

## Şanlıurfa Ulu Cami Minaresi Yapı Taşının Elastisite Modülünün Ultrasonik Test Cihazı Kullanılarak Belirlenmesi

R. Kadir PEKGÖKGÖZ, Gamze İZOL, Fatih AVCİL, M. Arif GÜREL

Harran Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa

e- posta: recepkkadir@harran.edu.tr, izolgamze@gmail.com, avcilfatih@harran.edu.tr, agurel@harran.edu.tr

Geliş Tarihi: 27.03.2018

Kabul Tarihi: 23.04.2018

### Özet

Yapıların dış yükler etkisinde yaptığı yer değiştirmelerin hesaplanabilmesi için yapıyı oluşturan malzemelerin elastisite modüllerinin belirlenmesi gerekmektedir. Tarihi yapılara hasar vermeden elastisite modülü ultrasonik test cihazı kullanılarak belirlenebilmektedir. Yapılan bu çalışma ile Şanlıurfa Tarihi Ulu Cami minaresini oluşturan yapı taşının ultrasonik test cihazı kullanılarak dinamik elastisite modülü belirlenmeye çalışılmıştır. Ölçümler direkt ve yarı direkt yöntem olmak üzere iki farklı şekilde yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, yarı direkt yöntemle elde edilen verilerin, direkt yöntemle elde edilen verilere göre daha yüksek olduğunu göstermiştir. Ayrıca sonuçların Şanlıurfa kireç taşının fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırdığı MAG-1041084 no' lu TÜBİTAK projesi ile uyumlu olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Tarihi Minare; Ultrasonik test; Dinamik elastisite modülü

## Determination of the Elastic Modulus of the Building Stone of Sanliurfa Grand Mosque Minaret by Of Using Ultrasonic Testing Machine

### Abstract

In order to determine the displacements of the structures under external loads, the modulus of elasticity buildings materials must be calculated. The modulus of elasticity can be determined using an ultrasound pulse velocity machine without damage to the historical structure. In this study, it has been tried to determine the dynamic modulus of elasticity of the building stone which constitutes the Sanliurfa historical Grand Mosque minaret by using of the ultrasound pulse velocity machine. Measurements were made by two different methods, one of them is the direct and the other is the semi-direct method. The obtained results showed that the data obtained by semi-direct method is higher than the data obtained by the direct method. It is also determined that the results are compatible with those of a TÜBİTAK project number MAG-1041084 in which the physical and mechanical properties of Sanliurfa limestone had been investigated.

**Keywords:** Historical minaret; Ultrasonic test; Dynamic modulus of elasticity

### 1. Giriş

Doğadaki malzemeler yük altında şekil değiştirmeye zorlanırsa malzemenin elastiklik özelliklerine bağlı olarak, üzerlerinden yük kaldırıldığı zaman ilk hallerinde ya dönerler ya da üzerlerinde kalıcı şekil değiştirmeler oluşur. Cisimler üzerlerinden gerilme kaldırıldığı zaman orijinal hallerine geri dönebiliyorlarsa oluşan şekil değiştirme, elastik şekil değiştirme olarak adlandırılır. Cisimlerin üzerine uygulanan gerilmede elastik sınır aşıldığı zaman, malzemelerin birçoğunda geri dönemeyen kalıcı yani plastik şekil değiştirmeler oluşur. Malzemelerin çoğunda elastik şekil değiştirme gerilme şekil değiştirmeyle doğru orantılı olarak değişmektedir Elastik şekil değiştir-

menin malzeme üzerinde gerilme uygulanır uygulanmaz ani olarak meydana geldiği kabul edilir. Tek eksenli yükleme durumunda gerilme ile şekil değiştirme arasında doğrusal bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Bu ilişki ilk defa ortaya çıkaran bilim insanının ismine atfen Hook kanunu olarak adlandırılmaktadır. Bu bağıntı denklem (1)' de verilmiştir.

$$\sigma = E \cdot \epsilon \quad (1)$$

Denklemdaki E oranı katsayısına, malzemenin elastiklik modülü adı verilir [1].

Betonarme, öngerilmeli beton ve çelik yapıların dış yükler etkisi altında oluşan yer değiştirmelerin hesaplanmasında malzemenin elastik modülünün bilinmesi bir zorunluluktur. Bu yer değiştirmeler

birçok bakımdan bilinmesi gerektiğinden elastisite modülü tespit edilmesi gerekli olan fiziksel bir özelliktir. Elastisite modülü bilinen bir malzemede dış yüklerden oluşan gerilmeler ölçülmek suretiyle malzemede oluşan gerilmeler hesaplanabilir. Yapı sektöründe en çok kullanılan malzemelerden biri olan beton malzemesinde, elastisite modülü ile basınç dayanımı arasında farklı ilişkiler tanımlanmıştır. Elastisite modülü ile betonun basınç dayanımı arasında, belirlenmiş bu bağıntılar yardımıyla beton malzemeye zarar vermeden yaklaşık olarak betonun basınç dayanımı belirlenebilir. Betonun içeriğinde çimento hamuru gibi viskoz bir fazın bulunması bu malzemenin şekil değiştirmesinin katı cisimlerin şekil değiştirmesinden farklı bir şekilde oluşmasına sebep olmaktadır. Betonun elastisite modülünün belirlenmesine yönelik araştırmalar 1930'lu yıllardan beri sürmektedir. Genel olarak elastisite modülü, gerilme şekil değiştirme eğrisi, rezonans frekansı metodu ve ultrases metodu olmak üzere üç farklı yöntemle belirlenmektedir. Elastisite modülünün farklı yöntemlerle hesaplanması, elastisite modülünün farklı değerler almasıyla sonuçlanmaktadır [2].

### 1.1. Gerilme-Şekil Değiştirme Eğrisi Yardımıyla Elastisite Modülünün Belirlenmesi

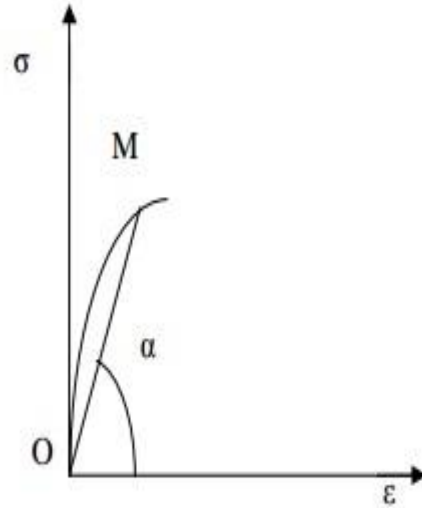
Elastisite modülünün belirlenmesinde en çok kullanılan yöntem, beton numunede tek eksenli basınç kuvveti etkisinde meydana gelen gerilme şekil değiştirme eğrisinin çizilmesi ve bu eğriden yararlanarak elastisite modülünün hesaplanmasıdır. Bu metot sertleşmiş beton için uygun olmasına rağmen, taze betonda yanal şekil değiştirmelere neden olduğundan taze betonun elastisite modülünün belirlenmesinde uygun değildir.

Elastisite modülünün hesaplanması için kaydedilen gerilme-şekil değiştirme eğrisinde genel olarak başlangıçta bir doğru parçası bulunmamaktadır. Bu durum betonlarda çeşitli elastisite modüllerinin tanımlanmasına sebep olmuştur. Bu yöntemleri sekant modülü, başlangıç teğeti modülü, ortalama modülü, tanjant modülü ve dinamik elastisite modülü olarak sıralayabiliriz. Bu modüller sırasıyla aşağıda açıklanmıştır [2].

#### 1.1.1. Sekant Modülü

Gerilme şekil değiştirme eğrisinin herhangi bir M noktasından koordinat merkezine çizilen doğrunun

eğimi Sekant modülü olarak tanımlanmaktadır. Şekil 1'de görüldüğü gibi sekant modülü  $E_s = \tan \alpha'$  dir.  $E_s$ 'nin gerilmenin değeri ile değişen bir büyüklük olduğu görülmektedir. Numunelerin gerilme şekil değiştirme eğrileri deneysel olarak belirlendiğinden Sekant modülüne Statik elastik modülde denmektedir [1].



Şekil 1. Gerilme – şekil değiştirme eğrisi üzerinde sekant modülünün tanımı

#### 1.1.2. Tanjant (Teğetsel) Elastisite Modülü

Deney numunesinin yük altında kırıldığı gerilme değeri için çizilen teğetin eğimi tanjant elastisite modülünü verir [3]. Tanjant elastisite modülü aşağıda verilen denklem (2) bağıntısıyla hesaplanmaktadır.

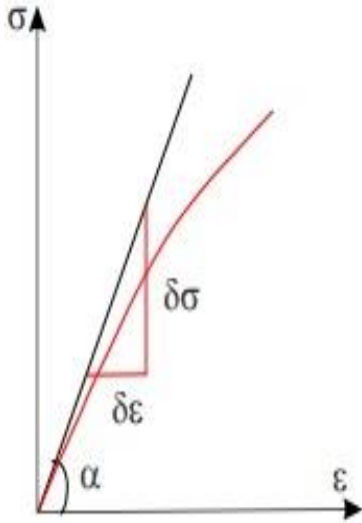
$$E_t = \Delta \sigma / \Delta \epsilon \quad (2)$$

Burada  $E_t$  tanjant elastisite modülünü,  $\Delta \sigma$  gerilmedeki artışı,  $\Delta \epsilon$  şekil değiştirmedeki artışı ifade eder.

#### 1.1.3. Ortalama Elastisite Modülü

Ortalama elastisite modülü gerilme-şekil değiştirme eğrisinin, doğrusal kabul edilebilecek bölümünün eğimi kullanılarak belirlenir. Ortalama elastisite modülü Şekil 2'de gösterilmiştir. Ortalama elastisite modülü denklem (3)' de verilen bağıntıyla hesaplanmaktadır [2].

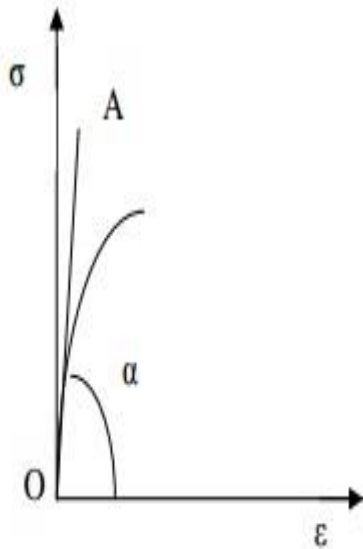
$$E_o = \delta\sigma / \delta\varepsilon \quad (3)$$



Şekil 2. Gerilme-şekil değiştirme eğrisi üzerinde ortalama elastisite modülünün tanımı

#### 1.1.4. Başlangıç Elastisite Modülü

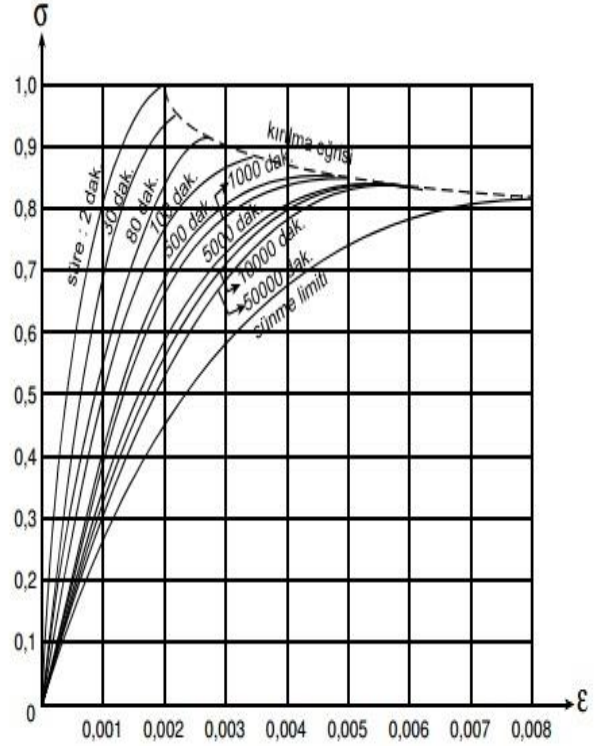
Gerilme şekil değiştirme eğrisinin başlangıç kısmına çizilen teğetin eğimi başlangıç elastisite modülü olarak tanımlanmaktadır. Bu elastisite modülü taze betonun işlenebilirlik özelliğini belirlemek için önemlidir. Başlangıç elastisite modülünün, gerilme-şekil değiştirme ile değişimi Şekil 3’de gösterilmiştir [2].



Şekil 3. Gerilme-şekil değiştirme eğrisi üzerinde başlangıç elastisite modülünün tanımı

#### 1.1.5. Dinamik Elastisite Modülü

Tek eksenli basınç yüklemesinde yüklemenin hızı gerilme şekil değiştirme eğrisinin formunu etkilemektedir. Gerilme şekil değiştirme eğrisinin yüklenme hızına bağlı olarak değişimi Şekil 4’te gösterilmiştir [1].



Şekil 4. Gerilme-şekil değiştirme eğrisinin gerilme hızıyla değişimi

Şekil incelendiğinde, başlangıç teğeti modülünün yüklenme hızının küçülmesiyle birlikte azaldığı görülmektedir [1].

Yüklenme hızının belirli bir değerden fazla artırılması, gerilme şekil değiştirme eğrisine çizilen teğetin eğimini değiştirmemektedir. Bu durum belli bir sınırdan sonra elastisite modülünün artık değişmediği anlamına gelmektedir.  $E_d$  nin bu en büyük değerine Dinamik Elastisite Modülü denir. Genel olarak iki dakika süren bir deneyde elde edilen gerilme-şekil değiştirme eğrisinin başlangıçtaki teğetin eğimini dinamik elastisite modülü olarak kabul edilir [1].

#### 1.1.6. Statik ve Dinamik Elastisite Modüllerinin Karşılaştırılması

Küçük bir gerilme değeri ile belirlenmiş dinamik elastisite modülü, yaklaşık olarak başlangıç teğeti modülüne eşittir ve değer olarak statik modülden

bir miktar daha yüksektir. Dinamik ve statik modüller arasındaki farklılık betonun heterojen yapısına önemli ölçüde bağlıdır [2].

Statik elastisite modülüne karşın dinamik elastisite modülü küçük ve kısa süreli yüklemelerde belirlebilir.

Dinamik ve statik modüller arasındaki ilişkiyi gösteren bazı deneysel bağıntılar vardır.

$$E_s=0,83E_d \quad (4)$$

Lydon ve Balendran tarafından bulunan yukarıdaki bağıntıda,  $E_s$  ( $N/mm^2$ ) statik elastisite modülünü,  $E_d$  ise dinamik elastisite modülünü göstermektedir [2].

İngiliz beton yapıların tasarımı şartnamesinde bu iki elastisite modülü arasındaki bağıntı  $N/mm^2$  cinsinden şu şekilde verilmiştir.

$$E_s=1.25E_d-19000 \quad (5)$$

Popovics S. statik ve dinamik elastisite modüllerini birim ağırlığın bir fonksiyonu olarak nitelendirmiştir ve her iki elastisite modülüyle birim ağırlık arasında aşağıdaki bağıntıyı önermiştir.

$$E_s=kE_d^{1,4}p^{-1} \quad (6)$$

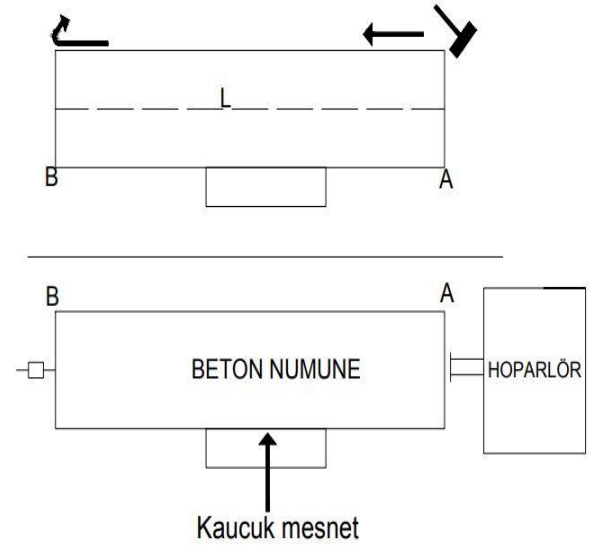
Elastisite modülünün bulunmasında farklı test metodlarının olması bir takım karışıklıklara yol açmıştır. Her ne kadar bazı mühendisler statik elastisite modülü kullansa da, dinamik elastisite modülü yüksek değerler verdiği için daha güvenilirdir ve ayrıca ölçme açısından belirlenmesi daha kolaydır.

### 1.2. Rezonans Frekansı Metodu

Dinamik elastisite modülü ( $E_d$ ) betonun performansını ilgilendiren önemli bir parametredir. Laboratuvarda belli şekil ve büyüklükteki numuneler üzerinde rezonans metodu uygulanarak dinamik elastisite modülü bulunabilir [1].

Rezonans frekansı yöntemiyle elastisite modülünün bulunması için betonun yapısında değişiklik yapmayacak darbe şeklinde küçük gerilmeler uygulanır. Deney kauçuk bir tabaka üzerine yerleştirilmiş kare kesitli prizma şeklindeki beton numune üzerinde yapılmaktadır. Prizma şeklindeki numunenin uzunluğu kesit boyutunun beş katından daha büyüktür. Numunenin A ucundan Şekil 5’de gösterildiği gibi çekiçle vurularak oluşturulan küçük bir darbe dalga

halinde V hızı ile numune boyunca ilerleyerek B ucuna ulaşır. B ucundan yansıyarak geri dönen deformasyon dalgası iki nokta arasında hareketine devam eder. Dalga numune içinde yayılarak A ucuna geldiği zaman, A ucunda ikinci bir darbe oluşturulursa iki darbenin üst üste binmesinden B ucunda ölçülen deformasyon miktarında bir artış olur. Darbe oluşturma işlemine bu şekilde devam edilecek olursa B ucunda oluşan titreşimlerin genliği en büyük değerine ulaşır. Böylece rezonansa gelen numune kendi frekansı ile titreşim yapan bir çubuk gibi davranır.



Şekil 5. Rezonans frekansları metodu deney düzeneği

B’deki titreşim maksimum olduğu zaman A noktasına yaptığımız birbirini takip eden iki darbe arasında geçen zaman  $t_1$  ve prizmanın da uzunluğu L olarak ifade edilirse denklem (7)’yi aşağıdaki şekilde yazabiliriz.

$$t_1= 2L/V \quad (7)$$

A noktasında yapılan titreşimin frekansı f ise  $t_1$  ile f arasında denklem (8)’de verilen bağıntı vardır.

$$t_1f =1 \quad (8)$$

Beton prizmanın A ucuna bir hoparlör numune ile arasında hava boşluğu kalacak şekilde yerleştirilir. Hoparlör vasıtasıyla yüksek frekanslı ses dalgaları oluşturularak numunede titreşimler başlatılır. Numunenin B ucuna yerleştirilen bir alıcı vasıtasıyla oluşan titreşimler ölçülür. B ucundaki titreşimin genliği en büyük olacak şekilde hoparlörün frekansı ayarlanır. Bu şekilde rezonans durumuna gelen numunenin titreşim frekansı  $f_1$  ile numune içinde

yayılan dalganın yayılma hızı arasındaki ilişki denklem (9)' da verilmiştir.

$$V=2Lf_1 \quad (9)$$

Buradan elastisite modülü denklem (10) ' da verilen şekilde hesaplanır.

$$E= 10^5V^2\Delta/g \quad (10)$$

Burada V km/sn cinsinden, g yerçekimi ivmesi ve  $\Delta$  kg/dm<sup>3</sup> cinsinden betonun birim ağırlığı olmak üzere betonun elastisite modülü kgf/cm<sup>2</sup> cinsinden bulunur.

### 1.3. Ultrasonik Test Metodu

İnsan kulağı 16~16000 Hz frekans bandı aralığındaki titreşimleri duyacak şekilde yaratılmıştır. Titreşimlerin frekansı 16000 Hz sınırını aşarsa insan kulağının duyamadığı ultrases ismi verilen titreşimler oluşur. Ultrases dalgaları boşlukta yayılmazlar fakat gaz, sıvı ve katı haldeki cisimlerden belirli bir V hızıyla yayılırlar. Ultrases dalgalarının kaynağı elektrik akımı uygulandığında titreşim üreten Piezoelektrik disk şeklindeki bir elemandır. Ultrases dalgaları bünyelerinde üç çeşit dalga içermektedir. Bunlardan birincisi boyuna dalgalar; sesin ilerleme doğrultusunda olanlar, ikincisi enine dalgalar; sesin yayılma doğrultusuna dik düzlemler içinde olanlar ve sonuncusu cismin yüzeyini takip eden yüzey dalgalarıdır. Boyuna ses dalgalarının yayılma hızı enine dalgaların yayılma hızından daha büyüktür [4].

#### 1.3.1. Cisim İçindeki Ses Hızının Tayini

Tahribatsız yöntemler arasında ultrases geçiş hızı yöntemi, malzemeye zarar vermeden malzemenin içerisinde geçiş hızını ölçerek dayanım gibi fiziksel özellikleri belirlemek amacıyla uzun zamandır kullanılmaktadır. Bu deneyde ses dalgasının belirli bir boydaki malzemenin içerisinde geçme süresi ölçülür. Ultrases geçiş metodu malzemeler içerisinde boyuna doğrultuda yayılan dalgaların hızlarının ölçülmesine dayanan yöntemler arasında betonun özelliklerini belirlemek için en uygun yöntemdir. Bu deney basit ve maliyet açısından ucuz olduğundan çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Birçok ülkenin bu testin uygulanma biçimi için standartları vardır [4].

Mekanik özellikleri belirlenmek istenilen beton numunenin bir ucuna ultrases dalgaları üreten verici prob, diğer ucuna da ses dalgalarını toplayan alıcı

prob yerleştirilir. Verici prob tarafından oluşturulan dalgaların alıcı proba ulaşması için gereken zaman ölçülür. Numunenin boyu L bilindiğine göre sesin malzeme içerisinde geçme süresi t cihaz tarafından ölçüldüğünden, sesin malzemenin içerisinde geçme hızı denklem (11)'deki bağıntıyla belirlenir.

$$V = \frac{L}{t} \quad (11)$$

Ultrases hızı belirlendikten sonra prizmatik numune için E (elastisite modülü) denklem (12)' de verilen bağıntıyla hesaplanır.

$$E=10^5V^2\Delta/g \quad (12)$$

Bu ifadelerde V km/sn cinsinden ultrases hızı ve  $\Delta$  kg/m<sup>3</sup> cinsinden betonun birim ağırlığı olmak üzere kgf/cm<sup>2</sup> biriminden dinamik elastisite modülü bulunur. Yukarıdaki ifadede gözükken k katsayısı, ses hızı, prizma şeklinde olan beton numunesinde saptanması halinde 1'e eşittir. Beton numunesi prizmadan uzaklaşarak küp şekline yaklaşıyorsa k denklem (13)' deki bağıntıyla hesaplanır. Burada  $\mu$  poisson oranını göstermektedir.

$$k = \frac{(1+\mu)(1-2\mu)}{(1-\mu)} \quad (13)$$

Ultrases test metodu verici ve alıcı problemlerin numunenin aynı yüzüne yerleştirilmesi suretiyle de yapılabilir. Bu durumda ses dalgalarının numune içerisinde yansımaları ile geçiş hızı ölçülmektedir. Bu yöntemle yol kaplamalarının kontrolü ve beton yolların ve döşemelerin kalınlıkları belirlenebilmektedir.

## 2. Materyal ve Metod

Dinamik elastisite modülünün tespit edilmesinde ultrasonik test yöntemi kullanılmıştır. Ölçümler, yığma bir yapı olan Şanlıurfa Tarihi Ulu Cami minaresinde yapılmıştır.

### 2.1. Deney Yöntemi

#### 2.1.1. Ultrasonik Deney Yöntemi

Ultrases darbe hızı yöntemi uzun yıllardan beri beton kalitesini belirlemek için başarıyla kullanılmaktadır. Bu yöntem, kötü çevre koşulları nedeniyle numune içerisinde meydana gelen içyapı bozulmaları gibi değişiklikleri belirlemek içinde kullanılmaktadır. Ultrases geçiş hızı metodu kullanılarak, dinamik elastisite modülü, poisson oranı, beton

döşemelerin kalınlığı, beton test numunelerinin ve yer betonunun mukavemetinin hesaplanması da yapılabilmektedir. Ultrases geçiş hızı metodu tahribatsız bir yöntemdir çünkü oluşturulan ses dalgaları numuneye herhangi bir zarar vermemektedir [4].

### 2.1.2. Testin Tarihçesi

Araştırmacılar beton gibi malzemelerin mekanik özelliklerini tahribatsız yöntemler kullanarak belirlemek istemişlerdir. Bu amaç doğrultusunda 1930'lu yıllardan beri titreşim yöntemlerini kullanarak numunelerin özelliklerini belirlemek için birçok yöntem önermişlerdir. Powers, Obert, Hornibrook ve Thomson, rezonans frekans yöntemi gibi titreşim teknikleri kullanarak kapsamlı araştırma yapan ilk araştırmacılar [4].

Ultra ses hız yöntemleri Kanada ve İngiltere'de eş zamanlı olarak gelişmiştir. Kanada'da Laslie ve Cheesman Soniscope isimli bir cihaz geliştirdiler. İngiltere'de Jones isimli bilim insanı ultrasonik test cihazını bulmuştur. Soniscope ve ultrasonik test cihazı küçük farklılıklarla birlikte genel olarak benzer özellikteydi. Ultrasonik test cihazları 1960'lı yıllarda inşaatlarda kullanılabilecek hale geldiler [4].

### 2.1.3. Dalga Teorisi

Katı bir ortam bir titreşim yükü tarafından titreşim yapmaya zorlandığında üç temel gerilme dalgası türü oluşur. Bu dalgalar, uzunlamasına yayılan basınç dalgaları, kayma dalgaları ve Rayleigh (yüzey) dalgalarıdır. Bunlardan basınç dalgaları elastik ortam içerisinde en hızlı ilerlemektedir, ardından kayma dalgaları ve yüzey dalgaları gelmektedir. Bu dalgaların hızı ortamın elastik özelliklerine bağlıdır. Dolayısıyla, ortamın kütlesi ve dalga yayılım hızı biliniyorsa, ortamın elastik özellikleri tahmin edilebilir. Homojen, izotropik özellikteki elastik bir ortamda bir darbe oluşturulursa, bu darbeden kaynaklanan üç tür dalga oluşur. Bunlardan iki tanesi basınç ve kayma dalgaları ortamın içerisinden yayılırken, oluşan yüzey dalgaları ortamın yüzeyinden yayılmaktadır [4].

Ultrases geçiş hızı test yönteminde, ultrasonik darbenin test numunesi içerisinde bir noktadan diğerine geçiş zamanı ölçülür. Bu iki nokta arasındaki mesafe bilirse, frekans belirlenebilir. Taşınabilir ultrases geçiş hızı ekipmanı; Şekil 6' da gösterilen ultrasonik test cihazı ve Şekil 7 'de gösterilen prob başlıklardan oluşur. Ultrasonik test cihazı, ilk dalganın varış zamanını ölçer. Bu basınç dalgası ile son-

suz, homojen, izotropik, elastik bir ortam için dalga hızı denklem (14)' te verildiği şekliyle gösterilebilir.

$$V = \left(\frac{k \cdot E}{\Delta}\right)^{1/2} \quad (14)$$

Denklem (14)' te V dalga hızını (m/sn), k ise denklem (13)'de verilen bir katsayıyı, E elastisite modülünü (N/mm<sup>2</sup>) ve Δ ise numunenin birim ağırlığını (gr/cm<sup>3</sup>) göstermektedir.



Şekil 6. Ultrasonik test cihazı

## 3. UYGULAMA

Uygulamalar Şanlıurfa Tarihi Ulu Cami minaresinde yapılmıştır.





Şekil 7. Ultrasonik test cihazı prob başlıkları

### 3.1. Tarihi Şanlıurfa Ulu Cami

Urfa'nın İslamiyet ile buluşması 7.yy'a dayanırken, Türk hakimiyeti ilk olarak Selçuklular döneminde mümkün olmuştur. Sonrasında Haçlılar, Artuklular, Zengiler, Eyyübiler, Harzemliler, Moğollar, Memlûklular, Akkoyunlular, Karakoyunlular dönemlerini yaşamış ve şehir 16. yüzyılda Osmanlı topraklarına katılmıştır. İslam dininin yaşandığı bu topraklar çeşitli unsurlarla donatılmıştır. Bunların en başında ise camiler gelmektedir. Şanlıurfa ili birçok medeniyete ev sahipliği yapmıştır ve her dönemde kendine özgü teknik ve yöntemlerle inşa edilmiş birçok caminin bulunması sebebiyle diğer şehirlere göre ayrı bir zenginliğe sahiptir. 12. Yüzyılda Zengiler döneminde inşa edildiği düşünülen ve halen ayakta olan Ulu Cami Urfa'nın en eski camilerindendir ve Kebir mahallesinde yer alması sebebiyle kaynaklarda Cami-i Kebir olarak da geçmektedir. Şekil 8'de tarihi Ulu Cami'den bir fotoğraf verilmiştir [5].

M.S. 435-436 yıllarında Bizanslılar tarafından yapıldığı düşünülen ve şu anda caminin minaresi işlevini gören çan kulesinin ilk yapıldığı yıllarda en üst kısmında saat bulunmamaktadır. Bu kısım ilk olarak 4 ayak üzerine oturtulan soğan kubbe ve örtü olarak belirlenmiştir.

1927-1945 yıllarında eklenen saat ile bu çan kulesi saat kulesi olarak anılmaya ve kullanılmaya başlanmıştır. 1996-1997 yılları arasında bu saat yeni-

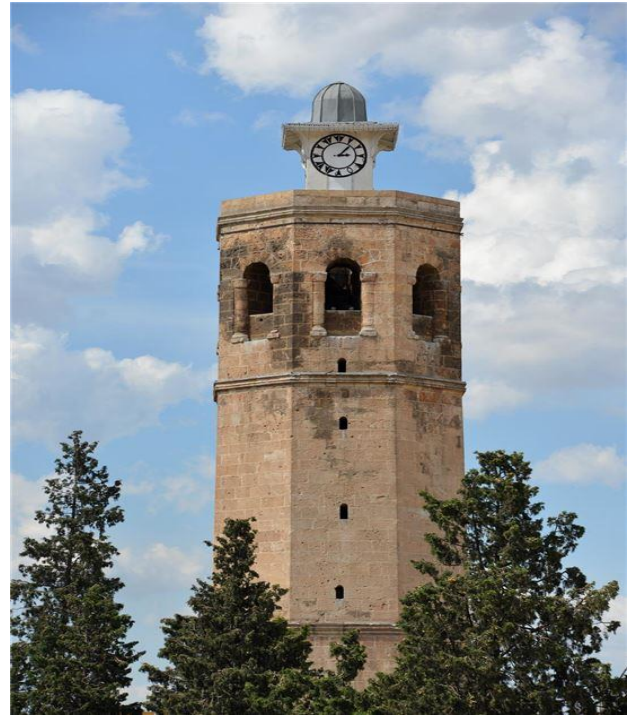
lenmiştir. Şekil 9'da ise saatin takılmasından sonraki hali görülmektedir [5].



Şekil 8. Şanlıurfa Ulu Camii

### 3.2. Ulu cami minaresinin mimari özellikleri

Kilise olarak kullanıldığı dönemden bu günlere kadar varlığını sürdüren avlunun kuzeydoğusunda yer alan sekizgen şekilli çan kulesinin mimarisi haçlılar dönemine ait mimari çizgiyi yansıtmakta, Türk mimarisi ile bir alakası görülmemektedir. Prizmatik olmayan ve üst kotlara çıktıkça daralan bir kesit şeklinde yükselen kule üç kuşak ile dört kısma ayrılmıştır. Bu sayede kule gövdesine estetik bir görüntü katılmıştır [5].



Şekil 9. Şanlıurfa Ulu Cami Minaresi

Kulenin güney kısmında bulunan giriş kapısı üstünde yer alan lento da kademeli olarak silmelerle süslenmiş ve yapının mimarisine farklı bir şekilde

zenginlik katmıştır. Kulede yer verilen bu silmeler sayesinde yapının kaba görünümü yumuşatılmıştır. Ayrıca sekizgen yapının her kenarında belirli kotlar boyunca mazgal pencerelerin açıldığı görülmektedir. İç kısmında ise 3. silmenin olduğu yüksekliğe kadar yine yukarı çıktıkça daralan, kare şekilli bir çekirdek etrafında, kesme taşlardan yapılmış ve sahanlık kısımlarıyla birlikte inşa edilmiş merdivenler bulunmaktadır [5].

Üçüncü kısımda yine tüm yüzeylerde kulenin yapıldığı döneme ait mimari yapıyı en iyi yansıtan pencereler bulunmaktadır. Bu pencerelerin kemer şeklindeki açıklıkları kuleye estetiklik kazandıran sütunlar ile sınırlandırılmıştır. Mimarisiyle ön plana çıkan bu pencerelerin varlığı minare olarak kullanılan kuleye, onu diğer minarelerden farklı kılan özgün bir görünüş kazandırmıştır [5].

Kesme taştan yapılmış sekizgen kaideli bu kulenin en üst kısmında ise sonradan eklenen bir saat bulunmaktadır. Bu bölüm taştan dörtayak üstüne oturtulmuştur ve saatin bulunduğu kısım üstündeki kubbe kurşunla kaplanarak kubbenin altında da ahşap saçaklara yer verilmiştir.

### 3.3. Deney Çalışmaları

Tarihi Şanlıurfa Ulu cami minaresinin 6 farklı noktasında ultrasonik test cihazıyla ölçümler yapılmış olup, noktaların ultrases geçiş hızı değerleri bulunmuştur. Dinamik elastisite modülü tespit edilmiştir.

### 3.4. Birim Ağırlık Testi

Birim ağırlık testi hesaplamaları, cami minaresinde bulunan numuneyle hacim ve ağırlık değerleri bulunarak hesaplanmıştır.

Numunenin ağırlığı: Şekil 10' da gösterildiği gibi hava kuru ağırlığı hassas terazide ölçülmüştür. Birim ağırlık hesaplanmıştır. Numunenin hacmi: Şekil 11' de gösterildiği gibi numune silikonla kaplanıp (su emmeyi engellemek için) yarısına kadar su doldurulan ölçekli kaba konularak su seviyesinin artışına göre hacmi hesaplanmıştır.



Şekil 10. Numunenin ağırlığının ölçülmesi



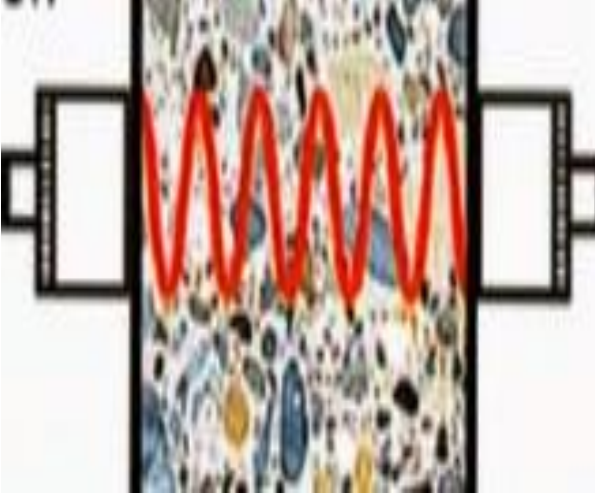
Şekil 11. Numunenin hacminin ölçülmesi

### 3.5. Ölçümler

#### 3.5.1. Direkt Yöntem

Direkt ölçüm yönteminde Şekil 12' de gösterildiği şekliyle alıcı ve verici, test edilecek elemanın bir-birine karşılıklı yüzlerine yerleştirilerek ses dalgasının geçiş hızı ölçülmüştür. Direkt ölçüm yöntemine ait değer ve sonuçlar Tablo 1' de gösterilmiştir. Urfa Ulu Camisinin farklı noktalarından direkt ölçüm yöntemiyle yapılan ölçümlere ait fotoğraflar Şekil 13, Şekil 14 ve Şekil 15' te gösterilmiştir.





Şekil 12. Direkt yöntem [11]

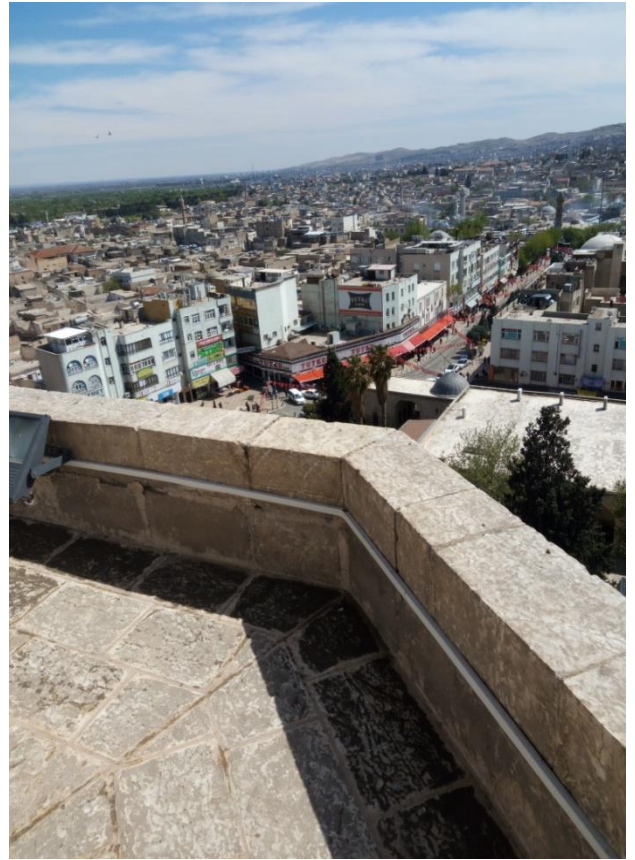


14. Ölçümlerin alınması

Şekil



Şekil 13. Ölçüm alınırken



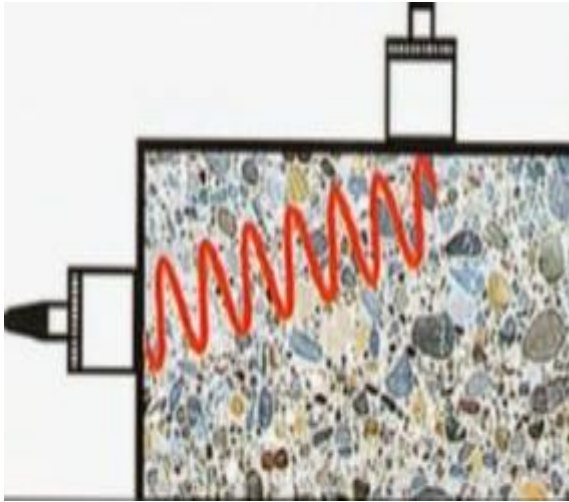
Şekil 15. Minarenin üst bölümünden bir görünüş

Tablo 1. Direkt Ölçüm Sonuçları

Nokta	$\mu$ (Poisson oranı)	$\Delta$ (gr/cm <sup>3</sup> )	V (*10 <sup>3</sup> ) (mm/sn)	E <sub>d</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	E <sub>s</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	MAG-104I084
						No'lu TÜBİTAK Projesi E <sub>s</sub> (N/mm <sup>2</sup> )
1	0.3	1.76	3140	13140	10906	13400
2	0.3	1.76	3270	14250	11827	17700
3	0.3	1.76	3110	12890	10699	16000
Ortalama	-	-	3173	13427	11144	15700

### 3.5.2. Yarı Direkt Yöntem

Yarı direkt ölçüm yönteminde alıcı ve verici, Şekil 16'da gösterildiği gibi test edilecek elemanın birbirine dik yüzeylerine yerleştirilerek ses dalgasının geçiş hızı ölçülmüştür. Yarı direkt ölçüm yöntemine ait değer ve sonuçlar Tablo 2'de görülmektedir.



16. Yarı Direkt Yöntem [11]



Şekil 17. Minarede Ölçümlerinin Alınması

Tablo 2. Yarı Direkt Ölçüm Sonuçları

Nokta	$\mu$ (Poisson oranı)	$\Delta$ (gr/cm <sup>3</sup> )	V (*10 <sup>3</sup> ) (mm/sn)	E <sub>d</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	E <sub>s</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	MAG-104I084
						No'lu TÜBİTAK Projesi E <sub>s</sub> (N/mm <sup>2</sup> )
1	0.3	1.76	3430	15679	13013	13400
2	0.3	1.76	3270	14250	11827	17700
3	0.3	1.76	3300	14513	12046	16000
ortalama	-	-	3333	14814	12295	15700

#### 4. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışma kapsamında kâgir bir yapı olan Şanlıurfa Ulu Cami minaresinde, 6 ayrı noktadan ölçüm yapıp minarenin dinamik elastisite modülü tespit edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen elastisite modül değerleri MAG-104I084 no' lu TÜBİTAK Projesi ile karşılaştırılmıştır.

ASTM C 568 [3] standardı ise, birim ağırlıkları 1.76 ile 2.16 gr/cm<sup>3</sup> değerleri arasında olan kireçtaşlarını düşük yoğunluklu olarak tanımlamaktadır [6].

Buna göre Ulu Camiyi oluşturan kireç taşının yoğunluğu 1,76 gr/cm<sup>3</sup> olarak bulunduğundan düşük yoğunluklu kireç taşı olarak değerlendirilmiştir.

#### 5. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada Şanlıurfa ilindeki en değerli tarihi yapılardan biri olan Şanlıurfa Ulu Cami minaresinin taşıyıcı duvar elemanı kireçtaşı olarak belirlenmiştir.

Elde edilen veriler MAG-104I084 no' lu TÜBİTAK Projesi ile karşılaştırılmıştır.

- 1- Minareden alınan numunenin birim ağırlığı 1.76 gr/cm<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. Bu değer TÜBİTAK projesindeki Q<sub>1</sub> ocağından alınan numune değerine yakındır. Bunun için bu çalışmadan elde edilen sonuçlar Q<sub>1</sub> ocağından alınan numunelerden elde edilmiş değerlerle karşılaştırılmıştır.
- 2- Minarenin statik elastisite modül değerleri 11144 MPa ile 12295 MPa arasında değişmektedir. MAG-104I084 no' lu TÜBİTAK Projesi Q<sub>1</sub> ocağından alınan değerle karşılaştırıldığında TÜBİTAK Projesi ortalama değeri olan 15700 MPa 'a yakın olduğu görülmektedir.
- 3- Tablo 1 ve Tablo 2'de verilen E<sub>s</sub> değerleri denklem (4)'teki bağıntıyla hesaplanmıştır.
- 4- Elde edilen sonuçlara göre yarı direkt ölçüm sonuçlarının E<sub>d</sub> değerleri, direkt ölçüm sonuçlarının E<sub>d</sub> değerlerinden yüksek olduğu gözlenmiştir.
- 5- Ultrasonik ses dalgaları yöntemiyle belirlenen E<sub>d</sub> ve E<sub>s</sub> değerlerini, karot ile numune

alınmasına izin verilmeyen tarihi yapıların onarım ve güçlendirme çalışmalarında kullanılabilceği anlaşılmıştır.

#### Kaynaklar

- [1] TANGÜNER, R., Uçucu Küllü Düşük ve Yüksek Mukavemetli Betonların Elastiklik Modülünün İncelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü 2007.
- [2] TÜRKEL, E.B., Betonda Basınç Dayanımı ile Elastisite Modülü Arasındaki İlişkiler , İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü 2009.
- [3] UYSAL, M., ve YILMAZ, K., Mineral Katkı Kullanımının Kendiliğinden Yerleşen Betonun Elastisite Modülüne Etkisinin İncelenmesi 2011.
- [4] TARUN N. And MALHOTRA V.M. The Ultrasonic Pulse Velocity Method.
- [5] EKMEK, Ş., Tarihi Urfa Ulu Cami Minaresinin Çevresel Titreşim Yöntemiyle Dinamik Özelliklerinin Belirlenmesi Şanlıurfa. 2017
- [6] TURGUT, P ., YEŞİLNACAR M.İ ve BULUT. H., Yapı Malzemesi Olarak Urfa Taşının Mekanik , Fiziksel ve Teknolojik Özelliklerinin Tespiti. Şanlıurfa, TÜBİTAK, 2006.
- [7] Yapı ve Kaplama Taşı Olarak Kullanılan Kireçtaşı, Ankara, TSE
- [8] Standart Test Method for Statik Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression, C469-02
- [9] Standart Specification for Limestone Dimension Stone, ASTM, 2003.
- [10] ERDOĞAN,T., Gerilme-Deformasyon İlişkisi, Poisson Oranı, Elastiklik Modülü ve Kayma Modülü, Beton,Odtü Yayıncılık, Cilt 4., Ankara, 554-578,Mart 2013.
- [11] <http://insaateknigi.blogspot.com.tr/2014/06/ultrasonik-test-cihaz.html>