

Beton basınç dayanımının ultrasonik ses dalgası yayılma hızı ile tahmin edilmesi

Ziwar ZEBARİ¹, İdris BEDİRHANOĞLU², Enver AYDIN³

¹ Eğitim Bakanlığı, Amedi Eğitim Müdürlüğü, Fizik Öğretmeni, Duhok, Iraq

²Dicle Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 21280, Diyarbakır

³ Dicle Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, 21280, Diyarbakır

Makale Gönderme Tarihi: 07.09.2016

Makale Kabul Tarihi: 01.12.2016

Öz

Betonarme binaların dayanımlarının hızlı bir şekilde belirlenmesinde beton dayanımının kolay bir şekilde tespiti kilit bir öneme sahiptir. Bu çalışmada beton basınç dayanımının pratik, kolay ve yapıya zarar vermeyecek bir şekilde belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu nedenle hasarsız bir yöntem olan ultra ses dalgası yayılma hızından faydalanılmıştır. Bu çalışma çerçevesinde yapılan deneysel ve istatistiksel değerlendirme çalışmaları neticesinde ultra ses dalgasının beton içindeki yayılma hızı ile beton basınç dayanımı arasında ampirik bir model geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Basınç dayanımı, beton, ultrases dalgası yayılma hızı.

Giriş

Gerek bölgemizin ve gerekse ülkemizin aktif deprem kuşağında yer alması ve yapılarımızın yetersiz olması beraberinde can ve mal kaybı bakımından olası bir depremde ağır neticeler doğurmaktadır. Yapı yetersizliklerinin en önemli ve can alıcı noktası yetersiz beton kalitesidir (Bedirhanoglu vd. 2010, Bedirhanoglu, 2014). Dolayısı ile yapı güvenliği hakkında fikir sahibi olma konusunda beton dayanımın tespiti kilit bir rol oynamaktadır. Bu kadar önemli bir konu dolayısı ile her açıdan yoğun çalışmalara konu olması gerekmektedir. Bu hassasiyetle bu çalışmada da beton dayanımının tespiti konu edilmiştir.

Ultras ses yöntemini ilk kullananlardan birisi 1951 yılında Whitehurst (1951) olmuştur. Ebatları 6 inç olan büyük sayıda küp numuneler üzerinde yaptığı deneysel çalışma sonucunda beton basınç dayanımı ile ultras ses yayılma hızı (UPV) arasında makul bir ilişki ortaya konulamamıştır. Beton basınç dayanımı ile ultras ses hızı arasında tek bir korelasyon yoktur. Korelasyon beton karışım özelliklerine (çimento tipi, agrega tipi, karışım oranları vs.) göre değişmektedir (Neville 1996, Trtnik ve diğ. 2009). Galan (1967) beton basınç dayanımı ile UPV, sönüm katsayısı gibi betonun akustik özellikleri arasında bir regresyon analiz yapmıştır. Rajagopalan ve diğ. (1973) belli başlı tipik karışımlar için UPV ile beton basınç dayanımı arasında korelasyonlar önermiştir. Tharmaratnam ve Tan (1990) UPV ile beton basınç dayanımı arasındaki ilişki için amprik bir denklem önermiştir. Demirboğa ve diğ. (2004) mineral katkılı betonlar için UPV ile basınç dayanımı arasında üstel bir ilişki önermiştir. Trtnik et al. (2009) en küçük kareler yöntemini de kullanarak çokça kullanılan bir denklem geliştirmişlerdir. Mandandoust'a (Mandandoust vd., 2010) göre UPV'nin kullanılabilmesi için değerlendirmesi yapılacak her malzemesi için bir kalibrasyon eğrisinin olması gerekmektedir. Bu çalışmada özellik Diyarbakır bölgesinde kullanılmakta olan betonlar üzerine çalışma yapılmıştır. Hazır beton santralinin bir bina

güçlendirme işi için ürettiği betondan küp numuneler alınmış ve bu numuneler üzerinde hem basınç hem de ultrasonic pulse velocity (UPV) testleri yapılarak deneye dayalı denklemler geliştirilmiştir. Regresyon analizi için çokça bilinen Excel 2007 programı kullanılmıştır.

Deneysel çalışmalar

Deneysel çalışma kapsamında üç gruptan oluşan toplam 12 adet 150 mm ebatlarında beton küp numunesi kullanılmıştır. Bu numuneler Diyarbakır'da bir binada yapılan güçlendirme uygulamasında kullanılan betonlardan alınmıştır. Beton güçlendirme çalışmasında kullanıldığı için beton dayanımı için biraz yüksek değerler hedeflenerek üretim yapılmıştır. Ayrıca güçlendirmede kullanılacak bir beton olduğundan en büyük dane çapı küçük ve daha çok ince agrega içerecek şekilde tasarlanmıştır. Tasarım ve döküm işlemi Nural Beton Firması tarafından gerçekleştirilmiştir. Şekil 1'de görüldüğü gibi beton ince agregalardan oluşmaktadır.



Şekil 1. Beton dökümü

Beton küp numuneler her beton dökümünde tarafımızca alınmıştır. Şekil 2'de küp görülen küp numuneler plastik kalıplara uygun yerleşim sağlanarak alınmıştır. Bir günlük beklemeden sonra kuruyup belli ölçüde dayanım kazanan

Beton basınç dayanımının ultra ses dalgası yayılma hızı ile tahmin edilmesi

numuneler kalıptan çıkarılarak kür için su havuzuna bırakılmıştır. 28. Günden sonra numuneler sudan çıkarılarak, basınç ve UPV testleri için laboratuvar ortamında beklemeye alınmıştır.



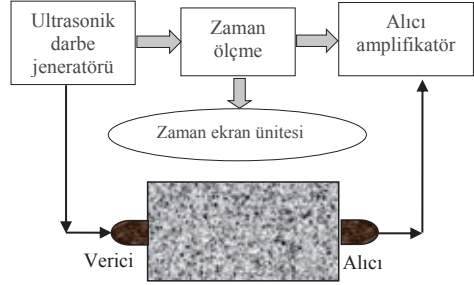
Şekil 2. Beton küp numuneler

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.

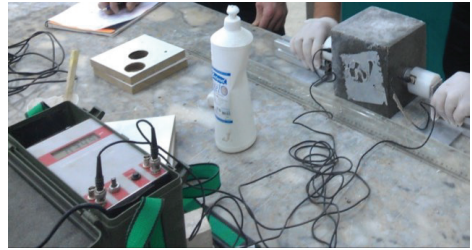


Şekil 3. Posso ultrases cihazı



Şekil 4. UPV testi

UPV ölçümleri küp numunelerin beton döküm yönüne dik düzgün olan karşılıklı yüzlerinden alınmıştır. Ölçüm alınırken sensörlerin karşılıklı aynı noktada olmaları ve birbirleri ile tam olarak karşılıklı denk gelmeleri gerekmektedir. Bunu sağlamak için yeryüzüne paralellığı tam olarak sağlanan mermer bir tezgah üzerinde ölçüm için bir düzenek hazırlanmıştır. Ölçüm alınacak yüzeyler tozdan arındırılarak jel ile temizlenmelidir. 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.



Şekil 5. UPV ölçümü

Basınç deneyleri

Basınç deneyleri de Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Müh. Bölümü Yapı Malzemesi Laboratuvarında gerçekleştiril-

miştir. Bu deneyler için Alşa Firması tarafından üretilmiş olan 300 ton kapasiteli basınç presi kullanılmıştır.



Şekil 6. Beton basınç cihazı

Numuneler beton basınç test cihazına iki düzgün yüzey cihazın başlıklarına temas edecek şekilde yerleştirilmiştir. Bu şekilde numuneler beton döküm yönüne dik olarak yüklenmektedir. Deney sırasında çekilen bir görüntü Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 7. Basınç deneyi

Deney sonuçları

Bu çalışmada yapılmış olan UPV ve basınç deneyi sonuçları Tablo 1’de özet olarak verilmiştir. Bu tabloda her bir numunenin adlandırmasında, gün olarak yaş ve birim ağırlıklar verilmiştir. Numune isimleri numuneyi en iyi şekilde temsil edecek şekilde düzenlenmiştir. Örneğin ÇBK-1 numunesinde Ç: Çağdaş Apartmanı, B: Numunenin bodrum kattan alındığını, K: Numunenin küp olduğu, 1:

Grubun ilk numunesi olduğunu ifade etmektedir.

Tablo 1. Deney sonuçları

No	Numune	Yaş (gün)	Ultras ses dalga hızı (km/s)	Basınç dayanımı (MPa)
1	Ç2K-1	90	4.23	39.24
2	Ç2K-2	90	4.21	37.06
3	C2K-3	90	4.20	36.63
4	Ç2K-4	90	4.23	41.68
5	ÇAK-1	66	3.85	30.63
6	ÇAK-2	66	3.87	29.21
7	ÇAK-3	66	3.90	33.36
8	ÇAK-4	66	3.93	32.76
9	ÇO4K-1	41	3.95	34.34
10	ÇO4K-2	41	4.06	33.35
11	ÇO4K-3	41	4.07	33.68
12	CO4K-4	41	4.13	37.61

Tablodan görülebileceği gibi numunelerin yaşları 66 ile 90 gün arasında değişmektedir. Bütün numuneler 28 gün standart su kürü uygulanmıştır. Bütün numunelerde su/çimento oranı 0.5’tir. Deney sonuçlarına göre beton basınç dayanımları 29 ile 42 MPa arasında değişmektedir. Buna karşılık direk ultrasonik hızları 3.85 ile 4.2 km/s arasında değişmektedir. UPV ölçümlerine göre betonumuz Tablo 2 referans alındığında “iyi” sınıfına düşmektedir. Basınç sonuçları da bunu göstermektedir.

Tablo 2. Betonun UPV’ye göre sınıflandırılması (IS. 1992).

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

Model oluşturma

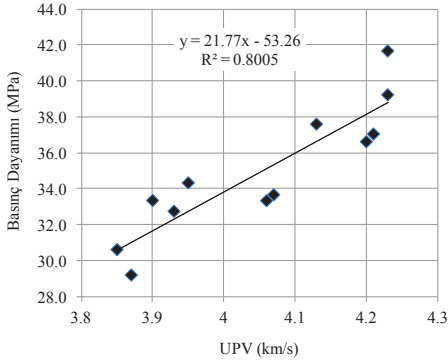
UPV sonuçlarına göre betonumuzun “iyi” sınıfında derecelendirilebileceğini gördük. Beton dayanımını UPV ölçümlerine bağlı olarak

daha somut verebilmek için bu bölümde beton basınç dayanımı ile UPV verileri arasında modeller geliştirilmiştir. Bu amaçla veriler arasında regresyon analizi yapılmıştır.

Tablo 3. İkinci model için kullanılan veriler

Numune	Yaş (gün)	Ultrases dalga hızı (km/s)	Basınç dayanımı (MPa)
Ç2K-1	90	4.23	39.24
ÇAK-1	66	3.85	30.63
ÇAK-4	66	3.93	32.76
CO4K-4	41	4.13	37.61

Farklı veri grupları için Excel programı kullanılarak ayrı analizler yapılmıştır. Birinci regresyon analizinde bütün veriler kullanılmış ve Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8. Basınç dayanımı ve UPV arasındaki ilişki, bütün veriler için

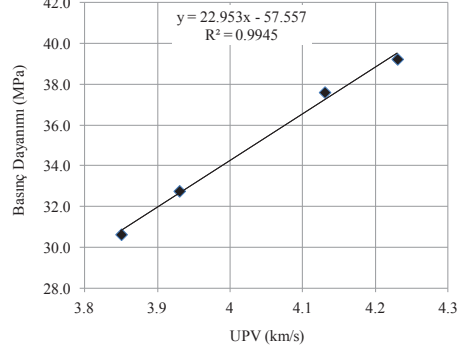
Regresyon analizinde en küçük kareler yöntemine göre Denk. 1 geliştirilmiştir.

$$f_c = 21.77 \times \text{UPV} - 53.26 \quad (1)$$

Bu denklemde UPV km/s ve f_c MPa birimindedir.

İkinci model için farklı gruplardan dört adet veri kullanılmıştır (Tablo 3). Bu veriler için UPV ve basınç dayanımı arasındaki ilişki Şekil 9’da verilmiştir.

Şekil 9’da görüldüğü verilerle çok iyi bir uyum içinde olan modele ait denklem aşağıda verilmiştir.



Şekil 9. Basınç dayanımı ve UPV arasındaki ilişki, bazı veriler için

$$f_c = 22.95 \times \text{UPV} - 57.55 \quad (2)$$

Modellerin performansı

Modellerimiz performansını objektif olarak değerlendirmek için literatürde mevcut olan deneysel veriler ve denklemler kullanılmıştır. Bu çalışma da geliştirilen iki modelin performansını objektif bir şekilde belirlemek için bütün literatür taranmıştır. Sonuç olarak 11 farklı araştırmacıdan 100 adet veri toplanmıştır. Ayrıca literatürde mevcut modellerle karşılaştırma için de literatürden iki farklı model ve TS EN 13791 tarafından önerilen denklemler kullanılmıştır. Bu denklemler Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 4. Literatürde mevcut bazı modeller

Araştırmacı	Denklem
Rouf ve diğ. (1986)	$f_c = 2.016 \times e^{0.61 \text{UP}}$
Nashn’t ve diğ. (2005)	$f_c = 1.19 \times e^{0.715 \text{UP}}$
TS EN 13791 (2010)*	$f_c = 62.5 \times \text{UPV}^2 - 497.5 \times \text{UPV} + 990$

*TS EN 13791 denklemi UPV’nin 4 ve 4.8 km/s aralığı için geçerlidir.

Literatürden toplanan veriler bu çalışmanın ekinde Tablo A.1’de verilmiştir. Bu tabloda her bir numunenin deneysel UPV ve basınç

mukavemeti değerleri verilmiştir. Bu çalışmada geliştirdiğimiz iki denklem ile UPV'ye bağlı tahmin edilen basınç dayanımı değerleri de Tablo A.1'de verilmiştir. Literatürde mevcut denklemlere ait tahminlerde bu tablo da verilmiştir.

Bütün modellerin beton basınç dayanımını UPV'ye bağlı olarak tahmin etme performanslarını karşılaştırmak için ortalama ve rölatif hata parametreleri kullanılmıştır. Ortalama ve rölatif hata parametreleri aşağıda verilen Denklem 3 ve Denklem 4 kullanılarak bulunmuştur.

$$\text{Ortalama} = f_{c, \text{ampirik}} / f_{c, \text{deneysel}} \quad (3)$$

$$\text{Rölatif Hata} = \text{MUTLAK}((f_{c, \text{ampirik}} - f_{c, \text{deneysel}}) / f_{c, \text{deneysel}}) \quad (4)$$

Bu iki istatistiksel parametreye göre bütün modellerin 100 data için ortalama tahmin performansları belirlenmiş ve Tablo 5'te özet olarak verilmiştir. Tablo 5'te görülebileceği gibi ortalama parametresi ve rölatif hata parametreleri bu çalışmada geliştirilen her iki model de literatürdeki modellerden daha iyi bir tahmin performansı sergilemektedir. Tablo 5'e göre en iyi model Denklem 1 ile verilen modeldir.

Modeller	Ortalama	Rölatif Hata
Denklem 1	1.052	0.177
Denklem 2	1.072	0.196
Rouf ve diğ. (1986)	0.761	0.249
Nashn't ve diğ. (2005)	0.718	0.290
TS 13791 (2010)	0.511	0.524

Tablo 5. Performans değerlendirilmesi

Sonuçlar

Bu çalışmada beton dayanımının hasarsız yöntemlerden olan ultrases 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 küp numunelerde UPV ve basınç testleri yapılarak bu iki veri grubu üzerinde yapılan regresyon analizi ile modeller geliştirilmiştir.

İstatistiksel değerlendirme sonucunda aşağıda verilen denklemin beton dayanımını UPV'ye bağlı olarak tahmininde en iyi model olduğu görülmüştür.

$$f_c = 21.77 \times \text{UPV} - 53.26 \quad (5)$$

Bu denklemde UPV km/s biriminde ses dalgasının beton içinde yayılma hızı ve f_c MPa biriminde beton basınç mukavemetidir.

Teşekkür

Numunelerin alınması sürecinde katkıları için Piramit İnşaat Firması ve Saruhan Bedirhanoğlu'na teşekkürü borç biliriz. Ayrıca deneysel çalışmalar sırasında yardımlarını esirgemeyen M. Zeki Şimşek'e teşekkür ediyoruz. Bu çalışma Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yapı Malzemesi laboratuvarında gerçekleştirilmiştir, katkıları için teşekkür ediyoruz.

Kaynaklar

- Abdullatif, A.M., (1997). Compatibility of Gypsum Content in Concrete Ingredients. M.Sc Thesis, University of Baghdad.
- Ali M.A. and Al-Jaberi A.L., (2014). Evaluation of Compressive Strength by Non- Destructive Test Using Ultrasonic Pulse Velocity With Maximum Size Aggregate (10 And 20)mm. Journal of Engineering and Development, Vol. 18, No.3, May 2014, ISSN 1813- 7822.
- Al-Hesnawi K.A., (2011). Constructing a Mathematical Models to Predict Some Properties of Concrete from Non-Destructive Testing, M.Sc., Thesis, College of Engineering, University of Babylon.
- Ahmed S.M., (2013). Effect of The Elevated Temperature on Some Mechanical Properties of Self Compacting Concrete Reinforced by Steel Fiber, M.Sc., Thesis, College of Engineering, University of Babylon.
- Bedirhanoğlu, I., İlki, 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.
- Demirboga R., Türkmen I. and Karakoc M.B., (2004). Relationship between ultrasonic velocity and compressive strength for high-volume mineral-admixed concrete. *Cement and Concrete Research*, Vol. 34, No. 12, pp. 2329–2336.
- Excel (2007). Microsoft Excel programı.
- IS. (1992). Non-destructive testing of concrete methods of test, part1, IS, 13311.by, bureau of indian standards, manak bhavan, 9 bahadur shah zafar maro new delhi 110002
- Karim, M.M., (2005). Investigation of the Behavior and Properties of Reinforced Concrete Slabs Exposed to Fire Flame. M.Sc., Thesis, College of Engineering, College of Engineering, University of Babylon.
- 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
- Mahure V.N, Vijn K.G., Sharma P., Sivakumar N., Ratnam M., (2011). Correlation between pulse velocity and compressive strength of concrete. *International Journal of Earth Sciences and Engineering*, ISSN 0974-5904, Volume 04, No 06 SPL, October 2011, pp 871-874.
- Matar, G.S. (2000), "The armed resistance of concrete fibers reinforced to attack the internal sulphates" Master's thesis, University of Baghdad, in 2000.
- Musmar A.M and Alhadi A.N., (2007). Relationship between ultrasonic pulse velocity and standard concrete cube crushing strength, *journal of assiut university*, vol. 36,NO. 1, pp. 51-59, January 2008.
- Nash't I. H., A'bour S. H., Sadoon A. A. (2005). Finding an united relationship between crushing strength of concrete and non-destructive tests, *Proceedings of Middle East Non-destructive Testing Conference & Exhibition, Bahrain*.
- Neville, A. M (1995). *Properties of concrete*, 4th edition, Longman Group Limited.
- Obeed A.T., (2007).Effect of Exposure to Fire Flame on Some Mechanical Properties of SelfCompacting Concrete Using Different Types of Filler, M.Sc., Thesis, College of Engineering, University of Babylon.
- Rao K. s., Sravana P. , Rao C. T. ,(2016). Relationship between Ultrasonic Pulse Velocity and Compressive Strength for Roller Compacted Concrete containing GGBS. *International Journal of Applied Engineering Research* ISSN 0973-4562 Volume 11, Number 3 (2016) pp 2077-2084.
- Rajagopalan P.R., Prakash J. and NaramimhanV. (1973). Correlation between ultrasonic pulse velocity and strength of concrete. *Indian Concrete. Journal*, Vol. 47, No. 11, pp. 416–418.
- Rouf, Z., Younis, F., Abdullatif, M. (1986). Control of quality of the concrete via using Ultrasonic vibration. National Center for laboratories construction, 1986-in Arabic.
- TS, (2010). Assessment of in-situ compressive strength in structures and precast concrete components. TS EN 13791, TÜRK STANDARDLARI ENSTITÜSÜ Necatibey Caddesi No.112 Bakanlıklar/ANKARA ICS 91.080.40.
- Tharmaratram K. and Tan B.S. (1990) Attenuation of ultrasonic pulse in cement mortar. *Cement and Concrete Research*, Vol. 20, pp. 335–340.
- Trtnik G., Kavcic F., Turk G., (2009). Prediction of concrete strength using ultrasonic pulse velocity and artificial neural networks *Ultrasonics* Vol. 49, pp. 53–60.
- Tumendemberel B. and Baigalimaa Ts. (2010). Research Into The Correlation Between Concrete Strength and UPV Values, Centre of NDT, 10th European Conference on Non-Destructive Testing Contents of sections, Mongolian University of Science and Technology.
- Umran M.K., (2002). Fire Flame Exposure Effect on Some Mechanical Properties of concrete, M.Sc., Thesis, College of Engineering, University of Babylon.
- Whitehurst E.A. (1951). "Use of the Soni scope for Measuring Setting Time of Concrete" *ASTM* vol, 51, pp.1166-76.
- Zabihi N.(2012). Effect of Specimen Size and Shape on Strength of Concrete, Eastern Mediterranean University January 2012 Gazimağusa, North Cyprus, Approval of the Institute of Graduate Studies and Research.

internet kaynakları

<http://www.biltek.tubitak.gov.tr>

<http://www.deprem.gov.tr>

Ek A. Literatürden toplanan veriler

No:	Kaynak	f _c (MPa)	UPV (km/s)	Denklem 1	Denklem 2	Rouf et al. (1986)	Nashn't et al. (2005)	TS 13791 (2010)
1	Abdullatif (1997)	33.6	3.8	29.47	29.66	20.47	18.01	
2	Abdullatif (1997)	38.7	5.16	59.07	60.87	46.93	47.62	
3	Matar (2000)	30	4.6	46.88	48.02	33.35	31.91	24.00
4	Matar (2000)	28.4	4.27	39.70	40.45	27.27	25.20	5.23
5	Matar (2000)	24.7	4.39	42.31	43.20	29.34	27.46	10.48
6	Matar (2000)	32.6	4.29	40.13	40.91	27.61	25.57	5.98
7	Musmar and Alhadi (2007)	49.8	4.604	46.97	48.11	33.43	32.00	24.31
8	Musmar and Alhadi (2007)	37.8	4.518	45.10	46.14	31.72	30.09	18.07
9	Musmar and Alhadi (2007)	47.1	4.655	48.08	49.28	34.49	33.19	28.45
10	Musmar and Alhadi (2007)	55.1	4.632	47.58	48.75	34.01	32.65	26.54
11	Musmar and Alhadi (2007)	44.2	4.54	45.58	46.64	32.15	30.57	19.57
12	Musmar and Alhadi (2007)	40.8	4.518	45.10	46.14	31.72	30.09	18.07
13	Musmar and Alhadi (2007)	50	4.631	47.56	48.73	33.99	32.63	26.46
14	Musmar and Alhadi (2007)	38.7	4.496	44.62	45.63	31.30	29.62	16.62
15	Musmar and Alhadi (2007)	35.6	4.726	49.63	50.91	36.02	34.92	34.76
16	Musmar and Alhadi (2007)	40	4.702	49.10	50.36	35.49	34.33	32.56
17	Musmar and Alhadi (2007)	37.8	4.751	50.17	51.49	36.57	35.55	37.13
18	Musmar and Alhadi (2007)	44.4	4.726	49.63	50.91	36.02	34.92	34.76
19	Musmar and Alhadi (2007)	40	4.431	43.20	44.14	30.08	28.28	12.69
20	Musmar and Alhadi (2007)	42.2	4.474	44.14	45.13	30.88	29.16	15.23
21	Musmar and Alhadi (2007)	40	4.381	42.11	42.99	29.18	27.29	10.03
22	Musmar and Alhadi (2007)	44.4	4.378	42.05	42.93	29.13	27.23	9.88
23	Musmar and Alhadi (2007)	43.1	4.633	47.60	48.78	34.03	32.67	26.63
24	Musmar and Alhadi (2007)	39.6	4.443	43.46	44.42	30.31	28.52	13.37
25	Musmar and Alhadi (2007)	39.6	4.4	42.53	43.43	29.52	27.66	11.00
26	Musmar and Alhadi (2007)	39.8	4.432	43.22	44.16	30.10	28.30	12.74
27	Musmar and Alhadi (2007)	37.3	4.332	41.05	41.87	28.32	26.35	7.72
28	Musmar and Alhadi (2007)	41.8	4.517	45.08	46.12	31.71	30.07	18.00
29	Musmar and Alhadi (2007)	38.7	4.452	43.66	44.62	30.47	28.71	13.90
30	Musmar and Alhadi (2007)	45.3	4.563	46.08	47.17	32.61	31.08	21.22
31	Musmar and Alhadi (2007)	43.6	4.464	43.92	44.90	30.70	28.95	14.62
32	Musmar and Alhadi (2007)	43.6	4.378	42.05	42.93	29.13	27.23	9.88
33	Musmar and Alhadi (2007)	40	4.586	46.58	47.70	33.07	31.59	22.93
34	Musmar and Alhadi (2007)	43.8	4.562	46.05	47.15	32.59	31.06	21.15
35	Musmar and Alhadi (2007)	44	4.642	47.80	48.98	34.22	32.88	27.37
36	Musmar and Alhadi (2007)	45.6	4.606	47.01	48.16	33.47	32.05	24.47
37	Mahure, et al (2011)	36.71	4.26	39.48	40.22	27.10	25.02	4.88
38	Mahure et al, (2011)	37.99	4.57	46.23	47.33	32.75	31.23	21.73
39	Mahure, et al (2011)	39.01	4.82	51.67	53.07	38.14	37.35	44.07
40	Mahure, et al (2011)	38.07	4.59	46.66	47.79	33.15	31.68	23.23
41	Mahure, et al (2011)	28.31	4.13	36.65	37.23	25.04	22.80	1.38
42	Tumendemberel and Baigalimaa (2010)	32.66	3.96	32.95	33.33	22.57	20.19	
43	Tumendemberel and Baigalimaa (2010)	30.15	3.97	33.17	33.56	22.71	20.34	
44	Tumendemberel and Baigalimaa (2010)	34.85	4	33.82	34.25	23.13	20.78	
45	Tumendemberel and Baigalimaa (2010)	35.48	4.1	36.00	36.55	24.58	22.32	0.88
46	Tumendemberel and Baigalimaa (2010)	30.74	4.14	36.87	37.46	25.19	22.97	1.58
47	Tumendemberel and Baigalimaa (2010)	36.65	4.16	37.30	37.92	25.50	23.30	2.00
48	Tumendemberel and Baigalimaa (2010)	34.88	4.17	37.52	38.15	25.66	23.46	2.23
49	Tumendemberel and Baigalimaa (2010)	30.61	4.2	38.17	38.84	26.13	23.97	3.00
50	Zabihi, (2012)	38.86	4.71	49.28	50.54	35.67	34.52	33.28

Ek A. Literatürden toplanan veriler - Devamı

51	Zabihi, (2012)	43.2	4.44	43.40	44.35	30.25	28.46	13.20
52	Zabihi, (2012)	75.37	5.25	61.03	62.94	49.58	50.79	100.78
53	Demirboga, et al. (2004)	43.6	4.3	40.35	41.14	27.77	25.75	6.38
54	Demirboga, et al. (2004)	35	4.2	38.17	38.84	26.13	23.97	3.00
55	Demirboga, et al. (2004)	33.4	4.26	39.48	40.22	27.10	25.02	4.88
56	Demirboga, et al. (2004)	54.6	4.47	44.05	45.04	30.81	29.08	14.98
57	Demirboga, et al. (2004)	35	4.14	36.87	37.46	25.19	22.97	1.58
58	Demirboga, et al. (2004)	31.3	4.14	36.87	37.46	25.19	22.97	1.58
59	Demirboga, et al. (2004)	50.2	4.28	39.92	40.68	27.44	25.38	5.60
60	Demirboga, et al. (2004)	45.4	4.34	41.22	42.05	28.46	26.50	8.07
61	Demirboga, et al. (2004)	37.4	4.25	39.26	39.99	26.94	24.85	4.53
62	Demirboga, et al. (2004)	41.9	4.23	38.83	39.53	26.61	24.49	3.88
63	Rao, et al. (2016)	50.27	5.114	58.07	59.82	45.63	46.08	
64	Rao, et al. (2016)	52.11	5.154	58.94	60.73	46.76	47.42	
65	Rao, et al. (2016)	55.7	5.244	60.90	62.80	49.40	50.57	
66	Rao, et al. (2016)	58.28	5.298	62.08	64.04	51.05	52.56	
67	Rao, et al. (2016)	56	5.284	61.77	63.72	50.62	52.04	
68	Rao, et al. (2016)	54.1	5.114	58.07	59.82	45.63	46.08	
69	Ali and Al-jaberi, (2014)	42.41	4.65	47.97	49.17	34.38	33.07	28.03
70	Ali and Al-jaberi, (2014)	42.43	4.66	48.19	49.40	34.60	33.31	28.88
71	Ali and Al-jaberi, (2014)	42.89	4.81	51.45	52.84	37.91	37.08	43.03
72	Ali and Al-jaberi, (2014)	42.9	4.84	52.11	53.53	38.61	37.88	46.20
73	Ali and Al-jaberi, (2014)	42.44	4.67	48.41	49.63	34.81	33.55	29.73
74	Ali and Al-jaberi, (2014)	42.45	4.69	48.84	50.09	35.23	34.03	31.48
75	Ali and Al-jaberi, (2014)	43.08	4.86	52.54	53.99	39.08	38.43	48.37
76	Ali and Al-jaberi, (2014)	43.18	4.87	52.76	54.22	39.32	38.71	49.48
77	Ali and Al-jaberi, (2014)	42.09	4.58	46.45	47.56	32.95	31.46	22.47
78	Ali and Al-jaberi, (2014)	42.41	4.63	47.54	48.71	33.97	32.60	26.38
79	Ali and Al-jaberi, (2014)	42.5	4.7	49.06	50.32	35.45	34.28	32.38
80	Ali and Al-jaberi, (2014)	42.69	4.75	50.15	51.46	36.55	35.52	37.03
81	Ali and Al-jaberi, (2014)	43.74	4.93	54.07	55.59	40.79	40.40	56.38
82	Ali and Al-jaberi, (2014)	42.86	4.78	50.80	52.15	37.22	36.29	39.97
83	Ali and Al-jaberi, (2014)	42.87	4.79	51.02	52.38	37.45	36.55	40.98
84	Ali and Al-jaberi, (2014)	42.9	4.85	52.32	53.76	38.85	38.16	47.28
85	Ali and Al-jaberi, (2014)	43	4.85	52.32	53.76	38.85	38.16	47.28
86	Obeed, (2007), Ahmed,(2013)	35.6	3.5	22.94	22.78	17.05	14.53	
87	Obeed, (2007), Ahmed,(2013)	33.8	3.3	18.58	18.19	15.09	12.60	
88	Obeed, (2007), Ahmed,(2013)	25.2	3.2	16.40	15.89	14.20	11.73	
89	Obeed, (2007), Ahmed,(2013)	32.2	3.35	19.67	19.33	15.56	13.06	
90	Obeed, (2007), Ahmed,(2013)	28.5	3.2	16.40	15.89	14.20	11.73	
91	Obeed, (2007), Ahmed,(2013)	22.5	3	12.05	11.30	12.57	10.17	
92	Obeed, (2007), Ahmed,(2013)	29	3.5	22.94	22.78	17.05	14.53	
93	Obeed, (2007), Ahmed,(2013)	25.5	3.35	19.67	19.33	15.56	13.06	
94	Obeed, (2007), Ahmed,(2013)	20.5	3.25	17.49	17.04	14.64	12.15	
95	Karim,(2005), Umrn, (2002) and AL-Hesnawi,(2011)	29.9	3.49	22.72	22.55	16.95	14.43	
96	Karim,(2005), Umrn, (2002) and AL-Hesnawi,(2011)	29.1	3.41	20.98	20.71	16.14	13.63	
97	Karim,(2005), Umrn, (2002) and AL-Hesnawi,(2011)	29.5	3.37	20.10	19.79	15.75	13.24	
98	Karim,(2005), Umrn, (2002) and AL-Hesnawi,(2011)	41.5	3.28	18.15	17.73	14.91	12.42	
99	Karim,(2005), Umrn, (2002) and AL-Hesnawi,(2011)	39.1	3.83	30.12	30.35	20.85	18.40	
100	Karim,(2005), Umrn, (2002) and AL-Hesnawi,(2011)	37.6	3.64	25.98	25.99	18.57	16.06	

Prediction of compressive strength 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 concrete strength is also one of most challenge in inspection of the building. Classical technique, which require taking a piece of concrete for mechanical 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 non destructive evaluation of concrete. The technique is easy, fast and require less labor. However it is not reliably by itself. In order to increase reliability, match curve must be prepared for every different concrete type. So, this study intended to developed models for concrete used in Diyarbakir district.

This study both includes experimental and empirical work. In the experimental part, twelve cube specimens were produced from concrete work of different stories of a building being retrofitted in Diyarbakir. Dimension of cubes are 150 mm and all the cubes were cured 28 days in water. All the specimen was 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 maximum load was marked.

After all the UPV and compression tests were carried obtained data were used for developing a model to predict compressive strength of concrete from UPV values. In model, developing regression analysis was utilized. Data analyzed to obtained reasonable relation between UPV and compression strength. As a result, two different equations were developed (Equation 1 and Equation 2). As seen in

Equations 1-2 only UPV values required to predict compressive strength of inspected concrete.

$$f'c=21.77 \times UPV - 53.26 \quad (1)$$

$$f'c=22.95 \times UPV - 57.55 \quad (2)$$

In these equations UPV and $f'c$ values must be in km/s and MPa units, respectively.

The last part of this study is the performances evaluation of constructed models. To check prediction performance of the models a bunch of data was collected from literature. Our data was not used in the performance evaluation to make an objective evaluation. Totally 100 data was collected from 11 different researches. All the data are of normal concrete and of cube specimens. To reach a comment for necessity of our equations, a comparison was made between our equations and few equations from literature. Compressive strength of concrete was predicted for 100 data with our equations together with equations from literature. Statistical parameters such as average and relative error were used in performance evaluation. 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	1.052	0.177
Equation 2	1.072	0.196
Rouf et al, (1986)	0.761	0.250
Nashn't et al (2005)	0.718	0.290
TS 13791(2010)	0.511	0.524

As can be seen in the table in this table average is nearest one for Equation 1 and also relative error is the smallest. So, we can conclude that for the data grope was used, equation 1 is the best in prediction of the compressive strength from UPV.

Keywords: Concrete, ultrasonic pulse velocity, compressive strength.