T.C.
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ULTRASONIK DALGA HIZI ÖLÇÜMÜ YARDIMIYLA BETONUN ELASTİSİTE MODÜLÜNÜN BELİRLENMESİ

Vaheel Saeed ABDULLAH

YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI

DİYARBAKIR
Aralık-2016

T.C.
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ULTRASONIK DALGA HIZI ÖLÇÜMÜ YARDIMIYLA BETONUN ELASTİSİTE MODÜLÜNÜN BELİRLENMESİ

Vaheel Saeed ABDULLAH

YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI

DİYARBAKIR
Aralık-2016

T.C.

DİCLE UNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

DİYARBAKIR

Vaheel ABDULLAH tarafından yapılan "Ultrasonik Dalga Ölçümü Yardımıyla Young Modulünün Hesabı" konulu bu çalışma , jürimiz tarafından Fizik Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir

Jüri Üyesinin

Ünvanı	Adı Soyadı
Başkan: Prof.Dr.	M.Enver AYDIN
Üye : Doç.Dr.	Taha TAŞKIRAN
Üye : Yrd.Doç. Dr.	Dilan ALP

Tez Savunma Sınavı Tarihi: 26/09/2016

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

.../...../20

Doç.Dr.Sevtap SÜMER EKER

ENSTİTÜ MÜDÜRÜ

(MÜHÜR)

TEŞEKKÜR

Bu tezde danışmanlarım Prof. Dr. Enver AYDIN ve Yrd. Doç. Dr. İdris BEDIRHANOĞLU‘ na teşekkür etmek istiyorum.

Arkadaşlarım Kadri YOUSIF, Ziwar ZEBARI, Saruhan BEDIRHANOĞLU ve Zeki Şimşek’e deney aşamasındaki desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Bana sağladıkları laboratuvar imkânlarından dolayı Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği ve Fizik Bölümüne teşekkür ediyorum.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No.

TEŞEKKÜR ..... **I**
İÇİNDEKİLER ..... **II**
ÖZET ..... **IV**
ABSTRACT ..... **V**
TABLO LİSTESİ ..... **VI**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **VII**
KISALTMA VE SİMGELER ..... **X**
1. GİRİŞ **1**
2. LİTERATÜR DEĞERLENDİRMESİ **5**
2.1. Betonda Puls Yayılımı Teorisi 5
2.2. Puls Hızının Belirlenmesi 6
2.2.1. Doğrudan İletimveya Karşıt Yüzler 6
2.2.2. Yarı doğrudan İletim Veya Bitişik Yüzler 7
2.2.3. Dolaylı Yada Yüzey İletimi (Aynı Yüz İletim) 7
2.3. Poisson Oranı 8
2.4. Ultrasonik Dalga Azalımı (Attenuation) 9
2.5. Ultrasonik Puls Hızına Etki Eden faktörler 10
2.5.1. Agreganın Puls Hızına Etkisi 10
2.5.2. Donatılı Betonun Puls Hızına Etkisi 10
2.5.3. Transdüser Temas 11
2.5.4. Beton Numune Sıcaklığı 11
2.6.Esneklik Statik Ve Dinamik Modülü Arasındaki İlişki 11
3. MALZEME VE YÖNTEM **15**
3.1. Ultrasonik Darbe Hız Testi 15
3.2. Cihaz Aşağıdaki Karakteristik Özelliklere Sahip Olmalıdır 16
3.3. Ultrasonik Darbe Hızının Hedefi 17
3.4.Ultrasonik Puls Hızının Prensibi 17
3.5. Ultrasonik Dalgayı Kullanma 19
3.6. Ultrasonik Darbeli Hız Ölçüm Metodu 19

4. DENEYSEL ÇALIŞMA 21
4.1. Numuneler.....23
4.2. Beton karışımı 25
4.3. Ultrases dalgası yayılma hızı testi.....25
4.4. Deney düzeneği, ölçüm sistemi, basınç dayanımı 27
4.5. Ölçüm sistemi 29
4.6. Basınç testi prosedürü 30
4.7. Deneysel sonuçlar 31
4.8. Gerilme-Şekil değiştirme ilişkileri.....32
5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME 45
5.1. Model geliştirilmesi 45
5.2. Birinci Kısımdaki Modelin Performansı.....47
5.3. İkinci Kısımdaki Modelin Performansı 55
6. SONUÇLAR 59
7.KAYNAKLAR 61
ÖZGEÇMİŞ.....65

ÖZET

ULTRASONIK DALGA HIZI ÖLÇÜMÜ YARDIMIYLA BETONUN ELASTİSİTE MODÜLÜNÜN BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Vaheel Saeed ABDULLAH

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

2016

Tahribatsız test metodu, malzemeye zarar vermemesi nedeniyle çok önem verilen bir yöntemdir. Ultrases dalgası yayılma hızı test metodu (Ultra puls velocity testing, UPV), malzemenin mekanik özelliklerinin ölçümünde en çok tercih edilen metotlardan biridir. Bu çalışmada betonun elastisite modulü, UPV metodu kullanılarak araştırılmıştır. Mikrosaniye düzeyinde ultrases dalgasının, malzemenin içinden geçiş süresi ultrases zaman ölçüm cihazı (55 kHz'lik iki transduserli Passo olarak bilinen zaman ölçüm cihazı) ile yapılmıştır. Daha sonra aynı numuneler için basınç deneyleri yapılmıştır.

Deneysel elastisite modülleri basınç testinden elde edilen gerilme (σ)–şekil değiştirme (ε) grafiğinin doğrusal kısmının eğiminden elde edilmiştir. UPV metotla elde edilen hız ile deneysel elastisite modülü değerleri arasında regresyon analizi yapılarak beton elastisite modülünü UPV değerine bağlı olarak tahmin edebilen denklemler elde edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen en iyi model literatürde mevcut modellerle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada, farklı araştırmacıların deneysel verileride kullanılmıştır. Sonuç olarak bu çalışmada önerilen modellerin, diğer modellerle karşılaştırıldığında iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Elastisite modülü, basınç dayanımı, beton, ultrases, dalga hızı, dalga yayınımı.

ABSTRACT

DETERMINING YOUNG MODULUS OF CONCRETE WITH ULTRASONIC WAVE VELOCITY MEASUREMENT

MSc THESIS

Vaheel Saeed ABDULLAH

DEPARTMENT OF PHYSICS
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DICLE UNIVERSITY

2016

Non-destructive testing (NDT) method is very important due to not damage the material. Ultrasound pulse velocity (UPV) testing is one of the most chosen method for the NDT to measure the mechanical properties of the material. In this study elasticity modulus of concrete was investigated by UPV testing method. The passage time measurement of ultrasound wave at microsecond (μs) level through the bulk of material were made by ultrasound time measurement device (called as PASSO with two transducers working at 55 kHz). After UPV measurement, compression test was carried out for the same specimens.

Experimental elasticity modulus was obtained from the slope of the linear part of stress (σ)–strain (ε)graph of compression test. A few models was developed by correlation of UPV and experimental elasticity modulus values. Performance of our models were tested and compared with other models via using data from different researchers. It was seen that our models found to give reasonable results in comparison with other models.

Keywords: Elasticity modulus, compressive strength, concrete, ultrasound, pulse velocity, wave motion.

TABLO LİSTESİ

Tablo No. **Sayfa**

Tablo 2.1. Darbe iletimi sıcaklığın etkisi 11
Tablo 4.1. Beton karışım oranları.....25
Tablo 4.2. Deneysel sonuçlar 32
Tablo 4.3. Gerilme-Şekildeğiştirme verileri (ÇAAS1) 33
Tablo 5.1. Geliştirilen modeller 42
Tablo 5.2. Literatürden derlenen modeller.....48
Tablo 5.3. Bu tez çalışmasında yapılan deney verileri kullanılarak performansların değerlendirilmesi.....49
Tablo 5.4. Rizzo et al. 2016 verileri. 56
Tablo 5.5. Rizzo et al. 2016 verileri ile performans değerlendirmesi. 56
Tablo 5.6. BS1881 part 203,1986) verileri. 57
Tablo 5.7. BS1881 Part 203, 1986verileri ile performans değerlendirmesi. 57
Tablo 5.8. Rizzo et al. 2016 ve BS1881 part 203, 1986 verileri ile performans değerlendirmesi. 58
Tablo 5.9. Rizzo et al. 2016,BS1881 part 203, 1986 ve bu tez çalışmasında yapılan deney verileri ile performans değerlendirmesi. 58

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil No. **Sayfa**

Şekil 2.1. Parçacık hareketi ve dalga yayılımı a. Uzunlamasına dalga, b. Makaslama dalgası, c. Yüzey dalgası. 6
Şekil 2.2. Doğrudan iletim Duruşma. 7
Şekil 2.3. Yarı doğrudan aktarım düzenlemesi. 7
Şekil 2.4. Dolaylısıyla transmisyon düzenlemesi. 8
Şekil 3.1. Ultrasonik detektörler 15
Şekil 3.2. 55 kHz transdüserli ultrasonik cihaz....16
Şekil 3.3. Ultrasonik darbe hızı devresinin şematik diyagramı. 19
Şekil 4.1. Çağdaş Apartmanının genel görüntüsü....22
Şekil 4.2. Hasar gören kolonlar....23
Şekil 4.3. Silindir numuneler 24
Şekil 4.4. Farklı katlardaki güçlendirme çalışmaları 24
Şekil 4.5. Bu çalışmada kullanılan pusso cihazı ve aparatları. 26
Şekil 4.6. Bu çalışmada kullanılan basınç cihazı.. 28
Şekil 4.7. Silindir numunelere başlık yapılması 28
Şekil 4.8. Basınç deneyleri için deney düzeneği....29
Şekil 4.9. Silindir numune 30
Şekil 4.10. Silindir numunesinin deney bitimindeki bir görüntüsü 33
Şekil 4.11. Relationship between stress and strain for specimen (ÇAAS1). 35
Şekil 4.12. Gerilme-şekil değiştirme ilişkisi (ÇAAS1) 35
Şekil 4.13. Gerilme-şekil değiştirme ilişkisi (ÇAAS2....36
Şekil 4.14. Gerilme-şekil değiştirme ilişkisi (ÇAAS3) 36
Şekil 4.15. Gerilme-şekil değiştirme ilişkisi (ÇAAS4) 37
Şekil 4.16. Gerilme-şekil değiştirme ilişkisi (ÇAS1) 37
Şekil 4.17. Gerilme-şekil değiştirme ilişkisi (ÇAS2) 38
Şekil 4.18. Gerilme-şekil değiştirme ilişkisi (ÇAS3) 38
Şekil 4.19. Gerilme-şekil değiştirme ilişkisi (ÇAS4) 39
Şekil 4.20. Gerilme-şekil değiştirme ilişkisi (ÇBS1)....39
Şekil 4.21. Gerilme-şekil değiştirme ilişkisi (ÇBS2)....40

Şekil 4.22. Gerilme-şekil değiştirme ilişkisi (ÇBS3).....40
Şekil 4.23. Gerilme-şekil değiştirme ilişkisi (ÇZS1).....40
Şekil 4.24. Gerilme-şekil değiştirme ilişkisi (ÇZS2).....40
Şekil 4.25. Gerilme-şekil değiştirme ilişkisi (ÇZS3).....42
Şekil 4.26. Gerilme-şekil değiştirme ilişkisi (ÇZS4).....42
Şekil 4.27. Gerilme-şekil değiştirme ilişkisi (ÇSÖN-1).....43
Şekil 4.28. Gerilme-şekil değiştirme ilişkisi (ÇSÖN-2).....43
Şekil 4.29. Gerilme-şekil değiştirme ilişkisi (ÇSÖN-3).....44
Şekil 4.30. Gerilme-şekil değiştirme ilişkisi (ÇSÖN-4).....44
Şekil 5.1. UPV ve elastisite modülü arasındaki ilişki, denklem 1.....45
Şekil 5.2. UPV ve elastisite modülü arasındaki ilişki, denklem 2.....46
Şekil 5.3. Deneysel elastisite modülü tahmin edilen elastisite modülünün karşılaştırılması (Denklem 1).....50
Şekil 5.4. Deneysel elastisite modülü tahmin edilen elastisite modülünün karşılaştırılması (Denklem 2).....50
Şekil 5.5. Deneysel elastisite modülü tahmin edilen elastisite modülünün karşılaştırılması.....51
Şekil 5.6. Deneysel elastisite modülü tahmin edilen elastisite modülünün karşılaştırılması.....51
Şekil 5.7. Deneysel elastisite modülü tahmin edilen elastisite modülünün karşılaştırılması.....52
Şekil 5.8. Deneysel elastisite modülü tahmin edilen elastisite modülünün karşılaştırılması.....52
Şekil 5.9. Deneysel elastisite modülü tahmin edilen elastisite modülünün karşılaştırılması.....53
Şekil 5.10. Deneysel elastisite modülü tahmin edilen elastisite modülünün karşılaştırılması.....53
Şekil 5.11. Deneysel elastisite modülü tahmin edilen elastisite modülünün karşılaştırılması.....54
Şekil 5.12. Deneysel elastisite modülü tahmin edilen elastisite modülünün karşılaştırılması (Mohammed 3 et al. (2016).....54

Şekil 5.13. Deneysel elastisite modülü tahmin edilen elastisite modülünün karşılaştırılması (Mohammed 4 et al. (2016) 55

KISALTMALAR VE SİMGELER

NDT : Tahribatsız muayene

UT : Ultrasonik testler

UPV : Ultrasonik Puls hızı

W / C : Su-Çimento Oranı

Vl : Boyuna hız

ρ : Yoğunluk

μ : Poisson oranı

Ed : Dinamik elastik modül

V :Hız

G : Yerçekimi ivmesi

L : uzunluk

T : Zaman

U : Yerinden olma vektörü

G : Kayma modülü

B : Azalan genlikli ses dalgası

B_0 : Başlangıç amplitüdü

β : Ses dalgasının zayıflama katsayısı

V : Sesin hızı

V : Sesin hızı

At : Saniyedeki Deşik

1. GİRİŞ

Bilim dünyasında, herkesçe bilinmektedir ki binaların yapısal güvenliği açısından malzemenin sağlamlığı önemli bir yer tutmaktadır. Malzemenin sağlamlığı, malzemenin elastisite modülü ve öz kütle gibi mekanik ve fiziksel parametrelerinin ölçümü ile analiz edilebilir. Malzemelerin mekanik ve fiziksel özelliklerinin değerlendirilmesi için pek çok metot bulunmaktadır. Bu metotların çoğu malzemeye hasar vermesinin yanında hem çok zaman almakta hem de çok maliyetli olmaktadır. Bu metotlardan farklı olarak yapıyı tahrip etmeden, fiziksel ve mekanik özelliklerinin tespiti için test imkânı veren ve çok tercih edilen, Non-Destructing Testing (NDT) olarak bilinen metotlar mevcuttur (Muftah ve ark, 2012).

Ultrasonik metot, NDT metotların içinde en yaygın olarak kullanılan metotlardan biridir. Ses, moleküllerin titreşmesiyle oluşur ve malzemenin içinde dalga olarak ilerler. Vakum ortamda moleküllerin olmaması nedeniyle ses üretimi gerçekleşmez. 20Hz - 20kHz frekans aralığı duyulur ses aralığı, 20 Hz den küçük frekanstaki ses dalgaları infrasonik dalga, 20 kHz den daha yüksek frekanstaki ses dalgaları ulrasonik ses dalgaları olarak isimlendirilirler (Hendee ve Ritenour, 2002).

Küçük mekanik hareketler moleküllerin denge noktasından ayrılmasına neden olur. Bu etkiler moleküllerin ileri hareket etmesine neden olarak komşu moleküllere iletilmesini sağlar. Bu iletim malzemenin kenarına kadar sürer (Laugier and Haiat, 2011).

Yoğunluğun malzemenin mekanik özellikleri üzerine büyük bir etkisi vardır. Ultra ses dalgasının hızı malzemenin yoğunluğuna bağlıdır. Malzemenin yoğunluğu arttığında ses hızı da artar. Örneğin gaz haldeki havada ses hızı 331 m/sn iken sıvılarda 1-2 bin m/sn civarında, katı haldeki demirde 7-8 bin m/sn civarında ölçülmüştür.

Ultrasonik metotta, transduserler malzemenin mekanik ve fiziksel özelliklerini test etmekte kullanılır. Transduserler, piezo-elektrik kristallerden oluşur. Ultrases dalgası, kristalin rezonans frekansı ile kısa süreli salınımlara neden olacak frekans üretebilecek alternatif akımı kristale uygulayarak üretilebilir. Kristalin rezonans frekansındaki salınımlar veya Ses dalgaları malzemenin içinde ilerleyebilir. Beton ve çelik gibi malzemelerin fiziksel veya mekaniksel özelliklerinin değerlendirilmesinde ultrasonik ses hızı tekniği (UPV) kullanılmaktadır (IAEA, 2002).

Bu çalışmada, betonun mekanik özellikleri araştırılmaktadır. Beton agrega, çimento ve suyun karışımı ve sertleşmesi için bekletilmesi sonucu oluşur. Betonda bağlayıcı olarak genellikle Portland çimentosu kullanılmaktadır.

Çimento genellikle İtalya'daki Vezüv volkanik dağ bölgesi gibi volkanik alanlara yakın pozzolanik topraktan elde edilmektedir. Pozzolonik toprak, kireç taşı (CaO), Silis(SiO_2), Alüminyum oksit (Al_2O_3), Magnezyum Oksit (MgO), Na_2O+K_2O ve SO_3'ten oluşmaktadır. Bu karışıma sahip toprak kısa süre için yaklaşık 1400 ^{0}C'de eritilerek ısıtılmaktadır. Oda sıcaklığında soğutulduktan sonra granüler malzeme elde edilir. Bu granüler malzemeye %3 kireç taşı eklenerek öğütülür ve son aşamada çimento elde edilir. Beton çimento hamuru, ince ve kaba agregadan oluşur.

Elastisite modülü, betonun yapısal analiz ve dizaynında en önemli mekaniksel değerlendirme parametrelerinden biridir. Ultrases dalgası elastisite modülünün karekökü ile doğru orantılı ve yoğunluğun karekökü ile ters orantılı olarak değiştiği genel olarak bilinmektedir. Malzemenin elastisite modülünün hesaplanabilmesi için malzemenin dalga ilerleme hızının ve kütlesinin bilinmesi gerekir (Bungey and Millard, 2002).

Çeşitli araştırmacılar, betonun elastisite modülünün tahmin edilmesi üzerine farklı modeller geliştirmişlerdir (Al-Ameeri et al 2013- Yıldırım and Şengül 2009 – Mohammed et al 2006 Rizzo et al. 2016). Bazı modellerde, ACI 318(2008),ASTM

C597 (2003), BS1881 Part 203(1986) ve TS500 (2000) gibi farklı standartlarda yer almıştır.

Bu çalışmada NDT için test malzemesi olarak uygarlaşmadaki öneminden dolayı (çok kullanılması ve yapı güvenliği açısından en önemli malzeme olması) beton seçilmiştir.

Betonun UPV metotla mekanik özellikleri üzerine yapılan çalışmaların çok az olmasından dolayı, bu metodun güvenirliğini arttırmak için daha fazla çalışma yapılmalıdır. Bu gerçeklikten dolayı, bu çalışmada öncelikli amacımız UPV metot üzerine var olan deneysel literatürdeki datalara yeni datalar kazandırmak ve UPV metotla elastisite modülünün ölçülebilmesi için yeni modeller geliştirmektir. Elde edeceğimiz datalar ile literatürde var olan modellerin güvenirliliği, bu çalışmada geliştireceğimiz modelleri literatürde mevcut olan dataları kullanarak geliştirilen modellerin güvenirliliği test edilecektir. Son olarak, UPV metotla elde edilen betonun elastisite modülünün hasarlı metotla (basınç testi) elde edilen elastisite modülü ile karşılaştırarak UPV metodun performansı değerlendirilecektir.

2. LİTERATÜR DEĞERLENDİRMESİ

2.1. Betonda Puls Yayılımı Teorisi

Ultrason dalgaları, en yüksek hızda, dalga yayılım yönüne paralel hareket eden dalga (p dalgası veya sıkıştırma dalgası olarak da adlandırılır) boyuna dalga olarak, orta düzey hızla dalga yayılım yönüne dikey olarak hareket eden dalga (kesme dalgası veya s-dalgası olarak da adlandırılır) enine dalga olarak ve en düşük hızda dalga yayılım yönüne eliptik olarak hareket eden dalga ise (Rayleigh dalgası olarak adlandırılır) yüzey dalgası olarak sınıflandırılabilir, Şekil 2.a, Şekil 2.b. ve Şekil 2.c. Malzemelerin içinde daha yüksek hızlara ulaşabilmesi ve fiziksel özelliklerin açıklanmasına yönelik büyük bir potansiyele sahip olması nedeniyle boyuna dalga en çok tercih edilen dalgadır. p-dalgasında, parçacıklar dalga yayılım yönüne paralel hareket eder (Bungey and Millard, 2002).

Yapının yüzeyine uygulanan mekaniksel etkiler, yapı yüzeyinden içe doğru bir titreşim hareketini tetikler. Bu tetikleme ile oluşan ultrason dalgası, aşağıda ifade edilen öncü dalga şeklinde malzemenin içinde ilerler.

$$\frac{\partial^2 u}{\partial^2 t} = V^2 \nabla^2 u \qquad 2.1$$

Burada u(x, y, z), t zamanındaki (x, y, z) konumundaki cisimdeki herhangi bir noktadaki değişimi tanımlayan yer değiştirme vektörüdür ve V, sesin hızıdır.

Boyuna ve kesme dalgalarının hızları şu şekilde gösterilebilir:

$$V_l = \sqrt{\frac{E_d(1-\mu)}{\rho(1+\mu)(1-2\mu)}} \qquad 2.2$$

$$V_s = \sqrt{\frac{E_d}{2\rho(1+\mu)}} = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \qquad 2.3$$

E, elastisite modülü (elastiklik modülü), μ ise Poisson oranı, ρ yoğunluk ve G kayma modülüdür. M için 0.25 olduğu kabul edilen E için Denklem 2.2'nin çözülmesi ile aşağıdaki ilişki elde edilmiştir.

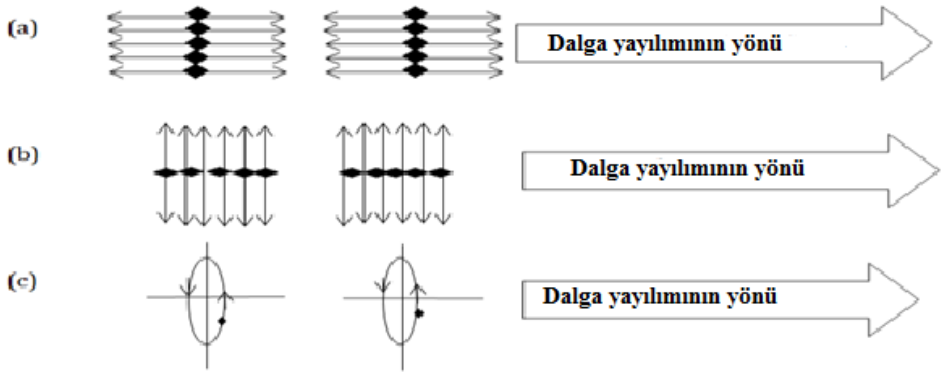
$$E = 2\rho V_l^2(1+\mu) \quad 2.4$$

$$E = 2.5\rho V_l^2 \quad 2.5$$

Malzemenin yoğunluğunun 2400 kg/m^3 veya 2.4x10^{-5} N/mm^3 olacağını varsayarsak

$$E = 6000\, V_l^2 \text{ (E,kg/m}^2\text{olduğunda)} \quad 2.6$$

$$E = 6 * 10^{-5} V_l^2 \text{ (E,MPaolduğunda)} \quad 2.7$$



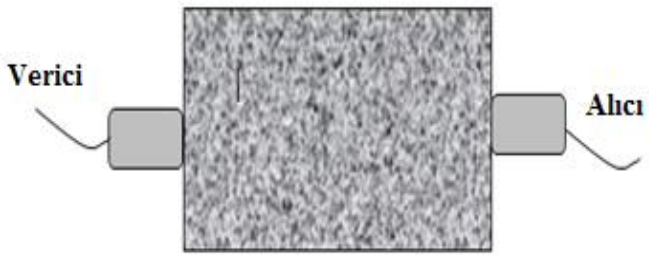
Şekil 2.1. Parçacık hareketi ve dalga yayılımı, a. Boyuna dalga, b. Kesme dalgası, c. Yüzey dalgası.

2.2. Puls Hızının Belirlenmesi

Malzeme içinde farklı yönlerde ilerleyen ses pulsları, transdüserlere doğrudan iletimi (Şekil 2.2), yarı doğrudan iletimi (Şekil 2.3) ve dolaylı yoldan iletimi (Şekil 2.4) şeklinde belirlenebilir.

2.2.1. Doğrudan İletim veya Karşıt Yüzler

Diğer düzeneklerle karşılaştırıldığında, direk iletim dizilimi, hızın doğruluk derecesini ölçmek için en çok tercih edilenlerden biridir. Direk iletim diziliminde, transdüserler beton numunesinde karşı karşıya veya yüz yüze gelecek şekilde konumlandırılırlar. Bu dizilimde, dönüştürücüler arasında ki enerji transferi maksimumdur (Hannachi ve Guetteche, 2014).

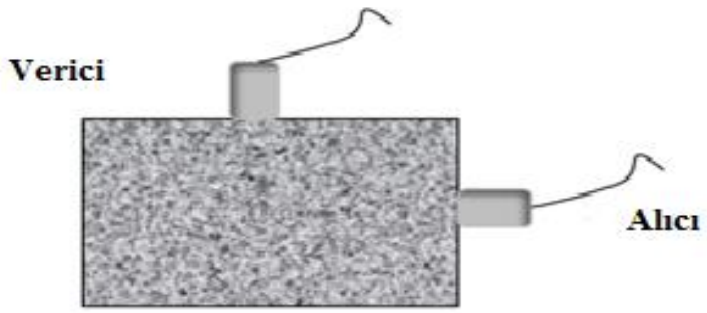


Şekil 2.2. Doğrudan iletim dizilimi

2.2.2. Yarı Doğrudan İletim veya Yan Yüzler

Hız ölçümünün doğruluk derecesindeki azalmadan dolayı, yarı direkt iletim dizilimi direk iletim dizilimi ile karşılaştırıldığında daha az hassas bulunmasına rağmen yine de bu iletim şeklinin doğruluk derecesi yeterli görülmektedir (Hannachi ve Guetteche, 2014).

Bu düzenek, direk dizilim mümkün olmadığında kullanılır. Yarı-direk dizilim, direk dizilime benzetilebilir.



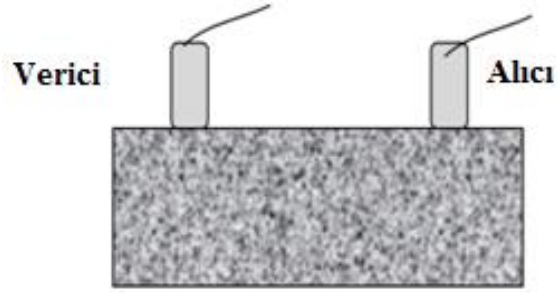
Şekil 2.3. Yarı doğrudan aktarım dizilimi

2.2.3. Dolaylı Yada Yüzey İletimi (Aynı Yüz İletim)

Dolaylı dizilim, diğer iki düzenlemeler arasında son hassas dizilim olmakla beraber sadece bir yüzüne erişim olduğunda bu dizilim uygulanır.

Diğer dizilimlere göre, bu dizilimde elde edilen değerler doğru değildir ve belki de betonun her noktası için gerçek değeri vermeyebilir (Hong, 2012).

Aynı betonda, dolaylı dizilimdeki ses hızı her zaman direk dizilimdeki ses hızından daha düşüktür (Hong, 2012).



Şekil 2.4. Dolaylı transmisyon dizilimi

2.3. Poisson Oranı

Bir örnek malzeme, basınç yükleri ya da eksenel çekmeye tabi tutulduğunda, malzeme sadece yüklerin yönünde değil aynı zamanda yüklere dik yönde deformasyona uğrar. Basınç altında numunenin kesit alanı artar ve çekme uygulandığında kesit alanı azalır. Yanal şekil değiştirme oranının boyuna şekil değiştirme oranına Poisson oranı denir. Doğrusal–elastik bölgede izotropik malzeme için Poisson oranı sabittir. Betonda, belirli bir durum, gerilme ve eksenel şekil değiştirme lineer olduğunda Poisson oranı yaklaşık olarak sabittir. Betonda kullanılan agrega gibi bazı faktörler poisson değerine etki eder. Genel olarak beton Poisson oranının değeri "0.15-0.22" arasında ama çoğu betonlar için "0.20-0.17" arasındadır. Buna ek olarak doğrusal bölgede basınç yükü altındaki Poisson oranı aynı değerde kalır ve betonun artan mukavemetinden ve yaşından etkilenmez (Neville, 2011).

2.4. Ultrasonik Dalga Azalımı (Attenuasyon)

Ultrasonik dalga enerjisi, emme, yansıma, kırılma ve dağılma nedeniyle hiçbir enerji kaybı olmadan malzeme içinden geçemez. Malzemenin içinden her ses geçişi aşamasında sürtünmeden kaynaklanan mekanik enerjiden termal enerji dönüşümü nedeniyle enerji emilimi oluşmaktadır. Sesin dalga boyu uzunluğu, malzeme içindeki parçacıkların boyutlarının mertebesinde ise, ses enerjisi malzemenin içinde rastgele saçılacaktır. Ses dalgasının dalga boyu parçacığın boyutlarından büyükse, daha düşük şiddetle parçacıklardan yansır veya parçacığın arasından geçer (Hong, 2012).

Ultrasonik enerjideki tüm kayıpların, genellikle azalım (atenuasyon) kayıpları olduğu kabul edilmektedir. Malzemenin, elastisite modülü, viskoz sürtünme, tane büyüklüğü ve sertliği gibi bazı özellikleri dalga atenuasyonunu etkiler. Atenuasyonun en önemli nedeni saçılma ve emilim olarak düşünülebilir. Atenuasyon, dalganın ilerlemesinin malzemenin içinde azalmasıdır. Atenuasyon, ultrasonik şiddetin azalmasının nedenini açıklamak ve onun üzerinde yorum yapabilmeyi mümkün kılar.

Zayıflayan düzlem dalganın genliğinin değişimi aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$B = B_0 e^{-\beta x} \qquad 2.7$$

B_0 başlangıç genliği, B, ilk konumdan x uzaklığını dalga olarak alan sesin zayıflamış genliği. β, x-yönünde hareket eden dalganın zayıflatma katsayısıdır.

$$\beta = \frac{0.1151 A_t}{V} \qquad 2.8$$

Bu denklemde V (m/sn) sesin hızıdır ve A_t saniyedeki desibeldir.

2.5. Ultrasonik Dalga Hızına Etki Eden faktörler

Ultrasonik dalga hızına etki eden faktörler arasında agrega tipi ve boyutu, donatı, sıcaklık gibi birçok parametre vardır.

2.5.1. Agreganın Dalga Hızına Etkisi

Betonda dalga hızı, agrega tipinden ve aynı zamanda betonun içindeki miktarına göre önemli ölçüde etkilenir. Birçok araştırmacı, örneğin Jones (1962), aynı basınç dayanımına sahip ve yuvarlak agregalı aynı beton karışımının düşük dalga hızı verdiğini diğer taraftan kırma agregalı beton karışımının daha yüksek dalga hızı verdiğini rapor etmiştir (Neville 2011'den aktarılmıştır).

Kaplan ve arkadaşları, yaptıkları ek çalışmada, aynı basınç dayanımı seviyesinde beton karışımındaki agrega miktarının artırılmasının puls hızında bir artışa neden olduğunu bildirmişlerdir (Kaplan, Bullock, Jones ve Whitehurst).

2.5.2. Donatılı Betonun Dalga Hızına Etkisi

Betondaki donatının varlığı, ultrasonik dalga hızını etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Çelikteki ses hızının donatısız betondaki ses hızının 1.4-1.7 katı seviyesinde olması nedeniyle, donatılı betondaki ses hızının değeri genellikle donatısız betondaki ses hızından daha yüksektir. Örnek olarak Hannachi ve Guetteche, 2014'ın yaptığı çalışmalar gösterilebilir.

Beton donatılı olduğunda, dalga kısmen çelikte ve kısmen betonda yol alır. Donatılı bir betondaki dalga hızındaki artış ölçümün yapıldığı noktanın donatı çubuğuna yakınlığına, donatı sayısına, donatı çapına ve donatı düzenine bağlıdır (Hannachiand Guetteche, 2014).

Beton çelikle donatıldığında, ses dalgası kısmen çelikten ve kısmen de betondan geçerek alıcı transdüsere ulaşır. Donatılı betondaki dalga hızındaki artış ölçümün yapıldığı noktanın donatı çubuğuna yakınlığına, çubuk sayısına ve çapına,

çubuğun dalganın ilerleme yoluna göre yönelimine bağlıdır (Hendeeand Ritenour, 2002).

2.5.3. Transdüser Temas Yüzeyi

Test altındaki beton numune ve dönüştürücü arasındaki temasın dalga yayılımı hızı üzerinde büyük bir etkisi vardır. Uygun olmayan temas hatalı dalga yayılım hızı alınmasına neden olabilir (Hannachiand Guetteche, 2014).

2.5.4. Beton Numunesinin Sıcaklığı

$10^{O}C$ ve $30^{O}C$ sıcaklıkları arasında beton numunesinin ultrasonik dalga hızında önemli bir değişiklik olmaz. Sadece bu sıcaklık aralığının dışındaki puls hızı ölçümü aşağıdaki tabloda olduğu gibi düzeltme yapılmalıdır (IAEA, 2002).

Tablo 2.1. Darbe iletimine sıcaklığın etkisi.

Ölçülen dalga hızın ile korelasyon		
Sıcaklık	Hava kurusu beton	Suya doygun beton
°C	%	%
60	+5	+4
40	+2	+1.7
20	0	0
0	-0.5	-1
-4	-1.5	-7.5

2.6. Statik ve Dinamik Elastisite Modülü Arasındaki İlişki

Genel olarak, dinamik elastisite modülü (E_d), dinamik ND elde edilir. Dinamik Elastisite modülü yüzde 20-30 arası statik elastisite (E_c) modülünden daha yüksektir (Diogenles H.J. F. ve ark).

Beton için statik elastisite modülü (E_c) ile dinamik elastisite modülü (E_d) arasında birkaç korelasyon çalışmaları yapılmıştır. En basit ampirik ilişkilerden biri

Denklem 2.9'da verildiği gibi Lydon ve Balendran (Neville, 2011) tarafından önerilmiştir.

$E_c = 0.83E_d$ 2.9

Burada E_c, statik elastik modülü ve E_d, dinamik elastik modülüdür. Bu denklem, bu çalışmada kullanılmıştır.

Betonun elastisite modülü için başka bir ampirik ilişki Swamy ve Bandyopadhyay tarafından önerilen ve şimdi İngiliz test standardında BS8110-2 bir parçası olarak kabul edilir:BS8110-2:1985.

$E_c = 1.25E_d – 19$ 2.10

E_c ve E_d'in birimi de GPa'dır. Bu ifade çimento içeriği 500 kg/m^3'den düşük olan beton veya normal ağırlıklı betonlar için geçerlidir. Çimento içeriği 500 kg/m^3'ün üstünde olan beton veya normal ağırlıklı hafif agregalara sahip beton için aşağıdaki ifade geçerlidir (Mix et al, 2005):

$E_c = 1.04E_d – 4.1$ 2.11

Shkolnik, E_c ve E_d arasındaki ilişki için Denklem 2.12'yi önermiştir. Yükleme, gerilme hızına ve sıcaklığa bağlı olan termodinamik dalgalanma teorisine dayanmaktadır (Shkolnik, 1996; Shkolnik, 2005).

$E_c = E_d – 5864$ 2.12

Birimler MPa'dır. Denklemin sağ tarafındaki sabit ASTM C 469'a göre belirlenir. Hafif ve normal ağırlıklı betonlar için Popovics, statik ve dinamik elastisite modülleri arasında beton yoğunluğunun bir fonksiyonu olan daha genel bir ilişki önermiştir.

$E_c = k.E_d^{1.4}\rho^{-1}$ 2.13

k = 0.23 ve yoğunluk (ρ), lbs/ft^3'tür (Popovics, 1975). Modüllerin ilişkisi ne olursa olsun, hava tutunması, kürlenme yöntemi, test koşulları veya kullanılan çimento türünden (Neville, 1997) etkilenmediği düşünülmektedir.

3. MALZEME VE YÖNTEM

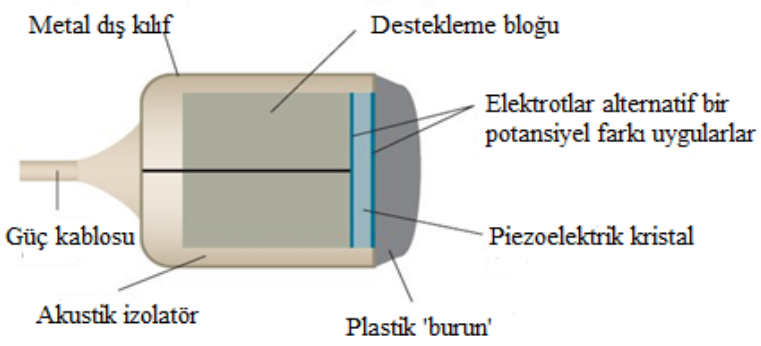
3.1. Ultrasonik Darbe Hız Testi

Ultrasonik ses hızını ölçmek için kullanılan cihaz, betonun elastik özelliklerini değerlendirmek için kullanılabilen, kullanışlı, taşınabilir ve pille çalışan bir araçtır. Betonun elastisite modülünü belirlemek için kullanılmıştır. Ultrasonik darbe hızı ölçümünde aşağıdaki elemanlar kullanılır:

1. Elektriksel puls üreteci.

2. Dönüştürücü - iki çift (verici ve alıcı)

Ultrason, boyutunu değiştirmek için bir piezo-elektrik kristale bir alternatör voltaj uygulanması suretiyle üretilir. Bu piezo-elektrik etki olarak bilinir. Boyuttaki bu değişiklik, uygulanan voltajın süresi ve şiddetine bağlıdır. Uygulanan voltajın değişmesi nedeniyle, kristal daha çok büyük boyutlara çıkacak ve kasılacak ve bu şekil değişikliği, yüksek salınımlı ultrasona neden olacaktır. Ses, malzemenin yüzeyinde mekanik bir basınç oluşturacaktır. Ve bu ses, giriş yüzeyine yerleştirilen vericinin (transmitter) yaydığı ses tam karşısına gelecek şekilde yerleştirilen alıcıya (receiver) iletilir. Daha sonra, dalga gönderme ve alma zamanı elektronik zamanlama cihazı ile ölçülür.



Şekil 3.1. Ultrasonik detektörler (I2)

3. Elektronik zamanlama aygıtı: Verici dönüştürücüde üretilen bir darbenin başlatılması ile alıcı dönüştürücüye gelişi arasındaki zaman aralığını ölçer.

4. Amplifikatör.

3.2. Cihaz Aşağıdaki Karakteristik Özelliklere Sahip Olmalıdır

a. Muayene edilecek yaklaşık 100 mm ile maksimum kalınlık arasındaki yol uzunlukları boyunca geçiş süresini ±% 1'lik bir hassasiyete kadar ölçebilmelidir.

b. 50 kHz ila 60 kHz frekanslı transdüserler en yaygın kullanılan uygulamalar için uygundur. Bu çalışmada kullanılan dönüştürücü 55 kHz'liktir.

c. Yüksek frekanslı darbelerin iyi tanımlanmış bir başlangıcı vardır, ancak beton içerisinden geçtikçe düşük frekanstaki darbelerden daha hızlı atenuasyona uğrarlar. Bu nedenle, kısa mesafe için yüksek frekanslı transdüserler ve uzun mesafe için düşük frekanslı transdüserler kullanmak tercih edilir.

d. Genellikle kullanılan transdüserler 20 ila 150 kHz aralığında olmalı iken 10 kHz gibi düşük aralıktaki frekans çok uzun beton yol uzunlukları için ve yüksek aralıkta harç ve harçlar için veya kısa yol uzunlukları için 1 MHz olarak kullanılabilir (IAEA. 2002).



Şekil 3.2. 55 kHz transdüserli ultrasonik cihaz.

3.3. Ultrasonik Darbe Hızının Hedefi

Beton içinden geçen boyuna titreşimlerin ultrasonik titreşim hızının ölçülmesi aşağıdaki amaçlar için kullanılabilir:

a) Betonun homojenliği.

b) Betonun zaman içindeki değişimlerinin ölçülmesi.

c) Betonun dinamik elastisite modülü ve poisson oranının saptanması.

d) Puls hızı ve mukavemetin beton kalitesinin bir ölçümü olarak korelasyonu.

e) Boşluk ve çatlaklar ve diğer kusurların varlığı.

g) Standart şartlara göre beton kalitesi.

3.4. Ultrasonik Puls Hızının Prensibi

Ultrasonik darbe hızı metodun yoğunluğuna, elastisite modülüne ve Poisson oranına duyarlıdır. Beton kalitesi, daha yüksek hız ve daha düşük hız üretmenin temel nedenidir. Bir yandan, yoğunluk, tekdüzelik ve homojenlik açısından beton kalitesi iyi olursa, daha yüksek hız elde edilebilir. Öte yandan, düşük hız, yoğunluk, uniformite ve homojenlik açısından beton kalitesi kötü olduğunda elde edilir. Ultrasonik puls elektro akustik bir transdüser tarafından üretilir. Puls, bir dönüştürücüden beton içerisine indüklendiğinde, beton içindeki farklı materyal fazlarının sınırlarında çoklu yansımalara maruz kalır. Gerilme dalgalarının karmaşık bir yansıma sistemi, uzunlamasına (sıkıştırma), enine (transvers) ve yüzey (Rayleigh) dalgalarını içerir (Star207-INR.2012).

En hızlı boyuna dalgalar alıcı transdüser tarafından tespit edilir. Hız esas olarak malzemenin geometrisine değil elastik özelliklerine bağlıdır. Zaman ölçme aygıtı, darbenin (puls) iletici transdüserden geçtiği başlangıç zamanını ve darbenin (puls) alıcı dönüştürücü ye gelme zamanını ölçebilir.

Tarihsel olarak ultrasonik darbe hızı 60 yıldan fazla bir süredir betonda kullanılmaktadır. Power and Opert (1939) rezonans frekansı yöntemini 1938 ve 1939 yıllarında yoğun olarak kullanmıştır. 1939'dan beri betonun farklı özelliklerini ölçmek için ultrasonik teknikler geliştirilmekte ve kullanılmaktadır. Ultrasonik darbe hızı metotları, birçok uluslararası standart komitesince betonun değerlendirilmesi için önerilir. Mahmud (2008) tarafından açıklanan bu testin prensibi, katı bir malzemedeki ses hızının (V), aşağıda verilen şekilde, elastisite modülünün yoğunluğuna (ρ) oranının karekökünün bir fonksiyonudur, Denklem 3.1, (Mahmood, 2008).

$$V = f(gE/\rho)^{1/2} \qquad 3.1$$

Burada: v, ultrasonik atım hızı, g, yerçekimi ivmesi, ρ, yoğunluk ve E, elastisite modülüdür. Önceki denklemde belirtildiği gibi hız, betonun elastisite modülüne bağlıdır. Atım(puls) hızı ile beton için elastisite modülünün izlenmesi normalde önerilmez, çünkü beton homojen, izotropik ve elastik malzemeler için kullanılan denklemin fiziksel koşullarını sağlamamaktadır.

$$V_l^{\,2} = \frac{E_d(1-\mu)}{\rho(1+\mu)(1-2\mu)} \qquad 3.2$$

Burada, V_l, boyuna dalga hızı, ρ yoğunluk, μ poisson oranı ve E_d, dinamik elastisite modülüdür. Öte yandan, beton mukavemetinin ve elastisite modülünün birbiriyle ilişkili olduğu gösterilmiştir (ASTM C 597-02).

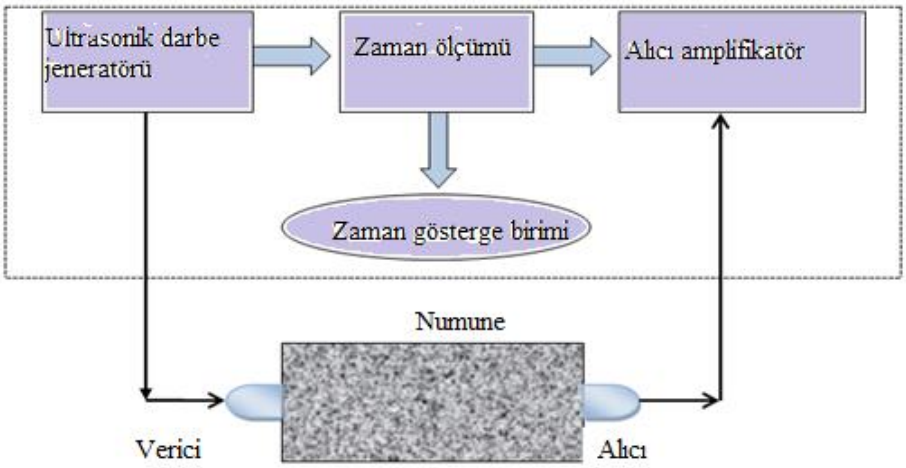
Yöntem, bir ultrasonik frekanstaki titreşim darbesinin beton içerisinden geçmesi için gerekli süreyi belirlemekle başlar. Hız belirlendikten sonra, test edilen betonun kalitesi, homojenliği, durumu ve mukavemeti hakkında bir fikir elde edilebilir. Uygulamada, beton içerisindeki darbe hızı, ASTM C597'ye göre standart test uygulanarak ölçülür ve aşağıdaki denklemle hesaplanır (Mahmood, 2008):

$$V = \frac{L}{T} \qquad 3.3$$

Burada V, darbe hızı (m/s) L,metre cinsinden hareket mesafesi ve T saniye(sn) cinsinden geçiş süresidir.

3.5. Ultrasonik Dalgayı Kullanma

Ultrason ile malzeme özelliğini araştırmak için 20 kHz'den (insan işitme sınırı) daha yüksek frekanslı ses kullanılır. Sıvılarda örneğin kulakta ses basınç dalgası olarak hareket eder. Bununla birlikte katılar hem normal hem de kayma gerilmesini desteklemektedir; bu, iki dalga boyunun boylamasına ve kayma dalgalarının beton gibi bir katı içinden yayılabileceği anlamına gelir; kesme dalgası için, parçacığın hareketi dalga yayılımının yönüne diktir. Uzunlamasına dalgalar için parçacıkların hareketi yayılma yönüne paraleldir.



Şekil 3.3. Ultrasonik darbe hızı devresinin şematik diyagramı.

3.6. Ultrasonik Darbeli Hız Ölçüm Metodu

1. Transduserleri ultrasonik test cihazına takın ve cihazı açınız,

2. Referans çubuğu ile ultrasonun sıfırlanması, referans çubuğunda gösterildiği gibi 51μs'de zaman aralığını ayarlayın.

3. Her bir silindir örneğinin uzunluğunu ve çapını ölçün.

4. Numunenin yüzü düzgün ve düzenli olmalıdır.

5. Testten hemen önce, silindirler temiz ve kuru bezle temizlenmeli, doymuş ve kuru yüzeye sahip numune elde etmek için tüpler temiz kuru bir bez ile ovuşturulmalıdır.

6. Hem dönüştürücülerdeki ultrasonik jel hem de bağlantı pozisyonu ayarlanmalıdır.

7. Transdüserleri (verici ve alıcı) örnekle doğrudan bağlayın. Dönüştürücü düz çizgi üzerinde olmalı ve ultrasonik okuma zamanı gelene kadar beklenmelidir. Dönüştürücünün konumunu değiştirin ve her bir numune için beş kez tekrarlayın, sonra bunların ortalama değerini kullanın. Sonra hızı hesaplamak için Denklem 3.3'ü kullanın.

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu bölümde deneysel çalışmalar detaylı bir şekilde verilecektir. Deneysel çalışmada iki farklı deney yapılmıştır. Birinci deney hasarsız bir yöntem olup ultra ses dalgası geçiş hızına (UPV) dayalı bir yöntemdir. İkinci deney ise hasarlı olup betonun basınç testidir.

Deneysel çalışmada beton silindir numuneler kullanılmıştır. Bu deneysel çalışmada kullanılan bütün silindir numuneler Diyarbakır ili Kayapınar İlçesinde bulunan ve Şekil 4.1'de verilen Çağdaş Apartmanından alınmıştır.

Şekil 4.2'de görülebileceği gibi binanın bazı kolonlarında meydana gelen ani hasardan dolayı binanın güvenli olmadığı belirlenmiş ve binanın boşaltılmasına karar verilmiştir (Bedirhanoğlu, 2011). Binanın yapısal güvenliği incelendikten sonra binanın güvenli duruma gelmesi için güçlendirilmesi gerektiği ortaya çıkmıştır. Bu vesile ile bu deneysel çalışmada kullanılan bütün beton silindir numuneler binanın güçlendirme çalışmaları sırasında kullanılan betonlardan alınmıştır.



Şekil 4.1. Çağdaş Apartmanının genel görüntüsü (Bedirhanoğlu, İ. izni ile)



Şekil 4.2. Hasar gören kolonlar (BEDİRHANOĞLU, İ. izni ile)

4.1. Numuneler

Çağdaş Apartmanı güçlendirme çalışmalarından toplamda 19 adet beton silindir numunesi alınmıştır. Numuneler 1500 mm çapında ve 300 mm yüksekliğindedir, Şekil 4.3. Numuneler toplam beş farklı guruptan oluşmaktadır. Her bir gurup farklı zamanlarda gerçekleştirilen binanın farklı katlarının güçlendirme çalışmalarından alınmıştır, Şekil 4.4. Her bir guruba ait dört numune aynı betondan alınmıştır. Her bir numune beton döküldükten bir gün sonra demir kalıplardan çıkarılarak kür amacı ile su havuzuna bırakılmıştır. Bütün numuneler 28. Güne kadar 27 gün suda bekletilmiştir. Bütün numuneler için testler numunelerin yaşı en az 28 gün olduktan sonra başlamıştır.



Şekil 4.3. Silindir numuneler.



Şekil 4.4. Farklı katlardaki güçlendirme çalışmaları (BEDİRHANOĞLU, İ. izni ile).

4.2. Beton Karışımı

Beton hazır beton santrali tarafından hazırlanmıştır. Beronda Normal Portland çimentosu PC 42.5 kullanılmıştır. İri ve ince agregalar Dilce Nehrinden temin edilmiştir. Beton karışım oranları Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Beton karışım oranları.

Malzemeler	Miktar (kg)
0-7 Doğal kum (ince agrega)	1150
7 - 25 iri agrega	240
15 – 25 iri agrega	540
Su	165
Portland ÇimentosuPÇ 42.5	300
Katkı	3

*Birimler kg'dır.

4.3. Ultrases Dalgası Yayılma Hızı Testi

Hasarsız deneyler için portatif olan ultrases ölçüm cihazı Pusso kullanılmıştır, Şekil 4.5. Cihaz iki adet sensörden (alıcı ve verici) oluşmaktadır. Sensörler 55 KHz dalga üretebilecek kapasitededirler.



Şekil 4.5. Bu çalışmada kullanılan PUSSO cihazı ve aparatları.

Uluslar arası standartlara göre UPV testi uygulama detayları aşağıda verilmiştir, (IS: 13311 (Part 1) – 1992).

- Cihaz çalıştırılmadan önce sensörlerin yerleşeceği yerler işaretlenmeli ve sensörler cihaza bağlanmalıdır.

  Hız ölçümü aşağıdaki güç kaynaklarından biri ile yapılabilir:

  1. İç pil,
  2. Dış pil,
  3. Alternatif elektrik hattı.

- Kalibrasyon: Deneylerden önce kalibrasyon yapılması gerekmektedir. Bunun için cihazın bir kalibrasyon çubuğu vardır. Sabit ölçülere sahip çubukta ses dalgası geçiş hızı 51µs olmalıdır. Çubuğun iki ucuna ultrason jeli sürülerek ölçüm alınır. Eğer ölçüm 51µs değilse ayar düğmesi kullanılarak hız 51µs değerine ayarlanır ve bu şekilde cihaz kalibre edilmiş olur.

- Dalga hızı: Daha gerçekçi ve ortalama bir değer elde etmek için silindir numunenin karşılık iki yüzünden yedi adet ölçüm yapılmıştır. Ölçümlerden önce yüzeyler pürüzsüz hale getirilmiştir. Ayrıca tam teması sağlamak için silindir numune yüzeyi ve sensörlerin yüzeylerine ultrason jeli sürülmüştür. Sensörler numune yüzeyine sabitlenerek hız "V" ölçümü alınmıştır. Hız ölçülüken sensörler numune yüzeyine sıkı bir şekilde bastırılmalıdır. Ölçüm sırasından göstergeden okunan en düşük değer göz önüne alınmıştır. Numune boyları "L" hassas bir şekilde kumpas ile ölçülmüştür. Sonuç olarak hız kaşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$V = \frac{L}{t} \qquad 4.1$$

4.4. Deney Düzeneği, Ölçüm Sistemi, Basınç Dayanımı

Basınç testleri için Arslanlar firması tarafından üretilen ve Şekil 4.6'da görülen basınç cihazı kullanılmıştır. Basınç cihazı 300 ton yükleme kapasitesine sahiptir. Deneylerin daha hassas yapılabilmesi için cihazın üç farklı yükleme aralığı mevcuttur. Cihazda 100 ve 150 ton aralığında da deneyler yapılabilmektedir. Bu çalışmadaki deneyler için 150 ton ölçüm aralığı kullanılmıştır. Basınç deneylerinden önce numunelerin düzgün yüklenebilmesi ve daha az pürüzlü bir yüzey elde etmek için çimento harcı (tamir harcı) ile başlık yapılmıştır. Şekil 4.7'de görüldüğü gibi başlık işlemi düz bir mermer tezgahın üzerinde yapılmıştır. Başlık yapıldıktan sonra başlığın dayanım kazanabilmesi için en az bir gün beklenmesi gerekmektedir.



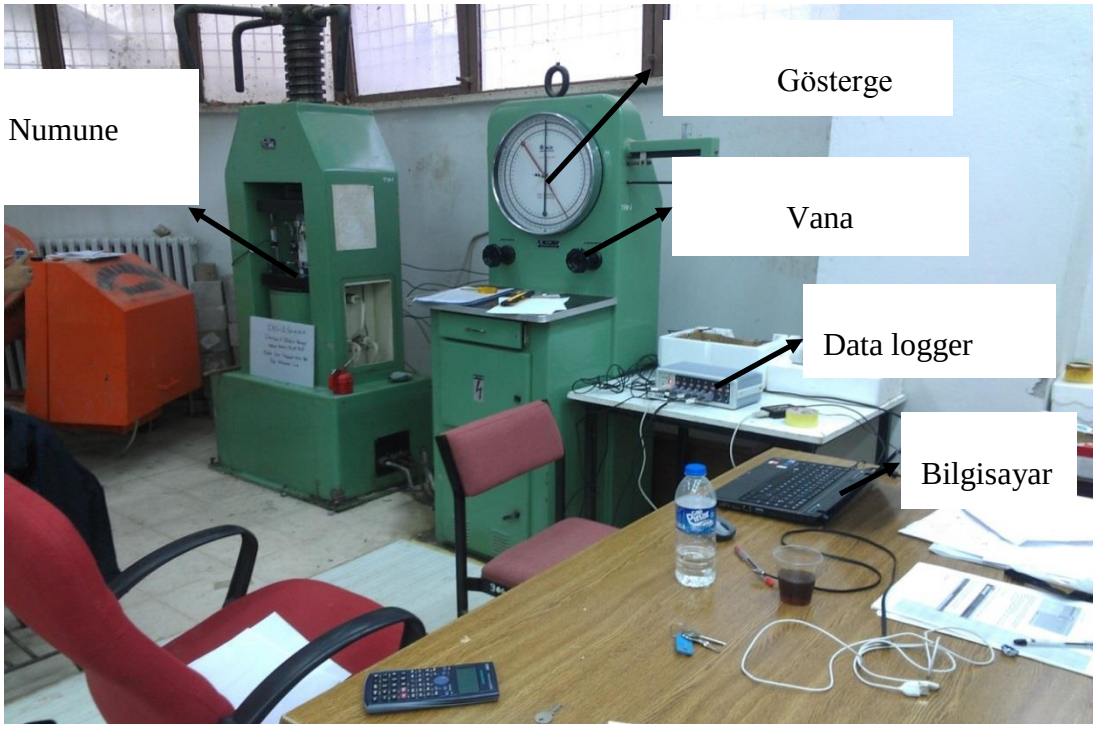
Şekil 4.6. Bu çalışmada kullanılan basınç cihazı.



Şekil 4.7. Silindir numunelere başlık yapılması.

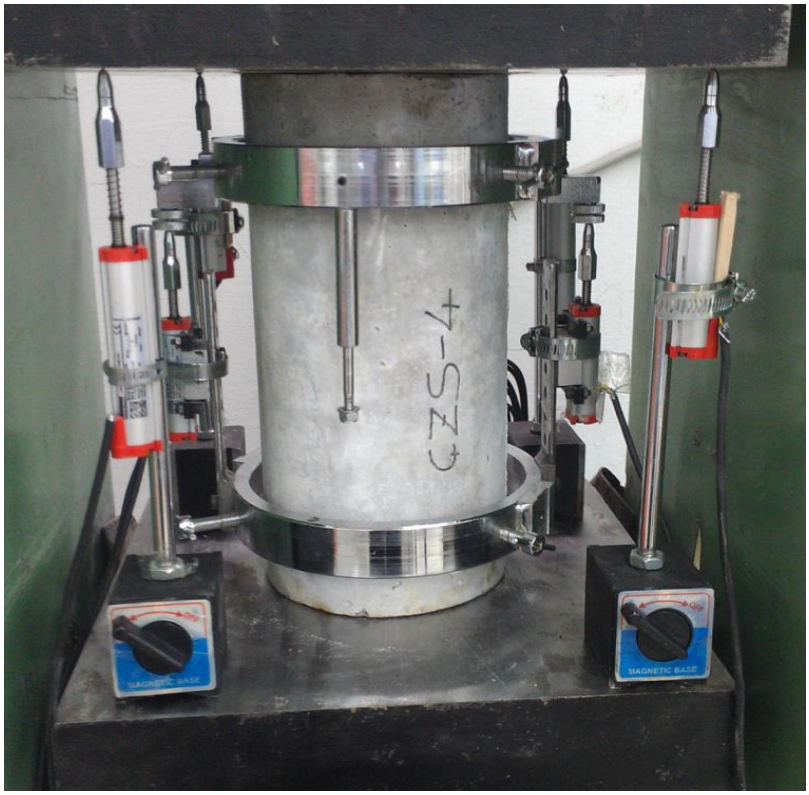
4.5. Ölçüm Sistemi

Basınç deneyleri yüklem eve ölçüm sisteminden oluşmaktadır. Bu çalışmada gerçekleştirilen basınç deneylerinde kullanılan yükleme ve ölçüm sisteminin genel görünümü Şekil 4.8'de verilmiştir. Bu resim bir deneysel çalışmanın hemen öncesinde çekilmiştir. Artımsal basınç yükü basınç cihazının göstergesinden belli aralıklar ile okunmaktadır. Şekilde görülen vanalar yükleme hızını ayarlamak ve herhangi bir durumda yüklemeyi durdurmak için kullanılmaktadır.



Şekil 4.8. Basınç deneyleri için deney düzeneği.

Ölçüm sistemi Şekil 4.9'da detaylı olarak verilmiştir. Deformasyon ölçümlerinde toplam 6 adet potansiyometrik cetvel kullanılmıştır. Cetvellerden dört adedi rijit çelik yükleme plağına yerleştirilmiş ve geri kalan iki adedi numune orta üste birlik kısmında numuneye monte edilmiştir. Numune dışında yerleştirilen cetvelleirn ölçüm mesafeleri ortalama 300 mm ve numuneye monte edilen cetvellerin ölçüm mesafesi 200 mm'dir.



Şekil 4.9. Silindir numune.

4.6. Basınç Testi Prosedürü

Bütün deney prosedürü aşağıda maddeler halinde verilmiştir,

- Cihazın yükleme başlıkları temizlenmelidir.
- Numune eksenel olarak yüklenebilmesini sağlamak için numune basınç cihazının yükleme başlıklarının merkezine yerleştirilmelidir. Şekil 4.9'da bir numunenin basınç cihazına yerleşimi görülmektedir.
- Numune yüzeyleri ile yükleme başlıkları arasında tam temasın sağlanması gerekmektedir.
- Yükleme hızının 0.45-2.25 ton/s veya 0.2-1.0 MPa arasında olması gerekmektedir.
- Yüklemenin her adımı için yük ve deformasyonlar kaydedilmelidir. Deney sırasındaki gözlemler not alınmalıdır.

4.7. Deneysel Sonuçlar

Bu çalışmada Çağdaş Apartmanından alınan toplam 19 adet beton silindir numunesi kullanılmıştır. Silindir numuneler 150 mm çapında ve 300 mm yüksekliğindedir. Bütün numunelerin yaşları 30-108 gün arasındadır. Bütün numunelerde su/çimento oranları aynı ve 0.5 civarındadır. Deneyler sonucu elastisite modüllerinin 20 ile 46 GPa arasında değiştiği görülmüştür, Tablo 4.2. Numune isimleri numunelerin temel özelliklerini ifade edecek şekilde belirlenmiştir. Örneğin ÇBS-1 numunesinde, Ç Çağdaş Apartmanını, B bodrum kat olduğunu, S silindir numune olduğunu ve 1 gurubun ilk numunesi olduğunu ifade etmektedir.

Tablo 4.2. Deneysel sonuçlar.

Nu	Numune isimleri	Yoğunluk kg/m^3	fc (Mpa)	Ec den.(GPa)	UV (km/s)	Yaş (gün)
1	ÇAAS1	2311.8	30.12	24.822	4.31771	40
2	ÇAAS2	2353.8	29.28	35.432	4.372	30
3	ÇAAS3	2351.7	26.23	30.233	4.35042	40
4	ÇAAS4	2301.8	34.56	34.302	4.40353	40
5	ÇAS1	2251.5	28.73	23.582	4.09122	62
6	ÇAS2	2306.5	32.6	*	4.01538	62
7	ÇAS3	2301.6	32.75	46.15	4.13238	62
8	ÇAS4	2259.1	24.56	25.331	4.07393	62
9	ÇBS1	2371.2	40.52	38.442	4.32503	114
10	ÇBS2	2385.9	48.85	29.558	4.31874	113
11	ÇBS3	2354.9	45.66	32.494	4.34328	119
12	ÇZS1	2282.5	31.64	26.187	4.08	119
13	ÇZS2	2275.9	31.78	20.188	4.07835	108
14	ÇZS3	2348.6	35.94	25.595	4.27935	108
15	ÇZS4	2335.2	30.25	26.553	4.24286	108
16	ÇSÖN-1	2222.8	28.73	29.378	4.22692	30
17	ÇSÖN-2	2416.7	23.04	30.999	4.1592	30
18	ÇSÖN-3	2416.7	25.67	27.236	4.1592	30
19	ÇSÖN-4	2416.7	23.04	1015.601	4.1592	30

*Ölçüm cihazı sağlıklı çalışmadı.

4.8. Gerilme-Şekilde Değiştirme İlişkileri

Betonun gerilme-şekil değiştirme ilişkilerini elde etmek için Şekil 4.10'da görüldüğü gibi sofistike bir ölçüm sistemi kullanılmıştır. Şekil değiştirme değerlerini ölçmek için toplamda 8 adet potansiyometrik cetvel kullanılmıştır. Bunlardan iki tanesi numune üzerine monte edilerek 200 mm'lik bir mesafeden ölçüm almaktadır.

Diğerleri numune dışına yerleştirilerek 300 mm'den numune tam boyundan ölçüm almaktadır. Elastisite modülleri 200 mm'den alınan ölçümler ile hesaplanmıştır.

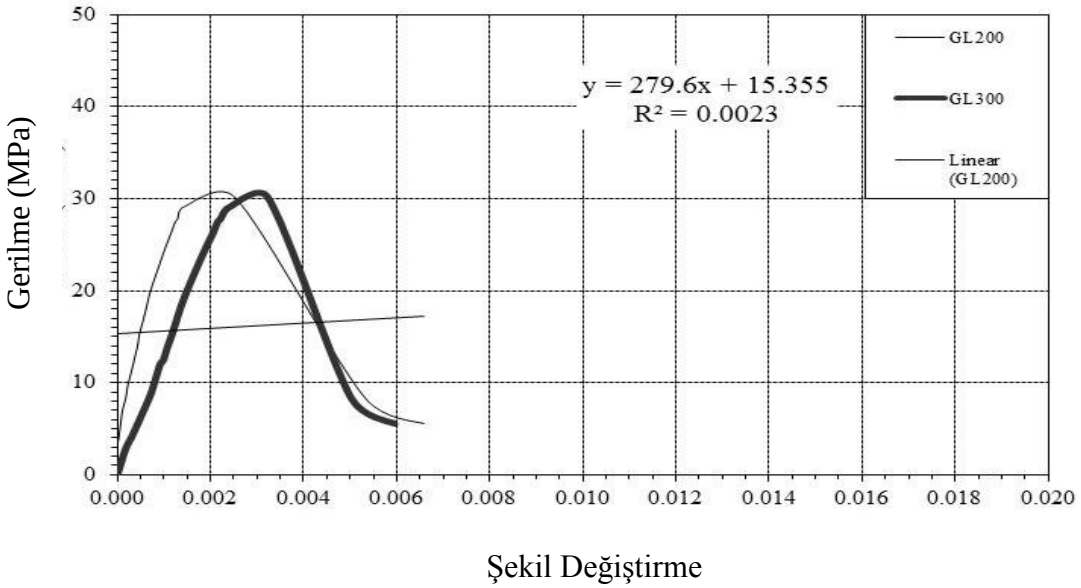


Şekil 4.10. Silindir numunesinin deney bitimindeki bir görüntüsü.

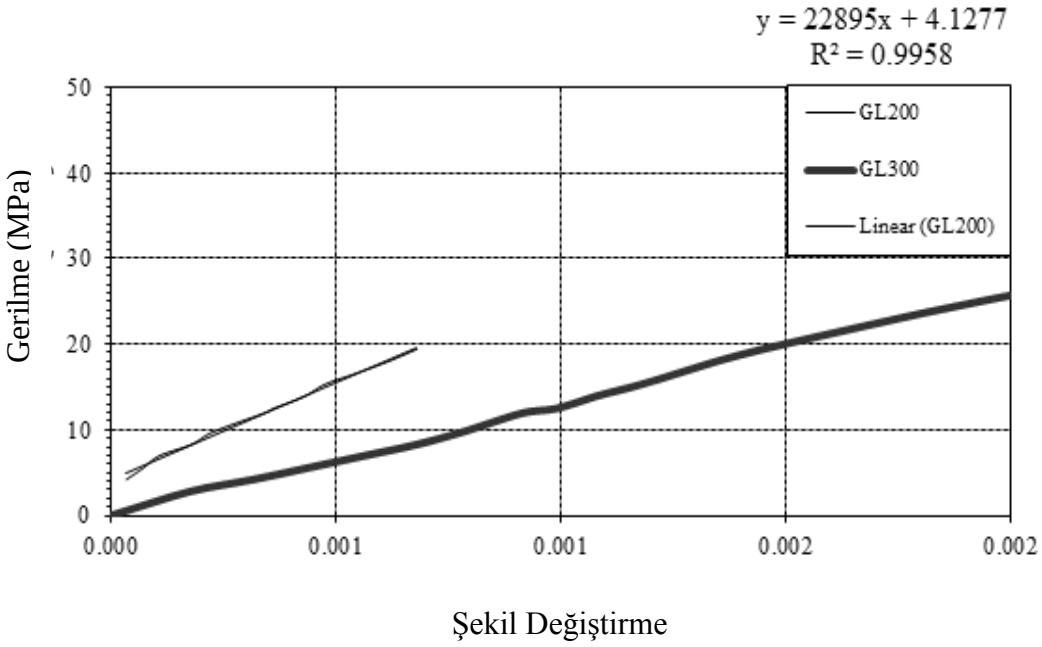
UPV ile elastisite modülü arasında doğrusal bir ilişki vardır. Gerilme-şekilde değiştirme verileri çok fazla olduğundan bütün verilere tez çalışmasında yer verilmemiştir. Örnek olsun diye ÇAAS1 numunesine ait gerilme-şekil değiştirme değerleri Tablo 4.3'te verilmiştir. Diğer veriler grafik haline getirilerek Şekil 4.11-4.30'da verilmiştir.

Tablo 4.3. Gerilme-Şekil değiştirme verileri (ÇAAS1).

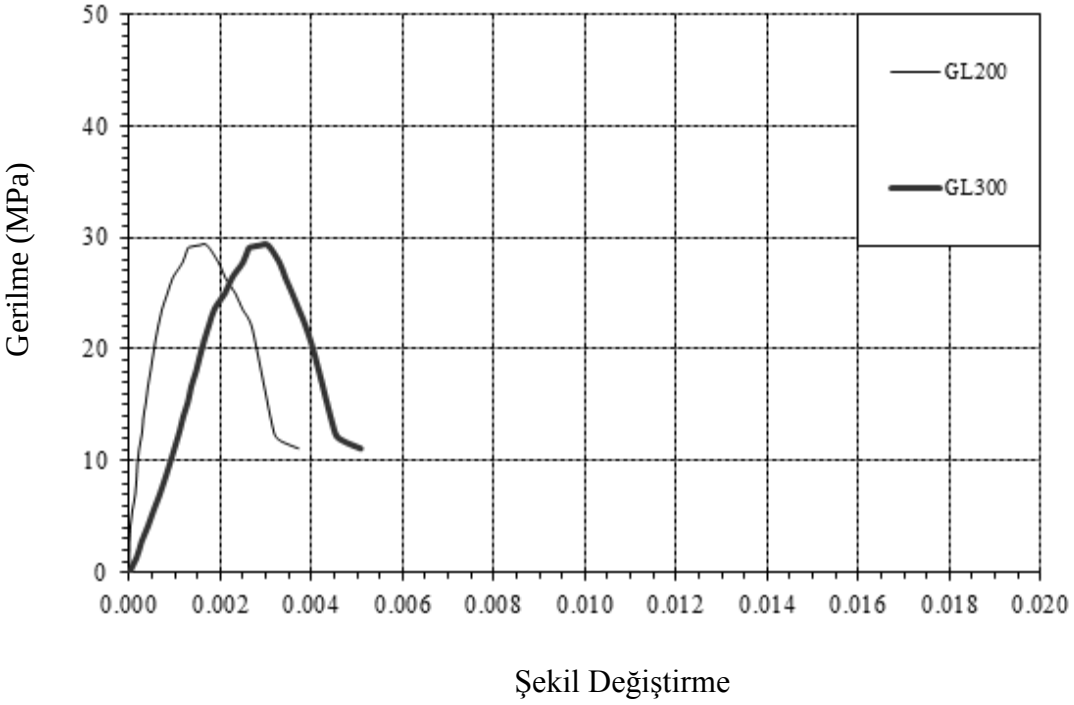
Ortalama şekil değiştirme		Gerilme (MPa)
GL=200	GL=300	
0	-1.3E-06	0.00
-5.7E-06	0.000173	2.78
3.25E-05	0.000312	4.16
7.08E-05	0.000437	5.55
0.000105	0.000559	6.94
0.00018	0.000682	8.33
0.000224	0.000778	9.71
0.000339	0.000912	11.94
0.00036	0.000989	12.49
0.000429	0.001074	13.88
0.000473	0.001175	15.27
0.000547	0.001262	16.65
0.000618	0.001348	18.04
0.000679	0.001449	19.43
0.000765	0.001564	20.82
0.000861	0.001681	22.21
0.000955	0.001801	23.59
0.001054	0.001929	24.98
0.001163	0.002063	26.37
0.001242	0.002154	27.48
0.001291	0.002209	27.76
0.001448	0.002431	29.14
0.002531	0.003235	30.12
0.005324	0.005022	8.33
0.006587	0.005956	5.55



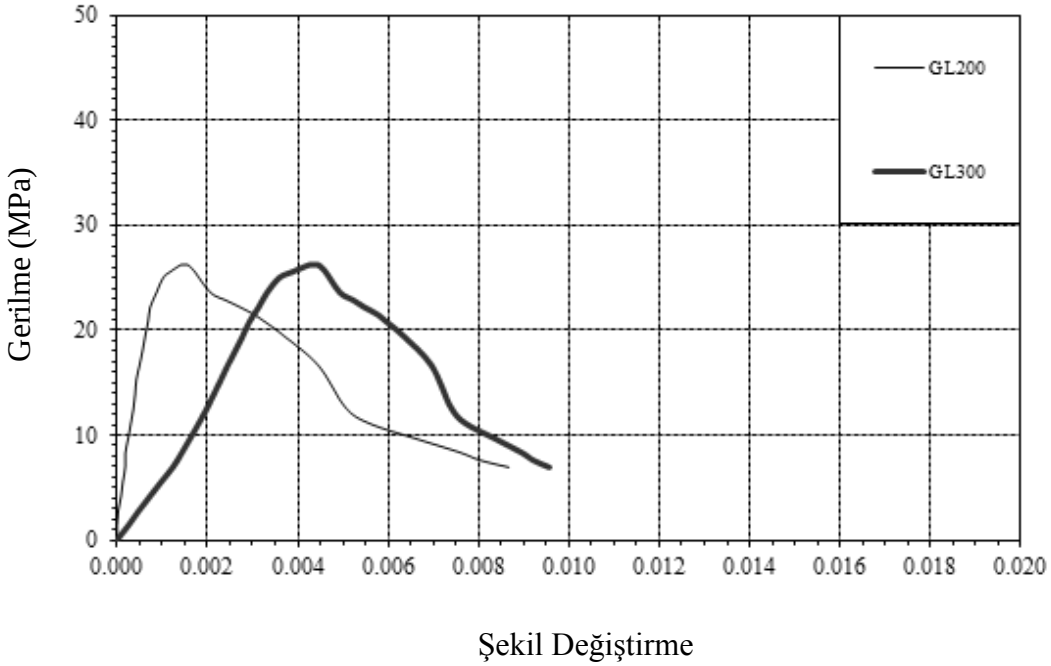
Şekil 4.11. Gerilme-Şekil Değiştirme ilişkisi (ÇAAS1).



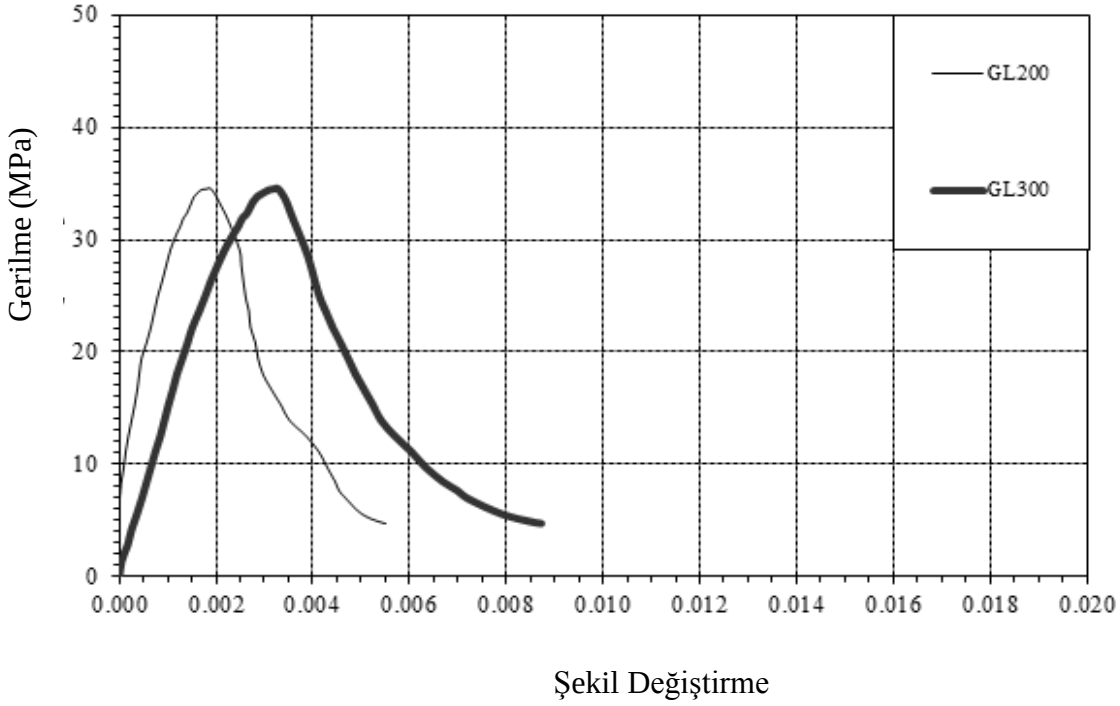
Şekil 4.12. Gerilme-Şekil Değiştirme ilişkisi (ÇAAS1).



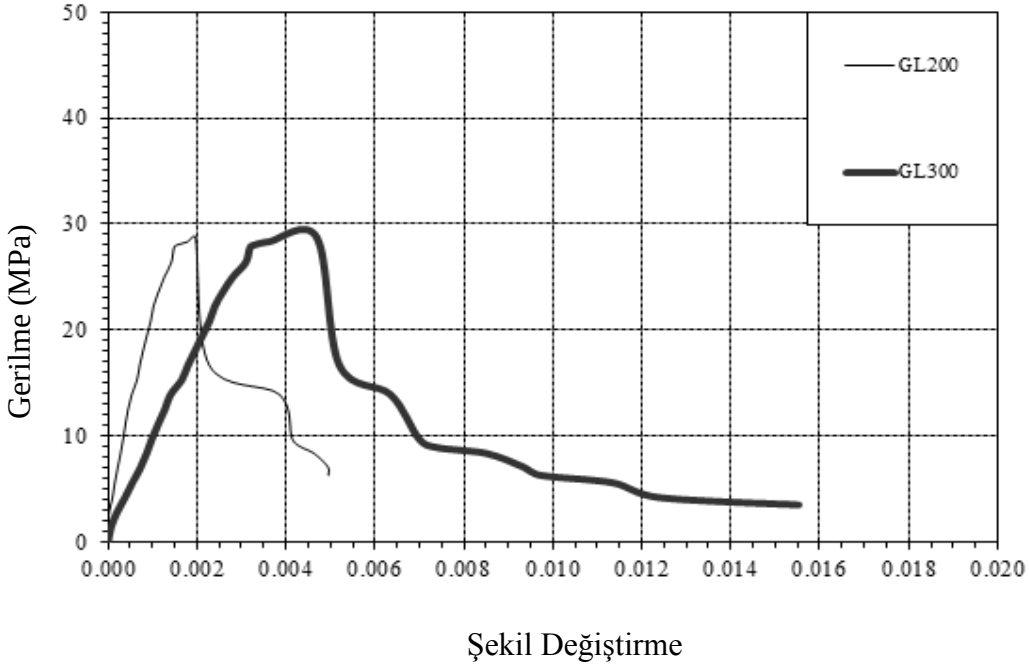
Şekil 4.13. Gerilme-Şekil Değiştirme ilişkisi (ÇAAS2).



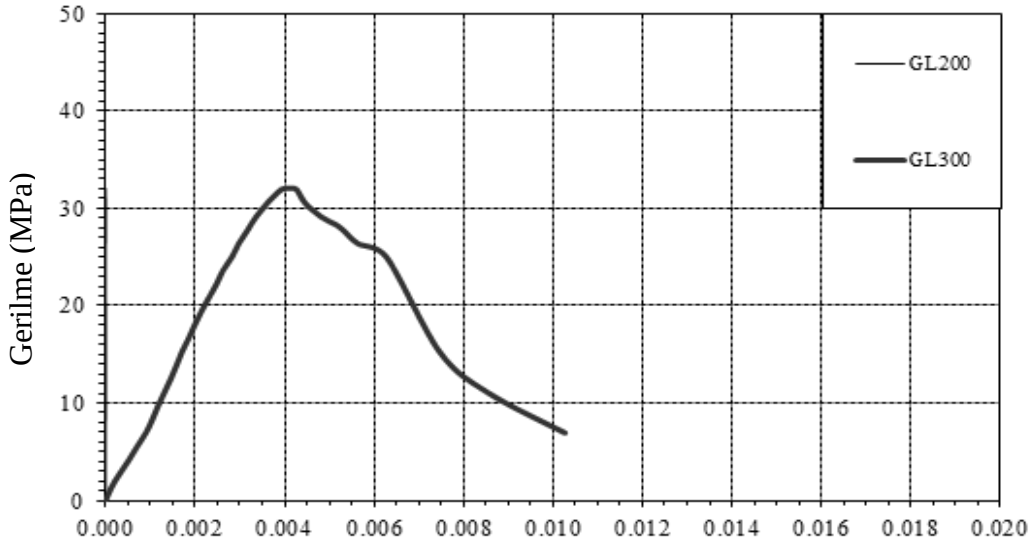
Şekil 4.14. Gerilme-Şekil Değiştirme ilişkisi (ÇAAS3).



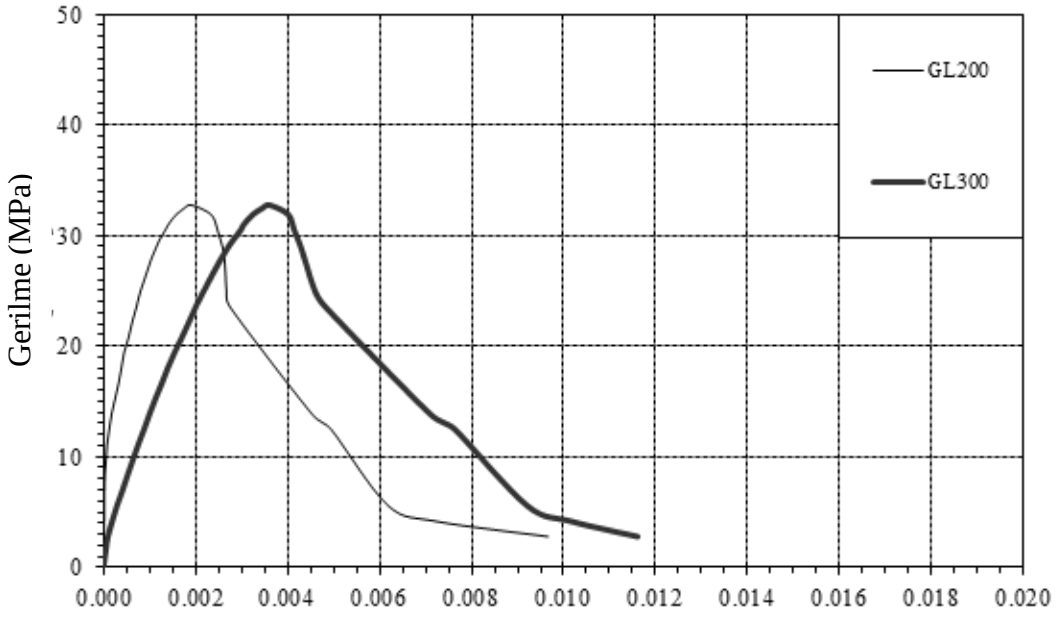
Şekil 4.15. Gerilme-Şekil Değiştirme İlişkisi (ÇAAS4).



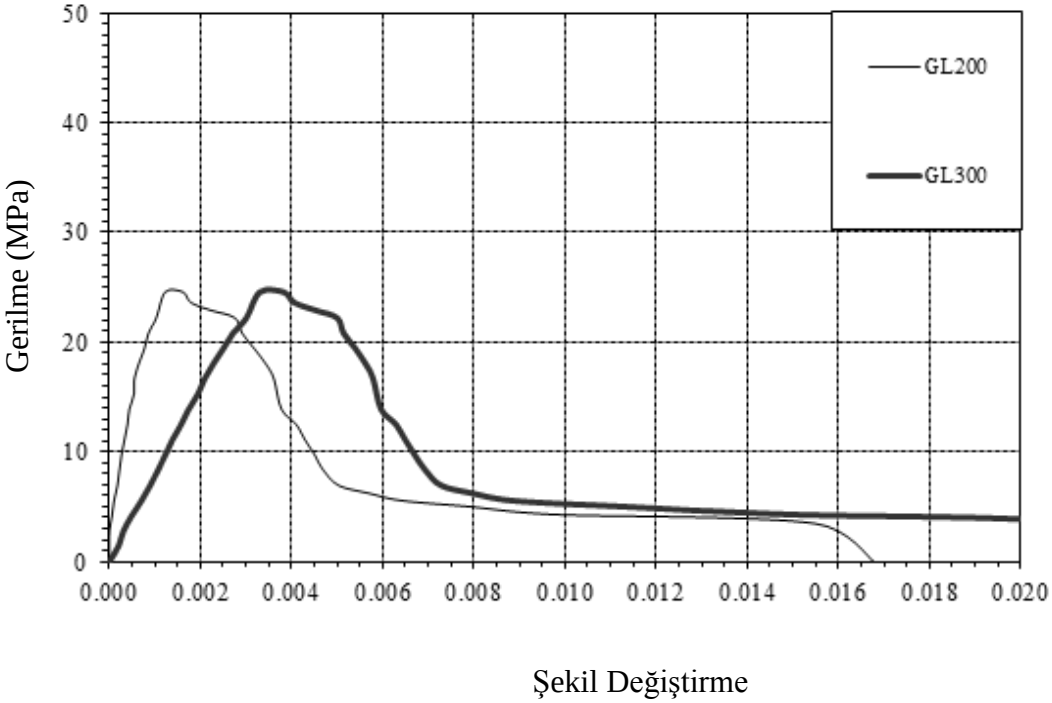
Şekil 4.16. Gerilme-Şekil Değiştirme İlişkisi (ÇAS1).



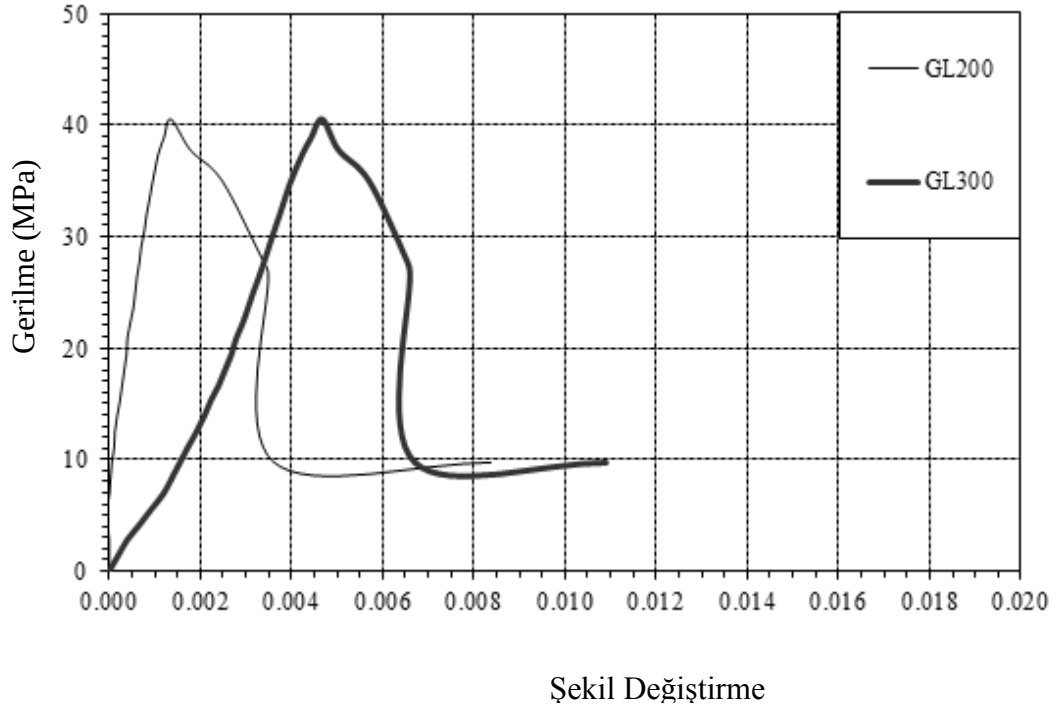
Şekil 4.17. Gerilme-Şekil Değiştirme İlişkisi (ÇAS2).



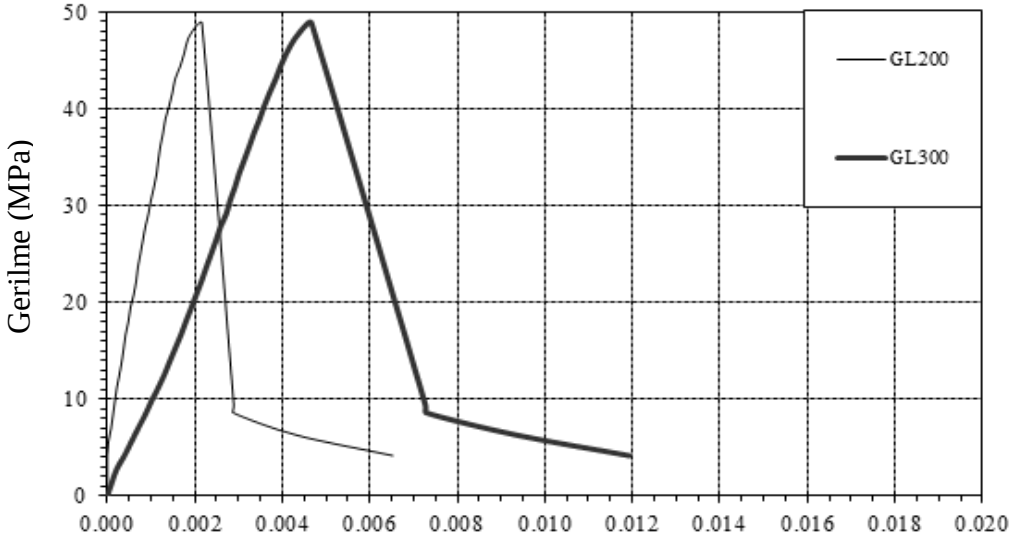
Şekil 4.18. Gerilme-Şekil Değiştirme İlişkisi (ÇAS3).



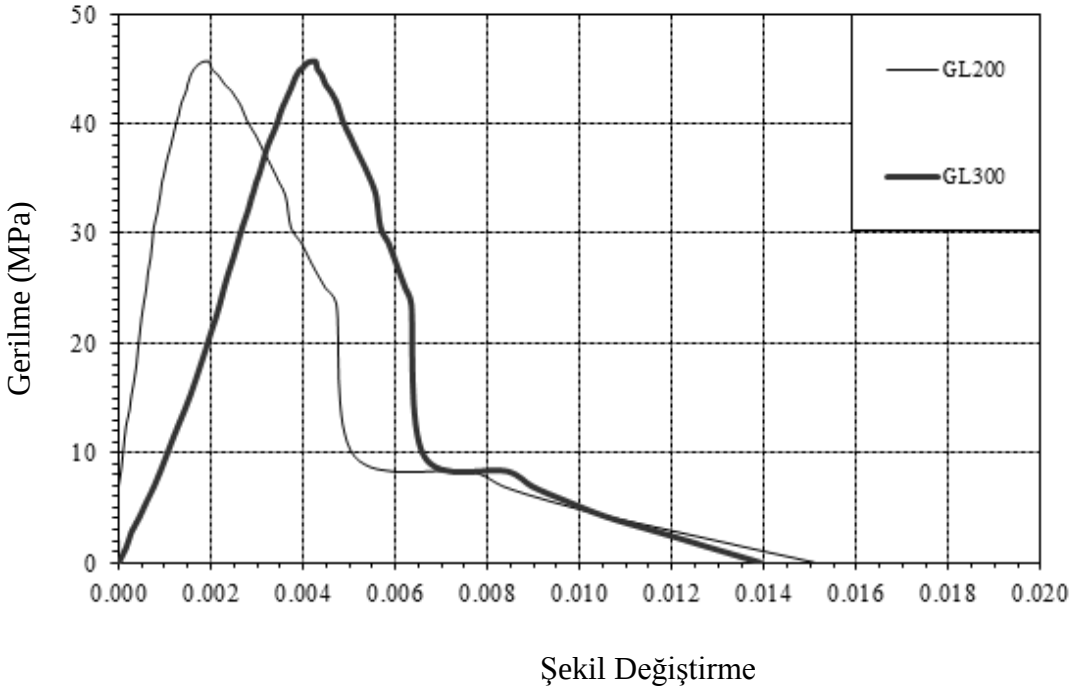
Şekil 4.19. Gerilme-Şekil Değiştirme İlişkisi (ÇAS4).



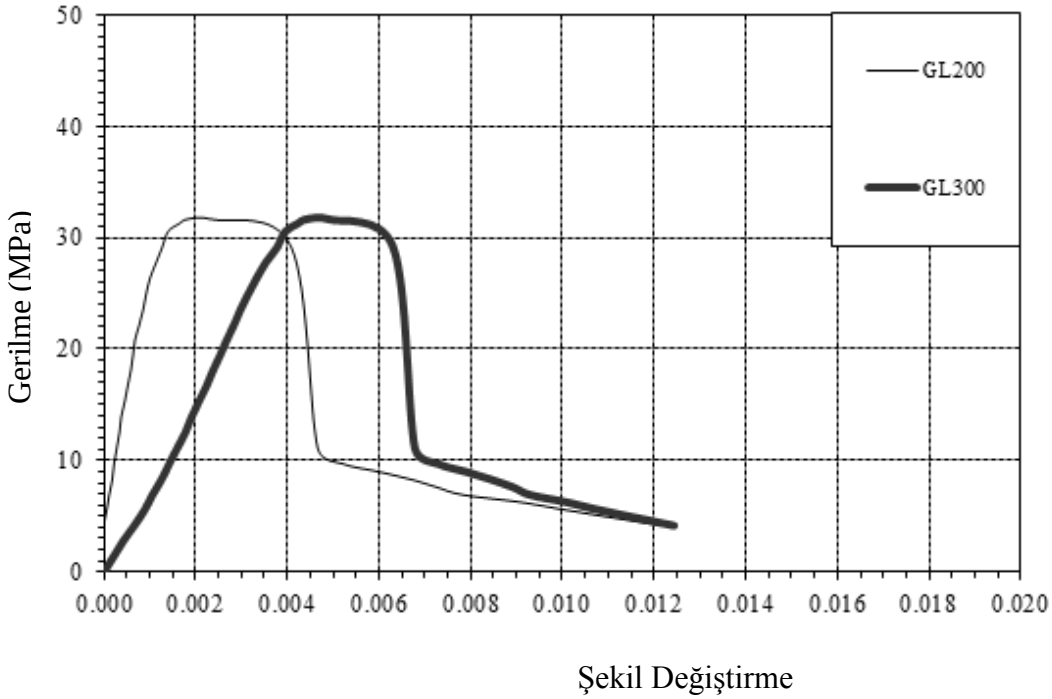
Şekil 4.20. Gerilme-Şekil Değiştirme İlişkisi (ÇBS1).



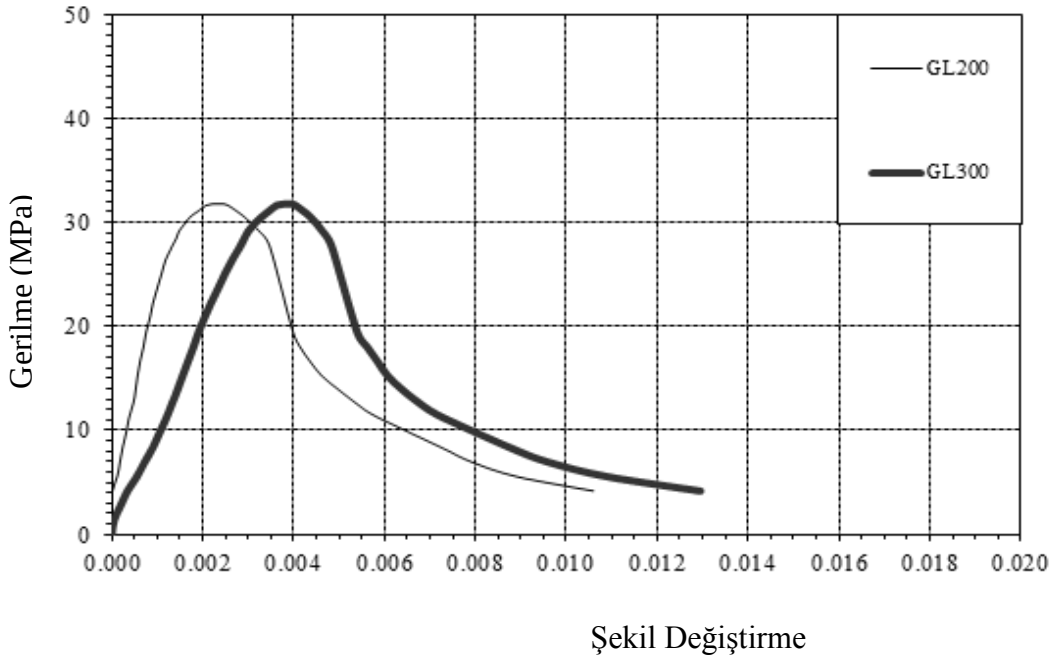
Şekil 4.21. Gerilme-Şekil Değiştirme ilişkisi (ÇBS2).



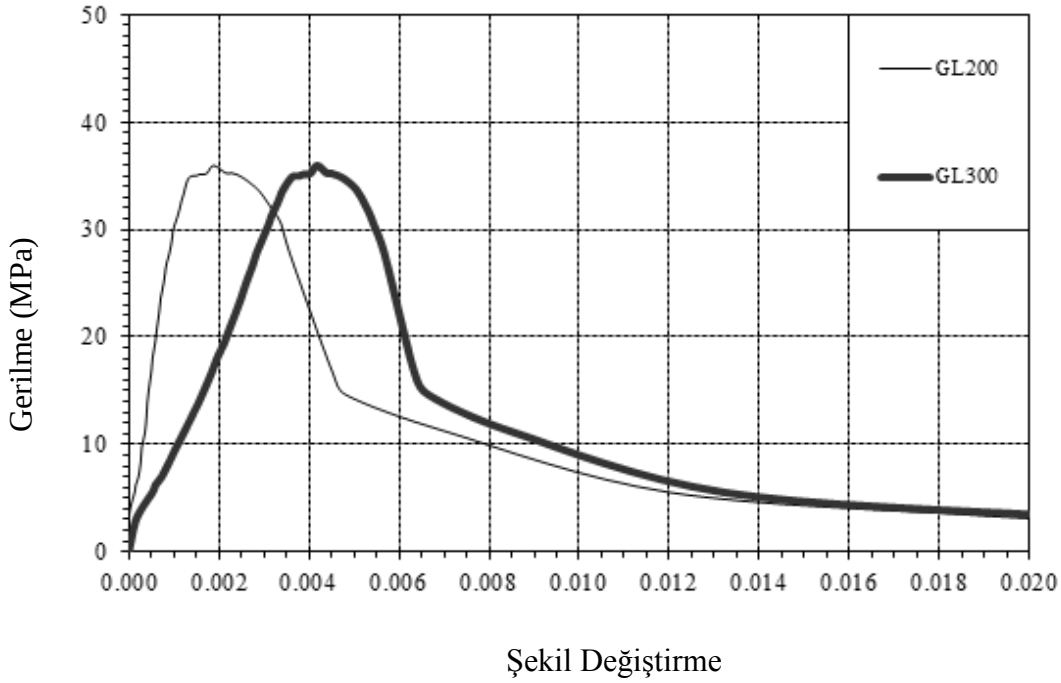
Şekil 4.22. Gerilme-Şekil Değiştirme İlişkisi (ÇBS3).



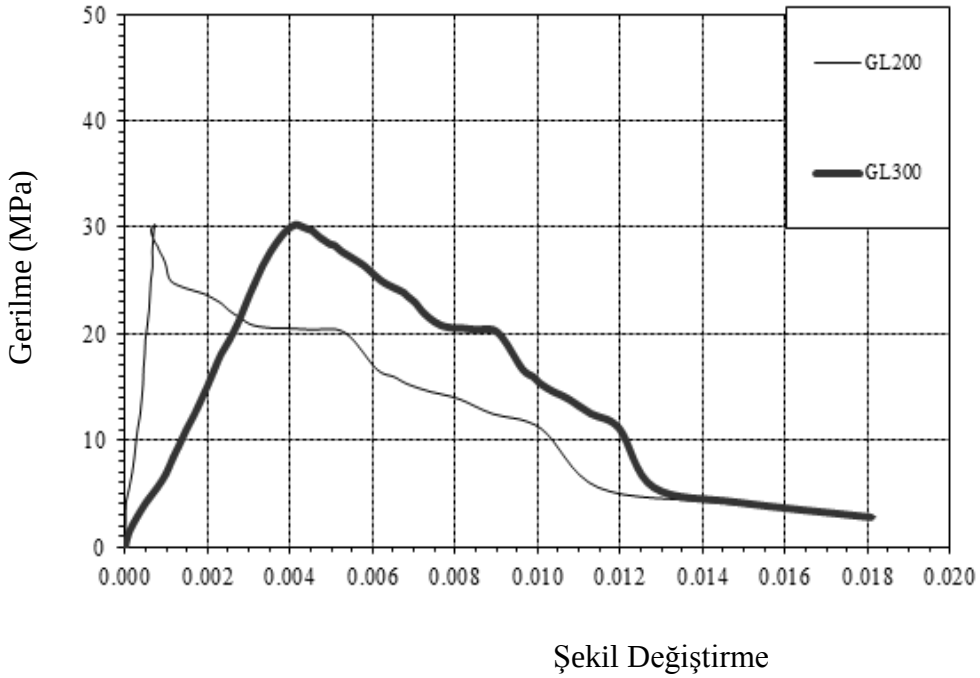
Şekil 4.23. Gerilme-Şekil Değiştirme İlişkisi (ÇZS1).



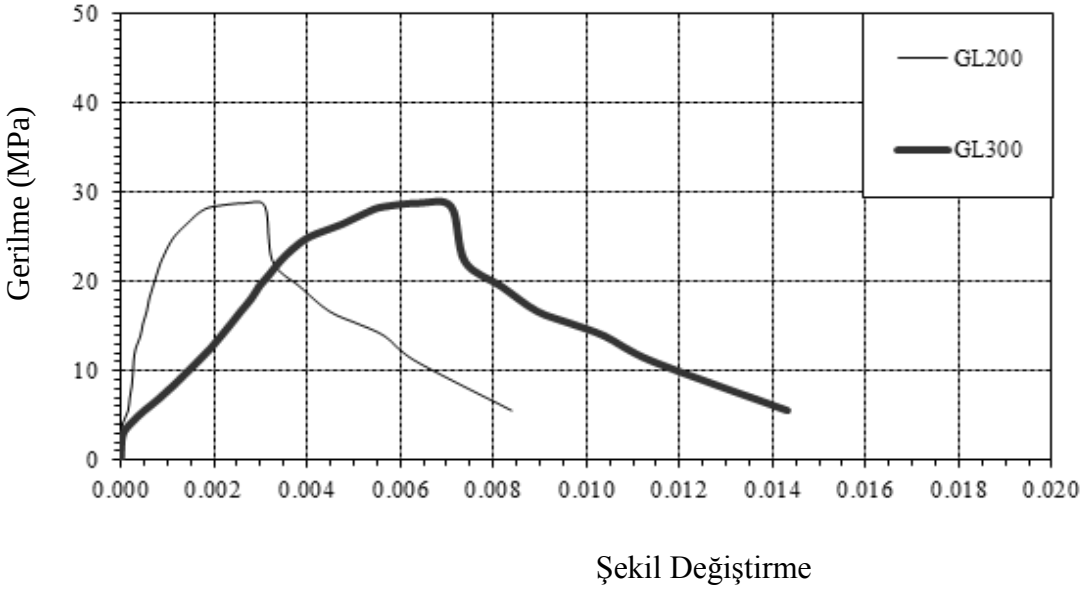
Şekil 4.24. Gerilme-Şekil Değiştirme İlişkisi (ÇZS2).



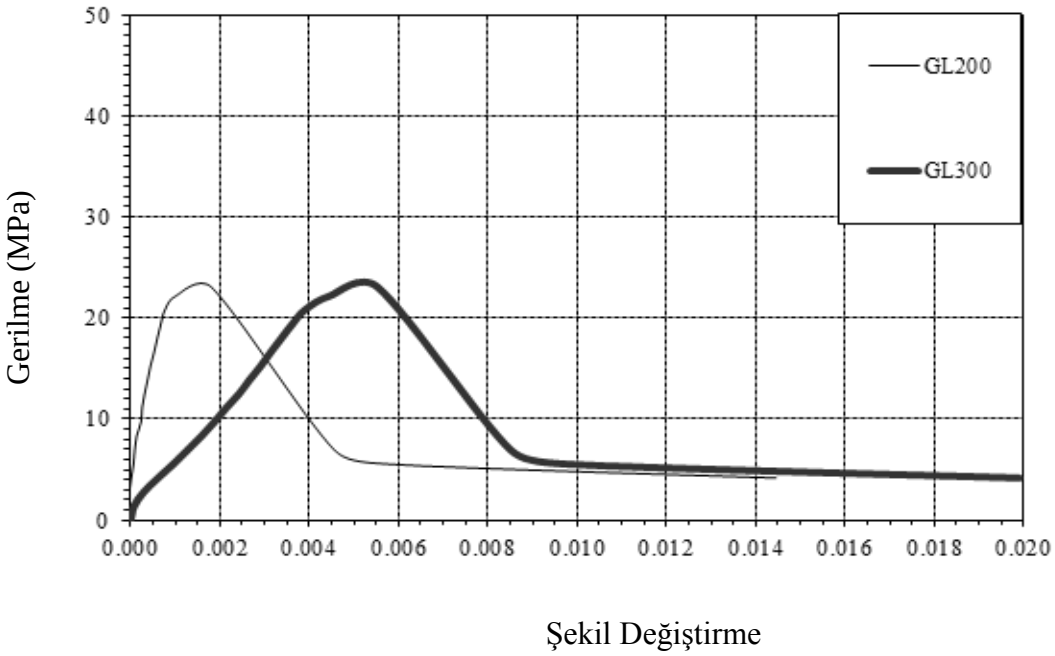
Şekil 4.25. Gerilme-Şekil Değiştirme İlişkisi (ÇZS3).



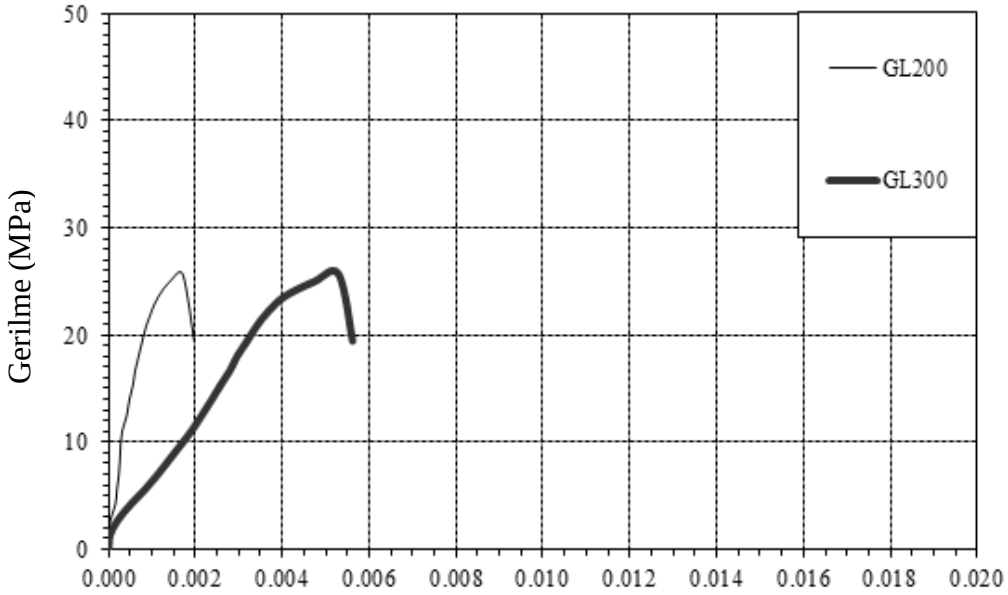
Şekil 4.26. Gerilme-Şekil Değiştirme İlişkisi (ÇZS4).



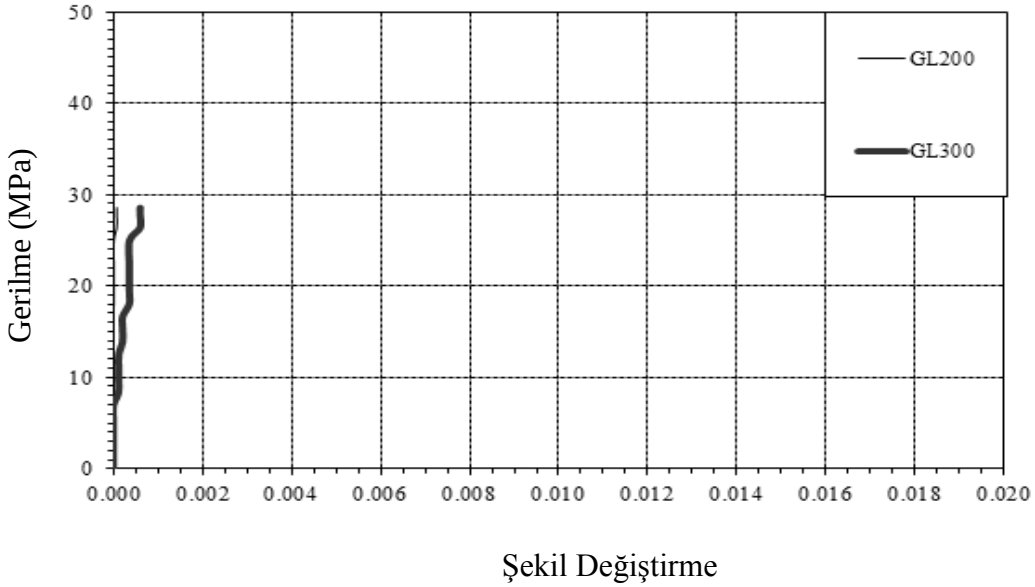
Şekil 4.27. Gerilme-Şekil Değiştirme İlişkisi (ÇSÖN-1).



Şekil 4.28. Gerilme-Şekil Değiştirme İlişkisi (ÇSÖN-2)



Şekil 4.29. Gerilme-Şekil Değiştirme İlişkisi (ÇSÖN-3).



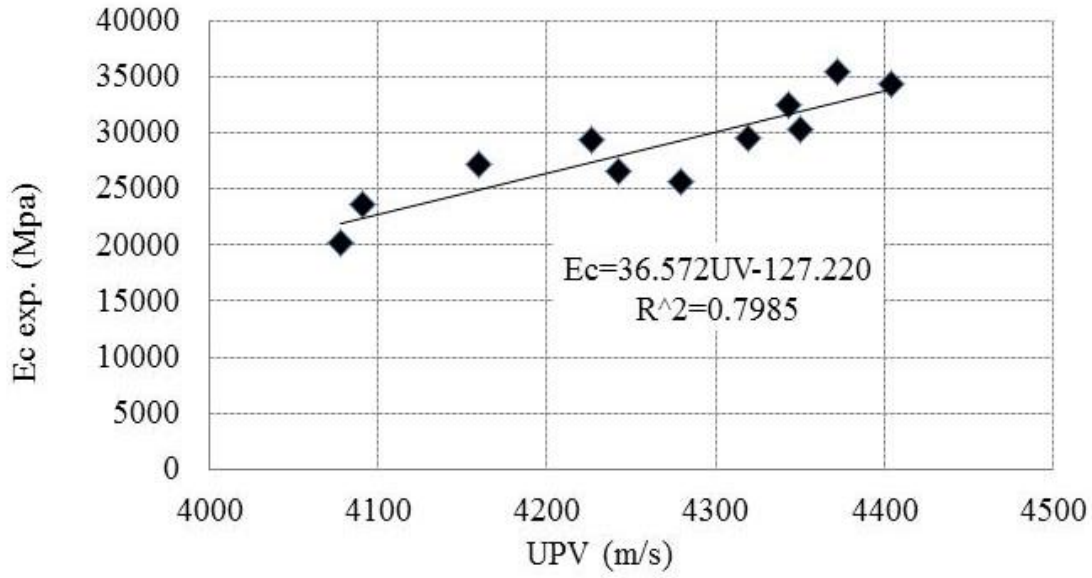
Şekil 4.30. Gerilme-Şekil Değiştirme ilişkisi (ÇSÖN-4).

5. SONUÇLARVE DEĞERLENDİRME

Bu bölümde deney sonuçları kullanılarak bazı modeller geliştirilecek ve performansları değerlendirilecektir.

5.1. Model Geliştirilmesi

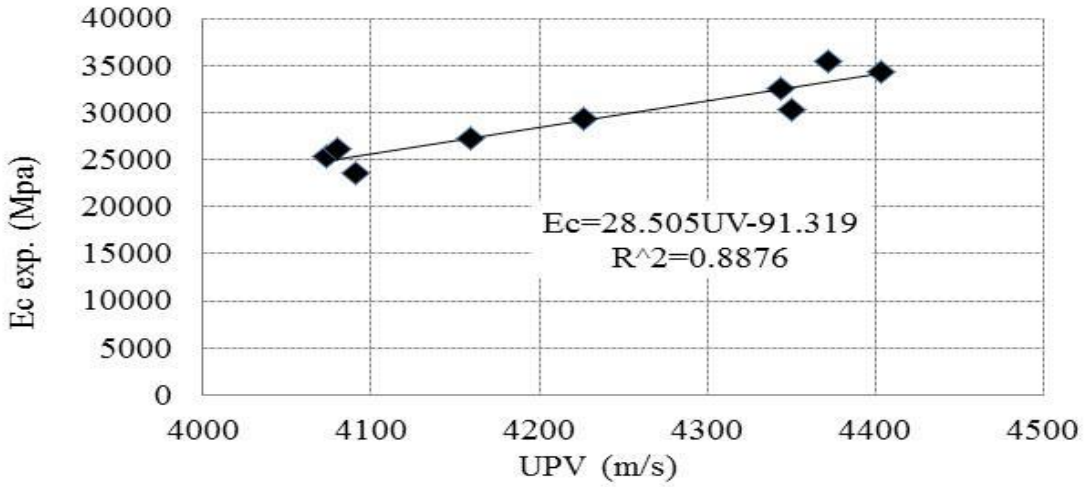
Bu bölümde deneysel çalışmada kullanılan toplam 19 adet silindir numunesini verileri kullanılacaktır. Bu numunelerde ölçülen UPV değerleri 4.0 ile 4.5 km/s arasında değişmektedir. Diğer taraftan beton basınç dayanımları 25 ile 50 MPa arasında değişmektedir. UPV ölçümlerinden elastisite modülünü tahmin edebilecek bir denklem bütün veriler kullanılarak elde edilmiştir. Analizler için Excel programı kullanılmıştır. Şekil 5.1'de deneysel olarak elde edilen UPV ile beton elastisite modülleri arasındaki ilişki verilmiştir. Bu veriler ile elde edilen denklem de bu şekilde verilmiştir. R^2 değerinin 0.8 değerine yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 5.1. UPV ve elastisite modülü arasındaki ilişki, denklem 1.

Daha iyi bir denklem elde edebilmek için aykırı bazı değerler çıkarılarak tekrar regresyon analizi yapılmıştır. Sonuç olarak Şekil 5.2'deki ilişki elde edilmiştir.

Bu şekilde ikinci bir denklem geliştirilmiştir. Şekil 5.2'de görüldüğü gibi R^2 yükselmiştir.



Şekil 5.2. UPV ve elastisite modülü arasındaki ilişki, denklem 2.

Şekil 5.1 ve 5.2'de görüldüğü gibi bu çalışmada iki denklem geliştirilmiştir. Bu denklemlerin geliştirilmesinde deneysel UV m/s and E_c MPa değerleri kullanılmıştır. Bu modellere ait denklemler Tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.1. Geliştirilen modeller

No		Denklem	R^2
1	Eq.1	Ec=36.572*UV-127.22	0.7985
2	Eq.2	Ec=28.505*UV-91.319	0.8876

*Ec ve UVsırası ile GPa ve km/s birimindedir.

5.2. Birinci Kısımdaki Modelin Performansı

Bu çalışmada geliştirilen modelin performansını incelemek için istatistiksel parametreler kullanılmıştır. Bu parametreler deneysel değerler ile tahmin edilen değerlerin oranı, rölatif hata (RE) ve ortalama karekök hata (RMSE)'dir. Performans değerlendirmesi için ayrıca saçılma diyagramları da kullanılmıştır. İstatiksel olarak en iyi model için ortalamanın bire yakın olması, RE ile RMSE'nin en küçük olması gerekmektedir. Ortalama, RE ve RMSE aşağıdaki denklemler ile hesaplanmıştır (Denklem 5.1-5.3).

$$\text{Average} = \frac{TheoreticalE_c}{ExperimentalE_c} \tag{5.1}$$

$$\text{RE} = \frac{(\text{experimentalE}_c - \text{theoreticalE}_c)}{\text{experimentalE}_c} \tag{5.2}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(\text{experimentalE}_c - \text{theoreticalE}_c)^2} \tag{5.3}$$

Bu çalışma kullanılan deneysel veriler yine bu çalışmada geliştirilen iki denklem ile tahmin edilmiştir. Bu tahminlerin doğruluk derecesi yukarıda açıklanan istatistiksel parametreler ile ölçülmüştür. Modellerimizin performansını literatürdeki mevcut modeller ile karşılaştırmak için literatürde mevcut 9 model kullanılmıştır. Tablo 5.2'de görüldüğü gibi bu modellerden üç adedi uluslararası standartlardan ve geri kalanlar farklı araştırmacılardan derlenmiştir.

Tablo 5.2. Literatürden derlenen modeller**.**

No	Araştırmacı	Denklem	R^2	Birim
1	Mohammed 1et al. (2016)	Ec= 1485e(0.181*UV^2)	*	Ec(MPa) UV(Km/s)
2	Mohammed 2 et al. (2016)	Ec= 1485e(0.181*UV^2)	*	Ec(MPa) UV(Km/s)
3	Mohammed 3 et al. (2016)	Ec= 1335e(0.186*UV^2)	0.685	Ec(MPa) UV(Km/s)
4	Mohammed 4 et al. (2016)	Ec= 1273e(0.181*UV^2)	0.535	Ec(MPa) UV(Km/s)
5	Al-Ameeri et al. (2013)	Ec=29.267*UV-90.933	0.9493	Ec(MPa) UV(Km/s)
6	Yıldırım and Şengül (2009)	Ec=6e(0.076*UV^2)	0.96	Ec(MPa) UV(Km/s)
7	ASTM C 597 (2003)	$E_d = \frac{\rho V^2 (1+\mu)(1-2\mu)}{(1-\mu)}$	*	E_d(Pa) V(Km/s) ρ (kg/m^3)
8	ACI 318 (2008)	$Ec = 4.73\sqrt{f_c}$	*	Ec(Gpa) f_c (Mpa)
9	TS500 (2000)	$Ec = 14000 + 3250\sqrt{f_c * 0.85}$	*	Ec(Mpa) f_c (Mpa)

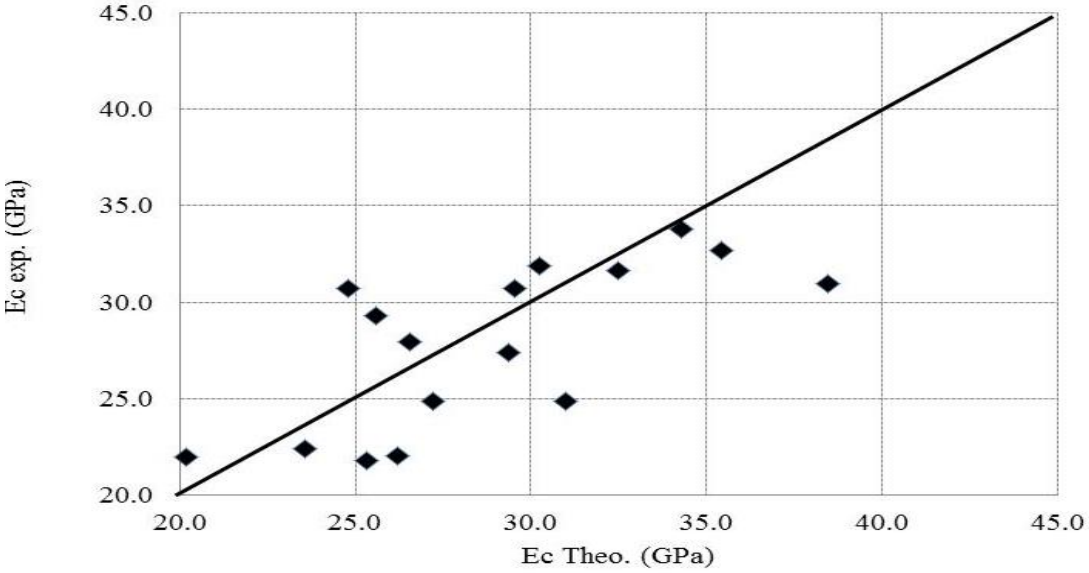
*Bazı modellerin R^2 değeri verilmemiştir.

Tablo 5.3'te verilen değerlendirme bu tez çalışmada kullanılan 19 adet veri ile yapılmıştır. İstatistiksel değerlendirmeye göre en iyi model için oranın bire yakın, Re ve RMSE'nin en küçük olması gerekmektedir. Bu tabloya göre oranı bire en yakın olan 1.041 ile Denklem 2'dir. Ayrıca RE ve RMSE değerleri de Denklem 2 için en küçük değerler elde edilmiştir. Sonuç olarak UPV'ye bağlı olarak beton elastisite modülünü tahmin etmede Denklem 2'nin en iyi model olduğu söylenebilir.

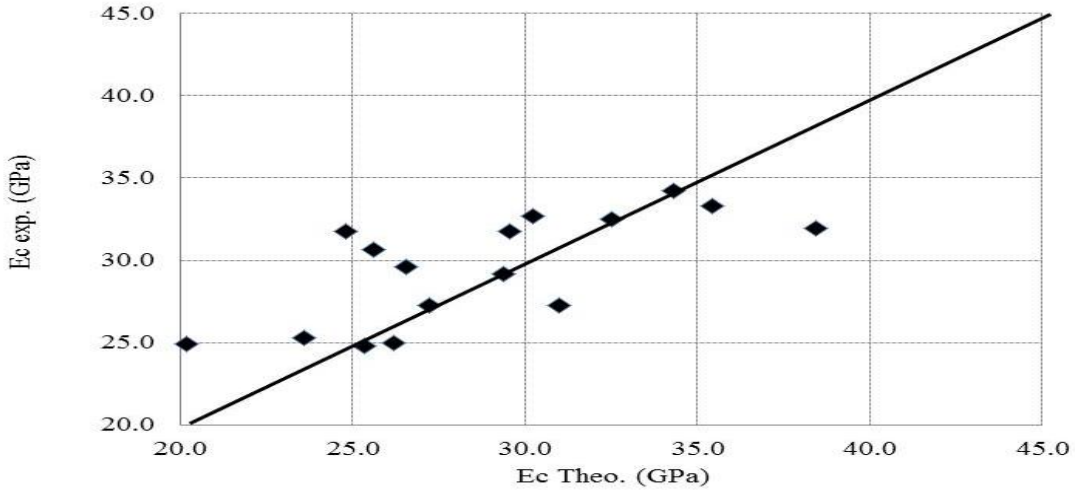
Daha ileri değerlendirme için her bir modele ait deneysel ve tahmin değerlerin karşılaştırmasını gösteren saçılma diyagramları da Şekil 3-13'te verilmiştir.

Tablo 5.3. Bu tez çalışmasında yapılan deney verileri kullanılarak performansların değerlendirilmesi.

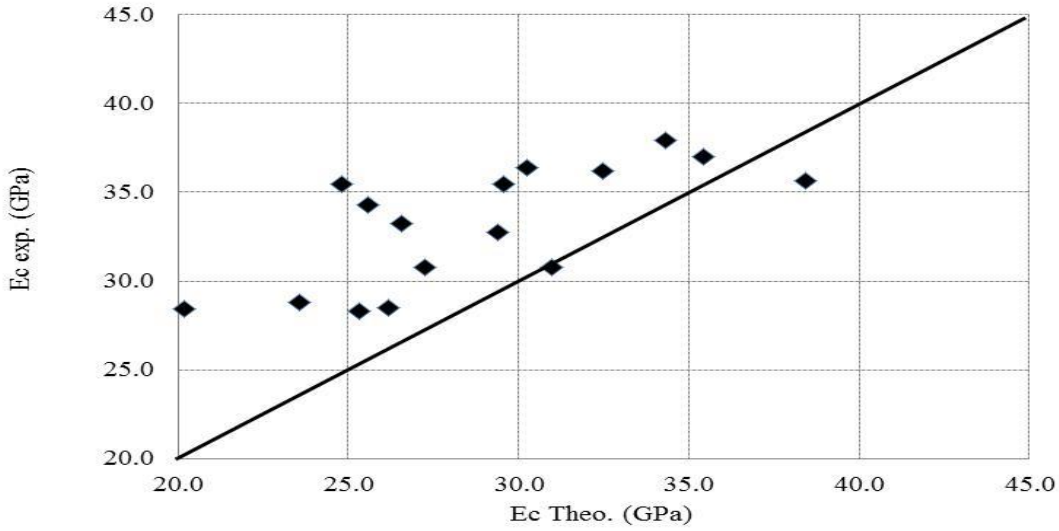
No	Ec	RE	Oran	RMSE
1	Denklem 1	0.1	0.975	3.358
2	Denklem 2	0.1	1.039	3.374
3	ASTM C 597 (2003)	0.47	1.334	13.169
4	Yıldırım and Şengül, (2009)	0.17	0.835	6.329
5	Mohammed 1et al. (2016)	0.37	1.366	11.26
6	Mohammed 2 et al. (2016)	0.35	0.648	10.864
7	Mohammed 3 et al. (2016)	0.34	1.343	10.730
8	Mohammed 4 et al. (2016)	0.18	1.171	6.181
9	TS500 (2000)	0.16	1.103	4.873
10	ACI 318 (2008)	0.13	0.953	4.857
11	Al-Ameeri et al. (2013)	0.2	1.168	5.459



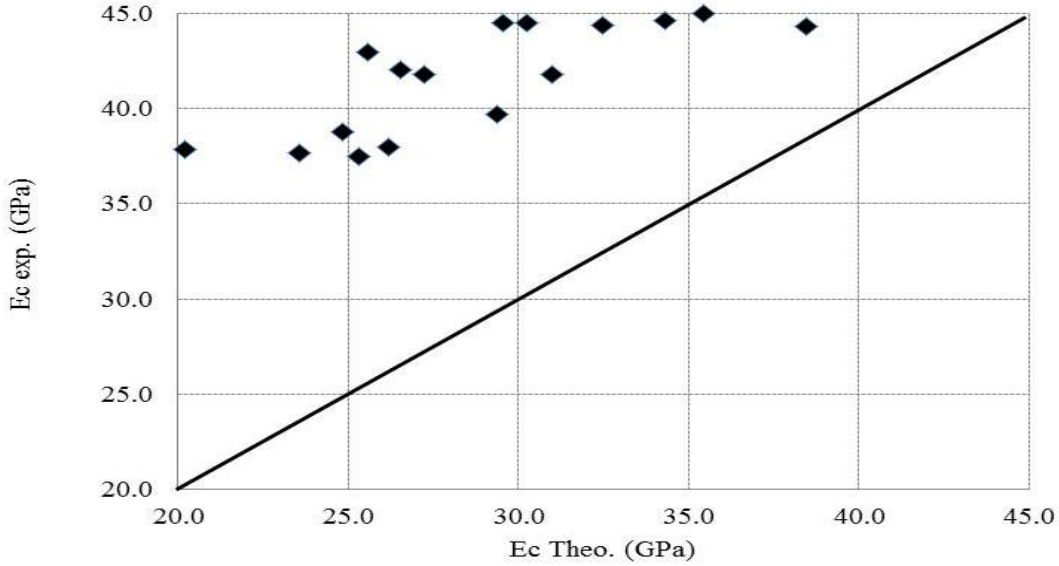
Şekil 5.3. Deneysel elastisite modülü tahmin edilen elastisite modülünün karşılaştırılması (Denklem 1)



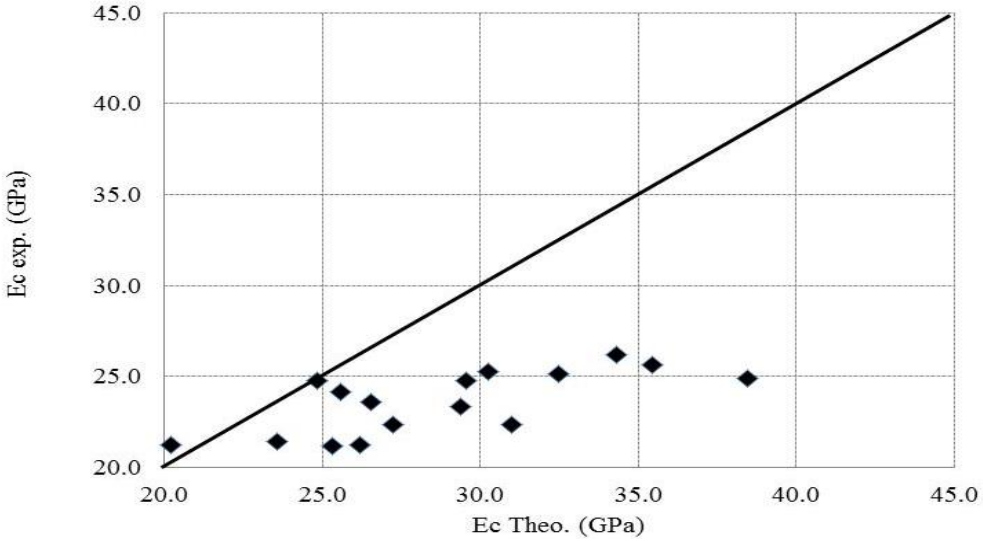
Şekil 5.4. Deneysel elastisite modülü tahmin edilen elastisite modülünün karşılaştırılması (Denklem 2).



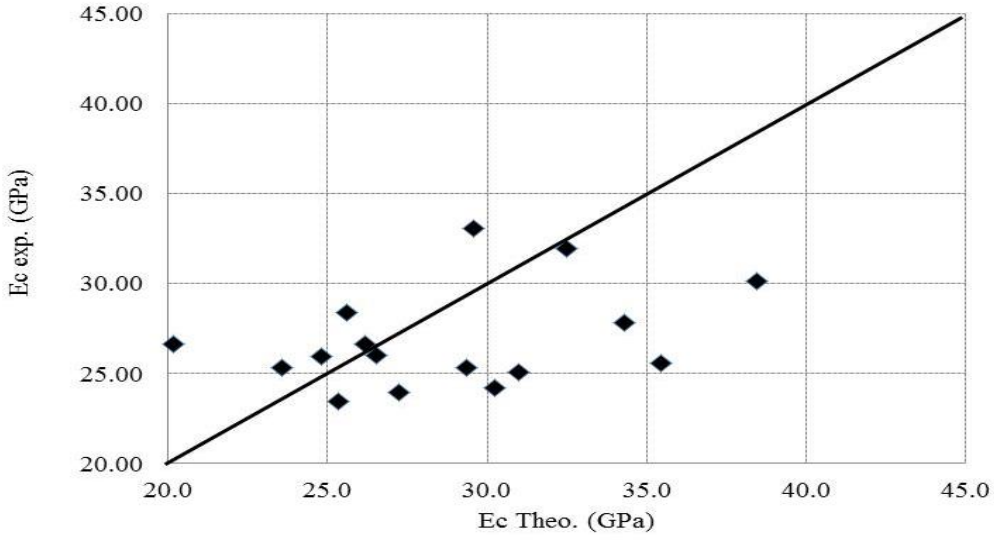
Şekil 5.5. Deneysel elastisite modülü tahmin edilen elastisite modülünün karşılaştırılması (Al-Ameeri et al. (2013)



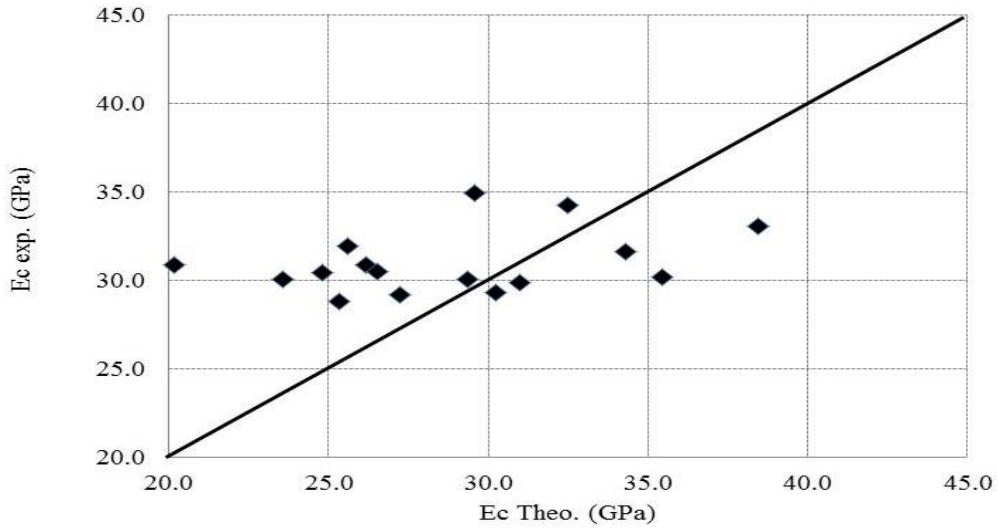
Şekil 5.6. Deneysel elastisite modülü tahmin edilen elastisite modülünün karşılaştırılması (ASTM C 597 (2003)



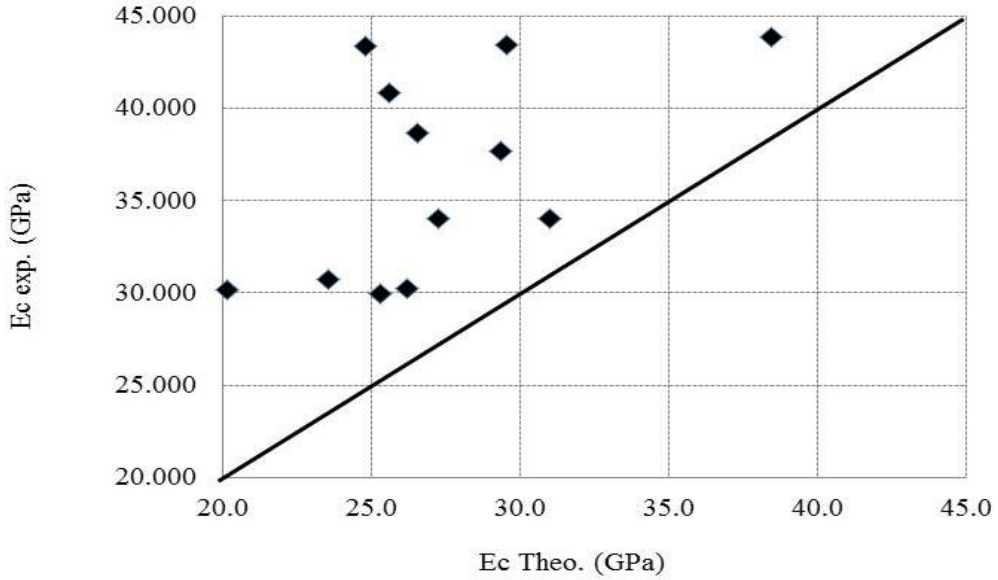
Şekil 5.7. Deneysel elastisite modülü tahmin edilen elastisite modülünün karşılaştırılması (Yıldırım and Şengül, (2009)



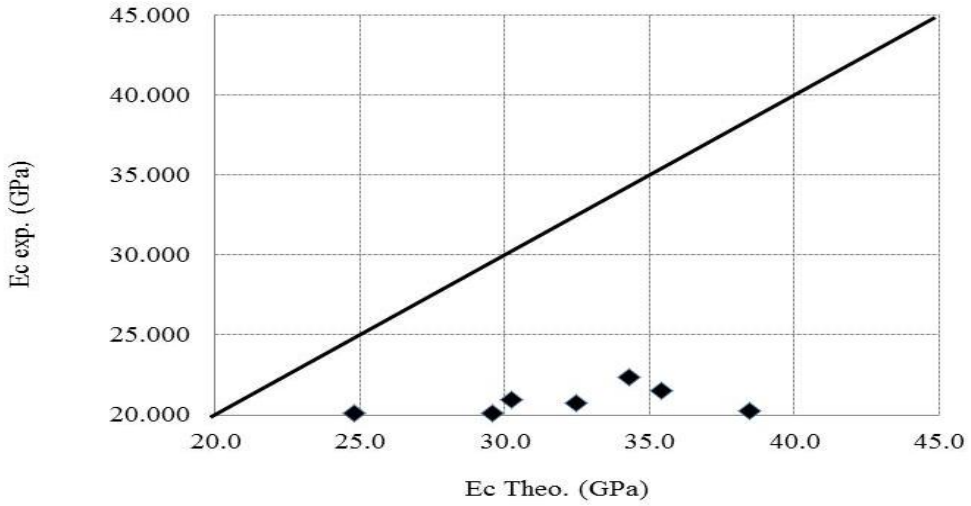
Şekil 5.8. Deneysel elastisite modülü tahmin edilen elastisite modülünün karşılaştırılması (ACI 318 (2008)



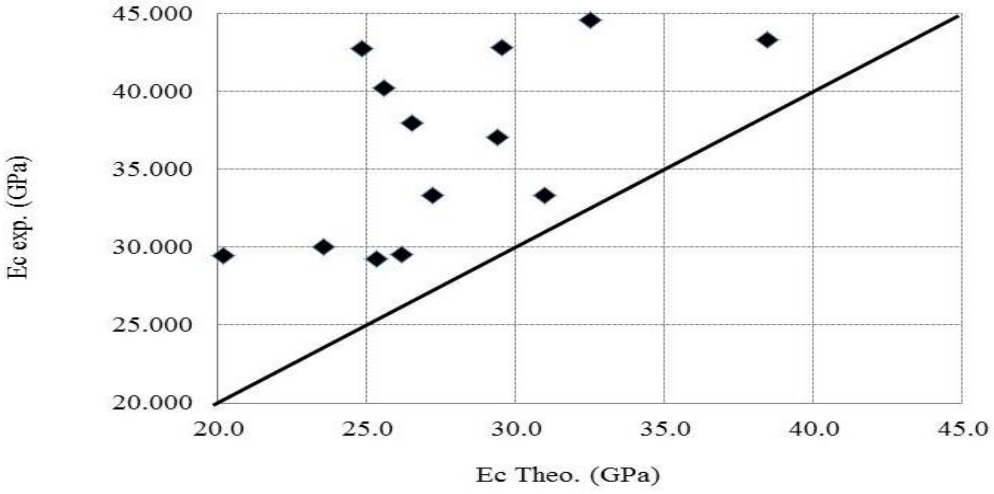
Şekil 5.9. Deneysel elastisite modülü tahmin edilen elastisite modülünün karşılaştırılması (TS500 (2000)



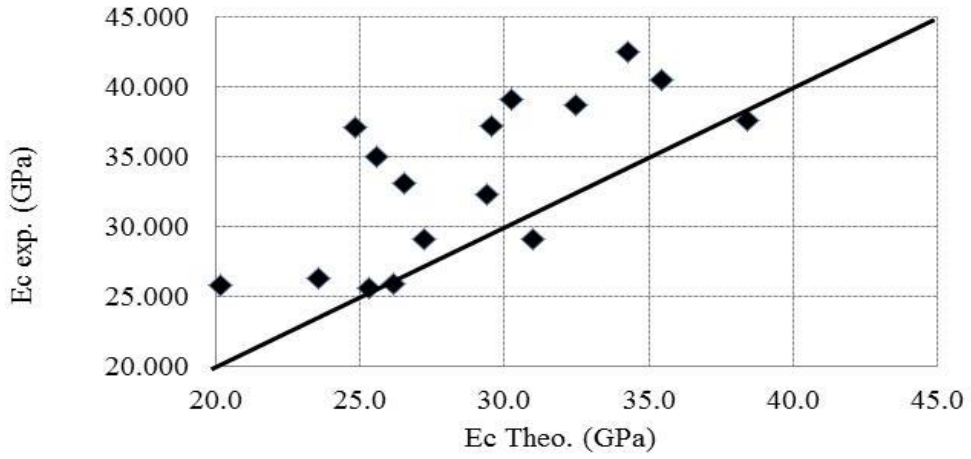
Şekil 5.10. Deneysel elastisite modülü tahmin edilen elastisite modülünün karşılaştırılması (Mohammed 1 et al. (2016)



Şekil 5.11. Deneysel elastisite modülü tahmin edilen elastisite modülünün karşılaştırılması (Mohammed 2 et al. (2016)



Şekil 5.12. Deneysel elastisite modülü tahmin edilen elastisite modülünün karşılaştırılması (Mohammed 3 et al. (2016)



Şekil 5.13. Deneysel elastisite modülü tahmin edilen elastisite modülünün karşılaştırılması (Mohammed 4 et al. (2016)

5.3. İkinci Kısımdaki Modelin Performansı

Daha gerçekçi ve objektif değerlendirme için modellerin geliştirilirken kullanılmayan ve literatürden derlenen veriler kullanılarak modellerin tahmin performansları istatiksel parametreler yardımı ile belirlenmiştir. Konu ile ilgili literatürde mevcut çok az sayıda deneysel çalışma olduğundan karşılaştırma için sınırlı sayıda (17 adet) veri toplanabilmiştir. Bu verilerden 9 tanesi Rizzo'ya ait (Rizzo et al. 2016) ve sekiz tanesi British Standard (BS1881 part203,1986) tarafından alınmıştır. İlk karşılaştırma Rizzo tarafından verilen veriler ile yapılmıştır ve bu veriler 5.4'te sunulmuştur. Bu veriler kullanılarak yapılan değerlendirme Tablo 5.4'te sunulmuştur. Bu tabloya göre oranı bire en yakın olan Denklem 2'dir. RE ve RMSE'si en küçük olan Yıldırım and Şengül 2009 olmasına karşılık Denklem 2'de ikinci sıradadır.

Tablo 5.4. Rizzo et al. 2016 verileri.

No	UV (km /s)	Ec (Gpa)
1	4.692	34.4
2	4.73	34.8
3	4.74	35.6
4	4.34	31.8
5	4.456	32.1
6	4.407	31.4
7	4.367	29.6
8	4.344	29.6
9	4.33	29.2

Tablo 5.5. Rizzo et al. 2016 verileri ile performans değerlendirmesi.

No	Araştırmacı	RE	Oran	RMSE
1	Denklem 2	0.139	1.139	5.36
2	Denklem 1	0.149	1.147	6.38
3	Mohammed 1 et al. (2016)	0.835	1.835	31.58
4	Mohammed 2 et al. (2016)	0.207	0.793	7.45
5	Mohammed 3 et al. (2016)	0.828	1.828	31.6
6	Mohammed 4 et al. (2016)	0.573	1.573	23
7	Al-Ameeri. (2013)	0.259	1.259	8.89
8	Yıldırım and Şengül. (2009)	0.129	0.871	4.29

İkinci karşılaştırma için British Standardına (BS1881 Part 203,1986) ait veriler kullanılmıştır. Bu veriler için karşılaştırmalar Tablo 5.6'da verilmiştir. Bu tabloya göre oranı bire en yakın olan Yıldırım and Şengül 2009 tarafından önerilen denklemdir. Buna karşılık RE ve RMSE'si en küçük olan Denklem 2'dir.

Tablo 5.6. BS1881 part 203,1986 verileri.

No	UV (km/s)	UV^2	Ec (GPa)
1	3.6	12.96	13
2	3.8	14.44	15
3	4	16	18
4	4.2	17.64	22
5	4.4	19.36	27
6	4.6	21.16	34
7	4.8	23.04	43
8	5	25	52

Tablo 5.7. BS1881 Part 203, 1986 verileri ile performans değerlendirmesi.

No	Araştırmacı	RE	Oran	RMSE
1	Eq.2	0.165	1.129	4.49
2	Eq.1	0.223	1.004	5.47
3	Mohammed 1 et al. (2016)	0.799	1.799	38.82
4	Mohammed 2 et al. (2016)	0.190	0.810	4.39
5	Mohammed 3 et al. (2016)	0.785	1.785	39.6
6	Mohammed 4 et al. (2016)	0.542	1.542	29.1
7	Al-Ameeri et al. (2013)	0.284	1.284	7.60
8	Yildirim and Sengul. (2009)	0.147	1.003	5.63

Üçüncü karşılaştırma için Rizzo and British Standard'ın verileri beraber kullanılmıştır. Bu veriler için performans değerlendirmesi Tablo 5.8'de verilmiştir. Bu tabloya Yıldırım and Şengül 2009 ve Denklem 2 tarafından verilen modeller en iyi performansa sahiptirler.

Tablo 5.8. Rizzo et al. 2016 ve BS1881 part 203, 1986 verileri ile performans değerlendirmesi.

No	Araştırmacı	RE	Oran	RMSE
1	Denklem 2	0.152	1.135	4.97
2	Denklem 1	0.184	1.079	5.97
3	Mohammed 1 et al. (2016)	0.818	1.818	35.17
4	Mohammed 2 et al. (2016)	0.199	0.801	6.20
5	Mohammed 3 et al. (2016)	0.808	1.808	35.58
6	Mohammed 4 et al. (2016)	0.558	1.558	26.08
7	Al-Ameeri et al. (2013)	0.271	1.271	8.31
8	Yildirim and Sengul. (2009)	0.137	0.933	4.97

Son karşılaştırma bu çalışmada yapılan deneyler dahil olmak üzere bütün veriler karıştırılarak yapılmıştır. Bu veriler için performans değerlendirmesi Tablo 5.9'da verilmiştir. Bu tabloya göre oranı bire en yakın olan Denklem 2'dir. Ayrıca RE ve RMSE değerleri en küçük olan da Denklem 2'dir. Sonuç olarak Denklem 2'nin elastisite modülünün UPV'ye bağlı olarak tahmin etmedeki performansının en iyi olduğu söylenebilir.

Table 5.9. Rizzo et al. 2016, BS1881 part 203, 1986 ve bu tez çalışmasında yapılan deney verileri ile performans değerlendirmesi.

No	Araştırmacı	RE	Oran	RMSE
1	Denklem 2	0.123	1.088	4.27
2	Denklem 1	0.144	1.029	4.94
3	Mohammed 1 et al. (2016)	0.599	1.599	26.43
4	Mohammed 2 et al. (2016)	0.273	0.727	8.78
5	Mohammed 3 et al. (2016)	0.583	1.583	26.61
6	Mohammed 4 et al. (2016)	0.376	1.370	19.21
7	Al-Ameeri et al. (2013)	0.226	1.221	7.07
8	Yildirim and Sengul. (2009)	0.154	0.885	5.67

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada betonun elastisite modülünü UPV ölçümüne göre belirlemek için bir gurup deneysel ve amprik çalışmalar yapılmıştır. Deneysel çalışma kapsamında silindir numuneler üzerinde ultra ses dalgası geçiş hızı (UPV) ve basınç deneyleri yapılmıştır. Deneyler toplam 19 adet 150 mm çapında ve 300 mm yüksekliğinde silindir numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. UPV deneyleri için pusso cihazı kullanılmıştır. Buna karşılık basınç deneylerinde sofistike bir ölçüm düzeneği ile beton elastisite modülleri deneysel olarak belirlenmiştir. Bu deneysel veriler arasında regresyon analizleri yapılarak beton elastisite modülünü UPV ölçümlerine dayalı tahmin edebilen iki farklı model geliştirilmiştir. Literatürdeki veriler ve mevcut bazı modeller kullanılarak yapılan karşılaştırmalarda aşağıda denklemi verilen ve bu çalışmada geliştirilen modelin en iyi tahmin performansına sahip olduğu anlaşılmıştır,

$$E_c=28.505*UPV-91.319 \qquad 6.1$$

Bu denklemde E_c beton statik elastisite modülü, UPV ultrases dalgasının beton içinde ilerleme hızıdır. Bu denklem kullanılırken denklemin daha çok basınç dayanımı 24-49 MPa olan ve UPV ölçümleri 4.0-4.4 km/s olan durumlar için geçerli olacağı göz önünde bulundurulmalıdır.

7. KAYNAKLAR

ACI 318 (2008). Building code requirements for structural concrete, American Concrete Institute, USA.

Al-Ameeri, A. S., Al-Hussain, K., Essa, M. 2013. Predicting a Mathematical Models of Some Mechanical Properties of Concrete from Non-Destructive Testing. Vol.3, No.10, ISSN 2224-5790 (Paper) ISSN 2225-0514.

ASTM C597 (2003). Standard Test Method for Pulse Velocity through Concrete, Dec. 15, 2009. Published February 2010.

Bahavan, M. 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.

Baqer, A., A. 2008. Assessment of concrete compressive strength by ultrasonic non-destructive test. B.SC.in building and construction enginering, 1991.

Bedirhanoğlu, 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.

BS 8110-2:1985 Structural use of concrete. Code of practice for special circumstances: BS EN 1992-1-1:2004+A1:2014.

Bullock, R.E. and Whitehurst, E.A. 1959. Effect of certain variables on pulse velocities through concrete, *Highway Res. Board Bull.,* 206, 37.

Bungey, J. H., Millard S.G. 1996.Testing of Concrete in Structures. Third Edition, ISBN 0-203-48783-4 Master e-book ISBN.

Diogenles, H., J., F. Cossolino, L., C. Pereira, A., H., A. Eldebs, M., K. Eldebs, A., L., H. 2011. Determination of modulus of elasticity of concrete from the

acoustic response. IBRACON Volume 4, Number 5 (December, 2011) p. 792-813, ISSN 1983-4195.

Hannachi, S. Guetteche, M., N. 2014. Review of the ultrasonic pulse velocity Evaluating concrete compressive strength on site. Scientific Cooperations International Workshops on Engineering Branches 8-9 August 2014, Koc University, ISTANBUL/TURKEY.

Hendee, W.,R. Ritenour, A., R. 2002. Medical Imaging Physics. Fourth Edition, ISBN: 0-471-38226-4.

Hong, R. 2012. Damage detection in fiber reinforced concrete with ultrasonic pulse velocity testing . University of Maryland, College Park, in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science.

Jones, R. 1962.Non-Destructive Testing of Concrete, Cambridge University Press, London.

Kaplan, M.F. 1959.The effects of age and water to cement ratio upon the relation between ultrasonic pulse velocity and compressive strength of concrete, *Mag. Concr*. Res., 11(32), 85.

Kumar, S. Mahto, D. 2013. Recent Trends In Industrial And Other Engineering Applications Of Non Destructive Testing: A Review. International Journal of Scientific & Engineering Research. Volume 4, Issue 9, September-2013 183 ISSN 2229-5518 IJSER.

Mahmood, A. 2008. Structural Health monitoring using NDT of concrete. Department of Civil Engineering, National Institute of Technology, Rourkela-769008.

Mix, E., P. 2005. Introduction to Nondestructive Testing. A Training Guide, Second Edition. ISBN: 978-0-471-42029-3.

Mohammed, T., D. Mahmood, A., H. 2016. Effects of maximum aggregate size on UPV of brick aggregate concrete. Ultrasonics 69 (2016) 129–136.

Muftah, F., Sani, S., H.,M. 2012. Pulse Velocity and Rebound Hammer Test on Reinforced Concrete Slab in the Former Civil Engineering Laboratory Building. Faculty of Civil Engineering, Universiti Teknologi Mara Pahang, Malaysia, Reference Number: 6-1-11-8444.

Neville, A., M. 1995. Properties of concrete "4th edition, Longman Group Limited.

Rizzo, P.,Nasrollahi, A., Deng, W., Vandenbossche, J., M. 2016. Detecting the Presence of HighWater-to-Cement Ratio in Concrete Surfaces Using Highly Nonlinear Solitary Waves. 3700 O'Hara Street, 729 Benedum Hall, Pittsburgh, PA 15261.

Star207-INR.2012.Non-destructive assessment of concrete structures: Reability and limits of single and combined techniques. ISBN 978-94-007-2735-9.

Tanasoiu, V., Micleaa, C. Tanasoiua, C. 2002. Nondestructive testing techniques and piezoelectric ultrasonics transducers for wood and built in wooden structures. Journal of Optoelectronics and Advanced Materials Vol. 4, No. 4, December 2002, p. 949 – 957.

Tarun, R. N., Popovics, J. S., Malhotra, V. M. 2004. The Ultrasonic Pulse Velocity Method.

TS (2003). Testing hardened concrete - Part 3: Compressive strength of test specimens EN 12390-3 Nisan 2003 ICS 91.100. 30,Necatibey Caddesi No.112 Bakanlıklar /ANKARA.

TS500 (2000). Betonarme yapıların tasarım kurallar, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara Türkiye.

Yıldrım, H. Şengül, O. 2011. Modulus of elasticity of substandard and normal concrete, Construction and Building Materials, 25, 1645-1652.

WEB

(I1)https://www.ndeed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/ Physics/attenuation.htm.

ÖZGEÇMİŞ

01.01.1989 yılında Irak Federal Cumhuriyetinin Duhok ilinin Amedi ilçesine bağlı Hetot köyünde dünyaya geldim. İlk öğrenimimi Irak'ın Duhok iline bağlı Amedi ilçesinin Deralock kasabasında Amedi ilk öğretim okulunda 1995-2004 yılları arasında tamamladım. Lise öğrenimimi yine Irak Federal Cumhuriyetinin'in Duhok iline bağlı Amedi ilçesinin Shiladze kasabasında Deralock lisesinde 2004-2008 yılları arasında tamamladım.

Üniversite eğitimimi 2006-2010 yılları arasında Zaho Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik bölümünde tamamladım. 2011 yılında Duhok iline bağlı Amedi ilçesinin Amedi eğitim müdürlüğüne bağlı Shiladze lisesinde öğretmen olarak görevime başladım ve halen orada görev yapmaktayım.

T.C.
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI İNTİHAL RAPORU FORMU

ÖĞRENCİ BİLGİLERİ	
ADI VE SOYADI	VaheelSaeed ABDULLAH
ÖĞRENCİ NO	13802308
EĞİTİM – ÖĞRETİM YILI	
YARIYIL	x Güz☐Bahar
ANABİLİM DALI	FİZİK
PROGRAM	Yüksek Lisans
TEZ KONUSU	Ultrasonik dalga hızı ölçümü yardımıyla betonun elastisite modülünün belirlenmesi
İNTİHAL RAPORU BİLGİLERİ	
RAPOR TÜRÜ	Tez Savunma SınavıSonrası
SAYFA SAYISI	85
BENZERLİK ORANI	%9
RAPORLAMA TARİHİ	17/04/2017

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın kapak sayfası, giriş, ana bölümler, sonuç ve tartışma kısımlarından oluşan toplam 85 sayfalık kısmına ilişkin, 17/04/2017 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından turnitinadlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %9 'dur.

Uygulanan filtrelemeler:

☐Kabul/Onay sayfaları hariç,
☐Kaynakça hariç
☐Alıntılar hariç/dâhil
☐Diğer

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Programlarda Tez Çalışması İntihal Raporu Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edilmesi durumunda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

(İmza)

Vaheel Saeed ABDULLAH

(İmza) 17./.04../2017 Prof.Dr.Mehmet Enver AYDIN **Tez Danışmanı**	(İmza) 17.../04.../2017 Prof.Dr.İrfan AÇIKGÖZ **Anabilim Dalı Başkanı**

T.R.

DICLE UNIVERITY

INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE

DETERMINING YOUNG MODULUS OF CONCRETE WITH ULTRASONIC WAVE VELOCITY MEASUREMENT

Vaheel Saeed ABDULLAH

MASTER THESIS

DEPARTMENT OF PHYSICS

DİYARBAKIR

September-2016

T.R.

DICLE UNIVERITY

INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE

DETERMINING YOUNG MODULUS OF CONCRETE WITH ULTRASONIC WAVE VELOCITY MEASUREMENT

Vaheel Saeed ABDULLAH

MASTER THESIS

DEPARTMENT OF PHYSICS

DİYARBAKIR

September-2016

T.R.

DICLE UNIVERSITY

DIRECTORATE OF SCIENCE INSTITUTE

DİYARBAKIR

This study titled as"Determining Young Modulus of Concrete with Ultrasonic Wave Velocity Measurements" prepared by Vaheel ABDULLAH has been accepted as a master thesis on behalf of our jury at head of physics department.

Examining Commite Members

	Title	Name Surname
Head of commite	:Prof.Dr.	M.EnverAYDIN
Member	:Associate.Prof.Dr.	Taha TAŞKIRAN
Member	:Assist.Prof.Dr.	Dilan ALP

Date of presentation: 26/09/2016

I approve the accuracy of the above information

.../...../2016

(SEAL)

ACKNOWLEDMENT

I am glad to work with my two advisors Prof.Dr. Enver AYDIN and Asisstant Prof. Dr. İdris BEDIRHANOĞLU.

I would to thanks to Zeki Şimşek, Saruhan Bedirhanoğlu, Ziwar Zebari, Ali Mohammed and Kadri Yousif for their help during experiments. Furthermore I would like to thanks to department of Civil Engineering and physics in Dicle University for their facilities that they provide.

CONTENT

Page.

ACKNOWLEDMENT ..... **I**
CONTENT ..... **II**
ÖZET ..... **IV**
ABSTRACT ..... **V**
LIST OF TABLES ..... **VI**
LIST OF FIGURES ..... **VII**
ANNOTATION AND SYMBOLS ..... **IX**
1. INTRODUCTION **1**
2. LITERATURE REVIEW **5**
2.1. Theory of Pulse Propagation through Concrete 5
2.2. Determination of Pulse Velocity 6
2.2.1. Direct Transmission or Opposite Faces 7
2.2.2. Semi-direct Transmission or Adjacent Faces 7
2.2.3. Indirect or Surface Transmission (The Same Face Transmission) 8
2.3. Poisson ratio 8
2.4. Attenuation of Ultrasonic Wave 9
2.5. Factors Affecting on Ultrasonic Pulse Velocity 10
2.5.1. Effect of Aggregate on Pulse Velocity 10
2.5.2. Effect of Reinforcing Concrete on pulse velocity 11
2.5.3. Transducer Contact Surface 11
2.5.4. Temperature of Concrete Specimen 11
2.6. Relation between Static and Dynamic Modulus of Elasticity 12
3. MATERIAL AND METHOD **15**
3.1. Ultrasonic Pulse Velocity Tester 15
3.2. The Characteristics of Apparatus 16
3.3. Objective of Ultrasonic Pulse Velocity 17
3.4. Principle of Ultrasonic Pulse Velocity 17
3.5. Using Ultrasonic 19
3.6. Ultrasonic Pulse Velocity Measurement Method 20

4. EXPERIMENTAL RESULT 21
4.1. Specimens 22
4.2. Properties of Concrete 23
4.3. Ultrasonic Pulse Velocity Test 24
4.4. Test Procedure Compression Strength Test 26
4.5. Measuring Setup 28
4.6. Compression Test Procedure 30
4.7. Experimental Results 31
4.8. Stress-Strain Relationship 32
5. DISCUSSION 45
5.1. Construction of the model 45
5.2. Performance of the Model Part One 46
5.3. Performance of the Model Part Two 54
6. CONCLUSION 59
7. REFERENCES 60
CURRICULUM VITAE 65

ÖZET

ULTRASONIK DALGA HIZI ÖLÇÜMÜ YARDIMIYLA BETONUN ELASTİSİTE MODÜLÜNÜN BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Vaheel Saeed ABDULLAH

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

2016

Tahribatsız test metodu, malzemeye zarar vermemesi nedeniyle çok önem verilen bir yöntemdir. Ultrases dalgası yayılma hızı test metodu (Utra puls velocity testing, UPV), malzemenin mekanik özelliklerinin ölçümünde en çok tercih edilen metotlardan biridir. Bu çalışmada betonun elastisite modulü, UPV metodu kullanılarak araştırılmıştır. Mikrosaniye düzeyinde ultrases dalgasının, malzemenin içinden geçiş süresi ultrases zaman ölçüm cihazı (55 kHz'lik iki transduserli Passo olarak bilinen zaman ölçüm cihazı) ile yapılmıştır. Daha sonra aynı numuneler için basınç deneyleri yapılmıştır.

Deneysel elastisite modülleri basınç testinden elde edilen gerilme (σ)–şekil değiştirme (ε) grafiğinin doğrusal kısmının eğiminden elde edilmiştir. UPV metodla elde edilen hız ile deneysel elastisite modülü değerleri arasında regrasyon analizi yapılarak beton elastisite modülünü UPV değerine bağlı olarak tahmin edebilen denklemler elde edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen en iyi model literatürde mevcut modellerle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada, farklı araştırmacıların deneysel verilerde kullanılmıştır. Sonuç olarak bu çalışmada önerilen modellerin, diğer modellerle karşılaştırıldığında iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Elastisite modülü, basınç dayanımı, beton, ultrases, dalga hızı, dalga yayınımı.

ABSTRACT

DETERMINING YOUNG MODULUS OF CONCRETE WITH ULTRASONIC WAVE VELOCITY MEASUREMENT

MSc THESIS

Vaheel Saeed ABDULLAH

DEPARTMENT OF PHYSICS
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DICLE UNIVERSITY

2016

Non-destructive testing (NDT) method is very important due to not damage the material. Ultrasound pulse velocity (UPV) testing is one of the most chosen method for the NDT to measure the mechanical properties of the material. In this study elasticity modulus of concrete was investigated by UPV testing method. The passage time measurement of ultrasound wave at microsecond (μs) level through the bulk of material were made by ultrasound time measurement device (called as PASSO with two transducers working at 55 kHz). After UPV measurement, compression test was carried out for the same specimens.

Experimental elasticity modulus was obtained from the slope of the linear part of stress (σ)-strain (ε)graph of compression test. A few models was developed by correlation of UPV and experimental elasticity modulus values. Performance of our models were tested and compared with other models via using data from different researchers. It was seen that our models found to give reasonable results in comparison with other models.

Keywords: Elasticity modulus, compressive strength, concrete, ultrasound, pulse velocity, wave motion.

TABLO LİSTESİ

Table Nu. **Page**

Table 2.1. Effect of temperature on pulse transmission 12
Table 4.1. Mix proportion of concrete 24
Table 4.2. Experimental results 32
Table 4.3. Data for (ÇAAS1) 34
Table 5.1. Equation of study model 46
Table 5.2. Models from literature 48
Table 5.3. Performance of the models by using our data 49
Table 5.4. (Rizzo et al. 2016) data 54
Table 5.5. Performance with utilizing (Rizzo et al. 2016) data 54
Table 5.6. Data of (BS1881 part203,1986). 55
Table 5.7. Performance with utilizing British Standard 55
Table 5.8. Performance with utilizing data from 56
Table 5.9. Performance with utilizing study data. 57

ŞEKİL LİSTESİ

Figure Nu. **Page**

Figure 2.1. Particle motion and wave propagation with a. longitudinal wave, b. shear wave, c. surface wave....6
Figure 2.2. Direct transmission arraignment....7
Figure 2.3. Semi-direct transmission arrangement. 8
Figure 2.4. Indirect transmission arrangement....8
Figure 3.1. Ultrasonic transducer....15
Figure 3.2. Ultrasonic device with its transducers 55 kHz....16
Figure 3.3. Schematic diagram of ultrasonic pulse velocity circuit....19
Figure 4.1. General view of the Cagdas Apt....21
Figure 4.2. General view of the columns....22
Figure 4.3. Cylinder specimens....23
Figure 4.4. Concrete work at different stories....23
Figure 4.5. The Posso apparatus that used in this study....25
Figure 4.6. Compressive strength machine that used in this study.. 27
Figure 4.7. Titling the cylinders....28
Figure 4.8. Test setup for compression test....29
Figure 4.9. Specimen under test breaking....30
Figure 4.10. Tests for cylinder when failed 33
Figure 4.11. Relationship between stress and strain for specimen (ÇAAS1) 35
Figure 4.12. Relationship between stress and strain for specimen (ÇAAS1) 35
Figure 4.13. Relationship between stress and strain for specimen (ÇAAS2) 36
Figure 4.14. Relationship between stress and strain for specimen (ÇAAS3) 36
Figure 4.15. Relationship between stress and strain for specimen (ÇAAS4) 37
Figure 4.16. Relationship between stress and strain for specimen (ÇAS1)....37
Figure 4.17. Relationship between stress and strain for specimen (ÇAS2) 38
Figure 4.18. Relationship between stress and strain for specimen (ÇAS3) 38
Figure 4.19. Relationship between stress and strain for specimen (ÇAS4) 39
Figure 4.20. Relationship between stress and strain for specimen (ÇAS4) 39

Figure 4.21. Relationship between stress and strain for specimen (ÇBS2) 40
Figure 4.22. Relationship between stress and strain for specimen (ÇBS3) 40
Figure 4.23. Relationship between stress and strain for specimen (ÇZS1).....41
Figure 4.24. Relationship between stress and strain for specimen (ÇZS2).....41
Figure 4.25. Relationship between stress and strain for specimen (ÇZS3).....42
Figure 4.26. Relationship between stress and strain for specimen (ÇZS4).....42
Figure 4.27. Relationship between stress and strain for specimen (ÇSÖN-1).....43
Figure 4.28. Relationship between stress and strain for specimen (ÇSÖN-2).....43
Figure 4.29. Relationship between stress and strain for specimen (ÇSÖN-3).....44
Figure 4.30. Relationship between stress and strain for specimen (ÇSÖN-4).....44
Figure 5.1. Relationship between UV and experimental Ec. In study Eq.....45
Figure 5.2. Relationship between UV and experimental Ec. In study Eq.2.....46
Figure 5.3. Relation between Ec exp. And Ectheo. In Eq.1.....49
Figure 5.4. Relation between Ec exp. And Ectheo. In Eq.2.....50
Figure 5.5. Relation between Ec exp. And Ectheo.....50
Figure 5.6. Relation between Ec exp. And Ectheo.....51
Figure 5.7. Relation between Ec exp. And Ectheo.....51
Figure 5.8. Relation between Ec exp. And Ectheo.ACI 318 (2008 52
Figure 5.9. Relation between Ec exp. And Ectheo.TS500 (2000) 52
Figure 5.10. Relation between Ec exp. And Ectheo.....52
Figure 5.11. Relation between Ec exp. And Ectheo.....53
Figure 5.12. Relation between Ec exp. And Ectheo.....53
Figure 5.13. Relation between Ec exp. And Ectheo.....53

ANNOTATION AND SYMBOLS

NDT	: Non-destructive testing
UT	: Ultrasonic testing
UPV	: Ultrasonic Pulse velocity
W/C	: Water–Cement Ratio
V_l	: Longitudinal velocity
ρ	: Density
μ	: Poisson ratio
E_d	: Dynamic elastic modulus
V	: Velocity
g	: Gravity acceleration
L	: length
t	: Time
u	: Displacement vector
G	: The shear modulus
B	: Diminished amplitude sound wave
B_0	: Initial amplitude
β	: Attenuation coefficient of sound wave
V	: Velocity of sound
A_t	: Decibels per second

1. INTRODUCTION

As known very well by science world, fitting factor of soundness of the material has significant place in civilization such as in building construction formed with concrete, steel construction formed with steel etc. Soundness of the materials can be analyzed by measurement of mechanical parameters and physical parameters such as elasticity modulus (young modulus) and density. There are many methods for detecting the physical and mechanical properties of the materials. Most of them namely destructive methods (DT) cause a lot of time, damage, and require a lot of money. Beside DT methods, some methods called as Non-destructive testing (NDT) widely accepted in technology can be used for the evaluation of the mechanical and physical properties of material (Muftah et al, 2012).

Ultrasonic method is one of the most widely used NDT methods. The principle of ultrasonic method is completely related to sound. Sound is produced by the vibration of the molecules causing wave propagation through material. In case of lack of molecules like in vacuum environment sound cannot be produced. The frequency ranging between 20Hz – 20kHz that is audible to human is named as sound wave, below 20 Hz is named as infrasonic wave and higher than 20 kHz is named as ultrasonic wave (Hendee and Ritenour, 2002).

Small mechanical compression makes the molecules leaving their balance point. This impress helps molecules to move forward and transit this motion to the next molecule until the edge of the material (Laugier and Haiat, 2011).The density of the material in general has a big effect on the mechanical properties.

The ultrasound wave velocity is based on the density of the material. Lower density means lower ultrasound wave velocity. Such as in air as gas state the velocity is about 331 m/s, in water as liquid is about 1498 m/s and in solid as Aluminum is about 6420 m/s.

1. INTRODUCTION

In ultrasonic method transducers are being used for testing the physical and mechanical properties of the material. Transducers are formed from the piezoelectric crystals. Ultrasound can be generated by applying alternating voltage to the crystal with the resonant frequency of the crystal resulting in oscillations for a short period.

Oscillations or sound waves at this resonant frequency have capability to propagate in material. The ultrasonic pulse velocity UPV technique is used to evaluate the physical and mechanical properties of the material such as concrete and metals (IAEA, 2002).

In this study mechanical property of concrete is investigated. Concrete is formed by mixing aggregate with a fluid cement and waiting for hardening over time. Portland cement is generally used in as bonding material in concrete.

Cement is obtained from the pozzolanic soil generally found near to volcanic areas such as at Vezuv volcanic mountain in Italy. Pozzolanic soil is composed of lime stone (CaO), Silis(SiO_2), Alumin (Al_2O_3), Magnesium Oxide (MgO), Na_2O+K_2O and SO_3. This soil possessing this mixture then is heated at melting point about 1400 ^{0}C for a short period of time. After cooling it with air at room temperature, granule material is obtained. This granule material is powdered with the addition of 3% of limestone, and at last the cement is formed. Concrete is composed of cement paste, fine and coarse aggregate.

The elasticity modulus is one of the most important mechanical evaluation parameter to make structural analysis and design of concrete. As generally known ultrasound wave velocity is proportional with square root of young modulus and inversely proportional with the square root of the density. For the measurement of the elasticity modulus of the material, wave velocity and mass of the material must be known (Bungey and Millard, 2002).

Some researchers developed models on prediction of elasticity modulus of concrete (Al-Ameeri et al 2013- Yildırım and Sengul 2009 – Mohammed et al 2006) Rizzo et al. (2016) these models has taken part in ACI 318(2008) ,ASTM C597 (2003) and BS1881 Part 203(1986) TS500 (2000) standards.

In this study as a test material for NDT we have chosen the concrete due to its importance in civilization. Due to very little studies made on mechanical properties of concrete by UPV method, more studies should be done on UPV method to increase reliability of this method. For this fact, our main aim is to gain new data to existing experimental literature on UPV and develop new models for the measurement of young modulus by UPV. By substituting our data to the equations of existing models in

literature and substituting existing data in literature to our models that we will develop, we want to see whether our data and our models are in coherent with the existing data and existing models in literature or not? Lastly we want to compare the Young modulus values of the concrete obtained by UPV testing method with DT method to see our results are near to each other or not.

2. LITERATURE REVIEW

2.1. Theory of Pulse Propagation through Concrete

Ultrasound waves can be classified as longitudinal wave (called as p-wave, compression wave) moving parallel in the direction of wave propagation with highest velocity, Figure 2.a. Transverse wave (called as shear wave or s-wave) moving perpendicular to the direction of wave propagation with intermediate velocity, Figure 2.b. and surface wave (called as Rayleigh wave) moving elliptically to the direction of wave propagation with the lowest velocity inside the materials, Figure 2.c. Due to having higher velocity and a big potential to explain the physical properties, longitudinal wave is the most preferable one. In p-wave the particles move parallel to the direction of wave propagation (Bungey and Millard, 2002).

When a mechanical pressure is applied to a surface of the structure, from surface through inside the structure, a vibration will start and ultrasound will travel through the inside of the material as progressive wave as following:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial^2 t} = V^2 \nabla^2 u \qquad 2.1$$

Where u(x, y, z) is the displacement vector which describes the change in position of any point in the body at position (x, y, z) at time t and V is the velocity of sound, which depend on the material.

The velocity of longitudinal and shear waves is given by Equation 2.2 and 2.3, respectively:

$$V_l = \sqrt{\frac{E_d(1-\mu)}{\rho(1+\mu)(1-2\mu)}} \qquad 2.2$$

$$V_S = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\mu)}} = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad 2.3$$

Where E is Young modulus (modulus of elasticity), μ is Poisson ratio, ρ is the density and G is the shear modulus. Solving Equation 2.2 for E where μ is assumed to be 0.25, the following relation was obtained.

$$E = 2\rho V_l^2(1+\mu) \quad 2.4$$

$$E = 2.5\rho V_l^2 \quad 2.5$$

If we assume that ρis 2400 kg\m^3 or 2.4*10^{-5} N/mm^3

$$E = 6000V_l^2 \text{(E is kg/m}^2\text{)} \quad 2.6$$

$$E = 6*10^{-5}V_l^2 \text{(E is MPa)} \quad 2.7$$

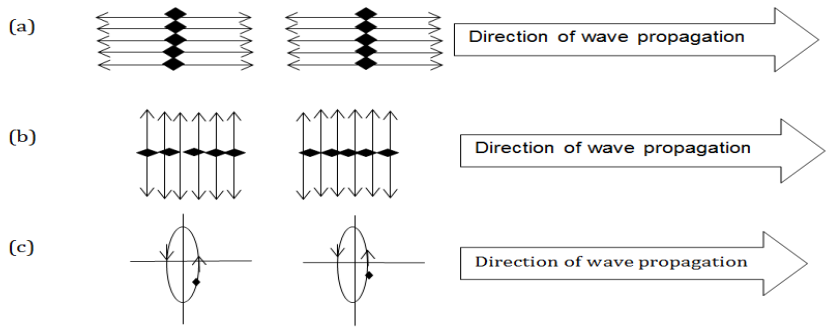


Figure 2.1. Particle motion and wave propagation with a. longitudinal wave, b. Shear wave, c. Surface wave

2.2. Determination of Pulse Velocity

Pulses travelled in different direction through the test material can be detected by placing transducers as given in Fig. 2.2 direct transmission, as in Fig. 2.3 semi-direct transmission and as in Fig. 2.4 indirect transmission.

2.2.1. Direct Transmission or Opposite Faces

Among the other arrangements, direct transmission is most preferable one to measure the accuracy of velocity determination. Direct transmission shows that transducers are placed directly opposite to each other on the opposite sides or faces of the concrete specimen. According to this arrangement, the transfer of energy between opposite transducer is maximum (Hannachi and Guetteche, 2014).

To avoid any effects resulting from the different velocity, the couplant in which we use should be spread as thinly as possible in the concrete.

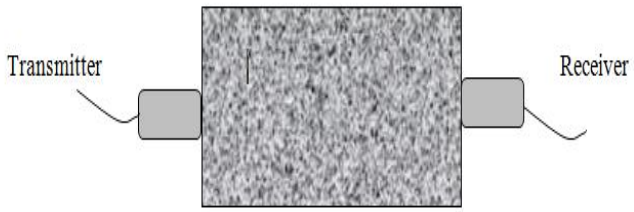


Figure 2.2. Direct transmission arrangement.

2.2.2. Semi-direct Transmission or Adjacent Faces

Semi-direct transmission arrangement is less sensitive in comparison to the direct transmission arrangement. However there are some decreases in the accuracy of velocity measurement of the path length, still it is found to be sufficiently accurate (Hannachi and Guetteche, 2014). This arrangement used when the direct arrangement is not possible. Semi-direct transmission is otherwise similar to direct transmission.

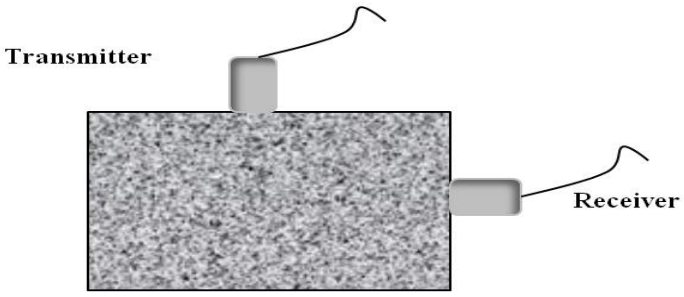


Figure 2.3. Semi-direct transmission arrangement

2.2.3. Indirect or Surface Transmission (The Same Face Transmission)

Indirect arrangement is the least sensitive arrangement among the other two arrangements, and it is used when only one face of the concrete is accessible. As a result, the result of this test arrangement is not accurate as compared to the other two arrangements and maybe not correct to represent whole mass of concrete(Hong, 2012).

The indirect velocity is always lower than the direct velocity in the same concrete element (Hong, 2012).

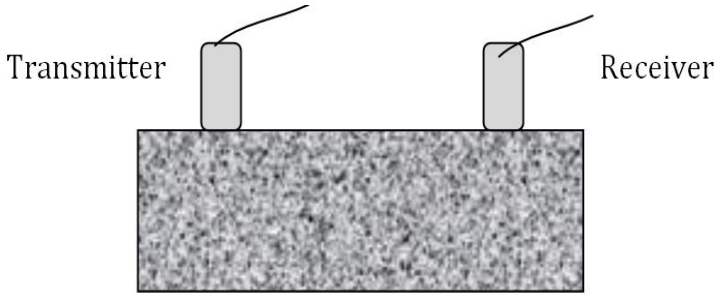


Figure 2.4. Indirect transmission arrangement.

2.3. Poisson Ratio

When any sample material is subjected to compressive loads or an axial tensile, it deforms not only in the direction of the loads but normal to them. The cross section area of the sample under the compression increases, and under the tension its cross section area decreases. The ratio of the unit lateral strain to the unit longitudinal strain is called Poisson ratio.

For an isotropic material in linear-elastic range, the Poisson ratio is constant. Concrete may be influenced by specific condition, when stress and longitudinal strain is linear the Poisson ratio is approximately constant. There are some factors affecting on Poisson's ratio value such as properties of used aggregates. In general the value of Poisson ratio for concrete is between "0.15-0.22" but it is "0.17-0.20" for majority of concrete.

Additionally, Poisson ratio in linear elasticity region under the compression load is at the same value and not to be affected by increasing strength and age (Neville, 2011)

2.4. Attenuation of Ultrasonic Wave

Energy of ultrasonic wave cannot pass through the bulk of material without any energy loss becauseof absorption, reflection, refraction, diffraction and dispersion. In every stage of sound transmission through the bulk, energy absorption is being occurred due to the thermal energy conversion from mechanical energy caused by friction. If the length of the wavelength of the sound is comparable with the size of particles in the material then the sound energy will be randomly scattered inside the material. If the particles size is greater than the wavelength of the sound wave then it may be reflected or transmitted through the particle as a whole with lower intensity (Hong, 2012).

Usually all losses in ultrasonic energy are considered as attenuation losses. Some properties of material affecting the attenuation like Young's modulus, viscous friction, grain size and hardness. The main reason of attenuation can be thought as Scattering and absorption. Attenuation is the decay rate of the wave travelling

through the bulk. Attenuation makes it possible to make comment on and explain the reason of decrease in ultrasonic intensity.

The amplitude change of a decaying plane wave can be expressed as:

$$B = B_0 e^{-\beta x} \quad (2.8)$$

B_0 is the initial amplitude where B is the diminished amplitude of sound as the wave travelling through a distance of x from the initial location. The β is the attenuation coefficient of the wave traveling in the x-direction.

$$\beta = \frac{0.1151 A_t}{V} \quad (2.9)$$

In this equation V is the velocity of sound in the unit of meter per second and A_t is decibels per second (I1).

2.5. Factors Affecting on Ultrasonic Pulse Velocity

There are many factors affecting on ultrasonic pulse velocity such as aggregate type, size, reinforcing steel, temperature, etc.

2.5.1. Effect of Aggregate on Pulse Velocity

The pulse velocity in concrete is affected significantly by the aggregate type and also its amount in concrete. Many investigators have found this effect, such as Jones 1962, reported that for the same compressive strength and the same mixture of concrete compound with rounded aggregate has the lower rate of pulse velocity, in another hand crushed aggregate giving a higher pulse velocity (Neville, 2011).

Additional test result by (Kaplan, Bullock, Jones and Whitehurst) found that, at the same strength level when the amount of aggregate is increased in concrete mixture also the pulse velocity is increased.

2.5.2. Effect of Reinforcing Concrete on Pulse Velocity

Presence of reinforcing steel in concrete is one of the most important factors influencing the velocity of ultrasound pulses in concrete. The velocity of ultrasound in reinforced concrete is usually higher than its velocity in simple concrete. That is because the pulse velocity in steel is 1.4 to1.7 times the velocity in plain (simple) concrete (Hendee and Ritenour, 2002).

In reinforced concrete, the pulse travels partially from steel and concrete. The increasing in pulse velocity in a reinforcing concrete specimen depends on the proximity measurement to reinforcing bar, number of bars and its diameter and orientation of bars with respect to the path propagation of wave (Hendee and Ritenour, 2002).

2.5.3. Transducer Contact Surface

The nature of contact between concrete sample and transducer under the test has a large influence sweats value of wave propagation. The improper contact may lead to erroneous wave propagation velocity reading (Hannachi and Guetteche, 2014).

2.5.4. Temperature of Concrete Specimen

There is no significant change in ultrasonic pulse velocity when the temperature of concrete specimen is between $10^{o}C$ and $30^{o}C$ without the occurrence of corresponding changes in the elastic properties and the strength. Only outside of this range the correction of pulse velocity measurement should be made as given in bellow table (IAEA, 2002).

Table 2.1. Effect of temperature on pulse transmission.

Correlation to the measured pulse velocity		
Temperature	Air dried concrete	Water saturated Concrete
°C	%	%
60	+5	+4
40	+2	+1.7
20	0	0
0	-0.5	-1
-4	-1.5	-7.5

2.6. Relation between Static and Dynamic Modulus of Elasticity

In general the dynamic modulus of elasticity (E_d) is obtained from dynamic ND. Dynamic modulus of elasticity 20 or 30percent higher than the static modulus of elasticity for concrete of high medium and low resistances respectively (Diogenles H. J. F. et al).

Several attempts have been made to correlate static (E_c) and dynamic (E_d) moduli for concrete. The simplest of these empirical relations is proposed by Lydon and Balendran (Neville, 2011). $E_c=0.83E_d2.10$

Where E_c is static elastic modulus and E_d is dynamic elastic modulus. This equation has been used in this study.

Another empirical relationship for concrete elastic modulus was proposed by Swamy and Bandyopadhyay and is now accepted as part of British testing standard BS8110-2:1985

$E_c=1.25E_d-19$ 2.11

where both units of E_c and E_d are in GPa. This expression is valid for concrete with cement content less than 500 kg/m^3 or concrete with aggregates of normal weight,

For both light weight and normal concretes, Popovics suggested a more general relationship between the static and dynamic moduli as a function of the density of the concrete.

$$E_c = k \,.\, {E_d}^{1.4} \rho^{-1} \qquad 2.14$$

Where k = 0.23 for units of psi and ρ is density, lbs/ft^3 (Popovics, 1975).

Whatever the relation between the moduli, it is thought to be unaffected by air entrainment, method of curing, condition at test, or the type of cement used (Neville, 1997).

3. MATERIAL AND METHOD

3.1. Ultrasonic Pulse Velocity Test

Ultrasonic instrument is a handy, portable and battery operated instrument used for assessing elastic properties. It has been used to determine the elastic modulus of concrete. The ultrasonic pulse velocity measurement consists of the following:

1. Electrical pulse generator.
2. Transducer – two pair (transmitter and receiver)

Ultrasound is generated by applying an alternating voltage across a piezoelectric crystal to change its dimension. This is known as piezoelectric effect. This change in dimension is based on duration and amplitude of the applied voltage. Due to the applied voltage being alternating, the crystal will be greater and contract and this change in shape will result in a high oscillation generating ultrasound. The sound will make a mechanical pressure on the surface of the material. And this sound will be conducted by transmitter attached to the entrance surface through the material until the receiver attached to exiting surface opposite to entrance surface. Then the time of sending and receiving the wave will be measured by electronic timing device. The Figure 3.1.show the transducer contents.

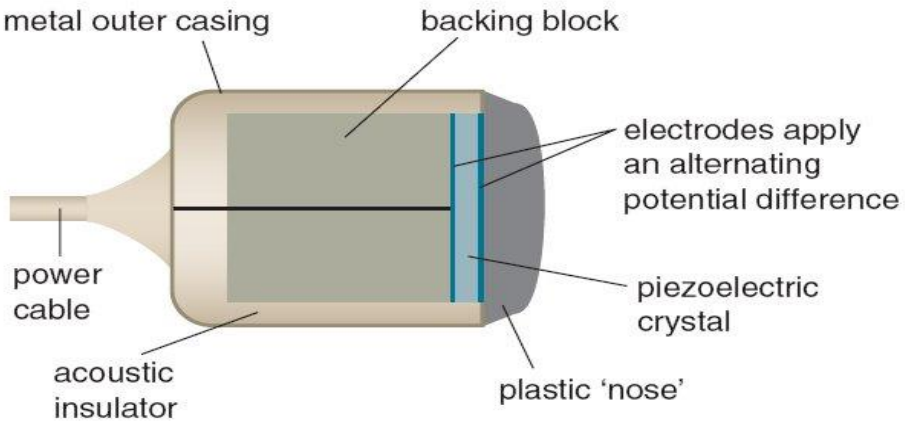


Figure 3.1. Ultrasonic transducer (I2)

3. Electronic time measurement device: It is measuring the passage time of pulse generated at the transmitting transducer and its arrival at the receiving transducer.

4- Amplifier.

3.2. The Characteristics of Apparatus

a. The apparatus can measure the transit time through the path lengths starting from about 10 cm to the maximum thickness to be inspected to an accuracy of ±1%.

b. Transducers with a frequency ranging from 50 kHz to 60 kHz are acceptable for most widely applications. The frequency of the transducer being used in this study is at 55 kHz.

c. High frequency pulses are very effective at beginning but, during passage of these pulses through the material, it will start to be attenuated. The attenuation of high frequency is higher than the attenuation of pulses with lower frequency. So for for short path lengths, high frequency transducers are preferable and for long path lengths low frequency transducers are more preferable.

d. In general the transducers used should be in the range of 20 to 150 kHz while frequency in low range as 10 kHz may be used for very long concrete path lengths and in high range as 1 MHz for grouts and mortars or for short path lengths (IAEA. 2002).



Figure 3.2. Ultrasonic device with its transducers 55 kHz.

3.3. Objective of Ultrasonic Pulse Velocity

Measurement of the velocity of ultrasonic pulses of longitudinal vibrations passing through concrete could be used to establish:

a) The homogeneity of concrete.

b) Measurement of changes with time in properties of concrete.

c) Determination dynamic elastic modulus and Poisson ratio of the concrete.

d) Correlation of pulse velocity and strength as a measure of concrete quality.

e) The presence of voids and cracks and other imperfection.

g) The quality of concrete in relation to standard requirement.

3.4. Principle of Ultrasonic Pulse Velocity

The UPV method is sensitive to the density, elasticity modulus and Poisson's ratio of the material. Concrete quality is the main reason to produce higher velocity and lower velocity. While for high velocity values through the concrete, the concrete quality is said to be good and the other hand, for the lower velocity, concrete quality is said to be bad in terms of density, uniformity and homogeneity. The ultrasonic pulse is generated by transducers. When the pulse from the transducer is sent through the concrete, it starts to make reflections inside the concrete. These reflections will make stress waves which include longitudinal (compression), shear (transverse) and surface (Rayleigh) waves (Star207-INR.2012)

The fastest longitudinal waves detected by receiving transducer. The velocity is mainly depends on the elastic properties and not on the geometry of material. The elastic measuring device of the time could be able to measure the beginning time in which the pulse passes through transmit transducer and the arrival of the pulse in receiving transducer. Historically the ultrasonic pulse velocity has been used on

concrete for more than 60 years. Power and Opert (1939) used the resonance frequency method extensively in 1938 and 1939. Ultrasonic techniques are being developed and used for measuring of the different properties of concrete since 1939. The ultrasonic pulse velocity methods are recommended by many international standards committees for the evaluation of concrete.

The principle of this test is expressed in the following (Mahmood, 2008)

$$V = f\left(\frac{gE}{\rho}\right)^{1/2} \quad 3.1$$

Where: v, is ultrasonic pulse velocity, g is the gravity acceleration, density and E is elastic modulus. The velocity is dependent on the elasticity modulus of concrete. Monitoring the modulus of elasticity for concrete through result of pulse velocity is not normally recommended because concrete dose not fulfill the physical requirement for the validity of the equation normally used to calculation for homogenous, isotropic and elastic materials.

$$V_l^2 = \frac{E_d\,(1-2\mu)}{\rho(1+\mu)(1-\mu)} \quad 3.2$$

Where, V_l is the longitudinal wave velocity ρ is the density, μ is Poisson's ratio and E_d is dynamic elastic modulus. On the other hand, it has been shown that the strength of the concrete and its modulus of elasticity are related with (ASTM C 597-02).

In this method, first of all, the time required for a pulse of vibrations at an ultrasonic frequency to travel through concrete should be found. Once the velocity is determined, the physical and mechanical properties of the concrete can be determined. Pulse velocity through concrete can be measured by applying the standard test according to ASTM C597 (Mahmood, 2008):

$$V = \frac{L}{t} \quad 3.3$$

Where *V*, pulse velocity (m/s) *L*.travel length in (m) and *T*, transit time in (s).

3.5. Using Ultrasonic Wave

Ultrasound uses very high frequency sound higher than 20 kHz (the limit of the human hearing) to investigate the material characteristic. In fluid such as ear sound travels as a pressure wave. However solids support both normal and shear stress, this mean that two types of waves longitudinal and shear waves may propagate through the solid such as concrete, for the shear wave's motion of particles are perpendicular to the direction of the wave propagation. For the longitudinal waves the motion of particles is parallel to the direction of propagation.

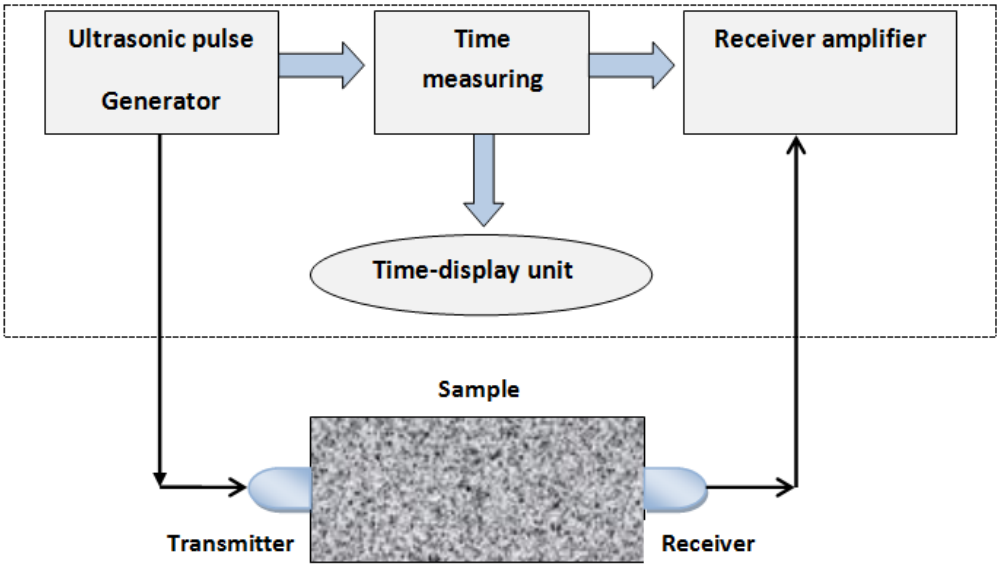


Figure 3.3. Schematic diagram of ultrasonic pulse velocity circuit.

3.6. Ultrasonic Pulse Velocity Measurement Method

1. Connect transducers with ultrasonic testing device then switch on device.

2. Zeroing the ultrasonic by the reference bar, set the range of time on 51μs such as showed on the reference bar. It must be done during work to be more accurate.

3. Measure the length and diameter of each cylinder specimen.

4. The face of specimen must be smooth and regular.

5. Just before testing, the cylinders were rubbed with a clean dry cloth in order to obtain a saturated surface dry sample.

6. Using the ultrasonic gel (couplant) on both transducers and the position of connection.

7. Connect the transducers (transmitter and receiver) with specimen directly. The transducer must be on straight line, and then waited until ultrasonic read out time travel. Change position of transducer and repeat it five times for each specimen then use the mean value of them. Then use equation (3.3) to calculate velocity.

4. EXPERIMENTAL WORK

Experimental details will be provided in details. Two different tests were carried out in the experimental work. Our first test we carried out is non-destructive UPV and the second test is compressive strength test. Compressive test is destructive.

Cylinder specimens were used in the experimental study. All the cylinder specimens used in these tests were provided from Cagdas Apt. Figure 4.1. Cagdas Apartment is located in Kayapinar/Diyarbakir.

Due to sudden damage to the some of the columns as seen in Figure 4.2.the building is not safe and the building was evacuated. After safety evaluation it has been decided to retrofit the building. We have got all of our cylinder specimens from concrete work during retrofitting.

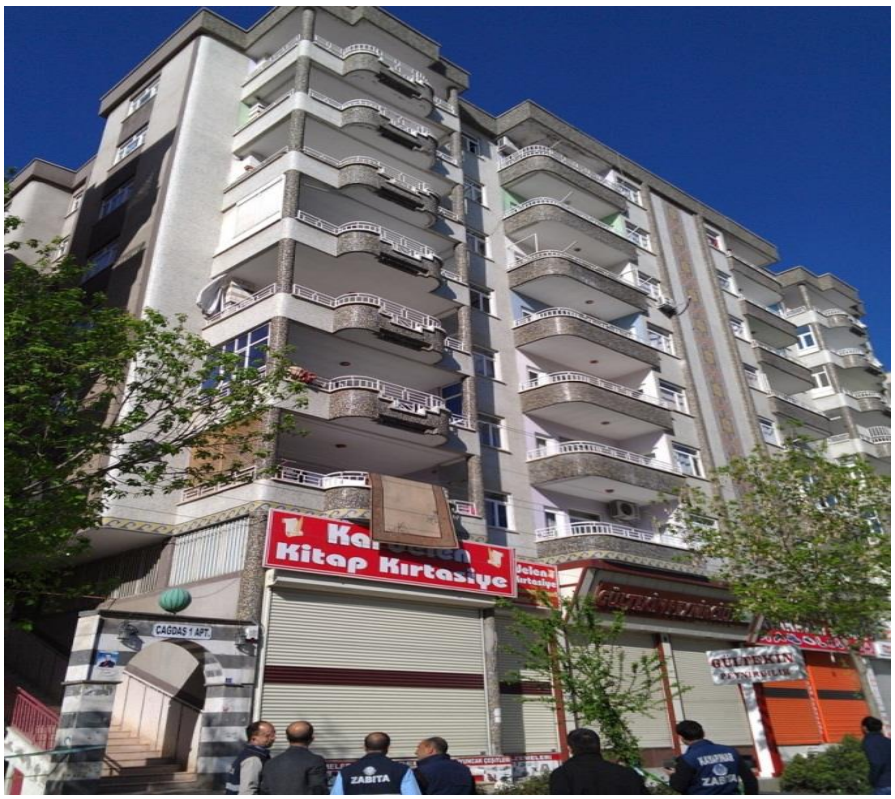


Figure 4.1. General view of the Cagdas Apt. (Courtesy of BEDIRHANOGLU, İ.)



Figure 4.2. General view of the columns (Courtesy of BEDIRHANOGLU, İ.)

4.1. Specimens

Totally 19 cylinder specimens were provided from Cagdas Apt. Dimension of the specimens is 150 mm in diameter and 300 mm in height Figure 4.3. Specimens consist of five groups. Each group of specimens are taken from different concrete work of different stories Figure 4.4.Every specimen removed from formwork after one day and cured in water for 27 days. All the specimens tested after at least 28 days.



Figure 4.3. Cylinder specimens.



Figure 4.4. Concrete work at different stories (Courtesy of BEDIRHANOGLU, İ.).

4.2. Properties of Concrete

Ready mixed concrete produced by Nural Concrete Centre were used. Normal Portland Cement PC 42.5 was used. Coarse and fine aggregates are from Tigris River. The mix proportion of the concrete is given in Table 4.1.

Table 4.1. Mix proportion of concrete

Materials	Concrete Type C25
0-7 Natural Sand (fine aggregate)	1150
7 - 25 coarse aggregate	240
15 – 25 coarse aggregate	540
Water	165
Portland Cement 42.5	300
Additive Chemical	3

*Units are in kg.

4.3. Ultrasonic Pulse Velocity Test

Portable ultrasonic non-destructive digital indicating test (Posso) is used for this study Figure 4.5. The machine consists of the two transducers transmitter and receiver. Probes produces 55 KHz wave of intensity of frequency.



Figure 4.5. The POSSO apparatus that used in this study.

According to international standards to apply the UT to determine the UPV of concrete is due to the following options (IS: 13311 (Part 1) – 1992).

- At the first step before switching on the switch of 'V' meter, the transducers should be connected to the sockets marked transmitter transducer and receiver transducer respectively.

  The 'V' meter may be operated with either:

  1. The internal battery,
  2. An external battery or

3. The A.C line.

- Set reference bar: A reference bar is used to check the calibration of the machine. The reference bar for each test of specimens must be set on 51μs. Apply a smear of grease to the transducer faces before placing probes on the opposite ends of the bar. Adjust the 'SET REF' control awaiting the reference bar travel time is obtained on the instrument read-out.
- Pulse velocity: Having determined the most suitable test points on the material to be tested, in this study we have taken more than 7 reading for each concrete specimens test. We have measured very carefully path length 'L' of the concrete specimens. We have wiped couplant (ultrasound gel) to the sides or surfaces of the transducers and press it hard onto the surface of the material or concrete cube specimens. Due to generation of noise signals and errors are caused by motion of the transducers, we paid a big attention not to move the transducers while a reading is being taken. We continued holding the transducers in fixed position on the surface of the material until a consistent reading appears on the display, time passage is the time in microsecond for the ultrasonic pulse to propagate the distance 'L'.

$$V = \frac{L}{t} \qquad 4.1$$

4.4. Test Procedure Compression Strength Test

Testing machine produced by ARSLANLAR firm was used for compressive strength testing as shown in Figure 4.6. This machine has 300 tons compression capacities in maximum we arrange the loading range for our specimens. Three loading level can be set as 100,150 and 300 tons. For our specimens we set the load capacity as 150 t during the tests. Before testing cylinder after curing process, one surface of the cylinder must be titled to ensure smooth and balanced. For titling the specimens repair mortar was used as shown in Figure 4.7. After titling we should wait at least one day to ensure enough strength of title before compression.



Figure 4.6. Compressive strength machine that used in this study.



Figure 4.7. Titling the cylinders.

4.5. Measuring Setup

Compression test consists of the loading and data acquisition systems. All the arraignment of the compression test was given in Figure 4.8. This figure was taken just before starting one of the tests. Gradual loads were read from the indicator placed on the compression test machine. Valves were used to control the loading velocity and to unload the specimens.

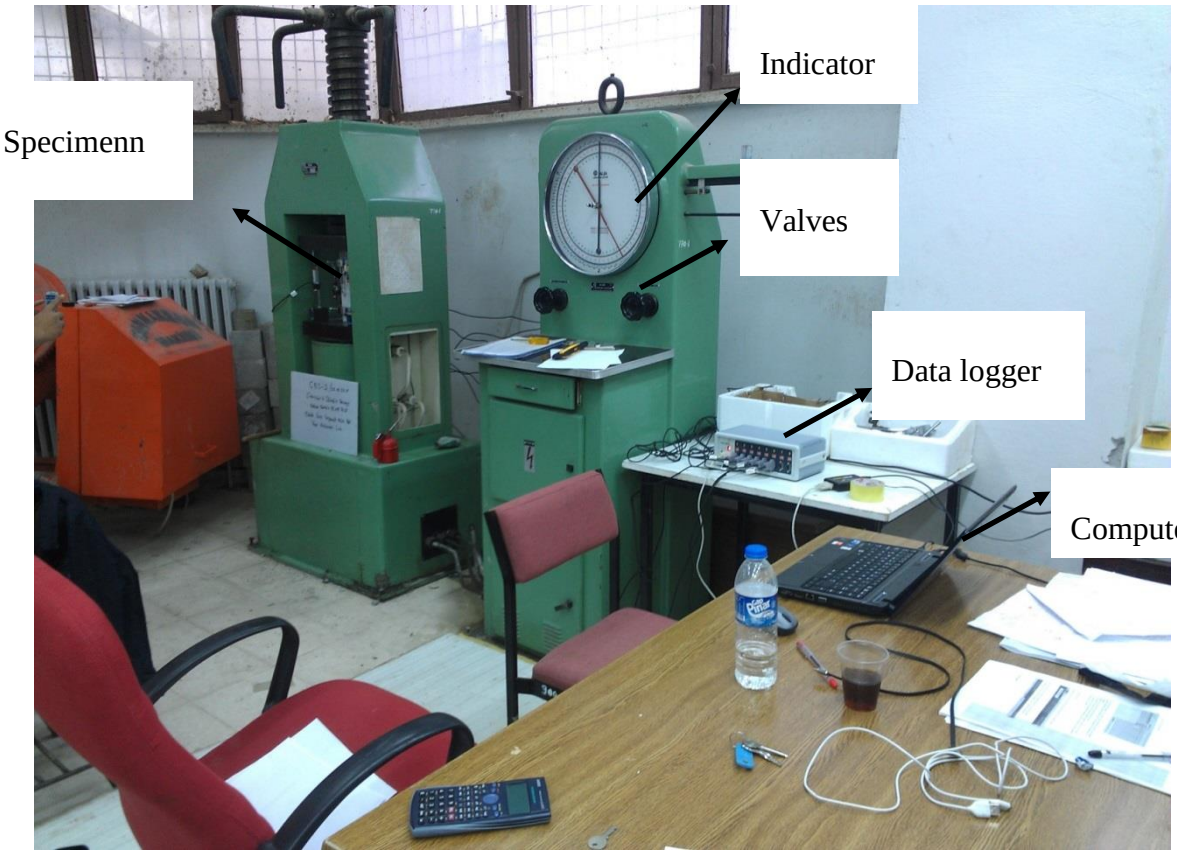


Figure 4.8. Test setup for compression test.

Measurement setup is shown in Figure 4.9 in detail. Totally 6 potentiometers were used to measure deformations. Four of them were installed to stiff steel plate of the loading machine outside of the specimen. The remained two potentiometers were installed on the specimen by using a stiff steel ring. Potentiometers installed on the specimens measure deformation from 200 mm where the others measure deformation from 300 mm gage lengths.



Figure 4.9. Specimen under test breaking.

4.6. Compression Test Procedure

The all procedure was listed as follow,

- Fresh and clean the bearing surface of the testing machine.
- Put the specimen in the machine in such a way that the load shall be applied to the reverse sides of the cylinder cast. Figure 4.9 showed a specimen during the test.
- Align or bring into line the specimen centrally on the base plate of the machine.

- Turn the movable portion gently by hand so that it touches the top surface of the specimen.
- Apply the load range is 0.45-2.25 ton/s or 0.2-1 MPa.
- Record the maximum load fails of a specimen and notes any unusual features in the type of failure.

4.7. Experimental Results

In this study 19 cylindrical concrete specimens were used that take from Cagdas Apt. The cylinders are 300 mm in length and 150 mm in diameter. Age of all specimens is between 30-108 days with no change in water cement ratio w/c which is about 0.5. Elastic modulus of specimen change between 20.188 GPa to 46.15 GPaas shown in Table 4.2. The name of each specimen was also given in Table 4.2. Specimen names refer to the basic properties of the specimen. For example in ÇBS-1, C means Cagdas Apt., B means basement, S means cylinder specimen and 1 means the number of specimen.

Table 4.2. Experimental results.

Nu	Name of specimen	density kg/m^3	fc (MPa)	Ec exp.(GPa)	UV (km/s)	Age (day)
1	ÇAAS1	2311.8	30.12	24.822	4.31771	40
2	ÇAAS2	2353.8	29.28	35.432	4.372	30
3	ÇAAS3	2351.7	26.23	30.233	4.35042	40
4	ÇAAS4	2301.8	34.56	34.302	4.40353	40
5	ÇAS1	2251.5	28.73	23.582	4.09122	62
6	ÇAS2	2306.5	32.6	*	4.01538	62
7	ÇAS3	2301.6	32.75	46.15	4.13238	62
8	ÇAS4	2259.1	24.56	25.331	4.07393	62
9	ÇBS1	2371.2	40.52	38.442	4.32503	114
10	ÇBS2	2385.9	48.85	29.558	4.31874	113
11	ÇBS3	2354.9	45.66	32.494	4.34328	119
12	ÇZS1	2282.5	31.64	26.187	4.08	119
13	ÇZS2	2275.9	31.78	20.188	4.07835	108
14	ÇZS3	2348.6	35.94	25.595	4.27935	108
15	ÇZS4	2335.2	30.25	26.553	4.24286	108
16	ÇSÖN-1	2222.8	28.73	29.378	4.22692	30
17	ÇSÖN-2	2416.7	23.04	30.999	4.1592	30
18	ÇSÖN-3	2416.7	25.67	27.236	4.1592	30
19	ÇSÖN-4	2416.7	23.04	1015.601	4.1592	30

*There is an error in the measuring system.

4.8. Stress-Strain Relationship

In order to get stress-strain relationship a sophisticated test was carried out as seen in Figure 4.10. To measure strain values 8 transducers were used. Two of them were attached on the specimen with gage length of 200 mm. The other transducers

placed out of the specimens with gage length of 300 mm gage length. The elastic modulus was measured from gage 200mm.



Figure 4.10. Tests for cylinder when failed.

There is direct proportional between UV and elastic modulus. To be an example data of stress-strain data for specimen ÇAAS1 was given in Table 4.3. The other data given as graphs in Figure 4.11.30.

Table 4.3. Data for (ÇAAS1).

Average Strain		Stress
GL=200	GL=300	
0	-1.3E-06	0.00
-5.7E-06	0.000173	2.78
3.25E-05	0.000312	4.16
7.08E-05	0.000437	5.55
0.000105	0.000559	6.94
0.00018	0.000682	8.33
0.000224	0.000778	9.71
0.000339	0.000912	11.94
0.00036	0.000989	12.49
0.000429	0.001074	13.88
0.000473	0.001175	15.27
0.000547	0.001262	16.65
0.000618	0.001348	18.04
0.000679	0.001449	19.43
0.000765	0.001564	20.82
0.000861	0.001681	22.21
0.000955	0.001801	23.59
0.001054	0.001929	24.98
0.001163	0.002063	26.37
0.001242	0.002154	27.48
0.001291	0.002209	27.76
0.001448	0.002431	29.14
0.002531	0.003235	30.12
0.005324	0.005022	8.33
0.006587	0.005956	5.55

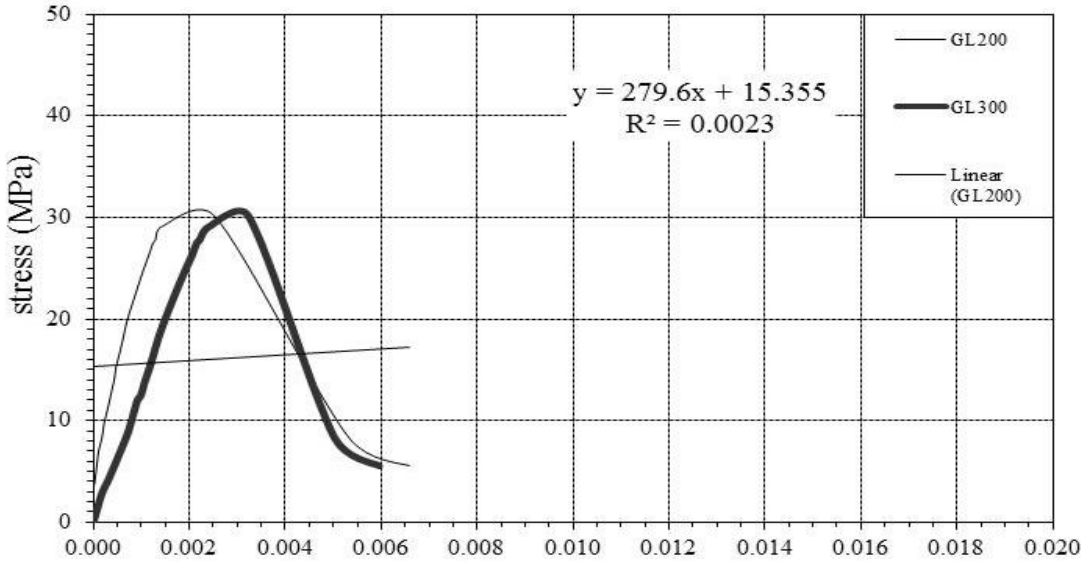


Figure 4.11. Relationship between stress and strain for specimen (ÇAAS1).

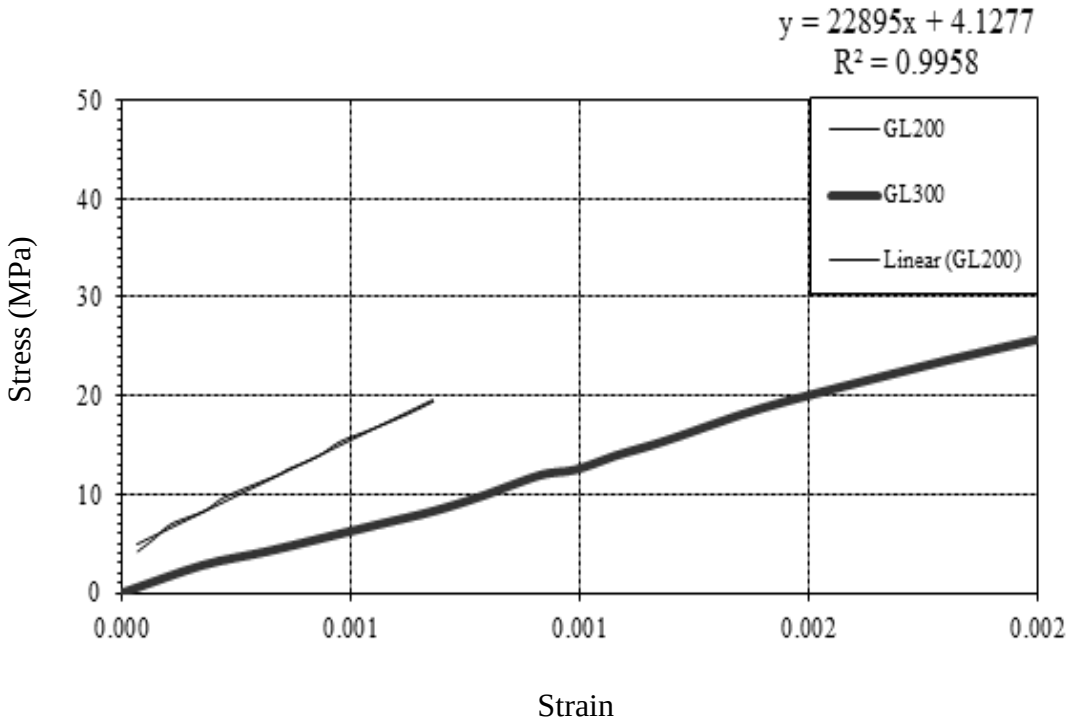


Figure 4.12. Relationship between stress and strain for specimen (ÇAAS1).

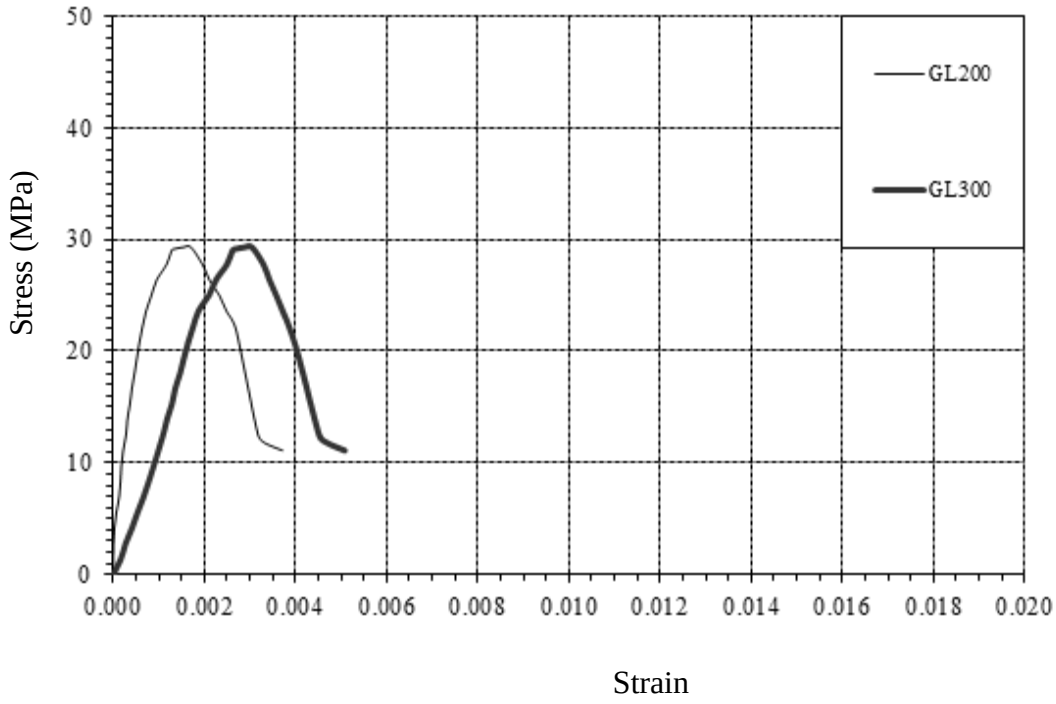


Figure 4.13. Relationship between stress and strain for specimen (ÇAAS2).

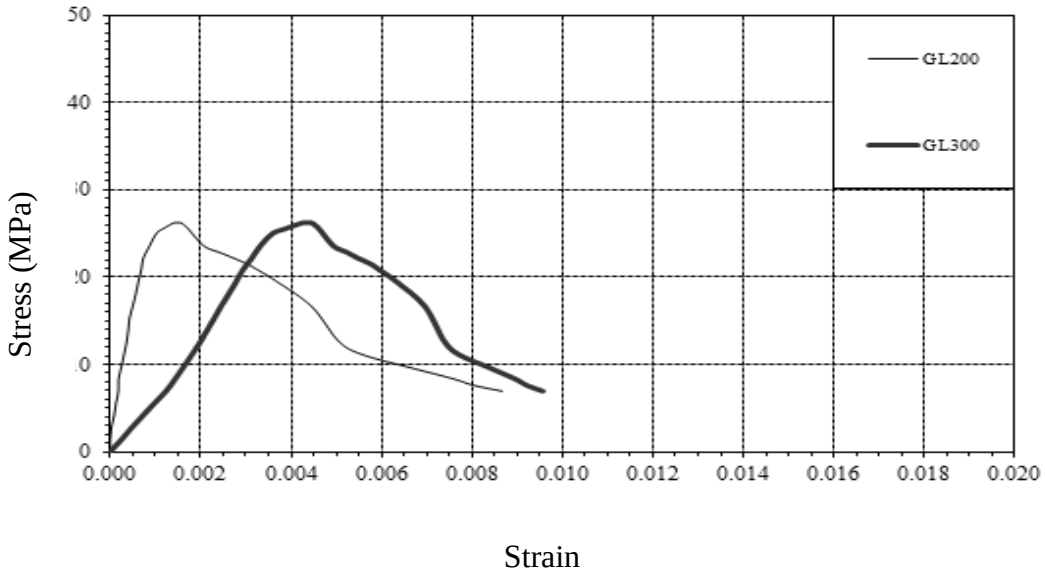


Figure 4.14. Relationship between stress and strain for specimen (ÇAAS3).

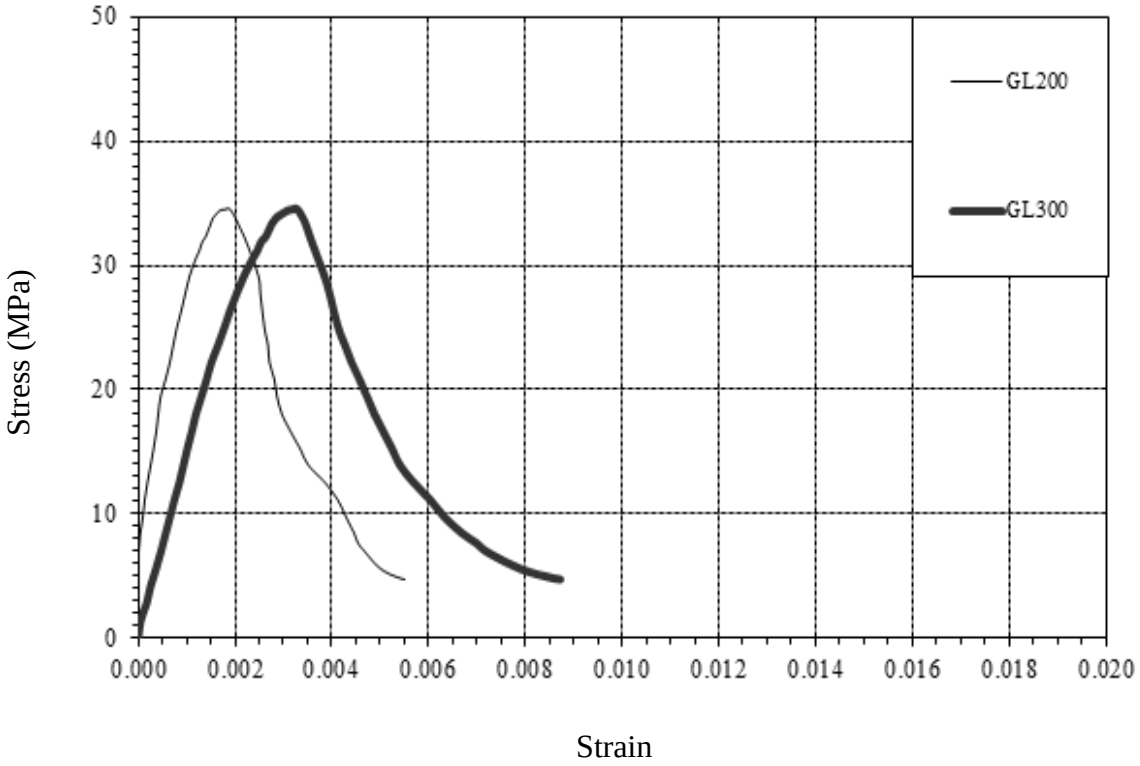


Figure 4.15. Relationship between stress and strain for specimen (ÇAAS4).

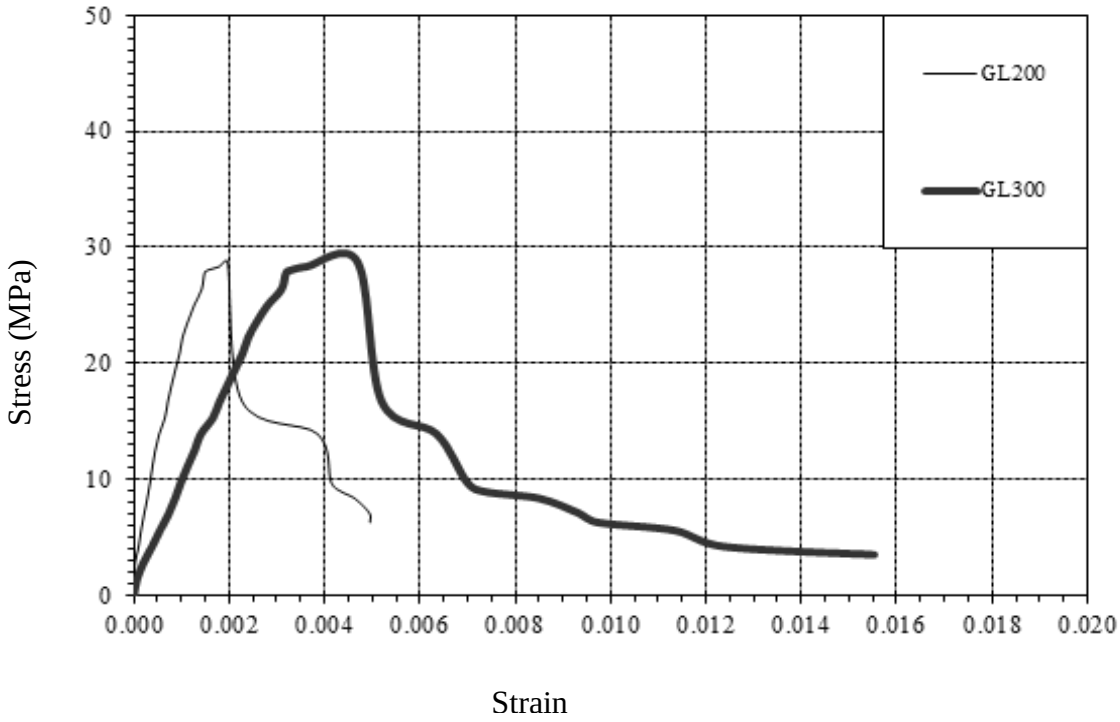


Figure 4.16. Relationship between stress and strain for specimen (ÇAS1).

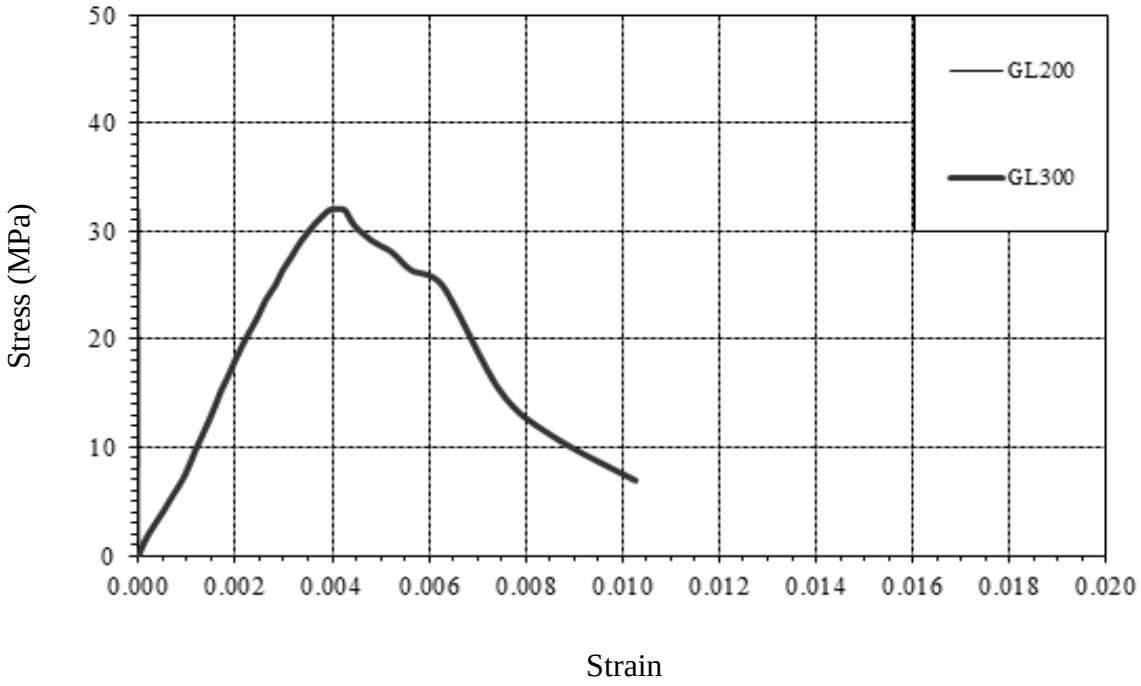


Figure 4.17. Relationship between stress and strain for specimen (ÇAS2).

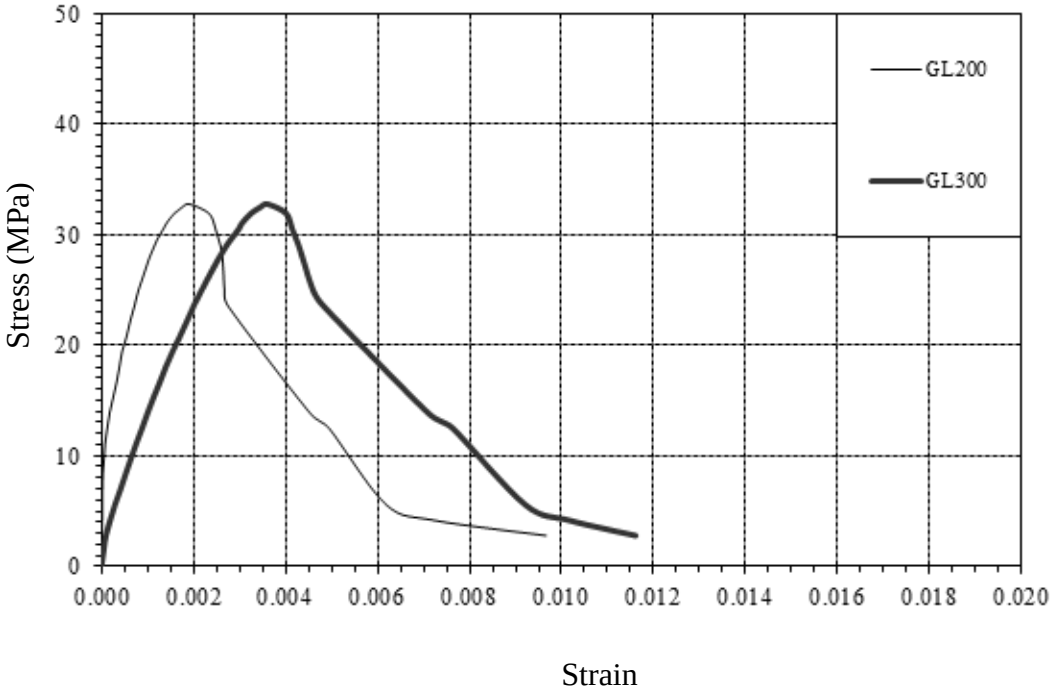


Figure 4.18. Relationship between stress and strain for specimen (ÇAS3).

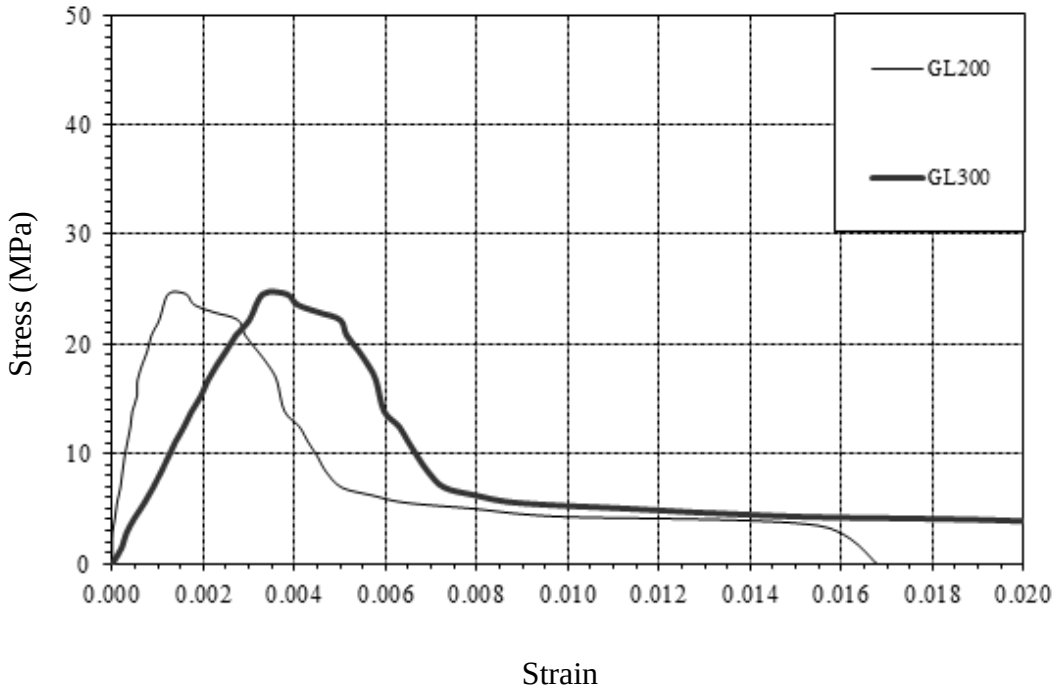


Figure 4.19. Relationship between stress and strain for specimen (ÇAS4).

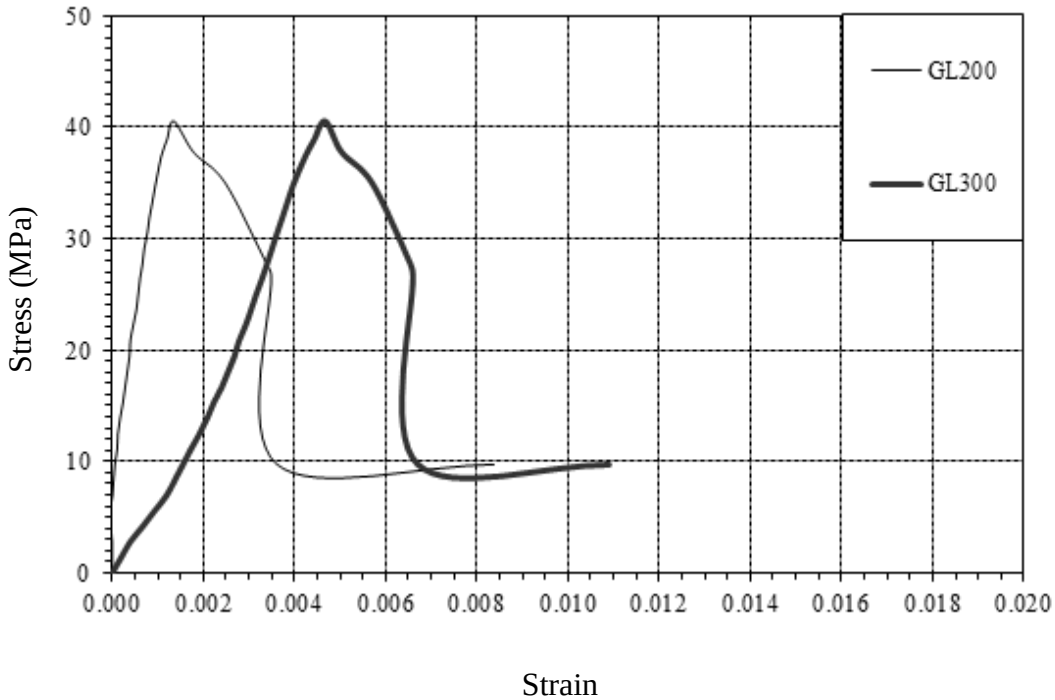


Figure 4.20. Relationship between stress and strain for specimen (ÇBS1).

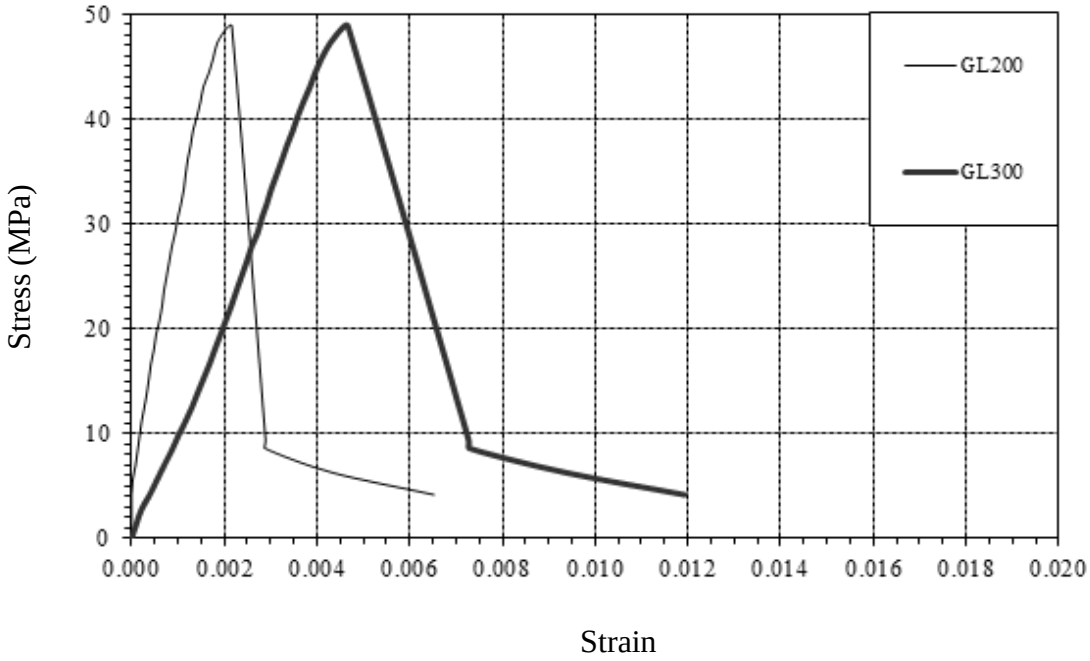


Figure 4.21. Relationship between stress and strain for specimen (ÇBS2).

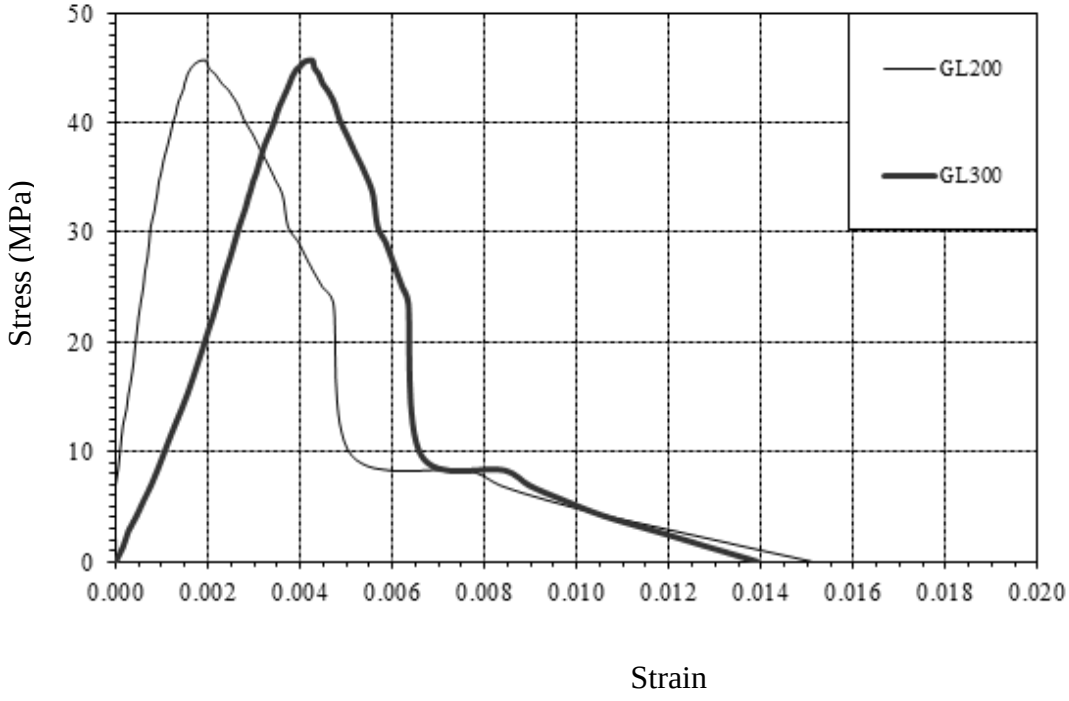


Figure 4.22. Relationship between stress and strain for specimen (ÇBS3).

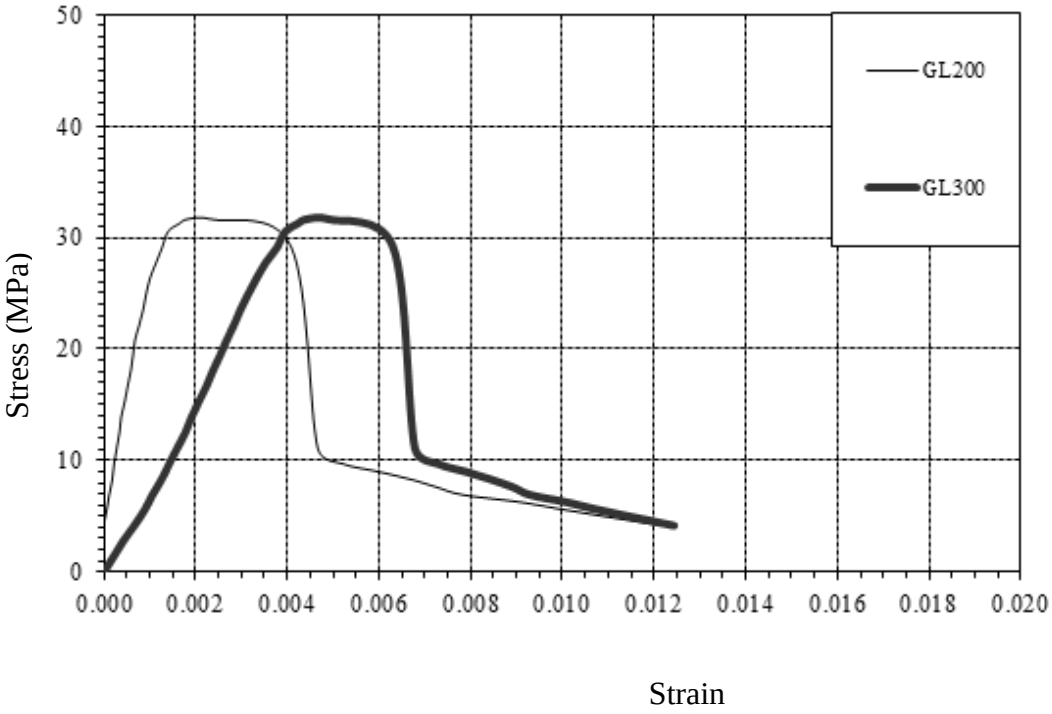


Figure 4.23. Relationship between stress and strain for specimen (ÇZS1).

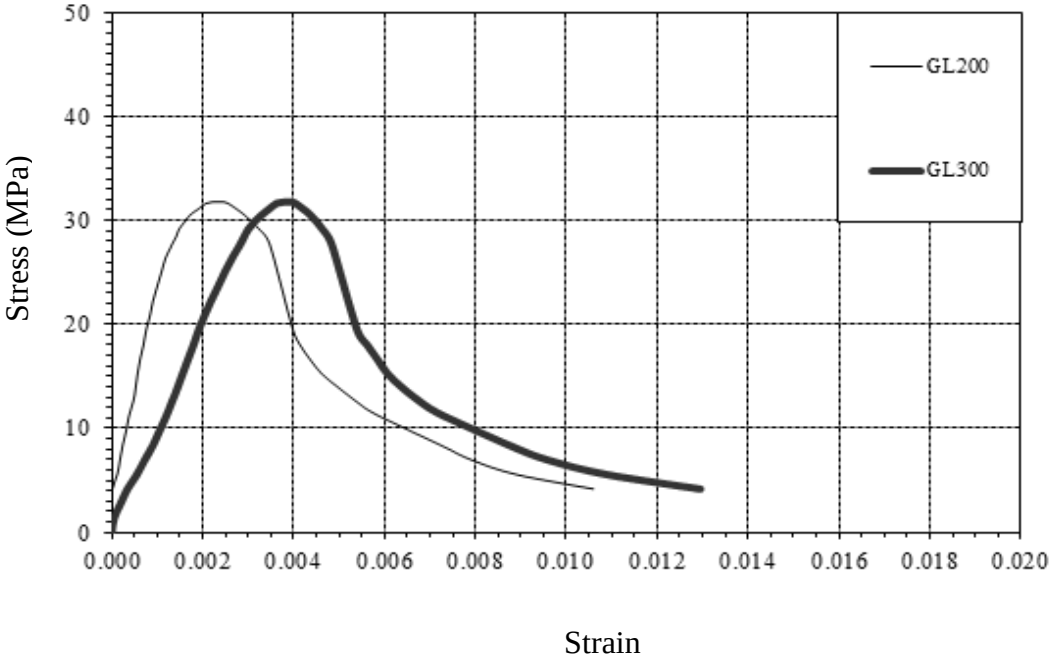


Figure 4.24. Relationship between stress and strain for specimen (ÇZS2).

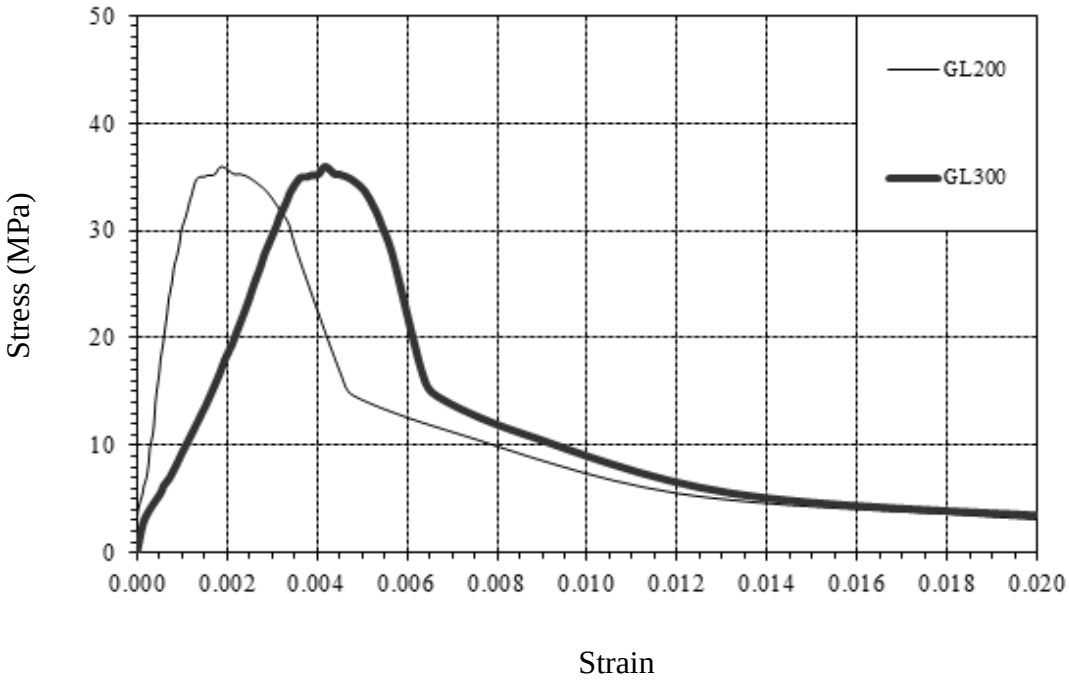


Figure 4.25. Relationship between stress and strain for specimen (ÇZS3).

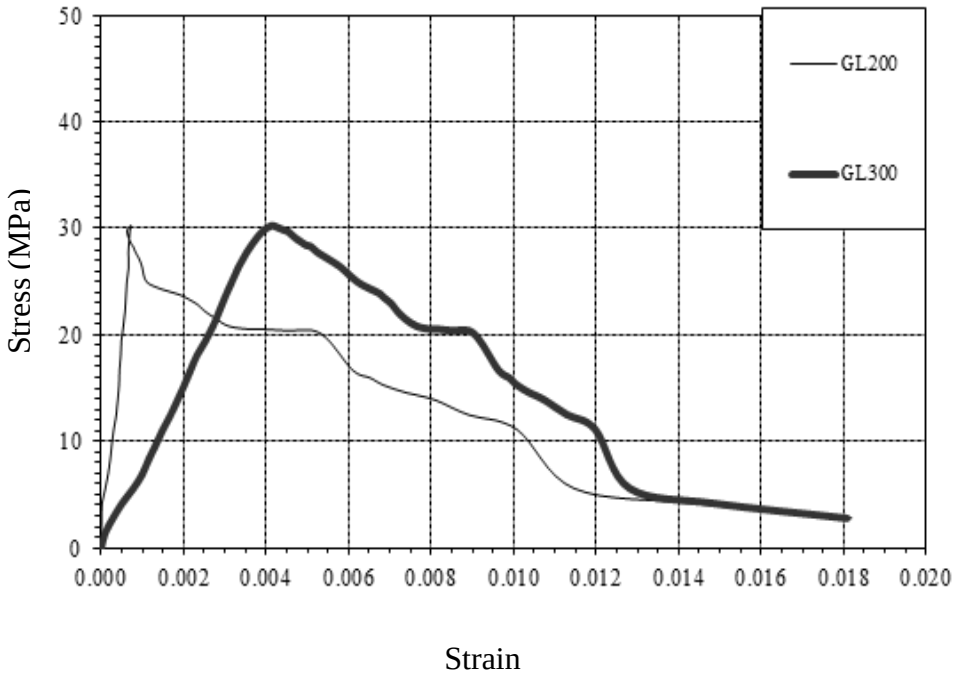


Figure 4.26. Relationship between stress and strain for specimen (ÇZS4).

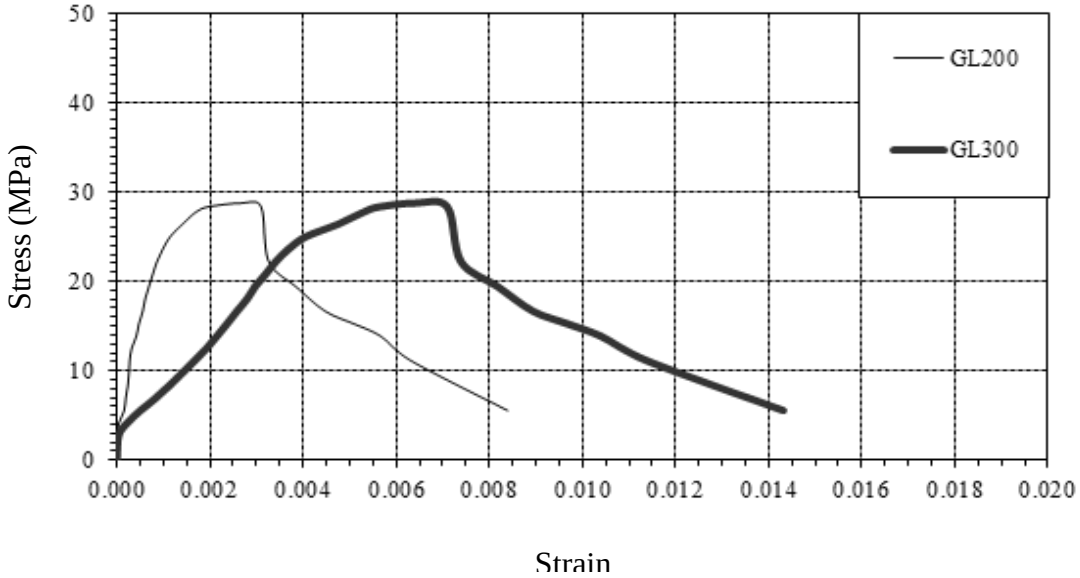


Figure 4.27. Relationship between stress and strain for specimen (ÇSÖN-1).

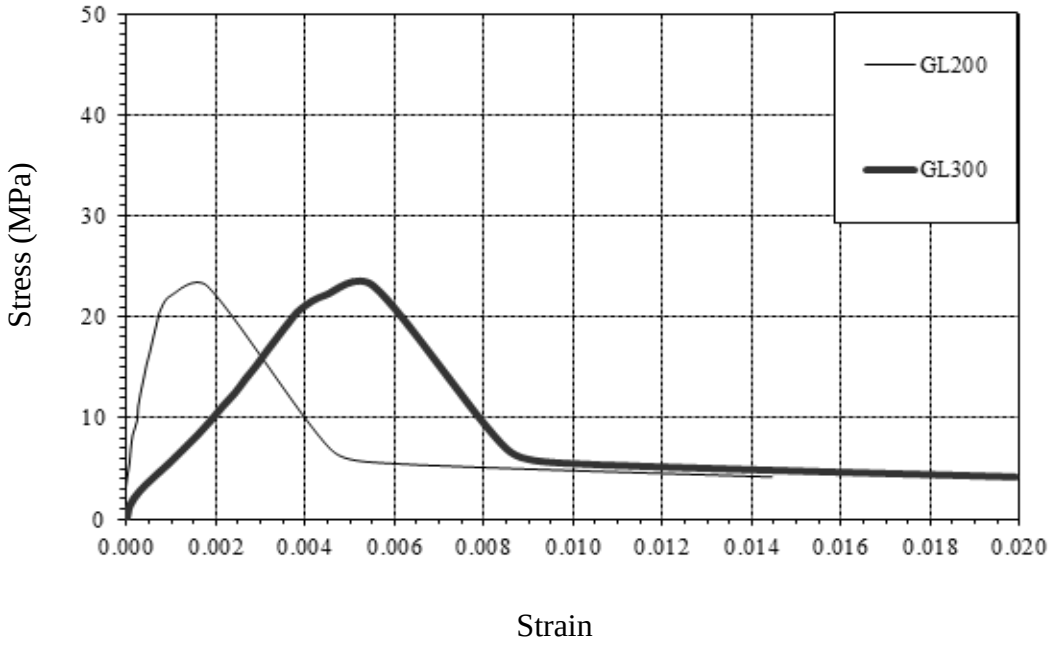


Figure 4.28. Relationship between stress and strain for specimen (ÇSÖN-2)

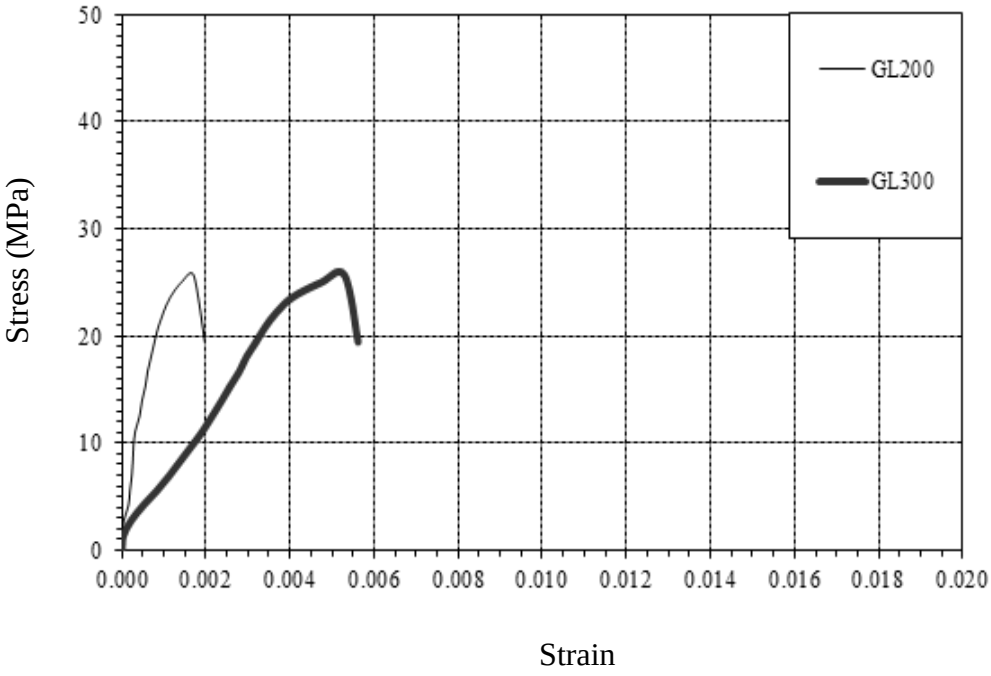


Figure 4.29. Relationship between stress and strain for specimen (ÇSÖN-3)

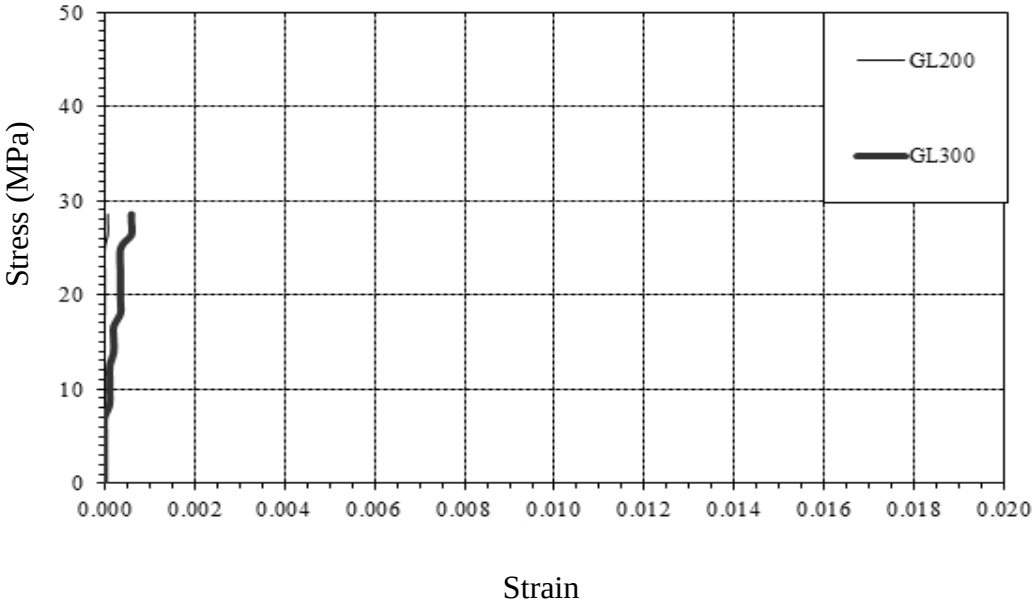


Figure 4.30. Relationship between stress and strain for specimen (ÇSÖN-4)

5. DISCUSSION

In this chapter by using our experimental data some models are going to be developed and the performance of models will be check with the literature.

5.1. Construction of the model

In this study 19 cylindrical specimens were used the same water cement ratio. The specimens are 300 mm in length and 150 mm diameter. Measured UPV values were changed between 4.0 and 4.5 km/s for each specimen. In other hand, compressive strengths (fc) were changed between 25 and 50 MPa. The UPV were used to obtain modulus of elasticity. All the data were used to obtain equation given in Figure 1. To get an improved equation some of the data were removed and Equation 2 was obtained. In the R^2 is getting higher. Relationship between E_c and UPV were given in Figure 5.1.forEq.1, and Figure 5.2.forEq.2, respectively.

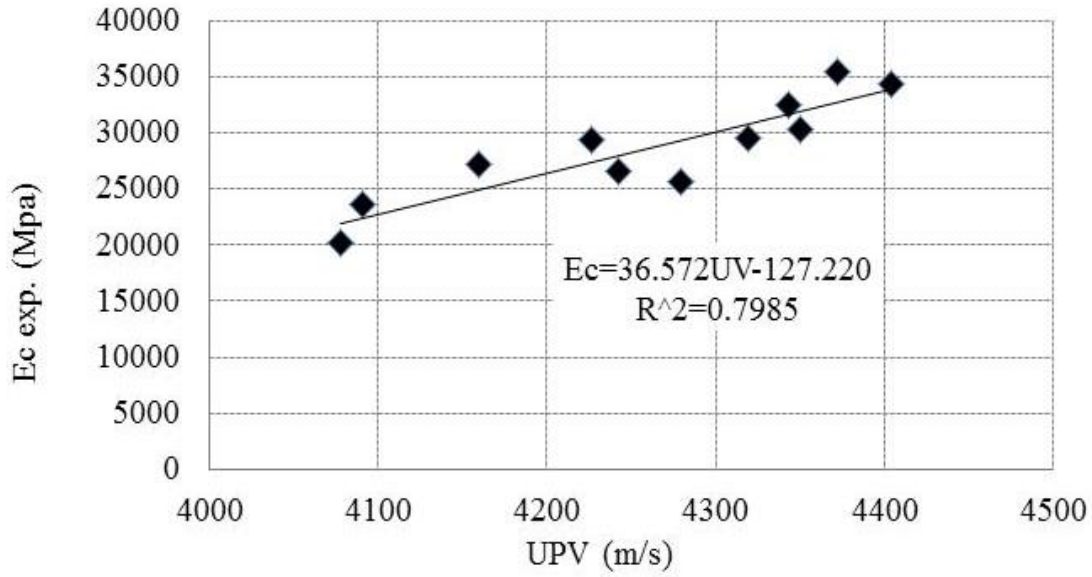


Figure 5.1. Relationship between UPV and experimental E_c. In study Eq.1

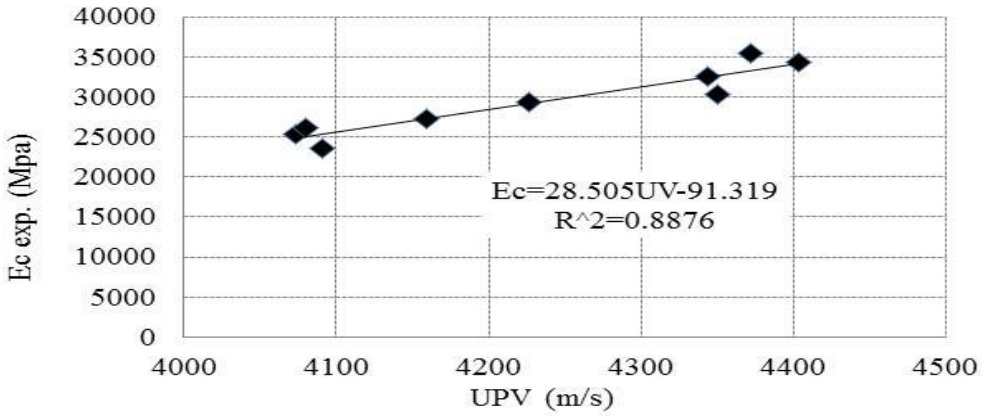


Figure 5.2. Relationship between UPV and experimental E_c. In study Eq.2

As shown in Figure 5.1. and Figure 5.2 in this study five equation were formed by using relation between UV m/s and E_c MPa. However, only two of them were used in evaluation and performance. I eliminate three equations since they are not good at predictions. The best two equations were given Table 5.1.

Table 5.1. Equation of study model.

No	Researcher	Equation	R^2
1	Eq.1	Ec=36.572*UV-127.22	0.7985
2	Eq.2	Ec=28.505*UV-91.319	0.8876

*Ec and UV in GPa and km/s respectively

5.2. Performance of the Model Part One

In order to evaluate the performance of current model some statistical guide were also used, standard error deviation these are; Root-Mean Square Error (RMSE), Relative Error(RE), and average of the ratio experimental to predicted results, with scatter diagram. Here, for the best model, the RMSE value should be record the lowest value, the RE should have the smallest percentage and the

average of ratio of experimental to predicted results should be the nearest to one. The average, RE and RMSE guide evaluate by the following equations:

$$\text{Average} = \frac{Theoretical\ E_c}{Experimental\ E_c} \quad (5.1)$$

$$\text{RE} = \frac{(\text{experimental}E_c - \text{theoretical}E_c)}{\text{experimental}E_c} \quad (5.2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(\text{experimental}E_c - \text{theoretical}E_c)^2} \quad (5.3)$$

All of the experimental data was predicted by use of our two equations. After then performance of these equations were checked with different statistical evaluation parameters.

To check the performance of the developed models both data and models were collected from literature. Six models collected from three different researchers are given in Table 5.2. In addition three models suggested by different codes were also used.

Table 5.2. Models from literature**.**

Nu	Researcher	Equation	R^2	Unit
1	Mohammed 1et al. (2016)	Ec= 1485e(0.181*UV^2)	*	Ec(MPa) UV(Km/s)
2	Mohammed 2 et al. (2016)	Ec= 1485e(0.181*UV^2)	*	Ec(MPa) UV(Km/s)
3	Mohammed 3 et al. (2016)	Ec= 1335e(0.186*UV^2)	0.685	Ec(MPa) UV(Km/s)
4	Mohammed 4 et al. (2016)	Ec= 1273e(0.181*UV^2)	0.535	Ec(MPa) UV(Km/s)
5	Al-Ameeri et al. (2013)	Ec=29.267*UV-90.933	0.9493	Ec(MPa) UV(Km/s)
6	Yildirim and Sengul (2009)	Ec=6e(0.076*UV^2)	0.96	Ec(MPa) UV(Km/s)
7	ASTM C 597 (2003)	$E_d = \frac{\rho V^2 (1+\mu)(1-2\mu)}{(1-\mu)}$	*	E_d(Pa) V(km/s) ρ(kg/m^3)
8	ACI 318 (2008)	$\mathrm{Ec} = 4.73\sqrt{f_c}$	*	Ec(Gpa) f_c (Mpa)
9	TS500 (2000)	$\mathrm{Ec} = 14000 + 3250\sqrt{f_c * 0.85}$	*	Ec(Mpa) f_c (Mpa)

*R^2 of some equations is not available.

Performance of all models were compared by using different statistical evaluation parameters. The results of the statistical parameters are given in Table 5.3. Evaluation given in Table 5.3 were carried out with our data of 19 specimens. In this evaluation for the best model average should be nearest to 1, relative error and root mean square error (RMSE) should be smaller. As result Eq.2 is the best model in

prediction of elastic modulus from UPV. For further comparison scatter diagrams are prepared for each model and given in Figures. 3-13.

Table 5.3. Performance of the models by using our data.

Nu	Ec use UV	Relative error	Average	RMSE
1	Eq.2	0.1	0.975	3.358
2	Eq.1	0.1	1.039	3.374
3	ASTM C 597 (2003)	0.47	1.334	13.169
4	Yildirim and Sengul, (2009)	0.17	0.835	6.329
5	Mohammed 1et al. (2016)	0.37	1.366	11.26
6	Mohammed 2 et al. (2016)	0.35	0.648	10.864
7	Mohammed 3 et al. (2016)	0.34	1.343	10.730
8	Mohammed 4 et al. (2016)	0.18	1.171	6.181
9	TS500 (2000)	0.16	1.103	4.873
10	ACI 318 (2008)	0.13	0.953	4.857
11	Al-Ameeri et al. (2013)	0.18	1.168	5.459

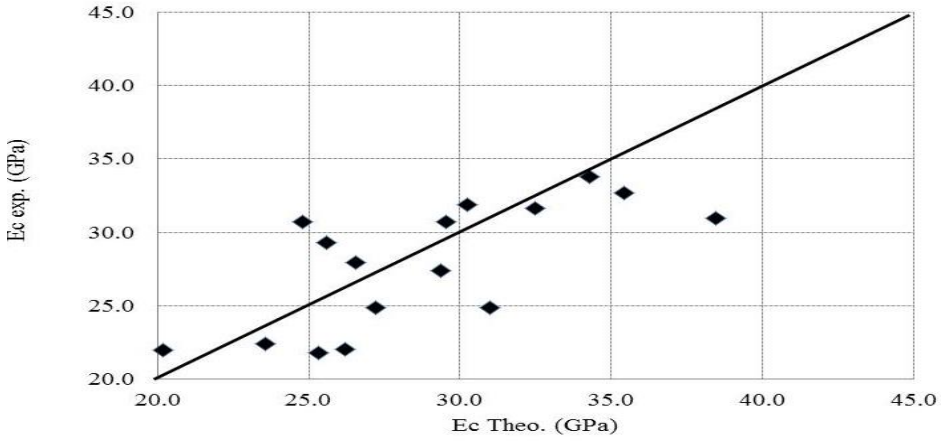


Figure 5.3. Relation between E_c exp. And E_c theo. In Eq.1

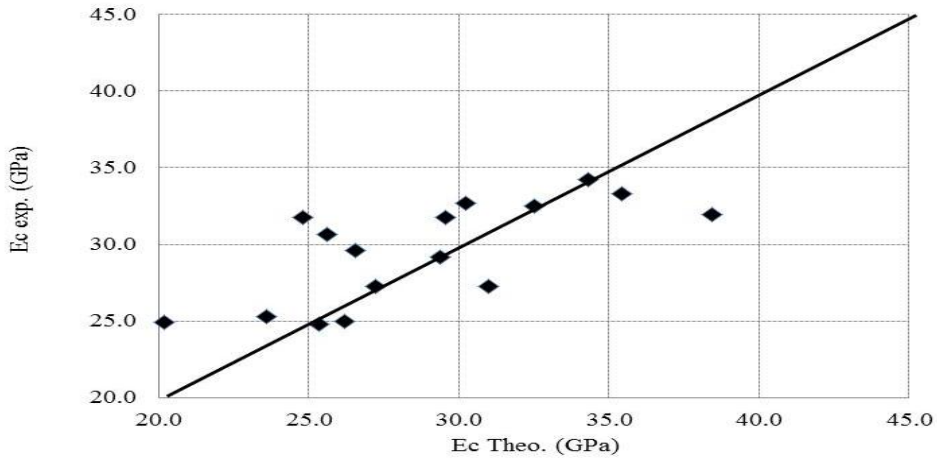


Figure 5.4. Relation between E_c exp. And E_c theo. In Eq.2

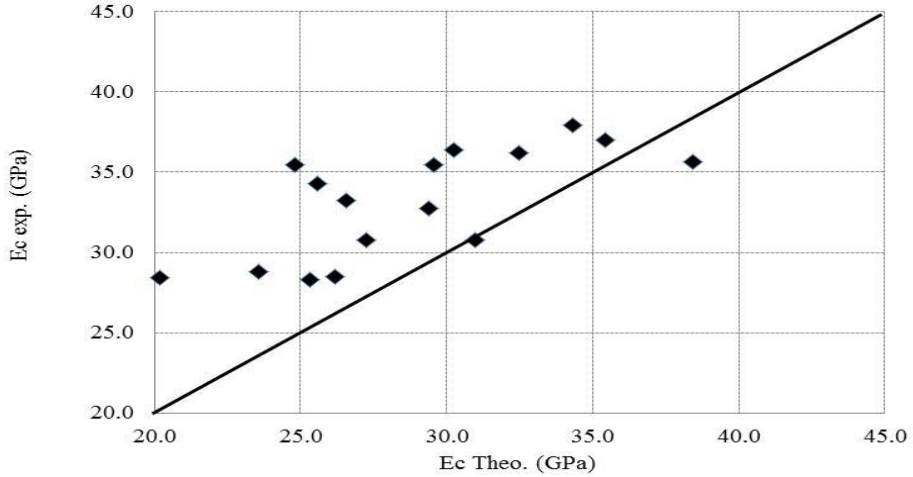


Figure 5.5. Relation between E_c exp. And E_c theo. by Al-Ameeri et al. (2013)

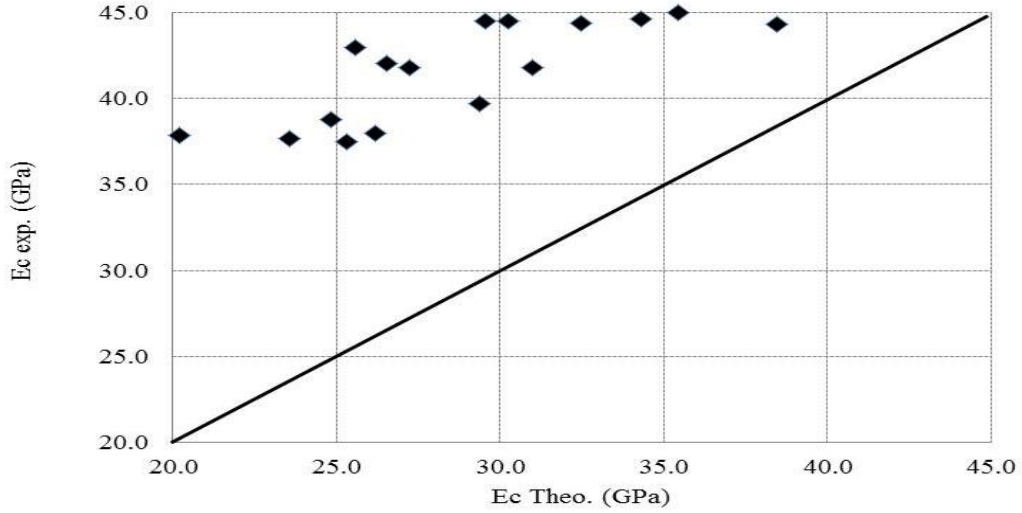


Figure 5.6. Relation between E_c exp. And E_c theo. by ASTM C 597 (2003)

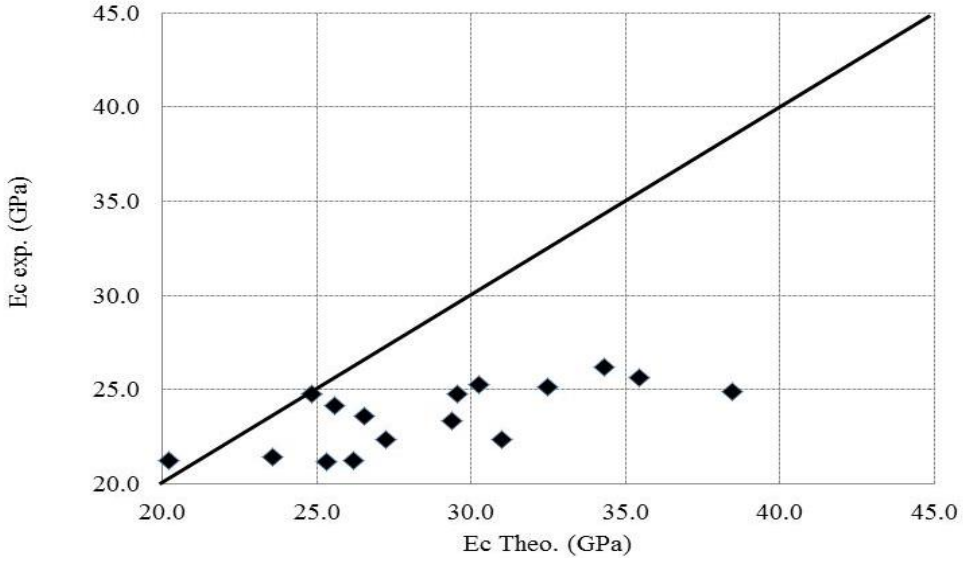


Figure 5.7. Relation between E_c exp. And E_c theo. by Yildirim and Sengul, (2009)

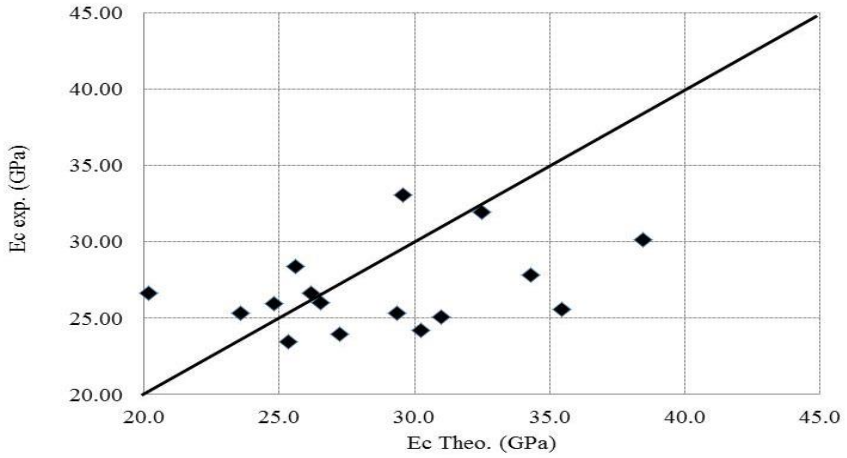


Figure 5.8. Relation between E_c exp. And E_c theo. ACI 318 (2008)

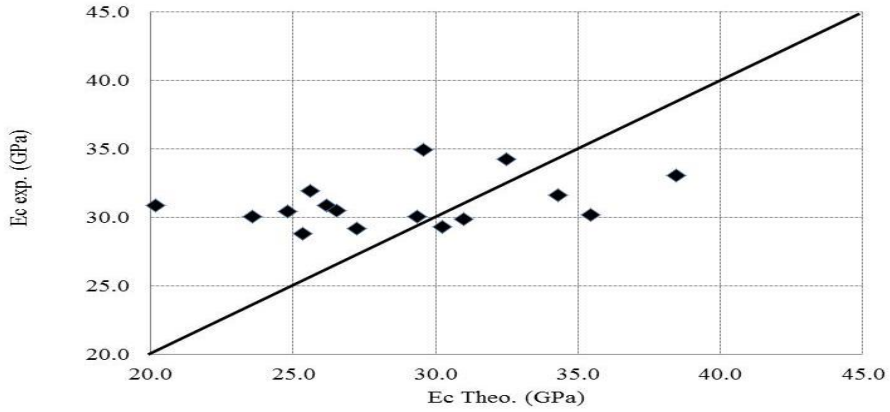


Figure 5.9. Relation between E_c exp. And E_c theo. TS500 (2000)

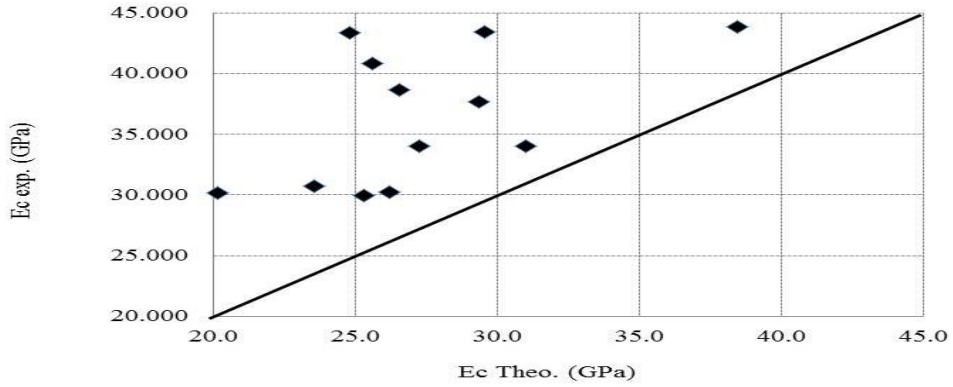


Figure 5.10. Relation between E_c exp. And E_c theo. by Mohammed 1 et al. (2016)

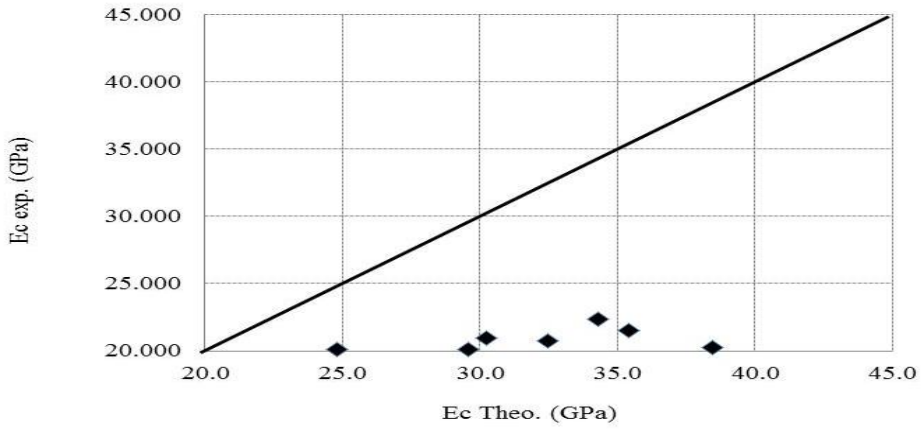


Figure 5.11. Relation between E_c exp. And E_c theo. by Mohammed 2 et al. (2016)

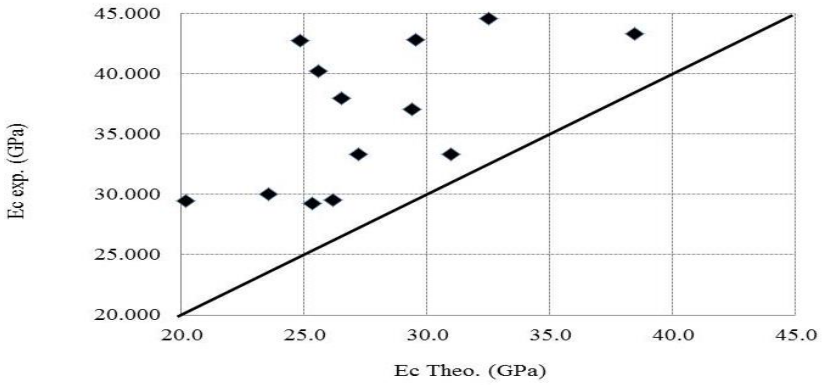


Figure 5.12. Relation between E_c exp. And E_c theo. by Mohammed 3 et al. (2016)

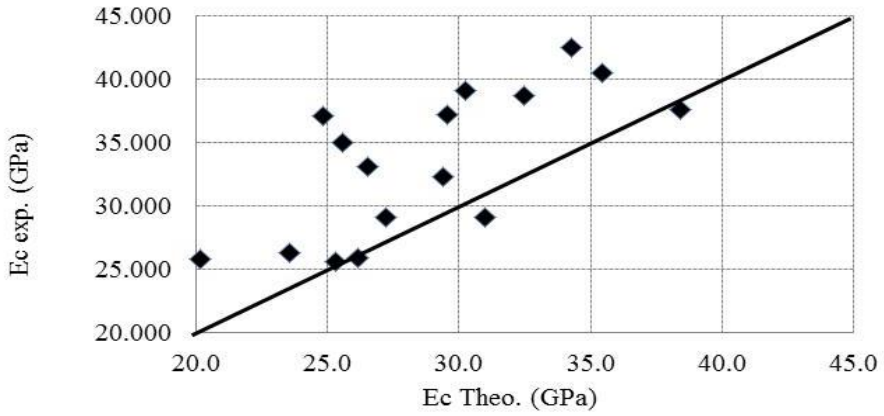


Figure 5.13. Relation between E_c exp. And E_c theo. By Mohammed 4 et al. (2016)

5.3. Performance of the Model Part Two

For an objective comparison and generalization of our models data were collected from literature. Nine data from Rizzo (Rizzo et al. 2016) and eight data from British Standard (BS1881 part203,1986). The first compression was made with data of Rizzo given in Table 5.4. Comparison of the models by utilizing these data was given in Table 5.5. According to this table Relative Error is smallest in models of Yildirim and Sengul 2009, where Eq.2 is the second smallest one. RMSE is smallest for Yildirim and Sengul 2009 and again the second smallest one is Eq.2. According to Average Eq.2 is the best model.

Table 5.4. (Rizzo et al. 2016) data.

Nu.	UV (km /s)	Ec (Gpa)
1	4.692	34.4
2	4.73	34.8
3	4.74	35.6
4	4.34	31.8
5	4.456	32.1
6	4.407	31.4
7	4.367	29.6
8	4.344	29.6
9	4.33	29.2

Table 5.5. Performance with utilizing (Rizzo et al. 2016) data.

Nu	Researcher	Relative error	Average	RMSE
1	Eq.2	0.139	1.139	5.36
2	Eq.1	0.149	1.147	6.38
3	Mohammed 1 et al. (2016)	0.835	1.835	31.58
4	Mohammed 2 et al. (2016)	0.207	0.793	7.45
5	Mohammed 3 et al. (2016)	0.828	1.828	31.6
6	Mohammed 4 et al. (2016)	0.573	1.573	23
7	Al-Ameeri. (2013)	0.259	1.259	8.89
8	Yildirim and Sengul. (2009)	0.129	0.871	4.29

The second compression was made with data of British Standard (BS1881 Part203,1986) given in Table 5.6. Comparison of the models by utilizing these data was given in Table 5.7. According to this table Eq.2 is the best model in terms of Relative Error, Average and RMSE parameter.

Table 5.6. Data of (BS1881 part 203, 1986)

Nu.	UV (km/s)	UV^2	Ec (GPa)
1	3.6	12.96	13
2	3.8	14.44	15
3	4	16	18
4	4.2	17.64	22
5	4.4	19.36	27
6	4.6	21.16	34
7	4.8	23.04	43
8	5	25	52

Table 5.7. Performance with utilizing British Standard (BS1881 Part 203, 1986)

Nu.	Researcher	Relative error	Average	RMSE
1	Eq.2	0.165	1.129	4.49
2	Eq.1	0.223	1.004	5.47
3	Mohammed 1 et al. (2016)	0.799	1.799	38.82
4	Mohammed 2 et al. (2016)	0.190	0.810	4.39
5	Mohammed 3 et al. (2016)	0.785	1.785	39.6
6	Mohammed 4 et al. (2016)	0.542	1.542	29.1
7	Al-Ameeri et al. (2013)	0.284	1.284	7.60
8	Yildirim and Sengul. (2009)	0.147	1.003	5.63

The third comparison was made with mix data of Rizzo and British Standard. Comparison of the models by utilizing these data was given in Table 5.8. According to this table performance of the models given by Yildirim and Sengul is very close model of Eq.2. Relative Error and RMSE were smallest in model of Yıldırım and Sengul 2009, however average is smallest for Eq.2.

Table 5.8. Performance with utilizing data from (Rizzo et al. 2016) and (BS1881 part 203, 1986).

Nu.	Researchers	Error	average	RMSE
1	Eq.2	0.152	1.135	4.97
2	Eq.1	0.184	1.079	5.97
3	Mohammed 1 et al. (2016)	0.818	1.818	35.17
4	Mohammed 2 et al. (2016)	0.199	0.801	6.20
5	Mohammed 3 et al. (2016)	0.808	1.808	35.58
6	Mohammed 4 et al. (2016)	0.558	1.558	26.08
7	Al-Ameeri et al. (2013)	0.271	1.271	8.31
8	Yildirim and Sengul. (2009)	0.137	0.933	4.97

The last comparison was made with mix of all data including our data. Comparison of the models by utilizing these data was given in Table 5.9. According to this table performance of the models the best model is Eq.2.

Table 5.9. Performance with utilizing study data, (Rizzo et al. 2016) and (BS1881 part 203, 1986).

Nu.	Researcher	Relative error	Average	RMSE
1	Eq.2	0.123	1.088	4.27
2	Eq.1	0.144	1.029	4.94
3	Mohammed 1 et al. (2016)	0.599	1.599	26.43
4	Mohammed 2 et al. (2016)	0.273	0.727	8.78
5	Mohammed 3 et al. (2016)	0.583	1.583	26.61
6	Mohammed 4 et al. (2016)	0.376	1.370	19.21
7	Al-Ameeri et al. (2013)	0.226	1.221	7.07
8	Yildirim and Sengul. (2009)	0.154	0.885	5.67

6. CONCLUSION

In this work a group of experimental and empirical studies were carried out to determine elastic modulus of concrete. In the part compression test with sophisticated measurement equipment and ultrasonic pulse velocity tests were carried out totally for 19cylinder specimens with dimension of 150 and 300 mm in diameter and length respectively. In the second part two different models were developed to predict the elastic modulus of concrete from UPV measurement. Prediction performance of models was checked through comparison with different models by using different data from literature.

As a result of performance evaluation the best model developed is as follow,

$$E_c=28.505*UPV-91.319 \quad 6.1$$

In this equation E_c is the static modulus of elasticity. UPV is the ultrasonic pulse velocity. It should be noted that this equation is valid especially for concrete strength between 24-49 MPa and for UPV between 4.0-4.4 km/s.

7. REFERENCES

ACI 318 (2008).Building code requirements for structural concrete, American Concrete Institute, USA.

Al-Ameeri, A. S., Al-Hussain, K., Essa, M. 2013.Predicting a Mathematical Models of Some Mechanical Properties of Concrete from Non-Destructive Testing. Vol.3, No.10, ISSN 2224-5790 (Paper) ISSN 2225-0514.

ASTM C597 (2003). Standard Test Method for Pulse Velocity through Concrete, Dec. 15, 2009. Published February 2010.

Bahavan, M. 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.

Baqer, A., A. 2008. Assessment of concrete compressive strength by ultrasonic non-destructive test.B.SC.in building and construction enginering, 1991.

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.

BS 8110-2:1985 Structural use of concrete. Code of practice for special circumstances: BS EN 1992-1-1:2004+A1:2014.

Bullock, R.E. and Whitehurst, E.A. 1959.Effect of certain variables on pulse velocities through concrete, *Highway Res. Board Bull.*, 206, 37.

Bungey, J. H., Millard S.G. 1996.Testing of Concrete in Structures. Third Edition, ISBN 0-203-48783-4 Master e-book ISBN.

Diogenles, H., J., F. Cossolino, L., C. Pereira, A., H., A. Eldebs, M., K. Eldebs, A., L., H. 2011.Determination of modulus of elasticity of concrete from the

acoustic response. IBRACON Volume 4, Number 5 (December, 2011) p. 792-813, ISSN 1983-4195.

Hannachi, S. Guetteche, M., N. 2014. Review of the ultrasonic pulse velocity Evaluating concrete compressive strength on site. Scientific Cooperations International Workshops on Engineering Branches 8-9 August 2014, Koc University, ISTANBUL/TURKEY.

Hendee, W.,R. Ritenour, A., R. 2002. Medical Imaging Physics. Fourth Edition, ISBN: 0-471-38226-4.

Hong, R. 2012. Damage detection in fiber reinforced concrete with ultrasonic pulse velocity testing .University of Maryland, College Park, in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science.

Jones, R. 1962.Non-Destructive Testing of Concrete, Cambridge University Press, London.

Kaplan, M.F. 1959.The effects of age and water to cement ratio upon the relation between ultrasonic pulse velocity and compressive strength of concrete, *Mag. Concr.*Res., 11(32), 85.

Kumar, S. Mahto, D. 2013. Recent Trends In Industrial And Other Engineering Applications Of Non Destructive Testing: A Review. International Journal of Scientific & Engineering Research. Volume 4, Issue 9, September-2013 183 ISSN 2229-5518 IJSER.

Mahmood, A. 2008. Structural Health monitoring using NDT of concrete. Department of Civil Engineering, National Institute of Technology, Rourkela-769008.

Mix, E., P. 2005. Introduction to Nondestructive Testing. A Training Guide, Second Edition. ISBN: 978-0-471-42029-3.

Mohammed, T., D. Mahmood, A., H. 2016.Effects of maximum aggregate size on UPV of brick aggregate concrete.Ultrasonics 69 (2016) 129–136.

Muftah, F., Sani, S., H.,M. 2012. Pulse Velocity and Rebound Hammer Test on Reinforced Concrete Slab in the Former Civil Engineering Laboratory Building. Faculty of Civil Engineering, UniversitiTeknologi Mara Pahang, Malaysia, Reference Number: 6-1-11-8444.

Neville, A., M. 1995. Properties of concrete "4th edition, Longman Group Limited.

Rizzo, P.,Nasrollahi, A., Deng, W., Vandenbossche, J., M. 2016. Detecting the Presence of HighWater-to-Cement Ratio in Concrete Surfaces Using Highly Nonlinear Solitary Waves.3700 O'Hara Street, 729 Benedum Hall, Pittsburgh, PA 15261.

Star207-INR.2012.Non-destructive assessment of concrete structures: Reability and limits of single and combined techniques. ISBN 978-94-007-2735-9.

Tanasoiu, V., Micleaa, C. Tanasoiua, C. 2002. Nondestructive testing techniques and piezoelectric ultrasonics transducers for wood and built in wooden structures. Journal of Optoelectronics and Advanced Materials Vol. 4, No. 4, December 2002, p. 949 – 957.

Tarun, R. N., Popovics, J. S., Malhotra, V. M. 2004. The Ultrasonic Pulse Velocity Method.

TS (2003). Testing hardened concrete - Part 3: Compressive strength of test specimens EN 12390-3 Nisan 2003 ICS 91.100. 30,NecatibeyCaddesi No.112 Bakanlıklar/ANKARA.

TS500 (2000).Betonarme yapıların tasarım kurallar, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara Türkiye.

WEB

(I1) https://www.ndeed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/Physics/attenuation.htm.

CURRICULUM VITAE

In the year 01.01.1989, I was born in Hetot village of Amedy district in Duhokin Republic of Iraq. I completed my primary school eduction in Deralock town of Amedy district in Duhok in Iraq republic between 1995 and 2004. I was completed My high school education between 2004 and 2008 at the Deralock High School in Deralock town in Amedy district of Duhok city in Federal Republic of Iraq. I completed my university education in Physics department in faculty of Science Faculty in Duhok University between 2006-2010. In 2011, I startedto work as a teacher in the Sheladize high school in Amedi education administration in Duhok city and I am still working there.

T.C.
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI İNTİHAL RAPORU FORMU

ÖĞRENCİ BİLGİLERİ	
ADI VE SOYADI	VaheelSaeed ABDULLAH
ÖĞRENCİ NO	13802308
EĞİTİM – ÖĞRETİM YILI	2015-2016
YARIYIL	x Güz☐Bahar
ANABİLİM DALI	Fizik
PROGRAM	Yüksek Lisans
TEZ KONUSU	Determiningyoungmodulus of concretewithultrasonicwavevelocitymeasurements
İNTİHAL RAPORU BİLGİLERİ	
RAPOR TÜRÜ	Tez Savunma SınavıSonrası
SAYFA SAYISI	79
BENZERLİK ORANI	%11
RAPORLAMA TARİHİ	17/04/2017

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın kapak sayfası, giriş, ana bölümler, sonuç ve tartışma kısımlarından oluşan toplam 79sayfalık kısmına ilişkin, 17/04/2017 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından turnitinadlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %11'dir.

Uygulanan filtrelemeler:

☐Kabul/Onay sayfaları hariç,
☐Kaynakça hariç
☐Alıntılar hariç/dâhil
☐Diğer

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Programlarda Tez Çalışması İntihal Raporu Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edilmesi durumunda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

(İmza)

Vaheel Saeed ABDULLAH

(İmza)	(İmza)
18../..04../2017	19.../..04../2017
Prof.Dr.Mehmet Enver AYDIN	Prof.Dr.İrfan AÇIKGÖZ
Tez Danışmanı	**Anabilim Dalı Başkanı**