

Beton Dayanımının Tahribatsız Ultrasonik Yöntemle Tayini

Osman Uyanık¹,
F.Gülten Gülay²
Semih Tezcan³

Özet

Betonarme elemanların dayanımları tarihsel olarak daima silindirik veya kübik beton nümunelerin lâboratuarda kırılması yolu ile tayin edilegelmiştir. Halbuki, V_p - ultrases dalga yayılma hızını tahribat yapmaksızın ölçerek, betonun karakteristik basınç dayanımını güvenilir bir hassasiyetle tayin etmek kabildir. Bu yazıda, betonun V_p - ultrases boyuna dalga hızını, ultrason âleti ile ölçerek, beton dayanımının nasıl tayin edildiği, ayrıntıları ile anlatılmıştır. Ayrıca, EN 13 791 Avrupa Normunda önerilen ve ultrason hızı ile beton dayanımı arasındaki ilişkiyi veren eğrinin yetersizliğine işaret edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Ultrasonik yöntem, Beton kalitesi, Tahripkâr olmayan deneyler.

1. Giriş

Geleneksel olarak, yeni dökülen veya evvelce dökülmüş bir betonun, 28 - günlük karakteristik basınç dayanımı silindirik veya kübik beton nümunelerin, lâboratuarda basınç altında kırılması yolu ile tayin edilir. Bu konuda **TS 500** ve özellikle **TS 12 350**, **TS 12 504** şartnamelerinde yeterli bilgiler mevcuttur. Oldukça bol sayıda nümune alınarak, bu nümunelerin basınç dayanımlarını kullanan istatistiksel yöntemler yardımı ile, betonun karakteristik dayanımı tayin edilir **[1,2]**.

Ancak, mevcut bir binadan, beton karot nümuneler alınma-

Nondestructive Testing of Concrete Elements

Historically, the concrete strength is determined in the laboratory by crushing cubic or cylindrical core samples.

However, the nondestructive ultrasonic wave velocity measurements also yield very reliable results. In this presentation, the details of determining the concrete compressive strength by measuring the ultrasonic wave velocities, have been discussed. Finally, the incomplete nature of the graphical method, recommended by the EN 13 791 European Standard, is discussed.

Keywords : Ultrasonic velocity , Concrete quality, Non - destructive testing.

sı oldukça tahripkâr sonuçlar doğurabilir. Bu sakıncayı giderebilmek üzere, betonun ultrases V_p - boyuna dalga hızını ölçerek, betonun kalitesini tayin etmek mümkündür. Betonun ve özellikle bazı kayaçların basınç dayanımlarının, V_p - boyuna dalga hızı yardımı ile nasıl tayin edileceği, Jeofizik Mühendisliğinde yoğun araştırmalara konu olmuştur **[3,4,5]**. Aşağıda, ultrasonik V_p - boyuna dalga hızı yardımı ile, beton numunelerin 28 günlük karakteristik basınç dayanımlarının nasıl tayin edileceğine dair bilgilere yer verilmiştir.

2. Dalga hızları ile Dayanım arasındaki ilişkiler

Boyuna V_p , veya enine V_s - dalga hızları ile, bu dalgaların yayıldığı ortamın elâstik ve kayma modülleri arasında doğrudan sıkı bir ilişki bulunduğu, Jeofizik Mühendisliğinde çok iyi bilinen bir husustur. Meselâ,

$$E_c / G = (V_p / V_s)^2 \dots\dots\dots (1)$$

$$E_c = \rho V_p^2 \dots\dots\dots (2)$$

$$G = \rho V_s^2 \dots\dots\dots (3)$$

Burada, V_p , V_s sırası ile boyuna ve enine dalga hızları, E_c = Dinamik Elastisite modülü, G = Kayma modülü ve ρ = birim kütle yoğunluğu'dur.

Şüphesiz, bir ortamın, Elastisite veya Kayma modülleri ne kadar yüksekse, basınç altındaki kırılma dayanımları da o kadar yüksektir. Dolayısı ile, bir beton veya kaya ortamda ölçü-

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği, uyanik@mmf.sdu.edu.tr
² İnşaat Fakültesi, İTÜ, gulden.gulay@gmail.com
³ Boğaziçi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, tezokan@gmail.com

len, sismik dalga hızları o ortamın basınç dayanımı hakkında yeterli ve güvenilir bir fikir verir. Nitekim, bu konuda özellikle çeşitli kayaçların tek eksenli basınç dayanımları ile, V_p - boyuna dalga hızları arasında önemli bazı ilişkilerin bulunduğu bilimsel olarak ispatlanmıştır [6, 7]. Bu çalışmada, Kireçtaşının ve Mermerin tek eksenli basınç dayanımı ile, V_p - boyuna dalga hızları arasında aşağıda verilen ilişkilerin bulunduğu belirlenmiştir :

$$\text{Kireçtaşı için (31 numune)} \quad q_u = 24.9 V_p^{1.784} \quad \dots (4)$$

$$\text{Mermer için (19 numune)} \quad q_u = 3.36 V_p^{2.989} \quad \dots (5)$$

Burada, q_u = tek eksenli basınç dayanımı (kg/cm^2) ve V_p = boyuna dalga hızı (km / sn). Benzer şekilde, karışık zemin çeşitleri için, tek eksenli basınç dayanımı ile, V_p - boyuna dalga ve V_s - enine dalga hızları arasında da aşağıda verilen ilişkilerin bulunduğu gösterilmiştir [7].

$$q_u = 0.010 V_p - 0.27 \quad \dots (6)$$

$$q_u = 0.017 V_s - 0.15 \quad \dots (7)$$

3. V_p - boyuna dalga hızı ile Beton Dayanımı ilişkisi

Bazı hasarsız ölçümler yaparak, beton basınç dayanımının tayin edilmesi üzerine çeşitli çalışmalar mevcuttur [8, 9, 10]. Betonun 28 - günlük karakteristik basınç dayanımını yarıkarıda bahsi geçen çalışmadan [6] yararlanarak tayin edecek bir formül geliştirmek üzere, beton laboratuvarlarında kırılan beton küp ve silindirik numunelerin, kırılmadan önce, laboratuvarında ölçülen ultrasonik V_p - boyuna dalga hızları bir eksen takımı üzerinde işaretlenmiştir (**Şekil 1**). Beton numunelerden bazıları (Δ) 15 x 15 cm boyutunda küp, bazıları (\circ) 20x20 cm boyutunda küp, diğer bazıları ise $L = 14$ cm boyutunda $\phi 10$ cm çapında silindirik karotdur. Beton küp numuneler, Ataşehir, Yeni Sahra'daki **Ekotest** lisanslı beton laboratuvarında, silindirik karotlar ise, **Boğaziçi Üniversitesi Malzeme Laboratuvarında** kırılmışlardır. Burada, serpiştirilmiş olarak gösterilen data noktalarına en yakın geçen bir üstel fonksiyon olarak, daha önceki çalışmalarda [6] verilen bağıntılardan yararlanılmış ve

$$f_{ck} = 2.6 V_p^{1.8} \quad \dots (8)$$

formülü önerilmiştir [11]. Formülde, V_p = Ultrases boyuna dalga hızı (km/sn), f_{ck} = 28 günlük beton karakteristik basınç dayanımı (MPa)'dır. Bu formül kullanılarak hazırlanan $V_p - f_{ck}$ ilişkisi Şekil 2'de gösterilmiştir. Görülüyor ki, ultrases boyuna dalga hızının ölçülmesi ile, betonun karakteristik basınç dayanımını doğrudan elde etmek kabildir. Bir ultrason

aleti ile beton dayanımı ölçümünün nasıl yapıldığı **Şekil 3**'te görülmektedir.

Ölçüm yaparken, dikkat edilmesi gereken en önemli husus, ultrases dalga hızlarının, çelik donatıların ve özellikle etriyelerin bulunmadığı aralıklarda ölçülmesini sağlamaktır. Donatı yeri saptayan optik göstergeli âletler yardımı ile, etriyelerin bulunmadığı aralığı belirlemek gerekir. Sıva kalınlığının ve sıvanın nisbeten düşük basınç dayanımlı oluşunun ölçümlerde nasıl göz önüne alınacağı, aşağıda açıklanmıştır.

4. Sıva kalınlığının rolü

Ultrasonik V_p - hızının ölçüldüğü betonarme yapı elemanının (**kolon, perde, kiriş, v.b**) bir veya iki yüzünde de sıva bulunması hâlinde, ölçülen V_p - hızı, sıvasız brüt betonun ultrasonik hızını değil, sıva kalınlığının da işin içine girdiği, toplam (**kompozit**) kalınlığın ultrasonik hızını verir. Ancak, aşağıdaki düzeltme formülü kullanılarak, betonun sıvasız haldeki V_{po} - ultrasonik hızını hesaplamak kabildir :

$$V_{po} = V_p / (1 - e) \quad \dots (9)$$

$$e = (s_1 + s_2) [(V_p / V_{ps}) - 1] / h_o \quad \dots (10)$$

Burada ;

$$V_p = \text{Sıva ile birlikte ölçülen hız (m / sn),}$$

$$V_{po} = \text{Sıvasız, çıplak betonun hızı (m / sn),}$$

$$V_{ps} = \text{Sıvanın ultrason hızı (} V_{ps} = 1200 \text{ m / sn önerilir),}$$

$$s_1, s_2 = \text{Elemanın iki tarafındaki sıva kalınlıkları,}$$

$$h_o = \text{Elemanın sıvasız brüt kalınlığı,}$$

$$e = \text{Sıva kalınlığına bağlı hız düzeltme faktörü.}$$

Örnek olarak, karşılıklı iki yüzündeki sıva kalınlıkları, s_1, s_2 = 25 mm olan, h_o = 500 mm kalınlıktaki (enindeki) betonarme bir kolonun, sıva ile birlikte ölçülen hızı V_p = 3.2 km / sn olsun. Sıvasız çıplak betonun ultrason hızı için, sırası ile Denk. 10 ve Denk. 9 yardımı ile, V_{po} = 3.49 km / sn bulunur :

$$e = 25 [(3.2 / 1.2) - 1] / 500 = 0.083 \quad \dots (11)$$

$$V_{po} = 3.2 / (1 - 0.083) = 3.49 \text{ km / sn} \quad \dots (12)$$

5. Ultrases konusunda yeni bir Standart

Tahripkâr olmayan yöntemler ile beton basınç dayanımının tayini konusundaki çalışmalara bir düzen ve açıklık getirmek üzere Avrupa'da EN 13 791 numaralı Standart Nisan

2010 tarihinde yürürlüğe girmiş ve Türk Standartları Enstitüsü tarafından Türkçe olarak basılmıştır. Bu Avrupa Standardı, beton dayanımının yerinde tayini ile ilgili deneyler ve ölçümlere ışık tutan bir çok yenilik getirmiştir. Bu yeni Standart EN 13 791'in içinde, ultrases hızı ile beton dayanımını tayin etmek amacıyla verilen Şekil 4 eksik ve yetersizdir. Çünkü, beton dayanımının $f_v = 0$ ilâ $f_v = 42$ MPa arasında değişme aralığı için, ultrases hızının buna karşı gelen değişme aralığı sadece $v = 4$ km / sn ile 4.8 km / sn'dir . Esasen, bu ilişkiyi matematiksel olarak aşağıdaki bağıntı ile vermişlerdir [12] :

$$f_v = 62.5 v^2 - 497.5 v + 990 \dots\dots\dots (13)$$

Eğer, ultrases hızı için $v = 4$ km / sn koyarsanız $f_v = 0$ MPa ve eğer $v = 4.8$ km/sn koyarsanız $f_v = 42$ MPa elde edersiniz. Halbuki, $v = 4$ km / sn ultrases hızı olan bir betonun dayanımı $f_v = 0$ değil, olsa olsa $f_v = 30$ MPa mertebesindedir. Dolayısı ile, söz konusu eğri sadece $V = 4.8$ km / sn için geçerli olup, daha düşük hızlar için kullanıcı kendisi deneysel yöntemleri kullanarak eğrinin son şeklini vermelidir.

6. Sonuç

Ultrases ölçümleri gibi tahripkâr olmayan yöntemler ile, beton dayanımının bir hamlede ve güvenilir bir şekilde tayin edilmesi mümkündür. Özellikle, inşaatı bitmiş beton elemanların dayanımlarının yerinde yapılan ultrases ölçümleri ile tayin edilmesi tahripkâr olmayan bir yöntem olup, çok büyük bir ekonomi ve sür'at sağlamaktadır.

Bu çalışmada önerilen ampirik formül ultrases hızı 4.8 km / sn olan betonların kalitesini, Avrupa Standardı EN 13 791'e benzer tarzda 43.7 MPa olarak vermektedir. Bu uyuşum diğer ultrases hızları için geçerli değildir. İki ayrı kaynağın aralarında mevcut bu kadar büyük farklılıkların en kısa zamanda açıklığa kavuşturulması ve EN 13 791'in kullanıma yararlı bir hale getirilmesi gerekir.

7. Referanslar

[1] Yazıcı, Ş., Göktepe, A.B., Altun, S., ve Karaman, V., (2006), " Sertleşmiş Beton Basınç Dayanımının Belirlenmesinde kullanılan TS 10465 ve TS EN 12 504 - 1 üzerine bir Değerlendirme " Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt 8, Sayı : 1, s. 119 - 128, Ocak 2006, Bornova, İzmir.

[2] Tezcan, S.S., Zengin, E., (2008), "Karakteristik Beton Dayanımının Doğrudan Tayini için Rasyonel bir Yöntem", a) Şantiye İnşaat Makina ve Mimarlık Dergisi, Yıl:21,

Sayı:247, sayfa:100-102, www.santiye.com.tr, santiye@santiye.com.tr, İstanbul, Ocak 2009, Tel: 0212. 570 39 46, b) Hazır Beton, Türkiye Hazır Beton Birliği Dergisi, Yıl: 15, Sayı:90, Kasım - Aralık 2008, Sayfa: 64-67, www.thbb.org, info@thbb.org, Aralık 2008, İstanbul (CV 409) .

[3] Munzer, H., Olivier, B., Renaud, F., "Ultrasonic Measurements and Static load test in Bridge Evaluation," NDT E Int. 1995 ; 28 (6) : 331 - 7., December.

[4] Sztukiewicz, R. J., "Changes in the ultrasonic characteristics of the Surface Layer made of asphalt concrete," Sixth European Conference on Non - Destructive Testing, Nice, France, 24 - 28 October 1994, Vol.2 ; 1994, p. 1215 - 9 ; ECNDT.

[5] Jean - Francois C., Vincent, G., Gilles, C., "Concrete Damage Evaluation Analysis by backscattered Ultrasonic waves", NDT E Int 2003 ; 36 (7) : 461 - 9, October.

[6] Uyanık, O., "Kayaçlarda Sismik Hızlar ve Kayma Direncinin İncelenmesi", 52 nci Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiriler Kitabı , Jeoloji Mühendisleri Odası, 10 - 12 Mayıs, 1999, Ankara, ISBN 975 - 395 - 304 - 6, s : 63 - 68.

[7] Uyanık, O., ve Çekmen, V., "Zeminlerin Basınç ve Kesme Mukavemetlerinin Sismik Hızlardan Tahmini," İstanbul Yerbilimleri Dergisi, C . 22,s : 2, s. 95-104, 2009 .

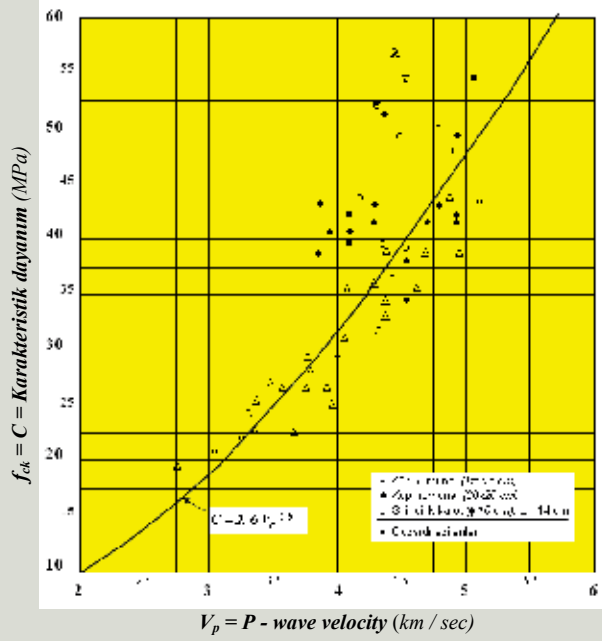
[8] Aköz, F., "Hasarsız Deney Yöntemleri ve Yapılarda Uygulanması" Yapı Malzemesi Semineri, TMMOB, 2001.

[9] Erdal, M., "Beton Basınç Dayanımının Bazı Hasarsız Test Yöntemleriyle Belirlenmesi," Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üni., Fen Bil. Enst., Ankara, 2002.

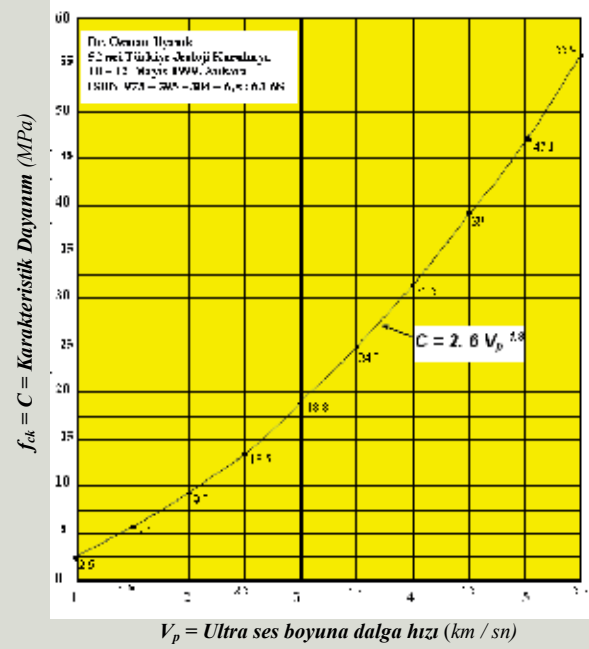
[10] Erdoğan, T.Y., Beton, Metu Pres, Ankara, 2003, s. 478-512.

[11] Bal, I. E., Gülay, F. G. ve Tezcan, S.S., Betonarme Binaların Depremde 'Göçer mi ?' 'Göçmez mi ?' olduğunu tayine yarayan P25 - Metodu, Yüksek / 11, Etiler, 34 337, İstanbul, 5 Temmuz 2010, ISBN No : 978 - 975 93 005 4 8, www.egitim-arvakfi.org , www.gocergocmez.com , tezo-kan@gmail.com , Tel: +90.212.352 65 59 .

[12] Topçu, İ. B., ve Uygunoglu, T., "Mevcut Betonarme Yapıların Beton Dayanımının Yerinde Tayininde Yeni Gelişmeler", (TS 10 465'ten TS EN 13 791'e geçiş), Yapı Dünyası, Kasım 2010, s : 11-17 .



Şekil 1.- Beton numunelerin Laboratuvar test sonuçları



Şekil 2.- Ultrases hızı ile basınç dayanımı tayini [11] .

Şekil 3. - Bir Betonarme kolonda Ultrases V_p - boyuna dalga hızının ölçülmesi