/mm ²)	En Küçük Dayanım (N/mm ²)	Bina Sayısı
1970 öncesi	14,50	5,620	28,00	6,59	26
1971	11,57	1,028	12,71	10,71	3
1972	12,35	1,497	13,41	11,29	2
1973	11,00	5,740	15,06	6,94	2
1974	16,15	8,303	28,47	10,59	5
1975	11,47	5,576	27,06	3,65	23
1976	18,24	4,323	21,29	10,71	5
1977	13,59	4,640	20,47	10,59	4
1978	14,63	4,319	23,65	10,12	9
1979	11,24	3,383	15,53	8,47	4
1980	13,60	6,254	26,94	3,76	10
1981	7,84	5,414	13,18	2,35	3
1982	17,23	10,959	40,12	3,53	17
1983	12,91	9,509	45,29	6,94	15
1984	15,03	5,008	21,65	5,18	9
1985	15,73	7,960	40,82	5,41	47
1986	24,73	9,526	52,00	11,53	41
1987	19,54	15,352	43,76	6,59	8
1988	15,99	5,140	25,06	7,18	13
1989	11,84	5,565	27,65	3,76	22
1990	17,55	8,268	38,94	4,12	38
1991	11,85	4,527	21,41	1,88	19
1992	13,16	5,922	25,53	6,35	18
1993	17,21	8,337	30,82	2,94	16
1994	19,96	7,044	30,94	8,24	32
1995	17,62	7,011	27,06	8,24	10
1996	24,59	6,957	35,76	16,59	6
1997	23,65	8,969	35,29	7,06	13
1998	18,46	9,755	31,53	6,00	8
1999	23,50	6,861	36,12	6,90	20

Toplam 448

Tablo 7.5. İlçelere göre karot beton basınç dayanım değerlerinin karakteristikleri

İlçe	Ortalama Dayanım (N/mm ²)	Standart Sapma	En Büyük Dayanım (N/mm ²)	En Küçük Dayanım (N/mm ²)	Bina Sayısı
Acıbadem	17,63	6,201	29,76	4,94	27
Adalar	11,43		11,43	11,43	1
Avcılar	13,75	7,132	36,88	7,18	15
Beşevler	11,94	8,109	35,65	2,82	14
Bağcılar	13,92	7,218	27,06	5,65	14
Bahçelievler	12,81	4,541	21,83	6,22	14
Bakırköy	11,79	2,980	17,53	7,76	15
Bayrampaşa	10,31	3,853	13,41	6,00	3
Bebek	25,28	7,212	40,12	17,29	9
Beşiktaş	15,33	9,439	35,27	2,94	14
Beykoz	20,08	7,374	40,82	8,22	44
Beyoğlu	13,65		13,65	13,65	1
Bolu	23,22	13,389	33,65	8,12	3
Bostancı	11,63	2,864	18,35	6,82	16
Büyükçekmece	17,61	9,656	24,59	6,59	3
Çorlu	12,32	3,445	14,75	9,88	2
Eminönü	12,20	4,032	20,12	8,47	6
Erenköy	18,27	7,401	26,94	6,35	6
Etiler	18,59		18,59	18,59	1
Eyüp	9,12	1,081	9,88	8,35	2
Fatih	16,87	8,631	26,41	8,82	5
Feneryolu	16,95	11,077	45,29	6,94	10
G.Osmanpaşa	17,86	9,872	24,84	10,88	1
Göztepe	15,73	7,547	32,24	3,65	22
Gümüşyaka	13,69	4,596	21,18	9,65	5
Güngören	14,40	5,569	23,18	9,53	5
İzmit	14,34	3,792	23,06	9,65	10
Kadıköy	13,05	5,971	30,00	2,35	39
Kartal	13,34	6,610	26,00	0,55	19
Kozyatağı	15,55	11,991	35,76	5,41	5
Küçükçekmece	15,01	8,093	28,47	4,61	16
Maltepe	15,11	7,592	32,35	7,18	28
Sarıyer	16,56	3,050	20,02	14,25	3
Silivri	13,03	8,610	19,12	6,94	2
Suadiye	13,57	7,920	30,82	2,65	13
Şarköy	9,65		9,65	9,65	1
Şile	9,94	3,577	12,47	7,41	2
Şişli	21,21	10,172	43,76	6,71	24
Tekidağ	1,72		1,72	1,72	1
Tuzla	21,75	7,721	31,76	7,65	10
Ulus	14,73	5,597	22,82	7,65	7
Ümraniye	15,74	11,891	32,96	6,27	4
Üsküdar	20,79	10,151	52,00	3,18	53
Yeniköy	27,86		27,86	27,86	1
Yeşilköy	17,26	11,145	31,53	3,76	11
Zeytinburnu	10,21	3,029	14,12	6,85	4

Toplam 511



Şekil 7.7. Bina cinslerine göre beton karot basınç dayanımlarının değerlendirilmesi

Tablo 7.6. Bina cinsi sınıflandırmasına göre beton karot basınç dayanımlarının karakteristikleri

Bina Cinsi	Ortalama Dayanım (N/mm ²)	Standart Sapma	En Büyük Dayanım (N/mm ²)	En Küçük Dayanım (N/mm ²)	Bina Sayısı	BS14'den az dayanımlı olanlar
konut	16,56	6,639	52,00	1,88	384	%48
işyeri	16,80	8,620	43,76	6,35	67	%49
kamu	15,29	9,537	45,29	5,76	23	%57
endüstri	18,18	7,008	28,59	7,65	14	%36

Toplam 488

7.3.7. Bina kat adedine göre değerlendirme

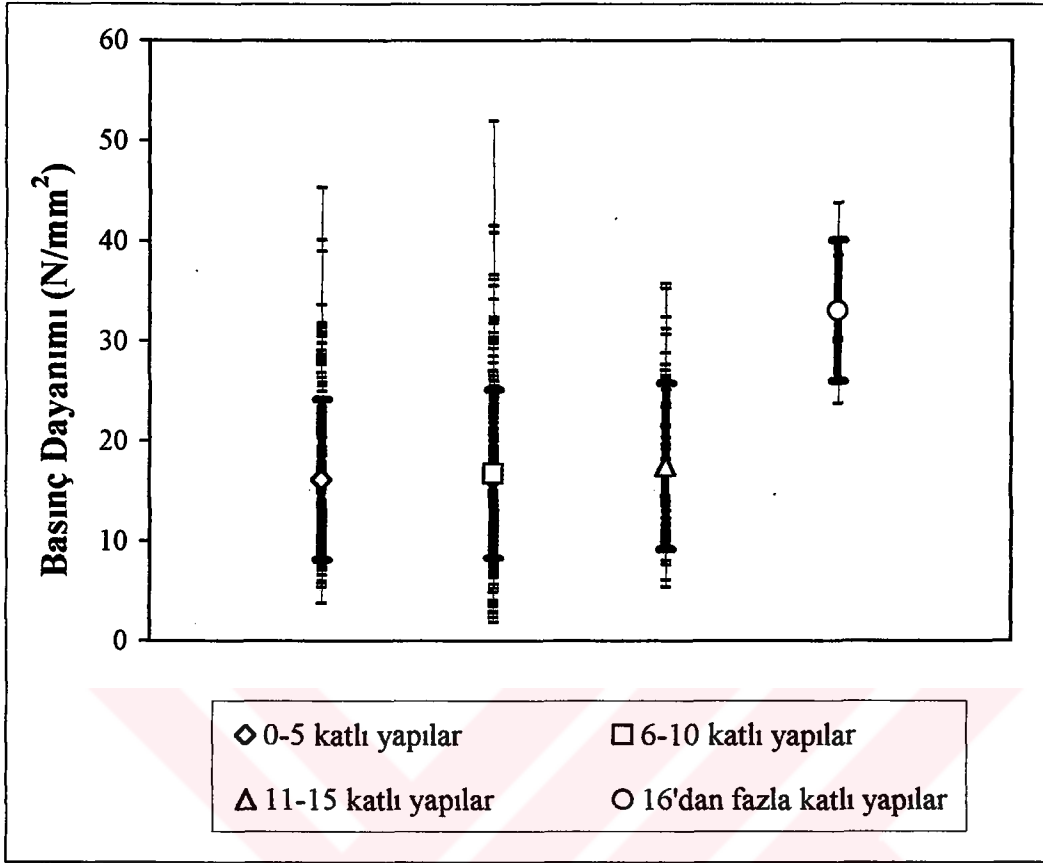
Bina kat adedine göre değerlendirme ile yüksek katlı binaların beton dayanımlarının az katlı binalara göre daha fazla olması beklenmekteydi. 446 binanın 5'er katlık ayırımla incelenmesi sonucu hem karakteristik dayanımların ortalaması artmakta hem de standart sapmalar düşmektedir. Bu incelemenin sonuçları Tablo 7.7 ve Şekil 7.8'de verilmiştir.

7.3.8. Katlara göre değerlendirme

Binaların farklı katları farklı beton kalitelerinde dökülmektedir. Bu değerlendirmede tüm binalardan alınan 2178 veri derlenmiştir. Bunun sonucunda bodrum katları ile üst katlara ait eşdeğer küp basınç dayanımlarının ortalaması bulunmuştur. Her katın BS14 beton sınıfını yakalayamayan değerlerini de yüzde olarak veren bu incelemelerin sonuçları Şekil 7.9 ve Tablo 7.8'de bulunmaktadır. BS14 sınıf dayanımını yakalayamama oranı ve standart sapmanın büyüklüğü dikkati çekmektedir.

7.3.9. Katlar arasındaki değişime göre değerlendirme

Aynı bina içerisinde beton kalitesinin değişkenliği küçümsenemeyecek boyutlardadır. Bazı binalarda bodrum katlarının bina açısından taşıyıcılığının daha önemli olduğu düşünülerek beton kalitesine dikkat edilmiş ve daha dayanımlı betonlar dökülmüştür. Bu tip binalarda üst katlarda beton basınç dayanımı düşmektedir. Ters durumlarında ise binanın bodrum katlarının zeminin altında ve görünmeyecek durumda olduğu için daha kalitesiz olarak döküldüğü durumlarda mevcuttur. Binaların kat içi değişkenliğine örnekler Şekil 7.10'da verilmiştir. Üst katlara doğru beton basınç dayanımı artan eğilim gösterenler Şekil 7.11'de, azalan eğilim gösterenlere örnekler ise Şekil 7.12 'de verilmiştir.



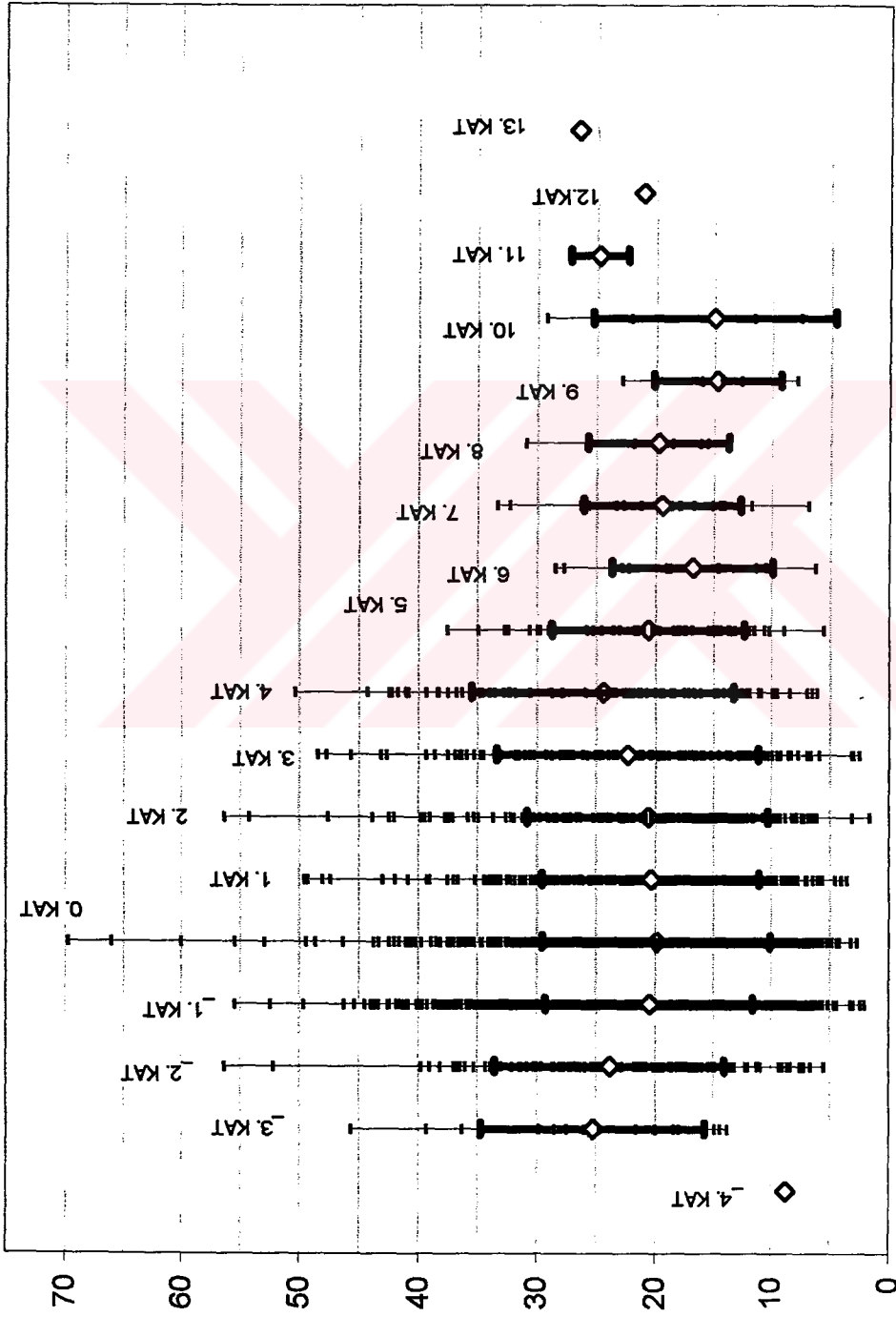
Şekil 7.8. Bina kat adetlerine göre karot basınç dayanımları

Tablo 7.7 Bina kat adetlerine göre sınıflandırılmış yapıların karot basınç dayanım karakteristikleri

BİNA KAT ADEDİ	Ortalama Dayanım (N/mm ²)	Standart Sapma	En Büyük Dayanım (N/mm ²)	En Küçük Dayanım (N/mm ²)	Bina Sayısı	Bs14' den az dayanımlı yapılar
5'den az	16,18	8,003	45,29	3,76	163	%62
5--10	16,76	8,393	52	1,88	230	%52
11--15	17,5	8,29	35,76	5,41	48	%54
16--20	33,06	7,057	43,76	23,76	5	-

Toplam 446

Basınç Dayanımı (N/mm²)

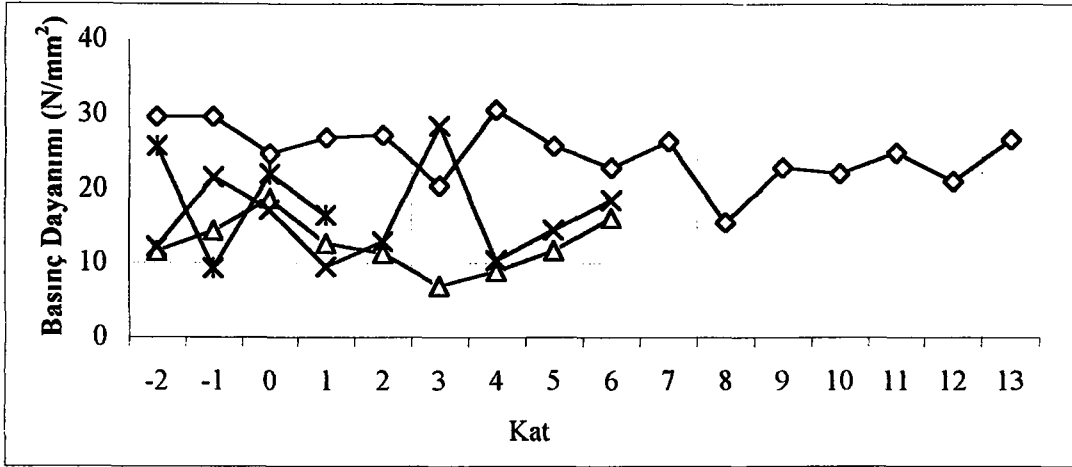


Şekil 7.9. Karotların alındığı katlarına göre eşdeğer küp basınç dayanımlarının dağılımı

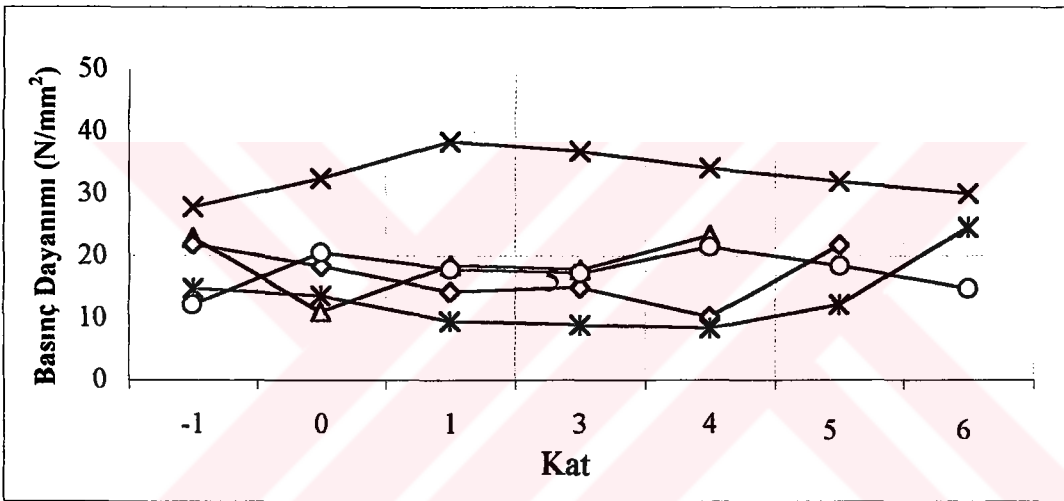
Tablo 7.8. Katlara göre sınıflandırmaya ait karot basınç dayanım değerlerinin karakteristikleri

KAT	Ortalama Dayanım (N/mm ²)	Standart Sapma	En Büyük Dayanım (N/mm ²)	En Küçük Dayanım (N/mm ²)	Karot Sayısı	BS14'den az dayanımlı yapılar
-4	8,80				1	
-3	25,25	9,51	45,29	1,88	15	%20
-2	23,81	9,78	49,50	3,50	117	%20
-1	20,46	8,82	56,30	1,60	1030	%35
0	19,83	9,69	48,40	2,50	669	%42
1	20,30	9,24	50,30	6,10	325	%37
2	20,58	10,24	37,50	5,50	188	%38
3	22,30	10,60	28,40	6,20	151	%33
4	24,40	11,12	33,30	6,80	107	%29
5	20,54	8,20	30,90	15,50	60	%42
6	16,79	6,85	22,80	7,80	14	%50
7	19,41	6,70	29,20	4,60	19	%32
8	19,72	5,99	30,90	15,50	6	%33
9	14,70	5,47	22,80	7,80	5	%60
10	14,96	10,34	29,20	4,60	5	%60
11	24,78	2,44	27,10	21,40	4	%0
12	21,00				1	
13	26,50				1	

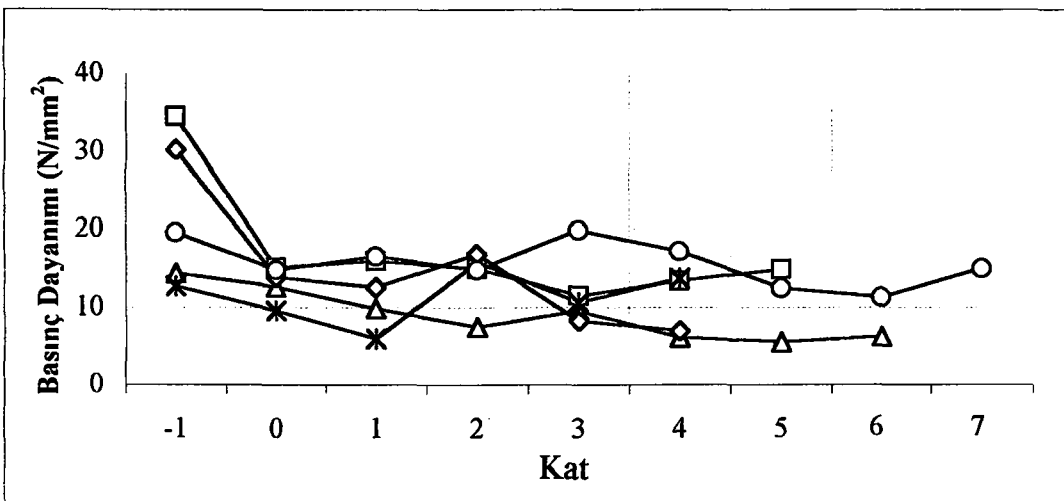
Toplam 2718



Şekil 7.10. Binaların kendi içindeki beton dayanımlarının katlara göre değişimi



Şekil 7.11. Yüksek katlara doğru artan beton dayanım dağılımı gösteren binalar



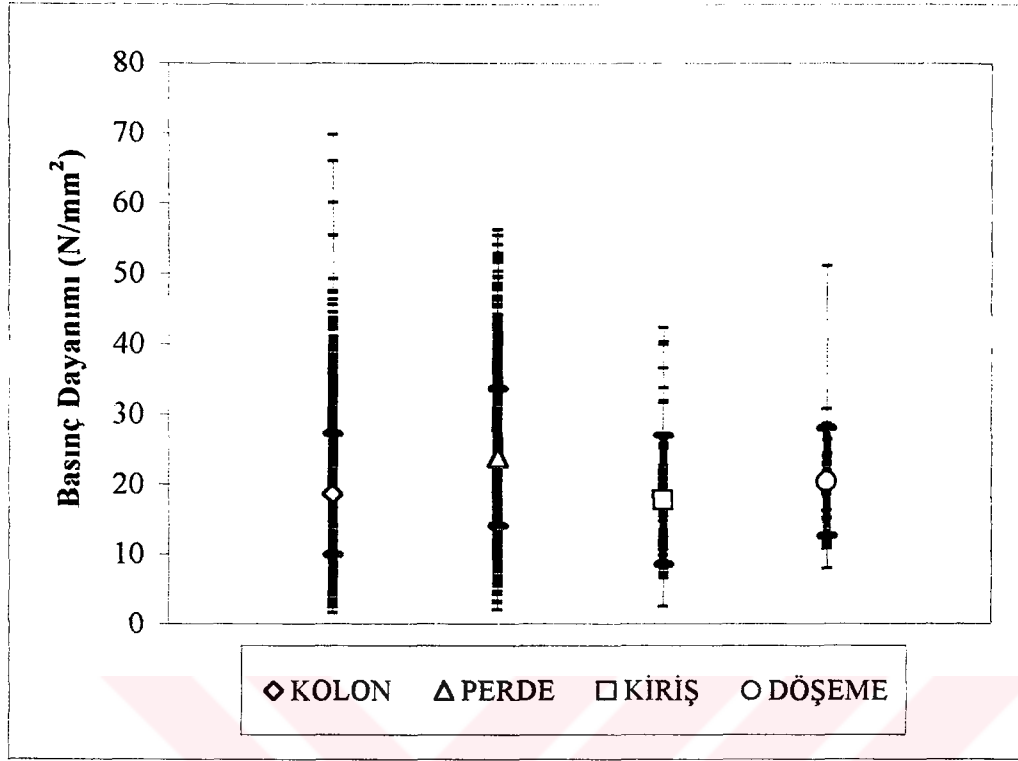
Şekil 7.12. Yüksek katlara doğru azalan beton dayanım dağılımı gösteren binalar

7.3.10. Karot alınan yapı elemanına göre değerlendirme

Karot alınan yapı elemanına beton basınç dayanımının farklılıkları istatistik olarak incelenmiştir. Bu inceleme ile kolon, perde, kiriş ve döşemelerden alınan numunelerin değerlendirmesinde perdelerden alınan numunelerin basınç dayanımlarının ortalamasının kirişlerden alınan numunelerden fazla olması perde imal edilirken beton kalitesine daha dikkat edildiğini göstermektedir. Bu incelemeden çok belirgin farklılıklar elde edilememiştir. İstatistik incelemelerin sonuçları Tablo 7.9 ve Şekil 7.13'te verilmiştir.

7.3.11. İstatistik değerlendirme yapılan binaların beton kaynaklarının kalite değişkenliklerine göre değerlendirilmesi

Bir binadan alınan karot numunelerinin sonuçlarının değişkenliği o binada kullanılan beton cinsinin kendi içindeki değişkenliğini verir. Dolayısıyla farklı beton kaynakları için yapılan değerlendirmede, yerinde dökme beton, santral betonu ve hazır beton sektörünün kendi içindeki beton kalitesini karşılaştırma olanağını verir. Sektörlerin bu kalite değişkenliği, sadece istatistik değerlendirme yapılabilen binaların verileri kullanılarak yapılmıştır. Yerinde dökme betonun dayanım düşüklüğünün de görüldüğü bu değerlendirmede standart sapmaların karşılaştırılması Şekil 7.14'te verilmiştir. Tüm değerlendirmeler Tablo 7.10'da verilmiştir.

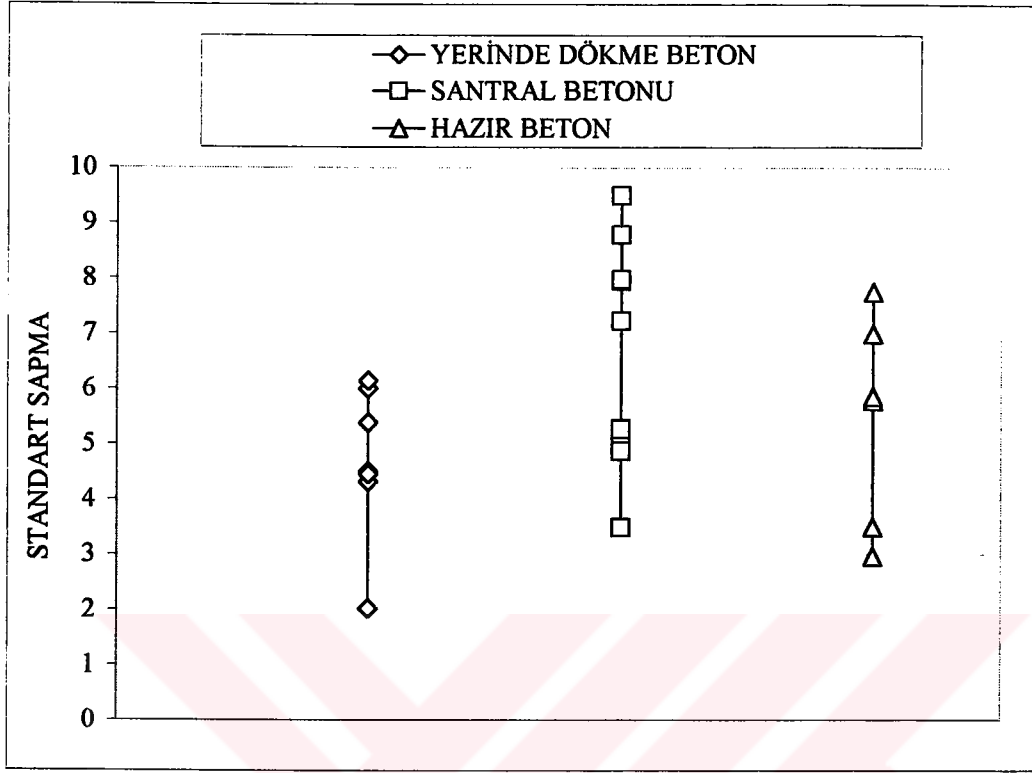


Şekil 7.13. Karot alınan elemana göre beton karot basınç dayanımlarının değerlendirilmesi

Tablo 7.9. Karot alınan eleman sınıflandırmasına göre beton karot basınç dayanımlarının karakteristikleri

Taşıyıcı Eleman	Ortalama Dayanım (N/mm ²)	Standart Sapma	En Büyük Dayanım (N/mm ²)	En Küçük Dayanım (N/mm ²)	Eleman Sayısı	BS14'den az dayanımlı olanlar
kolon	18,61	8,630	69,70	1,88	1449	%48
perde	23,85	9,810	56,30	2,00	1232	%49
kiriş	17,71	9,220	42,20	2,50	55	%57
döşeme	20,32	7,710	51,00	7,90	39	%36

Toplam 2775



Şekil 7.14. İstatistik Olarak Değerlendirilen Binaların Karakteristik Basınç Dayanımlarından Hesaplanan Standart Sapmalarının Beton Kaynağı Bazında Değerlendirilmesi

Tablo 7.10. İstatistik Değerlendirme Yapılan Binaların Beton Kaynakları Sınıflandırmasına Göre Karakteristikleri

	Sıra	Yapım Yılı	Bina Cinsi	Projedeki Beton Sınıfı	Kat Adedi	Ortalama Dayanım N/mm ²	Standart Sapma	En Büyük Değer N/mm ²	En Küçük Değer N/mm ²	Karakteristik Dayanım N/mm ²	Karot Sayısı
YERİNDE DÖKME BETON	49	1987	kon	BS18	10	16,86	5,39	25,80	8,50	6,35	12
	50	1985	kon	BS14	11	17,41	4,32	26,10	12,20	8,98	12
	109		kon	BS18	15	24,75	4,51	35,30	15,50	16,36	17
	141	1976	kamu	BS14	2	10,21	2,02	13,40	5,60	6,27	12
	218	1985	kon	BS14	9	10,43	4,47	20,10	5,50	1,72	12
	298	1985	kon	BS14	5	17,40	6,01	30,50	4,60	6,65	23
	312	1991	kon	BS18	9	12,54	6,15	24,50	1,60	1,47	12
SANTRAL BETONU	244	1985	kon	BS18	6	27,61	5,09	37,70	17,10	18,09	14
	245	1985	kon	BS18	6	32,67	5,26	39,20	22,50	22,46	13
	246	1985	kon	BS18	6	28,63	5,28	38,40	21,00	18,70	14
	247	1985	kon	BS18	6	27,98	5,18	35,90	17,70	17,92	13
	248	1985	kon	BS18	6	29,66	9,50	43,30	14,50	11,23	13
	249	1985	kon	BS18	6	31,13	7,95	42,40	17,40	16,10	15
	250	1985	kon	BS18	6	28,15	5,04	36,90	21,00	18,36	13
	252	1985	kon	BS18	6	17,18	3,49	23,40	11,10	10,59	14
	254	1985	kon	BS18	6	34,52	7,97	52,10	24,90	19,62	15
	255	1985	kon	BS18	6	35,05	7,98	56,30	25,80	20,06	15
	357	1986	kon	BS18	6	32,67	5,26	39,20	22,50	22,62	13
	367	1986	kon	BS18	6	28,08	8,78	43,30	14,50	11,30	13
	376	1986	kon	BS18	6	19,84	4,87	29,90	12,60	10,35	12
	485	1995	kon	BS20	11	30,68	7,24	49,60	19,90	17,07	15
HAZIR BETON	18	1992	kon	BS18	15	21,11	7,75	38,10	8,30	5,99	12
	271	1999	işyeri	BS20	7	24,61	5,80	43,80	16,30	14,75	30
	392	1989	end	BS20	8	32,79	5,86	42,60	21,50	21,83	16
	417	1990	kamu	BS14	4	11,41	3,50	17,30	4,90	4,65	13
	431	1990	kon	BS25	5	33,90	7,00	51,00	22,80	21,03	21
	508	1993	kamu	BS18	4	19,19	2,97	22,50	12,90	13,40	12

7.3.12. Beton kaynaklarının projelerinde öngörülen beton sınıfına ait basınç dayanımına göre değerlendirilmesi

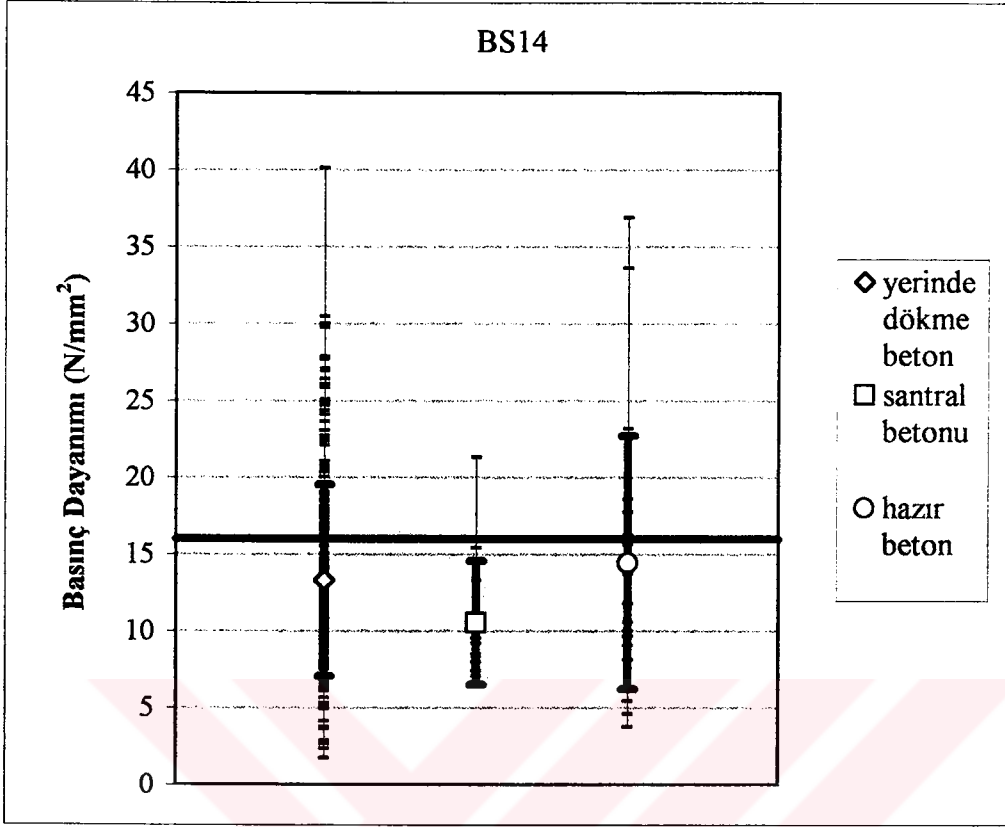
Bu değerlendirmede üç farklı beton sınıfının Tablo 7.3'te verilen genel değerlendirmesinden sonra olması gereken dayanımlarına göre değerlendirilmiştir. Tablo 7.2'de verilen BS 14 sınıf dayanımına göre değerlendirmenin yanında bu değerlendirme yerinde dökme beton, santral betonu ve hazır beton sektörünün olması gereken dayanımlar açısından yapılmıştır. Binaların eşdeğer küp karakteristik basınç dayanımları denklem (7.1) ve (7.2)'de verildiği gibi bulunmuştur. Bu hesaplamalarda genellikle en küçük karot dayanım değerinin 0,85'e bölünmüş değeri karakteristik dayanım olarak alınmıştır. Bu değer binanın ortalama eşdeğer küp basınç dayanım değerinden çok küçük olmaktadır. 10 tane karot alınan bir binada bir değer 6 N/mm^2 iken diğer dokuz değer 18 N/mm^2 'nin üstünde olabilmektedir. Bu durumda herhangi bir lokal nedenden dolayı düşük olan bu değer tüm binanın beton kalitesi düşürmektedir. Bu nedenle bu değerlendirme binaların hem karakteristik hem de ortalama dayanımlarına göre yapılmıştır. Beton kalitesinin bir binayı temsil edebilmesi için mutlaka istatistik değerlendirme yapılabilecek kadar (en az 12 adet) numune almanın gerektiği görülmektedir.

Karakteristik dayanımlardan elde edilen değerlendirmeler Tablo 7.11, Şekil 7.15, Şekil 7.16, Şekil 7.17 ve Şekil 7.18'de verilmiştir. Ortalama dayanımlar göz önünde bulunarak yapılan değerlendirmeler ise Tablo 7.12 ile Şekil 7.19, Şekil 7.20, Şekil 7.21 ve Şekil 7.22'de verilmiştir. Ortalama Dayanımlardan elde edilen veriler genel kalite düzeyini göstermektedir.

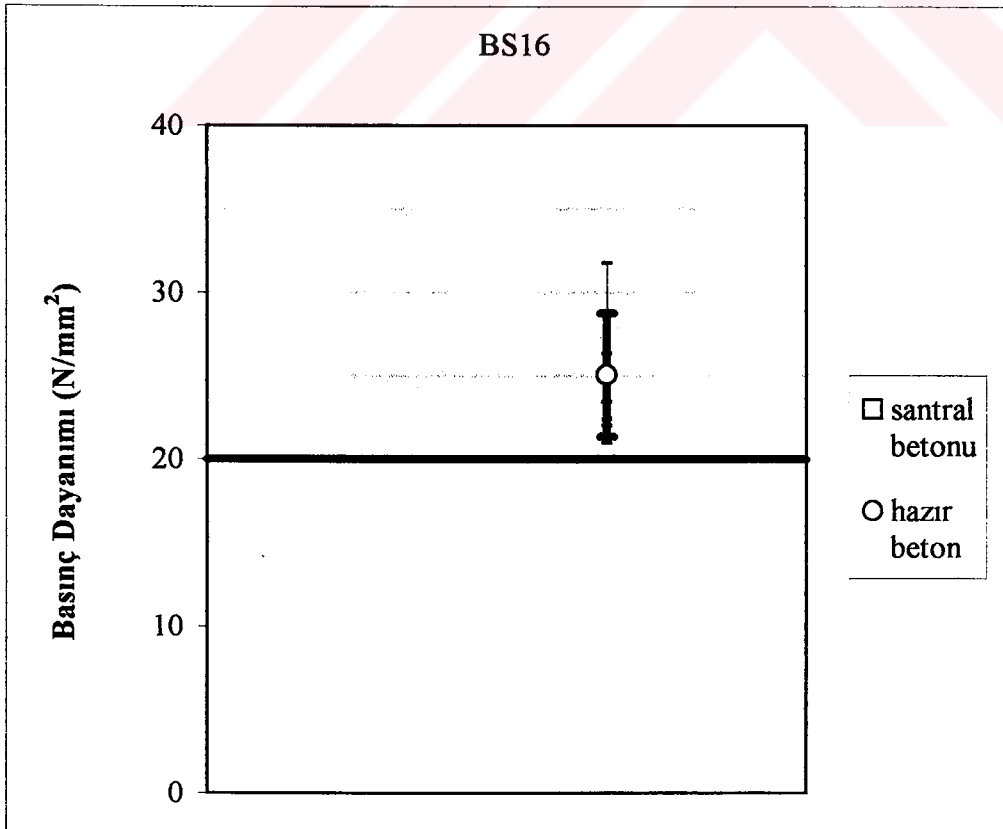
Tablo 7.10. Karakteristik Dayanımların Sınıf Dayanımı ve Beton Kaynağına Göre Değerlendirilmesi

		Ortalama Dayanım (N/mm ²)	Standart Sapma	En Büyük Dayanım (N/mm ²)	En Küçük Dayanım (N/mm ²)	Bina Sayısı	Sınıf dayanımından az olan yapılar
YERİNDE DÖKME BETON	BS14	13,31	6,170	40,12	1,72	215	%72
	BS16	–	–	–	–	–	–
	BS18	13,23	8,600	45,29	0,55	31	%91
	BS20	–	–	–	–	–	–
SANTRAL BETONU	BS14	10,55	4,020	21,29	7,06	13	%85
	BS16	–	–	–	–	–	–
	BS18	23,27	9,580	52	7,65	53	%57
	BS20	21,69	6,330	30,94	8,24	22	%41
HAZIR BETON	BS14	14,47	8,250	36,88	3,76	22	%77
	BS16	25,06	3,710	31,76	20,94	8	%0
	BS18	18,81	7,020	35,29	6	64	%64
	BS20	22,85	8,110	35,76	8,24	15	%47
	BS25	32,96	–	–	–	1	–

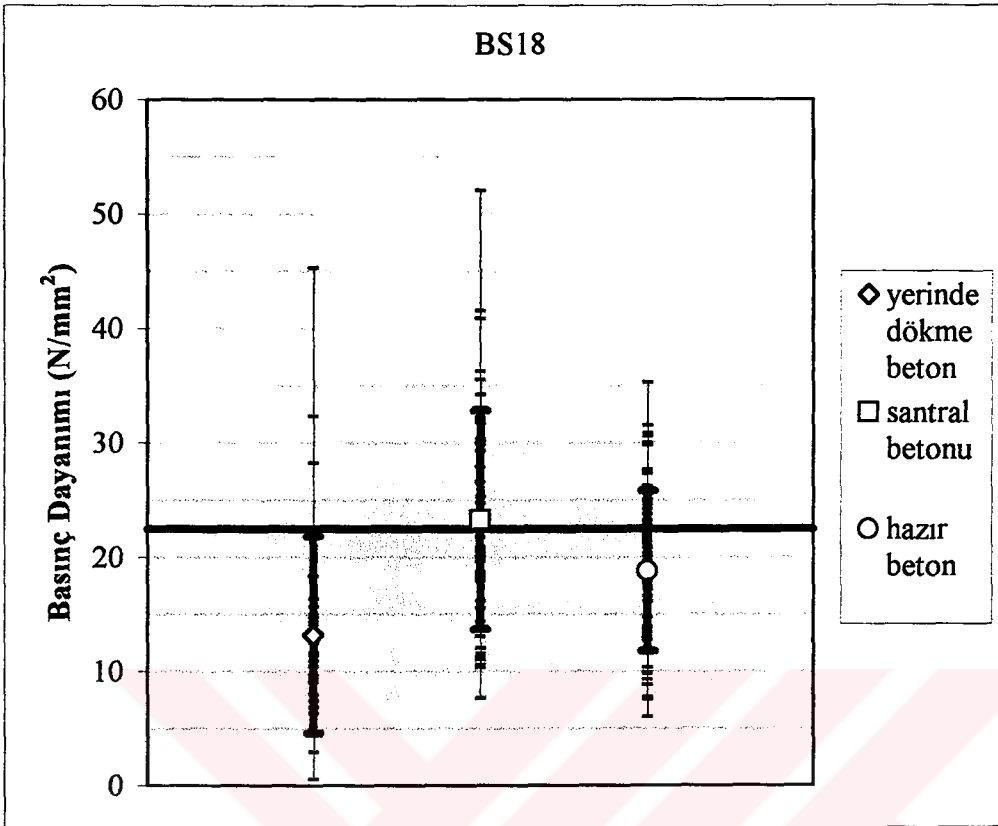
Toplam 444



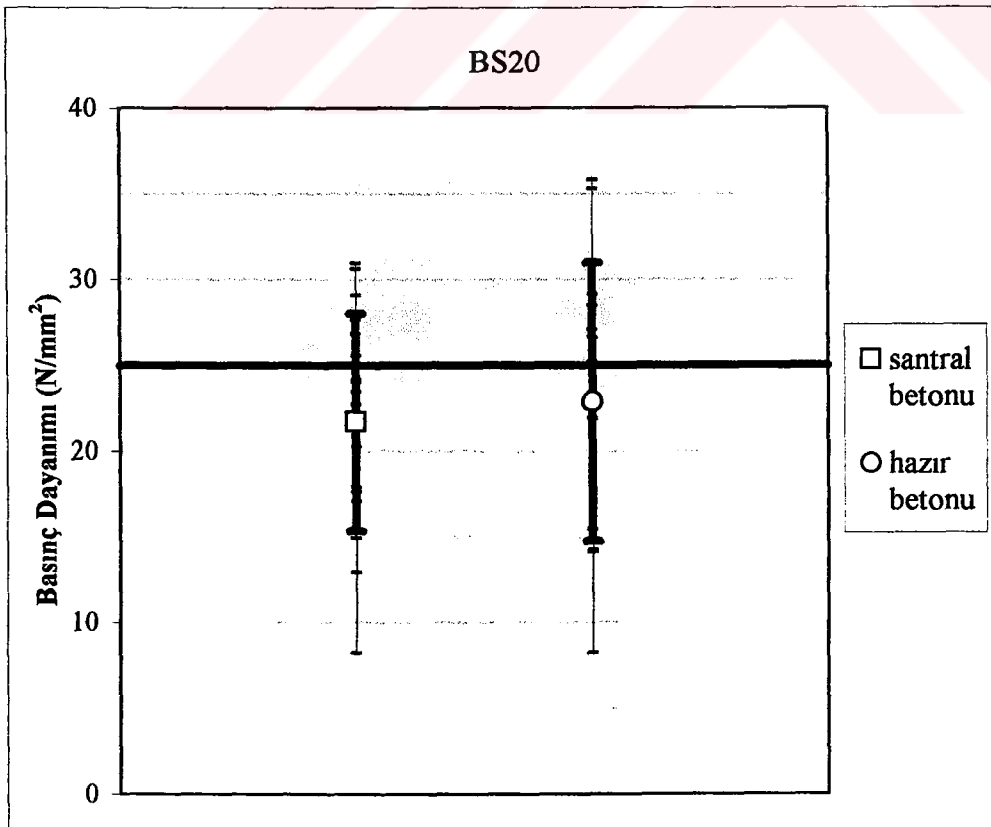
Şekil 7.15. BS 14 betonları için beton kaynağı - karot basınç dayanımı



Şekil 7.16. BS 16 betonları için beton kaynağı - karot basınç dayanımı



Şekil 7.17. BS 18 betonları için beton kaynağı - karot basınç dayanımı



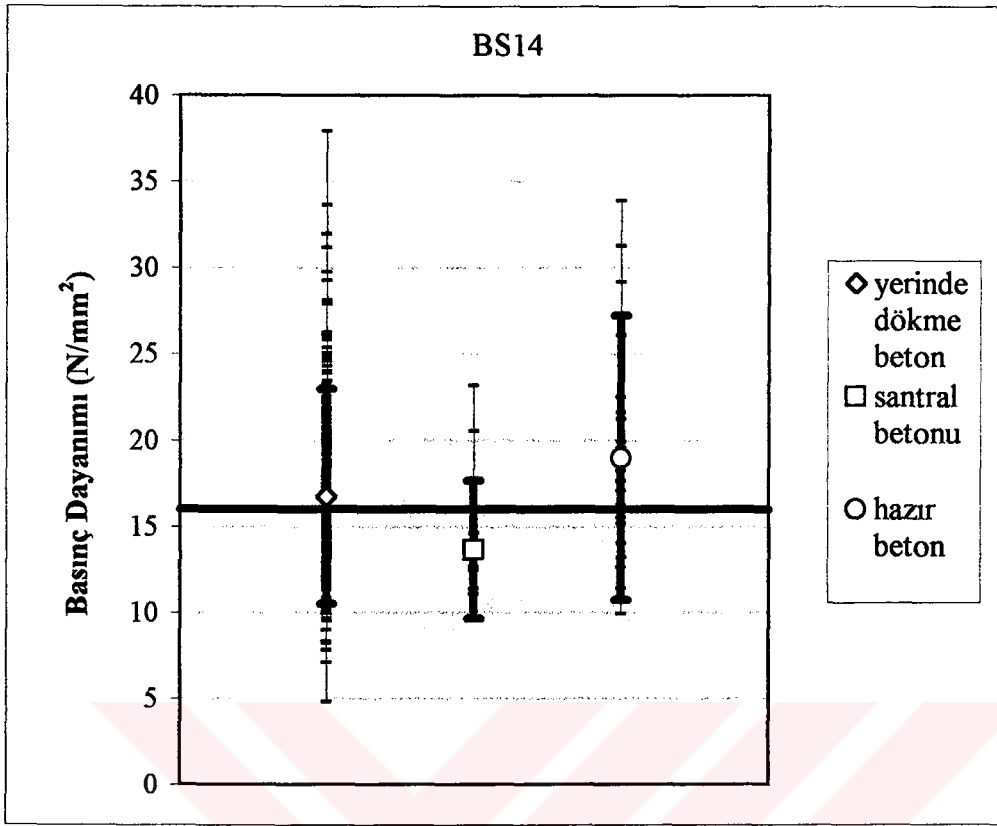
Şekil 7.18. BS 20 betonları için beton kaynağı - karot basınç dayanımı

Tablo 7.12. Ortalama Dayanımların Sınıf Dayanımı ve Beton Kaynağına Göre Değerlendirilmesi

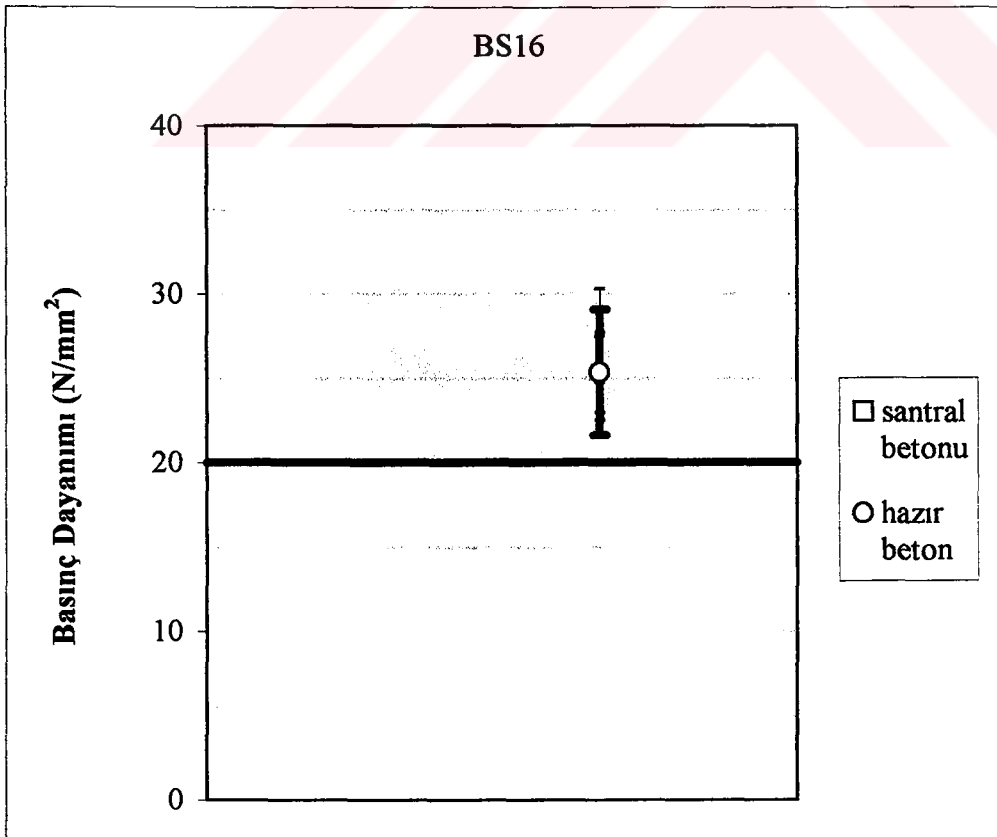
		Ortalama Dayanım (N/mm ²)	Standart Sapma	En Büyük Dayanım (N/mm ²)	En Küçük Dayanım (N/mm ²)	Bina Sayısı	Sınıf dayanımından küçük kalma
YERİNDE DÖKME BETON	BS14	16,75	5,55	37,93	4,80	215	%37
	BS16	-	-	-	-	-	
	BS18	17,51	9,14	57,92	8,38	31	%78
	BS20	-	-	-	-	-	
SANTRAL BETONU	BS14	13,66	3,95	23,20	9,55	13	%77
	BS16	-	-	-	-	-	
	BS18	28,51	8,45	50,20	12,77	53	%15
	BS20	24,18	5,63	30,83	13,22	22	%32
HAZIR BETON	BS14	18,99	6,45	33,90	9,90	22	%23
	BS16	25,36	3,00	30,30	21,56	8	0
	BS18	23,36	5,66	35,85	9,78	64	%20
	BS20	27,96	6,16	36,63	15,90	15	%20
	BS25	30,57	-	-	-	1	

Toplam 444

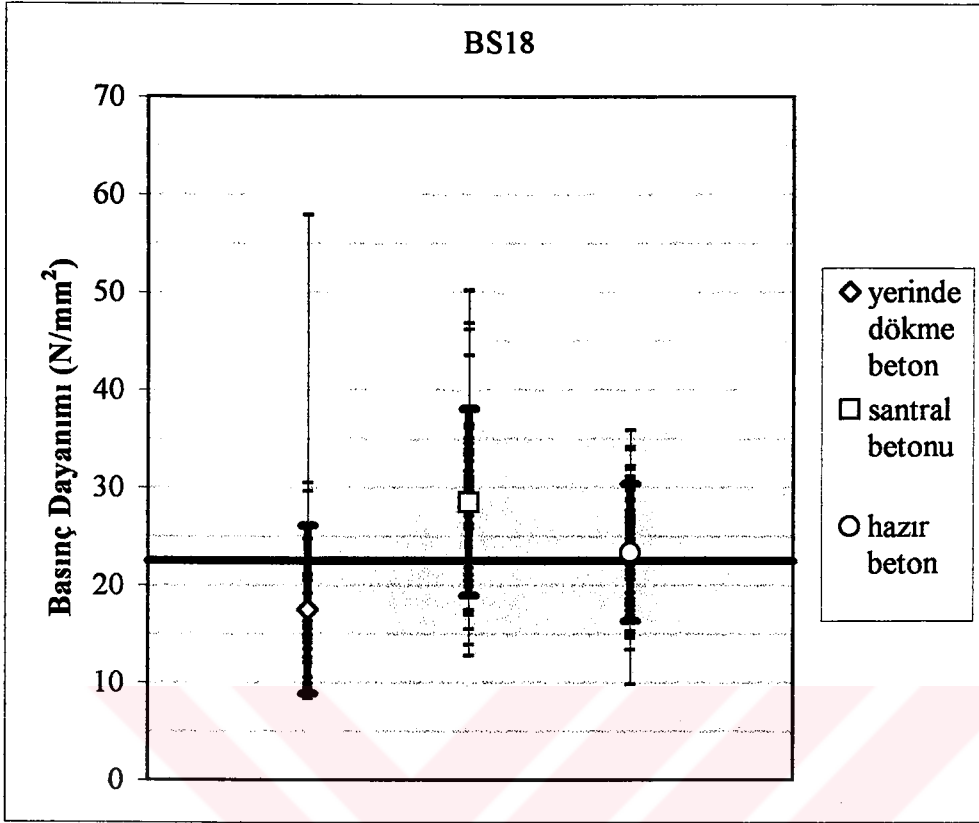
Sınıf dayanımını yakalayamayan bina sayısı 206



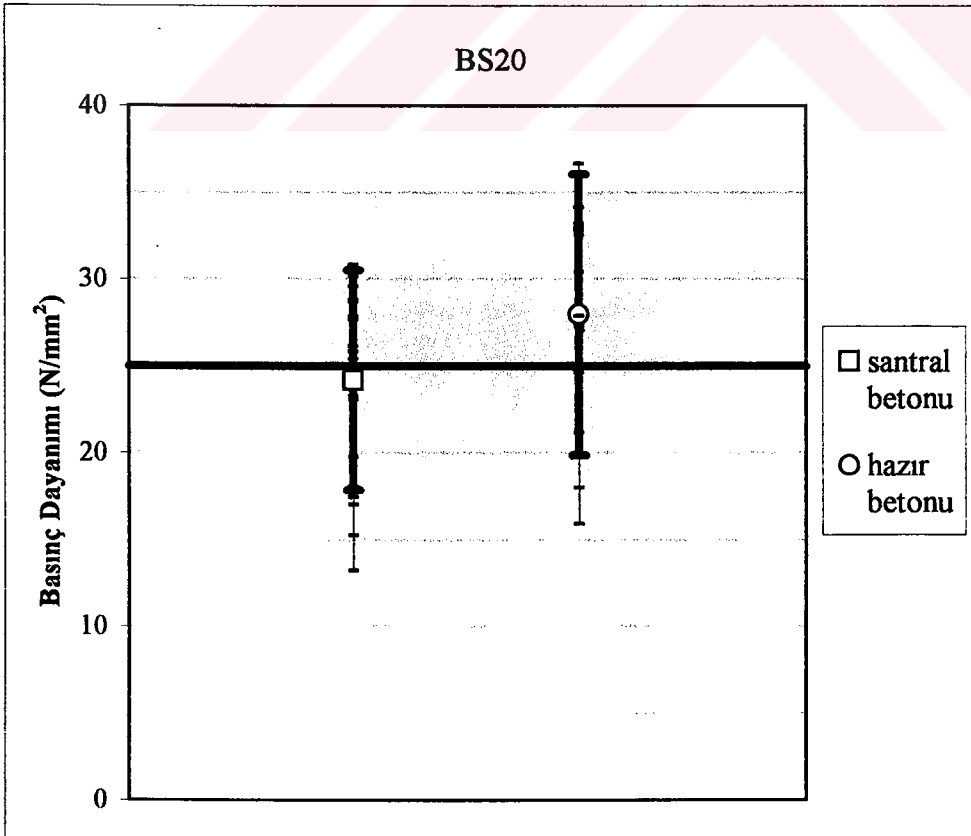
Şekil 7.19. BS 14 betonları için beton kaynağı - karot basınç dayanımı



Şekil 7.20. BS 16 betonları için beton kaynağı - karot basınç dayanımı



Şekil 7.21. BS 18 betonları için beton kaynağı - karot basiç dayanımı



Şekil 7.22. BS 20 betonları için beton kaynağı - karot basiç dayanımı

7.3.13. Sonuç

Yapılan istatistik değerlendirmeler sonucunda karot alınan 511 binanın 1,88 ile 52,00 N/mm² arasında değişen eşdeğer küp karakteristik basınç dayanımlarının olduğu görülmüştür. Bu dayanımların ortalaması 16,54 N/mm² , standart sapması 8,314 olarak bulunmuştur.

1 Ocak 1998 tarihinde yürürlüğe giren Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'te deprem bölgelerinde yapılacak betonarme yapılarda BS16 sınıf dayanımından düşük dayanımda beton kullanılmayacağı, birinci ve ikinci derecede deprem bölgelerinde tanımları verilen binalarda BS20 veya daha üst dayanımlardaki beton sınıflarının kullanılmasının zorunlu olduğunu belirtilir.

Karot alınan tüm binalar birinci derecede deprem bölgesinde bulunmaktadır. Ancak beton dayanımları Türk Standartlarında en düşük betonarme beton sınıfı olarak verilen BS14 sınıfına göre değerlendirildiğinde, değerlendirme yapılan tüm binaların beton dayanımlarının %57.7 si bile bu sınıfın dayanımını yakalayamamıştır. Bu görünen değerler Dinar, Ceyhan ve Gölcük'ten çok da farklı değildir.

Projedeki beton sınıfına göre yapılan değerlendirmede beton sınıfının dayanımı yükseldikçe karakteristik değerlerinin ortalamalarının arttığı, standart sapmalarının azaldığı görülmektedir. Projelerinde belirtilen beton sınıfı BS14 olan binaların % 70'nin bu dayanımı sahip olmadığı görülmektedir. Aynı zamanda tespit edilen 449 binanın 309'nun projelerindeki beton sınıfı dayanımlarının altında bir dayanıma sahip olması endişe vericidir.

Beton kaynağına göre yapılan değerlendirmede, yerinde dökme betonların karakteristik basınç dayanımlarının BS14 beton sınıfı minimum dayanımından %73'ünün daha az dayanıma sahip olduğu gözükmemektedir. Ortalama karakteristik dayanımı da düşük olan yerinde dökme betonların yanında ağırlıkça otomatik ölçmenin ve cebri karıştırıcılarla beton üretiminin kaliteyi arttırdığı görülmektedir. 446 binadan 246 tanesi BS14 sınıfı dayanımına bile girememektedir.

Yapıcıların işyeri endüstri gibi yapılardaki denetimin daha fazla olabileceği düşünülerek beton dayanımlarını karşılaştırılmıştır. Beklenildiği gibi endüstri yapılarının eşdeğer küp karakteristik dayanımlarının ortalamaları diğer binaların üstünde çıkmış olup standart sapması da düşüktür. Bir çoğu okul kamu binalarının ortalama beton dayanımı BS14 dayanımını tutmamakta ve bu binaların %57'si bu sınıfın altında kalmaktadır. Karakteristik dayanım 1,88 N/mm² olan bir konutun da görüldüğü bu değerlendirmede konutların işyeri binalarına göre daha düşük bir kalitede beton dayanımına sahip olduğu görülmüştür.

Bina kat adedine göre yapılan değerlendirmede ise yüksek katlı binaların beton dayanımının az katlı binalara göre daha yüksek, standart sapmalarının daha düşük olduğu görülmüştür. BS14 sınıf dayanımını altında kalma oranlarına bakıldığında belirgin bir fark görülmemekle birlikte 15'den daha fazla kata sahip olan binaların beton kalitesinin yüksekliği dikkat çekmektedir.

Binaların farklı katlarında farklı dayanımda betonların olduğunu göstermek için seçilen örneklerde, çok değişken bir dağılım görülmektedir. Üst katlara doğru azalan ve artan dayanım eğilimleri gösteren binalar bulunmaktadır. Bir bina içinde bile değişkenlik gösteren mevcut binaların beton kalitesi kuşkusuz tartışılabilir.

Karot alınan yapı elemanına göre dayanım değişkenliğini görebilmek amacıyla yapılan değerlendirmede perdelerin eşdeğer küp beton basınç dayanımının daha fazla olduğu görülmüştür.

Her beton kaynağını birbirine karşı değerlendirmenin yanında her türün kendi içindeki kalite değişkenliği de değerlendirilmiştir. Bu amaçla istatistik değerlendirme yapılan binaların ortalama eşdeğer küp basınç dayanımı açısından santral betonunun ve hazır betonun dayanımlarının yüksekliği görülmektedir. Türk Standartlarında verildiği gibi karakteristik dayanımlarına göre değerlendirildiğinde ise bu iki sektörün dayanım değerleri, yerinde dökme betonların dayanımlarının iki katı kadardır. Bu değerlendirme bir kere daha cebri karıştırılmalı, otomatik malzeme

tartımlı ve denetimli sektörün beton kalitesinin kendi içlerinde de yüksek olduğunu göstermektedir.

Her beton kaynağının olması gereken sınıfına göre değerlendirme tez sonuçları içerisinde en önemli göstergedir. Bu amaçla iki farklı değerlendirme yapılmıştır. İlkinde Türk Standartlarında verildiği gibi karakteristik dayanımlarına göre değerlendirilmiştir. İkincisinde ise ortalama eşdeğer küp dayanımlarına göre değerlendirilmiş ve karot alımı sırasındaki %15 dayanım kaybı dikkate alınmıştır. İki tür değerlendirmede de yerinde dökme betonla BS 18 betonunun yapılamadığı görülmüştür. Ortalamalar göre %77'si, karakteristik dayanımlarına göre ise %91'i BS18 beton sınıfında değildir. BS18 santral betonu ve BS16 hazır betonun özel durumunun dışında beton dayanımlarının sınıflarına göre artışı beklenildiği gibidir.

Bu değerlendirmede bir kere daha beton imalatının artık uzman, işi ciddiye alan, kalite istikrarını tutturabilecek hazır beton sektörüne bırakmak gerektiği, sokakta tenekelerle hacim hesabı yaparak ilkel bir yolla beton dökümüne son vermenin uygun olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

1. BUNGEY, J. H., 1989. Testing of Concrete in Structures. Surrey University Press.
2. GREIG, N., 1988. Concrete Core Strength Testing. Concrete Society Digest No:9.
3. SULLIVAN, P. J. E., 1991. Testing and Evaluation of Concrete Strength in Structures. ACI Materials Journal Vol.88 No:5.
4. GONCALVES, A., 1991. Influence of Core Dimension on Compressive Strength Results and Their Dispersion. Evaluation and Rehabilitations of Concrete Structure and Innovations in Design. ACI Int. Conference Vol.1, Hong Kong.
5. Arıoğlu, E. ve Arıoğlu, N., 1998. Üst ve Alt Yapılarda Beton Karot Deneyleri ve Değerlendirilmesi, Evrim Yayınevi, İstanbul.
6. ACI-228-IR-89, 1995. In Place Methods for Determination of Strength Concrete. ACI Manual of Concrete Practice, Part 2, Michigan.
7. TS 500, Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, 1984.
8. TS 10465, Beton Deney Metodları Yapı ve Yapı Bileşenlerinde Sertleşmiş Betondan Numune Alınması ve Basınç Mukavemetinin Tayini (Tahribatlı Metot), 1992.
9. BS 1881: Part 120, 1983. Method for Determination of the Compressive Strength of Concrete Cores.
10. ASTM C 42-94, 1994. Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete
11. TS 3068, Laboratuvarda Beton Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Bakımı, 1978.
12. TS 3114, Beton Basınç Mukavemeti Tayini, 1990.
13. ACI Committee 288,1988. In Place Methods for Determination of Strength of Concrete.
14. ASTM C805- 85, 1985. Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete.
15. BARLETT, F. M. and MACGREGOR, J., 1994. Effect of Core Length to Diameter Ratio on Concrete Core Strengths. ACI Mat. Journal, Vol.91 No:1, pp. 399-348.

16. YİP, W.K. and TOM., C. T., 1988. Concrete Strength Evaluation Through the Use Small Diameter Cores. Magazine of Concrete Research, Vol.40, No: 43.
17. TS 3260, Beton Yüzey Sertliği Yolu ile Yaklaşık Beton Dayanımının Tayini Kuralı, 1978.



ÖZGEÇMİŞ

1978 Yılında Gölcük'te doğdu. İlk ve Orta öğrenimini Gölcük'te, lise öğrenimini Kocaeli Körfez Fen Lisesi'nde tamamladı. 1994 yılında TÜBİTAK-Bilim Adamı Yetiştirme Grubu Liselerarası Araştırma Projeleri yarışması Biyoloji ödülünü aldı. 1994 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 1998 yılında mezun oldu.

1999 yılından beri Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Ana Bilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak görev çalışmaktadır.



Şekil 7.6. İlçelere göre beton karot basınç dayanımlarının değerlendirilmesi

