

**T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ULTRASONİK YÜZEY DALGALARI-SCHMIDT YÖNTEMİ YARDIMIYLA
BETON DAYANIMININ BULUNMASI**

Ömer Faruk KÜÇÜK

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ŞANLIURFA
2006**

Yrd. Doç. Dr. Paki TURGUT danışmanlığında, Ömer Faruk KÜÇÜK' ün hazırladığı “Ultrasonik Yüzey Dalgaları-Schmidt Yöntemi Yardımıyla Beton Dayanımının Bulunması” konulu bu çalışma 14/09/2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Paki TURGUT

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mehmet GÜMÜŞÇÜ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Murat KISA

Bu Tezin İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım

Prof. Dr. İbrahim BOLAT
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma HÜBAK Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: 640

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZ	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	v
SİMGELER DİZİNİ	vi
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
2.1. Schmidt Çekici Yöntemi	3
2.2. Ultrason Hızı Yöntemi	5
3. MATERYAL ve YÖNTEM	9
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	18
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	23
KAYNAKLAR	24
ÖZGEÇMİŞ	25
ÖZET	26
SUMMARY	27

ÖZ

Yüksek Lisans Tezi

ULTRASONİK YÜZEY DALGALARI-SCHMIDT YÖNTEMİ YARDIMIYLA BETON DAYANIMININ BULUNMASI

Ömer Faruk KÜÇÜK

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Paki TURGUT

Yıl: 2006 , Sayfa: 27

Bu çalışmada, direkt, direkt olmayan ve yarı direkt UPV (Ultrasonic Pulse Velocity) ölçümlerini karşılaştırmak için, küp basınç dayanımları 18.8 ile 79.9 MPa arasında değişen, farklı karışımlara sahip, boyutları $30 \times 30 \times 25 \text{ cm}^3$ olan toplan 30 beton blok üzerinde deneysel bir inceleme yapıldı. İstatistiksel analizler kullanılarak direkt UPV, beton döküm yönünde ve beton döküm yönüne dik doğrultuda direkt olmayan UPV ve yarı direkt UPV ölçümleri arasında korelasyonlar yapıldı. İstatistiksel analizler sonucunda, ortalama direkt UPV değerinin, beton döküm yönündeki direkt olmayan UPV' den % 9, yatay yöndeki direkt olmayan UPV' den % 4 ve yarı direkt UPV' den % 4 kadar daha büyük olduğu ortaya çıkmıştır. Yatay yönde direkt olmayan UPV değerinin, döküm yönündeki değerden % 5 daha büyük olduğu bulundu. Böylece, bu çalışmada elde edilen regresyon denklemleriyle, direkt olmayan veya yarı direkt UPV' yi, direkt UPV' ye dönüştürerek, Schmidt çekici sayısı ve direkt UPV' li regresyon modellerinden herhangi birisi betonun basınç dayanımının bulunmasında kullanılabilir.

ANAHTAR KELİMELER : Beton, basınç dayanımı, ultrason, tahribatsız muayene, Schmidt çekici

ABSTRACT

MSc Thesis

DISCOVERY OF NORMAL CONCRETE'S STRENGTH WITH USING SURFACE WAVE-SCHMIDT METHOD

Ömer Faruk KÜÇÜK

**Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering**

**Supervisor : Assist. Prof. Dr. Paki TURGUT
Year: 2006 , Page: 27**

An experimental study was conducted to compare direct, indirect and semi direct UPV measurements on the total 30 concrete blocks with $30 \times 30 \times 25$ cm³ size having the different mix batches and the cube compressive strength grades varying between 18.8 and 79.9 MPa. The correlations were established between the direct UPV and indirect UPV on the concrete casting direction as well as on the horizontal direction and semi direct UPV measurements by using the statistical analysis. The statistical analysis revealed that the average value of direct UPV is 9 %, 4 %, and 4 % higher than the average values of indirect UPV on the casting direction, indirect UPV on the horizontal direction and semi direct UPV, respectively. The average value of indirect UPV on the horizontal direction was found 5 % higher than that of the casting direction. Thus, by converting indirect or semi direct UPV to direct UPV with using the regression equations obtained in this study, any regression models with Schmidt rebound number and direct UPV can be used to predict compressive strength of concrete.

KEYWORDS : Concrete, compressive strength, ultrasonic, nondestructive testing, Schmidt hammer

TEŞEKKÜR

Bu tez alıŐmasının yapılmasında yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım Yrd.Doç.Dr. Paki TURGUT' a, teze maddi katkılarından dolayı HÜBAK Başkanlığına ve GÜRBAĞ A.Ő.' ye teŐekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 2.1. Schmidt çekicinin kısımları ve çalışma prensibi.....	4
Şekil 2.2. Schmidt çekici cihazı	4
Şekil 2.3. Ultrason cihazının çalışma prensibi	7
Şekil 2.4. Ultrason cihazı	8
Şekil 2.5. Beton üzerinde ultrason ölçümleri	8
Şekil 3.1. İri, ince ve karışık agreganın granülometri eğrileri.....	11
Şekil 3.2. Agregada elek analizi	11
Şekil 3.3. Çelik beton kalıpları.....	12
Şekil 3.4. Beton karışımında kullanılan pan mikser	13
Şekil 3.5. Ultrason hızı ölçümleri.....	14
Şekil 3.6. Direk, yarı direk ve direk olmayan ultrason hızı ölçümleri.....	15
Şekil 3.7. Schmidt çekici ölçümleri	15
Şekil 3.8. Karot makinesi ve karot alma işlemi.....	16
Şekil 3.9. Karot başlarının elmas testere yardımıyla kesilmesi.....	16
Şekil 3.10. 80 ton kapasiteli servo kontrollü pres ve beton karot.....	17
Şekil 4.1. Direk UPV ve beton döküm yönünde direk olmayan UPV ilişkisi	20
Şekil 4.2. Direk UPV ve beton dökümüne dik yönde direk olmayan UPV ilişkisi	20
Şekil 4.3. Direk ve yarı direk UPV arasındaki ilişki	21

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 3.1. Beton karışım oranları.....	12
Çizelge 3.2. Beton örneklerin basınç dayanımları ve birim ağırlıkları.....	17
Çizelge 4.1. UPV ölçümleri arasındaki ilişkiler.....	19
Çizelge 4.2. Direk, yarı direk, direk olmayan UPV karşılaştırmaları.....	21
Çizelge 4.3. Beton basınç dayanımında kullanılabilen regresyon modelleri.....	22

SİMGELER DİZİNİ

cm	Santimetre
cm ³	Santimetre Küp
dm ³	Desimetre Küp
gr/cm ³	Gram/Santimetre Küp
kHz	Kilo Hertz
kg	Kilo Gram
MPa	Mega Pascal
PÇ	Portlan Çimentosu
R ²	Regrasyon Modeli
S	Standart Sapma
UPV	Ultrason Hızı Yöntemi
Vc	Döküm Yönünde Direkt Olmayan Ultrason Hızı
Vd	Direkt Ultrason Hızı
Vh	Yatay Yönünde Direkt Olmayan Ultrason Hızı
Vs	Yarı Direkt Ultrason Hızı
µs	Mikro Saniye

1. GİRİŞ

Betonun basınç dayanımının, tahribatsız yöntemlerle bulunması, özellikle deprem kuşağında yer alan ülkemizde büyük önem taşımaktadır. Bir yapının depreme dayanıklı olup olmadığının tespitinde göz önüne alınan kriterlerden birisi de betonun basınç dayanımıdır. Mevcut binaların deprem açısından güvenilirliğinin belirlenmesi, klasik yöntemler kullanıldığında pahalı olmasının yanında zaman alıcı bir süreçtir. Özellikle ülkemizdeki mevcut yapıların sayılarının çok fazla olması, klasik yöntem olarak adlandırılan karot alımı yoluyla beton basınç dayanımının bulunması işlemini cazip olmaktan çıkarmaktadır. Bunun yerine, yaklaşık ta olsa beton basınç dayanımını kısa sürede ve daha az maliyetle bulacak yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Tahribatsız beton basınç dayanımı testinde ülkemizde ve diğer ülkelerde en çok kullanılan yöntemler Schmidt çekici ve ultrason hızıdır. Schmidt çekici yönteminin uygulaması pratik ve ucuz olmasına rağmen, hata payı oldukça fazladır. Ultrason hızı /yöntemi de, yine ucuz ve pratik bir beton basınç dayanımı test metodudur. Özellikle, beton elemanlarda segregasyon ve süreksizlikleri bulma işleminde çok başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Son zamanlarda, beton basınç dayanımının yaklaşık olarak bulunmasında kullanılan en etkin ve güvenilir yöntem, Schmidt çekici ile Ultrason hızının birlikte kullanıldığı birleşik yöntemdir.

Tahribatsız beton dayanımı test yöntemleri, günümüzde oldukça popüler olan bir konudur (Malhotra, 1984). Ultrason hızı yöntemiyle (UPV), sahadaki betonların kalitesi yaklaşık olarak tespit edilebilmektedir. Betonun basınç dayanımı ile direk UPV arasındaki ilişkilerin incelenmesi üzerine yeterli miktarda çalışma bulunmaktadır. Betonun basınç dayanımı ile ultrason hızı arasındaki ilişki üzerine Turgut (2004a) tarafından yapılmış detaylı çalışmalar bulunmaktadır. Turgut (2004b), beton karışım oranları bilinmeyen ve yaşları değişken olan binalardan, çapı 10 cm ve yüksekliği 20 cm olan yeterli sayıda karot numuneler almış ve bu

numuneler üzerinde ultrason hızı ve basınç dayanımı testleri yapmıştır. Bu çalışmanın neticesinde, ultrason hızı yönteminin tek başına ancak % 80 doğrulukla beton basınç dayanımının tespit edilebileceğini bulmuştur. Ultrason metodunun yalnız başına kullanılmasından meydana gelen hataları elimine etmek için, bazı araştırmacılar ultrason hızı metodu ile Schmidt çekici yönteminin birlikte kullanıldığı kombine metodu oluşturmuşlardır(Meynink ve Samarin, 1979; Tanigawa ve ark., 1984; Ramyar ve Kol , 1996).

Ultrason hızı yönteminin mevcut yapılarda kullanılması esnasında bazı güçlüklerle karşılaşmaktadır. Bunların en önemlilerinden birisi, ultrason aletinin alıcı ve verici olarak adlandırılan kısımlarının, elemanlara bitişik olan duvarlar nedeniyle karşılıklı tutulamamasıdır. Örneğin, bir betonarme perde elemanda, genellikle perdenin bir yüzü bina içerisinde kalmakta, diğer yüzü ise genellikle zeminle sınırlanmaktadır. Böyle bir durumda, direkt olarak ölçüm yapmak mümkün olmamaktadır. Literatürde, ultrason hızı ve Schmidt çekicinin birlikte kullanıldığı birçok çalışma bulunmasına rağmen, direk, direk olmayan ve yarı direk ultrason hızlarının karşılaştırmasına ait sınırlı sayıda çalışma bulunmakta olup, yapılmış olan çalışmaların bir kısmında direk, direk olmayan ve yarı direk UPV hızlarının birbirinden farklı, bir kısmında da aynı olduğundan bahsedilmektedir (11-12). Bu konuda araştırmacılar arasında tam bir anlaşma sağlanamamıştır. ASTM veya bu konuyla ilgili standartlarda, direk, direk olmayan ve yarı direk ultrason hızları arasındaki ilişkilerin ne olduğu konusunda herhangi bir bilgi de bulunmamaktadır.

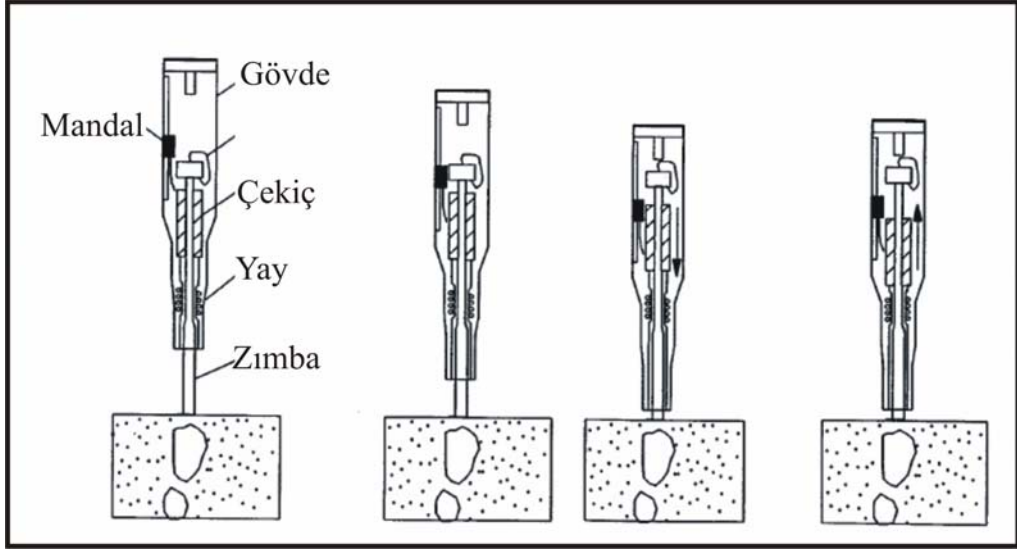
Bu tez çalışmasında, direkt olmayan ve yarı direkt ultrason hızı ölçümleri, direkt ultrason hızı ölçümleriyle karşılaştırılmış ve bazı bağıntılar bulunmuştur. Yapılan literatür araştırmasıyla karşılaştırıldığında, bu tezde elde edilen bağıntıların mantıklı sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Schmidt Çekici Yöntemi

Schmidt çekici yöntemi, betonun basınç dayanımını yaklaşık olarak bulmada kullanılmaktadır. Beton basınç dayanımı bulunacak yapı elemanlarının çok sayıda olması, karot alma işleminin pahalı ve zaman alıcı olmasından dolayı pek tercih edilmemektedir. Bunun yerine, yeterli yaklaşıktaki beton basınç dayanımının bulunacağı Schmidt çekici yöntemi kullanılmaktadır. Malzemelerin yüzey sertliğinden yola çıkarak, basınç dayanımlarının bulunması esasına göre çalışmaktadır. Betonun basınç dayanımı ve Schmidt çekicinin içerisindeki yayın geri sıçraması değerleri arasında bir korelasyon bulunmaktadır. Bu korelasyonlarda, Schmidt çekicinin, beton elemana vuruş yönü de önemli olmaktadır. Bu test metodunun doğruluğu % 60 ile % 70 arasında değişmektedir.

Schmidt çekicinin kısımları ve çalışma prensibi Şekil 2.1 de gösterilmektedir. Schmidt çekici, gövde, zımba, yay, çekiç ve mandal olmak üzere toplam 5 kısımdan oluşmaktadır. Schmidt çekici test edilecek beton eleman üzerine bastırılmakta ve zımbanın en dip kısmında, yayın sıkışmasından dolayı zımba kuvvetle beton eleman üzerine çarpmaktadır. Bu çarpma neticesinde, ekrandaki gösterge geri sıçramakta ve kadran üzerinden vuruş değeri okunmaktadır. Schmidt çekicinin kullanma prensipleri ASTM C805 de detaylı olarak verilmektedir. Şekil 2. 2 de, bu çalışmada kullanılan Schmidt çekici cihazı gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Schmidt çekicinin kısımları ve çalışma prensibi



Şekil 2.2. Schmidt çekici cihazı

Schmidt çekici yönteminin faydalarının yanında, faydalı olmayan tarafları da bulunmaktadır. Basınç dayanımı bulunacak yapı elemanının yüzeyinin düzgünlüğü test sonuçlarını etkilemektedir. Örneğin, yüzeyde sertleşmiş çimento şerbeti taneleri bulunması, betonda daha düşük basınç dayanımı elde edilmesine neden olmaktadır.

Bu nedenle, ölçüm yapılmadan önce yüzeylerin iyice temizlenmesi gerekmektedir. Schmidt çekici yöntemi yeni betonlarda farklı, eski betonlarda farklı sonuçlar verebilmektedir. Bu nedenle, 7 günlük beton basınç dayanımı ile 28 günlük dayanım arasında bir korelasyon yapılması gerekmektedir. Basınç dayanımı test edilecek beton elemanda bulunan nem miktarı sonuçları etkileyecektir. Schmidt çekici ile yapılan testte, nemli betonun basınç dayanımı kuru betonun basınç dayanımından % 5 daha fazla olmaktadır. Schmidt çekici ile beton dayanımını etkileyen bir başka konuda, kullanılan çimentonun cinsidir. Genellikle, dayanımı yüksek olan çimentolarda daha büyük Schmidt çekici okuması elde edilmektedir. Yüzeyinde karbonatlaşma olan beton elemanların basınç dayanımı, karbonatlaşma oluşmamış betona kıyasla % 50 daha büyük olabilmektedir. Bu nedenle, düzeltme katsayılarının kullanılması gerekmektedir. Schmidt çekici ile betonun basınç dayanımı testini etkileyen en önemli etkilerden birisi, beton karışımı içerisinde kullanılan iri agreganın cinsidir. Bu nedenle, Schmidt çekici ile beton basınç dayanımının bulunması işleminde düzeltme katsayısı kullanılmalıdır.

2.2. Ultrason Hızı Yöntemi

Ultrasonic hız yöntemi (UPV), betonun kalitesinin tayini için 50 yıldır başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Bu yöntem, betona çevre koşullarından dolayı gelen zararların tespitinde, çatlama ve donma çözülmeden sonucunda oluşan betondaki içyapı hasarlarının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca, dinamik elastisite modülünün tespiti ve beton elemanların kalınlıklarının tespitinde de kullanılabilir.

Şekil 2.3 de, ultrasonik hız cihazının çalışma şeması gösterilmektedir. Ultrasonik hız cihazının alıcı ve verici uçları beton numune yüzeyine, arada gres yağı kullanılarak elle bastırılmaktadır. Verici uçtan çıkan ses hızı dalgaları betonun içerisinden hareket edip, alıcı uca ulaşmaktadır. Bu esnada, verici uçtan alıcı uca olan geçme süresi elektronik bir devre yardımıyla bulunmaktadır. ASTM C597 de, ultrasonik hız ile ilgili bilgiler detaylı bir şekilde verilmekte olup, betonlara uygulama şekli anlatılmaktadır. Ultrasonun ürettiği ses dalgalarının beton

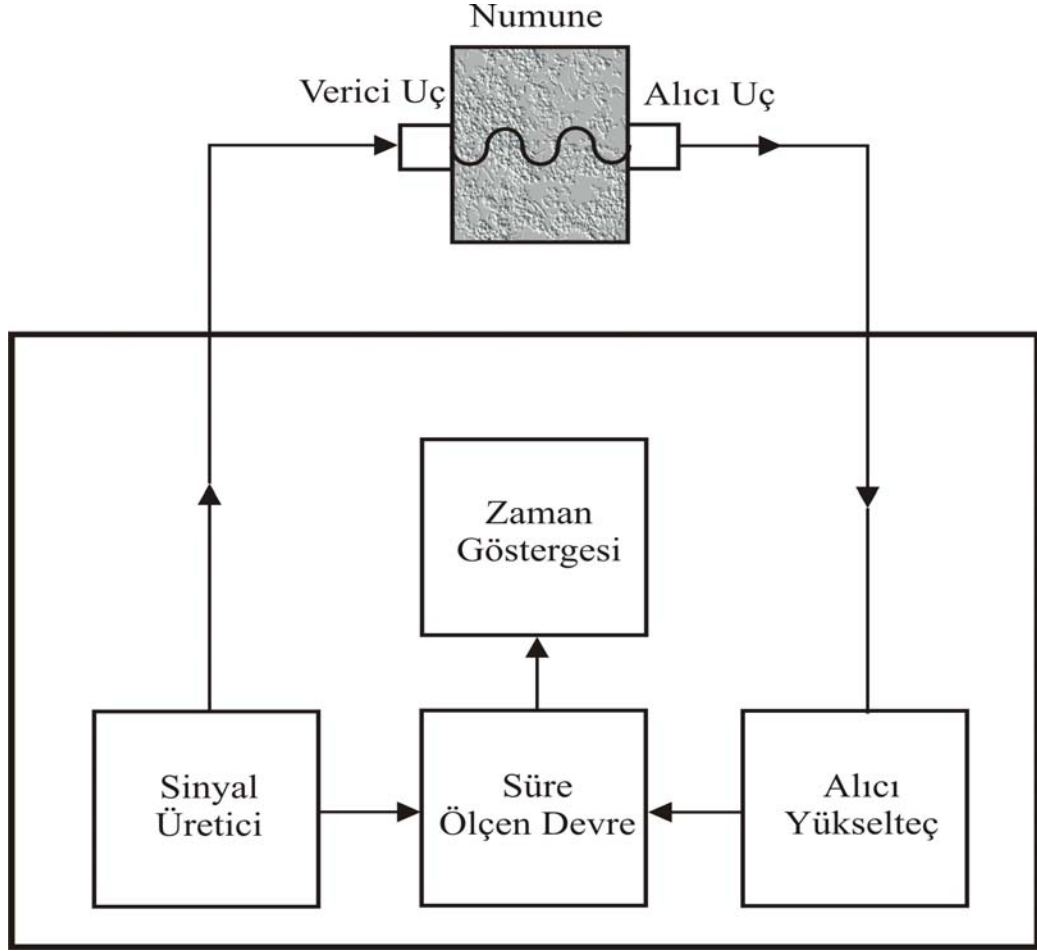
içerisinden geçiş hızı, numunenin boyunun, geçiş süresine bölünmesiyle elde edilmektedir. Ultrason hızı değeri katı cisimler içerisinde daha büyük olmaktadır. Yani, boşluklu cisimler içerisindeki hızı düşüktür. Betonun basınç dayanımı, beton içerisindeki boşluk miktarına bağlı olmaktadır. Böylece, ultrason hızı yüksek olan betonların dayanımı, hızı düşük olanlardan daha yüksek olmaktadır. Şekil 2.4 de, bu çalışmada kullanılan ultrason hızı cihazı gösterilmektedir.

Şekil 3.1 de, beton üzerindeki ultrason ölçümleri gösterilmektedir. Şekil 6a da, direkt UPV ölçümü gösterilmektedir. Bu ölçümde, ultrason cihazının verici ve alıcı uçları karşılıklı olarak tutulmaktadır. Şekil 6b de, yarı direkt UPV ölçümü gösterilmektedir. Bu ölçüm şeklinde ise, alıcı ve verici uçlar arasındaki açı 90° olmaktadır. Şekil 6c de ise, verici ve alıcı uçlar aynı yüzey üzerine oturmakta ve verici-alıcı uçların merkezleri arasındaki mesafe yardımıyla ultrason hızı bulunmaktadır.

Beton içerisindeki agreganın boyutları ve gradasyonu ultrason hızını etkilemektedir. Agreganın boyutu, gradasyon, tipi ve içerdikleri atış hızı ve basınç arasındaki ilişkiyi etkilemektedir. Aynı basınç dayanımları ve benzer beton karışımlarında ultrason hızı bir miktar değişiklikler göstermektedir. Beton karışımında kullanılan çimentonun cinsi de, ultrason hızını değiştirmektedir. Çimentonun hidratasyonu arttığında, betonun basınç dayanımı artmakta ve buna bağlı olarak ta ultrason hızı artmaktadır. Beton içerisinde kullanılan katkı maddeleri çimentonun hidratasyon hızını değiştirdiğinden, ultrason hızını etkilemektedirler. Beton üzerindeki kür koşulları ve betonun yaşı beton dayanımını etkileyen faktörlerdir. Kısacası, betonun dayanımını etkileyen tüm etkiler, betonun ultrason hızını da etkilemektedir. Kürlenme ve betonun yaşı da beton dayanım gelişmesi üzerindeki etkiyle aynı mantıktadır. Beton içerisinde bulunan donatılar, ultrason hızını 1.5 ile 2 kat artırabilmektedir. Bu nedenle, ultrason hızı ölçülürken donatılara temas etmemesi göz önüne alınmalıdır.

Ultrason hızı metodu, betonda segregasyon olup olmadığının tespitinde kullanılan en etkili yöntemdir. Ultrason hızı yöntemi, beton testinde kısa sürede

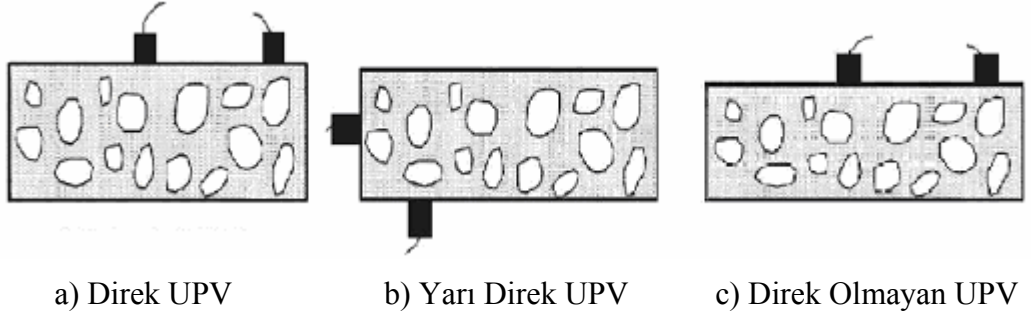
yaklaşık sonuçlar alınabilen tahribatsız bir yöntemdir. Ayrıca, erken yaşta betondaki dayanım gelişiminin bu yöntemle bulunması oldukça ilgi çekici bir konudur.



Şekil 2.3. Ultrason cihazının çalışma prensibi



Şekil 2.4. Ultrason cihazı



a) Direk UPV

b) Yarı Direk UPV

c) Direk Olmayan UPV

Şekil 2.5. Beton üzerinde ultrason ölçümleri

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada, betonda direk, direk olmayan ve yarı direk UPV ölçümlerini yapmak için portatif TIKO marka ultrason hızı cihazı kullanılmıştır. Cihaz ultrason dalgasının geçiş süresini 0.1 μ s duyarlılıkta ve 0.1 μ s-9999.9 μ s arasında ölçebilmektedir. Kullanılan ultrasonun verici ve alıcı başlıklarının çapı 50 mm olup, frekansı 54kHz dir. Çalışmada kullanılan Schmidt çekici ise, piyasada en çok kullanılan Alman marka bir cihazdır. Deneylere başlamadan önce, bu cihazların kalibrasyonları yapılmıştır.

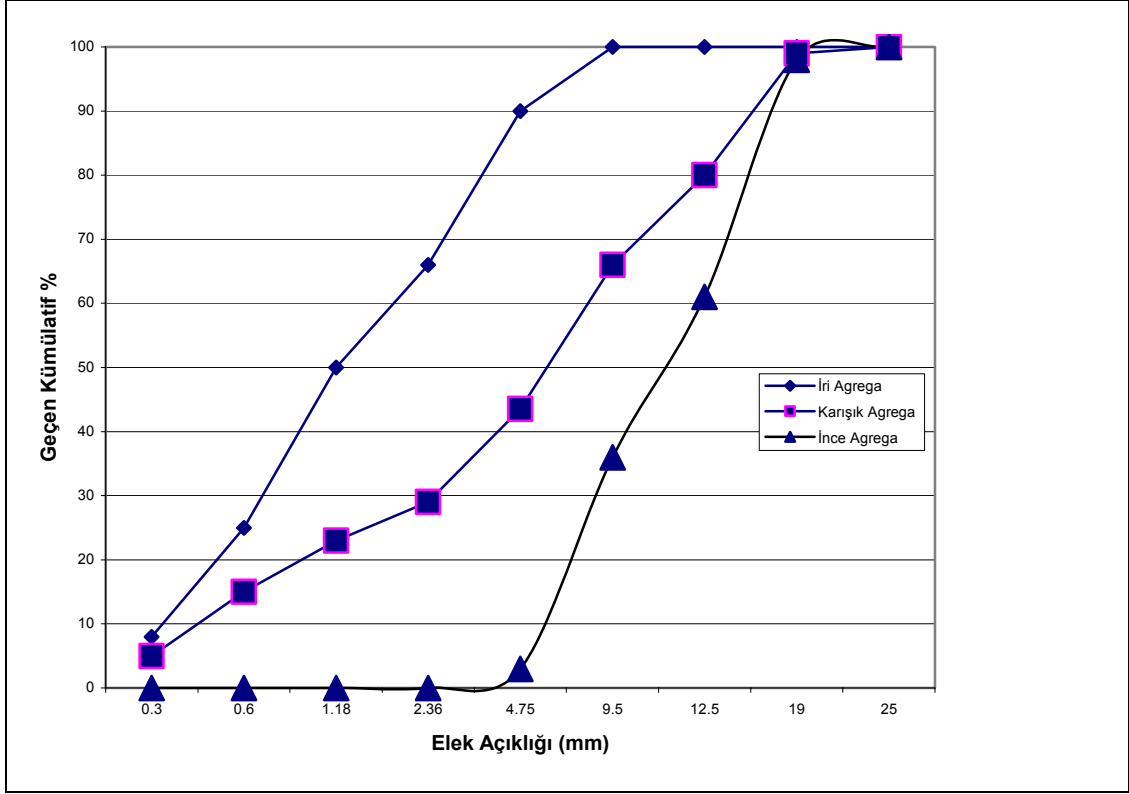
Betonda direk, yarı direkt ve direkt olmayan ultrason hızlarının karşılaştırılmasıyla ilgili sınırlı sayıda çalışma yapılmıştır. Yalman ve arkadaşları (2001), basınç dayanımı 41 MPa olan beton plaklar üzerinde, direk ve direk olmayan UPV değerlerini karşılaştırmışlar ve istatistiksel olarak bu değerlerin birbirine eşit olduğunu bulmuşlardır. Fakat değişik basınç dayanımlarındaki betonlarda bu ilişkinin ne kadar doğru olduğu konusunda herhangi bir çalışma yapmamışlardır. Yapılan literatür taramasında, değişik basınç dayanımları için, direk, direk olmayan ve yarı direk UPV ölçümlerinin karşılaştırılmalı ilişkileri üzerinde halen bir uzlaşma saplanabilmiş değildir.

Bu çalışmanın amacı, farklı beton karışımları ve basınç dayanımlarına sahip betonlarda direk, direk olmayan ve yarı direk UPV ölçümleri arasında istatistiksel bağıntılar bulmaktır. Böylece, bulunan istatistiksel değerlerin yanında, Schmidt çekici de kullanılarak betonun basınç dayanımını yeterli yaklaşıklıkta bulabilecek regresyon modelleri oluşturmaktır.

Betonun yapısından kaynaklanan hataları ortadan kaldırmak için, bu çalışmada yeterli büyüklükte olan 30×30×25 cm³ boyutunda prizma şeklinde beton bloklar

döküldü. Çalışmada kullanılan Portland çimentosunun cinsi PÇ-42,5 olup, Adıyaman Çimento Fabrikası'ndan getirildi. Kullanılan çimentonun 28 günlük basınç dayanımı 42.5 MPa olup, yoğunluğu 3.12 gr/cm^3 dir. Karışımda kullanılan agreganın maksimum tane çapı 25 mm dir. İri ve ince agregalar Adıyaman'ın Göksu nehrinden getirilmiştir. İri agreganın doymuş yüzey kuru birim ağırlığı sırasıyla 2.68 gr/cm^3 ve ince agreganın ise, 2.65 gr/m^3 tür. İri agreganın sıkışık kuru birim ağırlığı 1.60 gr/m^3 tür. Beton karışımında kullanılan iri ve ince agreganın gradasyon eğrileri Şekil 7 de gösterilmektedir. Kullanılan iri ve ince agregalar TS 706 da verilen sınır değerlerini sağlamaktadır. Agregada üzerinde yapılan elek analizi, Şekil 8 de gösterilmektedir.

Beton karışımlarında kullanılan malzemelerin miktarları Çizelge 3.1 de verilmektedir. Bu çalışmada, her bir karışım için 3 adet beton bloğu olmak üzere, toplam hazırlanan numune sayısı 30 adettir. Şekil 9 da gösterilen çelik beton kalıbının iç boyutları $30 \times 30 \times 25 \text{ cm}^3$ olup, et kalınlığı 4 mm dir. Beton karışımında, 50 dm^3 lük beton mikseri kullanılmıştır. Mikser içerisine konulan malzemeler yaklaşık olarak 5 dakika karıştırılmıştır. Karışımda hedeflenen beton kıvamı (çökme değeri) 7 cm dir. Karışımı yapılan taze beton kalıplar içerisine yerleştirilmiş ve içsel vibratör kullanılarak sıkıştırma işlemi yapılmıştır. Beton dökümünden sonra, numuneler kalıplar içerisinde 24 saat oda sıcaklığında bekletildi. Beton dökümünden 24 saat sonra, beton blokların yüzeyine kür işlemi uygulanmıştır. Numuneler Yağmurlama hortumu vasıtasıyla, numunelere telislere sarılı durumda 7 gün boyunca nem kürü uygulanmıştır. Dökümden 8 gün sonra ise numuneler laboratuvar ortamında küre bırakılmıştır.



Şekil 3.1. İri, ince ve karışık agreganın granülometri eğrileri



Şekil 3.2. Agregat elek analizi

Çizelge 3.1. Beton karışım oranları

Karışım No.	Su (kg)	Çimento (kg)	Su/Çimento	İnce agrega (kg)	Kaba agrega (kg)	Akışkanlaştırıcı (kg)
P1	190	200	0.95	942	1074	-
P2	184	230	0.80	900	1026	-
P3	175	250	0.70	903	1030	-
P4	180	270	0.67	890	1012	-
P5	162	290	0.56	906	1033	-
P6	172	330	0.52	875	998	-
P7	180	360	0.50	853	972	-
P8	149	450	0.33	856	976	5.4
P9	155	500	0.31	816	940	6.0
P10	160	550	0.29	793	910	6.0



Şekil 3.3. Çelik beton kalıpları



Şekil 3.4. Beton karışımında kullanılan pan mikser

300 mm genişliğinde, 300 mm yüksekliğinde ve 250 mm uzunluğundaki beton bloklar üzerinde yapılan ultrason ölçümleri Şekil 11 de gösterilmektedir. Direk, direk olmayan ve yarı direk UPV ölçümleri 28 günlük beton bloklar üzerinde yapılmıştır. Direk, direk olmayan ve yarı direk UPV ölçümleri Şekil 12 de gösterilmektedir. Direk, direk olmayan ve yarı direk UPV ölçümleri her bir beton bloğunda 6 farklı kısımda yapılmış ve bu değerlerin ortalaması alınmıştır. Direk UPV ölçümünde, ultrason hızının bulunduğu mesafe 300 mm, yarı direkt UPV ölçümünde 195 mm ve direkt olmayan UPV ölçümünde ise 150 mm olmuştur. Bu uzunluklar 0,1 mm hassasiyetle ölçülmüştür. Şekil 13 de ise, Schmidt çekici ölçümleri gösterilmektedir. Schmidt çekici ile numunelerin, beton döküm yönüne dik olan yüzeylere vuruşlar yapılmıştır. Her bir numuneye toplam 12 vuruş yapılmış ve en büyük ve en küçük değerler elimine edilerek, kalan değerlerin ortalaması alınmıştır.

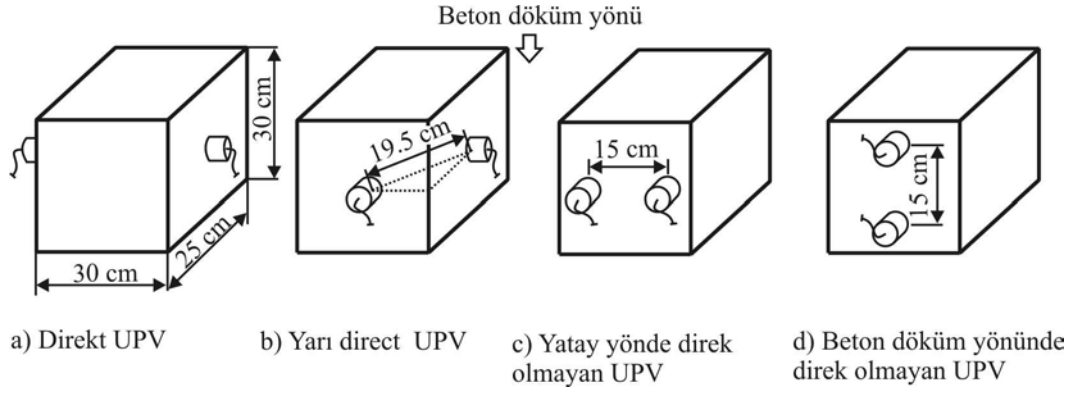
Beton bloklar üzerinde ültrason ölçümleri tamamlandıktan sonra, her bir bloktan beton döküm yönünde 3 adet çapı 100 mm ve yüksekliği 220 mm olan karot numuneler alınmıştır. Numune alma işleminde HILTI marka karot makinesi

kullanılmıştır. Karot makinesi ve numune alma işlemi Şekil 14 de gösterilmektedir. Beton bloklardan alınan karotların her iki baş kısmından 1 cm kesilmiş ve beton basınç deneyinde kullanılacak karotların boyu çapının 2 katı olacak şekilde ayarlanmıştır. Karot başlarındaki kesme işlemi elmas testere kullanılarak yapılmıştır. Şekil 15 de, karotların baş kısmının kesildiği elmas testere gösterilmektedir. Alınan karot numunelerin basınç dayanımlarının bulunması işleminde, ASTM C42-90 yönetmeliği kullanılmıştır. Karot numuneler, kapasitesi 80 ton olan servo kontrollü preste kırılmıştır. Deneyde kullanılan beton presi ve numune Şekil 16 da gösterilmektedir. Elde edilen beton basınç dayanımları 1.25 katsayısıyla çarpılarak bir kenarı 15 cm olan küp numuneye dönüştürülmüştür (BS 1881: Part 120). Betonların küp dayanımları 18.8 MPa ile 79.9 MPa arasında değişmektedir.

Beton numunelerin birim ağırlıklarının bulunması işleminde Şekil 13 de gösterilen Arşimet düzeneği kullanılmıştır. Betonların birim ağırlıkları 2.37 gr/cm^3 ile 2.57 gr/cm^3 arasında değişmektedir. Beton basınç dayanımı ve birim ağırlık testlerinden elde edilen değerler Çizelge 3.2 de verilmektedir.



Şekil 3.5. Ultrason hızı ölçümleri



Şekil 3.6. Direk, yarı direk ve direk olmayan ultrason hızı ölçümleri



Şekil 3.7. Schmidt çekici ölçümleri



Şekil 3.8. Karot makinesi ve karot alma işlemi



Şekil 3.9. Karot başlarının elmas testere yardımıyla kesilmesi



Şekil 3.10. 80 ton kapasiteli servo kontrollü pres ve beton karot

Çizelge 3.2. Beton örneklerin basınç dayanımları ve birim ağırlıkları

Karışım no	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
Küp dayanımı, MPa	18.8	30.1	36.1	38.8	43.3	49.8	54.9	73.9	76.0	79.9
Birim ağırlık, gr/cm ³	2.37	2.45	2.46	2.48	2.46	2.46	2.48	2.56	2.55	2.57

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu çalışmada, değişik beton basınç dayanımları ve farklı beton karışımlarından elde edilen direk, direk olmayan ve yarı direk UPV ölçümlerinin karşılaştırmalı ilişkileri bulunmuştur. Bu çalışmanın üç amacı vardır. Birincisi, direk, yarı direk ve direk olmayan ultrason hızlarının karşılaştırılması ve bu karşılaştırmalar sonucunda, ortaya çıkan ilişkilerin istatistiksel olarak sunulmasıdır. İkincisi, beton döküm yönünde ve beton döküm yönüne dik doğrultuda elde edilen ultrason hızlarının karşılaştırılmasıdır. Sonuncusu ise, betonun basınç dayanımları ile ultrason hızları ve Schmidt çekici değerleri arasında bir korelasyon oluşturmaktır. Böylece, ultrason hızı ve Schmidt çekici değerleri kullanılarak betonun basınç dayanımı yaklaşık olarak tahmin edilebilecektir.

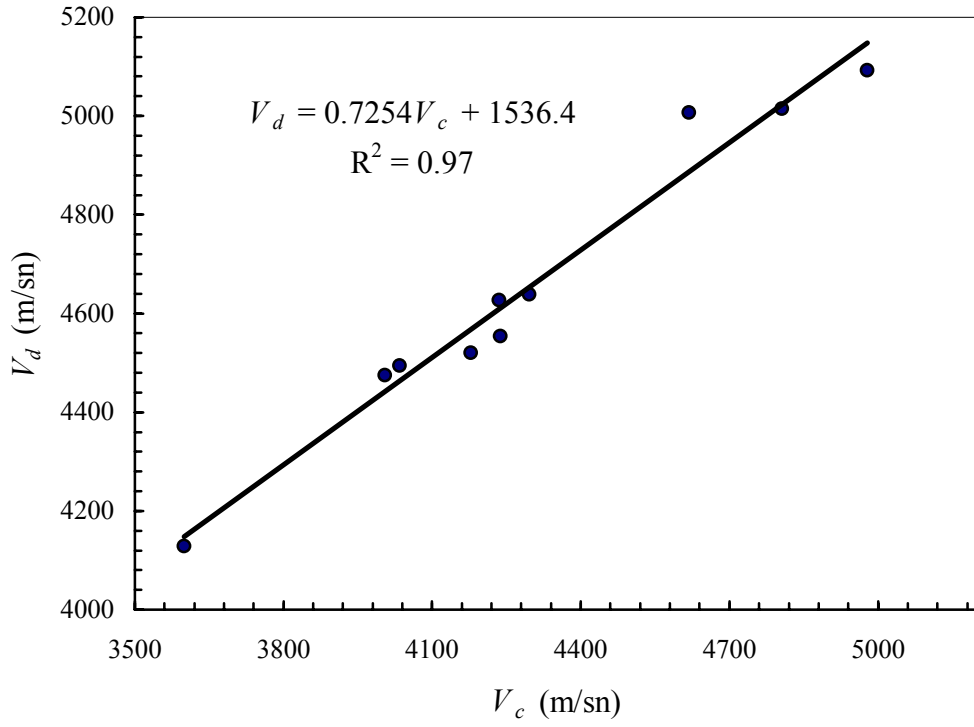
Test sonuçları Şekil 17-19 da gösterilmektedir. Şekil 17, 18, 19 sırasıyla, direk UPV ve beton döküm yönündeki direk olmayan UPV, direk UPV ve yatay yönde olan direk olmayan UPV ve direk UPV ve yarı direk UPV arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Pratikteki hesaplama kolaylığı bakımından, ultrason hızları arasındaki ilişkilerin bulunması için basit bir regresyon modeli seçilmiş ve regresyonlar Çizelge 4.1 de verilmiştir. Çizelge 4.1 de verilen, V_d , V_c , V_h , V_s ifadeleri sırasıyla direk, döküm yönünde direk olmayan, yatay yönde direk olmayan, ve yarı direk UPV değerlerini göstermektedir. R^2 değeri 1'e ne kadar yakın olursa, ultrason hızları arasındaki bağıntılarda o derece gerçekçi sonuçlar vermektedir. Yapılan bu çalışmada, bulunan R^2 değerleri elde edilen bağıntıların güvenli aralıkta olduğunu göstermektedir. Standard sapma değerleri ise, Çizelge 4.1 de verilmiştir.

Direk, direk olmayan(beton döküm yönü ve yatay yönde) ve yarı direk UPV ölçümlerinin karşılaştırılması Çizelge 4.2 de verilmektedir. Direk UPV'nin ortalama değeri, döküm yönünde direk olmayan UPV'nin ortalama değerinden % 9, yatay

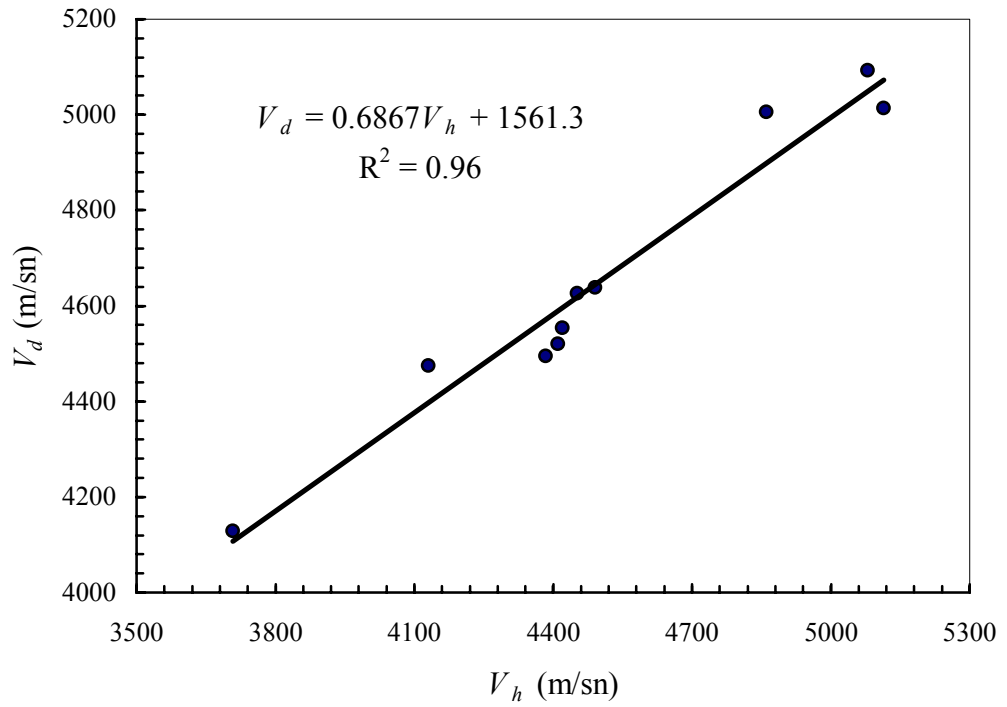
yönde direk olmayan UPV'nin ortalama değerinden % 4 ve yarı direk UPV'nin ortalama değerinden % 4 daha büyük olduğu bulunmuştur. Beton döküm yönüne dik direk olmayan UPV'nin ortalama değeri, döküm yönünde direk olmayan UPV'nin ortalama değerinden %5 daha büyük olmuştur. Bunun nedeni şöyle izah edilebilir. Betondaki su kasma, yerçekiminden dolayı agrega tanelerinin altında bir su tabakası oluşturmaktadır. Agrega altında bulunan bu su tabakası, betonun sertleşmesinden sonra buharlaşarak boşluk bırakmaktadır. Bu sebepten dolayı, bir beton bloğun yatay yöndeki boşluk oranı düşey düzlemdekinden daha yüksek olmaktadır. Bu sebepten dolayıdır ki, döküm yönündeki direk olmayan UPV yatay yöndeki direk olmayan UPV den daha yüksek bulunmuştur.

Çizelge 4.1. UPV ölçümleri arasındaki ilişkiler

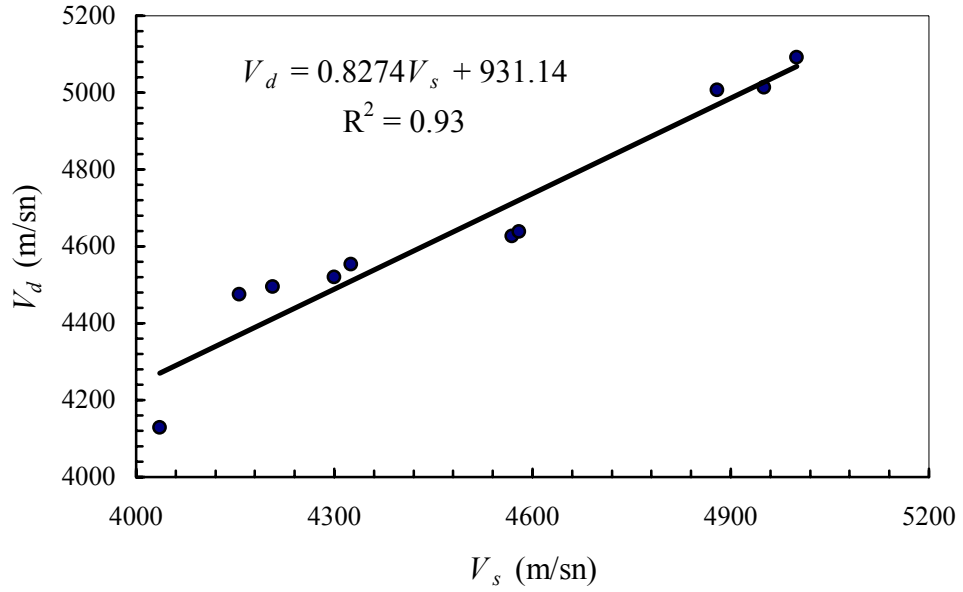
Regressyon denklemi (m/sn)	R ²	Standart sapma
$V_d = 0.7254V_c + 1536.4$	0.97	57
$V_d = 0.6867V_h + 1561.3$	0.96	62
$V_d = 0.8274V_s + 931.14$	0.93	85



Şekil 4.1. Direk UPV ve beton döküm yönünde direk olmayan UPV ilişkisi



Şekil 4.2. Direk UPV ve beton dökümüne dik yönde direk olmayan UPV ilişkisi



Şekil 4.3. Direk ve yarı direk UPV arasındaki ilişki

Çizelge 4.2. Direk, yarı direk, direk olmayan UPV karşılaştırmaları

Karışım no	V_d / V_c	V_d / V_h	V_d / V_s	V_h / V_c
P1	1.15	1.11	1.02	1.03
P2	1.12	1.08	1.08	1.03
P3	1.11	1.03	1.07	1.09
P4	1.08	1.02	1.05	1.06
P5	1.07	1.03	1.05	1.04
P6	1.09	1.04	1.01	1.05
P7	1.08	1.03	1.01	1.05
P8	1.08	1.03	1.03	1.05
P9	1.04	1.00	1.01	1.04
P10	1.02	1.00	1.02	1.02
Ortalama	1.09	1.04	1.04	1.05
Standart sapma ±	0.04	0.03	0.02	0.02

Betonun tahribatsız olarak basınç dayanımını bulmaya yarayan, UPV ve Schmidt çekicinin birlikte kullanıldığı regresyon modelleri değişik araştırmacılar tarafından oluşturulmuştur (Meynink ve Samarin (1979), Tanigawa ve arkadaşları

(1984), Ramyar ve Kol (1996)). Bu çalışmada, betonun basınç dayanımı, UPV ve Schmidt çekici değerleri arasında, Çizelge 4.3 de verilen basit bir regresyon modeli oluşturulmuştur. Burada f_c bir kenarı 15 cm olan küp betonun basınç dayanımı, R Schmidt çekici değeri (MPa) ve V_d ise, direk UPV (m/sn) dir. Bu çalışmadaki regresyon modelinden elde edilen basınç dayanımı değerleri, Meynink ve Samarin (1979), Tanigawa arkadaşları (1984) ve Ramyar ve Kol (1996) tarafından elde edilen basınç dayanımıyla benzerlikler göstermektedir. Böylece, Çizelge 4.3' te verilen regresyon modelleri kullanılarak, direk olmayan veya yarı direk UPV değerleri, direk UPV değerine dönüştürülebilmektedir.

Çizelge 4.3. Beton basınç dayanımında kullanılabilen regresyon modelleri

Araştırmacılar	Regresyon modelleri	R ²
Meynink ve Samarin (1979)	$f_c = -24.6 + 1.42R + 0.029V_d^4$	0.94
Tanigawa arkadaşları (1984)	$f_c = -39.5 + 1.53R + 5.06V_d$	0.94
Ramyar ve Kol (1996)	$f_c = -39.5 + 1.53R + 5.06V_d$	0.94
Tez çalışması	$f_c = -194 + 0.77R + 44.8V_d$	0.98

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Yapılan bu tez çalışmasından aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Beton döküm yönü UPV değerini etkilemektedir. Yatay düzlemdeki agrega ve çimento hamuru arasında oluşan su keseciklerinden dolayı, beton döküm yönündeki UPV değeri, beton döküm yönüne dik olan UPV değerinden daha düşüktür.
2. Beton bloktaki ortalama direk UPV değeri, beton döküm yönündeki direk olmayan ortalama UPV değerinden % 9 daha büyüktür.
3. Beton bloktaki ortalama direk UPV değeri, beton döküm yönüne dik olan yöndeki direk olmayan UPV değerinin ortalamasından % 4 daha büyüktür.
4. Beton bloktaki ortalama direk UPV değeri, yarı direk UPV değeri ortalamasından % 4 daha fazladır.
5. Beton blokta, beton döküm yönüne dik olan direk olmayan ortalama UPV değeri, beton döküm yönünde direk olmayan ortalama UPV değerinden % 5 daha büyüktür.
6. Beton basınç dayanımı, Schmidt çekici ve ultrason hızlarının değerleriyle elde edilen regresyon modeli yardımıyla, mevcut bir yapıdaki betonun basınç dayanımı yaklaşık olarak, pratik bir şekilde bulunabilir.
7. Bu çalışmadan elde edilen en önemli sonuç, ultrason hızı metodunun yaklaşık bir metot olması dolayısıyla, yukarıda bahsedilen direk, direk olmayan ve yarı direk UPV ölçümlerinin birbirine eşit alınabileceği kabulüdür. Böyle bir durumda, elde edilecek beton basınç dayanımları birbirinden çok farklı olmayacaktır.

KAYNAKLAR

- ASTM C597. 1983. Standard Test Method For Pulse Velocity Through Concrete. ASTM, 38p., U.S.A.,
- ASTM C1992. 1992. Standard Test Method For Obtaining And Testing Drilled Cores And Sawed Beams Of Concrete. ASTM, 128p., U.S.A.,
- ASTM C805. 1996. Standard Test Method For Rebound Number Of Hardened Concrete. ASTM, 46p, U.S.A.,
- BS 1881: Part 120. Method For Determination Of Compressive Strength Of Concrete Cores. British Standards Institute, Part 203, London.
- MALHOTRA, M., 1984. In Situ/Nondestructive Testing of concrete. American Concrete Institute, Detroit, pp. 1-16.
- MEYNINK, P., and SAMARIN, A., 1979. Assessment Of Compressive Strength Of Concrete By Cylinders, Cores And Non-Destructive Tests. In: RILEM Symp. Proc. On Quality Control Of Concrete Structures. Swedish Concrete Research Institute, Stockholm, Sweden, Vol 1, pp. 127-134.
- RAMYAR, K., and KOL, P., 1996. Destructive And Non-Destructive Test Methods For Estimating The Strength Of Concrete. Cem Concr World, 2: 46–54.
- TANIGAWA, Y., BABA, K., and MOR, H., 1984. Estimation Of Concrete Strength By Combined Nondestructive Testing Method, Concrete, 1: 57-65.
- TURGUT, P., 2004. Evaluation Of The Ultrasonic Pulse Velocity Data Coming On Field. In: 4th International Conference On NDE In Relation To Structural Integrity For Nuclear And Pressurized Components, May 12-15. pp. 123-128 London, UK.
- TURGUT, P., 2004. Research into the correlation between concrete strength and UPV values. NDT, 12.
- YAMAN, O., INCI, G., YESILLER, N., and AKTAN, M., 2001. Ultrasonic Pulse Velocity In Concrete Using Direct And Indirect Transmission. ACI Mater J., 98(6): 450-457.

ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Şanlıurfa' da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Şanlıurfa'da tamamladı, 2003 yılında Gaziantep Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2004 yılında Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı ve halen aynı bölümde öğrenimine devam etmektedir.

ÖZET

Bu çalışmada, direkt, direkt olmayan ve yarı direkt UPV (Ultrasonic Pulse Velocity) ölçümlerini karşılaştırmak için, küp basınç dayanımları 18.8 ile 79.9 MPa arasında değişen, farklı karışımlara sahip, boyutları $30 \times 30 \times 25 \text{ cm}^3$ olan toplam 30 beton blok üzerinde deneysel bir inceleme yapıldı. İstatistiksel analizler kullanılarak direkt UPV, beton döküm yönünde ve beton döküm yönüne dik doğrultuda direkt olmayan UPV ve yarı direkt UPV ölçümleri arasında korelasyonlar yapıldı. İstatistiksel analizler sonucunda, ortalama direkt UPV değerinin, beton döküm yönündeki direkt olmayan UPV' den % 9, yatay yöndeki direkt olmayan UPV' den % 4 ve yarı direkt UPV' den % 4 kadar daha büyük olduğu ortaya çıkmıştır. Yatay yönde direkt olmayan UPV değerinin, döküm yönündeki değerden % 5 daha büyük olduğu bulundu. Böylece, bu çalışmada elde edilen regresyon denklemleriyle, direkt olmayan veya yarı direkt UPV' yi, direkt UPV' ye dönüştürerek, Schmidt çekici sayısı ve direkt UPV' li regresyon modellerinden herhangi birisi betonun basınç dayanımının bulunmasında kullanılabilir.

SUMMARY

An experimental study was conducted to compare direct, indirect and semi direct UPV measurements on the total 30 concrete blocks with $30 \times 30 \times 25 \text{ cm}^3$ size having the different mix batches and the cube compressive strength grades varying between 18.8 and 79.9 MPa. The correlations were established between the direct UPV and indirect UPV on the concrete casting direction as well as on the horizontal direction and semi direct UPV measurements by using the statistical analysis. The statistical analysis revealed that the average value of direct UPV is 9 %, 4 %, and 4 % higher than the average values of indirect UPV on the casting direction, indirect UPV on the horizontal direction and semi direct UPV, respectively. The average value of indirect UPV on the horizontal direction was found 5 % higher than that of the casting direction. Thus, by converting indirect or semi direct UPV to direct UPV with using the regression equations obtained in this study, any regression models with Schmidt rebound number and direct UPV can be used to predict compressive strength of concrete.