T.C.
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ULTRASONIK DALGA HIZI ÖLÇÜMÜ YARDIMIYLA BETONUN BASINÇ DAYANIMININ BELİRLENMESİ

ZIWAR ZEBARİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI

DİYARBAKIR
Aralık-2016

T.C.
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ULTRASONIK DALGA HIZI ÖLÇÜMÜ YARDIMIYLA BETONUN BASINÇ DAYANIMININ BELİRLENMESİ

ZIWAR ZEBARİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI

DİYARBAKIR
Aralık-2016

T.C.

DİCLE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

DİYARBAKIR

Ziwar ZEBAR'i tarafından yapılan "Ultrasonik Dalga Hızı Ölçümü Yardımıyla Betonun Basınç Dayanımının Belirlenmesi" konulu bu çalışma , jürimiz tarafından FizikAnabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir

Jüri Üyesinin

Ünvanı Adı Soyadı

Başkan: Prof.Dr.M.EnverAYDIN

Üye : Doç.Dr.Taha TAŞKIRAN

Üye : Yrd.Doç.Dr.Dilan ALP

Tez Savunma Sınavı Tarihi: 26/09/2016

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

.../...../2016

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.

Kuzenim Dildar Abdulsalam ve arkadaşlarım Kadri Yousif, Vaheel Abdullah, Saruhan Bedirhanoğlu ve Zeki Şimşek’e deney aşamasındaki desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Bana sağladıkları laboratuar imkanlarından dolayı Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümüne teşekkür ediyorum.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR ..... **I**
İÇİNDEKİLER ..... **II**
ÖZET ..... **IV**
ABSTRACT ..... **V**
TABLO LİSTESİ ..... **VI**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **VII**
KISALTMA VE SİMGELER ..... **VIII**
1. GİRİŞ **1**
1.1. Genel 1
1.2. Tezin Amacı 2
1.3. Tez Planı 3
2. ULTRASONİK DALGA VE TEST **5**
2.1. Giriş 5
2.1.1. Ultrasonik Testi'nin Avantajı ve Dezavantajı 6
2.1.2. Ultrasonik Testinin Temel Prensibi 6
2.1.3. Ultrason Dalga Yayılımı Fiziği 7
2.2. Ses Hızında Etkileyen Gereç Özellikleri 9
3. LİTERATÜR TARAMASI **11**
3.1. Ultrasonik Dalga Hızı (Ultrases Geçiş Hızı) 11
3.1.1. Ultrasonik Darbe Hızının Temel Prensibi 11
3.1.2. Ultrasonik Darbe Hızının Uygulaması ve Avantajı 13
3.1.3 Transdüserlerin Mevkileri (Yerleri) 14
3.2. Beton Aracılığıyla Dalganın (Sinyal) Yayılma Teorisi 15
3.2.1. Enerji İletimi (aktarım) 16
3.2.2. Ultrasonik Dalgalarının Azalması (Güç Yitimi) 16
3.3. Ultrasonik Sinyal Hızı ve Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki 17

4. DENEYSEL ÇALIŞMA 23
4.1. Giriş 23
4.1.1. Numuneler 25
4.1.2. Beton Karışım Oranları 25
4.1.3. Numunelerin Üretilmesi 26
4.2. Kür Uygulaması 26
4.3. Ultrasonik Ses Dalgası Yayılma Deneyi 27
4.4. Ulrasonik Ses Dalgası Hızının Belirlenmesinde Uygulanana Prosedürler 28
4.5. Basınç Dayanımı Deneyi 30
5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME 33
5.1. Deneysel Sonuçlar 33
5.2. Değerlendirme 34
6. SONUÇ 47
7. KAYNAKLAR 49
EKLER 57
ÖZGEÇMİŞ 65

ÖZET

ULTRASONIK DALGA HIZI ÖLÇÜMÜ YARDIMIYLA BETONUN
BASINÇ DAYANIMININ BELİRLENMESİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ziwar ZEBARI

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI
2016

Betonun kalitesinin tespiti için hasarsız testler gibi bir çokyöntem mevcuttur. Bu yöntemlerin başında ulltrasonik ses dalgası hızı (UPV) gelmektedir. Bu deneysel ve teorik çalışmada betonun basınç dayanımı ile ultrasonik dalga hızı arasında bir ilişki geliştirilmeye çalışılmıştır.
Deneysel çalışmada beş grup beton küp numune kullanılmıştır. Her bir grup dört küp numuneden oluşmaktadır. Numuneler Diyarbakır İli Kayapınar İlçesi, Diclekent mahallesinde bulunan Çağdaş Apartmanının güçlendirme çalışmasında kullanılan betonlardan alınmıştır. Bu numunelerde su/Çimento oranı 0.5'tir. Numuneler 28 gün normal koşullarda kür edilmiştir. Numunelerin test günlerindeki yaşları 41, 66, 90, 108 ve 121 gündür. Numunelerin yoğunlukları 2.20 ile 2.35 g/cm^3 arasında değişmektedir. Bütün Ultrases ölçümleri içinde en düşük değer 3.5 km/s olarak ölçülmüştür. Ultrases dalgası yayılma hızı ölçümlerinden sonra numuneler üzerinde basınç testleri yapılmıştır. Basınç deneyleri sonucunda dayanımların 29.21 ile 56.46 MPa değerleri arasında değiştiği görülmüştür. Düşük basınç dayanımlarına düşük ultrases dalga yayılma hızının denek geldiği, yüksek mukavemetlere yüksek ultrases yayılma hızlarının denk geldiği görülmüştür. Sonuç olarak basınç dayanımının artışı ile ultrases dalgası yayılma hızının da artığı gözlenmiştir. Dolayısı ile ultrases dalgası yayılma hızının beton basınç dayanımı ile doğru orantılı olduğu söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Beton, ultrason dalgası, ultrasonik test, tahribatsız test, tahribatsızmuayene, basınç dayanımı, ultrasonik dalga hızı.

ABSTRACT

DETERMINING OF COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE
WITH ULTRASONIC WAVE VELOCITY MEASUREMENTS
MSc THESIS

Ziwar ZEBARI

DEPARTMENT OF PHYSICS
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DICLE UNIVERSITY
2016

There are many test methods to assess the concrete quality, such as non-destructive testing (NDT) methods. One of the well known NDT methods is Ultrasonic Puls Velocity (UPV). In this experimental and theoretical study a relationship is determined between concrete compressive strength and UPV.
In the experimental study, five groups of concrete cube specimens were used. Each group contained four samples in the form of concrete cubes. Samples were obtained from concrete work of a building Çağdaş Apartment. Located in Dicle Kent, Kayapinar, Diyarbakir. W/C ratio of mixture is 0.5; specimens were cured in normal condition water for 28 days. Cube specimens were aged for 41, 66, 90, 108 and 121 days. Their densities were measured ranging from 2.20 to 2.35 g/cm^3. All of the UPV measurements were taken from cube specimens are greater than 3.5 km/s. After UPV measurement compression tests were carried out for these specimens. Obtained compressive strength values are ranged from 29.21 to 56.46 MPa. We have observed that the lower compressive strength with 29.21MPa value has given us the lower UPV value with 3.87 km/s and lower density, and the higher compressive strength with 56.46 MPa value has given us the higher UPV value 4.27 km/s and higher density. As a result we have observed that by increasing compressive strength the UPV valuesalso increased. This says us the UPV directly proportional to compressive strength of the concrete.

Keywords: Concrete, ultrasound wave, ultrasonic testing, non-destructive testing,

Destructive testing, compressive strength, ultrasonic pulse velocity.

TABLO LİTESİ

Tablo No.	Sayfa
Tablo 2.1. Malzemelerde Ultrason dalgalarının özetlenmiştir dört modla	8
Tablo 2.2. Beton ve çeşitli metaller Boyuna dalgalar (V_L) ve Enine dalgalar (V_T) hız arasındaki Oran	10
Tablo 3.1. Beton Kalite Değerlendirmesi için hız Standardı	11
Tablo 3.2. CS ve UPV arasındaki ilişkinin denklemleri	18
Tablo 4.1. Beton karışım oranları	26
Tablo 5.1. Deneysel Sonuçlar	33
Tablo 5.2. Beş Grup için ortalama değerler deneysel sonuç	34
Tablo 5.3. Bu çalışmada geliştirilen bütün modeller	40
Tablo 5.4. Bu çalışmada geliştirilen modeller kullanılarak deneysel verilerin tahmini	41
Tablo 5.5. Bu çalışmada geliştirilen modellerin performansı	41
Tablo 5.6. Literatürden alınan bütün modeller	42
Tablo 5.7. Basınç dayanımının literatürdeki denklemler kullanılarak tahmin edilmesi	43
Tablo 5.8. Bütün modellerin tahmin performansı (sadece bu çalışmada yapılan deneysel veriler kullanılmıştır)	43
Tablo 5.9. Sadece literatürdeki veriler kullanılarak yapılan tahminlerin performansı	45
Tablo A. Literatür veriler	57

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil No. **Sayfa**

Şekil 2.1. Sırası ile enine dalgalar ve boyuna dalga dalga yayılımı 7

Şekil 2.2. Rayleigh dalgasının yayılması 8

Şekil 2.3. Yayılan plaka dalganın iki formu 8

Şekil 3.1. UPV test devresinin şematik diyagramı 12

Şekil 3.2. Dönüştürücüler yerleştirme çeşitli yerlerde, a) doğrudan, b) yarıdoğru dan c) doğrudan 15

Şekil 3.3. Çok çeşitli karışımı CS ve UPV beton numuneler arasındaki ilişki 17

Şekil 3.4. UPV Farklı kür dönemleri için (a) FA ve (b) SF ile SCC için değiştirir 19

Şekil 3.5. a) FA ve b) SF ile SCC için CS ve UPV İlişkisi 20

Şekil 3.6. CS ve UPV İlişkisi 21

Şekil 3.7. CS ve UPV ilişkisi 22

Şekil 4.1. Çağdaş Apartmanı 23

Şekil 4.2. Çağdaş Apartmanının Google Earth görüntüsü 24

Şekil 4.3. Hasar gören kolonlardan birisi 24

Şekil 4.4. Kalıptan çıkarılan beton küp numuneler 25

Şekil 4.5. Kür uygulaması 27

Şekil 4.6. Bu Deneyde Kullanılan Ultrasonik Test Cihazı (posso) 28

Şekil 4.7. Kalibrasyon yapılması, 51µs 30

Şekil 4.8. Numunelerin biri üzerinde yapılan ultrason testi 30

Şekil 4.9. Basınç test cihazı 31

Şekil 4.10. Basınç deneyinin yapılması 32

Şekil 5.1. CBK grubundaki numuneler için geliştirilen model 35

Şekil 5.2. CZK grubu için geliştirilen model 36

Şekil 5.3. C2K grubu için geliştirilen model 36

Şekil 5.4. Gurup CAK için basınç dayanımı ile ultra ses dalgası geçiş hız arasındaki ilişki 37

Şekil 5.5. Gurup CO4K için basınç dayanımı ile ultra ses dalgası geçiş hız arasındaki ilişki 37

Şekil 5.6. Beş gurup için basınç dayanımı ile ultra ses dalgası geçiş hız arasındaki ilişki 38

Şekil 5.7. Bütün numuneler için basınç dayanımı ile ultra ses dalgası geçiş hız arasındaki ilişki 38

Şekil 5.8. Denklem 1 için gerçek ve tahmin basınç dayanımlarının karşılaştırılması 45

Şekil 5.9. Turgut (2004) [A] için gerçek ve tahmin basınç dayanımlarının karşılaştırılması 46

KISALTMA VE SİMGELER

NDT : Tahribatsız Muayene

DT : Tahribatsız Muayene

UT : Ultrasonik Test

UPV : Ultrasonik Darbe Hızı

DUPV : Doğrudan Ultrasonik Darbe Hızı

T_X : Verici Dönüştürücü

R_X : Alıcı Dönüştürücü

PUNDIT : Taşınabilir Ultrasonik Tahribatsız Dijital belirten Test

CS : Basınç Dayanımı

f'c : Basınç Dayanımı

μs : Mikrosaniye

V : Hız

λ : Dalga Boyu

f : Frekans

L : Uzunluk

T : Zaman

F : Kuvvet

A : Alan, Genlik

σ : Basınç Dayanımı

ρ : Yoğunluk

υ : Poisson Oranı

ν : Hız

E : Young Modülü

G : Makaslama Dalga Esnekliği Modülü

ω : Açısal Frekans

V_L : Boyuna Dalga Hızı

V_T : Enine Dalga Hızı

ϕ : Açısal Faz

1. GİRİŞ

1.1. Genel

Beton teknolojisi, yapı inşasında önemli bir rolü bulunmaktadır. Beton, sudan sonra dünyada en yaygın olarak kullanılan bir yapı malzemesidir. Beton çok yönlü bir yapı malzemesidir. Daha güçlü ve daha dayanıklı forma dönüştürülebilir olmasıyla, beton köprüler, kaldırımlar, karayolları, ev ve barajları inşa etmek için kullanılmaktadır (Neville ve Brooks, 2010).

Beton çimento, agrega ve suyun bir karışımından meydana gelen bir kompozit malzeme olduğu için, her kullanım esnasında, betonun kalitesi güvenilir yöntemler ile test edilmelidir, (Corneloup ve Garnier, 1995).

Bilindiği gibi, günümüzde uygulama alanlarında fizik bilimi büyük ilerlemeler kaydetmiştir. Örneğin tıp ve mühendislik sektöründe, çoğu günlük ihtiyaçları ve işlerinde kullanılabilecek birkaç farklı teknikler vardır. Sıklıkla kullanılan tekniklerden biri de tahribatsız test tekniği (NDT) dir. NDT yöntemi zarar vermeden veya dahili durumunu değiştirmeden bir malzemenin özellikleri hakkında bilgi sahibi olmak için araştırma ve uygulamada en çok kullanılan yöntemlerin başında gelir, (Hellier 2003 ve Mix 2005).

NDT teknikleri arasında en yaygın şekilde kullanılan yöntemlerden biri de Ultrasonik Test (UT) yöntemidir. UT tekniği beton üzerinden yayılan ultrasonik pulse (UP) ses dalgası enerjisi ölçümünü içermektedir. Malzeme içinden geçen yüksek hızlı ses dalgaları genel olarak malzemenin dayanım olarak yüksek kalitede olduğunu belirtir, (IS, 1992).

Ultrasonik ses hızı (UPV) tekniği betonun test edilmesi için de kullanılabilir. UPV betonun içinde ilerleyen ses dalgasını ölçmek için daha çok doğrudan, dolaylı ve yarı dolaylı olarak malzemeler ve nesnelere uygulanabilir. Bu testler beton üretiminde kullanılan malzemelerin niteliğine göre birçok parametreden etkilenmektedir. Bundan dolayı betonun basınç dayanımının yerinde hassas bir şekilde tespiti hasarsız yöntemlerle oldukça zordur (Neville, 2011).

UT'nin en önemli avantajı, kısa bir süre içinde birçok okumanın yapılabilmesidir. Ancak UPV'yi etkileyen bazı faktörlerden dolayı bu dikkatlice yapılmalıdır. Örneğin W/C, Karışımlar, nem içeriği, yol uzunluğu, şekli ve numuneler, tip büyüklüğü, agrega büyüklüğü, çimento tipi, beton ve sıcaklık yaşı gibi faktörler UPV değerlerini etkileyen başlıca faktörlerdir. Bir diğer önemli avantaj ise NDT ölçümleriyle bazı özel formüller

kullanılarak bazı mekanik özellikler tanımlanabilir olmasıdır. Bu işlemler sırasında betonda herhangi bir hasar oluşmaz. NDT metodla malzeme test edildikten sonra, basınç testi gibi hasarlı test (DT) teknikleri ile malzeme test edilebilir. Basınçtesti (CS) malzemenin mekanik özelliklerinin tespit etmede, kullanılan güvenilir testlerden biridir. Bu ve bunun gibi yukarıda tartıştığımız diğer tekniklere hasarlı testler (DT) denir. Her iki tekniği de (NDT ve DT) kullanarak çeşitli sonuçları elde edebildik. Burada DT ile elde edilen sonuçlaren gerçekçi sonuçlardır. Ancak NDT ile elde edilen sonuçlar tahmini sonuçlar olup gerçek sonuçlar değildir. Çünkü yukarıda anlattığımız gibi, birçok faktörden dolayı bu sözkonusu sonuçlar tahmini değerler olup gerçek değerler değildir. Bu iki metod arasında bir bağ oluşturabilmek için denklem veya denklemler geliştirilmek suretiyle NDT tahmini değerlerinin DT gerçek değrelerine yaklaştırılması mümkün olacaktır. Bu şekilde her iki tekniğin ne kadar birbirine yakın olduğu tespit edilerek NDT ile de beton dayanımın daha güvenilir bir şekilde elde edilmesine çalışılacaktır. Bu testler ve teknikler dünyanın her yerinde sıklıkla kullanılmaktadır(Naik et al, 2004 ve Malek, Kaouther, 2014).

Bu konuda yapılmış araştırmaların çoğu UPV ve CS arasındaki ilişkinin doğru orantılı olduğunu göstermektedir. Bu nedenle bu konudaki standartlara göre elde edilecek ilişki en azından doğrusal ve mantıklı bir ilişki olmalıdır. Eğer değilse; o zaman deneylerde yetersizlik ve hataların olduğu söylenebilir.

Bu araştırma ve çalışmada, kullanılan numuneler küp olduğundan UPV testi ile tahmin edilen ilişkiküp numunelerini değerlendirmek için kullanılmalıdır. Özetle bu çalışmada, betonun UPV ve CS'i arasında istatistiksel birkorelasyon elde edilmesi amaçlanmıştır.

1.2. Tezin Amacı

"Doğrudan ultrasonikdalga (sinyal) hızı" (DUPV)'ndan CS değerinin tahmin edebilecek uygun bir denklemi kurabilmek için iki tür veri kullanılmıştır:

Birinci veriler, DUPV ve CS'nin normal kür uygulanmış beton küp numuneler. İkinci tür veriler ise literatürden toplanan deneysel verilerdir. Buveriler basınç dayanımı bakımından büyük bir aralığa sahiptir. İlgili araştırmacıların önerdikleri modeller de istatiksel değerlendirmelerde kullanılmıştır.

1.3. Tez Planı

Tezin geri kalan düzenlemesi aşağıdaki gibidir: Bölüm İkide, NDT'nin UT tekniği, UT'nin belli başlı prensipleri, ultrason dalgasının dalga yayılımı ve UT tekniğinin avantaj ve dezavantajları hakkında bilgiler sunulmuştur. Bölüm üçte, UPV test temelleri ilkesinin gözden geçirilerek farklı araştırmalardan CS ve UPV arasındaki ilişki üzerine literatür araştırması yapılmıştır. Bölüm Dörtte, bu bölümde deneysel çalışmalar anlatılmakta, UPV ve CS testlerinin genel prosedürleri incelenmiştir. Bölüm Beşte, deney sonuçlarının değerlendirmesi yapılmış olup bu araştırmanın en iyi denklemi sunulmuştur. Ayrıca farklı araştırmacıların bazı verileriyle bizim en iyi denklemimizin performansı test edilmiştir. Bölüm Altıda, mevcut çalışma ve gelecekte yapılacak çalışmalar için öneriler verilerek bu çalışmadan elde edilen temel sonuçlar sunulmuştur. Son olarak bu çalışmada kullanılan deneysel veriler bu tezin ek bölüümünde sunulmuştur.

2. ULTRASONİK DALGA VE TEST

2.1. Giriş

Ses dalgalarını katı, sıvı ve gaz halindeki maddelerin arasından yollamak suretiyle yapılan modern ultrasonik test tekniği malzemeye zarar vermemesi nedeniyle sık olarak kullanılmaktadır. UT Ölçüm Değerleri Genellikle 0.5-20 MHz arasında değişmektedir. İnsanın işitme seviyesi yaklaşık 20 Hz-20 kHz'dir (Hellier, 2003 ve Berke, 2000).

Ultrason (sesüstü) dalgalarının genel olarak insanın işitsel frekans aralığından daha yüksek bir ortamda bir titreşim hareketi olan yada 20 kHz üzeri olan dalga iletiminden oluşan bir olgu olarak tanımlanır. Ultrason dalgaları elastik dalgalar olarak kabul edilirler (Garbacz ve Garboczi, 2003).

Ultrasonik dalgalar iki alanda çok önemlidir. Bunlardan biri kusur tespiti içindir. Ayrıca bu yöntem malzemeninbasınç dayanımı veçeşitli elastik sabitlerve fiziksel özelliklerin analiz edilmesinde kullanılmaktadır (mix, 2005).

Yukarıda belirtilen ultrason testleri orta titreşimleri küçük genlikli bir sinüs dalgası ile tanımlanabilir. Bu tip titreşim dalga hareketi denklemi kullanılarak tarif edilebilir.

Konumu(yeri):

$$\frac{\partial^2 a}{\partial t^2}=C^2\frac{\partial^2 a}{\partial x^2} \qquad 2.1$$

a: (m)'de anlık parçacık (cisimcik) yer değişimi.

t: Saniye (ler)'de süre.

C: (m/s)'de dalga yayılım hızı.

x: (m)'de pozisyon koordinatları.

Orta titreşimleri aşağıdaki parametreler ile karakterize edilir:

Akustik Hız: Parçacıkların denge konumları etrafındaki titreşim hızı.

$$v=\frac{dx}{dt},\ v=\omega A cos(\omega t-\phi) \qquad 2.2$$

Konumu (yeri):

a: (m)'de anlık parçacık (cisimcik) yer değişimi.

t: Saniye (ler)'de süre.

ω: 2πf (2π/T): (rad/s)'da açısal sıklık.

A: (m)'de denge konumundan sapma genliği.

ϕ : Rad'da titreşimli parçacık denge konumundan sapma parasal değerine ulaştığıaçısal aşaması.

Dalga Peryodu (t): Anlık değerleri tekrar edilen süreden sonra.

Dalga frekansı (f): Dalga peryodunun tersi: 1/s (Hz)'te f = 1/T

Dalga boyu (λ): Aynı fazda iki ardışık titreşimli parçacıklar arasındaki minimum uzunluk:

Yukarıdaki denklemi ile bu dalga boyunu kurulabilir:

$$V = \lambda \times f, \text{ or } \lambda = \frac{V}{f} \qquad 2.3$$

Konumu (yeri):

f : hertz (Hz) or (1/s)'de frekanstır.

λ : bir devir içinde yer alan mesafe (m) 'de zaman (süre) boyudur.

V : (m / s) 'de ortam içinde ultrason dalgasının hızı.

İnsan sadece 20-20000 Hz arasındaki sesleri duyabilir yada 20 kHz'den daha fazlasını hissedebilir (Lougier ve Haiat, 2011).

2.1.1. Ultrasonik Testi'nin Avantajı ve Dezavantajı

Diğer NDT metodlarla karşılaştırıldığında UT cihazının, taşınabilir ve ucuz olmasının yanısıra malzemenin derin noktalarındaki çatlakları tespit edebilmesi, katı, sıvı ve gaz halindeki malzemenin mikro yapısını tasvir edebilmesi büyük bir avantaj olarak

Görülmesine rağmen malzemenin, ölçüm probları ile tam kontak halinde olamadığı durumlar bir dezavantaj teşkil eder. Bu durum tanecikli yapıdaki malzemeler, sesin daha düşük hızla ilerlemesine neden olan yüksek sinyalli gürültüler meydana getirir. Bundan dolayı malzemenin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi zor olur (Mix, 2005, ve I7, 2016).

2.1.2. Ultrasonik Testinin Temel Prensibi

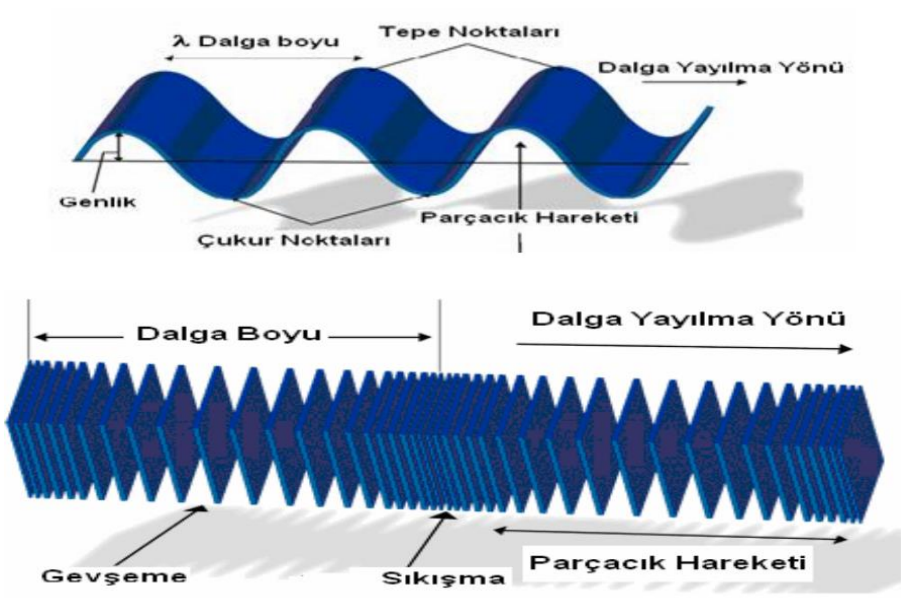
Ultrasonik testler, 0.5- 20 MHz arasındaki frekans aralığında yapılabilir. İnsanın akustik işitmesi yaklaşık olarak 20 Hz ile 20 kHz arasındadır. Ultrasonik Testinin en yaygın tipik özellikleri şunlardır; dalga (sinyal) eko, transmisyon (aktarma) ve UPV (Lütfi, 2013).

Ultrasonik test sistemi iki dönüştürücüden oluşur; "Verici" ve "Alıcı" dönüştürücüler. Dönüştürücüler bir enerji türünü bir başka enerji türüne dönüştüren bir

alettir. Ultrasonik dönüştürücü Alternatif Akımı'nı (AC) ultrason dalgalarına veya tersine dönüştürerek AC'ye dönüştürür. Uygulanan voltaj Piezoelektrik kristaller boyutunu ve şeklini değiştirir. Bu durum, aynı frekansta salınımın oluşmasını mümkün hale getirerek ultrasonik ses üretilmesini sağlayacaktır. Kapasitif dönüştürücüler iletken diyafram ve arka plaka arasında elektrostatik alanları kullanır. Enerji, kendilerine uygulandığı zaman piezoelektrik malzemeler bir voltaj oluşturur. Aynı zamanda ultrasonik dedektörler de çalışabilir (I4,2016 ve I5, 2016).

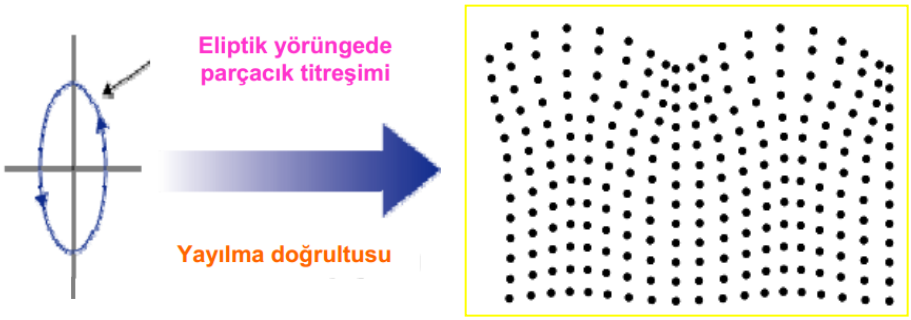
2.1.3. Ultrason Dalga Yayılımının Fiziği

Ultrason dalgası akustik duruma atfedilen maddenin içindeki moleküllerin salınım hareketinin bir mekanik olgusudur. İyonik bağ, kovalent bağ ya da metalik bağ gibi farklı tür bağlarla birleşen atomlar veya moleküller, kendi denge noktası etrafında bir salınım hareketi yapar. Ultrason dalgası, katılarda, enine (kayma dalgası) ilerleme yönüne dik, boyuna dalga (sıkıştırma dalgası) ilerleme yönüne paralel(Şekil 2,1), Rayleigh dalgaları (yüzey dalgası) eliptik (Şekil 2,2) ve plaka dalgaları (lamb dalgası, elastik dalga) (Şekil 2,2)parçacıkların farklı modta hareketleroluşturarakdört yolla yayılır. Bu dalgaların her biri, UT'de kullanılmaktadır. Dikey ve enine dalga genellikle UT'de kullanılır (13, 2016).



Şekil 2.1.Sırası ile enine ve boyuna dalga yayılımı, (Oral, 2011).

Boyuna ve enine dalga da dahil olmak üzere Rayleigh dalgaları veya yüzey dalgaları son derece kalın maddenin yüzeyine yakınilerler. Şekil 2,2'de görüldüğü gibi boyuna ve enine dalga içeren bir eliptik yörünge hareketi üreten Rayleigh dalgalarına neden olur. Şekildegörüldüğü gibi elipsin ana ekseni katı yüzeyine diktir ve yüzeyden bir atomun derinliği arttıkça eliptik hareketazalır(13, 2016).



Şekil 2.2. Rayleigh dalgasının yayılması (I3, 2016).

Bu dalga, dalga ilerlemesi yönüne sahip simetrik ve asimetriği çoğaltabilir ve Şekil 2.3'de gösterildiği gibi plakanın normal yönü plakaya dik yönündedir (13, 2016).



Şekil 2.3. Yayılan plaka dalganın iki formu (I3, 2016).

Tablo 2.1. Malzemelerde Ultrason dalgalarının özetlenmiştir dört modları (I3, 2016).

parçacıkların hareketi	**dalga türleri**
P-Dalga (Sıkıştırma)	Dalga yönünü parallel
S-Dalga (Kesme)	Dalga yönünü dik
Rayleigh (P-dalgası + S-dalgası)	Eliptik orbit- simetrik mod
Kuzu (plaka dalga)	Yüzeye dik bileşen

2.2. Ses Hızını Etkileyen Özellikler

Farklı yoğunluk ve farklı moleküler tasarıma sahip farklı malzemeler, malzemenin içindeki ses ilerlemesine farklı etkiler göstermektedir. Katı malzemenin iç yapısındakiatomlar veya moleküllerin bir yay ile birleştiğini kabul ederekoluştuğunu hayal edebiliriz. Malzemeye basınç uygulandığı zaman, farklı kütle veya yoğunluktaki malzeme denge noktasından farklı frekansta sapmaya uğrar. Bunun nedeni, atom parçacıklarının ve yay sabitlerinin farklı malzemeler için farklı olmasına dayayndırılır. Parçacıkların kütlesi malzemelerin yoğunluğuna ve yay sabiti ise malzemenin elastisite sabitleri ile ilgilidir. Katı bir ortamda ses hızı, yoğunluğu ve elastik sabitleri arasındaki genel ilişki aşağıdaki denklem ile edilir: (16, 2016).

$$v = \sqrt{\frac{Cij}{\rho}} \qquad 2.4$$

Konumu (yeri):

v: (m/s)'de ses dalgasının hızında.

Cij: ''Verilen yönde'' elastik sabiti (değişmezi)(N/m^2).

ρ =Yoğunluk($^{kg}/_{m^3}$)

Yukarıdaki denklem boyuna dalga veya enine dalgaya (kesme dalgası) bağlı olarak kullanılan elastisite sabitlerinde bir takım farklı formlar alabilir. Alt simge "ij" elastisite sabiti C nin yönünü belirler. Dalga türü ve dalga geçiş yönüyle ilgili olarak elastik sabitlerinin yönünü belirtmek için kullanılır. İzotropik malzemede, elastisite sabiti malzeme içindeki tüm yönler için aynıdır. Ancak, çoğu malzemeler anizotropik olduğu için elastisite sabitleri her yönde farklıdır.(16, 2016 ve Hellier, 2003).

Boyuna dalga için bu denklem kurulabilir:

$$V_L = \sqrt{\frac{E(1-\upsilon)}{\rho(1+\upsilon)(1-2\upsilon)}} \qquad 2.5$$

V_L: (m/s)'de boyuna dalgaları için ses hızı.

E: young modülü (N/m^2)

υ: poisson katsayisi

Enine dalgalara rağmen, ses dalgası hızı ile kurulmuş;

$$V_T = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \qquad 2.6$$

Konumu (yeri);

V_T: enine ses dalgasının hızı, G: Kesme dalgasının enine elastisite modülü

$G = \frac{E}{2(1+\upsilon)}$'de bulunabilir.

2.7, 2.6. ve 2.7.'den boyuna dalgaların enine dalgalardan daha hızlı olduğu veya boyuna dalga yaklaşık olarak enine dalganın iki katı olduğu anlaşılabilir.

Tablo 2.2'de beton ve çeşitli metaller için boyuna ve enine dalganın ses hızının bazı örnekleri verilmektedir.

Tablo 2.2. Beton ve çeşitli metaller boyuna (V_L) ve enine dalgaların (V_T) hızları arasındaki oranı (Hellier, 2003).

Malzemeler	V_L (km/s)	V_T (km/s)	Oranı V_L / V_T
Beton	4.400	2.600	1.69
Alüminyum	6.320	3.130	2.02
Çelik (1020)	5.890	3.240	1.82
Dökme demir	4.800	2.400	2.00
Bakır	4.660	2.330	2.00
Titanyum	6.070	3.310	1.83

3. LİTERATÜR TARAMASI

3.1. Ultrasonik Dalga Hızının Temel Prensibi

UT'nin yaygın grup analizi tekniklerinden biri olan Ultrasonik Dalga Hızı (UPV) yöntemi NDT'de çok kullanılır. Böyle katı ortam gibi çeşitli ortamlarda 20 kilohertz'in üstündeki yüksek yoğunluklu frekansı uygulanarak betonun fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi mümkün olur. Genel olarak bilindiği gibi, dalga hızı daha yoğun ortamda daha hızlı hareket eder. Bazı mühendis ve bilim adamları ultrason dalgası enerjisinin hızı malzemelerin kalitesini tespitiiçin kullanımını araştırmışlardır. Bu teknikler beton ve ahşap gibi malzemelere de uygulanabilir ve malzemenin içindeki çatlaklar ve boşluklar gibi hasarlar kontrol edilebilir (IS, 1992). UPV yöntemi, türdeşlik ve homojenlik açısından malzemenin daha iyi kalitede,malzeme boyunca yayılan dalganın hızına bağlı olarak betonun kalitesini değerlendirmek için kullanılabilir, (IS, 1992).

Çünkü çakıl, kum ve çimento gibi beton bileşenleri birçok heterojen bileşimle betonda heterojenliğe sebebiyet verir. Bu durum bazı ölçme zorlukları yaratır. Bu durum bu materyallerin NDT'si ile ilgili birçok araştırmayı gerektirir. Bu alanda birçok araştırma bazı bilim adamları tarafından yapılmıştır (Corneloup ve Garnier, 1995).

Tablo 3.1. Beton Kalite Değerlendirmesi için hız Standardı (1992, IS).

dönüştürücüler tarafından UPV darbeli (km / s)	Beton Kalite Değerlendirme
4.5'in üzerinde	Mükemmel
3.5- 4.5 arasında değişmektedir	İyi
3.0- 3.5 arasında değişmektedir	Orta
Kötü 3.0 aşağıda	Yoksul

"Kötü" kalitesi daha testleri yürütmek için gerekli olabilir durumunda.

3.1.1. Ultrasonik Darbe Hızının Temel Prensipleri

UPV tekniği eksenel ses dalgası hızının temeline dayanarak beton gibi malzeme içinde hareket ederler. Bu atım (pals) hızı yapının veya betonun elastisite özelliklerine bağlıdır. UPV esası iki nokta arasında ses dalgasının enerji yayılma süresi ölçümünedayanmaktadır (Tx and Rx). UPV test dönüştürücü, malzemenin piezoelektrik özelliklerinden dolayı ultrasondalga enerjisi üretir; elektriksel çıkış enerjisi mekanik

ultrason enerjisine dönüştürülür. Şekil 3,1'de gösterildiği gibi cihaz dalga elektrik sinyalini dönüştüren alıcıya ulaşmak için gerekli süreyi T ölçer. T_X'ten R_X arasındaki mesafeyi bilinirse ortam içindeki boyuna dalganın V hızını bilmek mümkündür (IS 1992, Hannachi. ve Guetteche, 2014).

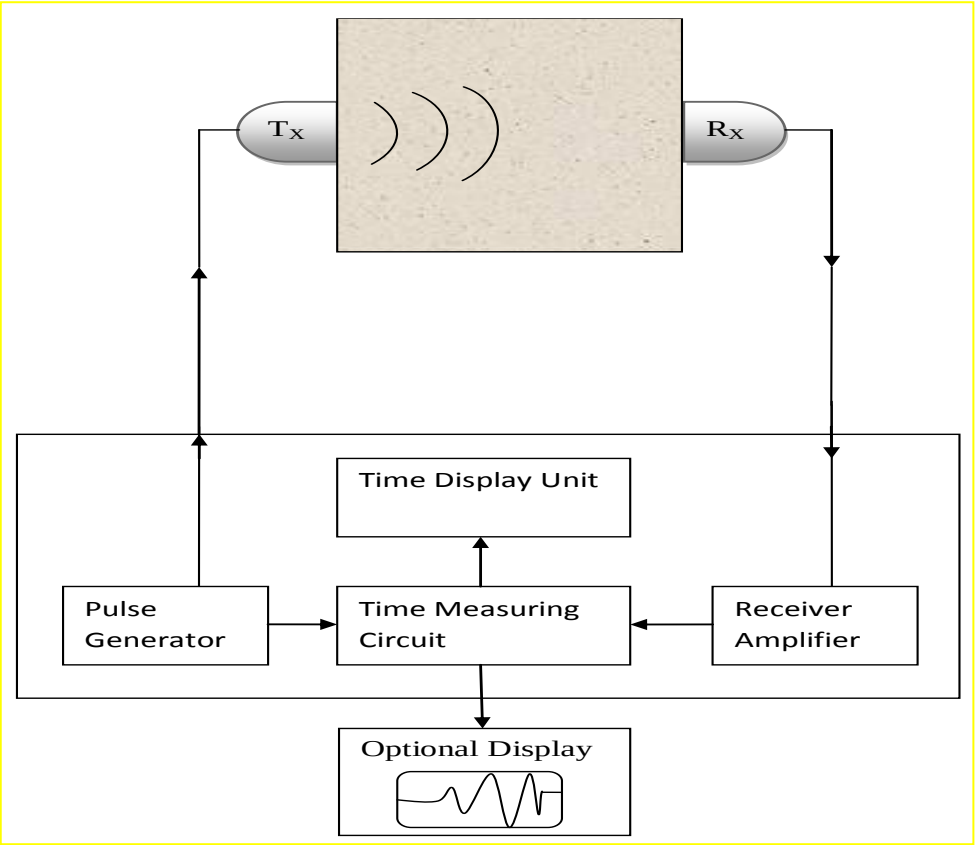


Figure 3.1. UPV test devresinin şematik diyagramı. (IS, 1992).

Tx ve Rx transduserleri, malzemenin iki yüzeyineaynı doğrultuda tutularak yani yüz yüze gelecekşekilde tutulmalıdır. Ses iletiminin malzeme içinde iyi bir şekilde ilerleyebilmesi için Tx, Rx ile malzeme arasındaki boşluğun, ultrason jeli denen bir sıvı ile doldurulması gereklidir. Stres dalgaları boyuna ve enine dalgaları içerir. Transdusere gelen öncül dalga boyuna dalgaya ve bu dalga daha sonra elektriksel sinyale dönüştürülür. Elektronik zamanlama devreleri cihazı, darbeli dalga geçiş süresi 'T''nin ölçülmesine izin verir.

Boyuna atım hızı (km/s veya m/s'de) bununla verilir:

$$V=L/T \quad (3.1)$$

Konumu (yeri);

V: Eksenel dalga geçiş hızıdır, L = yol (iz) uzunluğudur, T = Dalga geçiş süresidir.

Boyuna dalga için:

$$v_L = \sqrt{\frac{E(1-\upsilon)}{\rho(1+\upsilon)(1-2\upsilon)}} \quad (3.2)$$

Ve enine dalgaı için bu formülle yazılabilir:

$$v_T = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\upsilon)}} \quad (3.3)$$

Konumu (yeri):

v_L,v_T: Boyuna ve Enine dalga hızları sırasıyla bulunmaktadır.

ρ: Ortamın yoğunluğu.

E: Elastisite modülü.

υ: Poisson oranı.

Ortamdaki küçük bir rahatsızlıktan kaynaklanan hareketin yayılması, akustik hız veya ses hızı olarak tanımlanır. Yoğunluk, hız ve elastisite modülüarasındaki ilişki aşağıdaki formül ile ifade edilebilir:

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (3.4)$$

Burada;

v: Ses hızı

E, ρ : Sırasıyla, elastisitemodülü ve ortam yoğunluğu (N/m^2).

3.1.2. Ultrasonik Darbe Hızının Uygulanması ve Avantajları

Betonun içinden geçen boyuna titreşim dalgasının UPV'sinin uygulaması ve avantajları aşağıdaki şekilde özetle açıklanabilir (IS, 1992).

- Beton homojenliğinin inşa edilmesi.

- Betonun içindeki boşluklar, çatlaklar, diğer kusur ve noksanlıkların kontrolü ve denetimi.
- Zamanla ortaya çıkabilen betonun yapısındaki değişiklikler.
- Standardlara göre betonun kalitesi.
- Beton bileşenlerinin kalitesinin kontrolü
- Betonun dinamik elastisite modülünün ölçülmesi.

3.1.3. Transdüserlerin Yerleri

Şekil 3,2'de gösterildiği gibi dönüştürücülerin yapılandırılabilen üç olası yolu Vardır: (BS, 2009).

1.Direkt İletim (aktarma)

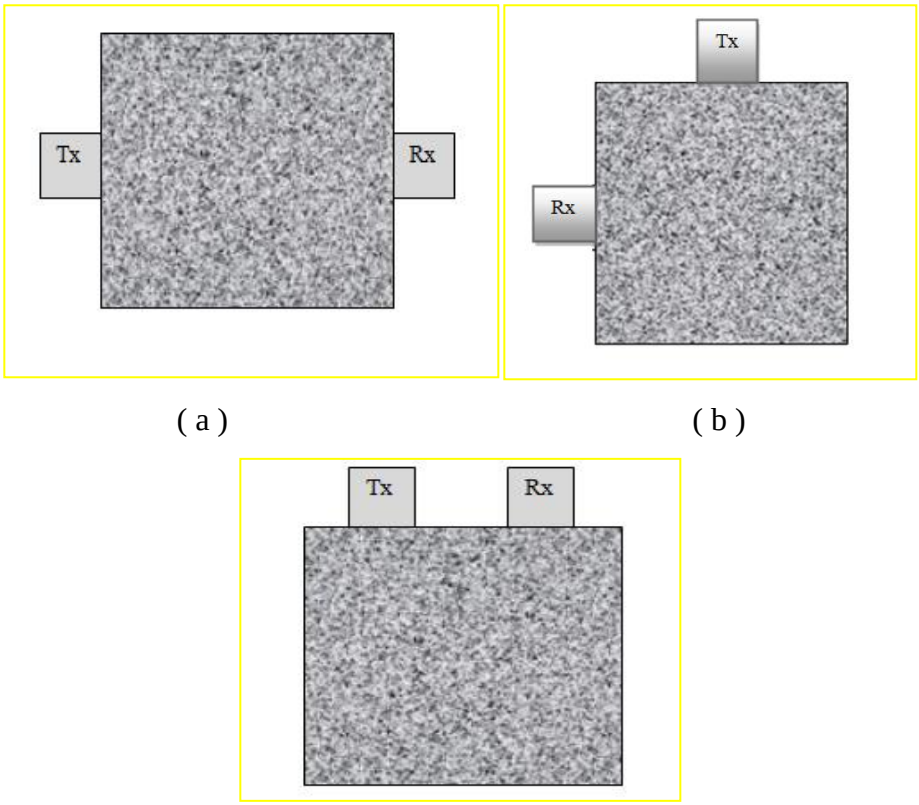
2.Yarı Direkt İletim

3.Dolaylı İletimve bunlar aşağıda tanımlanmıştır:

Direkt İletim yöntemi şekil 3.2'de gösterilmiştir. Direkt dizilimle elde edilen ultrases hızı en güvenilirdir. Çünkü dalga atımının maksimum enerjisi bu dizilimde aktarılıp alınır.

Yarı direktiletim yöntemi Şekil 3,2'de gösterilmiştir. Ayrıca bu yöntem de başarılı bir şekilde kullanılabilir; Ancak dönüştürücülerin birbirlerinden çok uzak tutulmaması gerekirki iletilen dalga atenuasyona uğramamış olsun. Bu yöntem, donatıların yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerde kullanılmamalıdır.

Şekil 3,2'de gösterildiği gibi her iki transdüserin beton elementine yerleştirilmesi üç aşamada yapılabilir. Tx ve R_x, her biri ayrı olarak, gönderici transdüser ve alıcı dönüştürücülerdir.



(a) (b)

(c)

Şekil 3.2 Dönüştürücüler yerleştirme çeşitli yerlerde, a) doğrudan, b) yarıdoğru dan c) doğrudan (Neville and Brooks, 2010).

3.2. Dalganın (Sinyal) Betonda Yayılma Teorisi

İmpuls (darbe) tarafından oluşturulan stres dalgalarının üç temel türü bulunmaktadır. Bu dalgalara; ‘’Boyuna (sıkıştırma) Dalgalar, Enine (kesme) Dalgaları ve Rayleigh (yüzey) dalgaları denilmektedir. Bu dalgalar elastik bir ortamda birbirine benzer modda hareket ederler. En hızlı hareket eden dalgalar sırasıyla boyuna, enine ve Rayleigh dalgalarıdır. Hareket yönünde ilerleyen sıkıştırma dalgaları en hızlı dalga olması nedeniyle en önemli dalgadır. Hareket yönüne dik ilerleyen enine dalgalar ise ikinci derecede hızlı dalgalardır. Parçacıkların eliptik olarak yerdeğiştirme yaptığı yüzey dalgaları en yavaş olan dalgalardır. Dalga hızı, katı ortamın elastik özellikleri ve katı ortam kütlesine bağlıdır. Bundan dolayı kütle ve dalga yayılma hızı, malzemenin elastik özellikleri biliniyorsa, yaklaşık olarak hesaplanabilir. Sonsuz homojen, izotropik elastik ortam (esnek ortam) için kompresyon (sıkıştırma) dalgası hızı aşağıdaki formül ile verilir: (Bungey ve Millard, 1995).

$$V = \sqrt{\frac{K.E_d}{\rho}} \quad 3.5$$

Konumu (yeri);

V: kompresyon dalgası hızı (km/s)

$$K = \frac{(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)} \quad 3.6$$

E_d: Dinamik elastisite modülü (kN/mm^2)

ρ: Orta yoğunluk (kg/m^3)

ν: Dinamik Poisson oranı.

3.2.1. Enerji İletimi

Her iki dönüştürücü (T_x and R_x) malzemelere temas ettiğinde ses dalgası enerjisinin giriş sinyali betonun içine yayılıp alıcı dönüştürücü tarafından bir kısmı iletilir. Ses dalgası enerjisinin başka bir kısmı, örneğin ısı enerjisi gibi diğer bir enerji formuna dönüştürülmektedir. Taze beton da ultrason dalga sinyalleri yeterince güçlü bir şekilde iletilemez. Taze betonda ultrason ses dalga hızının ölçümü uygun değildir(Reinhardt ve Grosse, 1996).

3.2.2. Ultrasonik Dalgalarının Azalması (Güç Yitimi)

Ultrasonik bir dalga ortamda hareket ettiğinde, dalganın titreşim genliği azalır; bu olay dalganın zayıflaması (atenuasyon) olarak adlandırılır (Santamarina ve Fratta, 1998).

Ultrason dalga zayıflaması, ortamın özelliklerine bağlıdır. Nedenleri şunlardır:

- Emilim, bu maddenin her durumunda gerçekleşir. (katı, sıvı ve gaz). Bu mekanik enerjinin ısı enerjisine dönüşmesine neden olan ortamın iç sürtünmesinden kaynaklanır.
- Kırılma, yansıma, dağılma ve dalganın (sinyalin) difraksiyonu (kırınımı); Bu tür dalga atenüasyonu, özellikle beton ve metal poli-kristaller gibi heterojen ortamlarda meydana gelir.

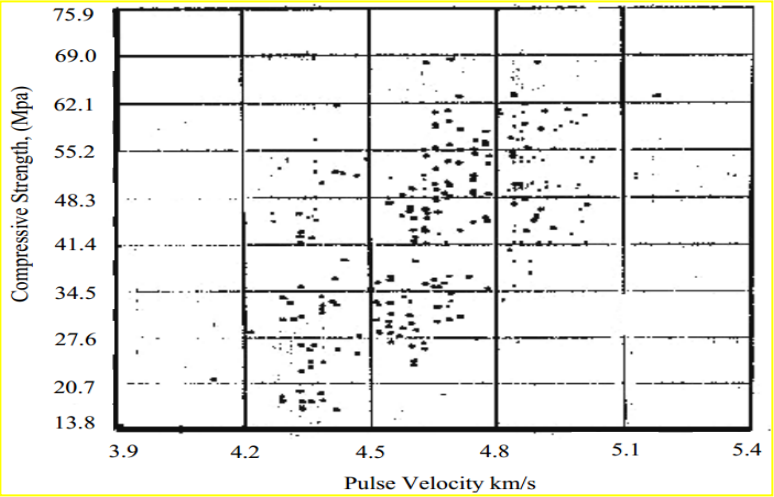
Katı maddelerin çoğunluğu için, emilimi ile ilgili enerji kayıpları ultrason dalga frekansı ile orantılıdır. Böylece boyuna dalgaların zayıflaması enine dalgaların

zayıflatılmasından daha büyüktür. Homojen olmayan malzemelerde, dispersiyondan kaynaklanan ultrasonik dalga enerji kayıplarıdaha önemlidir (Garbacz ve Garboczi,2003).

Hasarlı beton, ilerleyen boyuna dalganın kırınım ve saçılması nedeniyle hasarsız beton numunelerine kıyasla daha fazla atenuasyon gösterir. Bazı araştırmacılara göre dalga atenuasyonu ölçülerek betonun hasarı karakterize edilebilir (Aggelis ve Shiotani, 2007) ve (Suaris ve Fernando1987).

3.3. Ultrasonik Sinyal Hızı ve Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki

UPV yöntemlerinin tekniği 60 yıl önce betonun kalitesini değerlendirmek için başarılı bir şekilde kullanılmıştır. 1951 yılında, Whitehurst, mukavemet testlerinden önce numunenin içinden geçen UPV değerini ölçmüştür. Numunelere, mesnet Aralıkları 18 inçolacak şekilde üç nokta eğilme testi uygulanmıştır. Daha sonra iki parçaya ayrılan kirişlerin her iki uçlarına basınç testi uygulanmıştır. Kiriş uçları 6 inçlik küp olacak şekilde uyarlanmıştır. Şekil 3.3'te görüldüğü gibi, tüm testlerin sonuçları birleştirildiğinde, CS ve UPV arasında kullanılabilir bir korelasyon (ilişki) bulunamamıştır.



Şekil 3.3. Çok çeşitli karışımı CS ve UPV beton numuneler arasındaki ilişki. (Whitehurst, 1951).

Keating et al. (1989), 20 ^{o}C altında kür uygulanmış bir günlük çimento harcı için ultrasonik boyuna direkt geçiş hızı (DUPV) ile küp CS arasındaki korelasyonu rapor etmiştir. İlk birkaç saat içinde UPV'deki değişiminin CS artış oranından daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte DUPV ve CS arasındaki genel bir ilişkinin olduğu sonucuna varılmıştır.

Her ne kadar UPV ile CS arasında bir ilişki kurulabilsede bu ilişkiyi genelleştirmek mümkün değildir. Çünkü çimento tipi, agrega türü gibi beton bileşenleri beton UPV değeri üzerinde etkilidir. Fakat değerlendirilen her bir beton türü için bir kalibrasyon eğrisi var olduğu sürece CS'i tahmin etmek için UPV kullanılabilir (Mandandoust et al, 2010). Galan (1967), UPV ve sönüm katsayısı sabitleri gibi akustik karakteristiklerine bağlı olan betonun CS'sini gözlemlemek için zayıflama analizini rapor etmiştir. Rajagopalan ve diğ. (1973), farklı bir beton karışımı için betonun UPV ve CS arasındaki ilişkiyi rapor etmişlerdir. CS ile UPV arasında doğrusal bir ilişki gösteren 150 mm'lik küplerin UPV ve CS in eşzamanlı olarak elde edilebilen ölçümleri 1-28 günleri arasında alınmıştır.

UPV ve ultrasonik darbe genliğinin birleştiği deneysel formülü elde etmiştir. En yaygın olarak kullanılan denklem aşağıda ifade edilmiştir (Trtnik et al. 2009):

$$S = a.\exp(b.Vp).$$

Konumu (yeri); a ve b en küçük kareler yöntemi ile belirlenen ampirik (deneysel) parametrelerdir. Tablo 3,2, CS beton kumu ve UPV'nin boyuna (sıkıştırma) dalgaları Vp arasındaki bazı ilişkileri R^2'nin belirleme katsayısıyla temsil etmektedir.

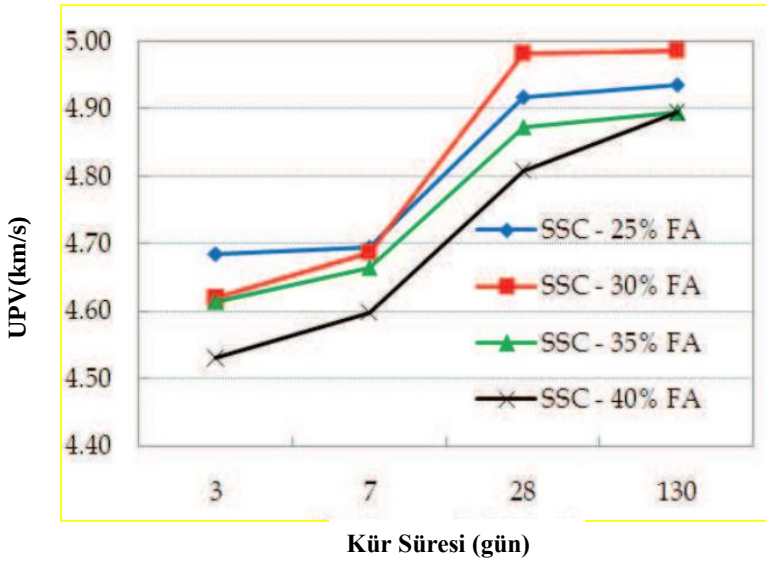
Tablo 3.2. CS ve UPV arasındaki ilişkinin denklemleri (Trtnik et al, 2009).

Denklemler	R^2	Araştırmacılar
$S=1.146\ e^{0.77Vp}$	0.80	Turgut (2004)
$S=1.19\ e^{0.715Vp}$	0.59	Nash'nt et al. (2005)
$S=1.2\times10^{-5}\ (Vp\times10^{3})^{\ 1.7447}$	0.41	Kheder (1999)

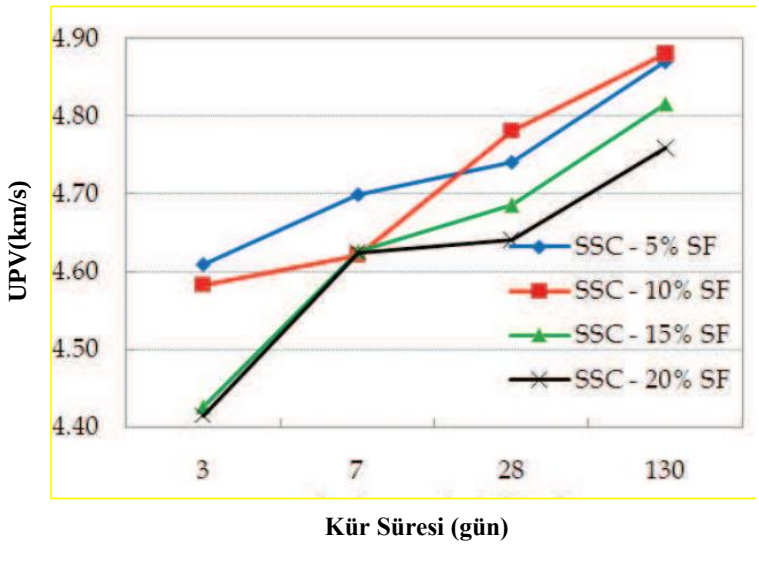
Bu denklemler Tablo 3.2'de gösterilmiştir. R^2'nin az olanı kaydedilmiştir. Çünkü Beton bileşimi dikkate alınmamıştır. Bir başka deyişle, Çeşitli beton bileşimleri aynı anda karşılaştırılmıştır.

Ulucan et al. (2008), kendiliğinden yerleşen beton (SCC) türü Portland çimentosu (PC) yerine mineral katkılar olarak Silika Fume (SF) ve Fly Ash (FA)'nın etkilerinin her birini araştırıp incelemiştir (Şekil 3.4.a). SCC 'lerde sadece 3. ve 7. günde PC yerine FA'nın artan oranıyla UPV değerleri artmıştır. FA yerdeğiştirmesinin her düzeyinin SCCs'lerinde UPV değerleri kür süresinin artmasıyla artmıştır. Her kürleme yaşının Şekil 3.4.b için FA'yı kapsayan UPV değerlerinin SCCs'leri değiştirmenin her seviyesinde SF

değiştirmesi ile SCC'den daha yüksek bulunmuştur. UPV ve CS arasındaki ilişki de SCCs türü için üstseldir. Ancak; her puzolanik materyal oranı sabit olmasına karşılık SCCs'de PC'nin değiştirilmesinin her seviyesi farklıdır.

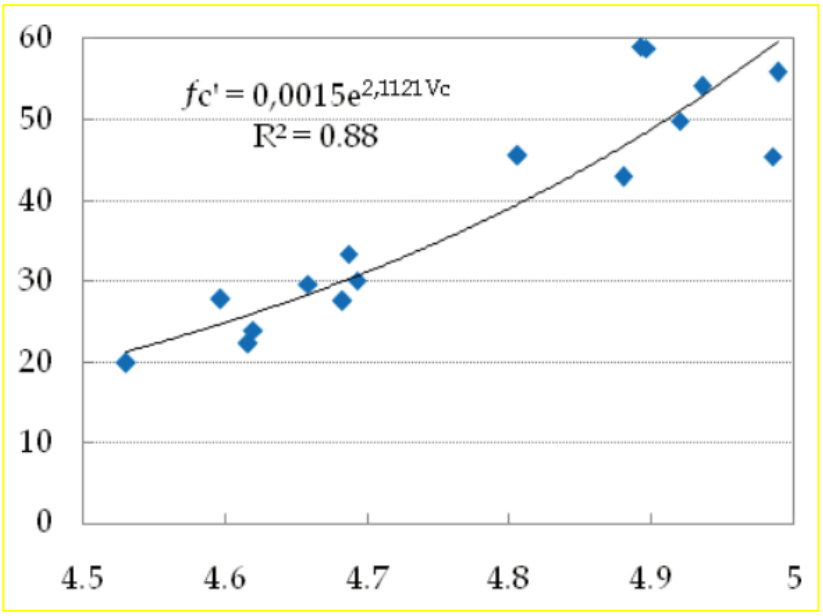


(a)

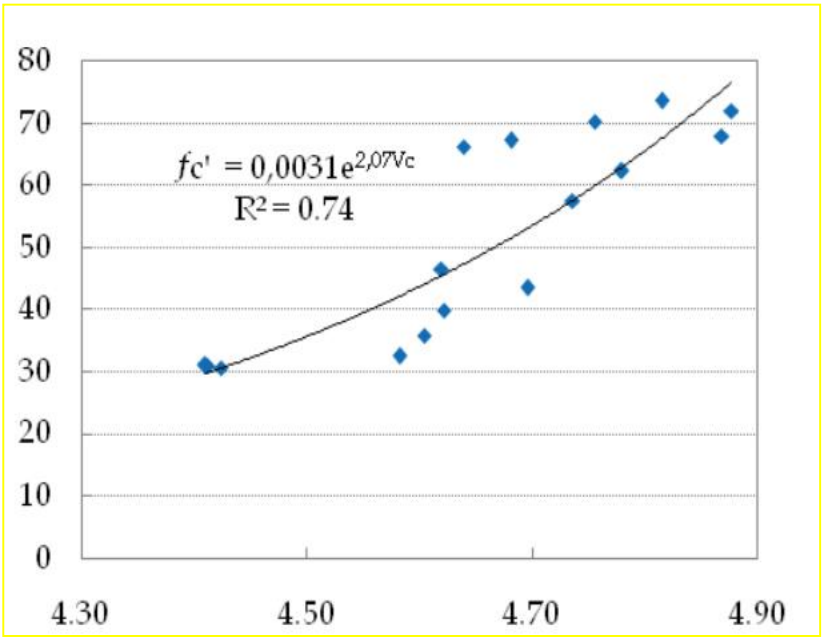


(b)

Şekil3.4. UPV Farklıkürdönemleriiçin (a) FA ve (b) SF ile SCC İçindeğiştirir (Ulucan,et.all,2008).



(a)

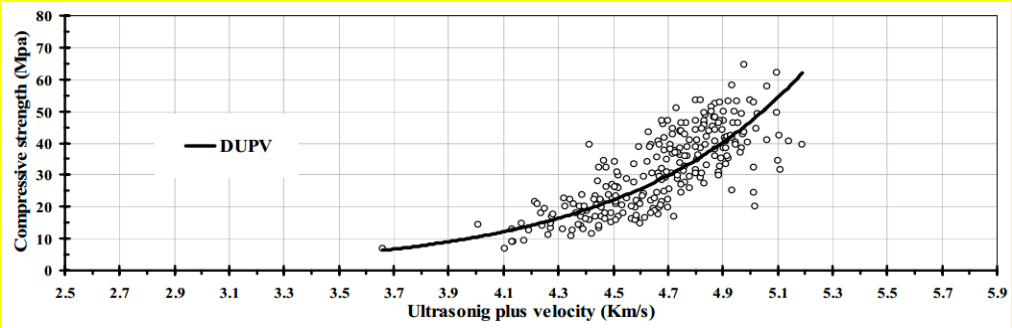


(b)

Şekil 3.5. a) FA ve b) SF ile SCC için CS ve UPV İlişkisi (Ulucan et al., 2008).

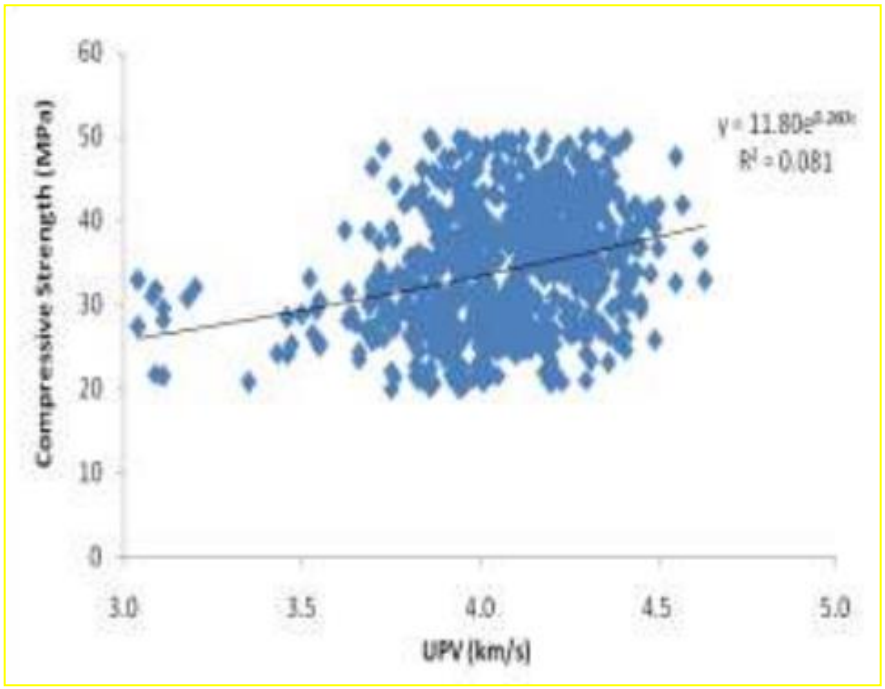
Demirboga et al. (2004), PC'nin yerine yüksek hacimli mineral karışımını kullanarak CS ve UPV arasındaki ilişkiyi araştırdı. CS ve UPV 3, 7, 28 günlük yaşlara sahip ve 120 günlük kürlük sürede belirlenmiştir. Kür süresinin erken yaşında her yerdeğiştirme seviyeleri için CS ve UPV en küçükleridir. Ancak kür süresinin artışıyla betonun numunelerinin CS ve UPV değerleri artmıştır.

Ali (2008) farklı W/C, yaşta veyoğunluktaki normal beton için CS ve direkt DUPV arasındaki ilişki üzerinde çalışma yürütmüştür. Şekil 3,6'da gösterildiği gibi, UPV değerinin artan CS değerleri ile arttığı görülmüştür.



Şekil 3.6. CS ve UPV ilişkisi (Ali, 2008).

Al_Nu'man ve diğ. (2015) dayanımları 18-55 MPa arasında olan farklı küpnumuneler ile çeşitli beton türleri için UPV ve CS arasındaki ilişkiyi tespit etmişlerdir. Beton küp numunelerinin tümü çelik küp kalıplarında 150mm'lik boyutta üretilmiştir. Kalıplarından çıkarıldıktan sonra beton küpleri normal su içinde (20^0C) küre tabi tutulmuş vedaha sonra 28 günlük yaşta küp numuneler test edilmiştir. Şekil 3,7'de gösterildiği gibi CS ve UPV arasındaki ilişkinin yaklaşık doğrusal olduğu görülmektedir.



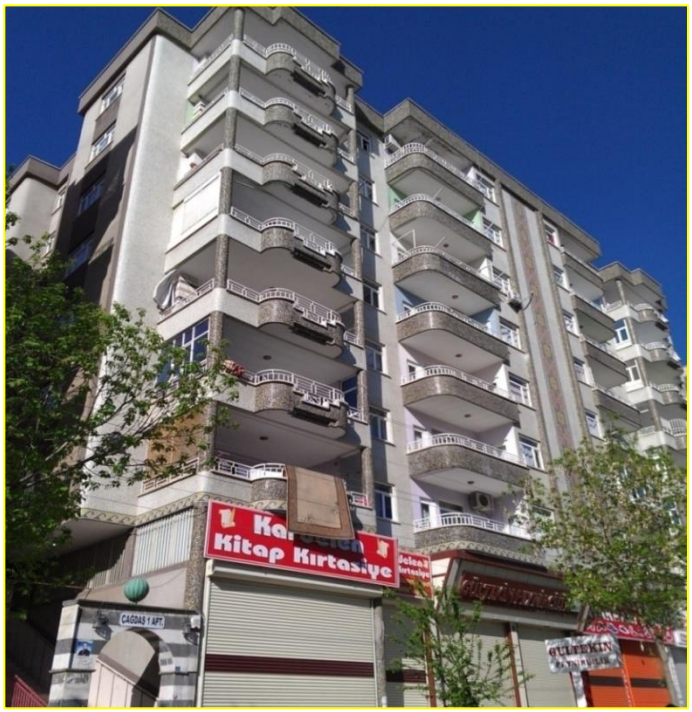
Şekil 3.7. CS ve UPV ilişkisiAl_Nu'man et al, (2015).

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1. Giriş

Bu bölümde deneysel çalışmaların bütün detayları verilecektir. Bu çalışmada iki farklı deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Birinci grup deneyler hasarsız (non-destructive) ulrasonik ses dalgası (UPV) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İkinci grup deneyler hasarlı testler olup basınç deneylerini içermektedir. Deneylerde kullanılan bütün numuneler Çağdaş Apartmanının güçlendirme çalışmasından alınmıştır. Çağdaş Apartmanına ait genel bir görüntü Şekil 4.1'de verilmiştir. Çağdaş Apartmanı Diyarbakır Kayapınar ilçesi, Dicle Kent mahallesinde bulunmaktadır. Binanın bulunduğu yerin Google earth görüntüsü Şekil 4.2 sunulmuştur.

Şekil 4,3'te görüldüğü gibi bazı kolonlarda meydana gelen ani hasarlardan dolayı binanın yapısal güvenliği incelenmiştir. Sonuç olarak binanın yetersiz güvenlikte olduğu belirlenmiştir. Bundan dolayı binanın güçlendirilmesi gerektiği ve bundan dolayı binanın boşaltılmasına karar verilmiştir. Binanın güçlendirme çalışmaları sırasında güçlendirme çalışmalarında kullanılan betondan sıkça numune alma imkanımız olmuştur.



Şekil 4.1. Çağdaş Apartmanı.



Şekil 4.2. Çağdaş Apartmanının Google Earth görüntüsü



Şekil 4.3. Hasar gören kolonlardan birisi.

4.1.1. Numuneler

Uygulamada kullanılan betonları temsil etmek üzere Şekil 4.4'te görüldüğü gibi 150x150x150 mm ebatlarında küp numuneler kullanılmıştır. Her bir beton grubu ortalama 3-4 adet küp numuneden oluşmakta ve her bir grup binanın farklı katlarında güçlendirme çalışmaları sırasında kullanılan betonlardan alınmıştır. Sonuç olarak toplamda 20 adet küp numune alınmıştır. Numuneler rutin olarak bir gün şantiyede kuruması için bekletildikten sonra laboratuvara getirilmiştir. Her bir numune kalıptan çıkartılarak oda koşullarında normal suya konulmuştur. Numuneler 28. Güne kadar suda bekletilmiştir. Bütün testler numunelerin yaşı en az 28 günü geçtikten sonra yapılmıştır.



Şekil 4.4. Kalıptan çıkarılan beton küp numuneler.

4.1.2. Beton Karışım Oranları

Betonlar Nural hazır beton firması tarafından üretilmiştir. Beton üretiminde normal portland çimentosu PC 42.5 kullanılmıştır. İri ve ince agregalar Dicle nehrinden temin edilmektedir. Betonun karışım oranları Tablo 4.1.'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Beton karışım oranları.

Malzeme	Beton C25
0-7 Doğal kum (ince agrega)	1150
7 - 25 çakıl	240
15 – 25 çakıl	540
Su	165
Portland Çimentosu 42.5	300
Katkı	3

*Birimler kg'dır.

4.1.3. Numunelerin Üretilmesi

- Kalıplar düz yüzeyli bir bölgeye konur.
- Kalıplar iyice temizlenmelidir.
- Kalıplar iyice yağlanmalıdır.
- Kalıp deliği bir kağıt parçası ile kapatılmalıdır.
- Kalıbın yarısı beton ile doldurulmalı ve daha sonra 25 defa çelik çubukla şişlenmelidir. Diğer yarısı doldurulduktan sonra tekrar 25 defa şişlenmelidir.
- Üst yüzeydeki beton düzeltilerek numuneye ait etiket beton üstüne konulur.

4.2. Kür Uygulaması

Beton kür uygulaması için birçok yöntem vardır. Bu çalışmada su kürü yöntemi kullanılmıştır. Çağdaş Apartmanından alınan numuneler Şekil 4.5'te görüldüğü gibi Yapı Malzemesi Laboratuvar'ında su tankına konularak kür edilmiştir.

Numuneler 28. Güne kadar suda bekletildikten sonra sudan çıkarılmış ve laboratuarda test yapılacak güne kadar bekletilmiştir.



Şekil 4.5. Kür uygulaması

4.3. Ultrasonik Ses Dalgası Yayılma Deneyi

Bu çalışma hasarsız bir test olan portatif ultrasonik test kullanılmıştır. Ölçüm cihazı iki sensör ile çalışmaktadır. Sensörlerden birisi verici (Tx) ve diğeri alıcı (Rx)'dır. Bu sensörlerin ürettiği dalga frekansı Şekil 4.6.'da görüldüğü gibi 55 KHz'tir. Ultrasonik ölçümler için kullanılan ekipmanlar şunlardır:

- Elektrikli dalga üretici
- İki adet sensör, bunlardan biri verici diğeri ise alıcıdır.
- Yükseltici.
- Elektronik zaman ölçüm cihazı.



Şekil 4.6. Bu Deneyde Kullanılan Ultrasonik Test Cihazı (posso).

Genellikle kısa mesafeli ölçümlerde yüksek frekanslı sensörler tercih edilmektedir. Ultra sonik ses dalgası boşlukta ilerleyemediği için bu sensörler boşlukların tespitinde çok hassastırlar. Bundan dolayı sensörler ile beton arasında ultrason jeli kullanılmıştır. Bu jeller yağ, gres ve petrol jelleri olabilir. Alıcı ve verici sensörler beton yüzeyine yerleştirilerek dalganın yayılma hızı ölçülebilmektedir, (IS, 1992).

4.4. Ulrasonik Ses Dalgası Hızının Belirlenmesinde Uygulanana Prosedürler

Uluslarası standartlara göre ultrasonik test sırasında aşağıdaki adımlar izlenmektedir (IS, 1992).

Başlangıçta verici ve alıcı (Tx ve Rx) sensörler numune üzerine yerleştirilerek cihaz çalıştırılmalıdır.

Hız ölçer aşağıdaki güç seçenekleri ile çalıştırılabilir:

- İç pil,
- Dış pil
- Alternatif akım (A.C).
- Kalibrasyon Çubuğu: Kalibrasyon için bir referans çubuğu kullanılmaktadır. Bu çubukta ses dalgasının yayılma zamanı 51µs'dir. Bu çubuğun uçlarına ultrason jeli sürülerek ses dalgası geçiş süresi ölçülür, eğer süre 51µs ise ultrason cihazının kalibrasyonu tamdır. Eğer süre 51µs değil ise cihazın üzerinde yer alan ayar vidası ile süre 51µs olacak şekilde ayarlanır. Bu şekilde cihaz kalibre edilmektedir.
- Dalga yayılma hızı: Bu çalışmada ortalama yedi farklı noktadan ölçüm alınarak her bir numune için ortalama bir geçiş hızı değer hesaplanmıştır. Numune boyu "L" hassas kompas ile ölçülmüştür. Ölçümden önde ultrason jeli sensörlerin yüzeyine, yada numune yüzeyine veya her ikisine birlikte sürülmüştür. Sensörler karşılıklı tam denk gelecek şekilde sensörler numuneye doğru basınç uygulanmıştır. Geçiş süresi ölçülürken hareketsiz olunmalıdır. Ölçüm sırasında geçiş süresi ölçümleri değişebilmektedir. Bu değer sabit olana kadar hareketsiz kalmak gerekir. Bu sırada ölçülen en küçük değer geçiş süresi olarak alınır. Ölçümler µs birimindedir.
- Geçiş süresini ultrason cihazı (posso) ile ölçtükten sonra, denklem 4.1'de verildiği gibi numune boyu dalga geçiş süresine bölünerek dalganın geçiş hızı hesaplanmıştır.

$$\nu = \frac{L}{T} \qquad 4.1$$

Bu denklemde,

V: Ultrasonik dalga geçiş hızı (km/s).

L: Numune boyu (mm).

T: Dalga geçiş sğresi (µs).



Şekil 4.7. Kalibrasyon yapılması, 51µs.



Şekil 4.8. Numunelerin biri üzerinde yapılan ultrason testi.

4.5. Basınç Dayanımı Deneyi

Şekil 4.9'da görülen ARSANLAR firması tarafından üretilen basınç test cihazı kullanılmıştır. Bu cihazın kapasitesi 300 tondur.



Şekil 4.9. Basınç test cihazı.

- Basınç testi için aşağıda adımlar uygulanmalıdır.
- Numuneler su küründen çıkarıldıktan sonra önce UPV testleri yapılmalıdır.
- Beton numune yüzeyi ve basınç cihazının başlıkları temizlenmelidir.
- Numune basınç cihazına pürüzsüz kenarlarına yükleme gelecek şekilde yerleştirilir.

  Bu yüzler numune üretim yönüne dik olan yüzlerdir
- Numune basınç cihazı başlıklarının merkezine gelecek şekilde yerleştirilmelidir.
- Yükleme hızı 0.45-2.25 ton/s olacak şekilde yükleme yapılmalıdır.



Şekil 4.10. Basınç deneyinin yapılması.

- Numune ezilene kadar ölçülen en büyük yük not alınır. Denklem 4.2 kullanılarak yük değerinden gerilme hesaplanır.

$$\sigma = \frac{F}{A} \qquad 4.2.$$

σ: Basınç gerilmesi, F: ölçülen en büyük yük (N), ve A: numune en kesit alanı (mm^2), (I9.2016).

5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

5.1. Deneysel Sonuçlar

Bütün deney sonuçları Tablo 5.1'de özet olarak verilmiştir. Bu tabloda yoğunluk, beton yaşı, basınç dayanımı değerleri ve UPV sonuçları verilmiştir. Numune isimleri örneklerin alındıkları yerleri ifade edecek şekilde verilmiştir. Örneğin CBK-1, numunesinde C Çağdaş apartmanı, B bodrum katı, K numunenin küp olduğunu ve 1 ilk örnek olduğunu ifade etmektedir.

Tablo 5.1. Deneysel Sonuçlar

No.	Numune ismi	W/C	Numune boyutu (mm)	Kür süresi (Gün)	Beton yaşı(Gün)	Yoğunluk(g/cm^3)	UPV(km/s)	Basınç dayanımı (MPa)
1	ÇBK-1	0.5	150	28	121	2.33	4.16	53.36
2	ÇBK-2	0.5	150	28	121	2.35	4.27	56.46
3	ÇBK-3	0.5	150	28	121	2.34	4.26	53.85
4	ÇBK-4	0.5	150	28	121	2.34	4.20	54.00
5	ÇZK-1	0.5	150	28	108	2.30	4.32	44.04
6	ÇZK-2	0.5	150	28	108	2.21	4.13	43.70
7	ÇZK-3	0.5	150	28	108	2.23	4.05	43.71
8	ÇZK-4	0.5	150	28	108	2.27	4.08	41.00
9	Ç2K-1	0.5	150	28	90	2.27	4.23	39.24
10	Ç2K-2	0.5	150	28	90	2.29	4.21	37.06
11	C2K-3	0.5	150	28	90	2.23	4.20	36.63
12	Ç2K-4	0.5	150	28	90	2.29	4.23	41.68
13	ÇAK-1	0.5	150	28	66	2.20	3.85	30.63
14	ÇAK-2	0.5	150	28	66	2.23	3.87	29.21
15	ÇAK-3	0.5	150	28	66	2.20	3.90	33.36
16	ÇAK-4	0.5	150	28	66	2.22	3.93	32.76
17	ÇO4K-1	0.5	150	28	41	2.20	3.95	34.34
18	ÇO4K-2	0.5	150	28	41	2.21	4.06	33.35
19	ÇO4K-3	0.5	150	28	41	2.22	4.07	33.68
20	ÇO4K-4	0.5	150	28	41	2.22	4.13	37.61

Tablo 5.2. Beş Grup için ortalama değerler deneysel sonuç.

Grup isimleri	Ortalama deney sonuçları			
	Yaş (gün)	Yoğunluk (g/cm^3)	UPV (km/s)	Basınç dayanımı (MPa)
ÇBK	121	2.34	4.22	54.42
ÇZK	108	2.25	4.15	43.11
Ç2K	90	2.27	4.22	38.65
ÇO4K	66	2.22	4.05	34.75
ÇAK	41	2.21	3.89	31.49

5.2. Değerlendirme

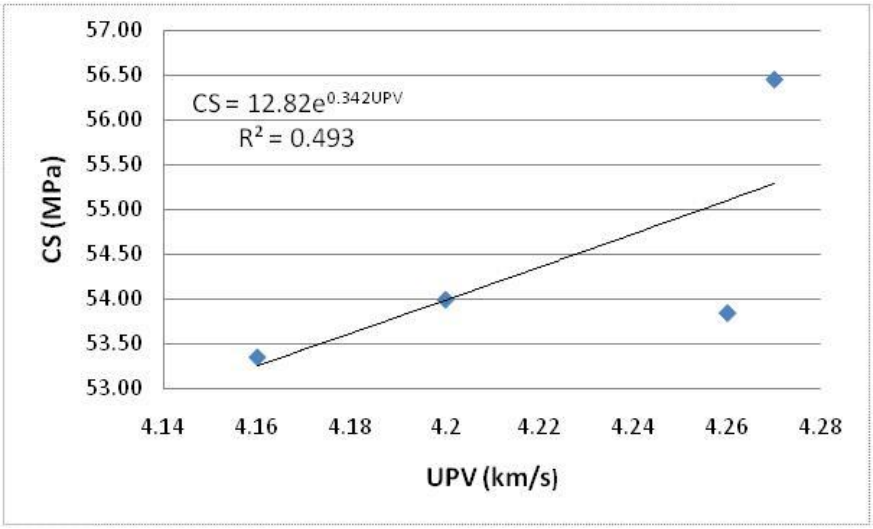
Deney sonuçları Tablo 5,1'de verilmişti. Görüldüğü gibi bu çalışma için her biri ayrı bir beton çalışmasından alınmak üzere beş ayrı beton numune grubu üretilmiştir. Bu numunelerin yaşları 41-121 gün arasında değişmektedir. Su çimento oranları (W/C) 0,5'dir. UPV ölçüm değerleri 3.5 - 4.5 km/s arasında değişmektedir. Bu betonlar güçlendirme projesinde kullanıldığından betonun iyi kalite olması beklenmektedir. Yaptığımız deneylerde basınç dayanımlarının 29-57 MPa arasında değiştiği görülmüştür. UPV'nin artması ile basınç dayanımının artacağını biliyoruz. Şunu gördük ki basınç dayanımı UPV değeri ile direk bağlantılıdır ve UPV değerinin yüksek olması durumunda betonun da dayanımın yüksek olduğu anlamına gelmektedir. Her biri grup numune ve her yaş aralığı için basınç dayanımı ile UPV'nin direkt olarak doğru orantılı olduklarını gördük. Deneyler UPV ile basınç dayanımının birbiri ile ilişkili olduğunu göstermiştir. Buna karşılık bütün betonlar için geçerli olabilecek bir ilişki söz konusu değildir.

Beton Basınç Dayanımın UPV Değerleri İle Tahmini

Deneysel veriler kullanılarak beton basınç dayanımını ultra ses dalgası geçiş hızına bağlı olarak hesaplayacak bazı modeller geliştirilmiştir. Deneysel çalışma kapsamında beş gurup beton numunelerimiz var ve her bir gurup dörder küp numuneden oluşmaktadır.

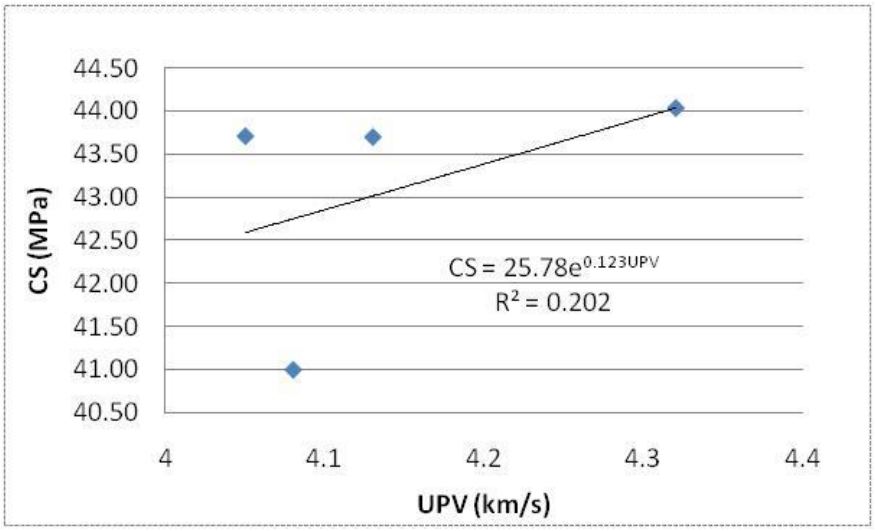
Beton yaşı 121 gün olan CBK grubundaki numunelerin yoğunlukları diğer gurupların yoğunluklarından fazla ve aynı şekilde ultra ses geçiş hızları ve basınç dayanımları da yüksektir. Bu guruptaki numunelerde Şekil 5.1'de görülebileceği gibi ultra

ses geçiş hızları yükseldikçe basınç dayanımları da yükselmektedir. Beton basınç dayanımı ile ultra ses dalgası geçiş hızı ile beton basınç dayanımı arasındaki ilişki Şekil 5.1'de verilmiştir. Bu şekilde CS beton basınç dayanımını ve UPV ultra ses dalgası geçiş hızını ifade etmektedir. Şekilde ilişkiyi gösteren denklem $CS = 12.82e^{0.342UPV}$ ve R^2=0.493 olarak hesaplanmıştır. Bütün hesaplamalar Microsoft Excel programı kullanılarak hesaplanmıştır. Bu şekilde birinci modelimizi geliştirmiş olduk.



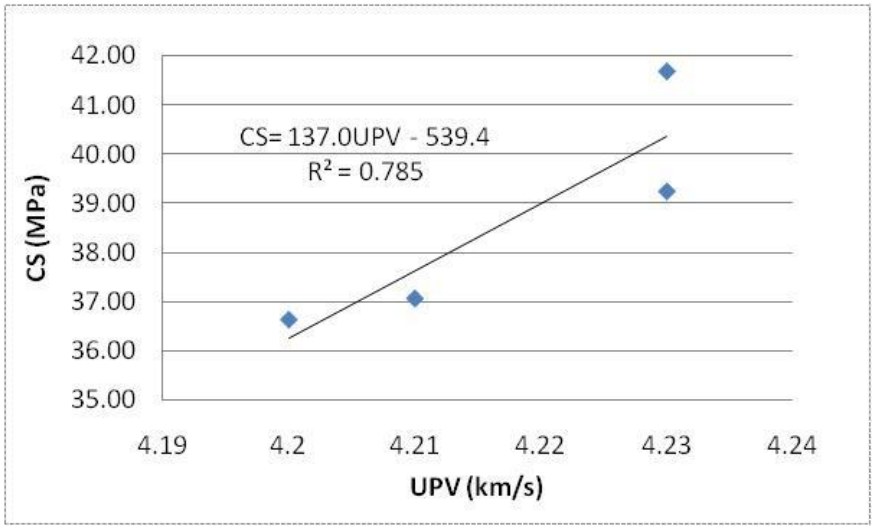
Şekil 5.1. CBK grubundaki numuneler için geliştirilen model.

İkinci grup olan CZK grubundaki numunelerin yaşları ve yoğunlukları birinci grubunkinden (CBK) daha düşüktür. Bundan dolayı basınç dayanımı ve ultra ses dalgası geçiş hızları da düşmektedir. Bu numunelerin yaşları 108 gündür. Şekil 5.2'de açık olarak görülebileceği gibi basınç dayanımı ile ultra ses dalgası geçiş hızları direk orantılıdır ve aynı yönde değişmektedir. Bu verileri kullanarak ikinci modelimize ait denklemimiz $CS = 25.78e^{0.123UPV}$ ve R^2 is 0.202 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.2. CZK grubu için geliştirilen model.

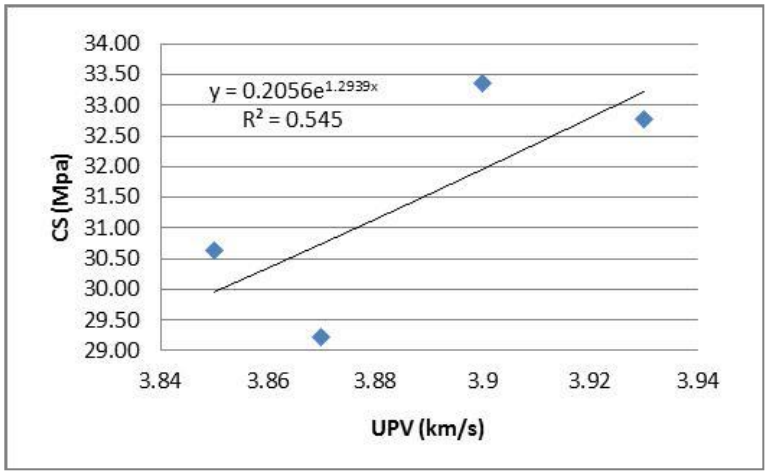
Üçüncü grup olan C2K grubundaki numunelerin de yoğunluk ve yaşları birinci ve ikinci gruplarınkinden daha düşüktür. Dolayısı ile basınç dayanımı ve ultra ses geçiş hızı değerleri de düşüktür. Buna karşılık Şekil 5,3'te görüldüğü gibi beton basınç dayanımı ile ultra ses dalgası geçiş hızı arasındaki ilişki direk orantılıdır. Bu denklemde R^2 daha iyidir. Denklem $CS = 137.0\ UPV - 539.4$ ve R^2 0.785 olarak hesaplanmıştır.



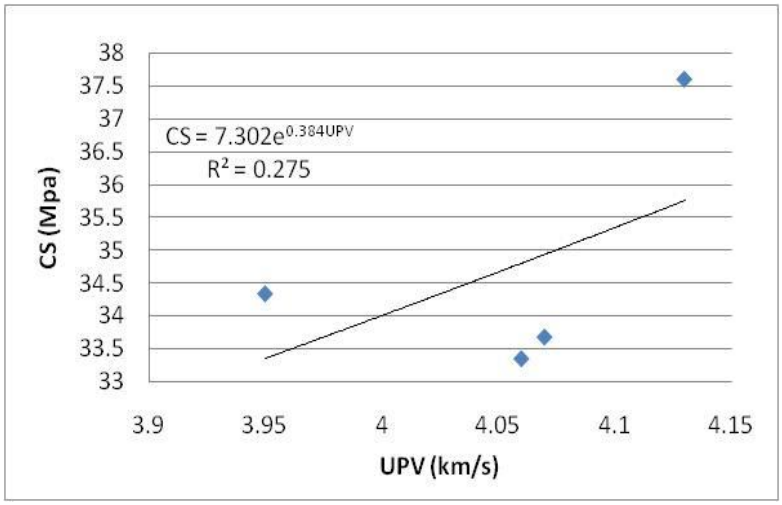
Şekil 5.3. C2K grubu için geliştirilen model.

Benzer uygulamalar 4. ve 5. gruptaki CAK ve CO4K gurubu numunelerine de uygulanmıştır. Bu guruptakilerin de yaşları bir önceki üç guruptaki numunelerin

yaşlarından daha azdır. Bundan dolayı basınç dayanımı ve ultra ses dalgası geçiş hızları azalmaktadır. Buna karşılık Şekil 5.4 ve 5.5'te görüldüğü gibi basınç dayanımı ile ultra ses dalgası geçiş hızı arasındaki direk ilişki değişmemektedir. Denklemler ve korelasyonları gurup CAK ve CO4K için sırası ile, $CS = 0.2056e^{1.293UPV}$ ve R^2=0.545, $CS = 7.302e^{0.384UPV}$ ve R^2=0.275 olarak hesaplanmıştır.



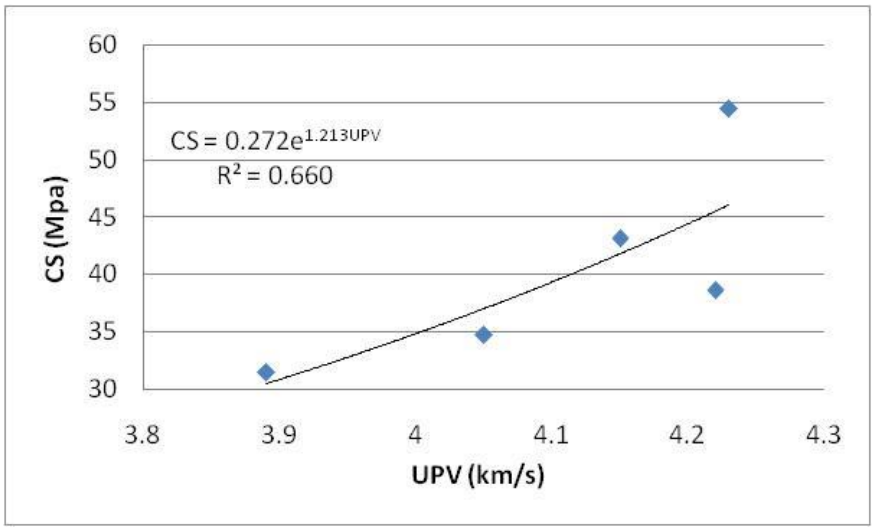
Şekil 5.4. Gurup CAK için basınç dayanımı ile ultra ses dalgası geçiş hız arasındaki ilişki.



Şekil 5.5. Gurup CO4K için basınç dayanımı ile ultra ses dalgası geçiş hız arasındaki ilişki.

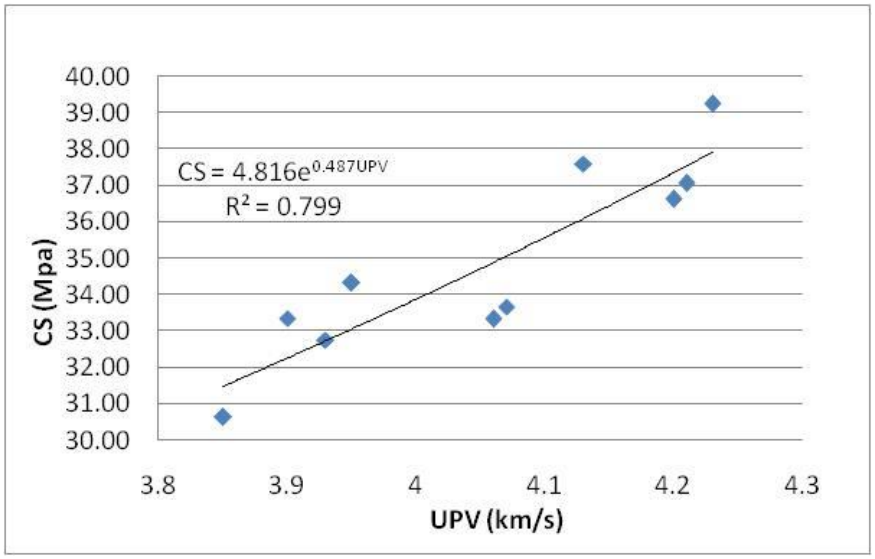
Bu beş gurup için geliştirilen modeller dışında başka bir model bu beş gurubun her bir guruptaki numunelerinin ortalamaları alınarak elde edilen veriler kullanılarak geliştirilmiştir. Bu model Şekil 5.6'da verilmiştir. Bu şekildeki her bir nokta her bir gurubun basınç dayanımı ve ultra ses dalgası geçiş hızlarının ortalamasını temsil

etmektedir. Bu modele ait denklem $CS = 0.272e^{1.213UPV}$ ve R^2=0.660 şeklinde hesaplanmıştır.



Şekil 5.6. Beş gurup için basınç dayanımı ile ultra ses dalgası geçiş hız arasındaki ilişki.

Diğer bir model de bütün veriler bir arada kullanılmak sureti ile geliştirilmiştir. Bu numunelerin yaşları 41 ile 90 gün arasında değişmektedir. Basınç dayanımı ile ultra ses dalgası geçiş hızları arasındaki ilişki orantılıdır. Yedinci denklemimiz $CS = 4.816e^{0.487UPV}$ ve R^2=0.799, olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.7. Bütün numuneler için basınç dayanımı ile ultra ses dalgası geçiş hız arasındaki ilişki.

Bu çalışmada toplam yedi model geliştirilmiştir. Bütün bu modellere ait denklemler toplu olarak Tablo 5,3'te verilmiştir. Bu tabloda modeller için kullanılan numunelerin ve gurupları beton yaşları da verilmiştir.

Geliştirilen Modellerin Performanslarının Değerlendirilmesi

Geliştirilen yedi model kullanılarak bu tez çalışmasında yaptığımız deneysel veriler ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma Tablo 5.4'te verilmiştir. Başka bir karşılaştırma ise literatürde mevcut olan yedi model ile yapılmıştır ve sonuçlar Tablo 5.7'de verilmiştir. Bu çalışmada geliştirilen yedi farklı model literatürde mevcut olan yedi farklı model ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma için 245 adet beton küp numunesine ait veriler kullanılmıştır. Bu verilen hepsi literatürde mevcut olan farklı araştırmacıların çalışmalarından alınmıştır.

Modellerin performanslarının test etmek için üç farklı istatiksel değerlendirme yöntemi kullanılmıştır. Bunlar, 1- oran (average (A)), 2- relatif hata (relative error (RE)) ve 3- hataların ortalamasının karekökü (Root-Mean Square Error (RMSE)). Değerlendirme için ilave olarak ayrıca saçılma diyagramları da çizilmiştir.

En iyi model için oranın bire yakın olması, rölatif hatanın ve ve RMSE'nin en az olması gerekmektedir.

Bu istatiksel değerlendirme parametreleri hesaplamak için aşağıdaki denklemler kullanılmıştır.

Oran için:

$$A = \frac{X}{Xi} \qquad 5.1$$

Burada:

Xi, X: Sırası ile gerçek ve tahmin edilen değerler.

Rölatif hata için:

$$RE = ABS\left(\frac{(Xi - X)}{Xi}\right) \qquad 5.2$$

Burada;

RE: Rölatif hata.

Xi, X : Sırası ile gerçek ve tahmin edilen değerler.

Ve RMSE için:

$$RMSE\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n}(Xi - X)^2} \quad 5.3$$

Bu denklemde;

RMSE: Root-mean square error. Xi, X: Sırası ile gerçek ve tahmin edilen değerler.

Literatürden toplanan bütün deneysel veriler bu çalışmada geliştirdiğimiz yedi model ile tahmin edilmiştir. Daha sonra modellerin tahmin performansları yukarı açıklanan istatiksel değerlendirme parametreleri ile kontrol edilmiştir.

Tablo 5.3. Bu çalışmada geliştirilen bütün modeller.

Denklemler	Yaş (gün)	R^2	Model
denklem 1	41-90	0.799	$CS=4.816e^{0.487UPV}$
denklem 2	41-121	0.660	$CS=0.272e^{1.213UPV}$
denklem 3	121	0.493	$CS=12.82e^{0.342UPV}$
denklem 4	108	0.202	$CS=25.78e^{0.123UPV}$
denklem 5	90	0.785	CS=137.0UPV-539.4
denklem 6	66	0.545	$CS=0.205e^{1.293UPV}$
denklem 7	41	0.275	$CS=7.302e^{0.384UPV}$

Tablo 5.4. Bu çalışmada geliştirilen modeller kullanılarak deneysel verilerin tahmini.

numuneleri-n adı	UPV(km/s)	CS (MPa)	göre denklm 1	göre denkm 2	göre denklm 3	göre denklm 4	göre denklm 5	göre denklm 6	göre denkm 7
ÇBK-1	4.16	53.36	36.52	42.27	53.18	43.00	30.52	44.44	36.07
ÇBK-2	4.27	56.46	38.53	48.31	55.22	43.59	45.59	51.23	37.63
ÇBK-3	4.26	53.85	38.34	47.72	55.03	43.54	44.22	50.57	37.49
ÇBK-4	4.2	54.00	37.24	44.37	53.91	43.22	36.00	46.80	36.63
ÇZK-1	4.32	44.04	39.48	51.33	56.17	43.86	52.44	54.65	38.36
ÇZK-2	4.13	43.70	35.99	40.76	52.64	42.85	26.41	42.75	35.66
ÇZK-3	4.05	43.71	34.62	36.99	51.22	42.43	15.45	38.55	34.58
ÇZK-4	4.08	41.00	35.12	38.36	51.75	42.58	19.56	40.07	34.98
ÇAK-1	3.85	30.63	31.40	29.02	47.83	41.39	-	29.76	32.03
ÇAK-2	3.87	29.21	31.71	29.74	48.16	41.50	-	30.54	32.27
ÇAK-3	3.9	33.36	32.18	30.84	48.66	41.65	-	31.75	32.65
ÇAK-4	3.93	32.76	32.65	31.98	49.16	41.80	-	33.01	33.03
Ç2K-1	4.23	39.24	37.79	46.02	54.47	43.38	40.11	48.65	37.06
Ç2K-2	4.21	37.06	37.42	44.92	54.10	43.27	37.37	47.41	36.77
C2K-3	4.2	36.63	37.24	44.37	53.91	43.22	36.00	46.80	36.63
Ç2K-4	4.23	41.68	37.79	46.02	54.47	43.38	40.11	48.65	37.06
ÇO4K-1	3.95	34.34	32.97	32.77	49.50	41.91	1.75	33.87	33.28
ÇO4K-2	4.06	33.35	34.78	37.44	51.39	42.48	16.82	39.05	34.72
ÇO4K-3	4.07	33.68	34.95	37.90	51.57	42.53	18.19	39.56	34.85
CO4K-4	4.13	37.61	35.99	40.76	52.64	42.85	26.41	42.75	35.66

* Boş olan hücreler uygun olmayan verileri göstermektedir. Bu verilerin kullanılması uygun görülmemiştir.

Tablo 5.5. Bu çalışmada geliştirilen modellerin performansı.

Modeller	Ortalama (A)	Relatif Hata (RE)	hataların ortalamasının karekökü (RMSE)
Denklem 1	0.905	0.004	0.129
Denklem 2	1.004	0.010	0.389
Denklem 3	1.331	0.291	11.767
Denklem 4	1.093	0.055	2.236
Denklem 5	0.563	0.432	17.498
Denklem 6	1.052	0.039	1.562
Denklem	0.900	0.126	2.261

Tablo 5.5'te bütün modellerin performansı açık olarak görülmektedir. Bu tablodan istatiksel değerlendirme parametrelerine göre Denklem 1'in en iyi model olduğu anlaşılmaktadır.

En İyi Modelin (Eq. 1) Performansının Literatürdeki Mevcut Modeller ile Karşılaştırılması

En iyi denklememizi literatürdeki mevcut yedi model ile karşılaştırdık. Bu denklemlerden biri bir standarttan ve diğerleri farklı araştırmacılardan alınmıştır. Bütün denklemler Tablo 5.6'da verilmiştir. Basınç dayanımının UPV'ye bağlı olarak tahmini bütün literatür verileri için Tablo 5.7'de verilmiştir. Bütün modellerin tahmin performansları için hesaplanan istatiksel parametreler Tablo 5.8'de verilmiştir. Bu tabloda görüldüğü gibi oran, rölatif hata ve RMSE bu çalışmada geliştirilen model için en küçüktür. Dolayısı ile modelimizin basınç dayanımını UPV'ye bağlı olarak tahmin etmede en iyi model olduğu açık olarak ifade edilebilir.

Tablo 5.6. Literatürden alınan bütün modeller.

No	Araştırmacı	Denklemler
1	Rouf (1986)	$C = 2.8e^{0.53V}$
2	Rouf ve diğ, (1986)	$C = 2.016e^{0.61V}$
3	Turgut (2004)[A]	$S = 1.146e^{0.77Vp}$
4	Turgut (2004)[B]	$Slab = 0.3161e^{1.03Vn}$
5	Nashn't ve diğ, (2005)	$S = 1.19e^{0.715Vp}$
6	Kheder (1999)	$S = 1.2 * 10^{-5} (Vp * 10^3)^{1.7447}$
7	TS 13791(2010)	f_v=62.5 * v^2 - 497.5 * v + 990

*Bura her bir C, S, Slab, CS, $ve\ f_v$ basınç dayanımını ifade etmektedir.

*TS 13791 hızın belli aralıkları için geçerlidir ($4 \leq V \leq 4.8\ km/s$).

* Kheder (1999) denklemi sadece kuru betonlar için geçerlidir.

* $Vn, Vp, ve\ V$ UPV'sini ifade etmektedir.

Tablo 5.7. Basınç dayanımının literatürdeki denklemler kullanılarak tahmin edilmesi.

numunelerin adı	UPV (km/s)	aktüel basınç dayanımı (MPa)	Rouf, (1986)	Rouf ve diğ, (1986)	Turgut ,(2004)[A]	Turgut, (2004)[B]	Nashn't ve diğ, (2005)	Kheder (1999)[B]	denklem 1.	TS 13791, (2010)
ÇBK-1	4.16	53.4	25.4	25.5	28.2	22.6	23.3	24.7	36.5	2.0
ÇBK-2	4.27	56.5	26.9	27.3	30.7	25.3	25.2	25.9	38.5	5.2
ÇBK-3	4.26	53.9	26.8	27.1	30.5	25.1	25.0	25.8	38.3	4.9
ÇBK-4	4.20	54.0	25.9	26.1	29.1	23.6	24.0	25.2	37.2	3.0
ÇZK-1	4.32	44.0	27.6	28.1	31.9	26.7	26.1	26.4	39.5	7.0
ÇZK-2	4.13	43.7	25.0	25.0	27.6	21.9	22.8	24.4	36.0	1.4
ÇZK-3	4.05	43.7	24.0	23.9	25.9	20.2	21.5	23.6	34.6	0.3
ÇZK-4	4.08	41.0	24.3	24.3	26.5	20.8	22.0	23.9	35.1	0.6
ÇAK-1	3.85	30.6	21.5	21.1	22.2	16.4	18.8	21.6	31.4	1.0
ÇAK-2	3.87	29.2	21.8	21.4	22.6	16.8	18.9	21.8	31.7	1.0
ÇAK-3	3.90	33.4	22.1	21.8	23.1	17.3	19.4	22.1	32.2	0.4
ÇAK-4	3.93	32.8	22.5	22.2	23.6	17.9	19.8	22.4	32.7	0.1
Ç2K-1	4.23	39.0	26.4	26.6	29.8	24.3	24.5	25.5	37.8	3.9
Ç2K-2	4.21	37.1	26.1	26.3	29.3	23.8	24.2	25.3	37.4	3.3
Ç2K-3	4.20	36.6	25.9	26.1	29.1	23.6	24.0	25.2	37.2	3.0
Ç2K-4	4.23	41.7	26.4	26.6	29.8	24.3	24.5	25.5	37.8	3.9
ÇO4K-1	3.95	34.0	22.7	22.4	24.0	18.2	20.1	22.6	33.0	-
ÇO4K-2	4.06	33.4	24.1	24.0	26.1	20.4	21.7	23.7	34.8	0.4
ÇO4K-3	4.07	33.0	24.2	24.1	26.3	20.6	21.9	23.8	35.0	0.5
CO4K-4	4.13	37.6	25.0	25.0	27.6	21.9	22.8	24.4	36.0	1.4

Tablo 5.8. Bütün modellerin tahmin performansı (sadece bu çalışmada yapılan deneysel veriler kullanılmıştır).

Modeller	İstatiksel parametreler		
	Oran	Rölatif hata	RMSE
denklem 1.	0.907	0.117	8.240
Rouf,(1986)	0.629	0.372	17.232
Rouf ve diğ, (1986)	0.628	0.373	17.155
Turgut (2004)[A]	0.689	0.313	14.774
Turgut (2004)[B]	0.544	0.457	19.943
Nashn't ve diğ, (2005)	0.571	0.431	19.200
Kheder (1999)	0.616	0.385	17.811
TS 13791, (2010)	0.053	0.939	41.134

Literatürdeki Veriler Kullanılarak Modellerin Performansının Değerlendirilmesi

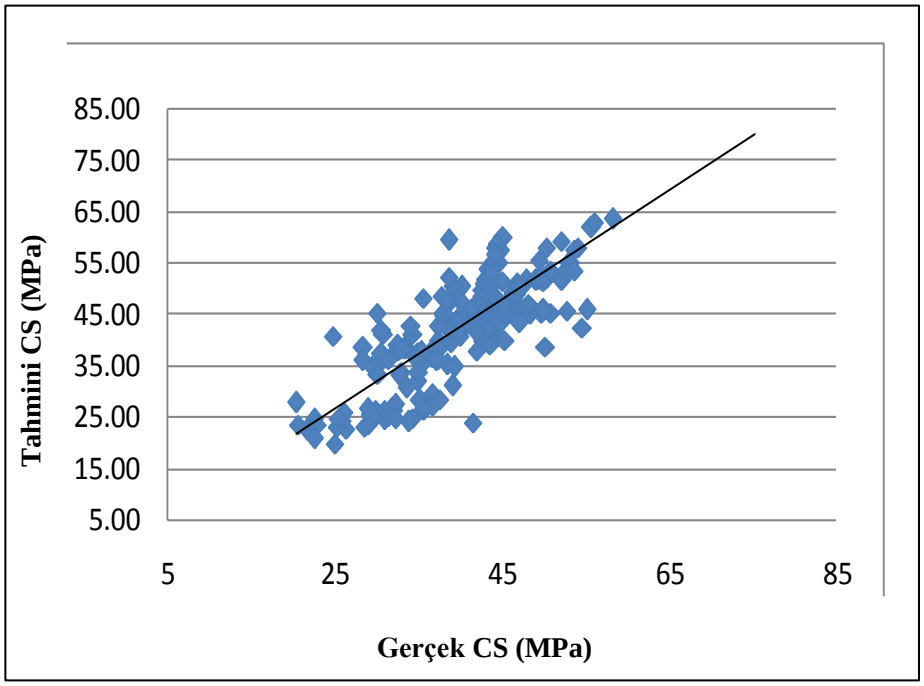
Bu çalışmada geliştirilen modelin diğer modeller ile performansını daha objektif olarak karşılaştırmak için literatürden toplanan veriler kullanılmıştır. Bu çalışmadaki deneylerden elde edilen ve modellerimizin geliştirilmesinde kullanılan veriler bu karşılaştırmada kullanılmamıştır. Bu şekilde daha gerçekçi bir değerlendirme gerçekleştirilmiştir.

Literatürden toplana bütün veriler ek bölümündeki Tablo E.1'de verilmiştir. Bu dataların tipik bazı özelliklerine aşağıdaki bölümde özel olarak değinilmiştir. Bu tabloda basınç dayanımı ve UPV'nin değişme aralıkları verilmiştir. Araştırmacıların isimleri ve referansları da bu tabloda verilmiştir. Toplam 245 veri 12 farklı araştırmacıdan toplanmıştır. Daha güvenilir ve objektif karşılaştırma için bu çalışmada geliştirilen en iyi model olan Denklem 1 literatürden toplanan veriler ile yine literatürde mevcut olan toplam yedi farklı model ile karşılaştırılmıştır. Modellerin tahmin performansları için daha önce kullanılan dört yöntem takrar kullanılmıştır. Bu yöntemler tahmini ve deneysel basınç dayanımı oranları, rölatif hata, RMSE ve saçılma diyagramlarıdır. Toplamda 245 veri kullanılmıştır. Bütün modellerin tahmin performansı Tablo 5.6'da verilmiştir. Bu tabloya göre literatürdeki toplam 245 veriye ait basınç dayanımlarını tahmin etmede Denklem 1 en iyi performansı göstermiştir. Turgut (2004) tarafından önerilen denklem bu çalışmada önerilen Denklem 1'den sonra gelen ikinci en iyi modeldir.

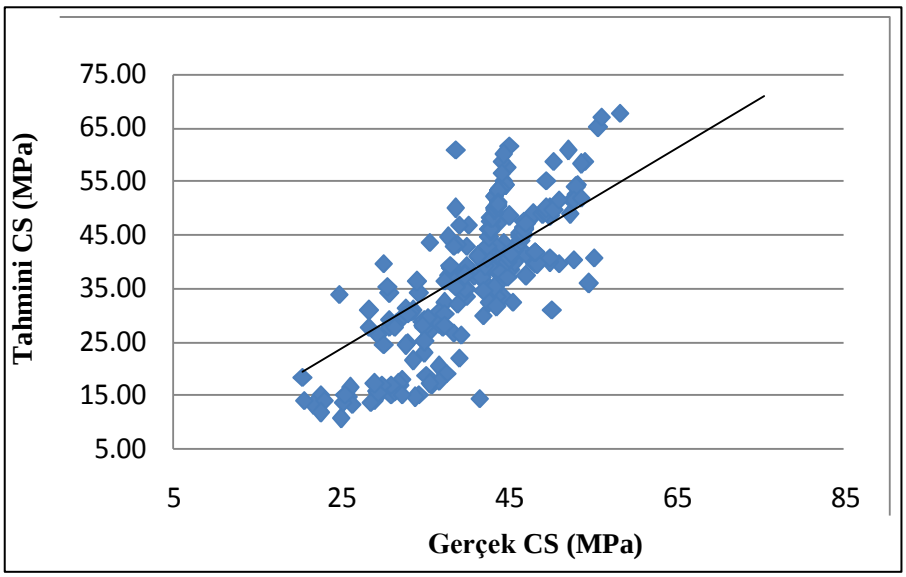
Tablo 5.9. Sadece literatürdeki veriler kullanılarak yapılan tahminlerin performansı

Modeller	Modellerin Performansı		
	Oran	Rölatif hata	RMSE
Eq. 1	1.059	0.130	6.367
Rouf, (1986)	0.745	0.254	11.238
Rouf ve diğ. (1986)	0.775	0.232	10.406
Turgut (2004)[A]	0.908	0.180	8.514
Turgut (2004)[B]	0.830	0.255	11.527
Nashn't ve diğ, (2005)	0.735	0.270	11.795
Kheder (1999)[B]	0.692	0.309	13.557
TS EN 13791 (2010)	0.563	0.480	21.422

* Sayı ve Denklem Çizgisi, Performansın iyiliği ile hiçbir ilgisi yoktur.



Şekil 5.8. Denklem 1 için gerçek ve tahmini basınç dayanımlarının karşılaştırılması.



Şekil 5.9. Turgut (2004) [A] için gerçek ve tahmini basınç dayanımlarının karşılaştırılması.

6. SONUÇ

Bu deneysel çalışmada toplamda 20 adet beton küp numunesi üzerinde ultra ses dalgası ve basınç testleri yapılmıştır. Numune ebatları 150 mm'dir. İstatiksel veri analizi çalışmalarında bazı modeller geliştirilmiştir ve modellerin performansları literatür ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada literatürden farklı araştırmacılardan 245 deney verisi ile yedi farklı denklem kullanılmıştır.

Sonuç olarak yapılan deneysel ve amprik çalışmada betonun basınç dayanımının ultra ses dalgası geçiş hızına bağlı olarak tahmin edebilen aşağıdaki denklem geliştirilmiştir ve bu denklemin literatürle karşılaştırmasında çok iyi bir tahmin performansının olduğu görülmüştür.

$$f'_c = 4.816e^{0.487UPV}$$

Bu denklemde f'_c beton basınç dayanımı (MPa) ve UPV ultra ses dalga hızı (km/s). Bu denklem 2.5 - 4.9 km/s UPV aralıkları için geçerlidir. Ayrıca basınç dayanımlarının 20-60 MPa olduğu durumlar için geçerlidir.

Bu konuda ileride çalışacak araştırmacılara aşağıdaki öneriler sunulmuştur.

- Benzer çalışmalar düşük dayanımlı beton için yapılmalıdır.
- Benzer çalışmalar farklı beton türleri için de yapılabilir.
- Boşlukların ultra ses dalgası yayılma hızı üzerindeki etkisi daha detaylı incelenebilir.
- Ses dalgası betondaki azalım ilişkisi incelenmelidir.
- CS ve beton UPV arasındaki ilişkiyi yoğunluğu ve betonun yaşı her etkisi araştırıldı edilmelidir.

7. KAYNAKLAR

Abdullatif, A.M. 1997. Compatibility of Gypsum Content in Concrete Ingredients. **M.Sc Thesis, University of Baghdad.**

Aggelis, G.D., Shiotani, T. 2007. Experimental study of surface wave propagation In strongly heterogeneous media, J. Acoust. Soc. Am. 122(5) (2007), pp. 151– 157.

Al-Hesnawi, K.A. (2011). Constructing a Mathematical Models to Predict Some Properties of Concrete from Non-Destructive Testing. **M.Sc., Thesis, College of Engineering, University of Babylon.**

Ahmed, S.M. 2013. Effect of the Elevated Temperature on Some Mechanical Properties of Self Compacting Concrete Reinforced by Steel Fiber. **M.Sc., Thesis, College of Engineering, University of Babylon.**

Ali, A.B. 2008. Assessment of concrete compressive strength by Ultrasonic non-destructive testing. A thesis submitted to the **college of engineering of the University of Baghdad.**

Ali, M.A., Al-jaberi, A.L. 2014. Evaluation of Compressive Strength by Non- Destructive Test Using Ultrasonic Pulse Velocity with Maximum Size Aggregate (10 And 20) mm. **Journal of Engineering and Development**, Vol. 18, No.3, May2014, ISSN 1813- 7822.

Al_Nu'man, R.B., Aziz, R.B., Abdullha, A.S., Khaleed, E.S. (2015). Compressive Strength Formula for Concrete using Ultrasonic Pulse Velocity. **International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)** – Volume 26 Number 1- August 2015.

ASTM, 2003. Standard Test Method for Pulse Velocity through Concrete. Des.10, 2002. Published February 2003.originally approved in 1967. Last previous edition approved in 1997 as C 597-97.

Berke, M. 2000. Non-destructive testing with ultrasonic's, **NDT. Net**-September 2000, vol. 5 No. 09.

BS 1881, 1986. Testing concrete: recommendations for measurement of ultrasonic pulses in concrete. Part 203.

BS, 2009. Guidelines on non-destructive testing of bridge. **Indian government, ministry of railways,** BS-103, B&S Directorate research Designs and Standards Organisationlucknow-226011.

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

Bungey, J.H, and Millard, S.G. 1995. Testing of concrete in structure, ch3 ultrasonic pulse velocity methods, print ISBN 978-0-203-48783-9.

Corneloup, G., and Garnier, V. 1995. Etude d'une méthode ultrasonore adaptée à la mesure de l'endommagement des bétons: étude bibliographique ET analyse des solutions, Contrat IUT-EDF.

Demirboga, R., Türkmen, I., and Karakoc, M.B. 2004. Relationship between ultrasonic velocity and compressive strength for high-volume mineral-admixtured concrete. **Cement and Concrete Research**, Vol. 34, No. 12, pp. 2329–2336.

Galan, A. 1967. Estimate of concrete strength by ultrasonic pulse velocity and damping constant. **ACI J**. Proceedings, Vol. 64, No. 10, pp. 678–684.

Garbacz, A. and Garboczi, E.J. 2003. Ultrasonic evaluation methods applicable to polymer concrete composites. **National Institute of standards And Technology NIST**, April 2003.

Hannachi, S., Guetteche, N. M. 2014. Review of the ultrasonic pulse velocity evaluating concrete compressive strength on site. **Scientific cooperation international workshops on engineering branches**, 8-9 August 2014, koc university, Istanbul/Turkey

Hellier, C. 2003. Handbook of Non-destructive Testing evaluation, **MC GRAW. HILL, chapter 1.**

IAEA, 1988. Ultrasonic Testing Of Materials. At Level 2/ Training Manual, For Non-destructive Testing Technique, Sued By Iaea, Viena , 1988.

IS, 1992. Non-destructive testing of concrete methods of test. part1, IS, 13311.by, **bureau of indian standards**، manak bhavan, 9 bahadur shah zafar maro new delhi 110002.

Karim, M.M. 2005. Investigation of the Behavior and Properties of Reinforced Concrete Slabs Exposed to Fire Flame. **M.Sc., Thesis, College of Engineering, College of Engineering, University of Babylon.**

Keating, J., Hannant, D.J., Hibbert, A.P. 1989. Correlation between Cube Strength, Ultrasonic Pulse Velocity and Volume Change for Oil Well Cement Slurries. **Cement and Concrete Research**, Vol. 19, no. 5, pp. 715-726.

Keiller, A.P. 1985. Assessing the strength of the in situ concrete, **Concrete International: Design and Construction** ", Vol. 7, no. 2, Feb. pp. 15-21.

Kheder, G.F. 1999. A two stage procedure for assessment of in situ concrete strength using combined non-destructive testing. Materials and Structures, Vol. 32, pp. 410–417.

Lougier, P., Haiat G. 2011. Bone Quantitative Ultrasound. DOI 10.1007/978-94-007-0017-82, Springer press Science +Business Media B.V. 2011.

Luthi, T. 2013. Non-destructive Evaluation Method. 2003-2013, Anax imperator, micro X-ray tomographic view, Iwan Jerjen, Empa.

Madandoust, R., Ghavidel, R., Nariman-zadeh, N. 2010. Evolutionary design of generalized GMDH-type neural network for prediction of concrete compressive strength using UPV**. Computational Materials Science**, Vol. 49, pp. 556–567.

Mahmood, A. 2008. Structural health monitoring using non-destructive testing of concrete**. department of civil engineering, national institute of technology, Rourkela, 2008.**

Mahure, V.N., vijh, K. G., Sharma, p., sivakumar, N., Ratnam, M. 2011. Correlation between pulse velocity and compressive strength of concrete. **International Journal of**

Earth Sciences and Engineering, ISSN 0974-5904, Volume 04, No 06 SPL, October 2011, pp 871-874.

Malek, J., Kaouther, M. 2014. Destructive and non-destructive testing of concrete structures**. Jordan Journal of Civil Engineering**, Volume 8, No. 4, 2014.

Matar, G.S. 2000. Fiber reinforced concrete rail resistance to attack internal sulphates, **master's thesis, University of Baghdad, 2000**.

Mix, P. 2005. Introduction to Non-destructive Testing. A Traning Guide, 2nd edition, published By John Wiley& Sonc, In, Hobeken, New Jersy, Canada.

Musmar, A.M., Alhadi, A. N. 2007. Relationship between ultrasonic pulse velocity and standard concrete cube crushing strength**, journal of Assiut University**, vol. 36, NO. 1, pp. 51-59, January 2008.

Naik, R.T., Malhotra, M.V., Popovics, S.J. 2004. The ultrasonic pulse velocity method, by **CRC press –LCC**, 2004.

Nashn't, I.H., A'bour, S.H., Sadoon, A.A. 2005. Finding an united relationship between crushing strength of concrete and non-destructive tests. Proceedings of Middle East Non-destructive Testing **Conference & Exhibition, Bahrain,** 2005.

Neville, A.M., Brooks, J.J. 2010. Concrete technology. 2nd edition, Malaysia, CTP-VVP, ISBN 978-0-273-73219-8, TA439. N46.

Neville, A.M. 1996. Properties of Concrete. 4th edition. John Wiley and Sons, Inc., New York.

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

Obeed, A.T. 2007. Effect of Exposure to Fire Flame on Some Mechanical Properties of Self Compacting Concrete Using Different Types of Filler. **M.Sc., Thesis, College of Engineering, University of Babylon.**

Popovics, S., Rose, J.L., Popovics, J.S., 1990. The behaviour of ultrasonic pulses in concrete. **Cem. Concrete. Res**., 20, 259.

Rajagopalan, P.R., Prakash, J., Naramimhan,V. 1973. Correlation between ultrasonic pulse velocity and strength of concrete. **Indian Concrete. Journal**, Vol. 47, No. 11, pp. 416–418.

Rao, K.S., Sravana, P., Rao, C.T. 2016. Relationship between Ultrasonic Pulse Velocity and Compressive Strength for Roller Compacted Concrete containing GGBS. **International Journal of Applied Engineering Research** ISSN 0973-4562 Volume 11, Number 3 (2016) pp 2077-2084.

Reinhardt, H.W., Grosse, C.U. 1996. Setting and Hardening of Concrete continuously monitored by Elastic Waves. **NDT.net**, July, Vol.1, No. 7.

Rio, L.M., Jimenez, A., Lopez, F., Rosa, F.J., Rufo, M.M., Paniagua, J.M. 2004. Characterization and hardening of concrete with ultrasonic testing. Ultrasonics, Vol. 42, pp. 527–530.

Rouf, Z. 1986. Assess how common non-destructive testing of concrete. **Journal of building Research**, vol. 5, 10. Number 21, May, 1986).

Rouf, Z., Younis, F., Abdullatif, M. (1986). Control quality of the concrete using Ultrasonic vibration. **National Center for laboratories construction**, 1986.

Santamarina, C.J., and Fratta, d. 1998. Introduction to Discrete Signals and Inverse Problems in Civil Engineering, **ASCE Press, Reston**, 1998.

Suaris, W., Fernando, V. 1987. Ultrasonic pulse attenuation as a measure of damage Growth During cyclic loading of concrete, **ACI Mater**. J. 84 (1987), pp. 185– 193.

Tharmaratram, K., Tan, B.S. 1990. Attenuation of ultrasonic pulse in cement mortar. **Cement and Concrete Research**, Vol. 20, pp. 335–340.

Trtnik, G., Kavcic, F., Turk, G. 2009. Prediction of concrete strength using ultrasonic pulse velocity and artificial neural networks. Ultrasonics Vol. 49, pp. 53–60.

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

TS, 2010. Assessment of in-situ compressive strength in structures and precast concrete components. TS EN 13791, **TÜRK STANDARDLARI ENSTİTÜSÜ** Necatibey Caddesi No.112 Bakanlıklar/ANKARA ICS 91.080. 40.

Turgut, P. 2004. Research into the Correlation between Concrete Strength and UPV Values. **NDT.net**, Volume 12, Number12, December.

Ulucan, Z.Ç., Türk, K., Karata, M. 2008. Effect of mineral admixtures on the correlation between ultrasonic velocity and compressive strength for self-compacting concrete. **Russian Journal of Non-destructive Testing**, Vol. 44, No. 5, pp. 367–374.

Umran, M.K. 2002. Fire Flame Exposure Effect on Some Mechanical Properties of concrete. **M.Sc., Thesis, College of Engineering, University of Babylon.**

Whitehurst, E.A. 1951. Use of the Soniscope for Measuring Stetting Time of Concrete. **ASTM**, vol, 51, pp.1166-76.

Zabihi, N. 2012. Effect of Specimen Size and Shape on Strength of Concrete. Eastern Mediterranean University January 2012 **Gazimağusa, North Cyprus**, Approval of the Institute of Graduate Studies and Research.

Internet

1. https://www.asnt.org/MinorSiteSections/AboutASNT/Intro-to-NDT, Erişim Tarihi: 12.06.2016.
2. https://www.ndeed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/Introuction/description.htm, Erişim Tarihi: 20.01.2016.

3. https://www.ndeed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/Physics/modepropagation.hm, Erişim Tarihi: 20.01.2016.
4. https://www.ndeed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/EquipmentTrans/piezotransducers.htm, Erişim Tarihi: 20.01.2016.
5. https://www.ndeed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/Equipment Trans/characteristicspt.htm, Erişim Tarihi: 20.01.2016.
6. https://www.ndeed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/Physics/elasticsolids.htm, Erişim Tarihi: 20.01.2016.
7. https://www.ndeed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/Introduction/description.htm, Erişim Tarihi: 20.01.2016.
8. http://www.schoolphysics.org/age16-19/wavesaag/text/waves1/index.html, Erişim Tarihi: 07.06.2016.
9. http://theconstructor.org/concrete/compressive strength-of-concrete-cubes/1561, Erişim Tarihi: 15.07.2016.

EKLER

Tablo A. Literatür veriler.

No.	Araştırmacılar	Basınç Dayanımı (MPa)	Ultrasonik Dalge Hizi (km/s)
1	Abdullatif (1997)	33.60	3.80
2	Abdullatif (1997)	38.70	5.16
3	Matar (2000)	30.00	4.60
4	Matar (2000)	28.40	4.27
5	Matar (2000)	24.70	4.39
6	Matar (2000)	32.60	4.29
7	Ali (2008)	52.68	4.62
8	Ali (2008)	43.75	4.62
9	Ali (2008)	39.00	4.45
10	Ali (2008)	41.96	4.54
11	Ali (2008)	39.73	4.55
12	Ali (2008)	43.30	4.56
13	Ali (2008)	50.89	4.60
14	Ali (2008)	48.21	4.60
15	Ali (2008)	43.75	4.85
16	Ali (2008)	40.22	4.82
17	Ali (2008)	43.75	4.83
18	Ali (2008)	52.23	4.87
19	Ali (2008)	50.00	4.90
20	Ali (2008)	46.43	4.77
21	Ali (2008)	46.43	4.75
22	Ali (2008)	45.09	4.86
23	Ali (2008)	50.00	4.86
24	Ali (2008)	49.50	4.89
25	Ali (2008)	37.95	4.57
26	Ali (2008)	43.20	4.87
27	Ali (2008)	43.72	4.98
28	Ali (2008)	44.28	5.03
29	Ali (2008)	44.85	5.09
30	Ali (2008)	45.15	5.18
31	Ali (2008)	44.61	5.01

32	Ali (2008)	43.27	4.96
33	Musmar and Alhadi (2007)	49.80	4.60
34	Musmar ve Alhadi, (2007)	37.80	4.52
35	Musmar ve Alhadi, (2007)	47.10	4.66
36	Musmar ve Alhadi, (2007)	55.10	4.63
37	Musmar ve Alhadi, (2007)	44.20	4.54
38	Musmar ve Alhadi (2007)	40.80	4.51
39	Musmar ve Alhadi (2007)	50.00	4.63
40	Musmar ve Alhadi (2007)	38.70	4.50
41	Musmar ve Alhadi (2007)	35.60	4.73
42	Musmar ve Alhadi (2007)	40.00	4.70
43	Musmar ve Alhadi (2007)	37.80	4.75
44	Musmar ve Alhadi (2007)	44.40	4.73
45	Musmar ve Alhadi (2007)	40.00	4.43
46	Musmar ve Alhadi (2007)	42.20	4.47
47	Musmar ve Alhadi (2007)	40.00	4.38
48	Musmar ve Alhadi (2007)	44.40	4.38
49	Musmar ve Alhadi (2007)	43.10	4.63
50	Musmar ve Alhadi (2007)	39.60	4.44
51	Musmar ve Alhadi (2007)	39.60	4.40
52	Musmar ve Alhadi (2007)	39.80	4.43
53	Musmar ve Alhadi (2007)	37.30	4.33
54	Musmar ve Alhadi (2007)	41.80	4.52
55	Musmar ve Alhadi (2007)	38.70	4.45
56	Musmar ve Alhadi (2007)	45.30	4.56
57	Musmar ve Alhadi (2007)	43.60	4.46
58	Musmar ve Alhadi (2007)	43.60	4.38
59	Musmar ve Alhadi (2007)	40.00	4.59
60	Musmar ve Alhadi (2007)	43.80	4.56
61	Musmar ve Alhadi (2007)	44.00	4.64
62	Musmar ve Alhadi (2007)	45.60	4.61
63	Musmar ve Alhadi (2007)	43.60	4.70
64	Musmar ve Alhadi (2007)	43.10	4.66
65	Musmar ve Alhadi (2007)	44.90	4.52
66	Musmar ve Alhadi (2007)	39.80	4.54
67	Musmar ve Alhadi (2007)	44.90	4.61
68	Musmar ve Alhadi (2007)	47.10	4.52
69	Musmar ve Alhadi (2007)	42.70	4.58
70	Musmar ve Alhadi (2007)	48.40	4.59
71	Musmar ve Alhadi (2007)	42.70	4.80
72	Musmar ve Alhadi (2007)	42.70	4.64
73	Dicle Üniversitesi (2016)	38.37	4.08

74	Dicle Üniversitesi (2016)	39.24	4.06
75	Dicle Üniversitesi (2016)	37.06	4.13
76	Dicle Üniversitesi (2016)	31.61	4.16
77	Dicle Üniversitesi (2016)	32.92	3.99
78	Dicle Üniversitesi (2016)	34.77	4.18
79	Dicle Üniversitesi (2016)	34.88	3.88
80	Dicle Üniversitesi (2016)	29.43	4.07
81	Mahure ve diğ, (2011)	36.71	4.26
82	Mahure ve diğ, (2011)	37.99	4.57
83	Mahure ve diğ, (2011)	39.01	4.82
84	Mahure ve diğ, (2011)	38.07	4.59
85	Mahure ve diğ, (2011)	28.31	4.13
86	Baigalimaa ve Tumendemberel (2010)	32.66	3.96
87	Baigalimaa ve Tumendemberel (2010)	30.15	3.97
88	Baigalimaa ve Tumendemberel (2010)	34.85	4.00
89	Baigalimaa ve Tumendemberel (2010)	35.48	4.10
90	Baigalimaa ve Tumendemberel (2010)	30.74	4.14
91	Baigalimaa ve Tumendemberel (2010)	36.65	4.16
92	Baigalimaa ve Tumendemberel (2010)	34.88	4.17
93	Baigalimaa ve Tumendemberel (2010)	30.61	4.20
94	Baigalimaa ve Tumendemberel (2010)	32.59	4.23
95	Baigalimaa ve Tumendemberel (2010)	33.48	4.27
96	Baigalimaa ve Tumendemberel (2010)	42.61	4.33
97	Baigalimaa ve Tumendemberel (2010)	34.33	4.40
98	Zabihi, (2012)	38.86	4.71
99	Zabihi, (2012)	43.20	4.44
100	Zabihi, (2012)	75.37	5.25
101	Demirboga, ve diğ (2004)	43.60	4.30
102	Demirboga, ve diğ (2004)	35.00	4.20
103	Demirboga, ve diğ (2004)	33.40	4.26
104	Demirboga, ve diğ (2004)	54.60	4.47
105	Demirboga, ve diğ (2004)	35.00	4.14
106	Demirboga, ve diğ (2004)	31.30	4.14
107	Demirboga, ve diğ (2004)	50.20	4.28
108	Demirboga, ve diğ (2004)	45.40	4.34
109	Demirboga, ve diğ (2004)	37.40	4.25
110	Demirboga, ve diğ (2004)	41.90	4.23
111	Demirboga, ve diğ (2004)	35.30	4.22
112	Demirboga, ve diğ (2004)	34.70	4.15
113	Mahmood, (2008)	25.00	2.88
114	Mahmood, (2008)	29.77	3.38
115	Mahmood, (2008)	32.00	3.49

116	Mahmood, (2008)	37.40	4.14
117	Mahmood, (2008)	38.90	4.32
118	Mahmood, (2008)	39.70	4.52
119	Rao ve diğ (2016)	43.20	4.87
120	Rao, ve diğ (2016)	43.72	4.98
121	Rao, ve diğ (2016)	44.61	5.00
122	Rao, ve diğ (2016)	43.27	4.95
123	Rao, ve diğ (2016)	49.50	5.02
124	Rao ve diğ (2016)	50.27	5.11
125	Rao, ve diğ (2016)	52.11	5.15
126	Rao, ve diğ (2016)	55.70	5.24
127	Rao, ve diğ (2016)	58.28	5.29
128	Rao, ve diğ (2016)	56.00	5.28
129	Rao, ve diğ (2016)	54.10	5.11
130	Ali ve Al-jaberi, (2014)	42.41	4.65
131	Ali ve Al-jaberi, (2014)	42.43	4.66
132	Ali ve Al-jaberi, (2014)	42.89	4.81
133	Ali ve Al-jaberi, (2014)	42.90	4.84
134	Ali ve Al-jaberi, (2014)	42.44	4.67
135	Ali ve Al-jaberi, (2014)	42.45	4.69
136	Ali ve Al-jaberi, (2014)	43.08	4.86
137	Ali ve Al-jaberi, (2014)	43.18	4.87
138	Ali ve Al-jaberi, (2014)	42.09	4.58
139	Ali ve Al-jaberi, (2014)	42.41	4.63
140	Ali ve Al-jaberi, (2014)	42.50	4.70
141	Ali ve Al-jaberi, (2014)	42.69	4.75
142	Ali ve Al-jaberi, (2014)	43.74	4.93
143	Ali ve Al-jaberi, (2014)	42.86	4.78
144	Ali ve Al-jaberi, (2014)	42.87	4.79
145	Ali ve Al-jaberi, (2014)	42.90	4.85
146	Ali ve Al-jaberi, (2014)	43.00	4.85
147	Ali ve Al-jaberi, (2014)	43.30	4.89
148	Ali ve Al-jaberi, (2014)	43.31	4.90
149	Ali ve Al-jaberi, (2014)	44.20	5.11
150	Ali ve Al-jaberi, (2014)	44.30	5.14
151	Ali ve Al-jaberi, (2014)	43.31	4.90
152	Ali ve Al-jaberi, (2014)	43.50	4.91
153	Ali ve Al-jaberi, (2014)	44.00	4.99
154	Ali ve Al-jaberi, (2014)	44.19	5.06
155	Ali ve Al-jaberi, (2014)	43.75	4.98
156	Ali ve Al-jaberi, (2014)	43.75	4.98
157	Ali ve Al-jaberi, (2014)	43.63	4.91

158	Ali ve Al-jaberi, (2014)	43.70	4.93
159	Ali ve Al-jaberi, (2014)	43.66	4.92
160	Ali ve Al-jaberi, (2014)	45.74	4.68
161	Ali ve Al-jaberi, (2014)	45.98	4.70
162	Ali ve Al-jaberi, (2014)	46.89	4.80
163	Ali ve Al-jaberi, (2014)	46.89	4.81
164	Ali ve Al-jaberi, (2014)	46.41	4.73
165	Ali ve Al-jaberi, (2014)	46.44	4.76
166	Ali ve Al-jaberi, (2014)	47.69	4.85
167	Ali ve Al-jaberi, (2014)	47.95	4.87
168	Ali ve Al-jaberi, (2014)	45.09	4.63
169	Ali ve Al-jaberi, (2014)	45.52	4.68
170	Ali ve Al-jaberi, (2014)	46.65	4.76
171	Ali ve Al-jaberi, (2014)	46.66	4.77
172	Ali ve Al-jaberi, (2014)	52.59	4.94
173	Ali ve Al-jaberi, (2014)	46.72	4.76
174	Ali ve Al-jaberi, (2014)	46.88	4.79
175	Ali ve Al-jaberi, (2014)	46.89	4.84
176	Ali ve Al-jaberi, (2014)	47.08	4.83
177	Ali ve Al-jaberi, (2014)	49.11	4.87
178	Ali ve Al-jaberi, (2014)	49.15	4.88
179	Ali ve Al-jaberi, (2014)	53.13	5.01
180	Ali ve Al-jaberi, (2014)	53.57	5.10
181	Ali ve Al-jaberi, (2014)	49.50	4.89
182	Ali ve Al-jaberi, (2014)	49.50	4.88
183	Ali ve Al-jaberi, (2014)	53.00	4.97
184	Ali ve Al-jaberi, (2014)	53.04	5.00
185	Ali ve Al-jaberi, (2014)	52.68	4.94
186	Ali ve Al-jaberi, (2014)	53.67	4.95
187	Ali ve Al-jaberi, (2014)	49.55	4.90
188	Ali ve Al-jaberi, (2014)	50.38	4.89
189	Ali ve Al-jaberi, (2014)	50.89	4.94
190	Karim,(2005), Urman, (2002) ve Al-Hesnawi,(2011)	30.50	4.45
191	Karim,(2005), Urman, (2002) ve Al-Hesnawi,(2011)	41.30	4.64
192	Karim,(2005), Urman, (2002) ve Al-Hesnawi,(2011)	41.30	4.64
193	Karim,(2005), Urman, (2002) ve Al-Hesnawi,(2011)	41.30	4.64
194	Karim,(2005), Urman, (2002) ve Al-Hesnawi,(2011)	41.30	4.64
195	Karim,(2005), Urman, (2002) ve Al-Hesnawi,(2011)	30.80	4.40
196	Karim,(2005), Urman, (2002) ve Al-Hesnawi,(2011)	30.60	4.45
197	Karim,(2005), Urman, (2002) ve Al-Hesnawi,(2011)	38.40	4.70
198	Karim,(2005), Urman, (2002) ve Al-Hesnawi,(2011)	38.60	4.90
199	Karim,(2005), Urman, (2002) ve Al-Hesnawi,(2011)	34.10	4.48

200	Karim,(2005), Urman, (2002) ve Al-Hesnawi,(2011)	45.20	4.66
201	Karim,(2005), Urman, (2002) ve Al-Hesnawi,(2011)	45.20	4.66
202	Karim,(2005), Urman, (2002) ve Al-Hesnawi,(2011)	45.20	4.66
203	Karim,(2005), Urman, (2002) ve Al-Hesnawi,(2011)	45.20	4.66
204	Karim,(2005), Urman, (2002) ve Al-Hesnawi,(2011)	37.30	4.49
205	Karim,(2005), Urman, (2002) ve Al-Hesnawi,(2011)	48.20	4.67
206	Karim,(2005), Urman, (2002) ve Al-Hesnawi,(2011)	48.20	4.67
207	Karim,(2005), Urman, (2002) ve Al-Hesnawi,(2011)	48.20	4.67
208	Karim,(2005), Urman, (2002) ve Al-Hesnawi,(2011)	48.20	4.67
209	Karim,(2005), Urman, (2002) ve Al-Hesnawi,(2011)	22.60	3.25
210	Karim,(2005), Urman, (2002) ve Al-Hesnawi,(2011)	22.60	3.34
211	Karim,(2005), Urman, (2002) ve Al-Hesnawi,(2011)	21.70	3.16
212	Karim,(2005), Urman, (2002) ve Al-Hesnawi,(2011)	22.90	3.25
213	Karim,(2005), Urman, (2002) ve Al-Hesnawi,(2011)	28.90	3.25
214	Karim,(2005), Urman, (2002) ve Al-Hesnawi,(2011)	32.20	3.57
215	Karim,(2005), Urman, (2002) ve Al-Hesnawi,(2011)	31.00	3.34
216	Karim,(2005), Urman, (2002) ve Al-Hesnawi,(2011)	31.40	3.39
217	Karim,(2005), Urman, (2002) ve Al-Hesnawi,(2011)	25.80	3.30
218	Karim,(2005), Urman, (2002) ve Al-Hesnawi,(2011)	26.10	3.45
219	Karim,(2005), Urman, (2002) ve Al-Hesnawi,(2011)	31.90	3.50
220	Karim,(2005), Urman, (2002) ve Al-Hesnawi,(2011)	26.30	3.18
221	Karim,(2005), Urman, (2002) ve Al-Hesnawi,(2011)	36.60	3.73
222	Karim,(2005), Urman, (2002) ve Al-Hesnawi,(2011)	35.20	3.63
223	Karim,(2005), Urman, (2002) ve Al-Hesnawi,(2011)	34.30	3.35
224	Karim,(2005), Urman, (2002) ve Al-Hesnawi,(2011)	35.70	3.49
225	Karim,(2005), Urman, (2002) ve Al-Hesnawi,(2011)	31.00	3.49
226	Karim,(2005), Urman, (2002) ve Al-Hesnawi,(2011)	29.90	3.49
227	Karim,(2005), Urman, (2002) ve Al-Hesnawi,(2011)	29.10	3.41
228	Karim,(2005), Urman, (2002) ve Al-Hesnawi,(2011)	29.50	3.37
229	Karim,(2005), Urman, (2002) ve Al-Hesnawi,(2011)	41.50	3.28
230	Karim,(2005), Urman, (2002) ve Al-Hesnawi,(2011)	39.10	3.83
231	Karim,(2005), Urman, (2002) ve Al-Hesnawi,(2011)	37.60	3.64
232	Karim,(2005), Urman, (2002) ve Al-Hesnawi,(2011)	36.60	3.55
233	Karim,(2005), Urman, (2002) ve Al-Hesnawi,(2011)	20.40	3.60
234	Obeed, (2007), ve Ahmed,(2013)	42.00	4.42
235	Obeed, (2007), ve Ahmed,(2013)	35.00	4.00
236	Obeed, (2007), veAhmed,(2013)	33.00	4.25
237	Obeed, (2007), ve Ahmed,(2013)	35.60	3.50
238	Obeed, (2007), ve Ahmed,(2013)	33.80	3.30
239	Obeed, (2007), ve Ahmed,(2013)	25.20	3.20
240	Obeed, (2007), ve Ahmed,(2013)	32.20	3.35
241	Obeed, (2007), ve Ahmed,(2013)	28.50	3.20

242	Obeed, (2007), ve Ahmed,(2013)	22.50	3.00
243	Obeed, (2007), ve Ahmed,(2013)	29.00	3.50
244	Obeed, (2007), ve Ahmed,(2013)	25.50	3.35
245	Obeed, (2007), ve Ahmed,(2013)	20.50	3.25

ÖZGEÇMİŞ

01.07.1990 yılında Irak Federal Cumhuriyeti, Naynawah ilinin Akre Ilçesine bağlı Sharmin köyünde dünyaya geldim. İlk öğrenimimi Irak'ın Duhok iline bağlı Amedi ilçesinin Shiladze kasabasında Sirye ilk öğretim okulunda 1996-2005 yılları arasında tamamladım. Lise öğrenimimi yine Irak Federal Cumhuriyeti'nin Duhok iline bağlı Amedi ilçesinin Shiladze kasabasında Sirye lisesinde 2005-2009 yılları arasında tamamladım. Üniversite eğitimimi 2009-2013 yıllarıarasında Zaho Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik bölümünde tamamladım. 2014 yılında Duhok iline bağlı Amedi ilçesinin Amedi eğitim müdürlüğüne bağlı Welat 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	Ziwar ZEBARI
ÖĞRENCİ NO	13802309
EĞİTİM – ÖĞRETİM YILI	2015-2016
YARIYIL	X Güz ☐ Bahar
ANABİLİM DALI	Fizik
PROGRAM	Yüksek Lisans
TEZ KONUSU	ULTRASONIK DALGA HIZI ÖLÇÜMÜ YARDIMIYLA BETONUN BASINÇ DAYANIMININ BELIRLENMESI
İNTİHAL RAPORU BİLGİLERİ	
RAPOR TÜRÜ	Tez Savunma Sınavı Sonrası
SAYFA SAYISI	75
BENZERLİK ORANI	02 %
RAPORLAMA TARİHİ	14/03/ 2016

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın kapak sayfası, giriş, ana bölümler, sonuç ve tartışma kısımlarından oluşan toplam 75 sayfalık kısmına ilişkin,14/03/2017 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından *turnitin* adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 02 'tür.

Uygulanan filtrelemeler:

X Kabul/Onay sayfaları hariç,
X 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)
Ziwar ZEBARI

(İmza) 20/03/2017 Prof.Dr. M. Enver AYDIN **Tez Danışmanı**	(İmza) 20/03/2017 Prof. Dr. İrfan AÇIKGÖZ **Anabilim Dalı Başkanı**

T.R.
DICLE UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE

DETERMINING OF COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE WITH ULTRASONIC WAVE VELOCITY MEASUREMENTS

ZIWAR ZEBARI

MASTER THESIS
DEPARTMENT OF PHYSICS

DIYARBAKIR
September-2016

T.R.
DICLE UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE

DETERMINING OF COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE WITH ULTRASONIC WAVE VELOCITY MEASUREMENTS

ZIWAR ZEBARI

MASTER THESIS
DEPARTMENT OF PHYSICS

DIYARBAKIR
September-2016

T.R.

DICLE UNIVERSITY

DIRECTORATE OF SCIENCE INSTITUTE

DİYARBAKIR

This study titled as "Determining of Compressive Strength of Concrete with Ultrasonic Wave Velocity Measurements" prepared by Ziwar ZEBARI 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)

ACKNOWLEDGMENT

I would like to acknowledge the following people whose enormous contributions led to the successful completion of this thesis:

I would like to thank to my advisors Prof. Dr. Enver AYDIN and Assistant Prof. Dr. Idris BEDIRHANOĞLU. For them continuous guidance

I would like to thank to my cousin Dildar Abdulsalam, and to my friends Kadri Yousif, Vaheel Abdullah, Saruhan BEDIRHANOĞLU and Zeki ŞIMŞEK, and for their help during experiments.

I would like to thank to Dicle University, department of Physics and Civil Engineering for their facilities that they provided to me.

I would like to express my gratitude to my dear parents, my wife, my kids, my dear sisters and brothers.

CONTENT

Page

ACKNOWLEDGMENT ..... **I**

CONTENT ..... **II**

ÖZET ..... **IV**

ABSTRACT ..... **V**

LIST OF TABLE ..... **VI**

LIST OF FIGURE ..... **VII**

ANNOTATION AND SYMBOLS ..... **VIII**

1. INTRODUCTION **1**

1.1. General 1

1.2. Thesis Purpose 2

1.3. Thesis Plan 3

2. ULTRASONIC WAVE AND TESTING **5**

2.1. Introduction 5

2.1.1. Advantage and Disadvantage 6

2.1.2. Fundamental Principle of Ultrasonic Testing 7

2.1.3. Physics of Ultrasound Wave Propagation 7

2.2. Material Properties Affecting of the Speed of Sound 9

3. LITERATURE SURVEY **13**

3.1. Ultrasonic Pulse Velocity 13

3.1.1. Fundamental Principle of Ultrasonic Pulse Velocity 14

3.1.2. Application and Advantage of Ultrasonic Pulse Velocity 16

3.1.3 Transducers Locations 16

3.2. Theory of Wave Propagation through Concrete 18

3.2.1. Energy Transmission 18

3.2.2. Attenuation of Ultrasonic Wave 19

3.3. Relationship between Ultrasonic Pulse Velocity and Compressive Strength..... 20

4. EXPERIMENTAL PROGRAM **27**

4.1. Introduction 27

4.1.1. Specimens 29

4.1.2. Properties of Concrete 29
4.1.3. Producing Specimens 30
4.2. Curing Process 30
4.3. Ultrasonic Pulse Velocity Tester 31
4.4. Procedure to Determine Ultrasonic Pulse Velocity 33
4.5. Compression Strength Test Methods 35
5. RESULT AND DISCUSSION 37
5.1. Experimental Results 37
5.2. Discussion 38
6. CONCLUSION..... 51
7. REFERENCE..... 53
APPENDIX..... 61
CURRICULUM VITAE..... 69

ÖZET

ULTRASONIK DALGA HIZI ÖLÇÜMÜ YARDIMIYLA BETONUN BASINÇ DAYANIMININ BELIRLENMESI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ziwar ZEBARI

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI
2016

Betonun kalitesinin tespiti için hasarsız testler gibi bir çok yöntem mevcuttur.Bu deneysel ve teorik çalışmada betonun basınç dayanımı ile ultrasonik dalga hızı arasında bir ilişki geliştirilmeye çalışılmıştır.
Deneysel çalışmada beş grup beton küp numune kullanılmıştır. Her bir grup dört küp numuneden oluşmaktadır. Numuneler Diyarbakır İli Kayapınar İlçesi, Diclekent mahallesinde bulunan Çağdaş Apartmanının güçlendirme çalışmasında kullanılan betonlardan alınmıştır. Bu numunelerde su/Çimento oranı 0.5'tir. Numuneler 28 gün normal koşullarda kür edilmiştir. Numunelerin test günlerindeki yaşları 41, 66, 90, 108 ve 121 gündür. Numunelerin yoğunlukları 2.20 ile 2.35 g/cm^3 arasında değişmektedir. Bütün Ultrases ölçümleri içinde en düşük değer 3.5 km/s olarak ölçülmüştür. Ultrases dalgası yayılma hızı ölçümlerinden sonra numuneler üzerinde basınç testleri yapılmıştır. Basınç deneyleri sonucunda dayanımların 29.21 ile 56.46 MPa değerleri arasında değiştiği görülmüştür. Düşük basınç dayanımlarına düşük ultrases dalga yayılma hızının denek geldiği, yüksek mukavemetlere yüksek ultrases yayılma hızlarının denk geldiği görülmüştür. Sonuç olarak basınç dayanımının artışı ile ultrases dalgası yayılma hızının da artığı gözlenmiştir. Dolayısı ile ultrases dalgası yayılma hızının beton basınç dayanımı ile doğru orantılı olduğu söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Beton, ultrason dalgası, ultrasonik test, tahribatsız test, tahribatsız muayene, basınç dayanımı, ultrasonik dalga hızı.

ABSTRACT

DETERMINING OF COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE WITH ULTRASONIC WAVE VELOCITY MEASUREMENTS

MSc THESIS

Ziwar ZEBARI

DEPARTMENT OF PHYSICS

INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

UNIVERSITY OF DICLE

2016

There are many test methods to assess the concrete quality, such as one of the famous non-destructive testing (NDT) methods, Ultrasonic Pulse Velocity (UPV). In this experimental and theoretical study a relationship is determined between concrete compressive strength and UPV.

In the experimental study, five groups of concrete cube specimens were used. Each group contained four samples in the form of concrete cubes. Samples were obtained from concrete work of a building Çağdaş Apartment. Located in Dicle Kent, Kayapinar, Diyarbakir. W/C ratio of mixture is 0.5. Specimens were cured in normal condition water for 28 days. Cube specimens were aged for 41, 66, 90, 108 and 121 days. Their densities were measured ranging from 2.20 to 2.35 g/cm^3 . All of the UPV measurements were taken from cube specimens are greater than 3.5 km/s. After UPV measurement compression tests were carried out for these specimens. Obtained compressive strength values are ranged from 29.21 to 56.46 MPa. We have observed that the lower compressive strength with 29.21 MPa value has given us the lower UPV value with 3.87 km/s and lower density, and the higher compressive strength with 56.46 MPa value has given us the higher UPV value 4.27 km/s and higher density. As a result we have observed that by increasing compressive strength the UPV values also increased. This says us the UPV directly proportional to compressive strength of the concrete.

Keywords: Concrete, ultrasound wave, ultrasonic testing, non-destructive testing, Destructive testing, compressive strength, ultrasonic pulse velocity.

LIST OF TABLE

Table No		Page
Table 2.1.	The summarized the four modes of Ultrasound waves in solid Materials	9
Table 2.2.	Ratio between Longitudinal (V_L) and Transverse waves (V_T) velocity of concrete and various metals	11
Table 3.1.	Velocity Standard for Concrete Quality Grading	13
Table 3.2.	Equations of relationship between CS and UPV	21
Table 4.1.	Mix proportion of concrete	30
Table 5.1.	The Experimental Results	37
Table 5.2.	The average value experimental result for five Groups	38
Table 5.3.	The equations development in this study	44
Table 5.4	The prediction CS measured from development equation of this study	45
Table 5.5.	The performance of the developed models in this work	45
Table 5.6.	All the equations Collected from literature	46
Table 5.7.	The prediction compressive strength by the equation of literature	47
Table 5.8.	The prediction performance of all of the models via implementing our data	47
Table 5.9.	The prediction performance of all of the model via implementing experimental data from only literature	49
Table A.	Data of Literature	61

LIST OF FIGURE

Figure No.		Page
Figure 2.1.	Wave propagation of transverse waves and longitudinal respectively	8
Figure 2.2.	The propagation of Rayleigh wave	8
Figure 2.3.	The two form of propagate plate wave	9
Figure 3.1.	Schematic diagram of ultrasonic pulse velocity testing circuit	14
Figure 3.2.	Various locations of transducers placement direct, semi-direct and indirect respectively	17
Figure 3.3.	Correlation ship between CS and UPV concrete specimens from a wide variety mix.	20
Figure 3.4.	UPV changes for SCC with FA (a) and SF (b) for different curing periods	22
Figure 3.5.	Relationship between CS and UPV for SCC with FA a) and SF b)	23
Figure 3.6.	Relationship between CS and UPV	24
Figure 3.7.	The relationship between compressive strength and ultrasonic pulse velocity	25
Figure 4.1.	Çağdaş Apartment	27
Figure 4.2.	Google Earth view of the Çağdaş Apartment	38
Figure 4.3.	One of the columns of Çağdaş Apartment that failure	28
Figure 4.4.	Concrete Cube specimens after takeout the moulds	29
Figure 4.5.	Water curing process of one group of cube specimens in normal water	31
Figure 4.6.	Ultrasonic Testing Device (posso) used in this experiment	32
Figure 4.7.	Setting the reference bar on the 51µs	34
Figure 4.8.	One of the cube specimens Under UPV test	34
Figure 4.9.	Compressive strength machine that used in this study	35
Figure 4.10.	Selecting machine range and application load on the one of the specimens	36
Figure 5.1.	Relationship between CS and UPV for grope CBK	39
Figure 5.2.	Relationship between CS and UPV for group CZK	40
Figure 5.3.	Relation between CS and UPV for C2K group	40
Figure 5.4.	Relation between CS and UPV for group CAK	41
Figure 5.5.	Relation between CS and UPV for group CO4K	41
Figure 5.6.	Relationship between CS and UPV for mean five groups	42
Figure 5.7.	Relationship between CS and UPV for age 41-90 days	42
Figure 5.8.	Actual CS versus Predicted CS by current model	49
Figure 5.9.	Actual CS versus predicted CS scatters diagram for equation suggested by Turgut	50

ANNOTATION AND SYMBOLS

NDT	: Non-Destructive Testing
DT	: Destructive Testing
UT	: Ultrasonic Testing
UPV	: Ultrasonic Pulse Velocity
DUPV	: Direct Ultrasonic Pulse Velocity
T_X	: Transmitter Transducer
R_X	: Receiver Transducer
PUNDIT	: Portable Ultrasonic Non-Destructive Digital Indicating Testing
CS	: Compressive Strength
f'_c	: Compressive Strength
μs	: Microsecond
λ	: Wave Length
f	: Frequency
L	: Length
T	: Time
F	: Force
A	: Area, Amplitude
σ	: Compressive strength
ρ	: Density
υ	: Poisson ratio
v, ν	: Velocity
E	: Young modulus
G	: Elasticity modulus of shear wave
ω	: Angular frequency
ϕ	: Angular phase

1. INTRODUCTION

1.1. General

Concrete technology construction has an important role in building and construction. Concrete is the most commonly used construction material on the world after water. Concrete is a versatile construction material especially when newly mixed. Where it can be converted to stronger and more durable form concrete can be used to build, bridges, sidewalks, highways, house and dams (Neville and Brooks, 2010).

Because concrete is a mixture of cement, aggregate and water, during each use, the concrete must be tested with reliable methods. (Corneloup and Garnier, 1995).
As widely known, there is no doubt nowadays in the world; the physics science has made big progresses, and there are several variant techniques, which can be used in most daily needs and affairs, for instance in the sector of medicine and engineering. One of the techniques which is frequently used is Non-destructive testing (NDT), It is a group of techniques and methods which is close to twelve techniques and they are all involved. And this is the NDT's definition; NDT method is one of the most widely used method in research and application to investigate the properties of a material without causing damage or without changing internal condition. NDT methods are the techniques being used to get valuable understanding inside the material without damage or without changing in shape and components of object (Hellier, 2003 and Mix, 2005).

One of the most widely used methods in NDT is ultrasonic testing (UT) method. UT includes measuring the sound wave energy that propagates through the concrete for strength determination. Generally, high pulse velocities that can be transit through concrete specimens indicate their good quality (IS, 1992).
Ultrasonic pulse velocity (UPV) technique can be used for testing concrete. UPV can be applied to the materials and objects mostly as direct, indirect and semi direct to measure the pulse velocity through the concrete at site. These tests are affected by many parameters that depending on the nature of materials used in concrete production. So, it is difficult to define the compressive strength of hardened concrete at site precisely with NDT methods (Neville, 2011).

The importance of UT method is that, many readings can be done in a short time. However, it must be done carefully, since there are a bunch of factors affecting the UPV readings such as W/C, admixtures, moisture content, path length, shape and size of

specimens, type and size of aggregate, type of cement, age of concrete and specimen temperature. Another important thing is that by NDT measurements some mechanical properties can be defined, by using some special formulas. Concrete is not damaged during these procedures. After NDT testing of the specimen, the same specimen can be tested by destructive testing (DT) techniques, such as tensile and compression tests. Compression test or compressive strength (CS) is one of the most widely used tests and it is for defining compressive strength of materials such as concrete (Naik et al, 2004).

This technique and others-like this we have discussed above is called DT. When we compare NDT with DT method, DT testing method give the exact results. Because of many factors affecting NDT results as discussed above, NDT values are estimated values and they are not actual. So through the relation between those parameters which are used, we are able to measure other results on how is the relation between them. Or to realize how much the results of the two techniques are close to each other, because these tests and techniques are used frequently in all over the world (Naik et al, 2004 and Malek, Kaouther, 2014).

Most of the researches which have been done on this issue states that the relation between UPV and CS is a straight relation. Therefore it should be at least a straight and a logical relation according to those standards in the issue, if not; then it can be said that there are incompetence's and mistakes.

In this study the UPV test should be used to assess the predicted CS of cube concrete specimens. From the results of this study it is intended to obtain a statistical correlation between the UPV and CS of concrete.

1.2. Thesis Purpose

To establish a suitable equation for assessing the CS of concrete from the direct ultrasonic pulse velocity (DUPV), two types of data are used:

The 1st type of data is to find a relationship between the DUPV and the CS of normally cured concrete. The 2ndtype of data is to make a statistical evaluation to define the best model including models from different researchers by utilizing a big range of experimental data collected from literature.

1.3. Thesis Plan

The arrangement for the rest of the thesis is as follows:

The chapter two describes the UT technique of NDT and fundamentals principle of the UT, wave propagation of ultrasound wave and advantage and disadvantage of UT technique. In chapter three, the principles of UPV fundamentals is reviewed, and literature survey of different researches on relationship between CS and UPV is made. Chapter four involves the experimental work and materials method with water curing condition methods and studies the general procedures to determine both technique of UPV and CS test. In chapter five, experimental results and discussion of experimental results are evaluated and the best equation of this study is presented. Chapter six gives the main conclusions obtained from the present study and the recommendations for future work. Finally the experimental used in this thesis study were presented in appendix section.

2. ULTRASOUNIC WAVE AND TESTING

2.1. Introduction

Modern ultrasonic testing is attractively used due to not giving damage to the material in the form of solid, gas by sending sound waves through material. UT Measurement ranges in between 0.5-20MHz. The range of human hearing are about 20 Hz-20 KHz (Hellier, 2003 and Berke, 2000).

Ultrasound waves are generally defined as a phenomenon consisting of the wave transmission of a vibratory movement of a medium with higher than range of human audible frequency or above 20 KHz. Ultrasound waves are accepted to be elastic waves (Garbacz and Garboczi, 2003).

Ultrasonic waves are very important in two fields. One of them is for the detection of the flaw and the other is to analysis of the physical properties of the material such as stresses and elasticity constants (mix, 2005).

Two applications of ultrasound waves tests mentioned above, the vibrations of the medium can be described by a sinusoidal wave of small amplitude. This type of vibration can be described using the wave motion equation,

$$\frac{\partial^2 a}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 a}{\partial x^2} \qquad 2.1$$

Where;

a: instantaneous particle displacement in (m)

t: time in seconds(s)

C: wave propagation velocity in (m/s)

x: Position coordinates in (m)

The vibrations of the medium are characterized by the following parameters:

Acoustic velocity (*v)*: Velocity of vibration of the material particles around the position of equilibrium.

$$\nu = \frac{dx}{dt}, \quad \nu = \omega\, A\cos(\omega t - \phi) \qquad 2.2$$

Where:

x: instantaneous particle displacement in (m).

t: Time in seconds (s).

$\omega = 2\pi f$ ($2\pi/T$): The angular frequency in (rad/s).

A: amplitude of deviation from the position of equilibrium in (m).

ϕ : Angular phase, at which the vibrating particle reaches the momentary value of the deviation from position of equilibrium in (rad).

Wave period (t): Time after which the instantaneous values are repeated.

Wave frequency (*f*): Inverse of the wave period: f = 1/T in 1/s (Hz).

Wave length (λ): The minimum length between two consecutive vibrating Particles of the same phase:

By the bellow equation it can be established the wave length:

$$\lambda = \frac{\nu}{f} \qquad 2.3$$

Where:

f : Frequency in hertz (Hz) or (1/s)

λ : Distance enclosed in one cycle is wavelength in (m).

ν : Velocity of Ultrasound wave inside the medium in (m/s).

On the other hand ultrasonic generate an ultrasound waves, ultrasound waves are a mechanical waves refers to that have frequencies greater than the capable of being heard range for human. Human can feel approximately the ranges between 20-20000Hz or greater than the 20 KHz (Lougier and Haiat, 2011).

2.1.1. Advantage and Disadvantage of Ultrasonic Testing

Although UT has big advantages due to having ability to detect flaw in material and depth of penetration, being portable and cheap in cost, capability of measuring mechanical, physical and microstructure of material in liquid, solid and gas state and having ability to get image of material etc. in comparison to other NDT methods it has disadvantages due to being difficult to detect if the materials are not suitable for probes to get full contact to the material and since the grained materials causes high signal

noise and sound to propagate lower in the material the detection of the physical properties of the material will be difficult (Mix, 2005 and I7, 2016).

2.1.2. Fundamental Principle of Ultrasonic Testing

Ultrasonic evaluation can be done at the range of frequencies between 0.5- 20 MHz above the human audible hearing at the range of frequencies approximately between 20Hz to 20 kHz. Ultrasonic testing has most common typical techniques such as; pulse echo, transmission, and UPV (Lütfi, 2013).

Ultrasonic testing system consist of the two transducers these are; transmitter and receiver transducers. Transducers is a device convert a type of energy to another type of energy; an ultrasonic transducer converts Alternating Current (AC) into ultrasound waves or reverse, sound into AC. Applied voltage makes the Piezoelectric crystals modify in size and shape; This situation will make it possible to be oscillated at the same frequency and will produce ultrasonic sound. Since piezoelectric materials generate a voltage when force is applied to them, they can also work as ultrasonic detectors (I4, 2016 and I5, 2016).

2.1.3. Physics of Ultrasound Wave Propagation

Ultrasound wave is a mechanical phenomenon is issued from the oscillatory motion of molecules inside the substance which is attributed to acoustics. Atoms or molecules unifying with different kind of bonding such as ionic bonding, covalent bonding or metallic bonding etc, make an oscillatory motion about their balance point. In solids, Ultrasound wave can come into existence with four ways progressing as longitudinal (compression wave) with parallel motion, transverse (shear wave) with perpendicular motion to ultrasound such as shown in figure 2.1. Rayleigh waves (surface wave) and in thin solid materials as plate waves (lamb wave). Each of these waves are being used in UT, longitudinal wave and transverse wave are generally used in UT, (I3, 2016).

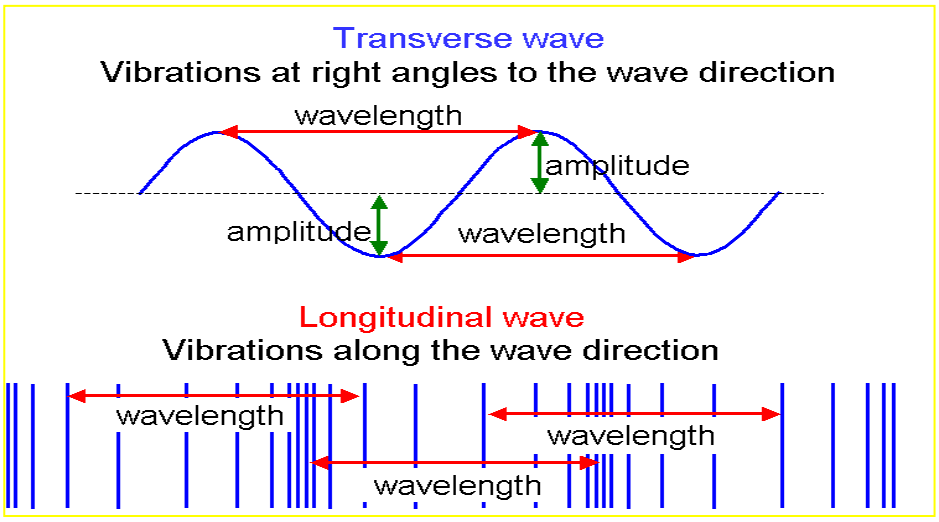


Figure 2.1. Wave propagation of transverse waves and longitudinal respectively (I8, 2016).

Rayleigh waves or surface including longitudinal and transverse wave progress near the surface of the extremely thick material. Containing longitudinal wave and transverse wave will cause the Rayleigh waves producing an elliptical orbit motion as seen in the figure 2.2. In the following where the main axis of the ellipse is perpendicular to the surface of the solid. As the depth of an individual atom from the surface increases the width of its elliptical motion decreases. (I3, 2016)

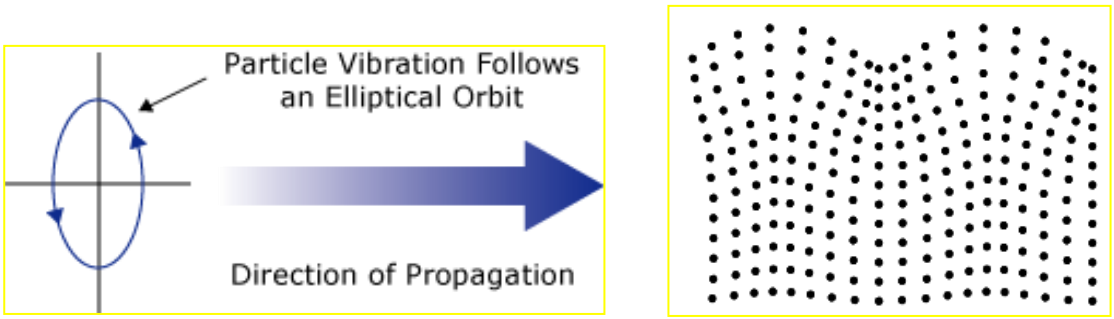


Figure 2.2. The propagation of the Rayleigh wave (I3, 2016).

Plate wave (Lamb wave) of elastic waves, propagating in solid plates and existing in many complex modes of particle movement. This wave can propagate symmetrical and asymmetrical possessing the direction of wave progressing and the plate normal the direction perpendicular to the plate, such as shown in figure 2.3 (I3, 2016).

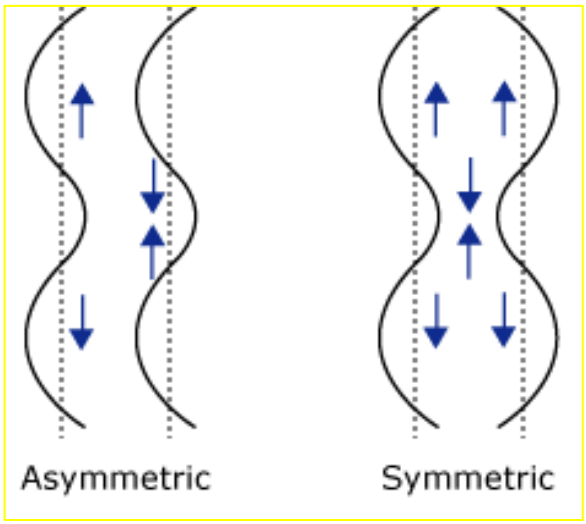


Figure 2.3. The two form of propagate plate wave (I3, 2016).

Table 2.1. The summarized the four modes of Ultrasound waves in materials (I3, 2016).

Types of wave	**Motion of particles**
P-Wave (Compression)	Parallel to wave direction
S-Wave (Shear)	Perpendicular to wave direction
Rayleigh (P-wave + S-wave)	Elliptical orbit- symmetrical mode
Lamb (plate wave)	Component perpendicular to surface

2.2. Material Properties Affecting of the Speed of Sound

Different materials with different density and different molecular design show different effects to sound progressing inside. We can imagine inside the solid as the unification of atoms or molecules by spring. When a compression applied to the material then it will deviate from its balance point with different frequency for the material with different mass or density. It is because of that different substance possessing different microstructures in atomic range. The mass is directly proportional to the density and elasticity of material increases with high spring constant of atomic particles. The velocity of sound wave, its density and elasticity constants in a material can be expressed as following equation: (I6, 2016).

$$\nu = \sqrt{\frac{Cij}{\rho}} \qquad 2.4$$

Where:

ν : Velocity of sound wave in (m/s)

Cij : Elasticity constant "in given direction" (N/m^2)

ρ: Density (kg/m^3)

The 'ij' sub-indices of 'C' in equation 2.4, describes the directionality of elastic constants representing wave type and direction of progressing through material. The direction of elasticity constants inside material is same for all isotropic materials. But generally due to the most of the materials are anisotropic, elastic constants are not same for every direction, (I6, 2016, and Hellier, 2003).

For longitudinal can be establish by this equation:

$$v_L = \sqrt{\frac{E(1-\upsilon)}{\rho(1+\upsilon)(1-2\upsilon)}} \qquad 2.5$$

Where;

$\nu_{L:}$ velocity of sound wave for longitudinal waves in (m/s)

E: Young modulus in (N/m^2)

υ: Poisson ratio.

While for transverse (shear) waves, the speed of sound wave is established by;

$$v_T = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \qquad 2.6$$

Where;

ν_T: Speed of transverse (shear) sound wave, G: elasticity modulus of shear wave, and can be finding the "G" by below formula:

$$G = \frac{E}{2(1+\upsilon)} \qquad 2.7$$

From the equation 2.6. and 2.7. It can be founded that longitudinal waves travel faster than transverse waves or longitudinal waves are approximately twin as quick as transverse waves.

In the table 2.2. Some examples of the longitudinal and transverse sound velocities in concrete and various metals are given.

Table 2.2. Ratio between Longitudinal waves (V_L) and Transverse waves (V_T) velocity in Concrete and various metals (Hellier, 2003).

Materials	V_L (km/s)	V_T (km/s)	Ratio V_L / V_T
Concrete	4.400	2.600	1.69
Aluminum	6.320	3.130	2.02
Steel (1020)	5.890	3.240	1.82
Cast iron	4.800	2.400	2.00
Copper	4.660	2.330	2.00
Titanium	6.070	3.310	1.83

3. LITERATURE SURVEY

3.1. Ultrasonic Pulse Velocity

Ultrasonic pulse velocity (UPV) method is one of the most popular group analysis techniques UT, very used in NDT. It is applid by traveling high intensity frequency upper than the 20 kilohertz through the various media such as solid media, use to the assessment of concrete quality and determination of physical and mechanical properties of concrete. By according the some development that a wave velocity travels faster in denser media than in the loser one. An engineer and scientists can determine and investigation the quality of materials from the velocity of the Ultrasound wave energy, this technology can be applied to a variety of types of materials such as concrete, wood, and to check the some damages from heart of materials such as cracks and voids (IS, 1992). The UPV method is being used to evaluate the quality of concrete according to higher velocity propagating through the bulk of material better quality in terms of density, uniformity, homogeneity etc. (IS, 1992).

Table 3.1. Velocity Standard for Concrete Quality Grading (IS, 1992).

UPV pulsing by transducers (km/s)	Concrete Quality Grading
Above 4.5	Excellent
Change between 3.5- 4.5	Good
Change between 3.0- 3.5	Medium
Below 3.0	Poor

*In case of "poor" quality it may be needed to carry out further tests.

Because of the components of Concrete such as gravel, sand, and cement cause in homogeneity in the concrete with a very heterogeneous composition. This condition creates the measurement evaluation some difficult. This requires many studies on NDT of this material. In this field many studies have been made by some researchers and scientists. (Corneloup and Garnier, 1995).

3.1.1. Fundamental Principle of Ultrasonic Pulse Velocity

The UPV technique is based on the fundamental of velocity of a longitudinal sound wave traveled through a medium such as concrete, this pulse velocity depends on the elastic properties of a medium or concrete structure. The fundamental of UPV includes in measuring the time of propagation of energy of sound wave travel between two points (Tx and Rx). The transducer of UPV tester produces ultrasound wave energy due to the piezoelectric properties of the materials; the electrical output energy is converted into the mechanical ultrasound energy. The device measures the time T required for the wave to reach the receiver that converts the electrical signal such as shown in figure 3.1. And distinguishing the distance between T_X to the R_X it is possible to know the velocity V of the longitudinal wave in the medium (IS 1992, Hannachi. And Guetteche, 2014).

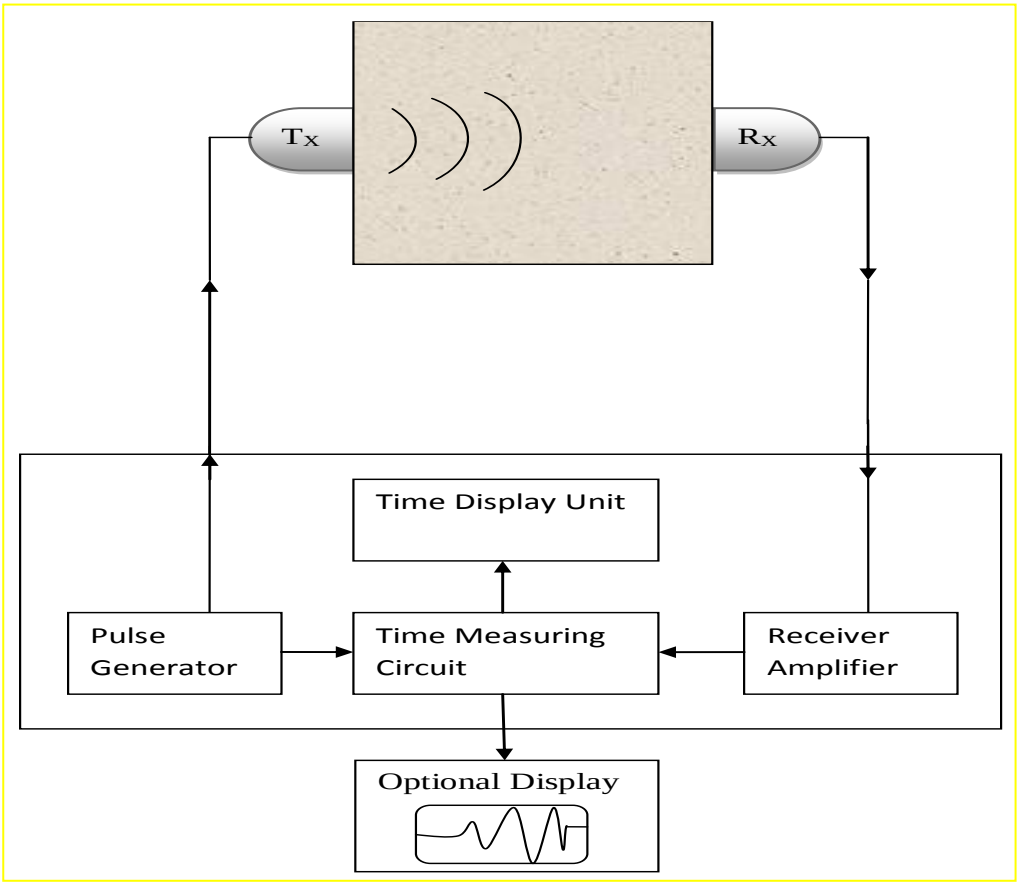


Figure 3.1. Schematic diagram of ultrasonic pulse velocity testing circuit (IS, 1992).

Tx and Rx should be kept in touch with one plane of the material in a face to face direction. For excellent conduction of sound wave energy through the material the gap between Rx and Rx and material should filled with a fluid material also called couplant (ultrasound gel), such as cellulose paste or grease. Stress wave involve longitudinal wave and transverse wave. First wave received by transducers is longitudinal wave (compression wave or P-wave), received wave then converted to an electrical signal. Electric timing circuit device allow the transit time T of the pulsed wave to be measured.

Longitudinal wave pulse velocity in (m/s) is given by:

$$\nu = \frac{L}{T} \qquad 3.1$$

Where;

ν: is the longitudinal wave pulse velocity, L: is the path length, T: is the time taken by the pulse to traverse that length the wave length is usually generated by piezoelectric crystal shock excitation, also used by receiver.

The follows of measuring the propagation velocity allow finding the elastic constant through the time of transmission of the pulse.

For longitudinal wave:

$$\nu_L = \sqrt{\frac{E(1-\upsilon)}{\rho(1+\upsilon)(1-2\upsilon)}} \qquad 3.2$$

And for transverse wave can be written by this formula:

$$\nu_T = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \qquad 3.3$$

Where:

ν_L, ν_T : are the longitudinal and transverse wave velocities respectively in (m/s).

ρ : The density of the medium in (kg/m^3).

E: Elasticity modulus in (N/m^2).

υ: The Poisson ratio.

The velocity at which a small disturbance will propagate through the medium is called Acoustic Velocity or Speed of Sound, and the relation between velocity, density and elasticity modulus can be summarized by this formula:

$$\nu = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \qquad 2.4$$

Where;

ν: The velocity of sound wave in (m/s).

E, ρ : The modulus of elasticity and density of media respectively in (N/m^2) and (kg/m^3)

3.1.2. Application and Advantage of Ultrasonic Pulse Velocity

Application of UPV pulses of longitudinal vibration passing through the concrete can be explain by following Summarize as for this point of bottom (IS, 1992).

- To found the homogeneity of concrete.
- The check and inspection of voids, cracks and other imperfections from internal of the concrete.
- Changes in the arrangement of the concrete which may happen with time.
- The quality of the concrete in relation to standard requirements.
- The check the quality of one element of concrete in relation to some another elements.
- To measurement the value of dynamic elastic modulus of the concrete.

3.1.3. Transducers Locations

There are three possible ways that the transducers can be configured, such as shown in figure 3.2. These are following (BS, 2009).

1. Direct transmission, 2.Semi-direct transmission and 3.indirect transmission and are describe below:

The direct transmission method is shown in Figure 3.2. Ultrasonic pulse velocity with direct transmission method is the most reliable because the maximum energy of the pulse is transmitted and received with this arrangement.

Semi-direct transmission method is shown in figure 3.2.This method also can be used successfully; however the transducers should not be kept too far apart from each other so that the transmitted pulse is not attenuated. This method should not be used in regions with high concentrations of reinforcing steel.

Locating the both transducers to the concrete element can be done in three configures, as shown in figure 3.2. T_x, R_x respectively, the transmitting transducer and receiving transducer.

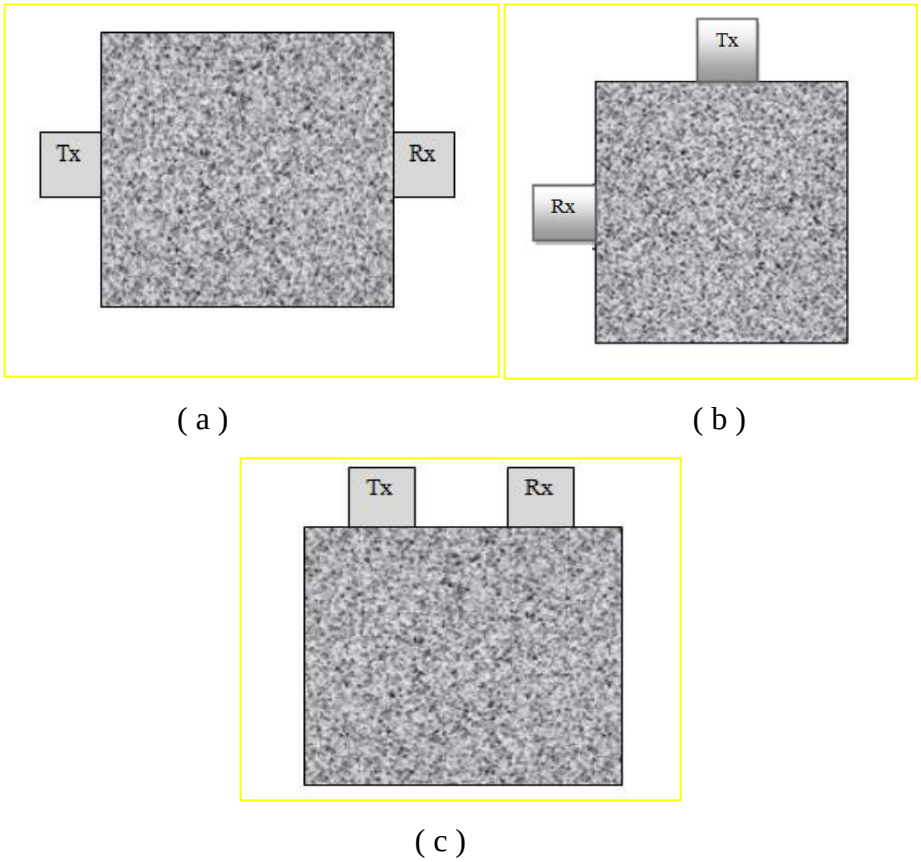


Figure 3.2. Various locations of transducers placement, a) direct, b) semi-direct, c) in-direct. (Neville and Brooks, 2010).

3.2. Theory of Wave Propagation through Concrete

There are three fundamentals of stress waves generated by an impulse applied to a solid media and concrete. These waves are called longitudinal (compression) waves, transverse (shears) waves and Rayleigh (surface) waves. These stress waves travel from side to side in an elastic medium approximately with similar mode. Longitudinal waves travel the fastest, followed by transverse waves and Rayleigh waves. Compression waves progressing in direction of travel are the longitudinal waves and they have highest velocity in comparison to other waves. In addition shear or transverse wave faster than the surface or Rayleigh waves the motion of the wave affected by density and the elasticity properties of continues domain. By knowing the density of material and velocity progressing wave, elastic properties of the material can be approximated. For a continues homogeneous, isotropic and elastic domain, the following formula for the velocity of longitudinal wave can be expressed as following: (Bungey and Millard, 1995)

$$\nu = \sqrt{\frac{K.E_d}{\square}} \qquad 3.5$$

And K can be established by bellow formula:

$$K = \frac{(1-\upsilon)}{(1+\upsilon)(1-2\upsilon)} \qquad 3.6$$

Where:

ν: Compression wave velocity (km/s)

E_d: Dynamic elasticity modulus (kN/mm^2)

$\square$: Medium density (g/cm^3).

υ : Dynamic Poisson ratio.

3.2.1. Energy Transmission

When both transducers (T_x and R_x)contact to materials the amount of the energy of sound wave, the input signal is spread into the concrete and not picked up by the receiver transducer; another part of sound wave energy is converted to the another form

Demirboga, et al. (2004) investigated the relationship between CS and UPV by using the High Volume mineral admixture in replacement of PC. Both CS and UPV were determined at age 3, 7, 28, and 120 day curing period. Both CS and UPV were most little for every replacement levels at an early age of curing period. However, with the increase of curing period, both CS and UPV of each concrete samples increased.

Ali, (2008). Studied on the relationship between CS and direct DUPV for normal concrete, with different W/C, density and age. He has founded that the UPV value increases exponentially with increasing CS, such as shown in figure 3.6.

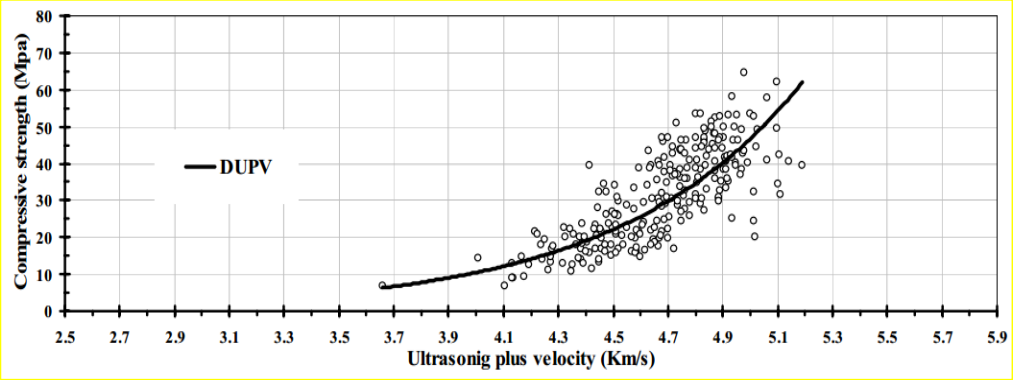


Figure 3.6. Relationship between CS and UPV (Ali, 2008).

Al_Nu'man et al. (2015) established that the relationship between UPV and CS for various concrete type and with a varied cube CS from 18 - 55 MPa. The all of the concrete cube specimens were produced in steel cube moulds at size of 150 mm. After removing the moulds, concrete cubes were cured in normal water (20 °C), and then tested the cube specimens at ages of 28 days. It is founded the relation between CS and UPV is directly proportional such as shown in figure 3.7.

of energy such as heat energy. The more rigid the materials, the larger the transmitted energy. The energy of ultrasonic wave signals is not sufficiently strong to travel in fresh concrete. The energy transmission from the ultrasonic signals cannot be used as a characterizing property in the early hour's age of concrete (Reinhardt and Grosse, 1996).

3.2.2. Ultrasonic Waves Attenuation

When an ultrasonic wave is travelling through a medium, the amplitude of the wave propagation of ultrasonic wave is decreased; this phenomenon is called attenuation (Santamarina andFratta, 1998).

The attenuation of ultrasound wave depends on the internal properties of the medium. The reasons are:

- Absorption, it occurs in each state of matter (solid, liquid and gas). And is caused by the intrinsic friction of the medium leading to exchange of the mechanical energy into thermal energy.

- Refraction, reflection, dispersion and diffraction of the wave; this type of wave attenuation is characteristic particularly for heterogeneous media such as concrete and metal poly-crystals.

For a majority of solids, the energy losses related to the absorption are proportional to the ultrasound wave frequency, so that the attenuation of longitudinal waves is greater than the attenuation of transverse waves. In non-homogenous materials, the energy losses caused by dispersion of the ultrasonic wave are more significant (Garbacz and Garboczi,2003).

Damaged concrete samples show larger amounts of attenuation than undamaged concrete samples due to diffraction and scattering of the propagating longitudinal wave. The damage of concrete can reportedly be characterised by measuring wave attenuation (Aggelis and Shiotani, 2007) and (Suaris and Fernando1987).

3.3. Relationship between Ultrasonic Pulse Velocity and Compressive Strength

The technique of UPV methods has been employed successfully to assess the quality of concrete for more than 60 years ago. In the year 1951, Whitehurst has measured the UPV through the length of the specimen prior to tests of strength. The specimen has tested in flexure by center point loading on an 18-in. span and the two beam ends have finally tested in compression as modified 6-in cubes. When the results of all tests have been combined, he could not found an utilizable correlation between CS and UPV as shown in figure 3.3.

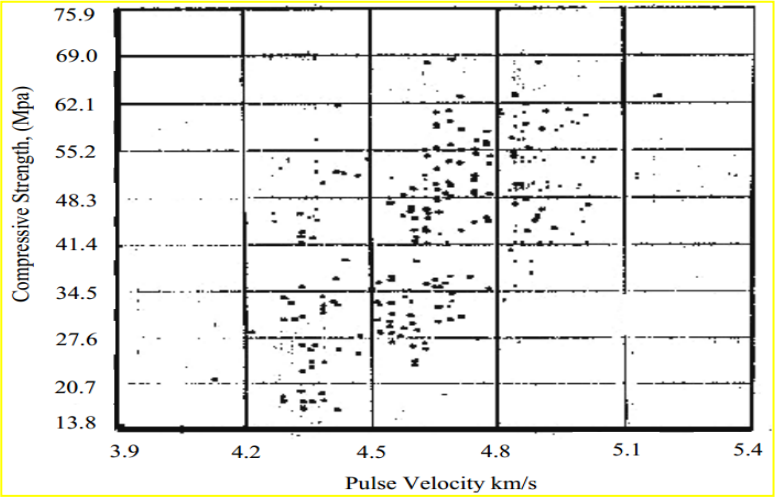


Figure 3.3. Relationship between CS and UPV concrete specimens from a wide variety mix. (Whitehurst, 1951)

Keating et al., 1989 was reported that the correlation between ultrasonic longitudinal direct pulse velocity (DUPV) and cube specimens for slurry cement in the first day of age, for specimen cured in normal water (20° C), it is noted that the relation change in the UPV in the first few hours is higher than the observed rate of CS increase. However, a general correlation between DUPV and CS can be inferred.

The relationship, however is not unique, but rather depends particularly on the combine properties of concrete, type of cement and type of aggregate used in concrete mixture (Neville, 1996; Trtnik et al 2009). So, the UPV may be used to assess the CS as long as a calibration curve exists for each evaluated material (Mandandoust et al, 2010). Galan (1967) reported a weakening analysis to view the CS of concrete based on acoustic characteristics such as UPV and the damping constant.

Rajagopalan et al. (1973) reported a relationship between the UPV and CS of concrete for a different concrete mixture. These particular study obtainable simultaneous measurements of UPV and CS made with 150mm cubes at different ages from 1-28 days, indicating a linear relationship between CS and UPV.

Tharmaratram and Tan (1990) provided an empirical formula of the combined UPV and ultrasonic pulse amplitude. The equation most commonly used is (Trtnik et al. 2009):

S = a.exp (b.Vp).

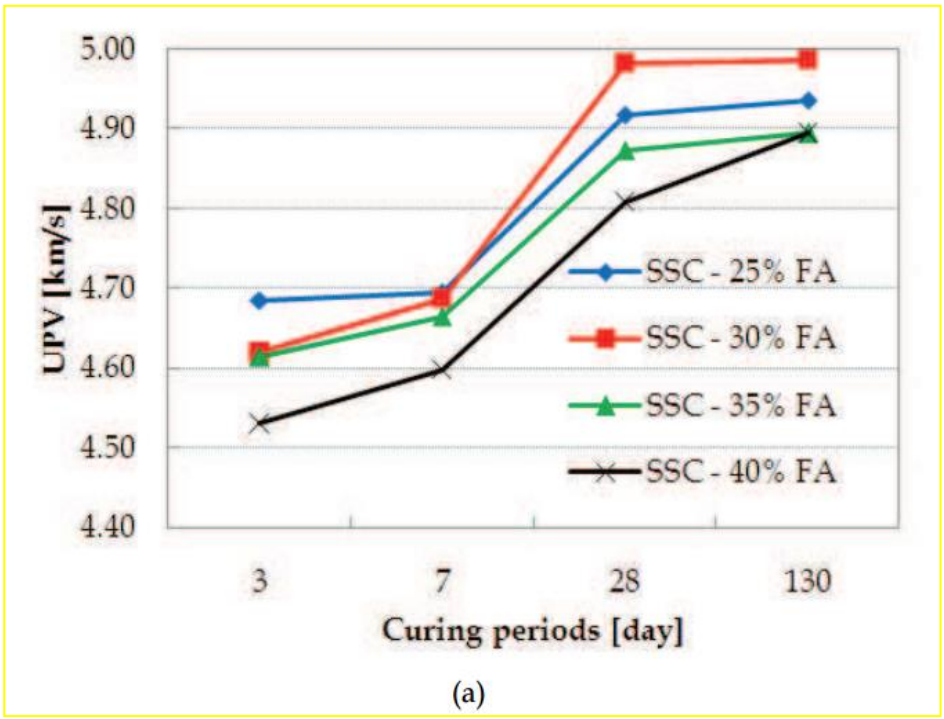
Where; a and b are empirical parameters determined by the least squares method. Table 3.2. Represents the some relationships between CS of concrete Sand and the UPV of longitudinal (compression) waves Vp, together with the coefficients of determinationR^2.

Table 3.2. Equations of relationship between CS and UPV (Trtnik et al, 2009).

Equations	R^2	Researchers
$S=1.146\ e^{0.77Vp}$	0.80	Turgut (2004)
$S=1.19\ e^{0.715Vp}$	0.59	Nash'nt et al. (2005)
$S=1.2\times10^{-5}(Vp\times10^{3})^{1.7447}$	0.41	Kheder (1999)

It can be shown from Table 3.2. that they R^2 are recorded little, because the mix proportion of concrete or concrete composition was not taken into account or, in other terms, various concrete compositions were compared at a time.

Ulucan et al. (2008) work on effect of both silica Fume (SF) and Fly Ash (FA) as mineral-admixtures replacing Portland cement (PC) in Self-Compacting Concrete (SCC). Figure 3.4.a. shows the UPV values decreased with increasing rate of FA replacement of PC in SCCs only at 3 and 7 days. The ultrasound velocity SCCs containing FA were higher than those of SSCs with SF replacement, for each amount of replacement for each different curing times figure 3.4.b. indicating the filling and storage capacity of FA seeds. UPV changes exponentially with CS for SCCs type, containing both FA and SF (Figure (3.5). however, the rate of each pozzolanic material were constant, but each level of replacement of PC in SCCs were unlike.



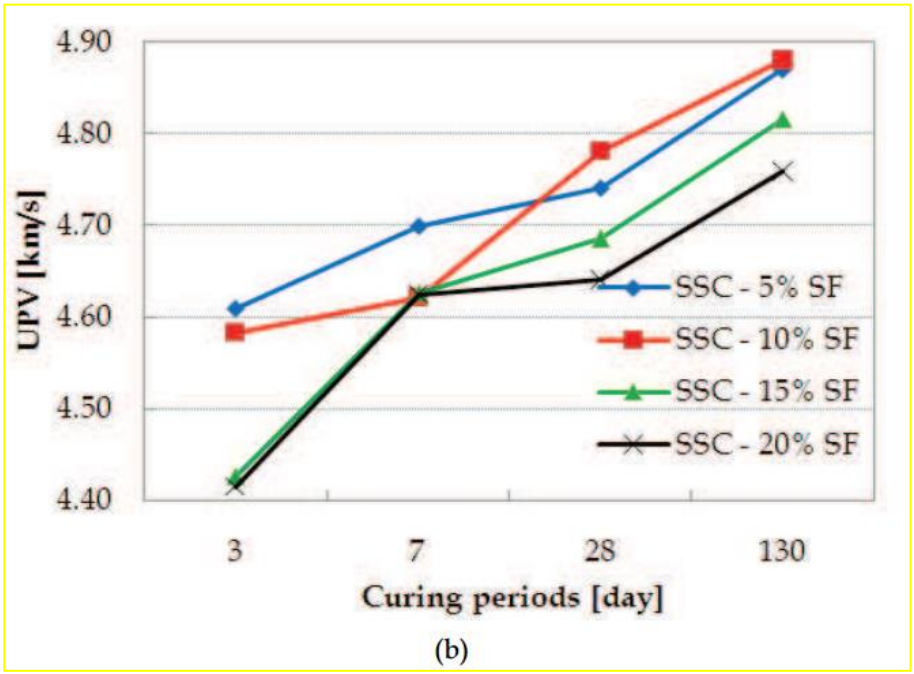
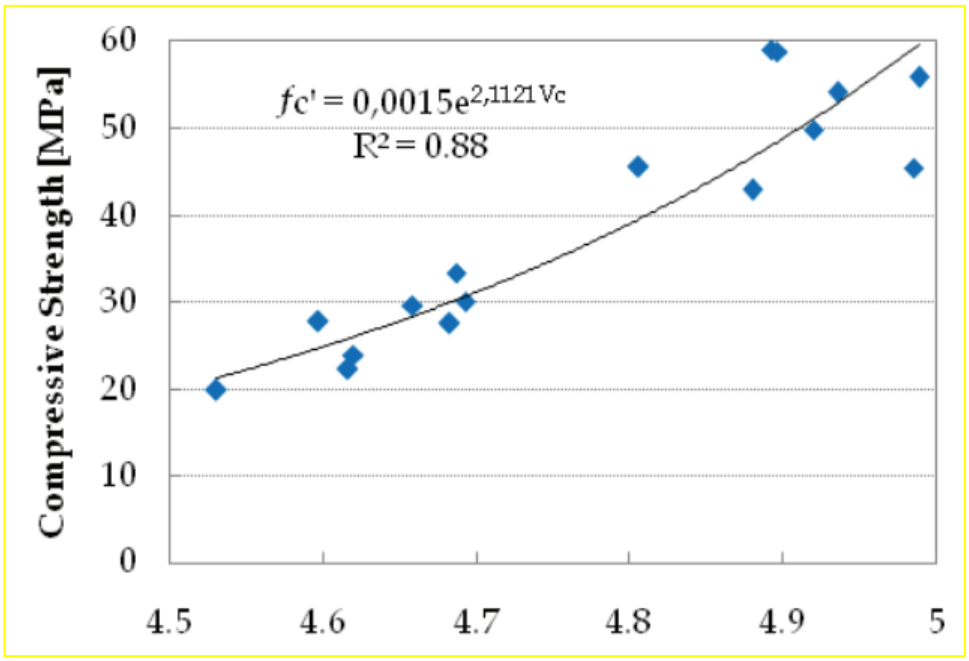
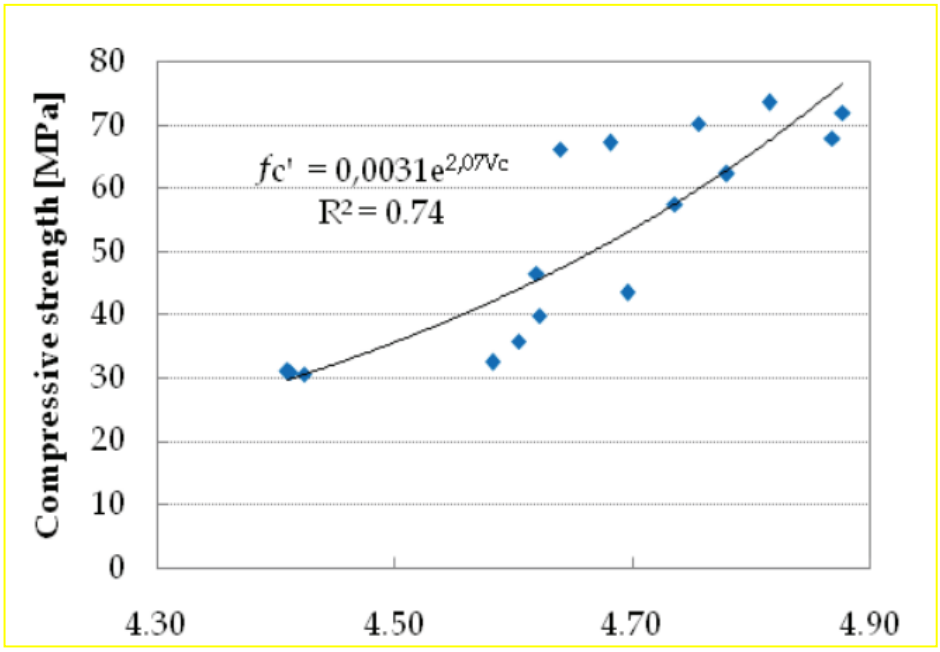


Figure 3.4. UPV changes for SCC with FA (a) and SF (b) for different curing periods, (Ulucan et al., 2008).

.



(a)



(b)

Figure 3.5. Relationship between CS and UPV for SCC with a) FA and b) SF (Ulucan et al., 2008).

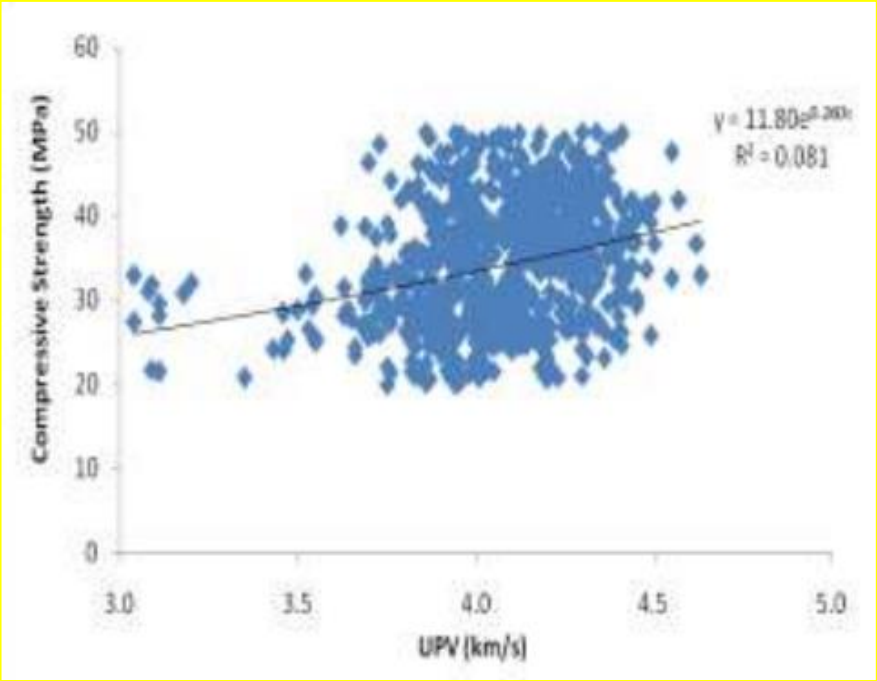


Figure 3.7. The relationship between CS and UPV Al_Nu'man et al, (2015).

4. EXPERIMENTAL PROGRAM

4.1. Introduction

Details of the all tests will be provided in this chapter. Two types of tests were carried out during the experimental work. The first test is non-destructive UPV and the second one is destructive compressive strength test. All the specimens used in these tests were provided from concrete of Çağdaş Apartment, Retrofitting work project. Çağdaş Apartment Figure 4.1. Is located at Dicle Kent district in Kayapinar/Diyarbakir. The Google earth view of the building is given in Figure 4.2.

Due to sudden damage of some columns of this apartment as seen in Fig.4.3. the building safety has been evaluated. As result the building has been found to be deficient. Because of this reason they decided to retrofit the building. During the work of retrofitting we get chance to take enough specimens for our experimental work.



Figure.4.1. Çağdaş Apartment.



Figure 4.2. Google Earth view of the Çağdaş Apartment.



Figure 4.3. One of the columns of Çağdaş Apartment that failure.

4.1.1. Specimens

To represent concrete used in the construction 150x150x150 mm cube specimens were used in Figure 4.4. Each group of specimens are from different concrete work for different stories. Totally 20 cube specimens with 150x150x150 mm dimensions were produced. Each specimen's removed from formwork after 1 day and cured in water for 27 days. All the specimens tested after at least 28 days.



Figure 4.4. Concrete Cube specimens after takeout in the moulds.

4.1.2. 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
Chemical Additive	3

*All units are in kg.

4.1.3. Producing Specimens

- Putting moulds on a plain surface.
- Clean and fresh the moulds from each small tiny and object.
- Apply oil around and bottom.
- Putting a piece of paper on that narrow hole which is on the bottom of the moulds.
- Fill up the concrete in the moulds in layers just about 50mm thick, dense each layer by giving 35 strikes of tamping bar.
- Level the top surface and smoothen it with a trowel.

4.2. Curing Process

There are many ways for curing of concrete. In this work the water curing method was used. After producing the concrete cube specimens from Çağdaş Apartment. Specimens were cured in Structural Engineering and Material lab, Faculty of Engineering of Dicle University as seen in figure 4.5.

The concrete cubes samples are waited in clammy water for 28 days and after curing process the samples are sealed and separated from their moulds and held immersed in clean water until being removed before testing.



Figure 4.5. Water Curing process of one group of cube specimens in normal water.

4.3. Ultrasonic Pulse Velocity Tester

Portable ultrasonic non-destructive digital indicating test (PUNDIT) is used for this study, Consists of the two transducers, one as transmitter (Tx) and other one as receiver (Rx) are used, to send and receive 55 KHz of intensity of frequency, as shown in figure 4.6. The equipment for UPV measurement involves the following parts:

- Electrical pulse generator
- Transducer two pair they are; transmitter and receiver transducers, T_x, T_R respectively.
- Amplifier
- Electronic timing device



Figure 4.6. Ultrasonic Testing Device (posso) used in this experiment.

Due to the low frequency transducers being more sensitive to analyze noise inside the materials, they are more preferable for short path lengths. In the other words due to the high frequency transducers being more sensitive to analyze noise inside the materials, they are more preferable at long path lengths. Since ultrasound gel (couplant) such as oil, grease and petroleum jelly will be applied on the surface of T_X and R_X or on the surface of cube specimens. The velocity of ultrasonic wave can be obtained by measuring the time passing of the sound wave through material by replacing test material between the transducers (transmitter and receiver), (IS, 1992).

4.4. Procedure to Determine Ultrasonic Pulse Velocity

According to international standards to apply the UT technique to determine the UPV of concrete is due to the following options (IS, 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 (Tx and Rx) respectively.
- The voltmeter may be operated with also:
- The internal battery,
- An external battery or
- The alternating Current (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 seven 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 of transducers or test surface, or both. And press it hard onto the surface of the material or concrete cube specimens. To prevent generation of noise signals and errors during receiving data or readings from time measurement device, we have been so attentive to hold the transducers in a stable position and face to face direction (faces of transducers must be in the same direction and opposite to each other). Until obtaining a logical reading or data on the display of time device, we must hold the transducers on the surface of the material in the same direction (face to face position) and stable position.
- After finding the time measured by UT device (posso), and finding the mean value of time in microsecond. Then by dividing the path length of specimen over time measured by UT device can be calculating UPV of concrete of cube specimens. We can write the equation as:

$$\nu = \frac{L}{T} \qquad 4.1$$

Where;

ν : Ultrasonic pulse velocity through concrete in (km/s).

L : Path length of the specimen in (mm).

T : Time traveled through concrete in (μs).



Figure 4.7. Setting the reference bar on the 51μs.

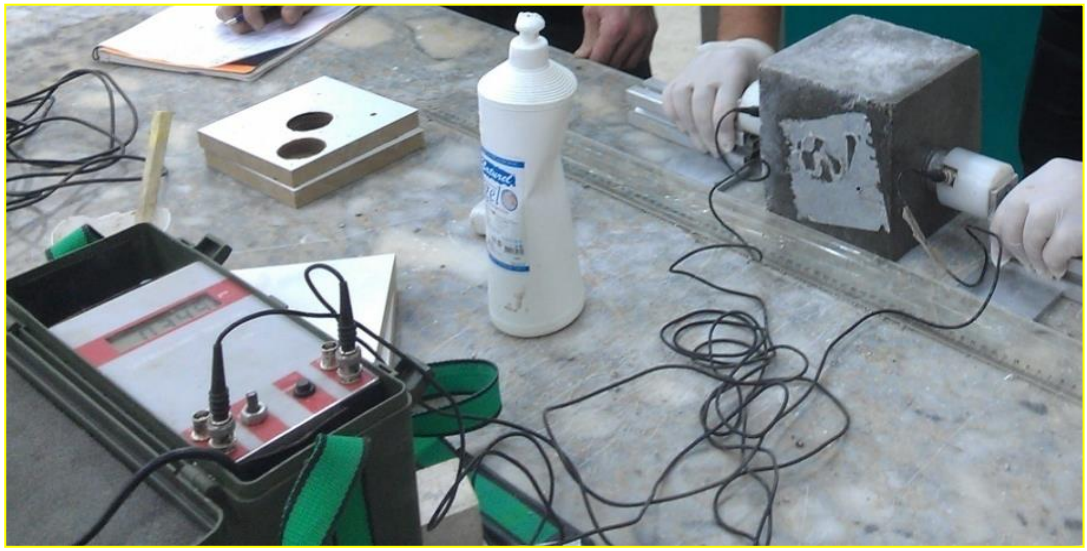


Figure 4.8. One of the cube specimens Under UPV test.

4.5. Compression Strength Test Methods

Testing machine produced by “ARSANLAR” firm was used for compressive strength testing. This machine has 300 tons compression capacities.



Figure 4.9. Compressive strength machine that used in this study.

- Take out the concrete cube specimens from water after specified water curing period and UPV test, Clean and fresh out excess water from the surface.
- Fresh and clean the bearing surface of the compression testing machine.
- Put the specimen in the compression machine in such a way that the load shall be applied to the reverse sides of the cube specimens cast.
- Align or bring into line the specimen centrally on the base plate of the machine.
- Turn the movable portion gently by hand, until the sample is tight and constant under the machine.
- Apply the load range is 0.45-2.25 ton/s



Figure 4.10. Selecting machine range and application load on the one of the specimens. According (TS, 2003).

- Record the maximum load fails of a specimen in (tons), for our machine put the load on the sample with ton measurement, through the equation 4.2. In changing to MPa.

To calculate CS of cube specimens after maximum load applied, using the follow formula:

$$\sigma = \frac{F}{A} \qquad 4.2$$

Where;

σ: Compressive strength, F: the maximum load applied in (N), and A: is the Area of specimen in (mm^2), (I9, 2016).

5. RESULT AND DISCUSSION

5.1. Experimental Results

Experimental results are summarized in Table 5.1. In this table density, age of concrete, Compression test result and UPV results are given. Specimen names refer to the where concrete is used. For example in CBK-1, C means Çağdaş, B means basement, K means cube, 1 mean number sample.

Table 5.1. The Experimental Results.

No.	Specimens Names	W/C	Specimens Length (mm)	Water Curing Period (Day)	Age (Day)	Density(g/cm^3)	UPV(km/s)	CS (MPa)
1	ÇBK-1	0.5	150	28	121	2.33	4.16	53.36
2	ÇBK-2	0.5	150	28	121	2.35	4.27	56.46
3	ÇBK-3	0.5	150	28	121	2.34	4.26	53.85
4	ÇBK-4	0.5	150	28	121	2.34	4.20	54.00
5	ÇZK-1	0.5	150	28	108	2.30	4.32	44.04
6	ÇZK-2	0.5	150	28	108	2.21	4.13	43.70
7	ÇZK-3	0.5	150	28	108	2.23	4.05	43.71
8	ÇZK-4	0.5	150	28	108	2.27	4.08	41.00
9	Ç2K-1	0.5	150	28	90	2.27	4.23	39.24
10	Ç2K-2	0.5	150	28	90	2.29	4.21	37.06
11	C2K-3	0.5	150	28	90	2.23	4.20	36.63
12	Ç2K-4	0.5	150	28	90	2.29	4.23	41.68
13	ÇAK-1	0.5	150	28	66	2.20	3.85	30.63
14	ÇAK-2	0.5	150	28	66	2.23	3.87	29.21
1	ÇAK-3	0.5	150	28	66	2.20	3.90	33.36
16	ÇAK-4	0.5	150	28	66	2.22	3.93	32.76
17	ÇO4K-1	0.5	150	28	41	2.20	3.95	34.34
18	ÇO4K-2	0.5	150	28	41	2.21	4.06	33.35
19	ÇO4K-3	0.5	150	28	41	2.22	4.07	33.68
20	ÇO4K-4	0.5	150	28	41	2.22	4.13	37.61

Table 5.2. The average value experimental result for five Groups.

Average 5 Groups	Average Value of Experiment Results			
	Age (day)	Density (g/cm^3)	UPV (km/s)	CS (MPa)
CBK	121	2.34	4.22	54.42
CZK	108	2.25	4.15	43.11
C2K	90	2.27	4.22	38.65
CO4K	66	2.22	4.05	34.75
CAK	41	2.21	3.89	31.49

5.2. Discussion

As seen in Table 5.1. We have used five different groups of concrete cube specimens in which each group represent different concrete work for different stories. Age of all the specimens are changed between 41-121 days with no change in rate of W/C that which is 0.5. For all the specimens UPV has changed between 3.5 - 4.5 km/s. This concrete used in the retrofitting work of Çağdaş Apartment, Are in good quality according to (IS, 1992). Since this concrete is for retrofitting the quality must be good. Compressive strength is changed between 29-57 MPa. We know that UPV increased with compressive strength. It has been clear also seen that CS has changed in the same positive direction with increasing of UPV, and the same thing with age and density. And for each group or for each age, we have shown that the relation between CS and UPV is a directly proportional. And the experimental results showing that though the UPV and the CS of concrete are connected, but no unique relationship can be founded to cover all concrete specimens.

Construction of Models to Predict Compressive Strength from UPV

By using experimental data some models was developed to predict the compressive strength from UPV. We have five groups of specimens and each group have four specimens. We study each group separately and model developed for each group.

In the group CBK which the age 121 days and density are greater than all the other groups though UPV and CS is more, that is why the relation between CS and UPV changes in the same direction as can be seen in Table 5.1.The relation between UPV and CS is shown in Figure 5.1. In this figure the equation CS = $12.82e^{0.342UPV}$ are given and R^2 be is calculated to be 0.493. All the calculation was carried out by using excel. So we developed our first equation.

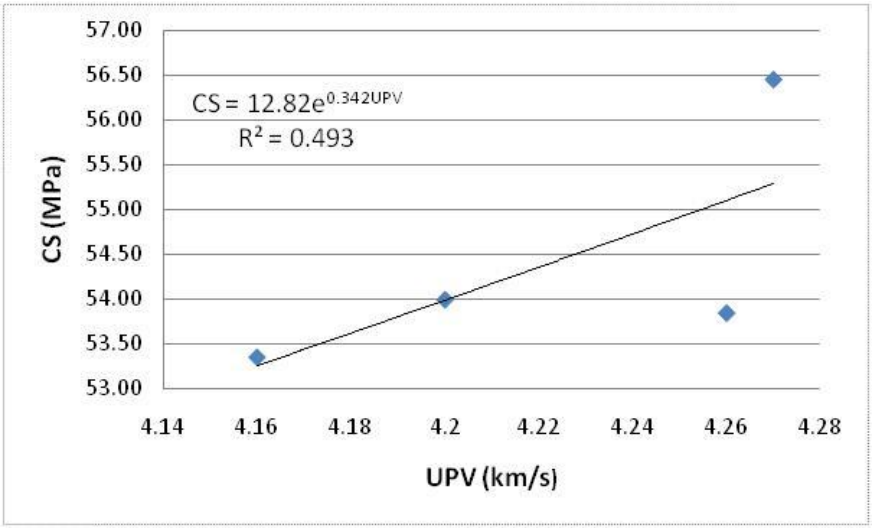


Figure 5.1. Relationship between CS and UPV for group CBK

In the 2nd group CZK in which their age and density are less than the ones of CBK. For this reason CS and UPV is decreased. The age of these specimens is 108 days. As it can be clearly in Figure 5.2. The relation between CS and UPV is a directly proportional relation and they change in the same direction. Our second equation is CS = $25.78\ e^{0.123UPV}$ and R^2.

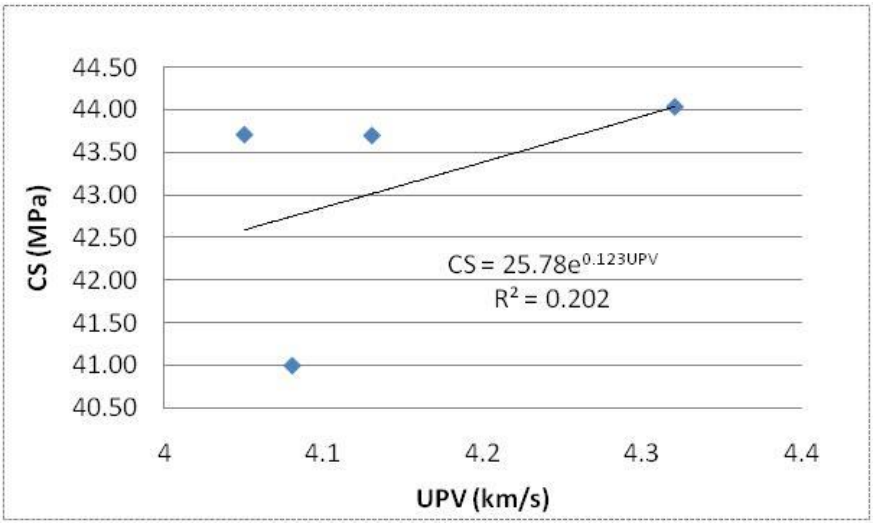


Figure 5.2. Relationship between CS and UPV for group CZK.

In the 3rd group C2K group also which their ages and densities are less than the group one and two. So the grade of CS and UPV are smaller. However, the relation between them remains directly proportional, Such as shown in figure 5.3. As seen R^2 is a better then former equation. The equation and R^2 are CS=137.0UPV- 539.4 and R^2 is 0.785 respectively.

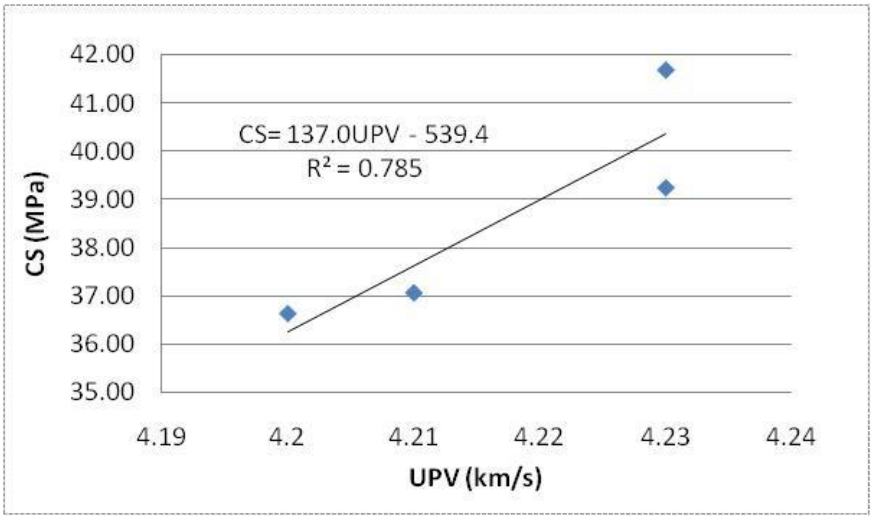


Figure 5.3. Relation between CS and UPV for C2K group.

And finally the similar process were applied for the 4thand 5thgroups which are CAK and CO4K, respectively. Their ages are less former groups one, two and three. That is why CS and UPV are decreased. But the direct relationship is not changed for

CS and UPV relationship, such as shown in figure 5.4. And figure 5.5. The equations and correlations for groups CAK and CO4K are following: $CS = 0.205\ e^{1.293UPV}$ and R^2= 0.545, CS =$7.302e^{0.382UPV}$ and R^2= 0.275, respectively.

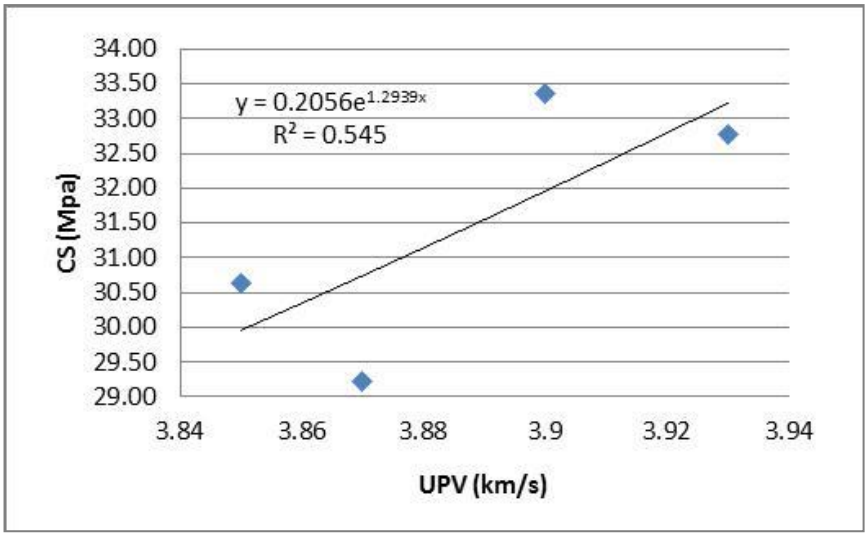


Figure 5.4. Relation between CS and UPV for group CAK.

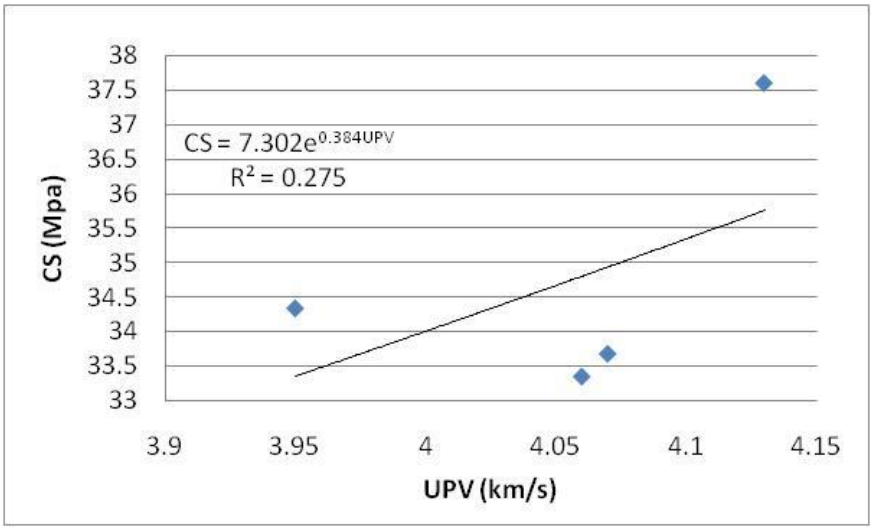


Figure 5.5. Relation between CS and UPV for group CO4K.

After these five groups another equation was developed by using mean values of each group from these five groups. This relation is given Figure 5.6. Each point of this figure represents mean values of each group for CS and UPV. The equation is CS= 0.272 $e^{1.213UPV}$ and R^2 is equal 0.660.

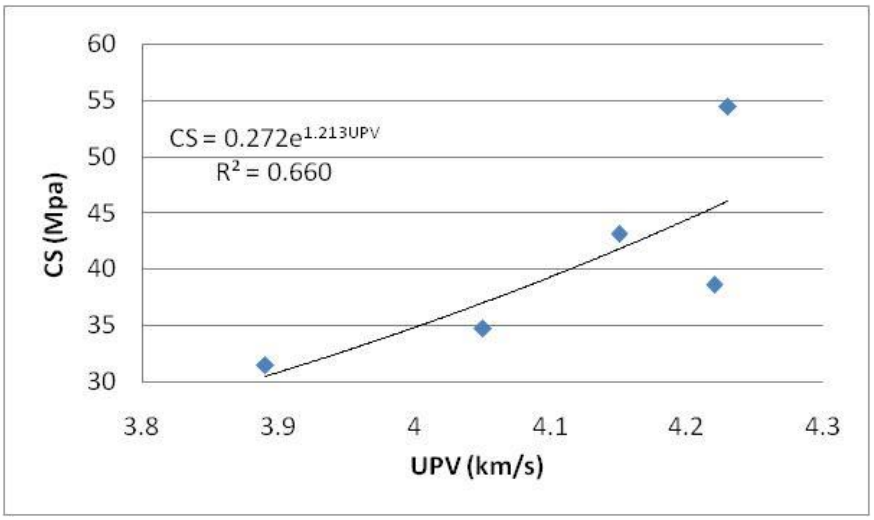


Figure 5.6. Relationship between CS and UPV for mean five groups.

Another important equation is developed with the majority of all of the data. The age of these data are changed between 41 to 90 days. The relation between CS and UPV are directly proportional. Our seventh equation and R^2 are; CS= $4.816e^{0.487UPV}$ and R^2= 0.799, respectively.

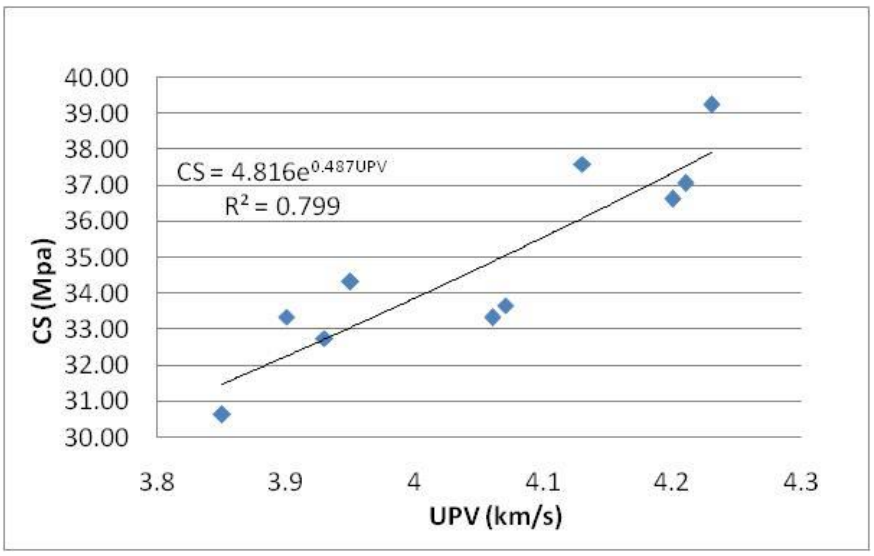


Figure 5.7. Relationship between CS and UPV for age 41-90 days.

In this study, we developed totally seven equations. All these equations are given together in Table 5.3. The age of each data group used to develop the respected equation is also given in the table.

Performance Evaluation of Current Model

The results of the current model were compared with our experimental data by six another development models, as presented in Table 5.4. Another one the current model compared with seven literature model by the experimental data as presented table 5.7. And we checking the current model from 245 standard cube specimens from different researches as presented in table1.from Appendix section. And calculating the prediction compressive strength, the current model clearly gets the better arrangement predicted compressive strength compared with seven literature models. 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 (A), and scatter diagram. When the average is the ratio predicted results to experimental (actual) to results. Here, for the best model, the RMSE value should be the record the lowest value, the RE should have the smallest percentage and the average of ratio of predicted to experimental results should be the nearest to one. To finding these standard deviations using the following formula:

For Average value:

$$\text{Average} = X/Xi \qquad 5.1$$

Where:

X, Xi : The predicted and actual value respectively.

To finding the relative error using the follow formula:

$$\text{RE} = \frac{(Xi - X)}{Xi} \qquad 5.2$$

Where;

RE: Relative Error.

Xi, X : The actual and predicted value respectively.

And to find the root mean square error using the bellow formula:

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{\text{N}}\sum_{\text{i=1}}^{\text{n}}(\text{Xi-X})^2} \qquad 5.3$$

Where;

RMSE: Root-Mean Square Error.

Xi, X : The actual and predicted value respectively.

All of the experimental data was predicted by use of our seven equations. After then performance of these equations were checked with different statistical evaluation parameters. These parameters are relative error (RE), average and root mean square error (RMSE).

Table 5.3. The equations development in this study.

Equations	Age (day)	R^2	Models
Eq. 1	41-90	0.799	$CS=4.816e^{0.487UPV}$
Eq. 2	41-121	0.660	$CS=0.272e^{1.213UPV}$
Eq. 3	121	0.493	$CS=12.82e^{0.342UPV}$
Eq. 4	108	0.202	$CS=25.78e^{0.123UPV}$
Eq. 5	90	0.785	$CS=137.0UPV-539.4$
Eq. 6	66	0.545	$CS=0.205e^{1.293UPV}$
Eq. 7	41	0.275	$CS=7.302e^{0.384UPV}$

Table 5.4. The prediction CS measured from development equation of this study.

specimens	UPV(Km/s)	CS (MPa)	Acco. Equ. 1	Acco. Equ. 2	Acco. Equ. 3	Acco. Equ. 4	Acco. Equ. 5	Acco. Equ. 6	Acco. Equ. 7
ÇBK-1	4.16	53.36	36.52	42.27	53.18	43.00	30.52	44.44	36.07
ÇBK-2	4.27	56.46	38.53	48.31	55.22	43.59	45.59	51.23	37.63
ÇBK-3	4.26	53.85	38.34	47.72	55.03	43.54	44.22	50.57	37.49
ÇBK-4	4.2	54.00	37.24	44.37	53.91	43.22	36.00	46.80	36.63
ÇZK-1	4.32	44.04	39.48	51.33	56.17	43.86	52.44	54.65	38.36
ÇZK-2	4.13	43.70	35.99	40.76	52.64	42.85	26.41	42.75	35.66
ÇZK-3	4.05	43.71	34.62	36.99	51.22	42.43	15.45	38.55	34.58
ÇZK-4	4.08	41.00	35.12	38.36	51.75	42.58	19.56	40.07	34.98
ÇAK-1	3.85	30.63	31.40	29.02	47.83	41.39	-	29.76	32.03
ÇAK-2	3.87	29.21	31.71	29.74	48.16	41.50	-	30.54	32.27
ÇAK-3	3.9	33.36	32.18	30.84	48.66	41.65	-	31.75	32.65
ÇAK-4	3.93	32.76	32.65	31.98	49.16	41.80	-	33.01	33.03
Ç2K-1	4.23	39.24	37.79	46.02	54.47	43.38	40.11	48.65	37.06
Ç2K-2	4.21	37.06	37.42	44.92	54.10	43.27	37.37	47.41	36.77
C2K-3	4.2	36.63	37.24	44.37	53.91	43.22	36.00	46.80	36.63
Ç2K-4	4.23	41.68	37.79	46.02	54.47	43.38	40.11	48.65	37.06
ÇO4K-1	3.95	34.34	32.97	32.77	49.50	41.91	1.75	33.87	33.28
ÇO4K-2	4.06	33.35	34.78	37.44	51.39	42.48	16.82	39.05	34.72
ÇO4K-3	4.07	33.68	34.95	37.90	51.57	42.53	18.19	39.56	34.85
CO4K-4	4.13	37.61	35.99	40.76	52.64	42.85	26.41	42.75	35.66

* The empty cells indicate that, it has Unsuitable compressive strength.

Table 5.5. The performance of the developed models in this work.

Models	Average (A)	Relative Error (RE)	Root-Mean Square (RMSE)
Eq. 1	0.905	0.004	0.129
Eq. 2	1.004	0.010	0.389
Eq. 3	1.331	0.291	11.767
Eq. 4	1.093	0.055	2.236
Eq. 5	0.563	0.432	17.498
Eq. 6	1.052	0.039	1.562
Eq. 7	0.900	0.126	2.261

The performance of the developed models can be clearly seen in Table 5.5. Eq. 1 one is found to be the best model according to the statistical evaluation parameters given in Table 5.5.

Performance of Our Best Model (Eq. 1) By Comparing the Models from Existing Literature

For performance check totally seven equations was used. One of the equations is from a standard and the others are from different researchers. All the equations from literature is given in Table 5.6. Predictions of compressive strength from UPV by using equation from literature are given in Table 5.7. Prediction performance of all of the models is given in Table 5.8. As seen in this table Average, RE and RMSE are smallest our developed model. So, we can clearly conclude that our developed model is the best in prediction of our experimental data.

Table 5.6. All the equations Collected from literature.

NO.	Researchers	Equations
1	Rouf (1986)	$C = 2.8e^{0.53V}$
2	Rouf et al, (1986)	$C = 2.016e^{0.61V}$
3	Turgut (2004)[A]	$S = 1.146e^{0.77Vp}$
4	Turgut (2004)[B]	$Slab = 0.3161e^{1.03Vn}$
5	Nashn't et al, (2005)	$S = 1.19e^{0.715Vp}$
6	Kheder (1999)	$S = 1.2\times10^{-5}\,(Vp\times10^{3}\,)^{1.7447}$
7	TS 13791(2010)	$f_v = 62.5 \times v^2 - 497.5 \times v + 990$

*Each of C, S, Slab, CS, and f_v indicates the compressive strength of concrete.

*For TURK STANDARDI it is valid for $4.0 \leq v \leq 4.8$.

* Kheder (1999) exclusive for dry concrete.

**Vn, Vp, and V* indicates UPV of concrete.

Table 5.7. The prediction compressive strength by the equation of literature.

Name of Specimens	UPV (km/s)	Actual CS (MPa)	Rouf, (1986)	Rouf et al, (1986)	Turgut ,(2004)[A]	Turgut, (2004)[B]	Nashn't et al, (2005)	Kheder (1999)[B]	Eq. 1	TS 13791, (2010)
ÇBK-1	4.16	53.4	25.4	25.5	28.2	22.6	23.3	24.7	36.5	2.0
ÇBK-2	4.27	56.5	26.9	27.3	30.7	25.3	25.2	25.9	38.5	5.2
ÇBK-3	4.26	53.9	26.8	27.1	30.5	25.1	25.0	25.8	38.3	4.9
ÇBK-4	4.20	54.0	25.9	26.1	29.1	23.6	24.0	25.2	37.2	3.0
ÇZK-1	4.32	44.0	27.6	28.1	31.9	26.7	26.1	26.4	39.5	7.0
ÇZK-2	4.13	43.7	25.0	25.0	27.6	21.9	22.8	24.4	36.0	1.4
ÇZK-3	4.05	43.7	24.0	23.9	25.9	20.2	21.5	23.6	34.6	0.3
ÇZK-4	4.08	41.0	24.3	24.3	26.5	20.8	22.0	23.9	35.1	0.6
ÇAK-1	3.85	30.6	21.5	21.1	22.2	16.4	18.8	21.6	31.4	1.0
ÇAK-2	3.87	29.2	21.8	21.4	22.6	16.8	18.9	21.8	31.7	1.0
ÇAK-3	3.90	33.4	22.1	21.8	23.1	17.3	19.4	22.1	32.2	0.4
ÇAK-4	3.93	32.8	22.5	22.2	23.6	17.9	19.8	22.4	32.7	0.1
Ç2K-1	4.23	39.0	26.4	26.6	29.8	24.3	24.5	25.5	37.8	3.9
Ç2K-2	4.21	37.1	26.1	26.3	29.3	23.8	24.2	25.3	37.4	3.3
Ç2K-3	4.20	36.6	25.9	26.1	29.1	23.6	24.0	25.2	37.2	3.0
Ç2K-4	4.23	41.7	26.4	26.6	29.8	24.3	24.5	25.5	37.8	3.9
ÇO4K-1	3.95	34.0	22.7	22.4	24.0	18.2	20.1	22.6	33.0	-
ÇO4K-2	4.06	33.4	24.1	24.0	26.1	20.4	21.7	23.7	34.8	0.4
ÇO4K-3	4.07	33.0	24.2	24.1	26.3	20.6	21.9	23.8	35.0	0.5
CO4K-4	4.13	37.6	25.0	25.0	27.6	21.9	22.8	24.4	36.0	1.4

Table 5.8. The prediction performance of all of the models via implementing our data.

Models	performance of test data		
	Average	Relative Error	RMSE
Eq. 1	0.907	0.117	8.240
Rouf,(1986)	0.629	0.372	17.232
Rouf et al, (1986)	0.628	0.373	17.155
Turgut (2004)[A]	0.689	0.313	14.774
Turgut (2004)[B]	0.544	0.457	19.943
Nashn't et al, (2005)	0.571	0.431	19.200
Kheder (1999)	0.616	0.385	17.811
TS 13791, (2010)	0.053	0.939	41.134

Performance of the Models by Using Data Collected From Literature

In order to see the performance of the constructed models data was collected from literature and performance of the models were checked by using these data. Our data was not used to make an objective comparison of our model. In addition performances of the models were compared with the performance of different models from literatures by using these data.

All data collected from literature is given in a table A. in section appendix. Typical properties of data were summarized in the following section. The range of compressive strength and UPV were given. The names of the researchers were also given in this table. Totally 245 data from 12 different researchers was collected.

To be more sure and for the benefit of this research and the results of the research and our best equation Number one for expecting CS and UPV we chose another way, which we took 245 Data's from different Sources and Researchers , We decided to check our Equation's performance Purely again in 4 different ways which we explained above. That is we put all 245 Data's and for information there is no relation between these Data's and the Equations which we show their Performance and containing ours. Which those Researchers have chosen the same Technique that they have checked CS by UPV and in their Data's UPV and actual CS are shown, Later we have checked predicted CS by our equation 1 which is the best and we have also checked all seven literature equations as Our Equation and all other seven literature equations are shown in the Table number 5.6. after that we have checked each, in an unexpected result, it is realised that our equation number1 predicted CS better than all the 7 literature equations in the best way, it should be said also that the Turgut, (2004), equation comes in 2nd position in this unpredicted result, we also summarised the expecting and the performance for this table as the following and these are the Data's shown in this Table 5.8.

Table 5.9. The prediction performance of all of the model via implementing experimental data from only literture.

Models	Performance of Models		
	Average	ER	RMSE
Eq. 1	1.059	0.130	6.367
Rouf, (1986)	0.745	0.254	11.238
Rouf et al. (1986)	0.775	0.232	10.406
Turgut (2004)[A]	0.908	0.180	8.514
Turgut (2004)[B]	0.830	0.255	11.527
Nashn't et al, (2005)	0.735	0.270	11.795
Kheder (1999)[B]	0.692	0.309	13.557
TS EN 13791 (2010)	0.563	0.480	21.422

*The Number and the Line of Equations has no relation with the well being of Performance.

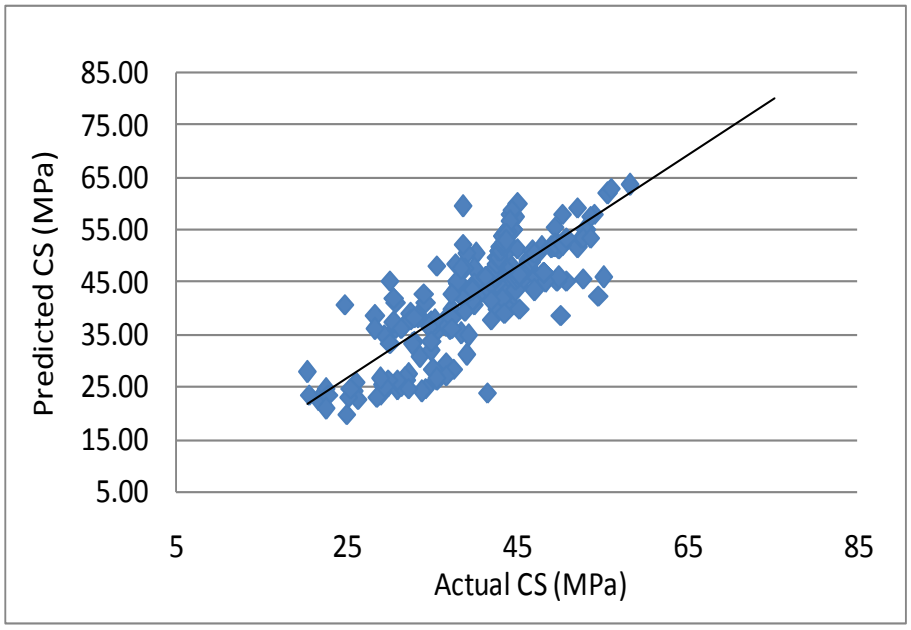


Figure 5.8. Scatter diagram Actual CS versus Predicted CS by Eq.1.

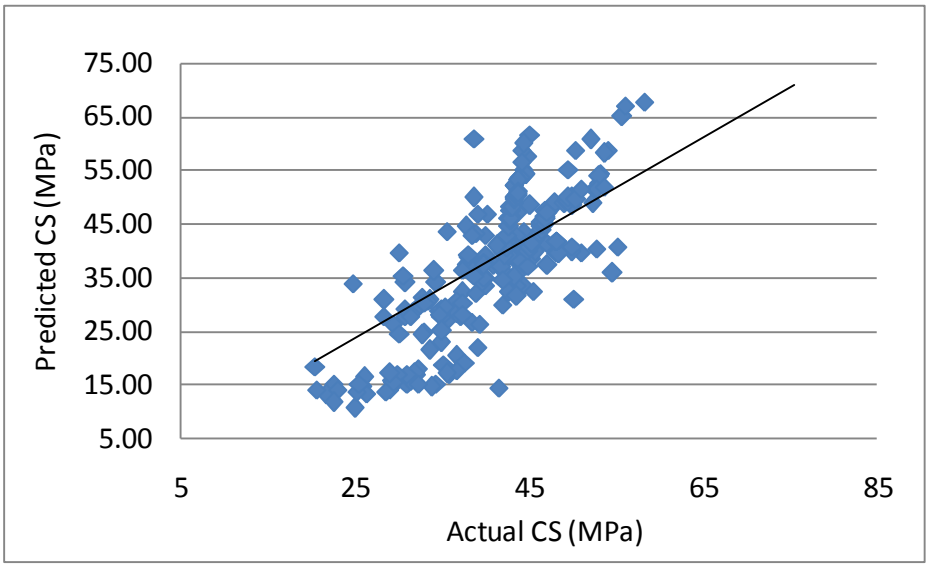


Figure 5.9. Actual CS versus predicted CS (Turgut, 2004) [A].

6. CONCLUSION

This work included experimental, empirical and analytical studies. In the experimental compression and UPV tests were carried out on totally 20 cube specimens with dimension of 150mm. In the empirical and analytical parts a few models were developed to predict the CS of concrete from UPV measurement and performance of the models were check through comparison with different models by using different data from literature.

As results of the theoretical and experimental study we developed model for prediction f'_c of concrete from UPV. The developed equation is,

$$f'_c = 4.816\, e^{0.487UPV}$$

In this equation f'_c is compressive strength in MPa unit and UPV is Ultrasonic pulse velocity in km/s unit. Our equation is valid between 2.5 - 4.9 km/s for UPV. It is valid for 20-60 MPa for compressive strength.

The following suggestions were made for the future work.

- The same work should be carried out for low strength concrete.
- The same work for different concrete types.
- Effect of voids in concrete should be investigated.
- Attenuation of the wave in concrete should also be investigated.
- Should be investigated the effect of density and age of concrete on the relationship between CS and UPV of concrete.

7. REFERENCE

Abdullatif, A.M. 1997. Compatibility of Gypsum Content in Concrete Ingredients. **M.Sc Thesis, University of Baghdad.**

Aggelis, G.D., Shiotani, T. 2007. Experimental study of surface wave propagation In strongly heterogeneous media, J. Acoust. Soc. Am. 122(5) (2007), pp. 151– 157.

Al-Hesnawi, K.A. (2011). Constructing a Mathematical Models to Predict Some Properties of Concrete from Non-Destructive Testing. **M.Sc., Thesis, College of Engineering, University of Babylon.**

Ahmed, S.M. 2013. Effect of the Elevated Temperature on Some Mechanical Properties of Self Compacting Concrete Reinforced by Steel Fiber. **M.Sc., Thesis, College of Engineering, University of Babylon.**

Ali, A.B. 2008. Assessment of concrete compressive strength by Ultrasonic non-destructive testing. A thesis submitted to the **college of engineering of the University of Baghdad.**

Ali, M.A., Al-jaberi, A.L. 2014. Evaluation of Compressive Strength by Non-Destructive Test Using Ultrasonic Pulse Velocity with Maximum Size Aggregate (10 And 20) mm. **Journal of Engineering and Development**, Vol. 18, No.3, May2014, ISSN 1813- 7822.

Al_Nu'man, R.B., Aziz, R.B., Abdullha, A.S., Khaleed, E.S. (2015). Compressive Strength Formula for Concrete using Ultrasonic Pulse Velocity. **International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)** – Volume 26 Number 1- August 2015.

ASTM, 2003. Standard Test Method for Pulse Velocity through Concrete. Des.10, 2002. Published February 2003.originally approved in 1967. Last previous edition approved in 1997 as C 597-97.

Berke, M. 2000. Non-destructive testing with ultrasonic's, **NDT. Net**-September 2000, vol. 5 No. 09.

BS 1881, 1986. Testing concrete: recommendations for measurement of ultrasonic pulses in concrete. Part 203.

BS, 2009. Guidelines on non-destructive testing of bridge. **Indian government, ministry of railways,** BS-103, B&S Directorate research Designs and Standards Organisationlucknow-226011.

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

Bungey, J.H, and Millard, S.G. 1995. Testing of concrete in structure, ch3 ultrasonic pulse velocity methods, print ISBN 978-0-203-48783-9.

Corneloup, G., and Garnier, V. 1995. Etude d'une méthode ultrasonore adaptée à la mesure de l'endommagement des bétons: étude bibliographique ET analyse des solutions, Contrat IUT-EDF.

Demirboga, R., Türkmen, I., and Karakoc, M.B. 2004. Relationship between ultrasonic velocity and compressive strength for high-volume mineral-admixtured concrete. **Cement and Concrete Research**, Vol. 34, No. 12, pp. 2329–2336.

Galan, A. 1967. Estimate of concrete strength by ultrasonic pulse velocity and damping constant. **ACI J**. Proceedings, Vol. 64, No. 10, pp. 678–684.

Garbacz, A. and Garboczi, E.J. 2003. Ultrasonic evaluation methods applicable to polymer concrete composites. **National Institute of standards And Technology NIST**, April 2003.

Hannachi, S., Guetteche, N. M. 2014. Review of the ultrasonic pulse velocity evaluating concrete compressive strength on site. **Scientific cooperation international workshops on engineering branches**, 8-9 August 2014, koc university, Istanbul/Turkey.

Hellier, C. 2003. Handbook of Non-destructive Testing evaluation, **MC GRAW. HILL, chapter 1.**

IAEA, 1988. Ultrasonic Testing Of Materials. At Level 2/ Training Manual, For Non-destructive Testing Technique, Sued By Iaea, Viena , 1988.

IS, 1992. Non-destructive testing of concrete methods of test. part1, IS, 13311.by, **bureau of indian standards**، manak bhavan, 9 bahadur shah zafar maro new delhi 110002.

Karim, M.M. 2005. Investigation of the Behavior and Properties of Reinforced Concrete Slabs Exposed to Fire Flame. **M.Sc., Thesis, College of Engineering, College of Engineering, University of Babylon.**

Keating, J., Hannant, D.J., Hibbert, A.P. 1989. Correlation between Cube Strength, Ultrasonic Pulse Velocity and Volume Change for Oil Well Cement Slurries. **Cement and Concrete Research**, Vol. 19, no. 5, pp. 715-726.

Keiller, A.P. 1985. Assessing the strength of the in situ concrete, **Concrete International: Design and Construction** ", Vol. 7, no. 2, Feb. pp. 15-21.

Kheder, G.F. 1999. A two stage procedure for assessment of in situ concrete strength using combined non-destructive testing. Materials and Structures, Vol. 32, pp. 410–417.

Lougier, P., Haiat G. 2011. Bone Quantitative Ultrasound. DOI 10.1007/978-94-007-0017-82, Springer press Science +Business Media B.V. 2011.

Luthi, T. 2013. Non-destructive Evaluation Method. 2003-2013, Anax imperator, micro X-ray tomographic view, Iwan Jerjen, Empa.

Madandoust, R., Ghavidel, R., Nariman-zadeh, N. 2010. Evolutionary design of generalized GMDH-type neural network for prediction of concrete compressive strength using UPV**. Computational Materials Science**, Vol. 49, pp. 556–567.

Mahmood, A. 2008. Structural health monitoring using non-destructive testing of concrete**. department of civil engineering, national institute of technology, Rourkela, 2008.**

Mahure, V.N., vijh, K. G., Sharma, p., sivakumar, N., Ratnam, M. 2011. Correlation between pulse velocity and compressive strength of concrete. **International Journal of Earth Sciences and Engineering,** ISSN 0974-5904, Volume 04, No 06 SPL, October 2011, pp 871-874.

Malek, J., Kaouther, M. 2014. Destructive and non-destructive testing of concrete structures**. Jordan Journal of Civil Engineering**, Volume 8, No. 4, 2014.

Matar, G.S. 2000. Fiber reinforced concrete rail resistance to attack internal sulphates. **Master's thesis, University of Baghdad, 2000**.

Mix, P. 2005. Introduction to Non-destructive Testing. A Traning Guide, 2nd edition, published By John Wiley& Sonc, In, Hobeken, New Jersy, Canada.

Musmar, A.M., Alhadi, A. N. 2007. Relationship between ultrasonic pulse velocity and standard concrete cube crushing strength**, journal of Assiut University**, vol. 36, NO. 1, pp. 51-59, January 2008.

Naik, R.T., Malhotra, M.V., Popovics, S.J. 2004. The ultrasonic pulse velocity method, by **CRC press –LCC**, 2004.

Nashn't, I.H., A'bour, S.H., Sadoon, A.A. 2005. Finding an united relationship between crushing strength of concrete and non-destructive tests. Proceedings of Middle East Non-destructive Testing **Conference & Exhibition, Bahrain,** 2005.

Neville, A.M., Brooks, J.J. 2010. Concrete technology. 2nd edition, Malaysia, CTP-VVP, ISBN 978-0-273-73219-8, TA439. N46.

Neville, A.M. 1996. Properties of Concrete. 4th edition. John Wiley and Sons, Inc., New York.

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

Obeed, A.T. 2007. Effect of Exposure to Fire Flame on Some Mechanical Properties of Self Compacting Concrete Using Different Types of Filler. **M.Sc., Thesis, College of Engineering, University of Babylon.**

Popovics, S., Rose, J.L., Popovics, J.S., 1990. The behaviour of ultrasonic pulses in concrete. **Cem. Concrete. Res**., 20, 259.

Rajagopalan, P.R., Prakash, J., Naramimhan,V. 1973. Correlation between ultrasonic pulse velocity and strength of concrete. **Indian Concrete. Journal**, Vol. 47, No. 11, pp. 416–418.

Rao, K.S., Sravana, P., Rao, C.T. 2016. Relationship between Ultrasonic Pulse Velocity and Compressive Strength for Roller Compacted Concrete containing GGBS. **International Journal of Applied Engineering Research** ISSN 0973-4562 Volume 11, Number 3 (2016) pp 2077-2084.

Reinhardt, H.W., Grosse, C.U. 1996. Setting and Hardening of Concrete continuously monitored by Elastic Waves. **NDT.net**, July, Vol.1, No. 7.

Rio, L.M., Jimenez, A., Lopez, F., Rosa, F.J., Rufo, M.M., Paniagua, J.M. 2004. Characterization and hardening of concrete with ultrasonic testing. Ultrasonics, Vol. 42, pp. 527–530.

Rouf, Z. 1986. Assess how common non-destructive testing of concrete. **Journal of building Research**, vol. 5, 10. Number 21, May, 1986).

Rouf, Z., Younis, F., Abdullatif, M. (1986). Control quality of the concrete using Ultrasonic vibration. **National Center for laboratories construction**, 1986.

Santamarina, C.J., and Fratta, d. 1998. Introduction to Discrete Signals and Inverse Problems in Civil Engineering, **ASCE Press, Reston**, 1998.

Suaris, W., Fernando, V. 1987. Ultrasonic pulse attenuation as a measure of damage

Growth During cyclic loading of concrete, **ACI Mater**. J. 84 (1987), pp. 185– 193.

Tharmaratram, K., Tan, B.S. 1990. Attenuation of ultrasonic pulse in cement mortar. **Cement and Concrete Research**, Vol. 20, pp. 335–340.

Trtnik, G., Kavcic, F., Turk, G. 2009. Prediction of concrete strength using ultrasonic pulse velocity and artificial neural networks. Ultrasonics Vol. 49, pp. 53–60.

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

TS, 2010. Assessment of in-situ compressive strength in structures and precast concrete components. TS EN 13791, **TÜRK STANDARDLARI ENSTİTÜSÜ** Necatibey Caddesi No.112 Bakanlıklar/ANKARA ICS 91.080. 40.

Turgut, P. 2004. Research into the Correlation between Concrete Strength and UPV Values. **NDT.net**, Volume 12, Number12, December.

Ulucan, Z.Ç., Türk, K., Karata, M. 2008. Effect of mineral admixtures on the correlation between ultrasonic velocity and compressive strength for self-compacting concrete. **Russian Journal of Non-destructive Testing**, Vol. 44, No. 5, pp. 367–374.

Umran, M.K. 2002. Fire Flame Exposure Effect on Some Mechanical Properties of concrete. **M.Sc., Thesis, College of Engineering, University of Babylon.**

Whitehurst, E.A. 1951. Use of the Soniscope for Measuring Stetting Time of Concrete. **ASTM**, vol, 51, pp.1166-76.

Zabihi, N. 2012. Effect of Specimen Size and Shape on Strength of Concrete. Eastern Mediterranean University January 2012 **Gazimağusa, North Cyprus**, Approval of the Institute of Graduate Studies and Research.

Internet

1. https://www.asnt.org/MinorSiteSections/AboutASNT/Intro-to-NDT, History of access: 12.06.2016.
2. https://www.ndeed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/Intr-oduction/description.htm, History of access: 20.01.2016.
3. https://www.ndeed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/Physics/modepropagation.hm, History of access: 20.01.2016.
4. https://www.ndeed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/EquipmentTrans/piezotransducers.htm, History of access: 20.01.2016.
5. https://www.ndeed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/EquipmentTrans/characteristicspt.htm, History of access: 20.01.2016.
6. https://www.ndeed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/Physics/elasticsolids.htm, History of access: 20.01.2016.
7. https://www.ndeed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/Introduction/description.htm, History of access: 20.01.2016.
8. http://www.schoolphysics.org/age16-19/wavesaag/text/waves1/index.html, History of access: 07.06.2016.
9. http://theconstructor.org/concrete/compressive-strength-of-concrete-cubes/1561, History of access: 15.07.2016.

APPENDIX

Table A. Data of Literature.

No.	Researchers	Compressive Strength (MPa)	Pulse Ultrasonic Velocity (km/s)
1	Abdullatif (1997)	33.60	3.80
2	Abdullatif (1997)	38.70	5.16
3	Matar (2000)	30.00	4.60
4	Matar (2000)	28.40	4.27
5	Matar (2000)	24.70	4.39
6	Matar (2000)	32.60	4.29
7	Ali (2008)	52.68	4.62
8	Ali (2008)	43.75	4.62
9	Ali (2008)	39.00	4.45
10	Ali (2008)	41.96	4.54
11	Ali (2008)	39.73	4.55
12	Ali (2008)	43.30	4.56
13	Ali (2008)	50.89	4.60
14	Ali (2008)	48.21	4.60
15	Ali (2008)	43.75	4.85
16	Ali (2008)	40.22	4.82
17	Ali (2008)	43.75	4.83
18	Ali (2008)	52.23	4.87
19	Ali (2008)	50.00	4.90
20	Ali (2008)	46.43	4.77
21	Ali (2008)	46.43	4.75
22	Ali (2008)	45.09	4.86
23	Ali (2008)	50.00	4.86
24	Ali (2008)	49.50	4.89
25	Ali (2008)	37.95	4.57
26	Ali (2008)	43.20	4.87
27	Ali (2008)	43.72	4.98
28	Ali (2008)	44.28	5.03
29	Ali (2008)	44.85	5.09
30	Ali (2008)	45.15	5.18
31	Ali (2008)	44.61	5.01

32	Ali (2008)	43.27	4.96
33	Musmar and Alhadi (2007)	49.80	4.60
34	Musmar and Alhadi, (2007)	37.80	4.52
35	Musmar and Alhadi, (2007)	47.10	4.66
36	Musmar and Alhadi, (2007)	55.10	4.63
37	Musmar and Alhadi, (2007)	44.20	4.54
38	Musmar and Alhadi (2007)	40.80	4.51
39	Musmar and Alhadi (2007)	50.00	4.63
40	Musmar and Alhadi (2007)	38.70	4.50
41	Musmar and Alhadi (2007)	35.60	4.73
42	Musmar and Alhadi (2007)	40.00	4.70
43	Musmar and Alhadi (2007)	37.80	4.75
44	Musmar and Alhadi (2007)	44.40	4.73
45	Musmar and Alhadi (2007)	40.00	4.43
46	Musmar and Alhadi (2007)	42.20	4.47
47	Musmar and Alhadi (2007)	40.00	4.38
48	Musmar and Alhadi (2007)	44.40	4.38
49	Musmar and Alhadi (2007)	43.10	4.63
50	Musmar and Alhadi (2007)	39.60	4.44
51	Musmar and Alhadi (2007)	39.60	4.40
52	Musmar and Alhadi (2007)	39.80	4.43
53	Musmar and Alhadi (2007)	37.30	4.33
54	Musmar and Alhadi (2007)	41.80	4.52
55	Musmar and Alhadi (2007)	38.70	4.45
56	Musmar and Alhadi (2007)	45.30	4.56
57	Musmar and Alhadi (2007)	43.60	4.46
58	Musmar and Alhadi (2007)	43.60	4.38
59	Musmar and Alhadi (2007)	40.00	4.59
60	Musmar and Alhadi (2007)	43.80	4.56
61	Musmar and Alhadi (2007)	44.00	4.64
62	Musmar and Alhadi (2007)	45.60	4.61
63	Musmar and Alhadi (2007)	43.60	4.70
64	Musmar and Alhadi (2007)	43.10	4.66
65	Musmar and Alhadi (2007)	44.90	4.52
66	Musmar and Alhadi (2007)	39.80	4.54
67	Musmar and Alhadi (2007)	44.90	4.61
68	Musmar and Alhadi (2007)	47.10	4.52
69	Musmar and Alhadi (2007)	42.70	4.58
70	Musmar and Alhadi (2007)	48.40	4.59
71	Musmar and Alhadi (2007)	42.70	4.80
72	Musmar and Alhadi (2007)	42.70	4.64
73	Dicle University (2016)	38.37	4.08

74	Dicle University (2016)	39.24	4.06
75	Dicle University (2016)	37.06	4.13
76	Dicle University (2016)	31.61	4.16
77	Dicle University (2016)	32.92	3.99
78	Dicle University (2016)	34.77	4.18
79	Dicle University (2016)	34.88	3.88
80	Dicle University (2016)	29.43	4.07
81	Mahure et al, (2011)	36.71	4.26
82	Mahure et al, (2011)	37.99	4.57
83	Mahure et al, (2011)	39.01	4.82
84	Mahure et al, (2011)	38.07	4.59
85	Mahure et al, (2011)	28.31	4.13
86	Baigalimaa and Tumendemberel (2010)	32.66	3.96
87	Baigalimaa and Tumendemberel (2010)	30.15	3.97
88	Baigalimaa and Tumendemberel (2010)	34.85	4.00
89	Baigalimaa and Tumendemberel (2010)	35.48	4.10
90	Baigalimaa and Tumendemberel (2010)	30.74	4.14
91	Baigalimaa and Tumendemberel (2010)	36.65	4.16
92	Baigalimaa and Tumendemberel (2010)	34.88	4.17
93	Baigalimaa and Tumendemberel (2010)	30.61	4.20
94	Baigalimaa and Tumendemberel (2010)	32.59	4.23
95	Baigalimaa and Tumendemberel (2010)	33.48	4.27
96	Baigalimaa and Tumendemberel (2010)	42.61	4.33
97	Baigalimaa and Tumendemberel (2010)	34.33	4.40
98	Zabihi, (2012)	38.86	4.71
99	Zabihi, (2012)	43.20	4.44
100	Zabihi, (2012)	75.37	5.25
101	Demirboga, et al (2004)	43.60	4.30
102	Demirboga, et al (2004)	35.00	4.20
103	Demirboga, et al (2004)	33.40	4.26
104	Demirboga, et al (2004)	54.60	4.47
105	Demirboga, et al (2004)	35.00	4.14
106	Demirboga, et al (2004)	31.30	4.14
107	Demirboga, et al (2004)	50.20	4.28
108	Demirboga, et al (2004)	45.40	4.34
109	Demirboga, et al (2004)	37.40	4.25
110	Demirboga, et al (2004)	41.90	4.23
111	Demirboga, et al (2004)	35.30	4.22
112	Demirboga, et al (2004)	34.70	4.15
113	Mahmood, (2008)	25.00	2.88
114	Mahmood, (2008)	29.77	3.38
115	Mahmood, (2008)	32.00	3.49

116	Mahmood, (2008)	37.40	4.14
117	Mahmood, (2008)	38.90	4.32
118	Mahmood, (2008)	39.70	4.52
119	Rao, et al (2016)	43.20	4.87
120	Rao, et al (2016)	43.72	4.98
121	Rao, et al (2016)	44.61	5.00
122	Rao, et al (2016)	43.27	4.95
123	Rao, et al (2016)	49.50	5.02
124	Rao, et al (2016)	50.27	5.11
125	Rao, et al (2016)	52.11	5.15
126	Rao, et al (2016)	55.70	5.24
127	Rao, et al (2016)	58.28	5.29
128	Rao, et al (2016)	56.00	5.28
129	Rao, et al (2016)	54.10	5.11
130	Ali and Al-jaberi, (2014)	42.41	4.65
131	Ali and Al-jaberi, (2014)	42.43	4.66
132	Ali and Al-jaberi, (2014)	42.89	4.81
133	Ali and Al-jaberi, (2014)	42.90	4.84
134	Ali and Al-jaberi, (2014)	42.44	4.67
135	Ali and Al-jaberi, (2014)	42.45	4.69
136	Ali and Al-jaberi, (2014)	43.08	4.86
137	Ali and Al-jaberi, (2014)	43.18	4.87
138	Ali and Al-jaberi, (2014)	42.09	4.58
139	Ali and Al-jaberi, (2014)	42.41	4.63
140	Ali and Al-jaberi, (2014)	42.50	4.70
141	Ali and Al-jaberi, (2014)	42.69	4.75
142	Ali and Al-jaberi, (2014)	43.74	4.93
143	Ali and Al-jaberi, (2014)	42.86	4.78
144	Ali and Al-jaberi, (2014)	42.87	4.79
145	Ali and Al-jaberi, (2014)	42.90	4.85
146	Ali and Al-jaberi, (2014)	43.00	4.85
147	Ali and Al-jaberi, (2014)	43.30	4.89
148	Ali and Al-jaberi, (2014)	43.31	4.90
149	Ali and Al-jaberi, (2014)	44.20	5.11
150	Ali and Al-jaberi, (2014)	44.30	5.14
151	Ali and Al-jaberi, (2014)	43.31	4.90
152	Ali and Al-jaberi, (2014)	43.50	4.91
153	Ali and Al-jaberi, (2014)	44.00	4.99
154	Ali and Al-jaberi, (2014)	44.19	5.06
155	Ali and Al-jaberi, (2014)	43.75	4.98
156	Ali and Al-jaberi, (2014)	43.75	4.98
157	Ali and Al-jaberi, (2014)	43.63	4.91

158	Ali and Al-jaberi, (2014)	43.70	4.93
159	Ali and Al-jaberi, (2014)	43.66	4.92
160	Ali and Al-jaberi, (2014)	45.74	4.68
161	Ali and Al-jaberi, (2014)	45.98	4.70
162	Ali and Al-jaberi, (2014)	46.89	4.80
163	Ali and Al-jaberi, (2014)	46.89	4.81
164	Ali and Al-jaberi, (2014)	46.41	4.73
165	Ali and Al-jaberi, (2014)	46.44	4.76
166	Ali and Al-jaberi, (2014)	47.69	4.85
167	Ali and Al-jaberi, (2014)	47.95	4.87
168	Ali and Al-jaberi, (2014)	45.09	4.63
169	Ali and Al-jaberi, (2014)	45.52	4.68
170	Ali and Al-jaberi, (2014)	46.65	4.76
171	Ali and Al-jaberi, (2014)	46.66	4.77
172	Ali and Al-jaberi, (2014)	52.59	4.94
173	Ali and Al-jaberi, (2014)	46.72	4.76
174	Ali and Al-jaberi, (2014)	46.88	4.79
175	Ali and Al-jaberi, (2014)	46.89	4.84
176	Ali and Al-jaberi, (2014)	47.08	4.83
177	Ali and Al-jaberi, (2014)	49.11	4.87
178	Ali and Al-jaberi, (2014)	49.15	4.88
179	Ali and Al-jaberi, (2014)	53.13	5.01
180	Ali and Al-jaberi, (2014)	53.57	5.10
181	Ali and Al-jaberi, (2014)	49.50	4.89
182	Ali and Al-jaberi, (2014)	49.50	4.88
183	Ali and Al-jaberi, (2014)	53.00	4.97
184	Ali and Al-jaberi, (2014)	53.04	5.00
185	Ali and Al-jaberi, (2014)	52.68	4.94
186	Ali and Al-jaberi, (2014)	53.67	4.95
187	Ali and Al-jaberi, (2014)	49.55	4.90
188	Ali and Al-jaberi, (2014)	50.38	4.89
189	Ali and Al-jaberi, (2014)	50.89	4.94
190	Karim,(2005), Urman, (2002) And Al-Hesnawi,(2011)	30.50	4.45
191	Karim,(2005), Urman, (2002) And Al-Hesnawi,(2011)	41.30	4.64
192	Karim,(2005), Urman, (2002) And Al-Hesnawi,(2011)	41.30	4.64
193	Karim,(2005), Urman, (2002) And Al-Hesnawi,(2011)	41.30	4.64
194	Karim,(2005), Urman, (2002) And Al-Hesnawi,(2011)	41.30	4.64
195	Karim,(2005), Urman, (2002) And Al-Hesnawi,(2011)	30.80	4.40
196	Karim,(2005), Urman, (2002) And Al-Hesnawi,(2011)	30.60	4.45
197	Karim,(2005), Urman, (2002) And Al-Hesnawi,(2011)	38.40	4.70
198	Karim,(2005), Urman, (2002) And Al-Hesnawi,(2011)	38.60	4.90
199	Karim,(2005), Urman, (2002) And Al-Hesnawi,(2011)	34.10	4.48

200	Karim,(2005), Urman, (2002) And Al-Hesnawi,(2011)	45.20	4.66
201	Karim,(2005), Urman, (2002) And Al-Hesnawi,(2011)	45.20	4.66
202	Karim,(2005), Urman, (2002) And Al-Hesnawi,(2011)	45.20	4.66
203	Karim,(2005), Urman, (2002) And Al-Hesnawi,(2011)	45.20	4.66
204	Karim,(2005), Urman, (2002) And Al-Hesnawi,(2011)	37.30	4.49
205	Karim,(2005), Urman, (2002) And Al-Hesnawi,(2011)	48.20	4.67
206	Karim,(2005), Urman, (2002) And Al-Hesnawi,(2011)	48.20	4.67
207	Karim,(2005), Urman, (2002) And Al-Hesnawi,(2011)	48.20	4.67
208	Karim,(2005), Urman, (2002) And Al-Hesnawi,(2011)	48.20	4.67
209	Karim,(2005), Urman, (2002) And Al-Hesnawi,(2011)	22.60	3.25
210	Karim,(2005), Urman, (2002) And Al-Hesnawi,(2011)	22.60	3.34
211	Karim,(2005), Urman, (2002) And Al-Hesnawi,(2011)	21.70	3.16
212	Karim,(2005), Urman, (2002) And Al-Hesnawi,(2011)	22.90	3.25
213	Karim,(2005), Urman, (2002) And Al-Hesnawi,(2011)	28.90	3.25
214	Karim,(2005), Urman, (2002) And Al-Hesnawi,(2011)	32.20	3.57
215	Karim,(2005), Urman, (2002) And Al-Hesnawi,(2011)	31.00	3.34
216	Karim,(2005), Urman, (2002) And Al-Hesnawi,(2011)	31.40	3.39
217	Karim,(2005), Urman, (2002) And Al-Hesnawi,(2011)	25.80	3.30
218	Karim,(2005), Urman, (2002) And Al-Hesnawi,(2011)	26.10	3.45
219	Karim,(2005), Urman, (2002) And Al-Hesnawi,(2011)	31.90	3.50
220	Karim,(2005), Urman, (2002) And Al-Hesnawi,(2011)	26.30	3.18
221	Karim,(2005), Urman, (2002) And Al-Hesnawi,(2011)	36.60	3.73
222	Karim,(2005), Urman, (2002) And Al-Hesnawi,(2011)	35.20	3.63
223	Karim,(2005), Urman, (2002) And Al-Hesnawi,(2011)	34.30	3.35
224	Karim,(2005), Urman, (2002) And Al-Hesnawi,(2011)	35.70	3.49
225	Karim,(2005), Urman, (2002) And Al-Hesnawi,(2011)	31.00	3.49
226	Karim,(2005), Urman, (2002) And Al-Hesnawi,(2011)	29.90	3.49
227	Karim,(2005), Urman, (2002) And Al-Hesnawi,(2011)	29.10	3.41
228	Karim,(2005), Urman, (2002) And Al-Hesnawi,(2011)	29.50	3.37
229	Karim,(2005), Urman, (2002) And Al-Hesnawi,(2011)	41.50	3.28
230	Karim,(2005), Urman, (2002) And Al-Hesnawi,(2011)	39.10	3.83
231	Karim,(2005), Urman, (2002) And Al-Hesnawi,(2011)	37.60	3.64
232	Karim,(2005), Urman, (2002) And Al-Hesnawi,(2011)	36.60	3.55
233	Karim,(2005), Urman, (2002) And Al-Hesnawi,(2011)	20.40	3.60
234	Obeed, (2007), Ahmed,(2013)	42.00	4.42
235	Obeed, (2007), Ahmed,(2013)	35.00	4.00
236	Obeed, (2007), Ahmed,(2013)	33.00	4.25
237	Obeed, (2007), Ahmed,(2013)	35.60	3.50
238	Obeed, (2007), Ahmed,(2013)	33.80	3.30
239	Obeed, (2007), Ahmed,(2013)	25.20	3.20
240	Obeed, (2007), Ahmed,(2013)	32.20	3.35
241	Obeed, (2007), Ahmed,(2013)	28.50	3.20

242	Obeed, (2007), Ahmed,(2013)	22.50	3.00
243	Obeed, (2007), Ahmed,(2013)	29.00	3.50
244	Obeed, (2007), Ahmed,(2013)	25.50	3.35
245	Obeed, (2007), Ahmed,(2013)	20.50	3.25

CURRICULUM VITAE

In the year 01.07.1990, I came to the world in Sharmin village of Akre district in Naynawah Governorate, Republic of Iraq. I completed my primary school education in Shilladze town of Amedi district in Duhok Governorate in Iraq republic between 1996 and 2005. I was completed My high school education between 2005 and 2009 at the Sirye High School in Shilladze town in Amedi district of Duhok Governorate in Federal Republic of Iraq. I completed my university education in Physics department in faculty of Science in Zakho University between 2009 - 2013. In 2014, I started to work as a teacher in the welat high school in Amedi education directorate in Duhok Governorate 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	Ziwar ZEBARI
ÖĞRENCİ NO	13802309
EĞİTİM – ÖĞRETİM YILI	2015-2016
YARIYIL	x Güz ☐ Bahar
ANABİLİM DALI	Fizik
PROGRAM	Yüksek Lisans
TEZ KONUSU	**DETERMINING OF COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE WITH ULTRASONIC WAVE VELTOCIY MEASUREMENTS**
İNTİHAL RAPORU BİLGİLERİ	
RAPOR TÜRÜ	Tez Savunma Sınavı Sonrası
SAYFA SAYISI	81
BENZERLİK ORANI	09 %
RAPORLAMA TARİHİ	15/03/ 2016

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın kapak sayfası, giriş, ana bölümler, sonuç ve tartışma kısımlarından oluşan toplam 81 sayfalık kısmına ilişkin,15/03/2017 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından *turnitın* adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 09 'tür.

Uygulanan filtrelemeler:

X Kabul/Onay sayfaları hariç,
X 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)
Ziwar ZEBARI

(İmza)
20/03/2017

Prof.Dr. M. Enver AYDIN
Tez Danışmanı

(İmza)
20/03/2017

Prof. Dr. İrfan AÇIKGÖZ
Anabilim Dalı Başkanı