

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SİLİS DUMANI İÇEREN YÜKSEK DAYANIMLI BETONLARIN BASINÇ
DAYANIMLARININ HASARSIZ OLARAK BULUNMASI**

Mahmut Nedim OKUYAN

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ŞANLIURFA
2007**

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SİLİS DUMANI İÇEREN YÜKSEK DAYANIMLI BETONLARIN BASINÇ
DAYANIMLARININ HASARSIZ OLARAK BULUNMASI**

Mahmut Nedim OKUYAN

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ŞANLIURFA
2007**

Yrd. Doç. Dr. Paki TURGUT danışmanlığında, Mahmut Nedim OKUYAN'ın hazırladığı "Silis Dumanı İçeren Yüksek Dayanımlı Betonların Basınç Dayanımlarının Hasarsız Olarak Bulunması" konulu bu çalışma 22/01/2007 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. Mahmut KÖMÜR

Üye : 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: 639

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. KURAMSAL TEMELLER	7
3. MATERYAL ve YÖNTEM	10
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	20
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	24
KAYNAKLAR	25
ÖZGEÇMİŞ	26
ÖZET	27
SUMMARY	28

ÖZ

Yüksek Lisans Tezi

SİLİS DUMANI İÇEREN YÜKSEK DAYANIMLI BETONLARIN BASINÇ DAYANIMLARININ HASARSIZ OLARAK BULUNMASI

Mahmut Nedim OKUYAN

**Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği**

**Danışman : Yrd. Doç. Dr. Paki TURGUT
Yıl: 2007, Sayfa: 28**

Farklı karışım oranlarında silis dumanı ihtiva eden $30 \times 30 \times 25 \text{ cm}^3$ 'lük 3 beton blok üzerinde, direkt, direkt olmayan ve yarı-direkt UPV (Ultrasonic Pulse Velocity) ölçümlerini karşılaştırmak için deneysel bir çalışma yapılmıştır. Aynı karışım parametreleri kullanılarak 40 cm çapında ve 25 cm yüksekliğinde 3 beton silindir hazırlandı. Beton blokların direkt, direkt olmayan ve yarı-direkt UPV değerleri karşılaştırıldığında birbirlerine yaklaşık olarak benzedikleri bulunmuştur. Betonarme silindirlerin çevresel yüzeyinde yapılan UPV ölçümlerinin hatasız olması için verici ve alıcı arasındaki en az mesafe 28 cm olarak bulunmuştur.

ANAHTAR KELİMELELER : Beton; basınç dayanımı; ultrason; tahribatsız muayene

ABSTRACT

MSc Thesis

DETERMINATION OF COMPRESSIVE STRENGTH OF HIGH STRENGTH CONCRETE CONTAINING SILICA FUME BY NONDESTRUCTIVE TESTING

Mahmut Nedim OKUYAN

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

**Supervisor : Assist. Prof. Dr. Paki TURGUT
Year: 2007, Page: 28**

An experimental study was conducted to compare direct, indirect and semi direct UPV (Ultrasonic Pulse Velocity) measurements on the total 3 concrete blocks with $30 \times 30 \times 25 \text{ cm}^3$ size containing silica fume in different mix proportions. Using the same concrete mix parameters, 3 concrete cylinders with 40 cm diameter and 25 cm height were prepared. When compared the direct, indirect and semi direct UPV values of concrete blocks, they were found to be approximately similar each other. In the UPV measurements made in the circumference of concrete cylinders, the minimum distance between the emitter and receiver was found to be 28 cm for eliminating errors.

KEYWORDS: Concrete; compressive strength; ultrasonic; nondestructive testing

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıŐmasının yapılmasında yardımlarını esirgemeyen tez danıŐmanım Yrd.Doç.Dr. Paki Turgut'a, teze maddi katkılarında dolay HÜBAK Başkanlığına, TEİ Ortak GiriŐimine ve cihazlarından istifade edilen TÜBİTAK'a teŐekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Silis dumanı ve çimentonun elektron mikroskobu ile büyütülmüş görüntüleri.....	3
Şekil 1.2. Geçiş bölgesinin şematik gösterimi.....	4
Şekil 1.3. Silis dumanı içermeyen betonun elektron mikroskobunda büyütülmüş hali.....	5
Şekil 1.4. Silis dumanı ihtiva eden beton	5
Şekil 1.5. Silis dumanı ihtiva bir beton numunesinin test edilmesi	5
Şekil 1.6. Silis dumanı muhtevasına bağlı mukavemet değişimi	6
Şekil 2.1. Ultrason cihazının çalışma prensibi	9
Şekil 2.2. Ultrason cihazı	9
Şekil 2.3. Beton üzerinde ultrason ölçümleri	9
Şekil 3.1. Karışımda kullanılan agrega ve sınır değerlerine ait gradasyon eğrileri	12
Şekil 3.2. Agrega elek analizi.....	12
Şekil 3.3. Silindirik ve prizmatik numune kalıpları	13
Şekil 3.4. Beton karışımının hazırlanması.....	14
Şekil 3.5. Beton karışımının kalıplara yerleştirilip, sıkıştırılması	14
Şekil 3.6. Ultrason hızı ölçümleri.....	16
Şekil 3.7. Direkt, yarı direkt ve direkt olmayan ultrason hızı ölçümleri	16
Şekil 3.8. Silindirik numune üzerinde UPV ölçümleri.....	16
Şekil 3.9. Karot makinesi ve karot alma işlemi.....	17
Şekil 3.10. Prizmatik numuneler ve alınan karotlar	17
Şekil 3.11. Karot başlarının elmas testere yardımıyla kesilmesi	18
Şekil 3.12. Arşimet terazisinde birim ağırlıkların bulunması.....	18
Şekil 3.13. 80 ton kapasiteli servo kontrollü pres ve beton karot.....	19
Şekil 4.1. Prizmatik beton numuneler üzerinde yapılan UPV ölçümleri.....	21
Şekil 4.2. Silindirik beton numuneler üzerinde yapılan UPV ölçümleri	23

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 3.1. Beton karışım oranları.....	13
Çizelge 3.2. Beton örneklerin basınç dayanımları ve birim ağırlıkları.....	19
Çizelge 4.1. Prizmatik numunelerde direkt, yarı direkt, direkt olmayan UPV karşılaştırmaları.....	21
Çizelge 4.2. Silindirik numune çevresindeki UPV karşılaştırmaları.....	22

SİMGELER DİZİNİ

%	Yüzde
µs	Mikrosaniye
ACI	American Concrete Institute
ASTM	American Society of Testing Materials
BS	British Standards
cm	Santimetre
cm ³	Santimetreküp
dm ³	Desimetreküp
Gr	Gram
kg	Kilogram
kHz	Kilohertz
Km	kilometre
mm	Milimetre
MPa	Megapascal
P	Basınç
PÇ	Portland Çimentosu
SEM	Scanning Electron Microscope
TS	Türk Standartları
UPV	Ultrasonic Pulse Velocity
<i>Dyd</i>	Döküm yönünde direkt
<i>Dydd</i>	Döküm yönüne dik direkt
<i>Dydy</i>	Döküm yönüne dik yüzeysel
<i>Dyy</i>	Döküm yönünde yüzeysel
<i>Yd</i>	Yarı direkt

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 kıstaslardan 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 da 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 olarak yaklaşık bir şekilde beton basınç dayanımının bulunmasında kullanılmaktadır. 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 (Küçük, 2006).

Tahribatsız beton dayanımı test yöntemleri, günümüzde oldukça güncel olan bir konudur (Malhotra, 1984). Ultrason hızı yöntemiyle (UPV), sahadaki betonların kalitesi yaklaşık olarak tespit edilebilmektedir. Betonun basınç dayanımı ile direkt 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

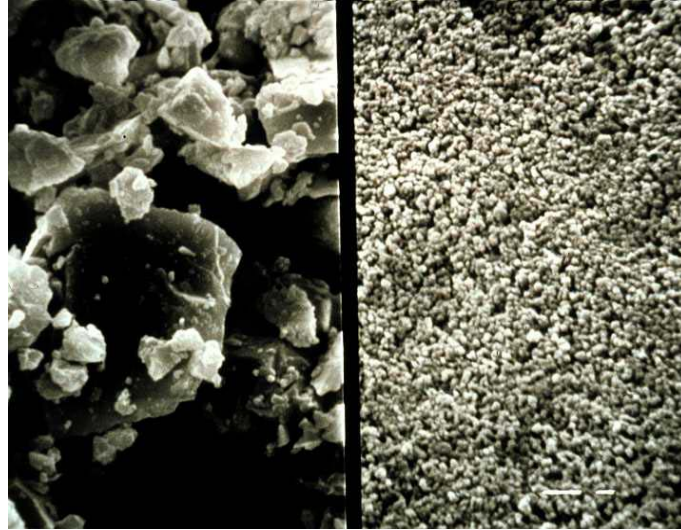
numuneler üzerinde ultrason hızı ve basınç dayanımı testleri yapmıştır. Bu çalışmanın neticesinde, ultrason hızı yönteminin tek başına ancak % 80 doğrulukla beton basınç dayanımının tespit edilebileceğini bulmuştur. Yani, bu metotta % 20 hata payı bulunmaktadır. Ultrason metodunun yalnız başına kullanılmasından 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; Turgut ve Küçük, 2006).

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, direkt, direkt olmayan ve yarı direkt ultrason hızlarının karşılaştırmasına ait sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Daha önce yapılmış olan çalışmaların bir kısmında direkt ile direkt olmayan UPV hızlarının birbirinden farklı (direkt UPV, direkt olmayan UPV'den daha büyük) (Quixan ve Bungey, 1996), bir kısmında da istatistiksel olarak aynı olduğundan bahsedilmektedir (Yaman ve ark., 2001; Turgut ve Küçük, 2006). Bu konuda araştırmacılar arasında tam bir anlaşma sağlanmamasına rağmen, yapılan son çalışmalar, direkt UPV ve direkt olmayan UPV değerlerinin istatistiksel olarak birbirine eşit olduğu yönündedir. Çünkü UPV yöntemi yaklaşık bir yöntem olduğu için, % 3 veya % 5 gibi küçük farklar beton gibi homojen olmayan malzemeler için pek önemli olmamaktadır. ASTM C 597-83 (Anonymous, 1991) veya bu konuyla ilgili standartlarda, direkt, direkt olmayan ve yarı direkt ultrason hızları arasındaki ilişkilerin ne olduğu konusunda herhangi bir bilgi de bulunmamaktadır.

Bu tez çalışmasında, silis dumanı içeren prizmatik beton numunelerinde direkt olmayan ve yarı direkt ultrason hızı ölçümleri, direkt ultrason hızı ölçümleriyle

karşılaştırılmıştır. Ayrıca prizmatik numunelerde kullanılan beton karışım oranları kullanılarak, 40 cm çapında ve 25 cm yüksekliğinde silindirik numuneler hazırlanmış ve UPV değerlerinin değişimi incelenmiştir. Silis dumanı içeren betonlarda, betonun içindeki boşluklar silis dumanı ile doldurulduğundan, direkt, direkt olmayan ve yarı direkt ultrason ölçümlerindeki hız değerleri daha üniform olmuştur.

Bu çalışmada silis dumanı içeren beton numuneler üzerinde çalışma yapılmasının nedeni silis dumanının betonun özellikleri üzerindeki etkisidir. Amerikan Beton Enstitüsü (ACI) silis dumanını, silisyum elementi veya silisyum ihtiva eden alaşımların üretimi sırasında fırınlardan yan ürün olarak çıkan çok ince, kristal olmayan silis olarak tanımlamaktadır. Kimyasal olarak amorf silis olarak tanımlanmaktadır (Anonymous, 2000).

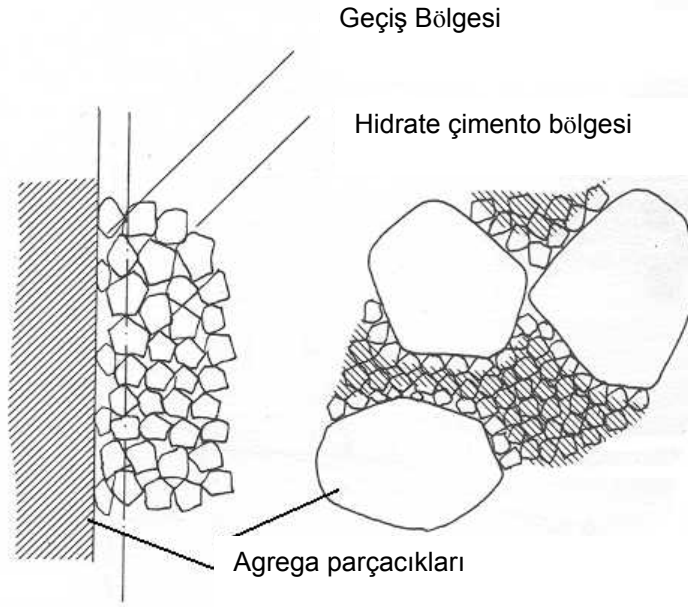


Şekil 1.1. Silis dumanı ve çimentonun elektron mikroskobu ile büyütülmüş görüntüleri

Silis dumanı beton içerisinde fiziksel ve kimyasal olarak iki etki yapmaktadır. Fiziksel olarak beton içindeki çok küçük boşlukları doldurur. Kimyasal olarak ise silis dumanı puzolanik bir malzemedir. Amerikan beton enstitüsü puzolanik malzemeyi, kendi başına bağlayıcı vasfı olmayan ancak çok ince olarak öğütülmüş şekilde ve ortamda rutubet varlığında sıradan sıcaklıklarda kalsiyum hidroksit ile kimyasal olarak tepkimeye girerek çimentolayıcı özelliklere haiz bileşikler oluşturan silisli veya silisli ve aliminyumlu bir malzeme olarak tanımlamaktadır. Çimento su

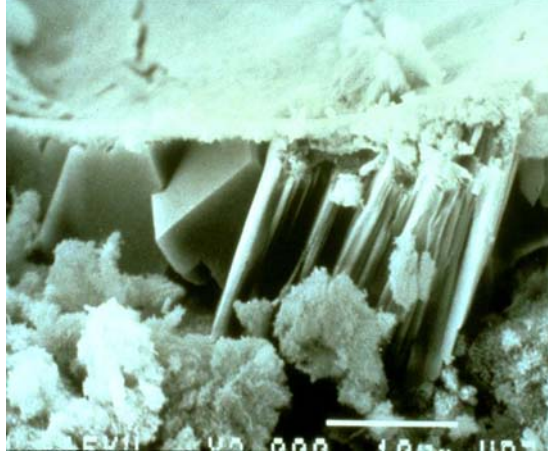
ile tepkimeye girerek kalsiyum silikat hidrat ve kalsiyum hidroksit oluşturmaktadır. Silis dumanı çıkan kalsiyum hidroksit ve ortamdaki su ile tepkimeye girerek kalsiyum silikat hidrat oluşturmaktadır.

Beton içindeki çimento macunuyla agrega parçacıkları arasındaki ince tabakaya geçiş bölgesi denir. Bu bölge betondaki en zayıf ve en geçirgen bölgedir. Silis dumanı geçiş bölgesinde bölgenin hem kimyasal hem de fiziksel özelliklerinde önemli rol oynar. Silis dumanı geçiş bölgesindeki zayıflıkları gidermektedir. Şekil 1.2'de geçiş bölgesi gösterilmektedir.



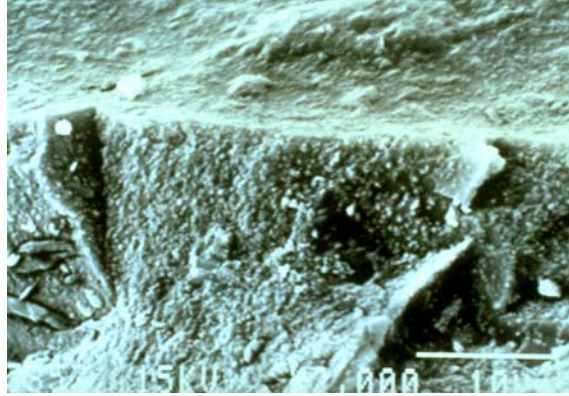
Şekil 1.2. Geçiş bölgesinin şematik gösterimi

Şekil 1.3'te 1 günlük harçtan koparılmış kum zerresinin oluşturduğu oyuk gösterilmektedir. Kum zerresi başta resmin üst kısmındaydı. Boşluklu yapı ve bu bölgedeki kalsiyum hidroksit kristalleri görülmektedir.



Şekil 1.3. Silis dumanı içermeyen betonun elektron mikroskopunda büyütülmüş hali

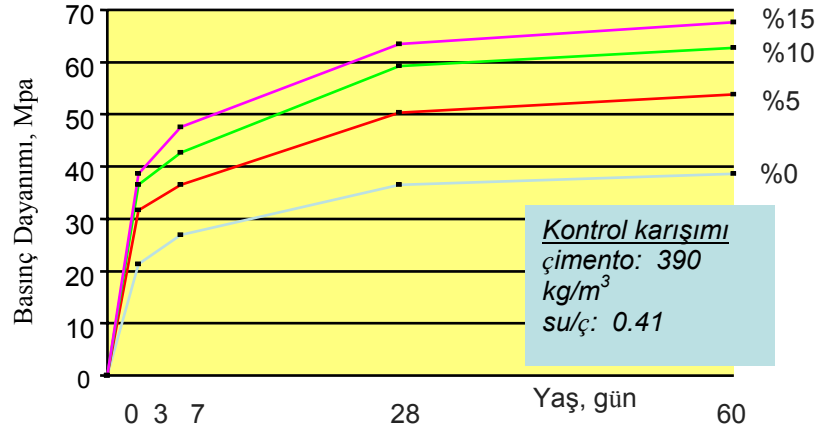
Şekil 1.4'te silis dumanı ihtiva eden 28 günlük harçtan koparılmış kum zerresinin oluşturduğu oyuk gösterilmektedir. Kum zerrisi başta resmin üst kısmındaydı. Önceki resimde görülen boşluklu yapı ve kristaller görülmemektedir.



Şekil 1.4. Silis dumanı ihtiva eden beton



Şekil 1.5. Silis dumanı ihtiva eden bir beton numunesinin test edilmesi



Şekil 1.6. Silis dumanı muhtevasına bağlı mukavemet değişimi

2. KURAMSAL TEMELLER

Ultrasonik 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.

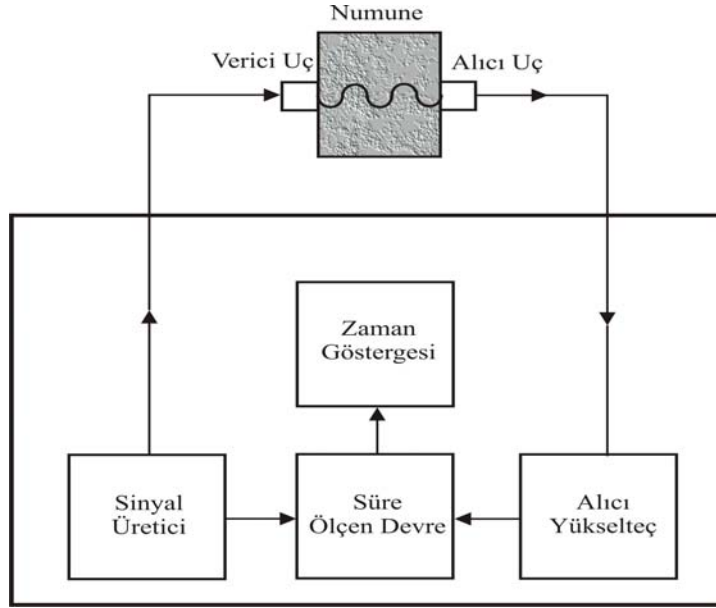
Şekil 2.1’de, ultrasonik hız cihazının çalışma şeması gösterilmektedir. Ultrasonik hız cihazının alıcı ve verici uçları beton numune yüzeyine, arada gres yağı kullanılarak elle bastırılmaktadır. Verici uçtan çıkan ses hızı dalgaları betonun içerisinden hareket edip, alıcı uca ulaşmaktadır. Bu esnada, verici uçtan alıcı uca olan geçme süresi elektronik bir devre yardımıyla bulunmaktadır. ASTM C597–83’te, ultrasonik hız ile ilgili bilgiler detaylı bir şekilde verilmekte olup, betonlara uygulama şekli anlatılmaktadır (Anonymous, 1991). 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 2.2 de, bu çalışmada kullanılan ultrason hızı cihazı gösterilmektedir.

Şekil 2.3’te, beton üzerindeki ultrason ölçümleri gösterilmektedir. Şekil 2.3a’da, direkt UPV ölçümü gösterilmektedir. Bu ölçümde, ultrason cihazının verici ve alıcı uçları karşılıklı olarak tutulmaktadır. Şekil 2.3b’de, yarı direkt UPV ölçümü gösterilmektedir. Bu ölçüm şeklinde ise, alıcı ve verici uçlar arasındaki açı 90° olmaktadır. Şekil 2.3c’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, gradasyonu, 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. Kütleme 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.

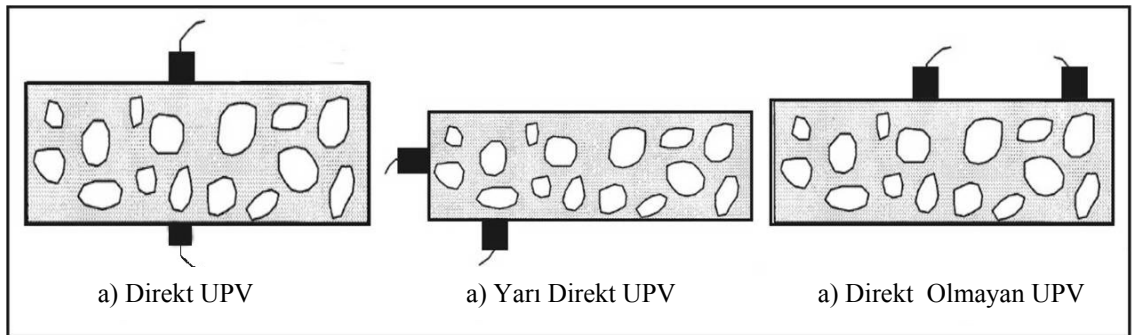
Ultrason hızı metodu, betonda ayrışma olup olmadığının tespitinde kullanılan en etkili yöntemdir. Ultrason hızı yöntemi, beton testinde kısa sürede yaklaşık sonuçlar alınabilen tahribatsız bir yöntemdir. Ayrıca, erken yaşta betondaki dayanım gelişiminin bu yöntemle bulunması oldukça ilgi çekici bir konudur.



Şekil 2.1. Ultrason cihazının çalışma prensibi



Şekil 2.2. Ultrason cihazı



Şekil 2.3. Beton üzerinde ultrason ölçümleri

3. MATERYAL ve YÖNTEM

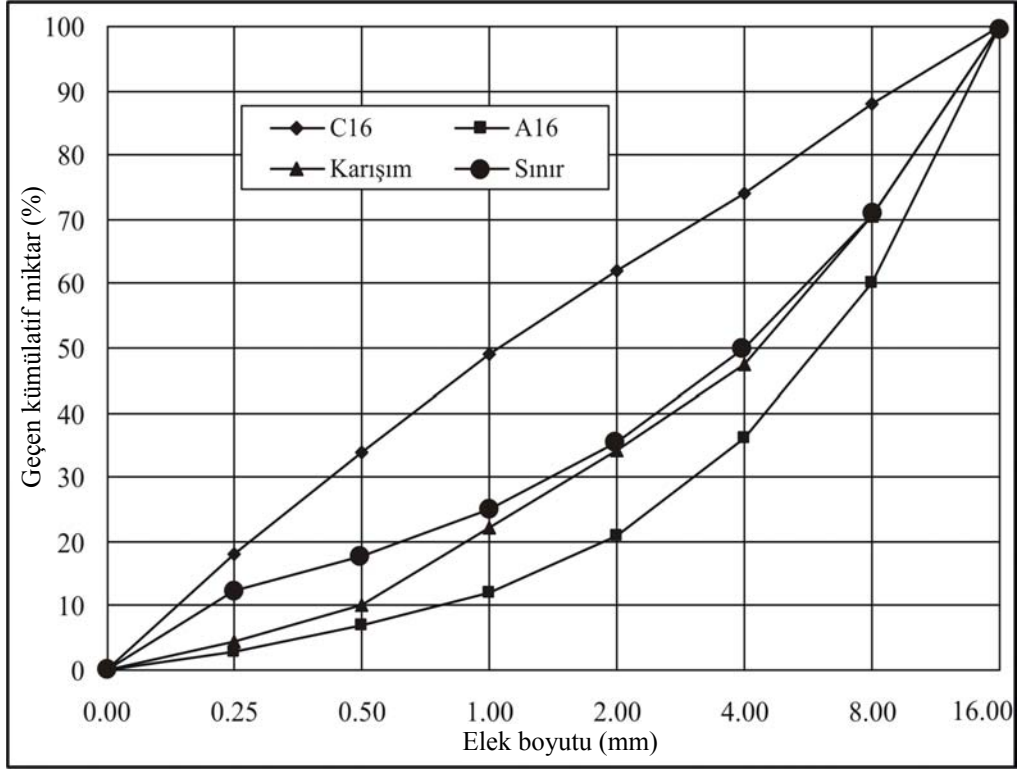
Bu çalışmada, betonda direkt, direkt olmayan ve yarı direkt UPV ölçümlerini yapmak için portatif TIKO marka ultrason hızı cihazı kullanılmıştır. Cihaz ultrason dalgasının geçiş süresini 0.1 μ s duyarlılıkta ve 0.1 μ s–9999.9 μ s arasında ölçebilmektedir. Kullanılan ultrasonun verici ve alıcı başlıklarının çapı 50 mm olup, frekansı 54kHz dir. Deneylere başlamadan önce, bu cihazın kalibrasyonu yapılmıştır.

Betonda direkt, yarı direkt ve direkt olmayan ultrason hızlarının karşılaştırılmasıyla ilgili sınırlı sayıda çalışma yapılmıştır. Yalman ve arkadaşları (2001), basınç dayanımı 41 MPa olan 2 adet beton plak üzerinde, direkt ve direkt olmayan UPV değerlerini karşılaştırmışlar ve istatistiksel olarak bu değerlerin birbirine eşit olduğunu bulmuşlardır. Turgut ve Küçük (2006), küp basınç dayanımları, 18.8 MPa ile 79.9 MPa arasında değişen betonlar üzerinde, direkt, direkt olmayan ve yarı direkt UPV değerlerini karşılaştırmış ve elde edilen hız değerlerinin birbirine yaklaşık olarak eşit kabul edilebileceğini göstermişlerdir. Turgut ve Küçük (2006), bu çalışmada aynı zamanda ilk kez beton döküm yönünün UPV üzerine etkisini araştırmış ve beton döküm yönündeki hızın, beton döküm yönüne dik olan hızdan daha düşük olduğunu göstermişlerdir. Yapılan literatür taramasında, silis dumanı içeren prizmatik beton numunelerde, UPV değerlerinin beton döküm yönünde, beton döküm yönüne dik yönde, direkt, yarı direkt ve direkt olmayan durumlarda nasıl değiştiği konusunda herhangi bir bilgiye rastlanmamıştır. Ayrıca silindirik beton numunelerde UPV değerlerinin nasıl değiştiği de, ilk defa yapılan bu çalışma ile bulunmuştur.

Betonun yapısından kaynaklanan hataları ortadan kaldırmak için, bu çalışmada yeterli büyüklükte olan 30×30×25 cm³ boyutunda prizma şeklinde beton bloklar döküldü. Çapı 40 cm ve yüksekliği 25 cm olan silindirik kalıplar içerisinde ise, silindir beton numuneler dökülmüştür. Bu çalışmada kullanılan Portland

çimentosunun cinsi PÇ-52.5 olup, Tokat Lafarge Çimento Fabrikası'ndan getirildi. Kullanılan çimentonun 28 günlük basınç dayanımı 52.5 MPa'dır. Karışımda kullanılan agreganın maksimum tane çapı 16 mm dir. İri ve ince agregalar Adıyaman ilinin Göksu nehrinden getirilmiştir. İri agreganın doygun yüzey kurusu birim ağırlığı sırasıyla 2.68 gr/cm³ ve ince agreganın ise, 2.65 gr/m³ tür. İri agreganın sıkışık kuru birim ağırlığı 1.60 gr/cm³ tür. Beton karışımında kullanılan iri ve ince agreganın gradasyon eğrileri Şekil 3.1'de gösterilmektedir. Kullanılan iri ve ince agregalar TS 706'da verilen sınır değerlerini sağlamaktadır. Agregada üzerinde yapılan elek analizi, Şekil 3.2'de gösterilmektedir.

Beton karışımlarında kullanılan malzemelerin miktarları Çizelge 3.1'de verilmektedir. Bu çalışmada, her bir karışım için 1 adet beton bloğu olmak üzere, toplam hazırlanan numune sayısı 3 adettir. Şekil 3.3'te gösterilen çelik beton kalıbının iç boyutları 30×30×25 cm³ olup, et kalınlığı 4 mm dir. Şekil 3.3'te gösterilen, silindirik kalıpların iç boyutları, 40 cm çapında ve 25 cm yüksekliğinde olup, kalıp sacının et kalınlığı 4 mm'dir. Beton karışımında, 50 dm³'lük beton mikseri kullanılmıştır. Mikser içerisine konulan malzemeler yaklaşık olarak 5 dakika karıştırılmıştır. Şekil 3.4'te gösterildiği gibi, 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. Karışımında kullanılan agrega ve sınır değerlerine ait gradasyon eğrileri



Şekil 3.2. Agrega elek analizi

Çizelge 3.1. Beton karışım oranları

Karışım No.	Su (kg)	Çimento (kg)	$\frac{\text{Su}}{\text{Çimento}}$	İnce agrega (kg)	Kaba agrega (kg)	Silis (kg)	Akışkanlaştırıcı (kg)
P1 (S1)	159.0	500.0	0.32	989.3	839.7	30.0	5.0
P2 (S2)	173.5	794.0	0.22	769.9	653.4	119.1	11.9
P3 (S3)	165.0	600.0	0.28	913.3	775.1	60.0	6.0



Şekil 3.3. Silindirik ve prizmatik numune kalıpları



Şekil 3.4. Beton karışımının hazırlanması



Şekil 3.5. Beton karışımının kalıplara yerleştirilip, sıkıştırılması

300 mm genişliğinde, 300 mm yüksekliğinde ve 250 mm uzunluğundaki prizmatik beton bloklar ve silindirik numuneler üzerinde yapılan ultrason ölçümleri Şekil 3.6'da gösterilmektedir. Direkt, direkt olmayan ve yarı direkt UPV ölçümleri 28 günlük beton bloklar üzerinde yapılmıştır. Prizmatik numuneler üzerinde yapılan, direkt, direkt olmayan ve yarı direkt UPV ölçümleri ve ölçüm mesafeleri Şekil 3.7'de gösterilmektedir. Direkt, direkt olmayan ve yarı direkt UPV ölçümleri her bir beton

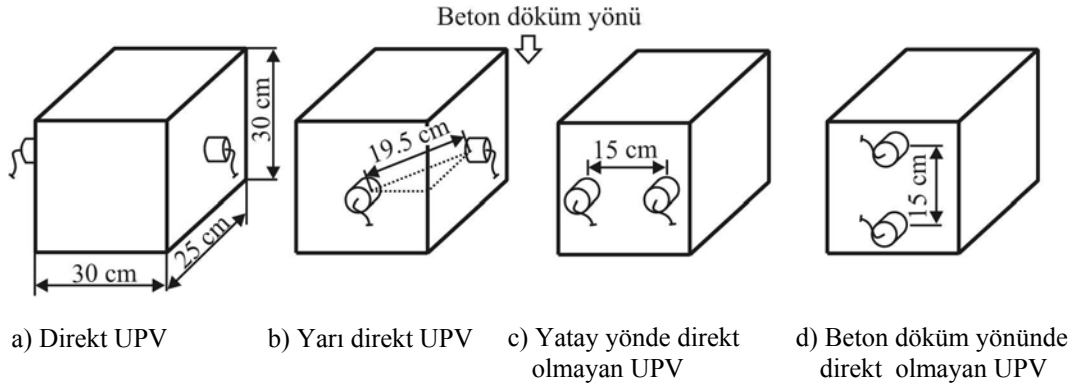
bloğunda 6 farklı kısımda yapılmış ve bu değerlerin ortalaması alınmıştır. Direkt UPV ölçümünde, ultrason hızının bulunduğu mesafe 300 mm, yarı direkt UPV ölçümünde 195 mm ve direkt olmayan UPV ölçümünde ise 150 mm olmuştur. Bu uzunluklar 0.1 mm hassasiyetle ölçülmüştür. Silindirik numuneler üzerinde yapılan ölçüm noktaları Şekil 3.8’de gösterilmektedir.

Beton bloklar üzerinde ultrason 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 3.9’de gösterilmektedir. Şekil 3.10’da ise, karot alınan prizmatik numuneler ve karotlar 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, Şekil 3.11’de gösterilen elmas testere kullanılarak yapılmıştır. Karot alma işleminden sonra ise, karot numuneler fırında 105 °C’ de kurutulduktan sonra, birim ağırlıkları Şekil 3.12’de gösterilen Arşimet terazisi kullanılarak bulunmuştur. Alınan karot numunelerin basınç dayanımlarının bulunması işleminde, ASTM C42–90 yönetmeliği kullanılmıştır (Anonymous, 1992). Karot numuneler, kapasitesi 80 ton olan servo kontrollü preste kırılmıştır. Deneyde kullanılan beton presi ve numune Şekil 3.13’te gösterilmektedir. Elde edilen beton basınç dayanımları 1.25 katsayısıyla çarpılarak bir kenarı 15 cm olan küp numuneye dönüştürülmüştür (Anonymous, 1983).

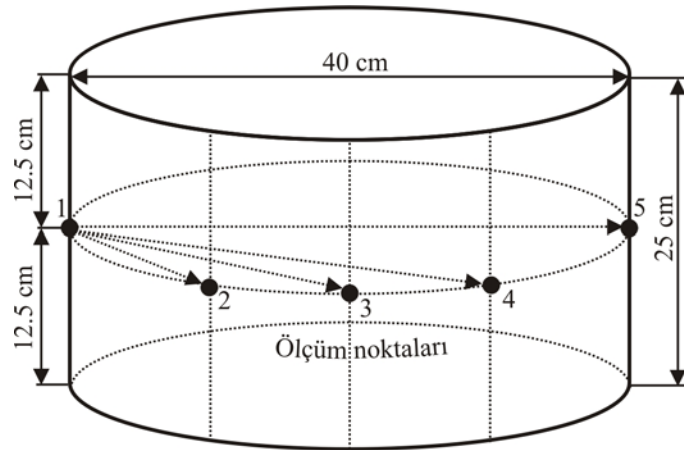
Beton basınç dayanımı ve birim ağırlık testlerinden elde edilen değerler Çizelge 3.2’de verilmektedir. Çizelge 3.2’de, prizmatik numuneler P ve silindirik numuneler ise S harfi ile gösterilmektedir. Hem prizmatik numunelerde hem de silindirik numunelerde sıralı olarak aynı beton karışım oranları ve kür şartları sağlandığından, sadece prizmatik numuneler üzerinde elde edilen basınç dayanımları ve birim ağırlıklar verilmiştir. Seride bulunan her numune için 3 adet karot üzerinden ölçümler alınmış ve ortalama değerleri Çizelge 3.2’de verilmektedir. Bu çalışmada kullanılan silis dumanı içeren betonların basınç dayanımları 69.17 ile 80.92 MPa ve birim ağırlık değerleri de 2.40 ile 2.49 arasında değişmektedir.



Şekil 3.6. Ultrason hızı ölçümleri



Şekil 3.7. Direkt, yarı direkt ve direkt olmayan ultrason hızı ölçümleri



Şekil 3.8. Silindirik numune üzerinde UPV ölçümleri



Şekil 3.9. Karot makinesi ve karot alma işlemi



Şekil 3.10. Prizmatik numuneler ve alınan karotlar



Şekil 3.11. Karot başlarının elmas testere yardımıyla kesilmesi



Şekil 3.12. Arşimet terazisinde birim ağırlıkların bulunması



Şekil 3.13. 80 ton kapasiteli servo kontrollü pres ve beton karot

Çizelge 3.2. Beton örneklerin basınç dayanımları ve birim ağırlıkları

Testler	Küp dayanımı (MPa)			Birim ağırlık (gr/cm ³)		
	P1 (S1)	P2 (S2)	P3 (S3)	P1 (S1)	P2 (S2)	P3 (S3)
1	73.75	76.25	72.50	2.48	2.48	2.41
2	65.00	80.25	78.75	2.50	2.47	2.40
3	68.75	86.25	72.88	2.49	2.46	2.40
Ortalama	69.17	80.92	74.71	2.49	2.47	2.40

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu çalışmada, silis dumanı içeren değişik beton basınç dayanımları ve farklı beton karışımlarına sahip prizmatik numuneler üzerinde yapılan ölçümlerden elde edilen direkt, direkt olmayan ve yarı direkt UPV ölçümleri, beton döküm yönü de dikkate alınarak karşılaştırılmıştır. Yine bu çalışmada, silis dumanı içeren beton karışımlarından yapılan silindirik numunelerin çevresi boyunca, ultrason cihazının verici ucu sabit tutulmuş ve mesafeler artırılarak alıcı ucun yerleri değiştirilmesi sonucunda, UPV değerlerinde meydana gelen değişimler incelenmiştir.

Prizmatik beton numuneler üzerinde yapılan ölçümler, Şekil 4.1’de gösterilmektedir. Bu ölçümlerden elde edilen ortalama değerler ve karşılaştırmalar Çizelge 4.1’de verilmektedir. Çizelge 4.1’de, silis dumanı içeren betonlarda, döküm yönüne dik direkt (*Dydd*), döküm yönünde direkt (*Dyd*), döküm yönünde yüzeysel (direkt olmayan) (*Dyy*), döküm yönüne dik yüzeysel (direkt olmayan) (*Dydy*) ve yarı direkt (*Yd*) UPV hızları karşılaştırılmıştır.

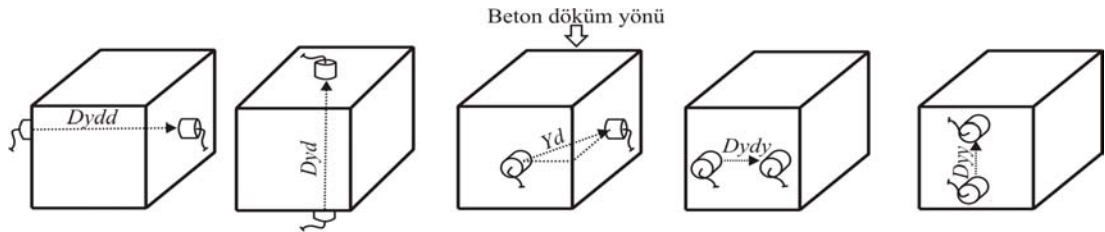
Dydd UPV değeri ortalama olarak *Dyd* UPV değerinden % 2 daha küçük olmaktadır. Yapılan çalışmada, silis dumanının beton döküm yönündeki agregalar altında oluşacak olan su keseciklerini ve buna bağlı olarak boşluk miktarını azalttığı söylenebilir.

Dydy UPV değeri ortalama olarak *Dyy* UPV değerinden % 2 daha büyük olmaktadır. Turgut ve Küçük (2006) tarafından yapılan çalışmada bu değer % 5’tir. Normal betonlarda, döküm yönünde agregalar altında su keseciklerinden dolayı oluşacak olan boşluklar, bu çalışmada silis dumanı kullanılan numunelerde oluşmamakta ve *Dyy* ile *Dydy* UPV değerleri arasındaki fark azalmaktadır. Her iki yöndeki direkt olmayan UPV değerlerinin birbirine eşit olduğu kabul edilebilmektedir.

Silis dumanı içeren betonlarda, Y_d UPV değeri ortalama olarak $Dydd$ UPV değerinden % 5 daha büyük bulunmuştur. Ancak Turgut ve Küçük (2006) tarafından yapılan çalışmada, normal betonlarda Y_d UPV değeri $Dydd$ UPV değerinden % 5 daha küçük bulunmuştur. Bu durum, silis dumanı içeren betonlarda, silis dumanının betonu kalıba yerleştirme esnasında, kolonların köşe noktalarında birikmiş olmasından kaynaklanabilir. Bu durumun tam olarak belirginleştirilebilmesi için, silis dumanı içeren numune kesitinin SEM (Scanning Electron Microscope) ile incelenmesine gerek duyulacaktır. Ancak UPV yöntemi, beton gibi homojen olmayan malzemelerin testinde yaklaşık bir değer verdiği için Y_d ve $Dydd$ UPV değerleri arasındaki fark çok önemli olmamakta ve birbirine eşit kabul edilebilmektedir.

Silis dumanı içeren numunelerde, $Dydd$ UPV değeri $Dydy$ UPV değerinden ortalama olarak % 3 daha büyük olmuştur.

$Dydd$ UPV değeri ise, Dyy UPV değerinden % 6 kadar daha büyük olmaktadır. Bu oran Turgut ve Küçük (2006) tarafından normal betonlar üzerinde yapılan çalışmada % 9 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.1. Prizmatik beton numuneler üzerinde yapılan UPV ölçümleri

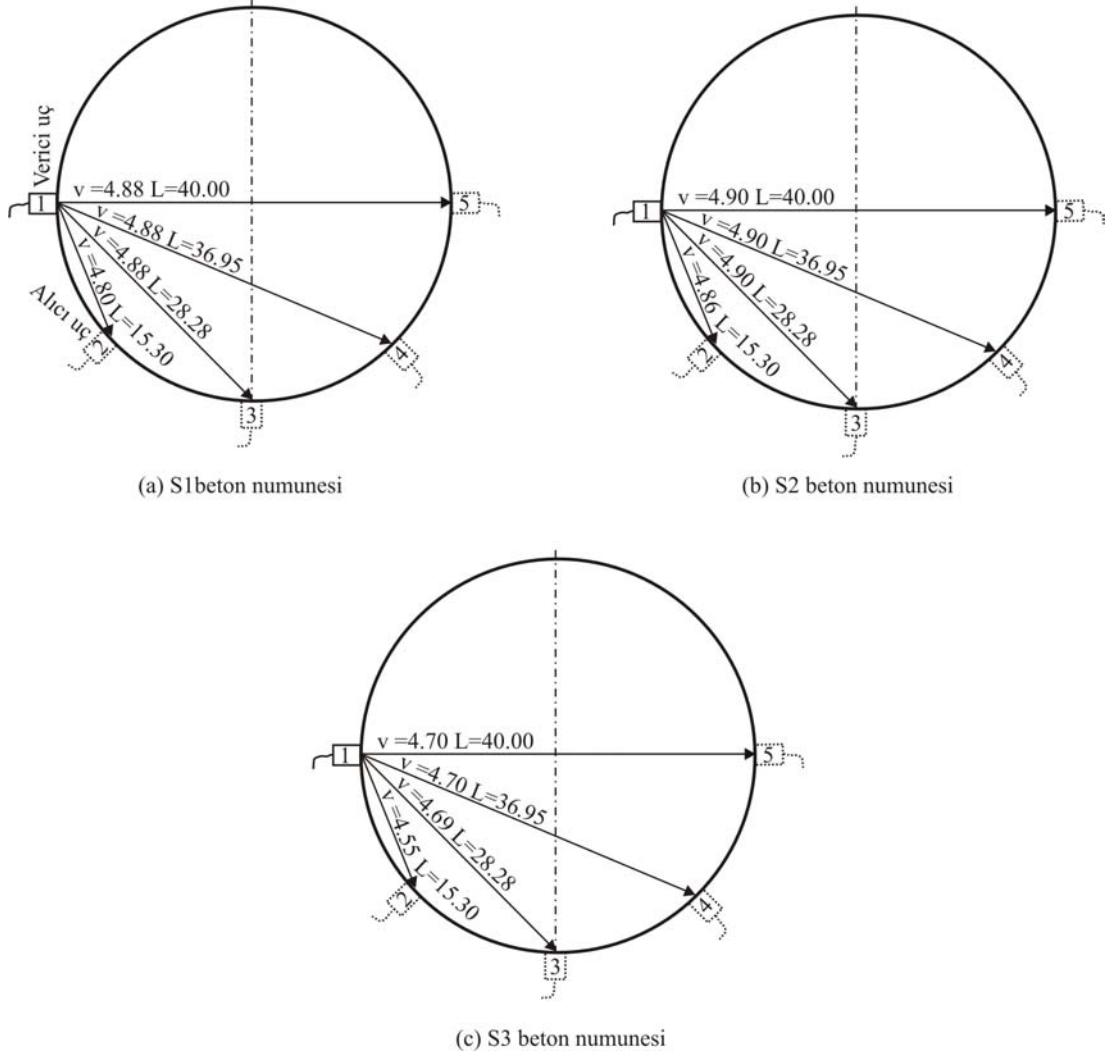
Çizelge 4.1. Prizmatik numunelerde direkt, yarı direkt, direkt olmayan UPV karşılaştırmaları

Karışım No.	Ultrason hızları (km/s)					Oranlar				
	$Dydd$	Dyd	Dyy	$Dydy$	Yd	$\frac{Dydd}{Dyd}$	$\frac{Dyy}{Dydy}$	$\frac{Dydd}{Yd}$	$\frac{Dydy}{Dydd}$	$\frac{Dyy}{Dydd}$
P1	4.77	4.93	4.60	4.61	5.01	0.97	0.99	0.95	0.97	0.97
P2	4.83	4.85	4.68	4.78	5.10	0.99	0.98	0.95	0.99	0.97
P3	4.67	4.74	4.40	4.50	4.96	0.99	0.98	0.94	0.96	0.94
Ortalama						0.98	0.98	0.95	0.97	0.96
Standart sapma \pm						0.01	0.01	0.01	0.02	0.01

Çizelge 4.2’de, silindirik beton numuneler üzerinde yapılan UPV ölçümlerinden elde edilen değerler verilmektedir. Şekil 4.2’de ise, UPV ölçümü yapılan silindirik beton numunelerin üstten görünüşü ve ultrason cihazının alıcı-verici uçlarının konumları gösterilmektedir. Silindirik beton numunesinde, yarım dairede merkez dikkate alınarak, daire yayı eşit olarak 4 parçaya ayrılmıştır. 1 numaralı nokta ile, diğer noktaları birleştiren kirişlerin boyu bulunmuştur. Kiriş boyları, cihazda okunan geçiş süresine bölünerek hızlar elde edilmiştir. Ultrason cihazının verici ucu 1 numaralı noktada sabit tutularak, alıcı ucu sırasıyla 2, 3, 4 ve 5 numaralı noktalara getirilerek UPV değerleri ölçülmüştür. Verici ve alıcı uçların betona temas ettikleri noktalara gres yağı sürülerek tam bir oturma sağlanmıştır. Şekil 4.2’de, S1, S2 ve S3 numunelerinden görüleceği gibi, 15.30 cm kiriş boylarından sonraki kiriş boylarında elde edilen UPV değerleri birbirine eşit olmaktadır. Bu çalışmada, silindirik beton numuneler üzerinde elde edilen UPV ölçümlerinden çıkarılacak en önemli sonuç, seçilecek olan kiriş boyunun 15.30 cm den daha büyük (yaklaşık 28 cm) olacaktır. ASTM C597–83 standardı, en az ölçme uzunluğunu, hızın kullanılan verici-alıcı uçların frekansına bölünmesinden elde edilen değer olarak vermektedir (Anonymous, 1991). Örneğin olarak ASTM C597–83 standardının bu çalışma için vermiş olduğu verici-alıcı uçlar arasındaki mesafe S1 numunesi için yaklaşık olarak, $4800/54.000=0.0888$ m dir. Yani 8.88 cm dir. Ancak buradaki uygulamadan da görüleceği gibi bu mesafede yapılacak hata payı fazla olacaktır. Örneğin S3 numunesinde, 15.30 cm ile 28.28 cm’lik kiriş uzunluklarından elde edilen UPV miktarındaki hata % 3 civarındadır.

Çizelge 4.2. Silindirik numune çevresindeki UPV karşılaştırmaları

Karışım No.	S1		S2		S3	
	Mesafe (cm)	Hız (km/s)	Mesafe (cm)	Hız (km/s)	Mesafe (cm)	Hız (km/s)
1-2	15.30	4.80	15.30	4.86	15.30	4.55
1-3	28.28	4.88	28.28	4.90	28.28	4.69
1-4	36.95	4.88	36.95	4.90	36.95	4.70
1-5	40.00	4.88	40.00	4.90	40.00	4.70



Şekil 4.2. Silindirik beton numuneler üzerinde yapılan UPV ölçümleri

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Silis dumanı içeren prizmatik ve silindirik numuneler üzerinde yapılan UPV ölçümlerinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Silis dumanı içeren prizmatik beton numunelerinde, direkt, direkt olmayan ve yarı direkt UPV değerleri, betonun heterojen yapısı ve ultrason yönteminin yaklaşık bir metot olmasından dolayı, birbirine eşit kabul edilebilir. Bu durum özellikle inşaat sahasında, her tarafına verici-alıcı uçların ulaşmasının zor veya mümkün olmadığı betonarme elemanların testinde büyük kolaylıklar sağlayacaktır.
2. Silindirik beton numunelerin ultrason ile testinde kiriş uzunluğunun en az 15.30 cm den büyük (yaklaşık 28 cm) alınması güvenilir sonuçlar verecektir. Tarihi yapılardaki, doğal taşlardan yapılmış sütunların mukavemetlerinin tayininde de bu yöntem uygulanabilir.

KAYNAKLAR

- ANONYMOUS, 1983. BS 1881 Part 120 Method For Determination of Compressive Strength of Concrete Cores. British Standards Institute, Part 203. London, UK.
- ANONYMOUS, 1991. ASTM C 597-83 Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete. American Society for Testing and Materials. West Conshohocken, PA, USA.
- ANONYMOUS, 1992. ASTM C 42-90 Standard Test Method For Obtaining And Testing Drilled Cores And Sawed Beams of Concrete. American Society for Testing and Materials. West Conshohocken, PA, USA.
- ANONYMOUS, 2000. ACI 116R-00 Cement and Concrete Terminology. American Concrete Institute. Farmington Hills, MI, USA.
- MALHOTRA, V. M., 1984. In Situ Nondestructive Testing of Concrete. American Concrete Institute, Detroit, 1: 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 Concrete World 2: 46-54.
- TANIGAWA, Y., BABA, K. and MORI, H., 1984. Estimation of Concrete Strength By Combined Nondestructive Testing Method. ACI SP-82, 1: 57-65.
- TURGUT, P., 2004a. 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, London, UK, Session B.
- TURGUT, P., 2004b. Research into the correlation between concrete strength and UPV values. <http://www.ndt.net/article/v09n12/turgut/turgut.htm>.
- YAMAN, I., O., INCI, G., YESILLER, N., and AKTAN, H., M., 2001. Ultrasonic Pulse Velocity in Concrete Using Direct And Indirect Transmission. ACI Mater J, 98(6):450-457.
- QUIXAN, L., and BUNGEY, J. H., 1996 Using compression wave ultrasonic transducers to measure the velocity of surface waves and hence determine dynamic modulus of elasticity for concrete. Constr. Build. Mater., 1996; 10(4):237-242.
- KÜÇÜK, Ö. F., 2006. Ultrasonik Yüzey Dalgaları-Schmidt Yöntemi Yardımıyla Normal Dayanımlı Beton Dayanımının Bulunması, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa, 27s.
- TURGUT, P., and KÜÇÜK, Ö. F., 2006. Comparative relationships of direct, indirect, and semi direct ultrasonic pulse velocity measurements in concrete. Russian Journal of Nondestructive Testing, 42(11):745-751.

ÖZGEÇMİŞ

1976 yılında Şanlıurfa'da doğdu. İlköğrenimini Adana'da, orta ve lise öğrenimini Tarsus'ta tamamladı, 1999 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat 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

Silis dumanı, betonun özelliklerine ciddi katkıda bulunmaktadır. Silis dumanı ihtiva eden beton kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Ultrason hızı ölçümü marifetiyle beton mukavemetinin tayini özellikle deprem tehdidi altındaki bölgelerde hızlı ve ekonomik olması sebebiyle önemlidir.

Farklı karışım oranlarında silis dumanı ihtiva eden 30 x 30 x 25 cm³'lük 3 beton blok üzerinde, direkt, direkt olmayan ve yarı-direkt UPV (Ultrasonik Puls Hızı) ölçümlerini karşılaştırmak için deneysel bir çalışma yürütülmüştür. Aynı karışım parametreleri kullanılarak 40 cm çapa ve 25 cm yüksekliğe haiz 3 beton silindir hazırlandı.

Beton blokların direkt, direkt olmayan ve yarı-direkt UPV değerleri karşılaştırıldığında birbirlerine yaklaşık olarak benzedikleri bulunmuştur. Bu neticeden mevcut yapılarda beton elemanlara bitişik duvarlar sebebiyle ultrason cihazının alıcı ve vericileri karşılıklı tutulamaması durumunda yararlanılacaktır.

Betonarme silindirlerin çevresel yüzeyinde yapılan UPV ölçümlerinin hatasız olması için verici ve alıcı arasındaki asgari mesafe 28 cm bulunmuştur.

SUMMARY

Silica fume contributes drastically to the properties of concrete. The use of silica fume containing concrete is getting more common each day. Determination of strength of concrete by the application of UPV (Ultrasonic Pulse Velocity) measurements is crucial in areas under earthquake risk, since the UPV method is rapid and economic.

An experimental study was conducted to compare direct, indirect and semi direct UPV (Ultrasonic Pulse Velocity) measurements on the total 3 concrete blocks with $30 \times 30 \times 25 \text{ cm}^3$ size containing silica fume in different mix proportions. Using the same concrete mix parameters, 3 concrete cylinders with 40 cm diameter and 25 cm height were prepared.

When compared the direct, indirect and semi direct UPV values of concrete blocks, they were found to be approximately similar each other. This result may be utilised when the emitter and receiver probes of the UPV gadget cannot be held one facing towards the other, due to the presence of walls adjacent to the concrete elements.

In the UPV measurements made in the circumference of concrete cylinders, the minimum distance between the emitter and receiver was found to be 28 cm for eliminating errors.