

HAZIR BETON SEKTÖRÜNDE KÜÇÜK EBATLI KÜP NUMUNE KULLANIMI

Yasin Engin¹, İsmail Gökalp², Hakan Ekim

Özet

Hazır betonun basınç dayanım sınıfını belirlemek amacıyla küp veya silindir şeklinde kalıplar ile numune alınmaktadır. Numune şekli ve ebadı basınç dayanımının belirlenmesinde önemli etkiye sahiptir. Son yıllarda güncellenen ilgili standartlarda küçük ebatlı numune kullanımının önünü açacak maddeler yer almaktadır. 100x100x100 mm ebadında küp numune ve 100x200 mm ebadında silindir numune kullanımı hazır beton sektöründe an itibarıyla yaygın olmasa da gelecek yıllarda giderek yaygınlaşması beklenmektedir. Küçük ebatlı numunelerin standartlarda yer alan küp ve silindir karakteristik basınç dayanımına dönüştürülmesinde yine standartlarda yer alan dönüştürme katsayıları kullanılmaktadır. Bu katsayıların pratikteki durumu temsil edip etmediği hazır beton firmaları için bir soru işaretidir. Bu bildiride sunulan çalışmada farklı ebatlı küp numunelerin basınç dayanımı kıyaslanmış ve elde edilen sonuçlar standart ile karşılaştırılmıştır. İş sağlığı ve güvenliği, çevre, iş verimliliği açısından küçük numune kullanımının birçok olumlu tarafı bulunmaktadır. Sadece yapı denetimi kapsamında yıllık 10 milyon adet numunenin test edildiği düşünüldüğünde elde

Usage of Small Sized Cube Specimens in Ready Mixed Concrete Industry

In order to determine the compressive strength class of concrete, cube or cylinder specimens are used. The shape and size of concrete specimens have significant influence on the compressive strength. The relevant standards, which have been updated in recent years, allow the usage of small sized specimens. It is expected that usage of 100x100x100 mm cube and 100x200 mm cylinder samples will spread in next years. The conversion coefficients, which are stated in the standards, are used. However, there is a question mark for ready-mixed concrete producers whether these coefficients represent the practical situation or not. In this paper, the strength results obtained from benchmarking studies on different sized cube specimens are compared with the standard. There are many positive aspects of using small sized samples in terms of OHSAS, environment, work efficiency. It is easier to understand how big the benefit is when considered that about 10 million samples are tested within one year under construction inspection.

edilecek faydanın ne ölçüde büyük olacağı daha kolay anlaşılabilir. Bu nedenle küp numuneler daha pratiktir.

1. Numune şekli ve ebadının basınç dayanımına etkisi

Beton basınç dayanımını test etmeye yönelik kullanılan numune kalıpları küp veya silindir şeklinde olmaktadır. Genellikle Türkiye'de beton basınç dayanımını test etmek için 150 mm kenar ebatlı küp numuneler tercih edilmektedir. Silindir numunelerin üst yüzeyleri başlıklama ya da tıraşlama işlemine tabi tutulmak zorundadır. Bu nedenle küp numuneler daha pratiktir.

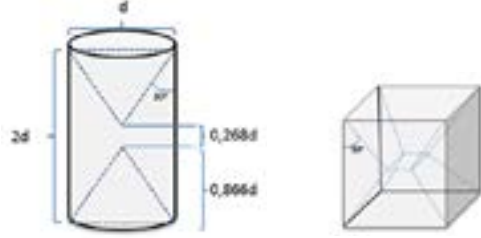
TS 13515 Standardı, C35/45 ve üstü dayanım sınıfı betonlarda 150x300 mm ve 100x200 mm ebatlı silindir numune kullanımına müsaade etmektedir. Aynı Standart 2016 yılında yapılan revizyonla 100x100x100 mm ebadında küp numune kullanımına da olanak vermiştir.

Numune şekli ve ebadı basınç dayanımını doğrudan etkilemektedir. Genel olarak küp numunelerin basınç dayanımı silindir numunelerden yüksek olmaktadır. Buradaki en önemli etken numunelerin geometrik şekilleri sonucu oluşan gerilme etki alanlarının farklı olmasıdır. Numune yüzeyi ve basınç makinesi başlığı arasındaki sürtünmeden do-

1) yasin.engin@gmail.com 2) ismail.gokalp@akcansa.com.tr Akçansa Çimento Sanayi ve Ticaret AŞ, İstanbul

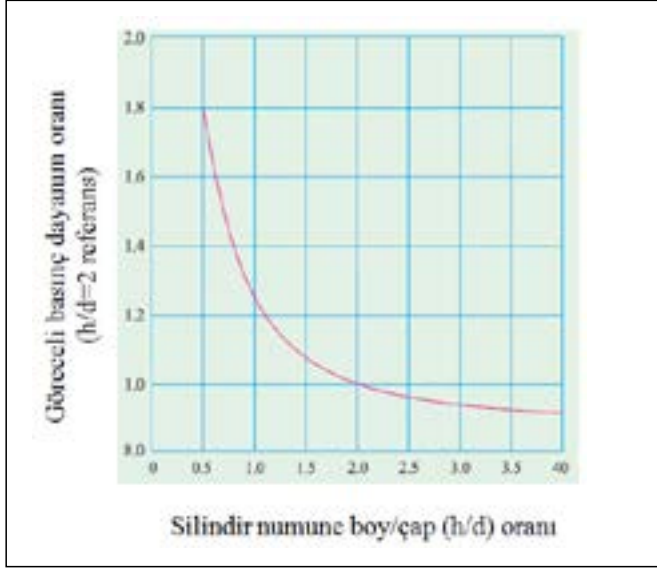
(*) Türkiye Hazır Beton Birliği tarafından düzenlenen Beton İstanbul 2017 Hazır Beton Kongresi'nde sunulmuştur.

layı numunede yatay gerilme oluşur. Bu yatay gerilme basınç dayanımını arttırıcı çok eksenli gerilme etkisi meydana getirir. Konik veya piramit şeklindeki bir alanda bu etki meydana gelir. Şekil 1’de görüleceği gibi küp numune tamamen bu etki altındadır, ancak silindir numunede bu etkinin oluşmadığı bir bölge mevcuttur. Boy/çap (h/d) oranı 1,7’den küçük değerlerde bu etkisiz alan oluşmaz [1].



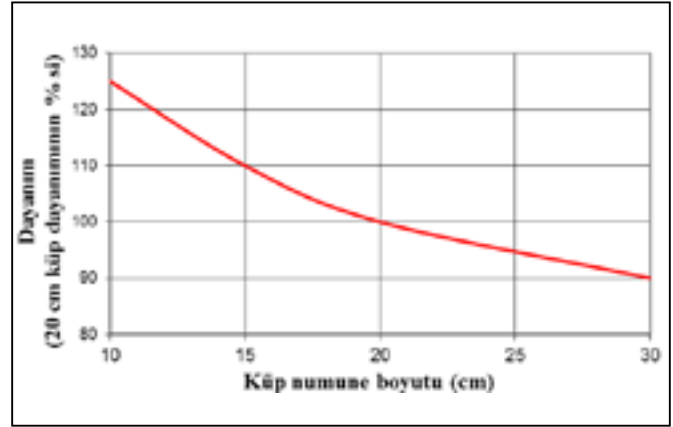
Şekil 1: Çok eksenli gerilmenin silindir ve küp numunede etki alanları [1]

Şekil 2 incelendiğinde h/d narinlik oranı arttıkça basınç dayanımının göreceli olarak azaldığı görülmektedir. Özellikle h/d oranı 1,5 ve altı olduğunda basınç dayanımı çok daha fazla etkilenmektedir. Bu durum daha önce bahsedilen çok eksenli gerilme alanının ne kadar etkili olduğunu kanıtlamaktadır [1].



Şekil 2: Silindir numune narinliği-basınç dayanımı ilişkisi [2]

Küp numunelerin ebadı küçüldükçe basınç dayanımı artmaktadır. Bu durumu en iyi izah edecek durum hacim arttıkça betondaki kusur ve zayıflıkların daha çok ve daha belirgin olmasıdır. Şekil 3’te numune boyutu ve basınç dayanımı ilişkisi görülmektedir.



Şekil 3: Küp numune boyutu-basınç dayanımı ilişkisi [3]

2. Küçük ebatlı numunelerin özellikleri

2.1. Standartlar Kapsamında Küçük Ebatlı Numuneler

TS EN 206 ve TS 13535 Standartlarında numune şekli ve ebadı ile ilgili maddeler Tablo 1’de detaylıca belirtilmiştir.

Tablo 1: Standartlarda yer alan ilgili maddeler

TS EN 206	<p>Madde 5.5.1.1.</p> <p>Beton dayanımının belirleneceği durumlarda, dayanım, EN 12350-1’e uygun şekilde alınan taze beton numuneleriyle oluşturulan ve EN 12390-2’ye uygun olarak hazırlanıp bakım uygulanan, EN 12390-1’e uygun 150 mm kenar uzunluğuna sahip küp veya 150/300 mm boyutlarındaki silindir numunelerde yapılan deneylerle belirlenir.</p> <p>Dayanımın belirlenmesinde, yukarıda verilenler dışında boyutlara sahip kalıplara dökülerek hazırlanmış numuneler veya farklı kür şartları, standarda uygun şartlarda elde edilen numune dayanım sonuçları ile uygulanan şartlardaki numunelerden elde edilen sonuçlar arasında yeterli kesinlikte korelasyon kurulabilmesi ve bu korelasyonun belgelendirilmesi şartıyla kullanılabilir.</p>
------------------	---

TS 13515	<p>Madde 5.5.1.2.</p> <p>(6) Beton dayanım sınıfı C35/45 ve üzerindeki beton sınırlarında başka herhangi bir matematiksel ilişki (korelasyon) kurulmadan agrega en büyük tane büyüklüğü 31,5 mm'den küçük olan betonlarda 150x150x150 mm küp şekilli veya 150x300 mm silindir şekilli numuneler yerine 100x200 mm boyutlardaki silindir şekilli numunelerin kullanılması durumunda betondan alınacak en az 3 adet numuneden elde edilen ortalama beton basınç dayanım sonucu, değerlendirme esnasında 150x300 mm ebadındaki silindir numune basınç dayanımına aşağıdaki katsayı kullanılarak dönüştürülebilir. (100x200) mm boyutlarındaki silindir numunelerin alınması sırasında numunelerin homojen olarak alınabilmesi için TS EN 12350-1'de belirtilen kurallara uyulmalıdır.</p> $f_{(150x300)} = 0,95 \times f_{(100x200)} \quad (1)$
	<p>Madde 5.5.1.2.</p> <p>(7) Beton basınç dayanımı tayininde agrega en büyük tane büyüklüğü 25mm'den küçük olan betonlarda 150x150x150 mm küp şekilli veya 150x300 mm silindir şekilli numunelere ilave olarak 100x100x100 mm boyutlardaki küp şekilli numunelerin kullanılmasına da aşağıda verilen bağıntının kullanılması şartı ile müsaade edilebilir. Bu durumda betondan alınacak en az 3 adet 100x100x100 mm küp numuneden elde edilen ortalama beton basınç dayanım sonucu, değerlendirme esnasında 150x150x150 mm ebadındaki küp numune basınç dayanımına aşağıdaki katsayı kullanılarak dönüştürülebilir. 100x100x100 mm boyutlarındaki silindir numunelerin alınması sırasında numunelerin homojen olarak alınabilmesi için TS EN 12350-1'de belirtilen kurallara uyulmalıdır.</p> $f_{(150x150x150)} = f_{(100x100x100)} / 1,05 \quad (2)$

TS EN 12390-1	<p>Madde 4.1.</p> <p>Küp, silindir ve prizma şekilli her bir deney numunesinin temel boyutu, d, betonda kullanılan agrega en büyük büyüklüğünün en az üç buçuk katı olacak şekilde seçilmelidir.</p>
----------------------	---

Yukarıdaki bilgiler ışığında aşağıdaki çıkarımlara ulaşılmaktadır.

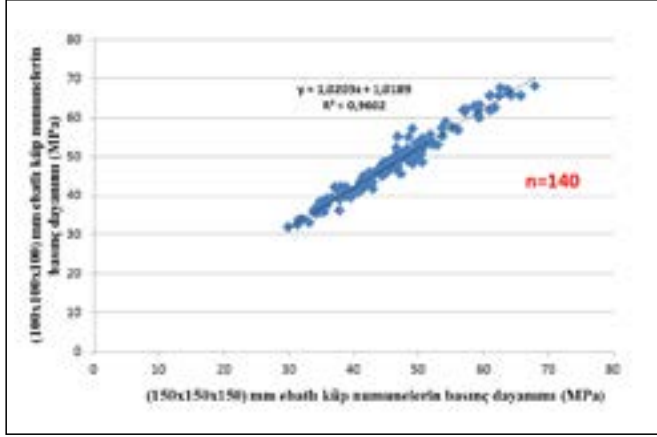
- TS EN 206 Standardı'nda 150 mm kenar ebatlı küp ve 150x300 mm ebadında silindir numunelerin kullanılmasına izin verilmiştir. Farklı ebatlar için açık kapı bırakılmıştır.
- TS 13515 Standardı agrega boyutuna göre C35/45 ve üzeri beton sınıfları için 100x200 mm ebadında silindir numune kullanılmasına izin vermiştir.
- TS 13515 Standardı'nda 2016 yılında yapılan tadil ile 100 mm kenar ebatlı küp numunelerin kullanımının önü açılmıştır.
- TS 13515 Standardı'na göre en büyük tane büyüklüğü 25 mm'den küçük olan betonlarda 100 mm kenar ebatlı küp numune kullanımına izin verilmektedir.
- TS EN 12390-1 Standardı'na göre $D_{maks} = 22,4$ mm için numune temel boyutu en az bu değer 3,5 katı olan ~80 mm olmalıdır.
- Sonuç olarak 150 mm ve 100 mm kenar ebatlı küp numune, 150x300 mm ve 100x200 mm ebadında silindir numune kullanımı ilgili standartlar kapsamında uygundur.

2.2. Farklı Ebatlı Küp Numunelerde Basınç Dayanımı Korelasyonu

100 mm ve 150 mm kenar ebatlı küp numunelerin 28 günlük basınç dayanımının karşılaştırılmasına yönelik Betonsa Teknoloji Merkezi tarafından 140 adet beton denemesi yapılmıştır. Farklı dayanım sınıfını temsil edilen beton reçeteleri kullanılarak dayanım sınıfları arasında da kıyaslama yapılması amaçlanmıştır.

100x100x100 mm ve 150x150x150 mm ebadındaki küp numunelerin 28 günlük basınç dayanımları arasında yapılan regresyon analizi sonucu (Şekil 4) aşağıdaki formül bulunmuştur.

$$f_{(100x100x100)} = 1,0203 \times f_{(150x150x150)} + 1,0189 \quad (3)$$



Şekil 4: Küp numune ebat - dayanım ilişkisi

Farklı basınç dayanım sınıflarında farklı ebatlı küp numunelerin basınç dayanımları arasındaki ilişkiyi incelemek adına Tablo 2’de belirtildiği şekilde gruplandırma yapılmıştır. Genel olarak 100x100x100 mm ebatlı küp numunelerin %4,2 daha yüksek basınç dayanım değeri verdiği tespit edilmiştir. Bu değer farklı basınç dayanım sınıflarında en düşük %3,2 ve en yüksek %5 olarak gerçekleşmiştir.

Tablo 2: Farklı ebatlı küp numunelerde basınç dayanımı korelasyonu (test sonuçları)

Dayanım Sınıfı	Deney adedi	$f_{(150x150x150)}$	$f_{(100x100x100)}$
C25/30	21	%100,0	%104,9
C30/37	31	%100,0	%104,1
C35/45	49	%100,0	%104,2
C40/50	15	%100,0	%103,7
C45/55	13	%100,0	%105,0
C50/60	10	%100,0	%103,2
Genel	140	%100,0	%104,2

Regresyon analizi sonucu bulunan formül kullanılarak Tablo 3’teki değerlere ulaşılmıştır.

Tablo 3: Farklı ebatlı küp numunelerde basınç dayanımı korelasyonu (Formül 3’e göre)

Küp numune basınç dayanımı (MPa)		
$f_{(150x150x150)}$	$f_{(100x100x100)}$	Fark
30	31,6	%5,40
37	38,8	%4,78
45	46,9	%4,29
50	52,0	%4,06
55	57,1	%3,88
60	62,2	%3,73
Genel ortalama		%4,36

Tablo 3’te görüleceği gibi 100 mm ebatlı küpün basınç dayanımı standart küp dayanımına oranla ortalama %4,36 daha yüksek gelmektedir.

Tablo 2 ve Tablo 3’te belirtilen veriler ışığında çalışma kapsamında elde edilen korelasyonunun TS 13515 Standardı’nda yer alan formül (Formül 2) ile uyduğu tespit edilmiştir.

$$f_{(150x150x150)} = f_{(100x100x100)} / 1,05 \quad (2)$$

2.3. 100 mm Kenar Ebatlı Küp Numunenin Avantajları

- Tablo 4’te görüleceği gibi 100x100x100 mm ebatlı beton küp numunesi 150x150x150 mm ebatlı beton küp numunesinden yaklaşık %70 daha hafiftir ve taşınması/nakliyesi çok daha kolaydır.
- Kür havuzuna ve araçlara daha çok sayıda numune koyulabilmektedir.
- Daha az beton zayı olmaktadır. Atık miktarı azalmaktadır.

Bu avantajları daha net görebilmek için bir yıl boyunca Türkiye’de üretilen betonlardan alınan numunelerin sayısal karşılığı Tablo 7, 8, 9, 10, 11 ve 12’de belirtilmektedir. Numune adedi hesaplamasında THBB tarafından yayımlanan yıllık hazır beton üretimi ve tesis sayısı istatistikleri kullanılmıştır [4].

Tablo 4: Farklı ebatlı küp numunelerin ağırlıkları

		
Ebat	150x150x150 mm	100x100x100 mm
Ağırlık (kg)	8 kg	2,35 kg

Hazır betondan kaç adet numune alınması gerektiği TS 206, TS 13515 ve TS 500 Standartlarında belirtilmiştir. Hazır betondan alınacak numune adedi numunenin hangi süreç kapsamında alındığına bağlıdır.

Hazır beton üreticisi, TS EN 206'ya göre uygunluk değerlendirme için Tablo 5'de belirtilen sıklıkta numune almaktadır.

Tablo 5: Uygunluk değerlendirmesi için en az numune alma sıklığı (TS EN 206)

İmalat	İmalatın ilk 50 m ³ 'ü	İlk 50 m ³ 'ten sonraki imalat ^a için aşağıda verilenlerden en yüksek numune alma sıklığını sağlayan	
		İmalat kontrol belgesi olan beton	İmalat kontrol belgesi olmayan beton
Başlangıç (en az 35 deney sonucu elde edilinceye kadar)	3 numune takımı	200 m ³ 'te 1 numune takımı veya bir haftalık imalattan 2 numune takımı	150 m ³ 'te 1 numune takımı veya bir günlük imalattan 1 numune takımı
Sürekli ^b (en az 35 deney sonucu elde edilmesinden sonra)	-----	400 m ³ 'te 1 numune takımı veya 5 günlük ^{c,d} imalattan 1 numune takımı veya bir aylık (takvime göre) imalattan 1 numune takımı	

a) Numune alma işlemi, bütün imalata yayılmalı ve her 25 m³ beton hacmi için birden fazla numune alınmamalıdır.
b) En son 15 adet deney sonucunun standart sapmasının Çizelge 19'da sınırları için verilen üst sınırı geçmesi durumunda numune alma sıklığı, daha sonraki 35 deney sonucu elde edilinceye kadar, başlangıç imalatı için gerekli olan sıklığa çıkarılmalıdır.
c) Veya bir haftalık süre içinde (7 ardışık takvim günü) beş günden daha fazla imalat yapıldığında, her haftalık imalat miktarından bir kez.
d) Bir imalat gününün tanımı kullanım yerinde geçerli tanım olarak uygulanmalıdır.

G işareti ve PGD (piyasa gözetimi ve denetimi) kapsamında yapılan denetimlerde betonun tanımlanması için en az iki farklı beton yükünden en az ikişer adet numune alınmaktadır. Yapı denetim firmaları TS 500'e göre değerlendirme yapmaktadır. TS 500, bu konuda TS 13515 EK B1'i referans almaktadır. Tablo 6'da TS 13515 EK B1'e göre numune alma planı görülmektedir. C50/60 ve üzerinde numune sayıları 2 katına çıkarılmalıdır.

Tablo 6: TS 13515 EK B1'e göre numune alma planı

1. Kriter	2. Kriter	Numune alınacak asgari beton yükü veya transmikser sayısı	Numune adedi		
			7 günlük	28 günlük	Toplam
0 - 24	-	2	2	4	6
25 - 100	< 450	3	3	6	9
101 - 150	451 - 650	4	4	8	12
151 - 200	651 - 850	5	5	10	15
201 - 250	851 - 1050	6	6	12	18
251 - 300	1051 - 1250	7	7	14	21
301 - 400	1251 - 1450	8	8	16	24
401 - 500	1451 - 1650	9	9	18	27
501 - 600	1651 - 1850	10	10	20	30
> 600	> 1850	İlave her 200 m ³ hacim veya ilave her 200 m ² alan için yukarıdaki sayılara 1 ilave edilir.			
		+1	+1	+2	+3

Tablo 7: Yapı denetimi kapsamında 100 m³ hazır betondan alınan numune adedi

Yapı denetim	Hacim (m ³)	Beton yükü (transmikser)	Numune adedi / beton yükü	Toplam numune adedi/denetim
	100	3	3	9
Yıllık 107 milyon m ³ hazır betondan alınan toplam numune adedi: 9.630.000				

Tablo 8: PGD kapsamında 1 yıl içinde alınan numune adedi

PGD	Denetim/ay	Beton yükü (transmikser)	Numune adedi / beton yükü	Toplam numune adedi/denetim
	1	2	2	4
1100 adet hazır beton tesisinden alınan toplam numune adedi: 52.800				

Tablo 9: G Belgesi kapsamında 1 yıl içinde alınan numune adedi

G Belgesi Denetimi	Denetim/yıl	Beton yükü (transmikser)	Numune adedi / beton yükü	Toplam numune adedi/denetim
	3	2	2	4
1100 adet hazır beton tesisinden alınan numune adedi (şahitle birlikte): 26.400				

Tablo 10: Üretici tarafından alınan numune adedi

Üretici	Hacim (m ³)	Beton yükü (transmikser)	Numune adedi / beton yükü	Toplam numune adedi
	100	1	4	4
Yıllık 107 milyon m ³ hazır betondan alınan toplam numune adedi: 4.280.000				

Tablo 11: Hacim farkı

Toplam Numune Adedi	Ağırlık (ton) Küp ₁₅₀	Ağırlık (ton) Küp ₁₀₀	Fark (m ³)
13.989.200	47.214	13.989	33.225

Tablo 12: Tonaj farkı

Toplam Numune Adedi	Ağırlık (ton) Küp ₁₅₀	Ağırlık (ton) Küp ₁₀₀	Fark (ton)
13.989.200	111.000	32.900	78.100

3. Değerlendirme

- Yapılan kıyaslama çalışmasında 100x100x100 mm ebatlı küp numunelerin basınç dayanımının, 150x150x100 mm ebatlı küp numuneye dönüştürülmesinde kullanılan 1,05 katsayısının pratik ile uyduğu tespit edilmiştir. Çalışma sonucu bu katsayı 1,042 olarak bulunmuştur.
- Türkiye’de yıllık olarak hazır betondan alınan tahmini numune adedi 14 milyondur. 14 milyon numunenin 150x150x150 mm küp kalıplarda değil de 100x100x100 mm ebadındaki küp kalıplarda alınmış olduğu varsayılırsa 33.225 m³ hacminde daha az beton zayı olmuş olur. Bu betonun ağırlığı ise 78 bin ton gelmektedir. Türkiye’nin yıllık hazır beton üretiminin yaklaşık binde üçüdür.
- Yukarıda belirtilen hacimde beton, 100 m²lik 1.000 adet konutun yaklaşık hazır beton ihtiyacını karşılamaktadır.

- Haliç Metro Köprüsü ve Ordu-Giresun Havalimanı projelerinde yaklaşık bu hacimde hazır beton kullanılmıştır. Bu örnekler zayı olan betonun daha anlaşılır olmasını sağlamaktadır.
- Yaklaşık 78 bin ton daha az atık oluşmaktadır. Bu atıkların taşınması için 3.000 sefer gerekmektedir. Atıkların bertarafı ve nakliyesi kaynaklı oluşacak emisyon ayrıca önlenmiş olmaktadır.
- Günde 50 adet beton numunesi alan bir çalışan küp numune ebadının küçülmesi sonucu bir yıl boyunca 80 ton daha az yük taşıyabilmektedir.

Kaynaklar

1. Elwell, J.D., Fu.G., “Compression Testing of Concrete: Cylinders vs. Cubes”, Special Report 119, Transportation Research and Development Bureau, 1995
2. Shetty, M.S., “Concrete Technology Theory and Practice”, S.Chand and Company Ltd., India, 2005
3. Özkul, H., Taşdemir, M.A., Tokyay, M., Uyan, M., “Her Yönüyle Beton”, THBB Yayınları, İstanbul, 2004
4. Hazır Beton Sektörü İstatistikleri, Türkiye Hazır Beton Birliği, <http://www.thbb.org/sector/istatistikler>, Erişim Tarihi (01.02.2017),