

# Beton elastisite modülünün ultrasonik ses dalgası yayılma hızı ile tahmin edilmesi

Vaheel ABDULLAH<sup>1</sup>, Enver AYDIN<sup>2</sup>, İdris BEDİRHANOĞLU\*<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Eğitim Bakanlığı, Sheladize Lisesi, Fizik Bölümü, Amedy, Iraq

<sup>2</sup> Dicle Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, 21280, Diyarbakır

<sup>3</sup> Dicle Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 21280, Diyarbakır

Makale Gönderme Tarihi: 15.09.2016

Makale Kabul Tarihi: 02.12.2016

## Öz

*Betonun en önemli mekanik özelliklerinden olan elastisite modülünün hasarlı yöntemlerle tespiti oldukça zahmetli bir iştir. Bu çalışmada betonun elastisite modülünün daha pratik bir şekilde belirlenmesi için hasarsız yöntemlerden olan ultra ses dalgası kullanılmıştır. Bu amaçla beton silindir numuneler üretilerek bu numuneler üzerinde hem ultra ses dalgası geçiş hızı ve basınç testleri yapılmıştır. Bu deneysel veriler kullanarak elastisite modülünün tahmini için ses dalgası geçiş hızına bağlı olan bir model geliştirilmiştir. Bu çalışmada geliştirilen model literatürdeki mevcut modeller ve veriler ile karşılaştırıldığında tahmin performansının iyi olduğu görülmüştür.*

**Anahtar Kelimeler:** : Basınç deneyi; beton; elastisite modülü; ultrases dalgası; yayılma hızı.

## Giriş

Ülkemiz önemli bir deprem kuşağında yer almaktadır ve yapılarımız ciddi deprem tehlikesi altındadır (Bedirhanoglu 2010). Buna karşılık yapılarımızın önemli bir kısmı depreme karşı zayıf durumdadır ve olası bir depremde ciddi can ve mal kayıpları meydana gelebilir. Ülkemizde meydana gelen son depremler durumun ciddiyetini tekrar ortaya koymuştur. Can ve mal kayıplarını azaltmak için yapıların deprem performanslarının artırılması gerekmektedir. Bu amaçla yapıların deprem performanslarının belirlenmesi gerekmektedir. Betonun mekanik özellikleri betonarme binaların performanslarını önemli bir şekilde etkilemektedir. Buna karşılık betonun mekanik özelliklerinin belirlenmesi oldukça zordur. Betonun elastisite modülünün belirlenebilmesi için incelenecek yapıdan yeterli sayıda numune alınarak basınç deneyleri yapılması gerekmektedir. Basınç deneylerinde yük tedrici artırılarak her bir yüke karşılık gelen deformasyon değerleri ölçülmelidir. Bu deney için karmaşık ölçüm düzeneği kurulmalıdır. Bu yöntemin uygulanması uzun zaman almakta, zor ve hatta numune alınamaması gibi durumlarda imkansız olmaktadır. Ülkemizdeki zayıf bina stokunun fazlalığı yapıların hızlı incelenmesini gerektirmektedir. Yapı incelemesinde malzeme özelliklerinin tespiti en önemli aşamalardan birisidir. Betonun elastisite modülü yapı analizinde kullanılan önemli parametrelerden birisidir ve yapıların deprem performanslarının belirlenmesinde elastisite modülü önemli rol oynamaktadır. Dolayısı ile betonun elastisite modülünün pratik ve hızlı tespiti çok büyük önem kazanmaktadır. Bundan dolayı hızlı tespit için çeşitli yöntemler geliştirilmeye çalışılmıştır.

Bu yöntemlerin başında betonun elastisite modülünün beton basınç dayanımına bağlı olarak belirlenmesi gelmektedir. Betonun basınç dayanımının deneysel olarak tespiti elastisite modülüne oranla çok daha pratik olduğundan bu yöntem oldukça rağbet görmektedir. Yalnız bu yöntemde yapıdan beton numune alınmasını gerektirmektedir. Bu konuda yapılan çalışma sayısı o kadar fazla ki bu yöntem bir çok

yönetmelikte de yer bulmuştur (ACI 318, TS 500). Bu çalışmaların kısa bir özeti Bedirhanoglu (2014)'te bulunabilir. Bu yöntem çok kolay olmamasına karşılık betondan numune alınmasını gerektirdiği için hasarlı bir yöntemdir. Elastisite modülünün hasarsız bir yöntemle tespiti üzerine çok daha az sayıda çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan birisinde dalga denkleminde faydalanılmıştır (ASTM E597). Geliştirilen denklemde betonun yoğunluğu ve poisson oranının bilinmesi durumunda ultrases dalgası geçiş hızı ölçülerek betonun elastisite modülü tahmin edilebilmektedir. Bu yöntemde betondan numune alınması gerek kalmadan yerinde ultrases geçiş hızı ölçümü yeterli olmaktadır. Bu da betona zarar vermeden yapılabilmektedir. Diğer bir yöntem de ultrases dalgası geçiş hızına bağlı tahmin yapabilen ampirik denklemlerdir (BS1881 1986, Yıldırım ve Şengül 2009, Mohammed ve Mahmood 2016). Bu denklemlerin avantajı da betondan numune alınması gerek kalmamakla beraber betonun yoğunluğu ve poisson oranının da bilinmesine gerek yoktur. Bu yöntem çok pratik olmasına karşılık genelleştirilmiş bir denklem üretilmesi zordur. Ancak belli bazı beton tipleri için farklı farklı denklemler geliştirilebilir. Bu konuda yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bunun sebebi olarak betonun elastisite modülünün deneysel yolla bulunmasının zorluğu ve beton çeşitliliğinin çok fazla olması olarak gösterilebilir. Ultrases yöntemini ilk kullananlardan birisi 1951 yılında Whitehurst (1951) olmuştur. Mandandoust'a (Mandandoust et al., 2010) göre UPV'nin kullanılabilmesi için değerlendirmesi yapılacak her malzemesi için bir kalibrasyon eğrisinin olması gerekmektedir. Bu çalışmada da benzer bir ampirik denklem geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu denklem özellikle Diyarbakır yöresinde kullanılan betonlar için geliştirilmiştir. Ayrıca dünya literatürüne veri katılması da çalışmanın diğer bir hedefidir.

## Deneysel Çalışmalar

Deneysel çalışma kapsamında üç gruptan oluşan toplam 8 adet 150 mm çapında 300 mm

## Beton elastisite modülünün ultrasonik ses dalgası yayılma hızı ile tahmin edilmesi

yüksekliğinde beton silindir numuneleri kullanılmıştır. Bu numuneler Türkiye'nin Güneydoğu Bölgesinde bulunan Diyarbakır ilinde bir binada yapılan güçlendirme uygulamasında kullanılan betonlardan alınmıştır. Bu beton brüt bir beton olup su çimento oranı 0.55'tir. Bu betonda kullanılan malzemeler ve miktarları Tablo 1'de verilmiştir. Betonun tasarımı ve dökülmesi Nural Beton Firması tarafından gerçekleştirilmiştir. Şekil 1'de görüldüğü gibi beton ince agregalardan oluşmaktadır.

**Tablo 1.** Malzeme karışım oranları

Malzeme	Miktar (kg)
0-7Kum	1150
7 - 25 çakıl	240
15 - 25 çakıl	540
Su	165
PÇ 42.5	300
Katkı	3 (%)



*Şekil 1. Beton dökümü*

Beton silindir numuneler her beton dökümünde kontrolümüzde alınmıştır. Şekil 2'de görülen silindir numuneler metal kaplara uygun yerleşim sağlanarak alınmıştır. Bir gün bekletilerek kuruyup belli ölçüde dayanım kazanan numuneler kalıptan çıkarılarak kür için su havuzuna bırakılmıştır. 28. günden sonra

numuneler sudan çıkarılarak, basınç ve UPV testleri için laboratuvar ortamında beklemeye alınmıştır.



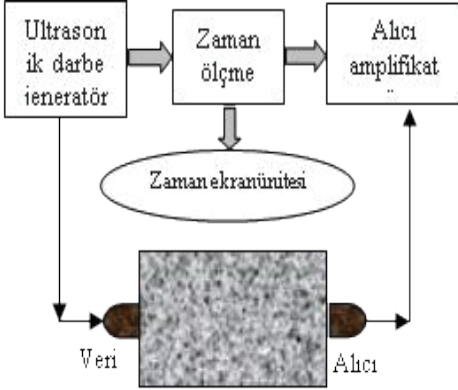
*Şekil 2. Beton silindir numuneler*

### UPV testleri

UPV testleri için Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Müh. Bölümü Yapı Malzemesi Laboratuvarında mevcut olan Posso Cihazı kullanılmıştır (Şekil 3). Cihazın çalışma prensibi Şekil 4'te verilmiştir. Cihaz alıcı verici sensörlerden aldığı tepkilere göre dalganın ortam içinde yayılma hızını ölçmektedir. Kullanılan sensörler 55 kHz dalga üretmektedirler. Buna göre ölçüm yapılacak numunelerin belli boyutlarda olması gerekmektedir.



*Şekil 3. Pusso ultrases cihazı*



Şekil 4. UPV test

UPV ölçümleri silindir numunelerin beton döküm yönüne dik olan karşılıklı yüzlerinden alınmıştır. Hız ölçümü beton döküm yönüne paraleldir. Silindir numunenin iki yüzünden biri pürüzlü biri düzgündür. Pürüzlü olan yüz UPV ölçümlerinden önce beton taşlama cihazı ile taşlanarak pürüzsüzleştirilmiştir. Buradaki amaç sensörlerin betona tam temasını sağlamaktır. Ölçüm alınırken sensörlerin karşılıklı aynı noktada olmaları ve birbirleri ile tam olarak karşılıklı denk gelmeleri gerekmektedir. Bunu sağlamak için yeryüzüne paralelliği tam olarak sağlanan mermer bir tezgah üzerinde ölçüm için bir düzenek hazırlanmıştır. Ölçüm alınacak yüzeyler tozdan arındırılarak jel ile temizlenmiştir. Sensörler ile numune arasında boşluk kalmayacak şekilde tam teması sağlamak için jel kullanılmıştır. UPV deneyinden bir görüntü Şekil 5'te verilmiştir. Her bir numunenin beş farklı yerinden beş farklı UPV ölçümü alınmış her bir numunenin UPV değeri bu beş ölçümün ortalaması olarak göz önüne alınmıştır. Her bir ölçüm sırasında sensörlerin numune yüzeyine tam teması veya sensörler tam karşılıklı olmaması gibi sebeplerden dolayı ölçülen değerler değişkenlik gösterebilmektedir. Bu gibi durumlarda ölçülen en düşük değer göz önüne alınmıştır.



Şekil 5. UPV ölçümü

#### Basınç deneyleri

Basınç deneyleri de Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Müh. Bölümü Yapı Malzemesi Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler için Alşa Firması tarafından üretilmiş olan 300 ton kapasiteli basınç presi kullanılmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. Beton basınç presi



Daha önce de belirtildiği gibi silindirik numunelerin bir yüzü düzgün diğer yüzü de pürüzlü olarak imal edilebilmektedir. Numunelerin iki yüzünün birbirine tam paralel olmasını sağlamak ve pürüzlü yüzeyi düzeltmek için bütün numunelere tamir harcından başlık yapılmıştır. Şekil 7’de başlık uygulaması görülmektedir.



*Şekil 7. Silindir numunelere başlık yapılması*

Deney sırasında çekilen bir görüntü Şekil 8’de verilmiştir. Şekil 8’de görülebileceği deformasyon ölçümleri için toplam 6 adet potansiyometrik cetvel kullanılmıştır. Bunlardan ikisi numune üzerine diğerleri numune dışına yerleştirilmiştir. Deformasyon değerleri Şekil 9’da görüldüğü gibi veri toplama cihazına oradan da bilgisayara aktarılmaktadır.



*Şekil 9. Deney düzeneği*



*Şekil 8. Basınç deneyi*

Numuneler beton basınç presine iki düzgün yüzey cihazın başlıklarına temas edecek şekilde yerleştirilmiştir. Bu şekilde numuneler beton döküm yönüne dik olarak yüklenmektedir.

### **Deney sonuçları**

Bu çalışmada yapılmış olan UPV ve basınç deneyi sonuçları Tablo 2’de özet olarak verilmiştir. Bu tabloda her bir numunenin ismi, gün olarak yaşı ve birim ağırlıkları verilmiştir. Numune isimleri numuneyi en iyi şekilde temsil edecek şekilde düzenlenmiştir. Örneğin ÇBS-1 numunesinde Ç: Çağdaş Apartmanı, B: Numunenin bodrum kattan alındığını, S: Numunenin silindirik olduğu, 1: Grubun ilk numunesi olduğunu ifade etmektedir.

Tablodan görülebileceği gibi numunelerin yaşları 30 ile 114 gün arasında değişiyor. Bütün numunelere 28 gün standart su kürü uygulanmıştır. Deney sonuçlarına göre beton basınç dayanımları 26 ile 49 MPa ve elastisite modülleri 20 ile 38 GPa arasında değişmektedir. Buna karşılık direk ultrasonik hızları 4.2 ile 4.4 km/s arasında değişmektedir. UPV ölçümlerine göre betonumuz Tablo 3 (Bahavan ve Marg 1996) referans alındığında “iyi” sınıfına

düşmektedir. Basınç sonuçları da bunu göstermektedir. Deney sonuna ait bir görüntü Şekil 10'da verilmiştir. Tablo 2'de \* ile işaretlenen ÇAAS1, ÇBS1 ve ÇZS1 verileri model oluşturulurken kullanılmamış, buna karşılık modelin test aşamasında kullanılmıştır.

**Tablo 2.** Deney sonuçları

No	Numune ismi	$f_c$ (MPa)	$E_c$ (GPa)	UV (km/s)	Birim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	Yaş (gün)
1*	ÇAAS1	30.12	24.822	4.3177	2311.8	40
2	ÇAAS2	29.28	35.432	4.372	2353.8	30
3	ÇAAS3	26.23	30.233	4.35042	2351.7	40
4	ÇAAS4	34.54	34.302	4.40353	2301.8	40
5*	ÇBS1	40.52	38.422	4.32503	2371.2	114
6	ÇBS2	48.85	29.558	4.31874	2385.9	113
7	ÇBS3	45.66	32.494	4.34328	2354.9	119
8*	ÇZS1	31.64	26.187	4.080	2282.5	119
9	ÇZS2	31.78	20.188	4.07835	2275.9	108
10	ÇZS3	35.94	25.595	4.27935	2348.6	108
11	ÇZS4	30.25	26.553	4.24286	2335.2	108

**Tablo 3.** Betonun UPV'ye göre sınıflandırılması

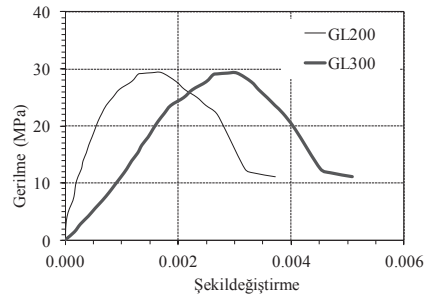
UPV (km/s)	Beton kalitesi
>4.5	Çok iyi
3.5-4.5	İyi
3.0-3.5	Orta
< 3.0	Kötü

Tablo 2'de verilen elastisite modülü değerleri silindirler üzerinde yapılan basınç deneylerinden elde edilmiştir. Basınç deneyi sonucunda elde edilen yük yer değiştirme değerlerinden gerilme şekil değiştirme değerleri elde edilmiştir. Bu değerler kullanılarak gerilme şekil değiştirme diyagramları çizilmiştir. Örnek bir gerilme şekil değiştirme diyagramı Şekil 8'de verilmiştir. Bu şekilde görüldüğü gibi iki tane gerilme şekil değiştirme diyagramı var. GL 200 diyagramı numune üzerinde 200 mm ölçüm mesafesinde alınan ölçümlere göre çizilmiştir. Şekil 11'de ÇAAS2 numunesi için gerilme şekil değiştirme diyagramları verilmiştir. GL 300 ise 300 ölçüm mesafesinden numune dışından

alınan ölçümlere göre çizilen diyagramdır. Numune üzerinden alınan ölçümler daha hassas olduğundan elastisite modülünün belirlenmesinde GL200 değerleri kullanılmıştır. Betonların gerilme şekil değiştirme diyagramları küçük yüklemelerde mukavemetinin %45'ine kadar doğrusal kabul edilir. Elastisite modülünün bu bölgede kalan verilerden en küçük kareler yöntemine göre bir doğru geçirilir ve elastisite modülü bu doğrunun eğimi olarak hesaplanır. Yapılan hesaplamalara bir örnek ÇAAS2 numunesi için Şekil 12'de verilmiştir.



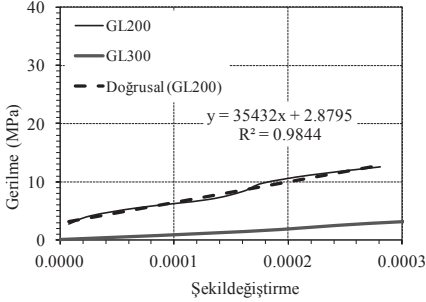
**Şekil 10.** Basınç deneyi sonrası görünüm



**Şekil 11.** Gerilme şekil değiştirme diyagramı

Şekil 11 ve Tablo 2'de görüldüğü gibi ÇAAS2 numunesinin mukavemeti yaklaşık 30 MPa'dır, dolayısı ile doğrusal olduğunu kabul ettiğimiz

bölüm yaklaşık 12 MPa kadar olan kısımdır. Şekil 12’de görüldüğü gibi birkaç MPa ile 12 MPa arasında kalan veriler arasından bir doğru geçirilerek elastisite modülü 35432 MPa olarak hesaplanmıştır. Tablo 2’de verilen bütün numuneler için elastisite modülleri bu şekilde belirlenmiştir.



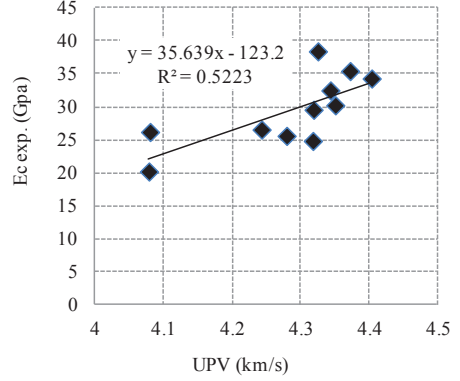
Şekil 12. Elastisite modülünün bulunması

## Model oluşturma

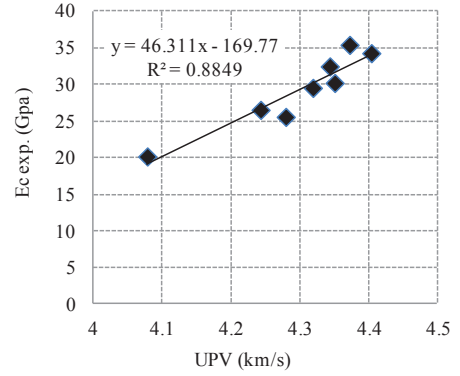
Beton elastisite modülünü UPV ölçümlerine bağlı olarak belirleyebilmek için bu bölümde beton elastisite modülü ile UPV verileri arasında bir model geliştirilmiştir. Bu amaçla basınç deneyi ve UPV deneyi verileri Şekil 13’te görüldüğü gibi karşılaştırılmıştır. Bu şekilde bütün veriler kullanılmıştır. Veriler arasında doğrusal regrasyon analizi sonucu bulunana denklem ve korelasyon değeri de Şekil 13’te verilmiştir. Bu şekilde görüldüğü gibi korelasyon katsayısı  $R^2$  0.52 gibi düşük bir değerdir. Tablo 2’de \* işareti ile gösterilen üç veri çıkarıldıktan sonra elde ilişki, denklem ve korelasyon katsayısı Şekil 14’te verilmiştir. Bu şekilden görüldüğü gibi veriler eğilim çizgisine daha yakın ve korelasyon katsayısı çok daha yüksektir. Dolayısı UPV değerine bağlı olarak elastisite modülü tahmini için aşağıda verilen Denklem 1 kullanılmıştır. Regresyon analizinde en küçük kareler yöntemi kullanılmaktadır.

$$E_c = 46.311 \times \text{UPV} - 169.77 \quad (1)$$

Bu denklemde UPV km/s ve  $E_c$  GPa birimindedir.



Şekil 13. Elastisite modülü ve UPV arasındaki ilişki-Bütün veriler



Şekil 14. Elastisite modülü ve UPV arasındaki ilişki-bazı veriler çıkarılmıştır

## Modelin tahmin performansı

Modelimizin performansını objektif olarak değerlendirmek için literatürde mevcut olan deneysel veriler ve denklemler kullanılmıştır. BS1881 tarafından verilen sekiz data kullanılmıştır. Ayrıca literatürdeki mevcut modellerle karşılaştırma yapabilmek için de literatürden iki farklı model ve TS 500 standardı tarafından önerilen denklemler kullanılmıştır. Bu denklemler Tablo 4’te verilmiştir. Bu tabloda statik elastisite modülü ( $E_c$ ) MPa, dinamik elastisite modülü ( $E_d$ ) GPa ve UPV km/s birimindedir.

**Tablo 4.** Literatürde mevcut bazı modeller

Araştırmacı	Denklem
Mohammed and Mahmood (2016)	$E_c=1335e^{(0.186 \times UPV2)}$
Yildirim and Sengul (2009)	$E_c=6e^{(0.076 \times UPV2)}$

Konu ile ilgi çok çalışma olmadığından literatürde çok sınırlı sayıda veri bulunabilmiştir. Literatürden toplanan veriler Tablo 5’te verilmiştir. Bu tabloda her bir numunenin deneysel UPV ve elastisite modülü değerleri verilmiştir. Bu çalışmada geliştirdiğimiz denklemin performansını test etmek için model geliştirmesinde kullanılan sekiz veriye ilave olarak model geliştirmesinde kullanılmayan; Tablo 5’te veriler sekiz ver, Tablo 2’de \* işareti ile gösterilen üç veri de kullanılmıştır. Dolayısı ile performans analizinde toplam 19 veri kullanılmıştır.

**Tablo 5.** Literatür verileri (BS1881)

Deneysel	
UV km/s	Ec (GPa)
3.6	13
3.8	15
4.0	18
4.2	22
4.4	27
4.6	34
4.8	43
5.0	52

Bu çalışmada geliştirilen ve Denklem 1 ile verilen model ile beraber Tablo 4’te verilen bütün modellerin elastisite modüllerini UPV’ye bağlı olarak tahmin etme performanslarını karşılaştırmak için ortalama ve rölatif hata parametreleri kullanılmıştır. Ortalama ve rölatif hata parametreleri aşağıda verilen Denklem 2 ve Denklem 3 kullanılarak bulunmuştur.

$$\text{Ortalama} = E_{c,\text{amprik}}/E_{c,\text{deneysel}} \quad (2)$$

$$\text{Rölatif Hata} = (E_{c,\text{amprik}}-E_{c,\text{deneysel}})/E_{c,\text{deneysel}} \quad (3)$$

Bu iki istatistiksel parametreye göre bütün modellerin 19 veri için ortalama tahmin performansları belirlenmiş ve Tablo 6’da özet olarak verilmiştir. Tablo 6’da görülebileceği gibi ortama parametresi ve rölatif hata parametreleri bu çalışmada geliştirilen her iki model de literatürdeki modellerden daha iyi bir tahmin performansı sergilemektedir. Tablo 6’ya göre en iyi model Denklem 1 ile verilen modeldir.

**Tablo 6.** Performans değerlendirmesi (deney verileri için)

Modeller	Ortalama	Rölatif Hata
Denklem 1	0.952	0.21
Mohammed et al. (2016)	1.453	0.48
Yildirim and Sengul (2011)	0.837	0.23

## Sonuç

Bu çalışmada elastisite modülünün hasarsız yöntemlerden olan ultra ses dalgasının yayılma hızı ile tespiti için Diyarbakır bölgesinde kullanılan betonlar için bir model geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla Diyarbakır’da üretilen betonlardan farklı zamanlarda üç grup numune üzerinde deneysel ve ampirik çalışmalar yapılmıştır. Beton silindirik numunelerde UPV ve basınç testleri yapılarak bu iki veri grubu üzerinde yapılan regresyon analizi ile aşağıda verilen model geliştirilmiştir.

$$E_c=46.311 \times UPV-169.77 \quad (4)$$

Denklem 4’de UPV km/s biriminde ses dalgasının beton içinde yayılma hızı ve  $E_c$  GPa biriminde beton elastisite modülüdür.

İstatistiksel değerlendirme sonucunda bu çalışmada geliştirilen ve yukarıda verilen denklemin betonun statik elastisite modülünü UPV’ye bağlı olarak tahmininde en iyi model olduğu görülmüştür.



## **Teşekkür**

Numunelerin alınmasındaki katkılarından dolayı Piramit İnşaat Firması ve Saruhan Bedirhanoglu'na teşekkür etmektedir. Deneysel çalışmalar sırasındaki katkıları için yazarlar İnş. Müh. Zeki Yıldırım'a teşekkürü bir borç bilmektedir. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yapı Malzemesi laboratuvarına sağladıkları imkanlar için yazarlar teşekkür etmektedir.

## **Kaynaklar**

- ACI 318 (2008). Building code requirements for structural concrete, American Concrete Institute, USA.
- ASTM C597 (2003). Standard Test Method for Pulse Velocity through Concrete, Dec. 15, 2009. Published February 2010.
- Bahavan M. and Marg B. SH.,1996. Non-destructive testing of concrete. Bureau of Indian Standards, method of test, part 1 ultrasonic pulse velocity. UDC 666.972.620.16, New Delhe 110002.
- Bedirhanoglu, I., Ilki, A., Pujol, S. and Kumbasar, N. (2010), "Seismic behavior of joints built with plain bars and low-strength concrete", ACI Struct. J., 107(3), 300-310.
- Bedirhanoglu, I. (2014), "A practical neuro-fuzzy model for estimating modulus of elasticity of concrete", Struct.Eng.Mech., 51(2), 249-265.
- BS 1881. Part 203, 1986. British Standard. Testing concrete. Recommendations for measurement of velocity of ultrasonic pulses in concrete.
- Madandoust R., Ghavidel R. And Nariman-zadeh N., (2010). Evolutionary design of generalized GMDH-type neural network for prediction of concrete compressive strength using UPV. *Computational Materials Science*, Vol. 49, pp. 556–567
- Mohammed T.D. and Mahmood A. H., (2016). Effects of maximum aggregate size on UPV of brick aggregate concrete. *Ultrasonics* 69, 129–136.
- Neville, A.M., (1995). properties of concrete "4th edition, Longman Group Limited.
- TS500 (2000). Betonarme yapıların tasarım kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara Türkiye.
- Whitehurst E.A. (1951). "Use of the Soni scope for Measuring Stetting Time of Concrete" *ASTM* vol, 51, pp.1166-76.
- Yıldırım, H ve Şengül, O. (2011). Modulus of elasticity of substandard and normal concrete, *Construction and Building Materials*, 25, 1645-1652.

## Prediction of elastic modulus of concrete through using ultrasonic pulse velocity

### Extended abstract

Since seismicity is active in Turkey, most of the buildings are vulnerable against earthquake excitation. So, inspections of buildings are vital. Concrete is one of the most important parameter effect the performance of the building. Obtaining mechanical properties of concrete is also one of the most challenges in inspection of the building. Obtaining elastic modulus of concrete is also one of the most challenging since it requires sophisticated measuring system. Classical technique which require taking a piece of concrete for compression testing causes more labor, time and costs. So a simple method required especially in case of quick inspection of the building.

Ultrasonic pulse velocity is one of the well known techniques for a non destructive evaluation of concrete. The technique is easy, fast and requires less labor. However it is not reliably by itself. In order to increase the reliability, match curve must be prepared for every different concrete type. So, this study intended to develop a model for concrete used especially in Diyarbakir district.

This study both includes experimental and empirical work. In the experimental part eleven cylinder specimens were produced from concrete work of different stories of a building being retrofitted in Diyarbakir. Dimension of cylinders are 150 mm in diameter and 300 mm in height. All the specimens were cured 28 days in water and tested after at least 28 days. Ultrasonic pulse velocity (UPV) tests were carried out at first. For each specimen UPV tests were carried out at five different points and UPV values for each specimen was evaluated as average of these five values. After UPV tests compression tests were carried out for all specimen. For compression tests, monotonically axial load was increased until failure and the load and deformation values were noted for each load increment.

After all the UPV and compression tests were carried obtained data were used for developing a model to predict elastic modulus of concrete from UPV values. In model developing regression analysis was utilized. Data analyzed to obtained reasonable relation between UPV and elastic modulus. As a result an equation was developed

(Equation 1). As seen in Equation 1 only UPV values required to predict elastic modulus of inspected concrete.

$$E_c = 46.311 \times UPV - 169.77 \quad (1)$$

In these equations UPV and  $E_c$  values must be in km/s and GPa units, respectively.

The last part of this study is the performances evaluation of constructed model. To check prediction performance of the model a bunch of data was collected from literature. All of our data was not used in the performance evaluation to make an objective evaluation. Totally 19 data was used in performance evaluation.

All the data are of normal concrete and of cylinder specimens. To reach a comment for necessity of our equations, a comparison was made between our equations and few equations from literature. Statistical parameters such as average and relative error were used in performance check. For the best model average of predicted and experimental compressive strength should be nearest one and relative error should smallest. Statistical evaluation parameters for all models are given as follow,

Models	Average	Relative error
Equation 1	1.126	0.21
Mohammed et al, (2016)	0.696	0.47
Yıldırım and Şengül (2009)	1.273	0.22

The above table clearly showed that relative error is smallest and Average is closest to one for Equation 1. So, we can conclude that for the data grope was used, equation 1 is the best in prediction of the elastic modulus from UPV.

**Keywords:** Concrete, elastic modulus, ultrasonic pulse velocity, compressive strength.