

NİĞDE BÖLGESİNDE ÜRETİLEN HAZIR BETONLARIN ELASTİSİTE MODÜLLERİNİN BELİRLENMESİ

Fatih ÖZCAN (ORCID:0000-0003-3391-9411)*

İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Niğde, Türkiye

*Geliş / Received: 15.10.2017
Kabul / Accepted: 26.12.2017*

ÖZ

Yapılan bu çalışmada Niğde bölgesinde üretilen hazır betonların basınç dayanımları ve elastisite modülleri belirlenmiştir. 5 farklı beton sınıfındaki hazır betonlardan alınan toplam altmış adet küp numunenin basınç dayanımları ve elastisite modülleri ölçülmüştür. Ayrıca her bir numunenin birim hacim ağırlıkları ve ultrases değerleri ölçülmüştür. 28 günlük ve 1 yıllık numuneler üzerinde yapılan deneyler neticesinde basınç dayanımlarının TS 500'deki sınır şartlarını sağladığı fakat elastisite modüllerinin bir miktar düşük seviyede kaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca elde edilen sonuçlar ulusal ve uluslararası standartlar ile kıyaslanmıştır.

Anahtar kelimeler: Hazır beton, basınç dayanımı, elastisite modülü

DETERMINATION OF ELASTICITY MODULES OF READY-MIXED CONCRETE PRODUCED IN NIGDE REGION

ABSTRACT

In this study, compressive strengths and elasticity modulus of ready mixed concrete produced in Niğde region were determined. The compressive strengths and elasticity modulus of sixty cube specimens taken from ready mixed concrete of 5 different concrete classes were measured. In addition, unit volume weights and ultrasonic values of each sample were measured. Experiments on 28 day and one-year samples showed that the compressive strengths provided the boundary conditions in TS 500, but the elasticity modulus was somewhat lower. In addition, the results are compared with national and international standards.

Keywords: Ready-mixed concrete, compressive strength, modulus of elasticity

1. GİRİŞ

Betonarme yapılar servis ömürleri boyunca değişik tiplerde yüklemelere maruz kalmaktadırlar. Statik veya dinamik olarak etkileyen bu yükler, beton üzerinde değişik gerilmeler ve şekil değişimleri meydana getirmektedir. Oluşan gerilmelerin büyüklüğü betonun taşıyabileceği gerilmeleri aşarsa büyük şekil değişimleri oluşmakta ve beton kırılmaktadır. Betonun mekanik mukavemetleri arasında en önemli olanı basınç dayanımıdır. Basınç dayanımı betonun tüm olumlu özellikleri ile paralellik gösterir. Bu nedenle basınç dayanımını belirlemek sureti ile betonun kalitesi genel olarak değerlendirilebilir. Yapı tasarım hesapları yapılırken beton eleman üzerine gelebilecek yükler önceden kabul edilmekte ve yerindeki betonun bu yükleri sorunsuz taşıyabileceği varsayılmaktadır [1].

Kompozit bir malzeme olan betonun özellikleri, bileşenlerinin özelliklerinin toplamı olarak düşünülmemelidir. Betonun doğrusal olmayan davranışında agrega-çimento matrisi arayüzeyinin önemli etkisi vardır. Araştırmalar

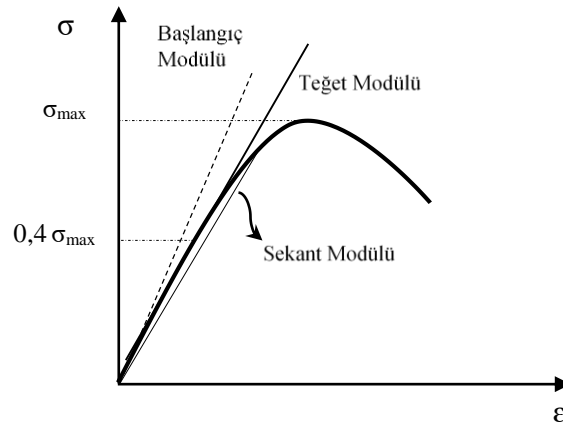
*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90 388 225 23 02; e-mail / e-posta: fozcan@ohu.edu.tr

NİĞDE BÖLGESİNDE ÜRETİLEN HAZIR BETONLARIN ELASTİSİTE MODÜLLERİNİN BELİRLENMESİ

betonun yüklenmesi ile oluşan birim deformasyonunun uygulanan gerilme ile tam olarak doğru orantılı olmadığını göstermektedir. Aslında, oluşan deformasyon gerilmenin kaldırılması ile tamamen geri dönüşümlü de değildir. σ - ϵ ilişkisinin lineer olmaması, yüklemeye nedeniyle betonda mikro çatlakların oluşmasıyla açıklanmaktadır. Gerilme- birim şekil değişimi eğrisi tepe noktasında aniden bitiyorsa bu malzeme kırılma-gevrek olarak sınıflandırılır. Eğrinin azalan kısmı ne kadar yumuşak bir iniş yaparsa davranış o kadar düktil-süneklerdir [1, 2].

Yüksek dayanıma sahip betonun davranışı ise özel bir önem taşır. Böyle betonlar yüklemenin tüm aşamalarında normal dayanımlı betona göre daha az çatlak gelişimi gösterirler. σ - ϵ eğrisinin artan kısmının eğimi daha yüksektir ve nihai dayanımın daha yüksek bir oranına kadar doğrusal davranış gösterirler. Yüksek dayanımlı betonların σ - ϵ eğrisinin azalan kısmının eğimi de fazladır ve dolayısıyla ani gevrek kırılma görülür. Betonun σ - ϵ ilişkisi yapısal tasarım açısından önemli bir parametredir. Betonda değişik sebeplerle oluşan şekil değiştirmelerin ve sehimlerin hesabı için elastisite modülünün bilinmesi gereklidir.

Betonarme hesaplarında betonun genellikle Şekil 1’de gösterilen idealize edilmiş σ - ϵ eğrisi kullanılır.



Şekil 1. Betonun idealize edilen davranışı

Basınç altında betonun statik elastisite modülü aksel yüklemeye altında σ - ϵ eğrisinin başlangıç kısmının eğimi olarak verilir. Betonun σ - ϵ eğrisinin doğrusal olmayan karakterinden dolayı elastisite modülünün bulunmasında zorluklar yaşanmaktadır. Bu nedenle elastisite modülünün hesabında Şekil 1’de gösterilen farklı tanımlar geliştirilmiştir.

Bu tanımlardan ilki Sekant Modülüdür. Sekant modülü, σ - ϵ eğrisinin herhangi bir noktasını koordinat merkezine birleştiren doğrunun eğimidir. Gerilmenin değeri ile değişir. Bu nedenle, sekant modülünün hesaplandığı gerilme değeri belirtilmelidir. Gerilme değeri dayanımın (σ_{max}) belirli bir oranı olarak seçilir. Bu oran İngiliz standardında %33 Amerikan standardında ise %40 olarak öngörülmüştür [1]. σ - ϵ eğrisine herhangi bir noktada çizilen teğetin eğimine ise Teğet Modülü denir. Uygulamada bu teğet yaklaşık olarak eğrinin $0,4 \sigma_{max}$ gerilmesine karşıt gelen noktası esas alınarak çizilir. Betonun bir başka elastisite modülü, E_t ile gösterilen σ - ϵ eğrisinin başlangıçtaki teğetin eğimidir ($E_t = \tan\alpha$). Beton çok düşük gerilmeler altında ise, Başlangıç Modülü adı verilen ve E_t ile gösterilen bu değer uygun sonuçlar verir.

Tanımlanan elastisite modüllerinin kullanımında bazı sorunlar vardır. Bu tanımlamalar basınç dayanımının mertebesine ve yüklemeye hızına göre farklı değerler alabilir. Beton için σ - ϵ eğrisi sadece bir malzeme özelliği olmayıp deney koşullarından da etkilenmektedir. Dolayısıyla, σ - ϵ eğrisi için bir denklem formüle etmek oldukça güçtür. Ancak, böyle bir bağıntı yapısal analiz için oldukça kullanışlıdır [1]. Elastisite modülü beton silindirik deneyleri aracılığıyla en gerçekçi bir biçimde belirlenebilir. Fakat beton elastisite modülünün her zaman bu şekilde belirlenmesi hem çok zor hem de çok zaman kaybına sebep olur. Beton elastisite modülünün basit bir şekilde hesaplanmasına ihtiyaç olduğundan dolayı araştırmacılar oldukça farklı bileşenlere ve basınç dayanımlarına sahip betonların elastisite modülünü belirlemeye ve bu çalışmaların sonucunda da pratik olarak elastisite modülünü hesaplayabilecek formül geliştirmeye çalışmışlardır [3-10].

Elastisite modülünün bulunmasına yönelik bireysel olarak yapılan araştırmaların yanı sıra ulusal ve uluslararası kuruluşlar da elastisite modülünün belirlenmesine yönelik formüller önermişlerdir.

TS500’de elastisite modülünü beton basınç dayanımı ile ilişkilendiren formül aşağıda verilmiştir. Formüldeki f_{ckj} betonun 28 günlük karakteristik silindirik basınç dayanımıdır. Bu denklem $0,4 f_{ck}$ gerilme düzeyine karşılık gelen sekant elastisite modülü ile uyumludur [11].

$$E_{cj} = 3250 \sqrt{f_{ckj}} + 14000 \text{ (MPa)} \quad (1)$$

F. ÖZCAN

Avrupa Beton Enstitüsü tarafından hazırlanan CEB-FIB-90 Model Code'da elastisite modülü için aşağıda verilen denklem önerilmiştir.[12]

$$E_c = 2,15 \times 10^4 \left(\frac{f_{cm}}{10} \right)^{1/3} \text{ (MPa)} \quad (2)$$

Amerikan Beton Enstitüsünce ACI Building Code 318-92' de farklı dayanım sınıfları için farklı formüller önerilmiştir [13].

$$E_c = 4,73 \sqrt{f_c} \text{ (GPa)} \quad f_c < 40 \text{ MPa} \quad (3)$$

$$E_c = 3,32 \sqrt{f_c} + 6,9 \text{ (GPa)} \quad f_c < 80 \text{ MPa} \quad (4)$$

Yapılan bu çalışma ile Niğde ilinde üretilen hazır betonların 28 günlük ve 1 yıllık elastisite modülleri belirlenerek yukarıda verilen ulusal ve uluslararası formüllerle olan ilişkisi araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Niğde İlinde faaliyet gösteren hazır beton firmasından her bir beton sınıfından 12 adet olmak üzere 5 farklı beton sınıfına ait toplam 60 adet 15x15x15 cm ebatlarında TS EN 206-1'e uygun küp numuneler alınmıştır [14]. Alınan numuneler 28 gün ve 1 yıl standart kür şartlarında bekletildikten sonra basınç dayanımları ve elastisite modülleri belirlenmiştir [15, 16]. Ayrıca her bir beton sınıfına ait numunenin basınç dayanımı ve elastisite modülü belirlenmeden önce birim ağırlıkları ve ultrases geçiş hızları belirlenmiştir [17, 18].

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Birim Ağırlık ve Ultrases Değerleri

Çalışma kapsamındaki numunelere ait birim ağırlık ve ultrases deneyinden elde edilen sonuçlar Tablo 1'de sunulmuştur. Sunulan değerler 3 adet numunenin ortalama değerleridir.

Tablo 1. Beton sınıflarına ait birim ağırlık ve ultrases değerleri

Beton Sınıfı	Birim ağırlık (kg/m ³)		Ultrases değerleri (km/sn)	
	28 günlük	1 yıllık	28 günlük	1 yıllık
C20/25	2286	2292	3,62	3,84
C25/30	2320	2325	3,81	3,96
C30/37	2342	2340	4,12	4,36
C40/50	2395	2392	4,52	4,65
C50/60	2415	2420	4,67	4,78

Beton sınıflarına ait numunelerin birim ağırlık ve ultrases değerleri incelendiğinde 28 günlük ve 1 yıllık değerler arasında kayda değer bir değişim olmadığı görülmektedir. Ancak özellikle beton sınıfındaki artışla birlikte birim ağırlık ve ultrases değerlerindeki artış belirgin olmaktadır. Beton sınıfını arttırmak için hazır beton firmalarının genellikle çimento dozajında artış yapmaları beton sınıfı yükseldikçe birim ağırlıklarında artmasına neden olmaktadır. Birim ağırlıklarındaki artışla birlikte beton basınç dayanımlarındaki artış ultrases değerlerindeki artış da beraberinde getirmektedir.

3.2. Basınç Dayanımları ve Elastisite Modülleri

Basınç dayanımları ve elastisite modülleri 3'er adet küp numuneye ait değerlerin ortalaması alınarak tespit edilmiştir. Basınç dayanımları 3000 KN kapasiteli pres ile TS EN 12390-3'e göre belirlenmiştir [16]. Küp numuneye monte edilen çerçeve ve üzerinde bulunan kompratör yardımıyla belirli yüklerle karşı gelen düşey

NİĞDE BÖLGESİNDE ÜRETİLEN HAZIR BETONLARIN ELASTİSİTE MODÜLLERİNİN BELİRLENMESİ

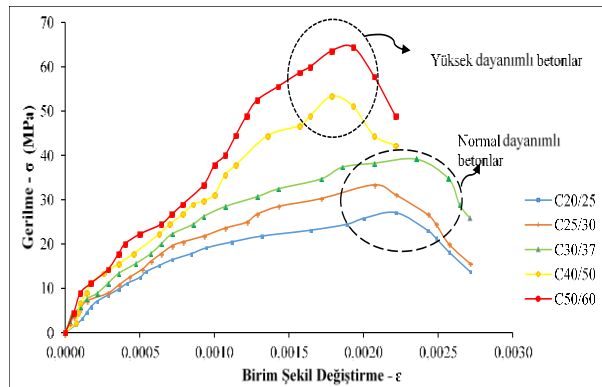
deplasman değerleri okunarak elastisite modülleri hesaplanmıştır. Elastisite modülü ölçümleri için oluşturulan düzenek Şekil 2’de gösterilmiştir.



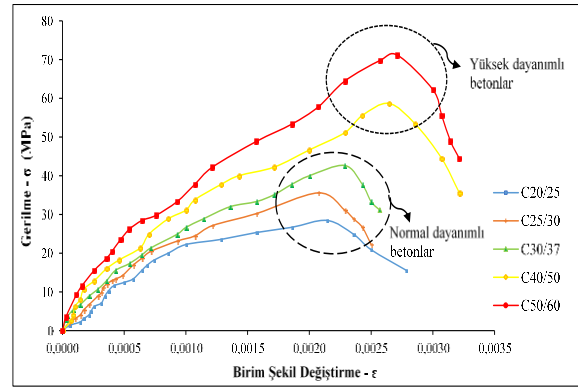
Şekil 2. Elastisite modülü ölçümü deney düzeneği

Elastisite modüllerinin hesaplanmasında maksimum yükün %40’ına karşılık gelen sekant modülü kullanılmıştır. 28 günlük elastisite modüllerine ait grafikler her bir beton sınıfı için Şekil 3’te verilmektedir.

28 günlük elastisite modüllerine ait σ - ϵ grafikleri incelendiği takdirde özellikle normal dayanımlı betonlar sınıfına dahil edilebilecek betonların birim şekil değiştirme kapasitelerinin yüksek dayanımlı beton sınıfına dahil edilebilecek C40/50 ve C50/60 sınıfındaki betonlara göre daha fazla olduğu görülmektedir. Normal dayanımlı betonların maksimum gerilmeden sonraki nihai birim şekil değiştirmeleri arasında ise belirgin bir fark oluşmamıştır. Yüksek dayanımlı betonların maksimum gerilmeden sonra meydana gelen birim şekil değiştirme oranları ise daha düşük seviyelerde kalmıştır.



Şekil 3. 28 günlük numunelere ait σ - ϵ grafikleri



Şekil 4. 1 yıllık numunelere ait σ - ϵ grafikleri

Çalışma kapsamındaki numunelerin 1 yıllık gibi uzun dönemde özellikle elastisite modüllerindeki değişimin belirlenmesi amacıyla σ - ϵ değerleri ölçülmüş ve Şekil 4’te gösterilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda C20, C25 ve C30 dayanım sınıflarındaki betonların 1 yıl sonundaki σ - ϵ davranışlarının 28 günlük numunelerin σ - ϵ davranışına benzer olduğu görülmüştür. Ancak C40 ve C50 beton sınıflarında maksimum gerilmelere karşılık gelen birim şekil değiştirme oranları 28 günlük numunelerden farklı olarak daha büyük değerler almıştır.

Basınç dayanımlarında görülen artışla birlikte elastisite modülü değerlerinde de artış meydana gelmesine karşılık elastisite modüllerindeki artış oranları basınç dayanımlarındaki artış oranından nispeten daha düşük seviyelerde kalmıştır. C20, C25 ve C30 sınıfındaki normal dayanımlı betonların 1 yıllık elastisite modülündeki ortalama artış oranları yaklaşık %6 seviyesinde iken C40 ve C50 sınıfındaki yüksek dayanımlı betonların elastisite modüllerindeki ortalama artış oranları yaklaşık %9 seviyesinde olmuştur. Ayrıca beton sınıflarına bağlı olarak basınç dayanımlarındaki artış oranları ile birlikte elastisite modülü değerlerindeki artış oranları da artmaktadır. Çalışma kapsamında belirlenen 28 günlük ve 1 yıllık basınç dayanımları ve elastisite modülü değerleri ile birlikte artış oranları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Beton sınıflarına ait basınç dayanımları ve elastisite modülleri

Beton Sınıfı	28 günlük		1 yıllık			
	Basınç dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)	Basınç dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)	Basınç dayanımı artış oranı (%)	Elastisite Modülü artış oranı (%)
C20/25	26,9	26400	28,4	27800	5,58	5,30
C25/30	33,1	27600	35,4	29200	6,95	5,80
C30/37	39,2	29800	42,6	31600	8,67	6,04
C40/50	53,8	32500	58,7	35100	9,11	8,00
C50/60	64,2	34600	71,2	37900	10,90	9,54

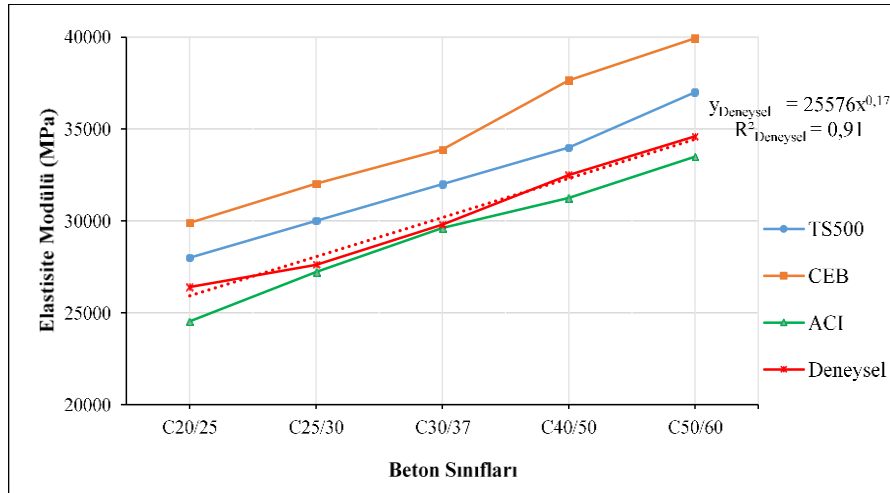
DeneySEL çalışma sonucu bulunan 28 günlük deneySEL elastisite modülleri ile TS 500 tablo 3.2’de verilen elastisite modülleri ve uluslararası standartlarda verilen formüllere göre elde edilen elastisite modülleri arasında kıyaslama yapabilmek için Tablo 3 ve Şekil 4 hazırlanmıştır.

Tablo 3. 28 günlük elastisite modüllerinin ulusal ve uluslararası şartnamelerle karşılaştırılması

Beton Sınıfı	DeneySEL Elastisite Modülü	TS 500	CEB	ACI
C20/25	26400	28000	29891	24532*
C25/30	27600	30000	32029	27213*
C30/37	29800	32000	33885	29614*
C40/50	32500	34000	37652	31252**
C50/60	34600	37000	39934	33501**

(*) $E_c = 4,73 \sqrt{f_c}$ formülü kullanılarak hesaplanmıştır.

(**) $E_c = 3,32 \sqrt{f_c} + 6,9$ formülü kullanılarak hesaplanmıştır.



Şekil 5. Beton sınıflarına göre ulusal ve uluslararası standartların karşılaştırılması

Tablo 3 ve Şekil 5 birlikte değerlendirildiği takdirde deneySEL çalışma sonucu beton dayanım sınıflarına göre elde edilen elastisite modüllerinin ulusal ve uluslararası şartnamelerde verilen formüllerle elde edilen elastisite değerleri ile uyumlu olduğu görülmektedir. Laboratuvarda yapılan ölçümler sonucu elde edilen elastisite modülü değerlerinin TS500 ve CEB’e göre daha düşük değerlerde kaldığı ancak ACI tarafından önerilen formüllerle elde edilen değerlere daha yakın sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

*NİĞDE BÖLGESİNDE ÜRETİLEN HAZIR BETONLARIN ELASTİSİTE MODÜLLERİNİN BELİRLENMESİ***4. SONUÇLAR**

Niğde bölgesinde üretilmekte olan hazır betonların 28 günlük ve 1 yıllık basınç dayanımları ile birlikte elastisite modüllerinin belirlenmesine yönelik yapılan bu deneysel çalışma ile elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- Çalışma kapsamındaki beton sınıflarına ait numunelerin 28 günlük ve 1 yıllık birim ağırlık ve ultrases değerleri arasında kayda değer bir değişim olmadığı görülmektedir. Ancak özellikle beton sınıfındaki artışla birlikte birim ağırlık ve ultrases değerlerindeki artış belirgin olmaktadır.
- 28 günlük kısa dönemde C20, C25 ve C30 beton sınıflarının hem maksimum gerilmeye karşılık gelen birim şekil değiştirme değerleri hem de nihai birim şekil değiştirme değerleri C40 ve C50 beton sınıflarına göre daha büyük değerler almıştır.
- 1 yıllık uzun dönemde C40 ve C50 beton sınıflarında maksimum gerilmelere karşılık gelen birim şekil değiştirme oranları 28 günlük numunelerden farklı olarak daha büyük değerler almıştır.
- Laboratuvarda yapılan ölçümler sonucu elde edilen elastisite modülü değerlerinin ulusal ve uluslararası şartnamelerle kıyaslanması neticesinde TS500 ve CEB'e göre daha düşük değerlerde kaldığı ancak ACI tarafından önerilen formüllerle elde edilen değerlere daha yakın sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] BARADAN, B., YAZICI, H., AYDIN, S., Beton (ikinci baskı), Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir, Türkiye, 2015.
- [2] MEHTA, P.K., MONTERIO, P.J.M., Concrete: Microstructure, Properties and Materials, Indian Concrete Institute, Chennai, Indian, 1997.
- [3] ALSALMAN, A., DANG, C. N., PRINZ, G.S., HALE, W.M., "Evaluation of Modulus of Elasticity of Ultra-High Performance Concrete", Construction and Building Materials, 153, 918–928, 2017.
- [4] YILDIRIM, H., SENGUL, O., "Modulus of Elasticity of Substandard and Normal Concretes", Construction and Building Materials, 25, 1645–1652, 2011.
- [5] MAGUREANU, C., SOSA, I., NEGRUTIU, C., HEGHES, B., "Mechanical Properties and Durability of Ultra-High-Performance Concrete", ACI Materials Journal, 109 (2), 177–183, 2012.
- [6] SILVA, R.V., BRITO, J., DHIR, R.K., "Establishing a Relationship Between Modulus of Elasticity and Compressive Strength of Recycled Aggregate Concrete", Journal of Cleaner Production, 112, 2171–2186, 2016.
- [7] SHARIQ, M., PRASAD, J., ABBAS, H., "Effect of GGBFS on Age Dependent Static Modulus of Elasticity of Concrete", Construction and Building Materials, 41, 411–418, 2013.
- [8] LIU, B.D., JUAN, W., LI, L., PENG, F., "Effect of Moisture Content on Static Compressive Elasticity Modulus of Concrete", Construction and Building Materials, 69, 133–142, 2014.
- [9] MAZLOOM, M., RAMEZANIANPOUR, A.A., BROOKS, J.J., "Effect of Silica Fume on Mechanical Properties of High-Strength Concrete", Cement and Concrete Composites, 26(4), 347–57, 2004.
- [10] RASHID, M.A., MANSUR, M.A., PARAMASIVAM, P., "Correlations between Mechanical Properties of High-Strength Concrete", Journal of Materials in Civil Engineering, 14(3), 203–213, 2002.
- [11] TS 500, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2000.
- [12] ACI Committee 318, Building Code Requirements for Structural Concrete, American Concrete Institute, 2008.
- [13] FIP-CEB, High Strength Concrete: State-of-the-Art Report, Bulletin d'Information No. 197, Lausanne, Switzerland, 1990.
- [14] TS EN 206-1, Beton- Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2000.
- [15] TS EN 12390-2, Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 2: Dayanım Deneylerinde Kullanılacak Dene Numunelerinin Hazırlanması ve Kürlenmesi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2002.
- [16] TS EN 12390-3, Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 3: Dene Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2003.
- [17] TS EN 12390-7, Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 7: Sertleşmiş Betonun Yoğunluğunun Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2002.
- [18] ASTM C 597, Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete, Annual Book of ASTM Standards, 2003.