

YERİNDE BETON BASINÇ DAYANIMININ TESPİTİNDE ÖNEMLİ KRİTERLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Fulya Gülen Şahin¹, Erman Derin², Bekir Çağrı Sunaoğlu³, Sedat Değirmendere⁴

Özet

Bu çalışmada, laboratuvar ortamında modellenen beton kolon elemanı kür uygulamalarının ve sertleşmiş betondan alınan karot numunesinin özelliklerinin beton basınç dayanımı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Beton döküm esnasında alınan, ideal şartlarda kürlenmiş 15×15×15cm küp numunelerin basınç dayanımı referans alınarak, 28 gün sonunda alınan, ortalama 93,3 mm çapında, döküm doğrultusuna göre farklı alım yönlerine (yatay/düşey) sahip, farklı rutubet içeriklerine sahip, 0,96 ile 1,10 aralığında değişen farklı boy/çap oranlarına sahip karot numuneleri arasındaki ilişki araştırılmıştır. İdeal kür şartları sağlanan yapıdan alınan karot dayanımı göre, kür uygulanmayan yapıdan alınan karot dayanımı %7-%11 aralığında daha düşük ölçülmüştür. Döküm yönü tersinde alınan karotların basınç dayanımı, döküm yönünde alınan karotlara göre %4-%7 aralığında daha düşük ölçülmüştür. Nem içermeyen karot dayanımına göre, düşük ya da yüksek oranda nem içeren karot dayanımı %12-%22 aralığında daha düşük ölçülmüştür. 0,96 ile 1,10 aralığında boy/çap oranına göre basınç dayanımları incelendiğinde, boy/çap oranı ile karot dayanımları arasında ters orantı bulunmaktadır.

Evaluation of Important Criteria in Determination of In-Situ Compressive Strength

In this study, the effects of curing applications of concrete column modeled in the laboratory and the properties of core samples taken from hardened concrete on concrete compression strength were investigated. The relationships between 28-day compressive strength of core samples with an average diameter of 93.3 mm taken from different directions (horizontal/vertical) according to direction of placing concrete, had different moisture contents, had different length/diameter ratios ranging from 0.96 to 1.10 were investigated with reference to the compression strength of 15x15x15 cm cube specimens taken from fresh concrete cured in ideal conditions. The core strength taken from the non-cured structure was measured 7%-11% lower than the core strength taken from structure having ideal curing conditions. The compressive strength of the cores taken in opposite direction of placing concrete were measured 4%-7% lower than the compressive strength of the cores taken in direction of placing concrete. The strength of the core with low or high moisture content were measured 12%-22% lower than the strength of the moisture free core. When the compressive strengths were examined according to length/diameter ratio between 0.96 and 1.10, there was an inverse ratio between length/diameter ratio and core strengths.

1. GİRİŞ

Ülkemizde betonarme yapılarda, basınç dayanımının yerinde (yapıda) tayini TS EN 13791 Standardı'na göre yapılmaktadır [1]. Standarda göre beton dayanımının yerinde tayinine gerek duyulabilecek hâller:

- Mevcut yapının modifiye edileceği veya yeniden tasarılacağı durumlar,
- Kusurlu işçilik, yangın veya diğer etkilerle betondaki bozulma sebebiyle yapıdaki basınç dayanımı hakkında şüphe duyulması hâli,
- İnşaat yapımı esnasında beton dayanımının yapıda değerlendirilmesine ihtiyaç duyulduğu hâller,
- Standart deney numunelerinden elde edilen basınç dayanımının uygun olmaması hâlinde, yapısal yeterliliğin değerlendirilmesinde,
- Şartname veya mamul standardında belirtilmiş olması hâlinde, yapıdaki beton basınç dayanımı uygunluğunun değerlendirilmesi olarak verilmiştir.

Günümüzde standart küp veya silindirik şekilli deney numunelerinden elde edilen dayanımın uygun olmaması nedeniyle yapısal yeterliliğin değerlendirilmesinde basınç dayanımının yerinde tayin

Keywords: Determination of in-Situ Compressive Strength, EN 13791, Concrete Core Specimens, Curing Concrete, Direction of Placing Concrete, Core Dimensions

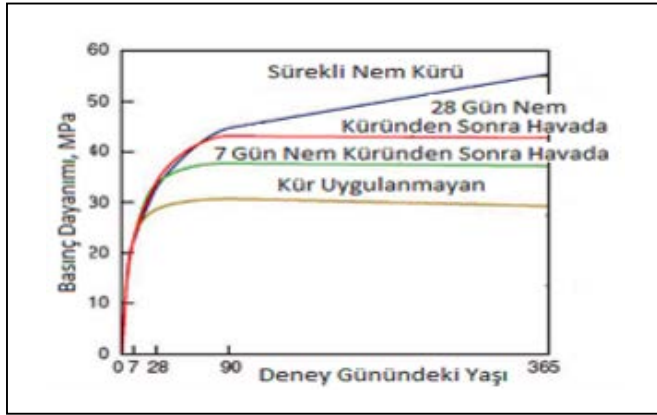
Anahtar Kelimeler: Beton Basınç Dayanımının Yerinde Tayini, TS EN 13791, Karot, Betonun Kürü, Döküm Doğrultusu, Karot Boyutları

1, 4) f.gulensahin@cimsa.com.tr, S.Degirmendere@cimsa.com.tr, Çimsa Çimento San. ve Tic. AŞ, Mersin 2) e.derin@inosel.com.tr, İnosel Çimento Hazır Beton Enerji San. ve Tic. AŞ, Ankara 3) cagrisunaoglu@gmail.com, Adana

(*) Türkiye Hazır Beton Birliği tarafından düzenlenen Beton İstanbul 2017 Hazır Beton Kongresi'nde sunulmuştur

metodu olan karot deneyleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Karot alınması tahribatlı bir yöntem olup karotun alınması ve deneylerin yapılması aşamasında çeşitli faktörler elde edilen sonuçları etkilemektedir [2].

Karot dayanımını etkileyen faktörler, beton karakteristikleri ile ilgili faktörler ve deney değişkenleri olmak üzere iki gruba ayrılır. Bir karotun dayanımı, yerleştirme, sıkıştırma işlemlerinden ve yapının kür geçmişinden etkilenmektedir [1]. ACI 301, nihai basınç dayanımının % 70'ine ulaşıncaya kadar betona kür uygulanmasını önermektedir. Bu da, genellikle 7 günlük kür süresine karşılık gelir [3]. Kür süresinin beton basınç dayanımı gelişimine etkisi Şekil 1'de görülmektedir [4].



Şekil 1: Betonun Dayanım Kazanımında Kürün Etkisi

TS EN 13791 Ek-A'da karot dayanımını etkileyen faktörler aşağıdaki gibi belirtilmiştir:

Karotun rutubet içeriği, ölçülen dayanımı etkiler. Suya doymuş karotun dayanımı, diğer özellikleri aynı olan hava kurusu, rutubeti normal şartlarda %8-12 olan karot dayanımından %10-15 daha düşük çıkmaktadır [1].

Betonun döküm doğrultusunda, düşey olarak alınan karot dayanımı, taze beton stabilitesine bağlı olarak, aynı betonun yatay yönde alınan karot dayanımından daha yüksek olabilir. Dayanım farkı tipik olarak %0-8 arasında olmaktadır [1].

Karot çapı, ölçülen dayanım ve dayanımdaki değişkenlikleri etkiler. Yatay yönde alınan, çapı 100 mm boy/çap oranı 1'e eşit olan ($l/d=1$) karot dayanımı, kenar uzunluğu 150 mm olan küp numune dayanımına tekabül etmektedir. Çapı 100 mm'den küçük ve boy/çap (l/d) oranı=1 olan karotlarda, dayanım değişkenliği genellikle büyüktür. Ölçülen dayanımdaki değişkenlik, karot çapının, en büyük agrega tane büyüklüğüne oranındaki azalmaya bağlı olarak yükselir. Boy/çap oranı, ölçülen karot dayanımını etkiler. Dayanım, $l/d>1$ olan karotlarda azalır ve $l/d<1$ olan karotlarda ise yükselir [1].

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. Beton Bileşenleri

2.1.1 Çimento

Çalışmada, Çimsa Mersin Çimento Fabrikası tarafından üretilen, TS EN 197-1'e uygun CEM I 42.5 R portland çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1: Çimentonun Kimyasal Özellikleri

Oksitler	%
CaO	62,61
SiO ₂	19,25
Al ₂ O ₃	5,26
Fe ₂ O ₃	2,75
MgO	2,70
SO ₃	3,31
K ₂ O	0,86
Na ₂ O	0,33
Kızdırma Kaybı	2,58
Çözünmeyen Kalıntı	0,60

Tablo 2: Çimentonun Fiziksel Özellikleri

Özellik	
Özgül Ağırlığı	3,10
Blaine Değeri (cm ² /gr)	3140
Priz Alma Süresi (dk)	
Başlangıç	170
Son	200
Su (%)	28,7
90 mikron (%)	0,5
45 mikron (%)	5,1
Basınç Dayanımı (MPa)	
2 günlük	31,9
7 günlük	46,1
28 günlük	54,3

2.1.2 Agrega ve Akışkanlaştırıcı Katkı

Üç farklı boyutta (0-4, 4-11, 11-22 mm), TS 706 EN 12620'e uygun, kırma kireç taşı agregası kullanılmıştır. Agregaların özgül ağırlık ve su emme kapasitesi TS EN 1097-6 Standardı'na uygun olarak belirlenmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Agregaların Fiziksel Özellikleri

Özellik	0-3 mm	0-5 mm	4-11 mm	11-22 mm
Doygun yüzey kuru özgül ağırlığı	2,68	2,68	2,70	2,70
Su emme kapasitesi (%)	1,73	1,82	0,67	0,50

Beton karışımlarının hazırlanmasında, polikarboksilat bazlı süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır.

2.2 Beton Karışımları

Deneysel çalışmada, laboratuvar ortamında 30×60 cm en kesitinde, 150 cm yüksekliğinde 3 adet kolon yapı elemanı modellenmiştir. Kolon elemanı imalatında kullanılan, TS EN 206'ya uygun, C30/37 sınıfında hazır beton santralinde üretilen betonun karışım oranları Tablo 4'te verilmiştir. Üretilen beton 21 cm slump değeri ile S4 kıvam sınıfındadır.

Tablo 4: Beton Karışım Oranları (1m³)

Çimento (kg/m ³)	Su/Bağlayıcı Oranı	Su (kg/m ³)	Akışkanlaştırıcı Katkı	0-3 ^{mm} K.Kum (kg/m ³)	0-5 ^{mm} K.Kum (kg/m ³)	4-11 ^{mm} K.Taş (kg/m ³)	11-22 ^{mm} K.Taş (kg/m ³)
300	0,57	170	%1,25	359	655	229	693

3. DENEY SONUÇLARI, BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Kolon yapı elemanı dökümü esnasında alınan, 28 gün boyunca 20±2°C sıcaklıkta suda, bağıl nemi ≥ %95 olan kür odasında küre tabii tutulan 15×15×15 cm küp numunelerin 2, 7, 28-Günlük basınç dayanımları Tablo 5'te verilmektedir.

Tablo 5: 15×15×15 cm Küp Numunelerin 2, 7, 28-Günlük Basınç Dayanımları

Numune No	15×15×15 cm Küp Numune Beton Basınç Dayanımı (MPa)		
	2-Günlük	7-Günlük	28-Günlük
1	27,0	38,3	43,6
2	27,4	38,4	43,7
3	27,6	36,9	43,9
4		37,3	44,4
5		38,1	43,4
6			43,8
7			44,4
8			42,9
9			42,8
Ortalama	27,4	37,8	43,7

Laboratuvar ortamında modellenen 3 adet kolon elemanının (30×60×150 cm) her biri farklı kür koşullarında yaşlandırılmıştır. Şekil 2'de gösterilen 1 numaralı kolon elemanına kür uygulanmamış, 2 numaralı kolon elemanına 4 gün boyunca her sabah nem kürü uygulanmıştır. 3 numaralı kolon elemanı da 7 gün boyunca sabah-akşam sulanarak üzerini saran telis bezi ile sürekli nemli tutulmuştur.



Şekil 2: Laboratuvar Ortamında Modellenen Kolon Elemanları

Karot numuneleri, beton 28-Günlük dayanıma geldikten sonra TS EN 12504-1'e [5] göre alınmıştır (Şekil 3). Su soğutmalı, elmas uçlu, 95 mm çapında silindirik bıçaklar hızlı devirde döndürülerek karot alma işlemi gerçekleştirilmiştir.

Döküm doğrultusuna göre yatay ve düşey olarak farklı alım yönlerine sahip karotların dayanım ilişkisine bakmak üzere her bir kolondan döküm yönünde ve döküm yönü tersinde karot numunesi alınmıştır (Tablo 6).

Tablo 6: Karot Numunesi Alım Planı

Karot Yönü	Döküm Yönünde	Döküm Yönü Tersinde						
		Tam Kuru	Tam Kuru-1	Orta Nemli	Tam Nemli	Tam Kuru -2		
Kırım Esnasında Numune Nem Durumu	Tam Kuru (adet)	Tam Kuru-1 (adet)	Orta Nemli (adet)	Tam Nemli (adet)	Tam Kuru -2 (adet)			
Kolon No.1 (Kür Uygulanmayan)	4	4	2	2				
Kolon No.2 (Sadece Sabah Kürlenlen)	4	4	2	2				
Kolon No.3 (Telis Bezi ile Sürekli Nemli Tutulan)	4	4	2	2	2	2	2	2
Numune Boy/Çap Oranı	1,00	1,00	1,00	1,00	0,96	1,00	1,06	1,10

Alınan karot numune sayısı 44 adet olup, numune çapları en küçük 92,4 mm, en büyük 94,1 mm olmak üzere ortalama numune çapı 93,3 mm'dir. TS EN 12390-1'e [6] göre seçilmiş çap (d) toleransı, $\pm\%1$ olup, numune çapları tolerans aralığı içerisinde bulunmaktadır.

Karot numuneleri istenilen boy/çap oranına yaklaştırıldıktan sonra en doğru dayanımın düzgün bir aşındırma ile sağlanacağı görüşü ile TS EN 12390-3'e [7] göre aşındırma cihazında başlık düzlükleri sağlanmış ve daha sonra kükürt başlıklama işlemi yapılmıştır (Şekil 4).



Şekil 3: Kolon Elemanlarından Karot Numunesi Alım İşlemi

Karotun rutubet içeriğinin basınç dayanımına etkisini ölçmek için numuneler 3 farklı rutubete içeriğinde hazırlanmıştır. Tam kuru kodlu karotlar, kür havuzundan çıkarılıp kurulandıktan sonra 48 saat laboratuvar ortamında bekletilmiştir. Orta nemli kodlu karotlar, kür havuzundan çıkarılıp kurulandıktan sonra 3 saat laboratuvar ortamında bekletilmiştir. Tam nemli kodlu karotlar ise kür havuzundan çıkarıldıktan sonra sadece yüzeyi kurularak tamamen suya doymun hâlde deneye tabi tutulmuştur (Tablo 6).

Karot numunesinin boy/çap oranının dayanıma etkisi incelenmek üzere telis bezi ile sürekli nemli tutulan kolondan 0,96 ile 1,10 aralığında değişen farklı boy/çap oranlarına sahip karot numuneleri alınmıştır (Tablo 6).

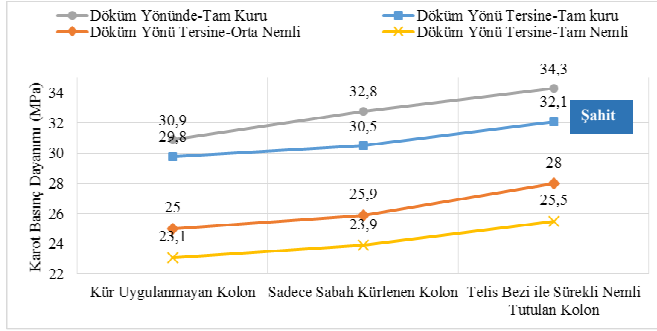


Şekil 4: Karot Numunesi Aşındırma, Başlıklama ve Kırım İşlemi

TS EN 12390-1'e göre yan yüzün, alt ve üst yüzeylere göre diklikten sapma toleransı $\pm 0,007 \times (d)$, yük uygulanacak olan yüzeylerin düzlükten sapma toleransı $\pm 0,0006 \times (d)$, ve yükseklik toleransı %5'tir. Numune boyutları bu tolerans aralıklarına göre kontrol edilip, TS EN 12390-3'e göre beton basınç dayanımları belirlenmiştir.

Tablo 7: Kolon Kür Durumu, Kırım Esnasında Numune Nem Durumu ve Beton Döküm Doğrultusuna Göre Karot Basınç Dayanımları

Karot Yönü	Kırım Esnasında Numune Nem Durumu	Numune No.	Kolon No.1 (Kür Uygulanmayan)	Kolon No.2 (Sadece Sabah Kürlenin)	Kolon No.3 (Telis Bezi ile Sürekli Nemli Tutulan)	
			Basınç Dayanımı (MPa)			
Döküm Yönünde	Tam kuru	1	33,3	31,6	33,2	
		2	28,4	34,3	34,3	
		3	30,5	35,1	33,7	
		4	31,4	30,1	35,8	
		Ortalama	30,9	32,8	34,3	
Döküm Yönü Tersine	Tam kuru	1	31,1	28,3	33,7	
		2	28,9	32,2	32,1	
		3	30,1	31,3	30,9	
		4	28,9	30,1	31,8	
		Ortalama	29,8	30,5	32,1	
	Orta Nemli	1	24,6	25,5	27,8	
		2	25,3	26,2	28,2	
		Ortalama	25,0	25,9	28,0	
	Tam Nemli	1	22,1	24,5	25,0	
		2	24,2	23,3	25,9	
		Ortalama	23,1	23,9	25,5	
	Boy/Çap Oranı			1,0	1,0	1,0



Şekil 5: Kolon Kür Durumu, Kırım Esnasında Numune Nem Durumu ve Beton Döküm Doğrultusuna Göre Karot Basınç Dayanımları

Sonuç olarak, kolon yapı elemanı dökümü esnasında taze betondan alınan, 15×15×15 cm küp numunelerin 28-Günlük basınç dayanım ortalaması 43,7 MPa ölçülmüştür.

Küp dayanımının temsil ettiği, telis bezi ile 7 gün boyunca sürekli nemli tutulan kolondan döküm yönü tersine alınan, kırım esnasında rutubet içermeyen karot dayanım ortalaması 32,1 MPa, döküm yönünde alınan karot dayanım ortalaması da 34,3 MPa ölçülmüştür (Tablo 7).

TS EN 13791 Madde-9, beton uygunluğunun, standart deneylere göre şüpheli olduğu durumdaki değerlendirme maddesine göre;

$$f_{is}, \text{ en düşük } \geq 0,85 (f_{ck} - 4) \quad (1)$$

şartını sağlanması hâlinde, bölgedeki betonun yeterli dayanıma sahip olduğu ve EN 206'ya uygun olduğu kabul edilir.

$f_{is}, \text{ en düşük} = \text{Yapıdaki basınç dayanımlarından en düşüğü}$

$f_{ck} = \text{Standart numune karakteristik basınç dayanımı}$

Bu bağıntıya göre küp dayanım sonucuna (43,7 MPa) karşılık gelen karot dayanımı 33,7 MPa hesaplanmaktadır, ancak, kür şartları uygun olan yapı elemanından döküm yönü tersine alınan, boyutları (boy, çap), kırım esnasında rutubet içeriği, uç yüzeyleri düzlüğü uygun olan karotun dayanımı, 32,1 MPa, TS EN 13791 Madde-9'a göre hesaplanan dayanım değerinden daha düşük çıkmaktadır (32,1 MPa < 33,7 MPa).

Aynı yapı elemanından döküm yönünde alınan karotun dayanımı, 34,3 MPa, TS EN 13791 Madde-9'a göre küp dayanımına karşı gelen dayanım değerini (33,7 MPa) sağlamıştır.

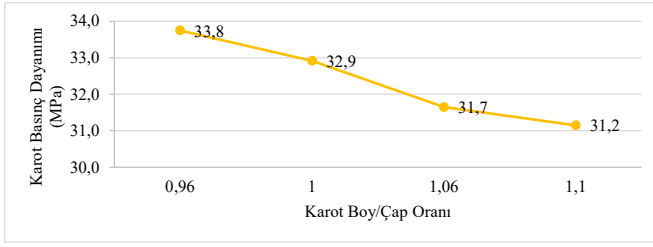
Beton elemanın kür şartlarına göre karot dayanımları incelendiğinde, 7 gün boyunca sürekli nem kürü uygulanan betondan alınan karot dayanımına göre, kür uygulanmayan betondan alınan karot dayanımı %7-11 aralığında düşük, 4 gün boyunca sadece sabah nem kürü uygulanan betondan alınan karot dayanımı ise, %4-7 aralığında düşük ölçülmüştür (Tablo 7, Şekil 5).

Betonun döküm yönüne göre yatay ve düşey olarak karot alım doğrultusu incelendiğinde, döküm yönü tersinde alınan karotların basınç dayanımı, döküm yönünde alınan karotlara göre %4-%7 aralığında daha düşük ölçülmüştür (Tablo 7, Şekil 5).

Kırım esnasında karot numunesi rutubet içeriğine göre basınç dayanımları incelendiğinde, kür havuzundan çıkarıldıktan sonra 48 saat laboratuvar ortamında bekletilen karot dayanımına göre, sadece 3 saat bekletilen (orta nemli) karot dayanımı %12-16 aralığında daha düşük, neme doymuş karot dayanımı ise %21-22 aralığında daha düşük ölçülmüştür (Tablo 7, Şekil 5).

Tablo 8: Numune Boy/Çap Oranına Göre Basınç Dayanımları

Karot Yönü	Kırım Esnasında Numune Nem Durumu	Numune No.	Basınç Dayanımı (MPa)			
			1	2	Ortalama	Boy/Çap Oranı
Döküm Yönü Tersine	Tam Kuru	1	34,2	33,7	31,1	30,5
		2	33,3	32,1	32,2	31,8
		Ortalama	33,8	32,9	31,7	31,2
Boy/Çap Oranı			0,96	1,00	1,06	1,10



Şekil 6. Numune Boy/Çap Oranına Göre Basınç Dayanımları
Karotların boy/çap oranına göre basınç dayanımları incelendiğinde (Tablo 8, Şekil 6), boy/çap oranı 1,00 olan karot dayanımına göre boy/çap oranı;

- 0,96 olan karot dayanımı %3 daha fazla,
- 1,06 olan karot dayanımı %4 daha düşük,
- 1,10 olan karot dayanımı ise %5 daha düşük ölçülmüştür.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Uygun kür şartları sağlanan yapı elemanından döküm yönü tersine alınan, kırım esnasında rutubet içermeyen karot dayanım ortalaması 32,1 MPa, döküm yönünde alınan karot dayanım ortalaması 34,3 MPa ölçülmüştür. Aynı yapı elemanını temsil eden, döküm esnasında taze betondan alınan küp dayanımı ortalaması ise 43,7 MPa ölçülmüştür, ancak TS EN 13791 Madde-9, fis, en düşük $\geq 0,85$ (fck - 4) bağıntısına göre olması gereken karot dayanımı, 33,7 MPa, döküm yönü tersine alınan karot dayanımının üzerinde çıkmaktadır. Döküm yönünde alınan karot dayanımı bu değeri sağlamaktadır.

Kür şartlarına göre, ideal kür şartları sağlanan yapıdan alınan karot dayanımına göre, kür uygulanmayan yapıdan alınan karot dayanımı %7-11 aralığında daha düşük ölçülmüştür.

Beton döküm yönüne göre karot alım doğrultusu incelendiğinde, döküm yönü tersinde alınan karotların basınç dayanımı, döküm yönünde alınan karotlara göre %4-7 aralığında daha düşük ölçülmüştür.

Kırım esnasında karot rutubet içeriğine göre, nem içermeyen karot dayanımına göre, düşük oranda nem içeren karot dayanımı %12-16 aralığında daha düşük, neme doymuş karot dayanımı ise %21-22 aralığında daha düşük ölçülmüştür.

Karotların boy/çap oranına göre, basınç dayanımları incelendiğinde, boy/çap oranı 1,00 olan karot dayanımına göre boy/çap oranı 0,96 olan karot dayanımı %3 daha fazla, 1,06 olan karot dayanımı %4 daha düşük, 1,10 olan karot dayanımı ise %5 daha düşük ölçülmüştür.

Kaynaklar

1. TS EN 13791, Basınç Dayanımının Yapılar ve Öndökümlü Beton Bileşenlerde Yerinde Tayini, 2010.
2. Yaman Ö. vd., "Mevcut Yapılardaki Beton Basınç Dayanımlarının Karotlarla Belirlenmesi" İMO Yapı Malzemeleri Komisyonu, TMH - 487 - 2015/4.
3. ACI Committee 301, Specifications for Structural Concrete, 2010.
4. Jerzy Z. Zemajtis, Ph.D., PE, "Role of Concrete Curing", Concrete Technology, <http://www.cement.org/>, Erişim Tarihi (15.12.2016)
5. TS EN 12504-1, Beton - Yapıda Beton Deneyleri - Bölüm 1: Karot Numuneler - Karot Alma, Muayene ve Basınç Dayanımının Tayini, 2011.
6. TS EN 12390-1, Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 1: Deney Numunesi ve Kalıplarının Şekil, Boyut ve diğer Özellikleri, 2013.
7. TS EN 12390-3 Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 3: Deney Numunelerinin Basınç Dayanımının Tayini, 2010.