

## BİNALARIN BETON KALİTESİNİN TAHRİBATSIZ JEOFİZİK YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ

Osman Uyanık\*, Gülce Şenli, Burak Çatlıoğlu

### Özet

Depremlerde binaların yıkılması yapı kalitesinden ve oturduğu zeminin dinamik-statik özelliklerinden ya da derin yeraltı yapılarından kaynaklanabilir. Yapı kalitesi için beton dayanımı belirlenmesi önemli bir adımdır. Beton kalitesi, karot alımı ve laboratuarda tek eksenli basınç dayanımı ile belirlenebilir. Bu durumda karot alınan kolon ya da kiriş tahribata uğrar. Tahribatsız deney yöntemi olan Jeofizik yöntemlerden Ultrasonik P ve S ölçerler ile beton kalitesi ortaya konulabilir. Ultrasonik yöntemle sadece beton dayanımı değil aynı zamanda dinamik elastik parametreler ve Poisson Oranı da belirlenebilmektedir. Bu çalışmada silindirik ve küp betonların P ve S dalga hızları ölçülmüştür. Bu beton örneklerinin serbest basınç dayanımları belirlendikten sonra P ve S dalga hızları ile ilişkilendirilerek deneysel bağıntılar geliştirilmiştir. Geliştirilen deneysel ilişki literatür ilişkileri ile karşılaştırmaları yapılmıştır. Sonuç olarak yapıdaki betonu tahrip etmeden dayanımını belirlemek hem ekonomi hem de zaman açısından faydalıdır.

**Anahtar Kelimeler:** Boyuna dalga hızı, Enine dalga hızı, Jeofizik Yöntemler, beton, dayanım

## DETERMINATION FROM NON-DESTRUCTIVE GEOPHYSICS METHODS OF CONCRETE QUALITY OF BUILDINGS

### Abstract

Collapse of buildings in earthquakes may be caused by the quality of buildings, and dynamic-static properties of soils or structures deep underground. The determination of concrete strength for the quality of buildings is an important step. The quality of concrete can be determined with uniaxial compression strength test in laboratory on the concrete cores taken from building. In this case, the column or beam taken from core undergoes destruction. Non-destructive testing method of Geophysical methods to measure Ultrasonic P and S can be placed in concrete quality. Ultrasonic method not only concrete strength, but also dynamic elastic parameters, and Poisson ratio can be determined. In this study, P and S wave velocities were measured on the concrete of cylinders and cubes. Between P and S wave velocities and this strength determined with the unconfined compressive strength of cores, have been developed in the experimental relations. The empirical-relationship, developed in this study, and literature relationships have been compared. As a result, determination non-destructive and in-situ of the concrete-strength in building is useful in terms of both economy and time

**Keywords:** Compressional wave velocity, Shear wave velocity, Geophysical methods, Concrete, Strength

\* Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü Isparta  
E-posta: osmanuyanik@sdu.edu.tr

## 1. Giriş

Kentsel dönüşüm projeleri kapsamında yapılar incelemeye alınmaya başlamıştır. Dönüşüm projeleri geniş çaplı olup sadece yapı incelemelerinden ibaret değildir. Aynı zamanda yapılaşmanın olduğu bölgenin zemin araştırmaları da yapılmalıdır. Çünkü yapı ne kadar dayanıklı olursa olsun zeminden kaynaklanan problemlerde (Sıvılaşma, Taşıma Gücü Kaybı, Heyelan gibi) yapı hasar alacaktır. Bu nedenle yapı incelemeleri zemin araştırmalarından başlamalı, bölgelerin yerleşime uygunluk haritaları üretilmelidir. Yerleşim için uygun alanlara yapılan yapıların beton kaliteleri tahribatlı ya da tahribatsız olarak belirlenebilir. Tahribatlı yöntem olarak yapıların kolon ya da kiriş betonlarından alınan karotların kırılması sonucunda beton kalitesi ortaya konulur. Bu durumda kolon ya da kiriş tahribata uğrar. Buna karşın betonu tahribata uğratmadan Jeofizik yöntemlerden sismik ultrasonik puls hızı tekniği ile betonun kalitesi ortaya konulabilir.

Birçok araştırmacı (örnek: Pessiki ve Carino, 1988; Arıoğlu vd. 1994; Kheder 1999; Uyanık vd. 2011) tahribatsız yöntemlerden ultrasonik puls hızı tekniğini kullanıp P dalgalarının hızından beton kalitesini belirlemişlerdir. Arıoğlu vd., 1994 de beton kalitesini P dalga hızından en fazla %5 hata ile belirlenebileceğini ortaya koymuştur. Uyanık vd. 2011 de sismik ultrasonik puls hızı tekniğini kullanarak P dalgalarını ölçmüş ve hesapladıkları P dalga hızıyla beton kalitesini belirlemişler ve ek olarak beton üzerindeki sıvanın etkisini ortaya koyan deneysel bir ilişki sunmuşlardır. Bu tip çalışmalarda betonun özelliklerine bağlı olarak P dalga hızlarının dağılımı geniş aralıklar içerebilir. Bunun nedeni betonun ana bileşeni olan agreganın farklı türleri, boyutu ve yüzdesi hızda farklılıklar yaratır. Agreganın yanı sıra betonda kullanılan çimentonun yüzdesi, tipi de hızda azda olsa farklılık oluşturur. Bunlara ek olarak betonun nemliliği ya da kuru olması P dalga hızında değişiklik oluşturacaktır. Ayrıca beton içerisinde olabilecek boşluk ya da kırıklıklardan P dalga hızı etkilenecektir. Bu ilişkilerdeki dağınıklığı kontrol edecek üçüncü bir parametreye ihtiyaç olduğu açıktır. Bu parametre betonun mukavemetine, agrega türüne, çimento özellikleri gibi birçok özelliğe bağlı olan kayma (S) dalga hızı olabilir. Ayrıca basınç ve kayma dalga hızlarının birlikte kullanılması ile betonun gözeneklerinin kuru ya da suya doygun olması yorumlanır ve betonun elastik özellikleri ve Poisson oranı gibi parametreler doğrudan bulunur.

Bu çalışmada beton kalitesini ortaya koymak için sismik yöntemlerden Ultrasonik P ve S dalga ölçümleri ve bu dalga hızlarından hesaplanabilecek elastik parametrelere değinilecek ve yukarıda belirtilen sebeplerden dolayı farklı özelliklerdeki beton örnekleri üzerinde P ve S dalga ölçümleri yapılmış ve sismik hızlar hesaplanmıştır. Sismik hızlar ve betonun basınç değerleri arasında iki ve çok parametrelili deneysel ilişkiler kurulmuştur.

## 2. Beton Kalitesini Belirlemede Sismik Yöntemler

Yapı incelemelerinde en önemli durum yapı iskeletini oluşturan elemanların (beton ve donatı) kalitesinin belirlenmesidir. Beton kalitesi klasik olarak yerinde karot alımı ve laboratuarda basınç yöntemleri ile belirlenebildiği gibi jeofizik yöntemlerle yerinde yapıya hasar vermeksizin daha hızlı belirlenebilmektedir. Beton kalitesinin belirlenmesinde sismik hızlar kullanılmaktadır. Bu hızlar yerinde ve laboratuvar da belirlenebilir. Eğer yapıdan karot alınmışsa ister karot üzerinde ister karotun alındığı yerde sismik çalışmalar yapılabilir. Dolayısıyla az karotlu ya da karot almadan beton kalitesi belirlenir. Beton kalitesi belirlemek için yerinde Sismik Ultrasonik ve Sismik tomografi çalışmaları yapılabilir.

## 2.1. Sismik ultrasonik çalışmalar

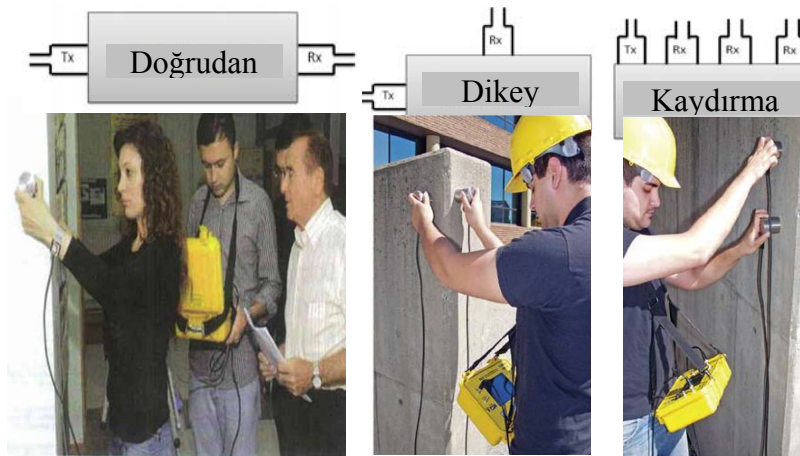
Yapılardaki betonların mekanik özelliklerini yerinde ve laboratuvarında belirleyebilmek için Sismik Ultrasonik yöntemde puls hızı tekniği kullanılmaktadır. Bu teknik elastik dalga yayılma teorisine dayanmaktadır. Laboratuvarında boyuna ve enine dalga hızlarını belirlemek için bu sismik elastik dalgaların numunenin içinden geçtiği süreler ölçülerek bilinen numune boyundan sismik dalgaların hızları belirlenebilir. Yerinde ise sismik hızlar alıcı-verici arasındaki uzaklık ve elastik dalgaların geçtiği süreler ölçülerek belirlenir.

Ultrasonik cihazı ile ölçüme başlamadan önce cihazın sıfır ayarı yapılmalıdır. Sıfır ayarı trasducer (dönüştürücü) tarafından elektrik pulsunun alınışı ile bunun bir sismik pulsa çevrilmesi işlemi birkaç mikrosaniye sürer ve bu gecikme giderilmelidir. Bu yüzden sıfır ayarı yapılır. Ancak P ve S dalgaları için ayrı sıfır ayarı yapılmalıdır. Sıfır ayarı bittikten sonra P ya da S dalga seçeneklerinden gerekli ayarlar yapılarak P ya da S dalga hızı ölçümüne geçilebilir. Ultrasonik enerji hava boşluğu tarafından gecikmeye uğrar. Bu yüzden numune ile alıcı verici problar arasında çok iyi bir iletimin sağlanması gereklidir. İletimin tam olarak sağlanabilmesi için gres yağı vb. iletimi artırıcı maddeler kullanılmalıdır. Ancak S dalga hızı ölçümünde bu gibi maddeler kullanılmamalıdır. Numune yüzeyinin pürüzsüz ve düzgün olması da ölçümü etkileyen önemli faktörlerden biridir (Uyanık 1991; Uyanık 1999; Uyanık ve Çatlıoğlu, 2010; Çatlıoğlu 2010; Çatlıoğlu, 2011). Bu cihaz da bir verici (Tx) ve bir alıcı (Rx) problar vardır. Numunenin bir tarafından dalga gönderilirken diğer bir taraftan dalga geliş zamanı kaydedilir ve Tx ile Rx arasındaki uzaklığın (L) zamana (t) oranından hız (V) belirlenir.

$$V=L/t$$

(1)

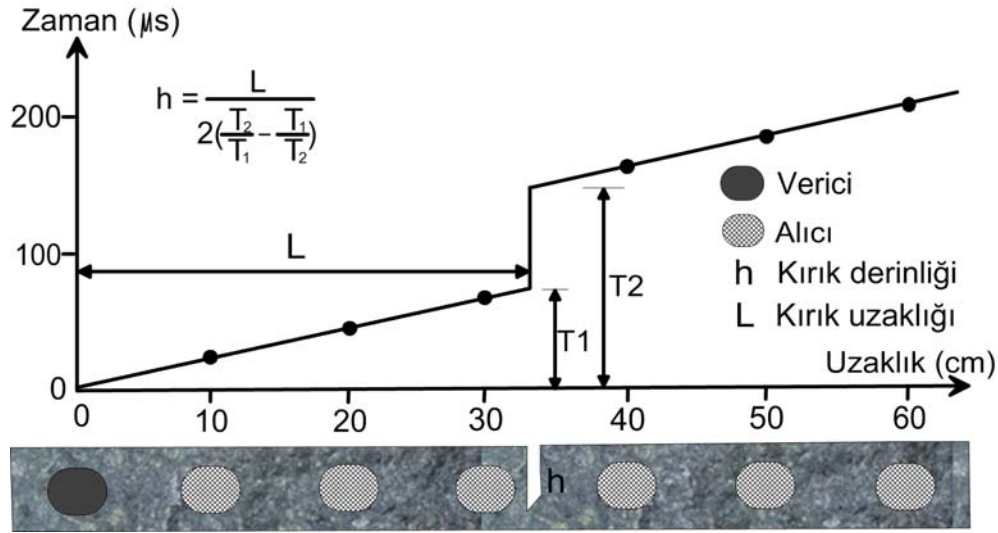
Bu yöntem ile numune üzerinde ve yerinde bina, köprü, yol malzemeleri gibi her türlü yapıda ölçümler yapılabilir. Bu ölçümlerin yapıldığı betonların, mekanik özelliklerini belirlemenin yanı sıra beton içerisindeki kırık, boşluk ve bozuşma durumu da belirlenebilir. Bu yöntemin en önemli özelliklerinden biride yapıya hiçbir zarar vermeden hızlı bir şekilde sonuca ulaşmaktır. Bu ölçüm uygulanırken alıcı ve vericinin konumlarına göre farklı ölçüm teknikleri şekil 1 de sunulmuştur.



**Şekil 1.** Ultrasonik yöntem ile ölçüm teknikleri

Bu teknikler ile kolon ve kirişler üzerinde ölçüm yapılabildiği gibi alınan numuneler üzerinde de ölçümler yapılabilir. Fakat betona ve donatıya zarar vermemek açısından yöntemin direk kolon ve kirişler üzerinde uygulanması daha doğrudur. Yapıdan karot alınmış ve karotlar üzerinde basınç deneyi yapılmadan önce ultrasonik yöntem ile P ve S dalga hızları belirlenir ve sonra tek eksenli basınç değeri elde edilirse hızlar ile basınç değerleri karşılaştırılır ve değerlerin doğruluğu farklı yöntemlerle kontrol edilmiş olur.

Sismik ultrasonik yöntem ile betonda olabilecek kırığı belirleyebilmek için Verici prob sabit, alıcı prob hareketli olacak şekilde kaydırarak ölçü alınır ise alıcı prob kırığın diğer tarafına geçtiğinde zaman gecikmesi meydana gelir. Okunan dalganın geçiş süresi (t) ve uzaklık (x) dikkate alınarak yol-zaman grafiği çizilir. Beton üzerinde ultrasonik yöntem ile bilinen sismik kırılma metodu uygulanmış olur. Şekil 2 incelendiğinde verici ile alıcı problar arasında betondaki kırık girdiğinde uzaklık-zaman grafiğinde zamanda bir sıçrama yaparak kırık kendini gösterir. Beton içindeki kırık, Uzaklık-Zaman grafiğinde yeryüzünde bulunan fayın etkisi gibi etki gösterir. Uzaklık-Zaman grafiğinde kırık yerini belirledikten sonra kırığın derinliği (h) de Şekil 2 deki bağıntı ile belirlenir.



Şekil 2. Ultrasonik yöntem ile kırık yeri tespitinde kullanılan ölçüm tekniği ve uzaklık-zaman grafiği

### 3. Sismik Hızlardan Betonun Elastik Parametreleri ve Beton Kalitesinin Belirlenmesi

Ultrasonik sismik yöntem ile betona ait sismik basınç (P) ve kayma (S) dalga hızları belirlendikten sonra sismik hızlardan yararlanarak betona ait parametreler aşağıdaki bağıntılar ile bulunur.

#### 3.1. Birim hacim ağırlığı

Birim alandaki zeminin ağırlığının hacmine oranıdır. Deneysel olarak Uyanık ve Çatlıoğlu, 2010 ilişkisi kullanılarak basınç ve kayma dalga hızına bağlı yoğunluk belirlenebilir.

$$\gamma = 0.76 V_p^{0.074} V_s^{0.074} \quad (2)$$

### 3.2. Kayma modülü

Bu modül enine dalga hızı ve betonun birim hacim ağırlığına bağlı olarak aşağıdaki matematiksel bağıntı ile hesaplanabilir.

$$G = \gamma V_s^2 / g \quad (3)$$

Fiziksel olarak betonun makaslama direncine karşı gösterdiği mukavemet olarak tanımlanabilir. Eğer kayma modülünün değeri büyükse depremde oluşan S dalgası genliğine karşı betonun büyük bir esneme direnci gösterir. Kayma modülünün küçük olması durumunda ise yapılardaki betonlarda çapraz birbirini kesen kırılmalar ve kolon-kiriş bağlantılarında kopmalar olabilir.

### 3.3. Elastisite modülü

Elastik modül, kayma modülü ve sismik hız oranına bağlı olarak aşağıdaki matematiksel ifade ile hesaplanır.

$$E = \frac{3G[(\frac{V_p}{V_s})^2 - \frac{4}{3}]}{(\frac{V_p}{V_s})^2 - 1} \quad (4)$$

Bu modül betonun esneme direnci ve sağlamlığı hakkında bilgi verir. Bilindiği üzere deprem olduğunda önce P sonra S ve en son olarak da yüzey dalgaları (R ve L) art arda yüzeye gelir. P dalgaları yapıları yorar ve yapıyı temelinden yukarı doğru kaldırır ve sonra aşağı doğru çeker. Bu sırada yapı düşey yönde yamulur. Zemin ve yapı bu güce karşı elastisite direnci ile karşı koyar.

### 3.4. Bulk modülü

Bulk modül, kayma modülü ve sismik hız oranına bağlı olarak aşağıdaki matematiksel ifade ile hesaplanır.

$$K = G.[(\frac{V_p}{V_s})^2 - (\frac{4}{3})] \quad (5)$$

Bu modül sıkışmazlık modülü olarak da bilinir. Betonun sıkışmaya karşı gösterdiği dirençtir.

### 3.5. Poisson oranı

Bu değer sismik hız oranına bağlı olarak aşağıdaki ifade ile hesaplanır.

$$\mu = \frac{(\frac{V_p}{V_s})^2 - 2}{2(\frac{V_p}{V_s})^2 - 2} \quad (6)$$

Poisson oranı betonun gözeneklerini yorumlamada kullanılabilir. Betonlarda Poisson oran değerinin sıfıra yakın değerleri bol gözenekli ve hava dolgulu olarak, Poisson oranının yüksek

değerlerinde ise betonun gözenekleri suya doygun olarak yorumlanabilir. P ve S dalga hızları var iken Poisson oran değerinden sağlamlık vermek doğru değildir.

Betona ait sismik hızlar ultrasonik yöntem ile ölçüldükten sonra betonun özelliklerini veren parametreler hesaplanır. Poisson oranı değeri ile betonun gözeneklerinin doygunluğu yorumlanır. Kayma modülünün yüksek olması betonun deprem anında kayma direncine karşı koyacağı kuvvetin büyük olduğunu ifade eder. Elastisite modülünün büyük olması ise betonun gözeneksiz ve sert olduğunu ifade eder.

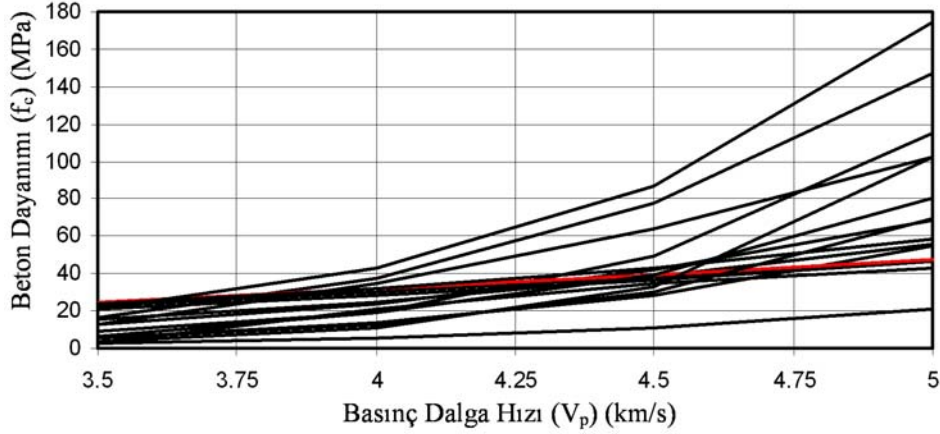
#### 4. İki ya da Çok Parametrelili İlişkilendirmeler

1988-2011 yılları arasında birçok araştırmacı P dalga hızı ile beton dayanımı arasında deneysel ilişkiler üretmişlerdir. Bu ilişkiler üssel ve eksponansiyel olarak kurulmuş ve bunların katsayıları Tablo 1 de sunulmuştur.

**Tablo 1** Farklı araştırmacılara ait üssel ve eksponansiyel ilişkilerin katsayıları

$fc=aVp^b$	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
a	0.00834	1.745	1.304	0.000241	0.171	0.0022	0.036	2.6
b	6.074	2.057	2.222	8.1272	3.593	6.289	4.696	1.8
$fc=A \exp(BVp)$	[9]	[10]	[11]	[12]	[13]	[14]		
A	0.0141	0.0012	0.06	2.901	0.15833	0.0316		
B	0.0017	0.00227	0.00144	0.0006	0.0014	0.0013		
[1]: Pessiki ve Carino 1988	[2]: Kheder 1999	[3]: Ferreira veCastro 1999						
[4]: Pascale vd. 2000	[5]: Biondi ve Candigliota, 2008	[6]: Yoo ve Ryu 2008						
[7]: Machado vd. 2009	[8]: Uyanık vd. 2011	[9]: Klieger 1957						
[10]: Elvery ve Ibrahim 1976	[11]: Ravindra vd. 1988	[12]: D'Ambrisi vd. 2008						
[13]: Chang ve Lien 2008	[14]: Atici 2011							

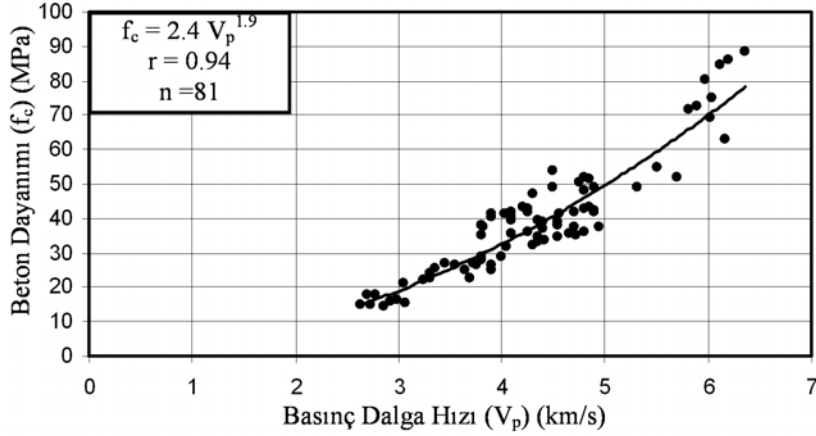
Tablo 1 de sunulan birçok araştırmacı tarafından önerilen basınç dalga hızından beton dayanımı ilişkilerini bir arada görmek ve ilişkilerin dağılımının geniş bir aralık içerip içermediğini gözlemlemek için Şekil 3 oluşturulmuştur. Buradaki ilişkilerin geniş dağılımının nedeni betonun ana bileşeni olan agreganın farklı türleri, boyutu ve yüzdesi hızda farklılık yaratmasıdır. Agreganın yanı sıra betonda kullanılan çimentonun yüzdesi, tipi de hızda azda olsa farklılık oluşturur. Bunlara ek olarak betonun nemliliği ya da kuru olması P dalga hızında değişiklik oluşturacaktır. Ayrıca beton içerisinde olabilecek boşluk ya da kırıklıklardan P dalga hızı etkilenecektir. Şekil 3 de sunulan ilişkilerin geniş bir aralıktaki dağılımı yukarıda belirtilen betonu oluşturan elemanların özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Şekil 3 den görüleceği üzere basınç dalga hızı 3.5km/s de beton dayanımının alt ve üst sınırları 3-25MPa iken basınç dalga hızı 5km/s de beton dayanımının alt ve üst sınırları 20-170MPa dır. Bu ilişkilerdeki dağınıklığı kontrol edecek üçüncü bir parametreye ihtiyaç olduğu açıktır. Bu parametre betonun mukavemetine, agrega türüne, çimento özellikleri gibi birçok özelliğe bağlı olan kayma (S) dalga hızı olabilir.



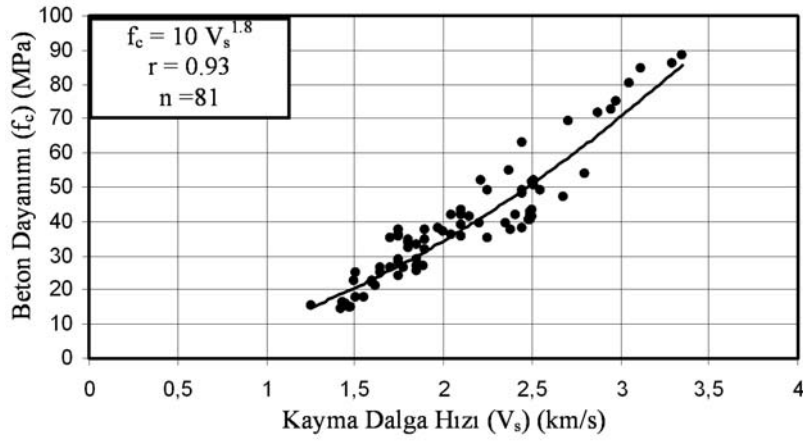
Şekil 3. Farklı araştırmacılara ait P dalga hızından beton dayanım ilişkileri

Bu amaçla çalışmamızda laboratuvar koşullarında hazırlanan ve yapılardan alınan silindirik ya da kübik beton örnekleri üzerinde basınç dayanımı belirlenmeden önce ultrasonik basınç ve kayma dalga hızları belirlenmiştir. Bu örneklerin yoğunlukları  $2,2-2,6 \text{ gr/cm}^3$  arasında değişmektedir. Betonun basınç dayanımı ile basınç (P) dalga hızı ve kayma dalga (S) hızı arasında deneysel ilişkiler Şekil 4, 5 de sunulmuştur. Bu şekiller irdelendiğinde betonun basınç dayanımının basınç dalga hızı ile %94 ve kayma dalga hızı ile %93 ilişkili olduğu görülür. Şekil 5 de bulunan değerler Şekil 4 deki değerlere göre daha saçılmış bir haldedir. Bunun nedeni betonu oluşturan malzemelerin özelliklerine S dalga hızının daha hassas olmasından kaynaklanmaktadır. Bu yüzden beton dayanımı hem basınç dalga hızı hem de kayma dalga hızı kullanılarak belirlenmesi daha doğru sonuçlar doğuracaktır. Bu amaçla şekil 6 oluşturulmuştur. Şekil 6 oluşturulurken kayma dalga hızına bağlı sınıflama yapılmıştır. Kayma dalga hızı 1.0-1.5km/s arasındaki değerleri pembe (daire), 1.5-2 km/s arasındaki değerler kırmızı (baklava) renkle, 2-2.5 km/s arasındaki değerler mavi (üçgen) renkle, 2.5-3 km/s arasındaki değerlerde kahve (kare) renkle ve 3.0-3.5 km/s arasındaki değerlerde turuncu (üçgen) renkle gösterilmiştir. Bu farklı renklerdeki değerlerin sınırlarını göstermek üzere  $V_s=1.0\text{km/s}$  olan pembe renkli eğri,  $V_s=1.5 \text{ km/s}$  olan kırmızı eğri,  $V_s=2 \text{ km/s}$  olan mavi eğri,  $V_s=2.5 \text{ km/s}$  olan kahve eğri ve  $V_s=3 \text{ km/s}$  olan turuncu renkli eğriler görülür. Ayrıca siyah renkli eğri Uyanık vd., 2011 de beton dayanımı ile basınç dalga hızı arasındaki ilişkiyi gösterirken yeşil renkli eğri bu çalışmada elde edilen beton dayanımı ile basınç dalga hızı arasındaki ilişkiyi gösterir. Bu iki eğriye bakıldığında farklı olmadığı sadece basınç dalga hızının büyük değerlerinde az farklılık olduğu görülmektedir. Bu durum veri sınırları değiştikçe ve daha fazla veri kullanıldıkça deneysel ilişkilerin katsayılarında değişiklik olacaktır. Beton dayanımı belirlemek için hem basınç hem de kayma dalga hızları ölçüldüyse aşağıdaki çok parametrelili ilişkinin kullanılması daha doğru olacaktır. Ancak kayma dalgalarının ölçümü hassas yapılmalıdır.

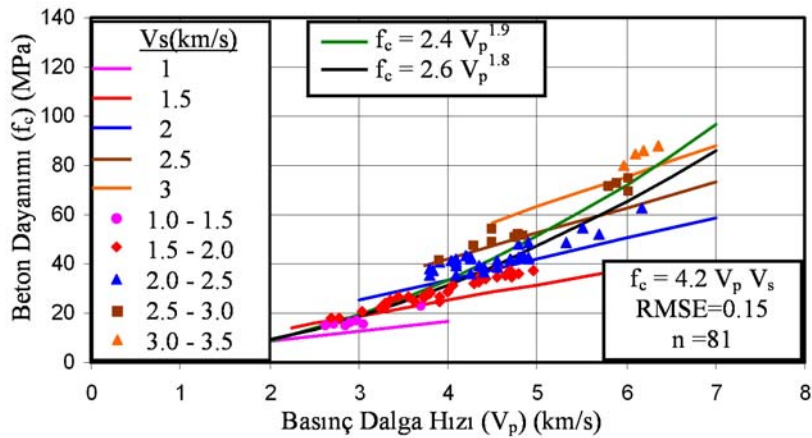
$$f_c = 4,2 V_p V_s \quad (7)$$



Şekil 4. Beton dayanımı ile basınç dalga hızı arasındaki ilişki



Şekil 5. Beton dayanımı ile kayma dalga hızı arasındaki ilişki



Şekil 6 Beton dayanımı ile basınç ve kayma dalga hızları arasındaki ilişki

Şekil 3 de sunulan ilişkiler arasında kırmızı renkle belirtilen Uyanık vd. 2011 ilişkisi diğer ilişkiler ile karşılaştırıldığında yaklaşık olarak ortalama bir eğri oluşturmaktadır. Bu ilişki ve eşitlik 7 deki ilişki kullanılarak aşağıdaki sınıflama tablosu oluşturulmuştur. Bu tablo oluşturulurken Whitehurst, 1951 sınıflaması göz önünde tutulmuştur.



**Tablo 2:** Basınç ve Kayma dalga hızlarına bağlı beton kalite sınıflaması

Beton Kalitesi	Whitehurst, 1951	Uyanık vd. 2011	Bu çalışma	
	V <sub>p</sub> (m/s)	V <sub>p</sub> (m/s)	V <sub>p</sub> (m/s)	V <sub>s</sub> (m/s)
Çok iyi	>4500	>4565	>4400	>2200
İyi	3650-4500	3515-4565	3450-4400	1750-2200
Orta	3050-3650	2930-3515	2900-3450	1500-1750
Zayıf	2000-3050	2110-2930	2150-2900	1150-1500
Çok zayıf	<2000	<2110	<2150	<1150

## 5. Sonuçlar

Mevcut yapıların incelenmesinde kullanılan birçok yöntem vardır. Jeofizik yöntemler yapıya hasar vermeden kısa bir sürede ve yerinde ölçümler alınarak yapının durumu hakkında bilgi verir.

Betonun dayanımı karot almak dışında ultrasonik yöntem ile yapıya hasar vermeden hem P hem de S dalga hızı kullanılarak çok daha hassas belirlenebilir. Ayrıca P ve S dalga hızı belirlenmiş bir betonun elastik parametreleri ve Poisson oranı da kabul yapılmadan hesaplanır ve betonun gözeneklerinin kuru ya da suya doygun olması yorumlanır

Klasik yapı inceleme yöntemlerinde kolon ve kirişlerden karot alınarak beton testi yapılırken sadece örneğin alındığı yer incelenmiş olur. Jeofizik yöntemler ile yapı incelemelerinde kolon ve kirişlerin tomografik görüntüsü elde edilir yapının tamamı incelenir ve yapıya hasar vermeden dayanımı ortaya konulur.

## Kaynaklar

- Arıoğlu, E., Odbay, O., Alper, H., Arıoğlu, B. (1994). Birleşik yıkıntısız yöntemle beton dayanımının kestirilmesi için yeni formül ve uygulama sonuçları. Beton Prefabrikasyon, 29, 5-11.
- Atici, U. (2011). Prediction of the strength of mineral admixture concrete using multivariable regression analysis and an artificial neural network. Expert Syst. Appl., 38, 9609-9618.
- Biondi, S., Candigliota, E. (2008). In situ test for seismic assessment of RC structures. In: 14<sup>th</sup> world conf on earthquake engineering, Beijing, China.
- Chang, C.W., Lien, H.S. (2008). Nondestructive measurement of concrete strength at early ages.
- Çatlıoğlu, B. (2010). Sismik Hızlardan Yoğunluğun Belirlenmesi. TÜBİTAK (2209) Üniversite Öğrencileri Yurt İçi / Yurt Dışı Araştırma Projeleri Destekleme Programı.
- Çatlıoğlu, B. (2011). Sismik Hızlardan Yoğunluğun Belirlenmesi. SDÜ MMF Jeofizik Mühendisliği Bölümü Lisans Tezi. Isparta.
- D'Ambrisi, A., Cristofaro, M.T., De Stefano, M. (2008). Predictive models for evaluating concrete compressive strength in existing buildings. In: 14<sup>th</sup> world conf on earthquake eng. Beijing, China.
- Elvery, R.H., Ibrahim, L.A.M. (1976). Ultrasonic assessment of concrete strength at early ages. Mag Concr Res, 181-190.

- Ferreira, A.P., Castro, P.F. (1999). Application of NDT to concrete strength estimation. NDTISS'99, Torres.
- Kheder, G.F. (1999). A two stage procedure for assessment of in situ concrete strength using combined non-destructive testing. Mater Struct, 32(6), 410-417.
- Klieger, P. (1957). Long time study of cement performance in concrete: chapter 10, Progress report on strength and elastic properties of concrete In: ACI J Proc 54, 481-504.
- Knaze, P., Beno, P. (1994). The Use of Combined Non-Destructive Testing Methods to Determine the Compressive Strength of Concrete, Materials and Structures, pp207-210.
- Machado, M.D., Shehata, L.C.D., Shehata, I.A.E.M. (2009). Correlation curves to characterize concrete used in Rio de Janeiro by means of nondestructive tests. Ibracon Struct Mater J. 2(2), 100-123.
- Pascale, G., Di Leo, A., Carli, R. (2000). Evaluation of actual compressive strength concrete by NDT. In: 15<sup>th</sup> world conference on non-destructive testing, 10p, Roma.
- Pessiki, S.P., Carino, N.J. (1988). Setting time and strength of concrete using the impact-echo method. ACI Mater J., 85(5), 389-390.
- Ravindrajah, S.R., Loo, Y.H., Tam, C.T. (1988). Strength evaluating of recycled-aggregate concrete by in situ tests. Mater Struct 21, 289-295.
- Uyanık, O. (1991). Kaya Mekaniği ve Jeofizik Laboratuar Parametrelerinin İlişkilendirme Açısından Önemi, Dokuz Eylül Üniv. Müh.-Mim. Fak. Jeofizik Müh. Böl., İzmir.
- Uyanık, O. (1999). Kayaçlarda Sismik Hızlar ve Kayma Direncinin İncelenmesi, 52. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 63-70, Ankara.
- Uyanık, O., Çathoğlu, B. (2010). Determination of density from seismic velocities, the 19th International Geophysical Congress and Exhibition of Turkey 23 – 26 November Ankara / Turkey
- Uyanık, O., Kaptan, K., Gülay, F.G., Tezcan, S. (2011). Beton Dayanımının Tahribatsız Ultrasonik Yöntemle Tayini. Yapı Dünyası 184, 55-58.
- Whitehurst, E.A. (1951). Soniscope Test Concrete Structures Journal of American Concrete Institute, Proceeding, 47, 443-444
- Yoo, J.K., Ryu, D.W. (2008). A study of the evaluation of strength development property of concrete at early ages. In: 3<sup>rd</sup> ACF International conference- ACF/VCA.