



# Beton Dayanımı ve Karakteristik Mekanik Özelliklerinin Yerinde Deneyler ve Sonuçlarının Değerlendirilmesi İle Belirlenmesi

*İnş. Yük. Müh. Kerem Peker  
İnş. Yük. Müh. Sukan Külekçi*

## Özet

Bu çalışmada , beton kalite denetimi , yapılarda mevcut beton deneylerinin değerlendirilmesi, bunun için kullanılan yöntemler, karot dayanımına etkidiği bilinen etmenler, karot dayanımı ile gerçek ve potansiyel dayanım arasındaki bağıntıları kapsayan genel bilgiler verilmektedir.

**Anahtar Kelimeler :** Karakteristik dayanım , Hasarsız yöntemler , Karot deneyleri

## 1. GİRİŞ

Bir yapının güvenliğinin saptanmasında yapıyı oluşturan taşıyıcı elemanlardan uzman bir mühendis tarafından belirli kritik bölgeler üzerinde yeterli sayıda yerinde ölçümler ve değerlendirmeler yapılarak yapı hakkında bir fikir sahibi olunabilir. Bunların içerisinde önem derecesi yüksek olan beton dayanımının projeye uygunluğunun belirlenmesi isteniyorsa, uzman mühendislerin denetimi altında yapının değişik bölgelerinde yapılacak bir takım standartlara uygun deneylerin sonucunda elde

edilen verilerin, boyut ve şekil etkileri de göz önünde tutularak, yorumlanmasıyla yapının sahip olduğu beton basınç dayanım değerlerine ulaşılabilir.

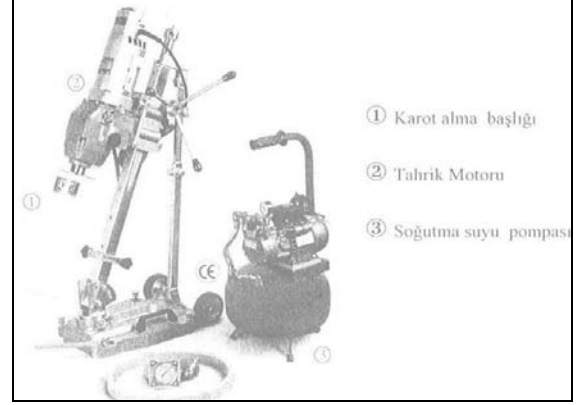
(1) İnşaat Yüksek Mühendisi , Erdemli Proje ve Müşavirlik San. Tic. Ltd. Şti.  
(2) İnşaat Yüksek Mühendisi

## 2. TEST YÖNTEMLERİ

### 2.1. HASARLI YÖNTEM

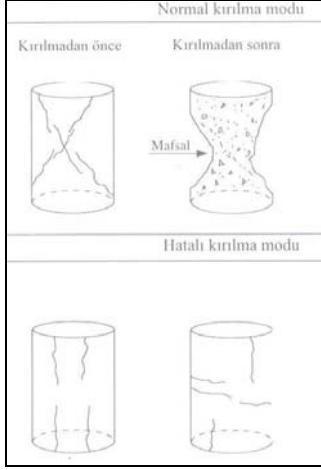
Bu yöntem, sorumlu mühendisce yapıdan, taşıyıcı elemanların güvenliğini etkilemeyecek konum ve büyüklükte, sorunlu yerlerden alınan karot adı verilen silindirik beton numunelere başlık yapılarak üzerinde gerçekleştirilen basınç deney ve sonuçlarının değerlendirilmesi esasına dayalı bir yöntemdir. Diğer yöntemlere göre maliyet, deney hızı ve hasar açısından sakıncalarına rağmen, betonun yerinde dayanımını en yüksek güvenlikle verdiği yapılan deney sonuçlarıyla sabitlenmiştir.

Eğer bir taşıyıcı elemanın taşıma gücünün yerinde beton dayanımı ve kesit geometrik boyutları ile tahkiki isteniyorsa taşıyıcı elemanın gerilme yönünden en kritik bölgesinden karot alınmalıdır. Bazı durumlarda alınan karotların boyutları yapının stabilitesi açısından uygun olmayabilir, örneğin döşeme kalınlığının yetersiz olduğu ve çok narin kolonda büyük boyutlu numunelerin alınması durumunda olumsuz etkilerin oluşmaması için daha küçük çaplı karotlar alınmalı ve küçük çap kullanımından kaynaklanacak değişkenlik katsayısına bağlı olarak oluşabilecek hata oranının düşürülmesi için de çok sayıda karot numune sorumlu mühendisce belirlenecek bir güven aralığına bağlı olarak alınmalıdır. Karot alınmasında dikkat edilecek bir diğer hususta; özellikle eğilme gerilmesine maruz kalan taşıyıcı sistemlerde, numune alınırken örselenmenin etkisiyle ortaya çıkan kılcal çatlakların sonuçları olumsuz etkilemesinden dolayı, çekme bölgesinden elverdiği ölçüde örnek alınmamasıdır. Numunelerin alınma zorluklarının ve alındıkları yerlerde oluşan boşlukların tekrar doldurulmasının getirdiği maliyetleri yani karot alma + deney masrafı + değerlendirme masrafını da göz önünde bulundurarak hesaplarda kullanılacak dayanım değerinin etkin bir şekilde bulunabilmesi için yapının toplam beton hacmine bağlı olarak değişik bölgelerinden uygun sayıda karot numune alınmalıdır. Dayanıma etkidiği bilinen karot boyutları ise; pratikte kullanılan en büyük karot çapı için  $\varnothing 200$  mm , en küçük çap için ise  $\varnothing 50$ mm ,kullanılan yaygın karot çapları ise  $\varnothing 100$ mm ve  $\varnothing 75$ mm dir. Karotun uzunluğu yerinden çıkarılırken yaklaşık 50-40mm uzun olmalıdır ve deney öncesinde homojenliği sağlamak için baş kısımlarından bu fazlalıklar alınmalıdır.



**(Sekil 2.1) Karot Alma Makinası**

Basınç deneylerinin uygulamasında dikkat edilecek en önemli husus , karotun kırılma modunun doğru yapılmasıdır. Hatalı kırılma modu ile sonuçlanan deneyler değerlendirmeye alınmamalıdır. Hatalı kırılma modunun oluşması nedenleri : karot alınmasında hatalı örnek , karot boyutlarının hatalı olması ve karotun yükleme başlığı altında yanlış yerleştirilmesi, başlık malzemesinin yanlış seçilmesi ve elastik modülünün betondan çok farklı olması , karotun çok nemli ve boşluklu olması , su içinde çok uzun süre unutulmuş olması , basınç deney aletinin kalibrasyonunda bir bozukluk olması gibi faktörlere bağlıdır. Normal kırılma modunda ; karotun yan yüzeylerinde diyagonal kırılma çizgileri oluşur , karotun yaklaşık orta noktasında “mafsal” gözlenir. Hatalı kırılma modunda ise ; karotun başlık kısımlarında paralel çizgiler oluşur , karotta yatay çekme çatlakları gözlenebilir , yarıma ve kırılma çizgileri karotun bir köşesinde toplanmıştır. Ayrıca , diyagonal kayma gerilmeleri altında oluşan kırılma şekli, (boy/çap) oranı 1 olan veya 1'e yakın silindirikler (veya küp) için geçerlidir. Numune boyu çapın iki katına yaklaştıkça (Boy/çap=2) kırılma, boyuna çatlaklar şeklinde de (çekme gerilmeleri sonucu) gerçekleşebilir.



(Şekil 2.2) Karotların Kırılma Şekilleri

## 2.2. HASARSIZ YÖNTEMLER

Üç değişik şekilde yapılmaktadırlar, bu yöntemler diğerlerine nazaran daha ekonomik olmalarının yanında taşıdıkları bazı dezavantajlardan dolayı diğer yöntemlerle bulunan sonuçlarla ilişkilendirilip kullanılmaları gerekir. Örneğin çatlaklı ve yüksek dayanımlı yüzeylerde ve içerisinde dayanımı yüksek agrega bulduran beton elemanlarda yapılan deneylerden alınan sonuçların verimli olmadığı görülmüştür. Ayrıca betonun kür koşullarının sonuçlar üzerindeki olumsuz etkilerinden dolayı da tek başlarına betonun dayanımını belirlemede kullanılmamalıdır. Bu deneylerden elde edilen okuma değerleri aynı yapıdan alınan karot numunelerin okuma değerlerine karşılık gelen değerler ile kaydedilmelidirler. Ekonominin yanında kısa bir zaman içerisinde gerçekleştirilebilme özellikleri diğer yöntemlere göre çok daha fazla sayıda uygulanabilirlik imkanı sağlar bu nedenle hasarlı deney sonuçlarının kontrolünde kullanılmaları çok daha uygun olur .

### Bu Yöntemler:

- Ultrasonik Hız Metodu
- Batma Dayanımı Metodu
- Yüzey Sertliği Metodu (Schmidt Çekici)

Ultra ses dalga hızı ile boyu en az 100mm olan beton karotun elastik modülü , başlıklarına hassas bir şekilde yerleştirilen verici ve alıcılar ile yapılan ultra ses ölçümleri yardımıyla belirlenebilir. Ölçülen hız değerleri betonun iç yapısı (boşluklar , kılcal çatlaklar vb.) hakkında bilgi edinilmesinde de yardımcı olur. Donatısız betonlardaki okuma değerleri daha güvenilirdir.

Schmidt Çekici betonun yüzey sertliğini belirlemede kullanılan bir yöntemdir. Okumaların yapıldığı noktaların ara mesafelerinin en az 3cm olmasına dikkat edilmelidir.

Sadece hasarsız okuma ile bir sonuç elde edilmek isteniyorsa , ultra ses dalga hızı ve schmidt çekici ile elde edilen sonuçlar birlikte değerlendirilmelidir. Bu yönetime “bileşik tahribatsız yöntem” denilmektedir. Bileşik tahribatsız yöntem de sağlıklı sonuç alınabilmesi için ya beton bileşimi ile ilgili yeterli bilgiler bulunmalı ve ilgili etkinlik faktörleri ile çarpılarak yıkıntısız (tahribatsız) deney sonuçları düzeltilmelidir, ya da karot alınarak sonuçlar kalibre edilmelidir.

## 2.3. KARMA YÖNTEM

Hasarlı yöntemler için alınan karot numunelerine ve alındıkları bölgelere hasarsız yöntemlerin de uygulanmasıyla çıkan sonuçların birbirleriyle ilişkilendirilmelerini kapsayan yöntemdir. Kullanılan diğer yöntemlere göre daha güvenilir olmasının yanında daha pahalıdır.

## 3. TEST SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

### 3.1. HASARLI DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Elde edilen sonuçlar yardımıyla beton sınıfının belirlenebilmesi için bir takım düzenlemeler yapılmalıdır. Yönetmeliklerde beton sınıfı, ideal koşullarda üretilen, saklanan ve denenen standart numune dayanımları cinsinden tanımlandığından karot dayanımlarını ( $f_c$ ) standart numune dayanımına ( $f'_c$ ) 'ye alınan karotların uygunluğu, ebatları, doygunluk ve donatı parçası gibi beton dayanımına etkileyen parametrelerin de etkileri düşünülerek yeniden düzenlenmesi gerekir. Bu parametrelere kısaca değinilecek olursa :

**3.1.1. Karot Narinliği :** karot yüksekliği / karot çapı =  $l/d$  büyüklüğü basınç dayanımını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu değer bir düzeltme faktörü ile yeniden gözden geçirilmelidir, bununla ilgili kullanılan yöntemler birbirlerine çok yakındır.

#### Narinlik Düzeltme Faktörleri ( $F_l/d$ )

	Ortalama Değer	Açılım
FEMA 274 (Bartlett ve MacGregor) 'e göre		
Doygun Halde	$1-(0,117-4,3x(10^{-6}) \cdot f_c) \cdot (2-Q/d)^2$	$2,5x(2-Q/d)^2$
Kuru Halde	$1-(0,144-4,3x(10^{-6}) \cdot f_c) \cdot (2-Q/d)^2$	$2,5x(2-Q/d)^2$
İlk nem Şartlarıyla	$1-(0,1305-4,3x(10^{-6}) \cdot f_c) \cdot (2-Q/d)^2$	$2,5x(2-Q/d)^2$
Concrete Society Bağıntısı (BS 1881)	$2 / (1,5 + 1/(l / d))$	

Cizelge 3.1.

**3.1.2. Karot Çapı :** Karot çapı (d) küçüldükçe “yüzey alanı / karot hacmi” oranı artmakta ve buna bağımlı olarak basınç dayanım değerleri değişmektedir. Karot çapı kullanılan maksimum agrega çapının 3 katı seçilmelidir. Uygulamada karot çapının 100mm seçilmesi önerilir. Karot çapının dayanıma olan etkilerinden dolayı minimum 50mm seçilmelidir.

**Karot Çapının Düzeltme Faktörleri (F<sub>dia</sub>)**

	Ortalama Değer	Açılım
FEMA 274 (Bartlett ve MacGregor) 'e göre		
50 mm	1,06	11,8
100 mm	1,00	0,0
150 mm	0,98	1,8

Cizelge 3.2.

**3.1.3. Karotun (Düşey/Yatay) Alınması ile ilgili Düzeltme Faktörü :** Beton döküm bakımından , malzemenin heterojenliğini ve dolayısıyla basınç dayanımını etkiler. Bu konuya yönelik yapılan deney sonuçlarının ışığında yatay alınmış karotların düşey alınmış karotlara kıyasla (narinlik ve yaş dan bağımsız) dayanımları daha zayıftır.

$$F_y = \frac{f_d}{f_y} = 1,08$$

$f_d$  ve  $f_y$  sırasıyla düşey ve yatay alınmış karotlara ait basınç dayanımlarını göstermektedir.

**3.1.4. Örselenme İle İlgili Düzeltme Faktörü :** Karotların alınması esnasında kesilen agreganın karottan ayrılma olasılığı çok yüksektir ve bu nedenle karotların basınç dayanımları aynı narinlik ve çaptaki, döküm silindir numunelerin dayanımlarından daha düşüktür.

FEMA 274 (Bartlett ve MacGregor) 'e göre düzeltme faktörü  $F_d = 1,06$  değeri kabul edilmektedir.

**3.1.5. Boşluk Oranı İle İlgili Düzeltme Faktörü :** Karotlarda bulunan fazla boşluk miktarı , yerinde sıkıştırılarak dökülmüş beton numunelere göre sahip oldukları fazla boşluk miktarını gösterir. Bu miktarın; dayanıma olan etkilerinden dolayı belirlenip, düzeltmelerde göz önünde bulundurulması gerekir.

Concrete Society ,1987 'ye göre :

$$V_h = \frac{Y_b - Y_k}{Y_b - 500} \times 100, \%$$

$Y_b$  : İyi dökülmüş ve sıkıştırılmış betonun yoğunluğu -kg/m<sup>3</sup>-28 günlük

$Y_k$  : Karot Yoğunluğu

Normal şantiye şartlarında bu değer % 0,5-2,5 arasında beklenir.

Düzeltilme Değeri :

$$F_h = 0,1022V_h + 0,98$$

**3.1.6. Donatı Etkisi :** Karotun içinde yer alan donatı miktarının basınç dayanımı üzerindeki etkisi bir düzeltme yoluyla dikkate alınmalıdır. Genelde bu etkiden dolayı beklenen azalma %10'dan azdır.

FEMA 274 (Bartlett ve MacGregor) 'e göre içerisinde bulunan tek donatı ve çift donatı adedi için düzeltme faktörü  $F_r = 1,08$  ve  $1,13$  değeri kabul edilmektedir.

Concrete Society ,1988 'ye göre :

$$F_r = \frac{f_k}{f_{kd}} = 1,0 + 1,5 \frac{\sum d_d \cdot h}{d \cdot l}$$

$F_r$  : Donatı Düzeltmesi

$f_k$  : Donatısız Karot Basınç dayanımı

$f_{k,d}$  : Donatılı Karotun Basınç dayanımı

$d_d$  : Donatı Çapı

$h$  : Donatının Karot Üst Tabanından Olan Uzaklığı

$d$  : Karot Çapı

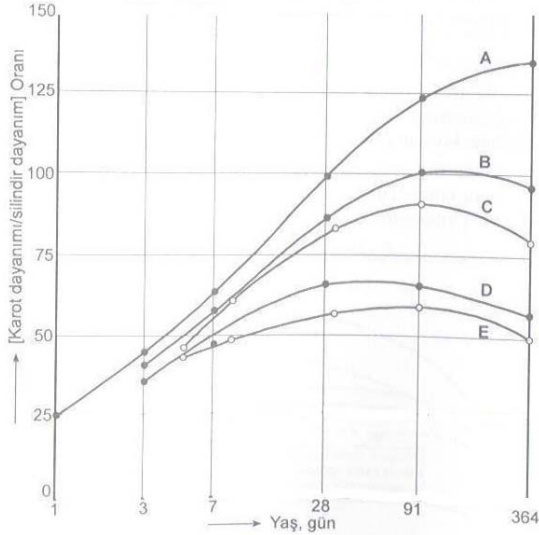
$l$  : Karot Yüksekliği

**3.1.7. Kür Süresi ve Koşulları (Sıcaklık-Nem) :**

Şantiye koşullarında üretilen betonların yerinde dayanımları; laboratuvar koşullarında üretilen betonların %77'si kadardır. Eleman bazında bu oran, bağıl nem içerisinde; kolonlarda %65 , döşemelerde %50 ,kirişlerde %75 alınmaktadır. Kür süresi ve koşullarına bağlı olarak üretilen silindirik karot numuneler üzerinde yapılan basınç dayanım testlerine dayanarak su içerisinde kür edilen numunelerde sürekli bir artış gözlenmektedir, Yapı içinde kuru durumda bulunan betondan alınan karot kesinlikle kuru olarak deneye tabi tutulmalıdır.

**(Şekil 3.1)**

**Karot Dayanımı / Standart Silindir Dayanımı (28 günlük dayanım) Oranlarının Kür Koşulları ve Yaşa Bağlı Olarak Değişimleri**



**A** : Standart silindir , **B**: İyi kür edilmiş döşeme , kuru karot test edilmiş , **C**: İyi kür edilmiş döşeme , karot ıslak test edilmiş , **D**: Kötü kür edilmiş döşeme , karot kuru test edilmiş , **E**: Kötü kür edilmiş döşeme ,karot ıslak test edilmiş.

(Normal portland çimentosu, 28 günlük standart silindir dayanımı : 38 N/mm<sup>2</sup>)

Beton üzerinde yapılan kalite kontrollerinde olası hataları önlemek için 28 günlük standart kür koşullarındaki beton dayanımına çevrilmesi gerekmektedir.

ACI Committee 209 (MacGregor,1997)'ye göre bu düzeltme :

$$f_{(t)} = f_{(28)} \left[ \frac{t}{A + B_t} \right]$$

$f_{(t)}$  : t süresindeki beton basınç dayanımı

$f_{(28)}$  : 28 günlük standart dayanım -22,8 °C sıcaklık ve nemli kür koşullarında Ø150x300 mm silindir

t : Kür süresi , gün

A , B : Ampirik formüller. Çimento türüne göre değerler alırlar.Normal portland çimentosu için A=4 , B=0.85. Çimento III için A=2.3 ,B=0.92

Örneğin ; normal portland çimentosu için t=7 günlük basınç dayanımı

$$f_{(7)} = 0.70 f_{(28)} \text{ 'dir}$$

### 3.1.8. Karot Numunelerin Nemliliği :

Nemliliğin basınç dayanımına olan etkisi önemli bir faktördür. Yapılan deneylerde, suya doymuş karotların dayanım değerleri kuru ortamda kür edilmiş karotlara oranla %10-15 daha düşüktür. Bu konuda yapılan bazı çalışmaların sonucunda elde

edilen kür farklılıklarının nemlilik durumuna göre basınç dayanım değişimleri çizelge 3.3 teki gibidir.

Fn	$\frac{f_{c \text{ kuru}}}{f_{c \text{ ıslak}}}$	$\frac{f_{c \text{ yerinde}}}{f_{c \text{ ıslak}}}$	Kür Koşulları
Bartlett , MacGregor (1994)			<b>Kuru</b> : %40-60 rutubet ortamında 7 gün kür <b>Islak</b> : En az 40 saat kireçli suda kür <b>Yerinde</b> : Kesildiği anki şartlarda tutma (plastik torba içinde)
100 mm Karot	1.144	1.090	
Yip , Tamr (1998)			<b>Kuru</b> : 2 veya 3 haftalık döküm betonundan alınan karot 28 güne kadar açık havada bekletilip , 28. Günde test edilmiştir. <b>Islak</b> : 2 veya 3 haftalık döküm betonundan alınan karot 26 güne kadar suda bekletilmiş, 28 güne kadar açık havada kurumaya bırakılmış, 28 günde test edilmiştir.
100 mm Karot	1.04		
50 mm Karot	1.11 (düşey) 1.22 (yatay)		

Çizelge 3.3.

Nemlilik ile dikkat edilecek kısım karotun alındığı nem durumuyla deneye tabi tutulmasıdır ,yani karot orijinalinde “ kuru ” olarak alınmış ise , “ kuru ” olarak test edilmeli , “ nemli ” durumda alınmış ise alınan karot bir süre suda bekletilip, en azından aynı deneysel koşullarda test edilmelidir.

## 3.2. HASARSIZ DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

### Ultra ses dalga hızı :

Ultra ses dalga hızı ile betonun dinamik elastik modülünün hesaplanması ile ilgili bağıntılar :

\* Homojen , izotrop elastik ortamda boyuna-basınç dalga hızı :

$$V = \frac{l}{t} \quad , \quad V = \left( \frac{K \cdot E_d}{\gamma} \right)^{1/2}$$

$$E_d = \frac{\gamma}{K} \cdot V^2$$

$$K = \frac{1 - \nu}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}$$

$$\nu = 0.2 \text{ için}$$

$$E_d = 0.9 \cdot \gamma \cdot V^2$$

V : Boyuna-basınç dalga hızı , km/sn

l : Karot boyu , km

t : Ses hızının geçiş süresi , sn

$\gamma$  : Beton yoğunluğu , kg/m<sup>3</sup>

$\nu$  : Poisson oranı

$E_d$  : Betonun dinamik elastik modülü , KN/mm<sup>2</sup>

Tomsett-1980 , e göre ultra ses metodu ile yaklaşık dayanımın belirlenmesi :

$$\log_e \frac{f_s}{f_y} = K \cdot f_s \cdot (V_1 - V_2)$$

$f_s$  : Standart küp üzerinde ölçülen 28 günlük basınç dayanımı , N/mm<sup>2</sup>

$f_y$  : Yerde beton dayanımı , N/mm<sup>2</sup>

$V_1$  : Standart numune üzerinde ölçülen ultra ses, Km/sn

$V_2$  : Yapı elemanında ölçülen ultra ses, Km/sn

$K$  : Yerde betonun sıkıştırılması ile ilgili faktör

Çok kötü sıkıştırmada  $K=0.025$

Normal sıkıştırma düzeyinde  $K=0.015$

Çok yüksek sıkıştırma düzeyinde  $K=0.005$

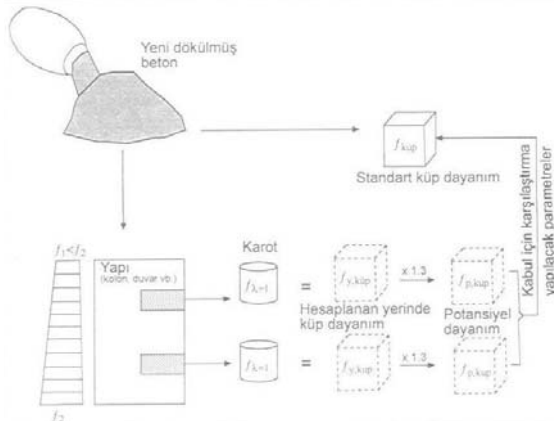
## 4. TEST SONUÇLARININ YORUMLANMASI

### 4.1. Potansiyel Dayanımın Hesaplanması :

Potansiyel dayanımın hesaplanmasındaki amaç, yerinde dayanım değerleri hesaplanan bir numune ile standart küp dayanımlarını (laboratuar koşullarında sıkıştırılan -kür 20±2°C , %100 bağıl nem edilen 150 mm küp numuneler) karşılaştırarak kalite denetimini yapmaktır.

#### (Sekil 4.1)

### Karot Dayanımından Hareketle Belirlenen Potansiyel Dayanımların Standart Küp Dayanımları İle Karşılaştırılması



Standart numunelerin basınç deneylerinde , (ACI 214 3 R-88,1988 de belirtilen) beton özelliklerindeki (su/çimento oranı , karışım suyu gereksinimi , tüm bileşenlerin özellikleri , üretim-taşıma-yerleştirme işlemleri) ve deney yöntemlerindeki (uygun örnekleme prosedürünün uygulanmaması) değişimlerden dolayı bazı “sapmalar” gözlenir. Bu durumda bu “sapmalar”ın

büyüklüğü nedeniyle standartlarda belirtilen “kabul kriterleri” sağlanamaz. Kabul kriterleri :

$$f_{1,min} \geq f_{proje} - 3 , N/mm^2$$

$$f_4 \geq f_{proje} + 3 , N/mm^2$$

$f_{1,min}$  : Minimum 28 günlük basınç dayanımı (150 mm küp numune)

$f_4$  : 4 ardıl deneyin aritmetik ortalaması

$f_{proje}$  : Proje dayanımı 150 mm küp dayanımı

Kabul kriterlerinden en az birisinin ayrı her ikisinin birden sağlanmaması durumunda, örneklerin temsil ettiği üretimler « şüpheli üretim » olarak değerlendirilmelidirler. Şüpheli betonların basınç dayanımları olarak temsil ettikleri yapı elemanından alınacak karotların dayanımlarından hareketle hesaplanacak « potansiyel dayanım » büyüklüğü esas alınır.

$$f_{p,küp} = f_{y,küp} \cdot F_h \cdot F_k \cdot F_y$$

Yatay alınmış karot için :

$$f_{p,küp} = \left[ \frac{2.5}{1.5 + \frac{1}{\lambda}} f_{\lambda} F_r \right] \cdot F_h \cdot F_k \cdot F_y$$

Düşey alınmış karot için :

$$f_{p,küp} = \left[ \frac{2.3}{1.5 + \frac{1}{\lambda}} f_{\lambda} F_r \right] \cdot F_h \cdot F_k \cdot F_y$$

$f_{p,küp}$  : Potansiyel dayanım – 150 mm küp dayanımı cinsinden

$F_h$  : Sıkıştırma işlemi ile ilgili düzeltme faktörü

$F_k$  : Kür koşulları ile ilgili düzeltme faktörü.

Ortalama şantiye koşulları için  $F_k = \frac{1}{0.77}$  değeri

kabul edilir.

$F_y$  : Kür yaşı ile ilgili düzeltme faktörü.(Kür koşulunun kuru olması durumunda  $K_y=1$ 'dir)

Potansiyel dayanım için hata miktarı ±%15 olarak alınmalıdır (Concrete Society , 1976). Buna göre ortalama potansiyel dayanım değerinin alt sınır değeri «  $f_{p,küp,alt}$  » ise beton kalitesi yönünden üç durum söz konusudur :

- $f_{p,küp,alt} > f_{proje}$  .Bu durumda beton dayanımı yönünden « kabul » edilir.

- $0.85 \times 0.85 f_{\text{proje}} < f_{\text{p,küp,alt}} < f_{\text{proje}}$  durumunda, üretilen beton « şüpheli » olarak değerlendirilir ve ek araştırmalara gidilir (karot sayısının artırılması , karot ile birlikte hasarsız deneylerin birlikte değerlendirilmesi)
- $f_{\text{p,küp,alt}} < 0.85 \times 0.85 f_{\text{proje}}$  ise üretilen betonlar « red » edilir.

### Barlett - MacGregor – 1995’e Göre Yerde Beton Dayanımı (FEMA 274)

Betonun yerinde silindir dayanımı ile karot dayanımı arasındaki bağıntı :

$$f_{y,s} = F_{l/d} \cdot F_d \cdot F_r \cdot F_{mc} \cdot F_d \cdot f_{\lambda}$$

İle ifade edilmektedir.

$f_{y,s}$  : Yerde beton dayanımı-silindir cinsinden

$F_{l/d}$  : Narinlik düzeltme faktörü

$F_{dia}$  : Karot çapı düzeltme faktörü

$F_r$  : Karotta donatı mevcut ise ona ait düzeltme faktörü

$F_{mc}$  : Karotun kür şartları için düzeltme faktörü

$F_d$  : Karot alma işleminde verilen hasar için düzeltme faktörü

$f_{\lambda}$  : Karot numunesinin basınç dayanımı ( $\lambda \neq 2$ )

Düzeltilme Faktörü	Ortalama Değer	Açılım
* Boyunun Çapına oranı (F <sub>l/d</sub> )		
Doygun Halde	$1 - [0,117 - 4,3x(10^{-4})x]x(2 - (l/d))^2$	$2,5x(2 - (l/d))^2$
Kuru Halde	$1 - [0,144 - 4,3x(10^{-4})x]x(2 - (l/d))^2$	$2,5x(2 - (l/d))^2$
* Çapı (F <sub>dia</sub> )		
50 mm	1,06	11,8
100 mm	1,00	0,0
150 mm	0,98	1,8
* İçerisinde Bulunan Donatı Adeti (F <sub>r</sub> )		
Yok	1,00	0,0
1 Adet	1,08	2,8
2 Adet	1,13	2,8
* Doymunluk Derecesi (F <sub>mc</sub> )		
Doygun	1,09	2,5
Kuru	0,96	2,5
* Örselenme Durumu (F <sub>d</sub> )		
Örselenmiş	1,06	2,5

### 4.2. Yerde Dayanım Büyüklüklerinin Değerlendirilmesi :

#### 4.2.1. Concrete Society , 1988’e Göre

##### Anomali gösteren değerlerin ayıklanması :

Hesaplanan yerinde küp dayanım değerleri, yerinde beton bileşiminin heterojen olması, delmede aşırı örselendirme , başlık hazırlamada

özensizlik ve test sırasında çok hızlı veya çok yavaş yükleme hızının uygulanması gibi nedenlerden dolayı; numuneler arasında “ anomali ” gösteren değerler oluşması durumunda bu “şüpheli değerlerin” ayıklanması için izlenecek yöntem :

$$t = \frac{f' - f_{k,\min}}{0.06 f'_{k,\min} \sqrt{1 + \frac{1}{n-1}}}$$

$f'_{k}$  : En küçük dayanım değerinin dışında kalan değerlerin aritmetik ortalaması

$f_{k,\min}$  : Deney gurubu arasında yer alan en küçük dayanım değeri

n : Deney gurubu arasındaki karot sayısı

Karot sayısı	t	
	A	B
4	2.9	4.3
5	2.4	3.2
6	2.1	2.8
7	2.0	2.6
8	1.9	2.5

**Cizelge 4.1.**

Bulunan “t” değeri çizelgede alınan karot sayısına karşılık gelen değerden büyükse “  $f_{k,\min}$  ” değeri atılır ve bunun dışında kalan dayanım değerlerinin ortalaması “ geçerli ” kabul edilir. Çizelgedeki A değeri karotun alındığı yere bağlı olarak etkiyen parametrelerin kesin bilinmesi durumunda ,B değeri ise her ne durumda olursa olsun “t” değerinin olması gereken en büyük değeri gösterir.

##### Sınır değerlerin saptanması :

$$f_{y,küp,\text{üst}} = f_{y,küp} + \frac{\%12}{\sqrt{n}} f_{y,küp}$$

$$f_{y,küp,\text{alt}} = f_{y,küp} - \frac{\%12}{\sqrt{n}} f_{y,küp}$$

Hesaplanan yerinde küp dayanım değerlerinin aritmetik ortalaması :

$$f_{y,küp} = \frac{\sum_{i=1}^n f_{y,küp,i}}{n}$$

n : Anomali gösteren değerlerin dışında kalan karot sayısı

##### Yerde karakteristik dayanımın belirlenmesi :

$$f_{y,kr} = f_{y,küp,\text{alt}} - 1.64s_y \quad \left( \begin{array}{l} \%5 \text{ risk için } 1.64 \\ \%10 \text{ risk için } 1.28 \end{array} \right)$$

$s_y$  : Yerde dayanım değerlerinde hesaplanan standart sapma

$$s_y \cong s+0.5 \sim 1.5 \text{ N/mm}^2$$

$s$  : Standart küp numuneler için hesaplanan standart sapma , N/mm<sup>2</sup>

#### Değerlendirme :

$$f_{y,kr} > \frac{f_{proje}}{\gamma_m} \quad \text{ise yerde dayanım yönünden}$$

beton kabul edilebilir.

$$f_{y,kr} < \frac{f_{proje}}{\gamma_m} \quad \text{ise beton red edilir}$$

$f_{proje}$  : Proje beton dayanımı , N/mm<sup>2</sup>

$\gamma_m$  : Malzeme katsayısı =1.5

#### 4.2.2. Barlett – MacGregor , 1995'e göre yerde Karakteristik Dayanımın Hesaplanması :

Yerde dayanımı etkileyen tüm faktörlerin değişkenlik katsayıları hesaplatılarak tek taraflı % 90 güvenlik derecesi için yerde dayanımın alt sınır değeri :

$$f_{y,salt} = f_{y,s} - 1.28 \sqrt{\frac{(k_1 s_y)}{n} + f_{y,s}^{-2} (F_{1/d}^2 + F_{dia}^2 + F_r^2 + F_{mc}^2 + F_d^2)}$$

#### Kaynaklar

FEMA 274, NEHRP Commentary on The Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings", C6.3.2.3. "Test methods to quantify properties", pp.6-9, 6-10. (FEMA 356 , C6.3.2.3)

Bartlett, F. M., and MacGregor, J. G., 1995, "Equivalent Specified Concrete Strength from Core Test Data," ACI Concrete International, American Concrete Institute, Detroit, Michigan.

ASTM, 1990, Standard Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete, ASTM C 42, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pennsylvania.

Ergin Arnoğlu, Nihal Arnoğlu (1998). Üst ve Alt Yapılarda Beton Karot Deneyleri ve Değerlendirmesi

Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları , TS 500 / Nisan 1984

Beton Deneysel Metotları - Yapı ve Yapı Bileşenlerinde Sertleşmiş Betondan Numune Alınması ve Basınç Mukavemetinin Tayini (Tahribatlı Metot) , TS 10465 / Kasım 1992

Burada  $f_{y,salt}$  ; hesaplanan eşdeğer yerde dayanım

değerlerinin ortalaması ,  $s_y$  ise bu değerlerin standart sapmasıdır.  $n$ , anomali gösteren karotların çıkarılmasından sonra kalan karotların sayısını gösterir.  $k_1$  , %90 güven derecesi için hata miktarını gösteren bir faktördür ve çizelge 4.2. deki değerleri alır.

Karot Sayısı	k1	Karot Sayısı	k1
2	2.401	9	1.090
3	1.471	10	1.079
4	1.278	12	1.063
5	1.196	16	1.046
6	1.151	20	1.036
7	1.123	25	1.028
8	1.104	30	1.023

**Çizelge 4.2.**

Karışım farklılıkları da göz önünde tutulursa eşdeğer yerde dayanımın hesaplanması :

$$f_{y,eş} = k_2 [f_{y,salt}]$$

k2 Katsayısı	Tek Bir Elemandan Karot Alınma Durumu	Bir Çok Elemandan Karot Alınma Durumu	Yuvarlatılmış Değerler
Tek bir karışımından alınan karotlar için	0.93	0.91	0.90
Farklı bir karışımından alınan karotlar için			
Yerde dökme beton	0.87	0.86	0.85
Prekast beton	0.90	0.89	0.90
<b>Değerlendirme</b>			
$f_{y,eş} \geq f_{proje}$			BETON UYGUNDUR

**Çizelge 4.3.**