

Yıgma Kagir Yapılarda Hasar Tespiti

F. Aköz

*Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
İstanbul 34349, Türkiye*

ÖZET: Yapılarda, mekanik yükler ve atmosfer etkileri ile zaman içinde hasarlar oluşur; yapı, başlangıçtaki performansını yitirir. Yapıya yeni işlev kazandırılması, performansının artırılması, yada herhangi bir nedenle taraflar arasında anlaşmazlık çıkması gibi durumlarda, tarihi özellikteki yıgma yapıların restorasyonundan önce yapıda etraflı bir araştırma yapılması, hasarların tespit edilmesi gerekir. Bu durumlarda yaygın olarak tahribatsız deney yöntemlerinden yararlanılır. Tespit işlemlerinden sonra gerek görülür ise onarım ve güçlendirme yöntemleri önerilir;

Bu çalışmada yıgma yapılardaki tespit işlemleri ve deney yöntemleri açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler : Yıgma yapılar, Tahribatsız Deneyler, Flatjack, Ultrases, Schmidt Çekici

ABSTRACT: Mechanical loads and atmospheric effects cause major damages to buildings by time. As a result of this, the structure loses its initial performance. In some cases, such as to change the function of the building, or in case of a disagreement, a wide research might be performed on historical masonry buildings before restoration. Non-destructive test methods are widely used in these cases. After these procedures, repair and strengthening methods are suggested.

Keywords: Masonry Buildings, , Flat jack, Ultrasound, Schmidt Hammer

Giriş

Yıgma yapıyı oluşturan doğal taş, tuğla, kerpiç, harç ve beton gibi malzemelerin basınç dayanımı yüksek, çekme dayanımı düşüktür. Basınç ve çekme etkisinde deformasyon yeteneği çok düşük olan bu malzemeler, gevrek oluşları nedeni ile deprem kuvvetlerinden veya zeminde meydana gelen değişikliklerden doğan çekme gerilmelerini karşılayamazlar. Bunun sonucu olarak; yıgma yapıların duvar, ayak, sütun, kubbe ve tonoz gibi taşıyıcı elemanlarında çatlaklar ve hasarlar oluşur. Ayrıca zaman içinde yağış, sıcaklık değişimi, nem gibi atmosfer olaylarının neden olduğu ıslanma-kuruma, donma-çözülme gibi tekrarlı olaylar, çevre kirliliğinin neden olduğu sülfat ve klorür tuzları içeren eriyiklerin eskitici etkileri, yapının bilinçsiz kullanımı,

bilgisiz ve bilinçsiz onarımlarla da yığma yapılara ciddi zararlar verilmekte, yapının servis ömrü azaltılmaktadır. Çünkü yapının dayanıklılığının azalması yük taşıma kapasitesinin de azalması anlamına gelir.

Çoğunluğu tarihi nitelikte olan yığma yapıların onarım ve/veya güçlendirilmesine karar verilmeden önce, hasarların ve yapının son halinin tespiti için aşağıda belirtilen çalışmalar yapılmalıdır (Dilek, 2004).

- Yapının geçmişinin ve son durumu etraflıca araştırılmalı, varsa projesi ile karşılaştırılmalı, projesi yok ise rölöve projesi hazırlanmalı,
- Hasarlar projeye işlenmeli, hasar oluşumu ile ilgili olasılıklar değerlendirilmeli, hasarlar gözlem ve ölçümler ile izlenmeli ve kaydedilmeli,
- Yapının yer aldığı zemin özelliklerinin çevresi ile birlikte değerlendirilmesi için gerekli ölçüm ve deneyler yapılmalı,
- Malzeme özellikleri yerinde yapılacak ölçümler ve yapıdan alınacak numunelerde laboratuvar deneyleri yapılarak belirlenmeli, onarım veya güçlendirmede kullanılacak malzemeler önerilmeli,
- Bu veriler ışığında, hasar nedenleri ve mekanizmaları tanımlanmalı, yapının son durumu açıklanmalı, onarım ve/veya güçlendirilmesine karar verilmeli,
- Yapının onarımına veya güçlendirilmesine karar verilmiş ise yapının kimliğine ve tarihi geçmişine, en az müdahale edilecek bir anlayış ile ulusal ve uluslararası yasa ve yönetmeliklere uygun olarak güçlendirme projesi hazırlanmalı,
- Uygulamanın uzman denetiminde ve aslına uygun malzemeler kullanılarak gerçekleştirilmesi sağlanmalıdır.

Yığma Yapılarda Tespit Çalışmaları

Yığma yapılarda basınç gerilmesi seviyesinin, tuğla, taş veya beton bloklar ile harç arasındaki kayma gerilmesinin, elastisite modülünün ve malzeme kalitesinin belirlenmesi için yaygın olarak sertlik, ultrases, flatjack vb tahribatsız deney yöntemlerinden yararlanılır. Tahribatsız deney yapılan elemanların bazı bölgelerinden yeterli sayıda karot numune alınır, karot alınamayan malzemelerden laboratuvar numune hazırlanması için örnekler alınır, deneyler yapılır. Deneylerden elde edilen sonuçlar ile tahribatsız deney sonuçları birlikte değerlendirilir, yapının ve malzemelerin performansı belirlenir. Çatlakların derinliği ve yönü ultrases ölçümleri ile araştırılır, tespit edilen çatlakların gelişimi, benzer yöntemler ile izlenir. Bu tür yapılarda metal malzemeler var ise bunların araştırılmasında da betonarmede olduğu gibi manyetik esaslı aletlerden yararlanılır.

Tahribatsız Deney Yöntemleri

Günümüzde tıpta, diş hekimliğinde ve mühendisliğin hemen hemen tüm alanlarında ultrasonik, radyografik, elektromanyetik v.b. yöntemlerden yararlanılarak geliştirilen tahribatsız deney yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu deneyler ile tıpta ve diş hekimliğinde hastalığın teşhisi yapılır, endüstride üretimin belirli aşamalarındaki hatalar tespit edilir, kusurlu üretim engellenir, üretime süreklilik kazandırılır; işçilik ve malzeme kaybı önlenir, dolası ile maliyet azaltılır. Süreklilik, üretimin hızını, kusurlu ürün miktarının en aza indirilmesi, üretimin kalitesini artırır (Aköz, 2001).

Yapı sektöründe kullanılan tahribatsız deney yöntemlerinde II. Dünya Savaşı izleyen yıllarda, özellikle 1950'lerde önemli gelişmeler yaşanmıştır (Carino, 1991). Bu deney yöntemleri, aletleri ve uygulamaları aşağıda açıklanmıştır.

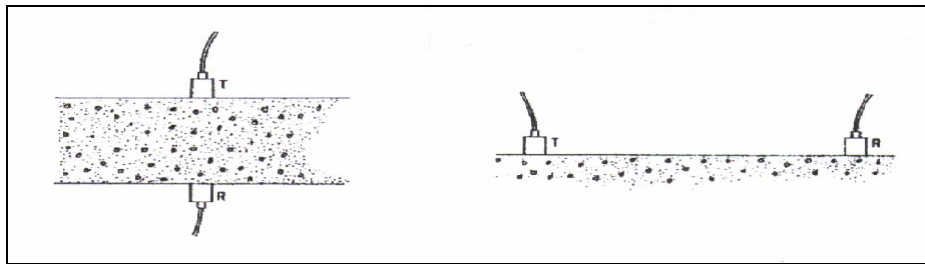
Sertlik ve Ölçümü

Malzemelerin en önemli mekanik özellikleri, elastisite, süneklik, dayanım, tokluk ve sertliktir. Sertlik, bir malzemenin yüzeyine batırılan sert bir cisme karşı gösterdiği dirençtir ve cismin dayanımı hakkında bir fikir verir, ancak dayanım yada süneklik gibi belirli bir karakteristiği tam olarak ifade etmez. Sertliğin belirlenmesi ile malzemenin kökeni hakkında bilgi edinilir, farklı iki numunenin aynı malzemeye ait olup olmadığı anlaşılır. Sertlik deneylerinin yapılması kolaydır, deneyde malzeme tahrip edilmez, bu deney, yığma yapılarıdaki doğal taş, tuğla, harç, beton gibi gözenekli ve seramik bünyeli malzemelerde elle taşınabilir aletler ile laboratuvar dışında da gerçekleştirilebilir Sertlik değerinden malzemenin iç yapısına bağlı özelliklere geçilebilmesi için cismin homojen olması, yüzey özelliklerinin iç yapıdan farklı olmaması gerekir.

Seramik bünyeli, gözenekli yapı malzemelerinde sertliğin belirlenmesi için çoğunlukla geri sıçramanın ölçülmesi prensibine dayanan N tipi veya P tipi Schmidt çekicinden yararlanır. Bunlardan, N tipinde, bir bilye, P tipinde ise bir pandül, arkasında bulunan yay yardımı ile yüzeye fırlatılır. Bilye veya pandül taş cismin yüzeyine çarptıktan sonra geri sıçrar, geri sıçrama ne kadar büyük ise sertlik o kadar yüksektir. Elemanın yüzeyindeki sıva veya kaplama kaldırıldıktan sonra değişik noktalara en az 10 vuruş yapılmalı, maksimum vuruş değeri ile minimum vuruş değeri arasındaki fark 10'dan küçük olmalıdır (Postacıoğlu,1981).

Ultrases Ölçümü

Frekansı 16.000'in üzerinde olan ve insan kulağı tarafından işitilemeyen ultrases dalgaları, katı, sıvı ve gaz içinde belirli bir hız ile yayılır. Ultrases dalgaları da ışık dalgaları gibi yayılır, yansır, kırılır ve difraksiyona uğrar. Ultrases deney tekniğinde, ses dalgaları, cisme, boşluk bırakılmaksızın temas ettirilen piezoelektrik transduser ile gönderilir ve aynı özellikteki transduser yardımı ile alınır. Alıcı ve verici probalar arasındaki ses dalgalarının iletim süresi ve hızı zaman ölçer devre ile ölçülür. Cismin yoğunluğu düşük ise ve/veya bünyesinde çatlaklar var ise ses dalgalarının yayını ve dolayısı ile ses geçiş hızı düşük olur. (Postacıoğlu,1981)

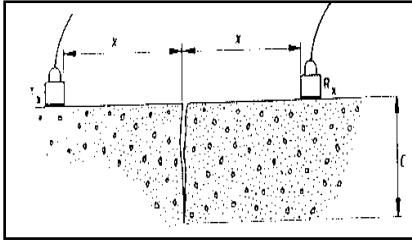


Şekil 1a: Doğrudan Ölçüm

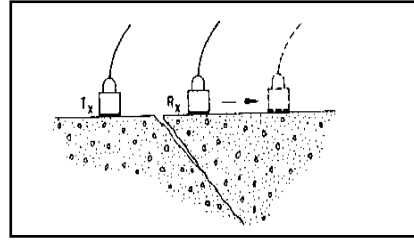
Şekil 1b: Dolaylı Ölçüm

Ultrases aleti ile Şekil 1a'da görüldüğü gibi karşılıklı yüzeylerde doğrudan veya aynı yüzden (Şekil 1b) dolaylı ölçüm yapılarak ses geçiş süresi (t , μs) ölçülür ve ses geçiş hızı (V , km/s) hesaplanır. Ses geçiş hızının yüksek olması, boşlukların az, dolayısı ile dayanımın yüksek olduğu anlamına gelir, ancak bu deney dayanımın belirlenmesi için tek başına yeterli değildir. Diğer ölçümlerle birlikte değerlendirilir. Özellikle çelik

yapılarda çatlak oluşumunu izlemek için, gözlem yapılacak bölgelere problar yerleştirilir, ses geçiş süresi sürekli ölçülür ve kaydedilir. Ultrases geçiş süresindeki kayıtlar izlenerek çatlak oluşumu tespit edilir.



Şekil 2a: Çatlak derinliği araştırması



Şekil 2b: Çatlak yönünün araştırılması

Çatlak derinliğinin ve çatlak yönünün araştırılması amacı ile çatlak bölgelerinde BS1881: Part 203: 1986'ya uygun olarak Şekil 2a ve 2b'de görüldüğü gibi belirlenen noktalarda, problemlerin yeri değiştirilmek sureti ile ses geçiş süreleri t_1 , t_2 , t_3 , ve t_4 (μs) ölçülür, gerekli hesaplar yapılarak çatlakın derinliği ve yönü belirlenir.

Radyoaktif Metodlar

Malzemelerin incelenmesi için 1950'lerde radyoaktif deney metodu geliştirilmiştir. Bu metodun esası, elektromanyetik radyasyon üreten ve yayan kaynak ile radyasyonun eleman içinden geçmesi için geçen zaman aralığını ölçen bir sensörden oluşmaktadır. Bu teknikte sistem, sensör, özel fotoğraf filmi formunda ise radyografi, gelen radyasyonu elektrik dalgalarına çevirir özellikte ise radyometri olarak adlandırılır. Malzemelerin iç yapısındaki elementler ile ilgili radyografik araştırmalar için başlangıçta, 1940'ların sonunda, X ışınları kullanılmasına odaklanılmış, ancak 1950'lerde dikkatler gama ışınlarına yönelmiştir. İki ışının radyasyon yayma özelliğindeki temel fark, radyasyonun üretim kaynağı ve yayılım özelliğidir. X ışınları, yüksek voltajlı elektronik aletler ile üretilir, gama ışınları ise, radyoaktif izotopların bölünmesi sonucu açığa çıkan yan ürünlerdir (Carino,1991).

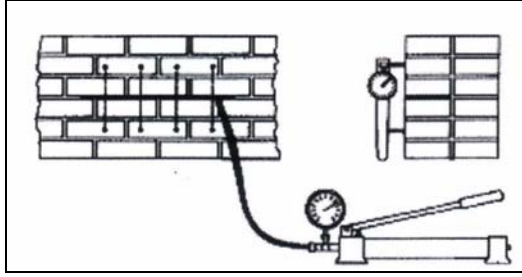
İnfrared Tomografi Yöntemi

Infrared Termografi yöntemi, kızılötesi ışınlar ile yüzey sıcaklığı ölçülerek yüzeye yakın hasarlı bölgelerin belirlendiği bir tekniktir. Bu tekniğin esası, yüzeyin sıcaklığına bağlı olarak belirli bir yoğunlukta elektromanyetik radyasyon yaymasına dayanır. Yüzey, yaklaşık oda sıcaklığında iken radyasyon, elektromanyetik spektrumunun (infrared) kızılötesi ışınlar bölgesindedir. Eğer elemanda dışarıdan içeriye veya içinden dışarıya bir ısı akışı var ise, kusurlu bölgeler çevresindeki malzeme farklı termal iletkenlik gösterdiği için bu durum ısı akışını etkiler, ısı akışı farklılığı nedeni ile yüzey sıcaklığı üniform olmaz. Yüzey sıcaklığı ölçülerek kusurun varlığı anlaşılır, yeri belirlenir. Pratikte yüzey sıcaklığı, video kamera sistemine benzer şekilde çalışan infrared tarayıcılar yardımı ile ölçülür (Carino,1991).

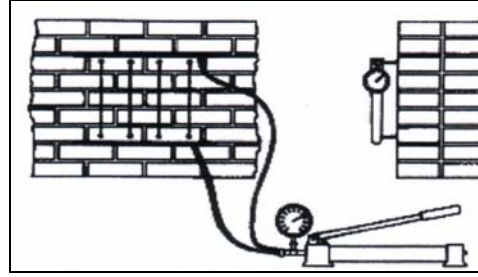
Yerinde Basınç Deneyi

Yığılma yapılarda, ASTM C 1196-92 (Reapproved 1997)'ye uygun olarak gerçekleştirilen yerinde basınç deneyinde; elemana uygulanan kuvvetin (P , kN) ve kuvvete karşılık gelen boy değişiminin (Δl ,mm) ölçülmesine olanak sağlayan flatjack deney düzeneğinden yararlanır. Bu deney düzeneği, Şekil 3a ve 3b'de görüldüğü gibi basınç uygulayan bir kompresör ve bir basınç ölçer, basınç kuvvetini yüzeye

uygulamaya yarayan plaklar, deplasmanı ölçmeye yarayan komparatör ve komparatörü tespit etmeye yarayan pimlerden oluşmaktadır.



Şekil 3a Tek plak ile ölçüm

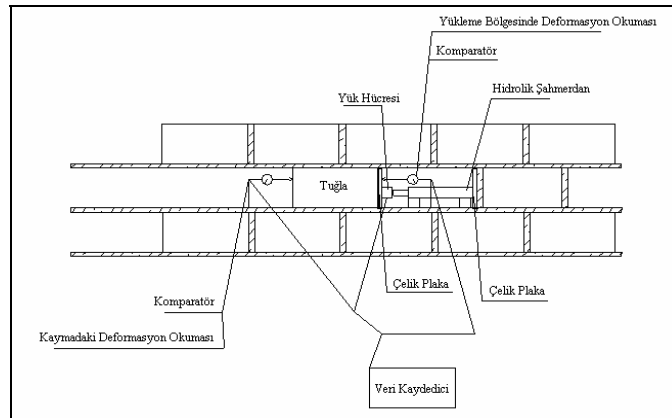


Şekil 3b Çift plak ile ölçüm

Deneyin uygulamasında, öncelikle deplasmanların ölçüleceği pimler, şablona uygun olarak yapıştırılır; başlangıçtaki uzaklık (L_0 ,mm) ve ölçülür. Elemanda, tercihen yatay derzde plağın yerleştirileceği bölge, matkap ile açılır; harcın kaldırıldığı için yapının zati yükü nedeni ile ölçüm bölgesinde meydana gelen boy değişiminin belirlenmesi için pimler arasındaki mesafe (Δl_1 ,mm) tekrar ölçülür. Açılan bölgeye plak yerleştirilir, gerekli bağlantılar yapılır, kuvvet uygulanır, belirli aralıklar ile kuvvet ve deplasmanlar ölçülür. Deneylerden gerilme ve şekil değiştirmeler, elastisite modülü (E , MPa) ve ölçüm yapılan bölgedeki gerilme seviyesi belirlenir. Bu gerilme seviyesi, şekil değiştirmenin başlangıçtaki değerine ulaştığı gerilme seviyesi olarak kabul edilir.

Yerinde Kayma Deneyi

Yığma yapıdaki kayma dayanımının ASTM C 1531-03'e uygun olarak belirlendiği deney seti, kuvvet uygulayan kompresör, kuvvet ölçer ve deplasmanı tespit eden transducer'den oluşur. Deneyin uygulanmasında Şekil 4'de görüldüğü gibi ölçüm yapılacak bölgenin iki tarafı açılır, bir taraftan yatay kuvvet (P_y , kN) uygulanır, diğer tarafa yerleştirilen transduserin deplasmanı kaydettiği andaki kayma gerilmesi, yapıdaki kayma dayanımı olarak tespit edilir.



Şekil 4 Yerinde Kayma Deneyi

Yapıdan Numune Alınması

Tahribatsız ölçümlerin yapıldığı bölgelerde, karot alınacak yerler belirlenir (TS 10465), seçilen bu bölgelerden yeterli sayıda 50 mm çapında, h (mm) yüksekliğinde karot numune çıkarılır, numuneler kodlanarak plastik torba içinde korumaya alınır. Laboratuara getirilen karotların ortama açık yüzeyinden minimum 3 cm kalınlığında

parça kesilir, karot alınan bölgeler tekniğine uygun olarak kapatılırken, bu parça yüzeye kapak olarak yerleştirilir, karot alınan bölgelerin görüntü olarak algılanması da önlenir.

Yığıma yapıda kullanılan tuğlaların, özellikle de harç malzemelerin boyutu ve mukavemeti ölçüm yapılması ve karot alınması için yetersiz olabilir; bu durumda, yapının uygun bölgelerinden laboratuarda deney yapılmak üzere, yeterli sayıda tuğla ve harç örnekleri alınır.

Laboratuvar Çalışması

Yapıdan alınan ve laboratuara getirilen taş, tuğla ve harç örneklerinden mekanik ve fiziksel deneyler için numuneler hazırlanır, fiziksel ve mekanik deneyler yapılır, gerekli görülür ise onarım veya güçlendirmede kullanılacak malzemelerin mevcut malzemelere uyumunun sağlanması için iç malzemelerde içyapı analizleri gerçekleştirilir.

Taş Örneklerde Mekanik Deneyler

Alındığı yapıya ve elemana göre kodlanan numunelerin, deneye hazırlanması için öncelikle birbirine paralel iki başı çap/yükseklik oranı 1/1 olacak şekilde taş kesme aleti ile düzeltilir. Bu numuneler, ortalama 48 saat süre ile sıcaklığı 20 ± 2 °C, bağıl nemi 65 ± 5 olan rüzgarsız laboratuvar ortamında bekletilir. Numunelerin çapı ve yüksekliği ölçülür, birim ağırlığının belirlenmesi için tartılır, ses geçiş süresi ölçülür. Ölçüm ve tartım işleminden sonra düzeltilen yüzeylere alçı, çimento karışımı hamur ile toplam 5-6 mm kalınlığında başlık yapılır. Başlığın sertleşmesinden sonra başlıklı yükseklik (h, mm) ölçülür. Bu numunelerde tek eksenli basınç deneyi yapılır, basınç etkisinde meydana gelen boy değişimi (Δl , mm) yük-boy değişimi ve kırma yükü (P_k , kN) belirlenir, basınç mukavemeti (f_c , N/mm²), hesaplanır.

Tuğla Örneklerde Mekanik Deneyler

Alındığı yapıya ve elemana göre kodlanmış olarak plastik torba içinde laboratuara getirilen tuğla örneklerinden mekanik deneyler için TS 4563 ve TS 705'e uygun olarak hazırlanan numunelerde, tek eksenli basınç deneyi yapılır, kırma yükü (P_k , kN) belirlenir, kırma yükünün kuvvet uygulanan yüzeye oranlanması ile basınç dayanımı (f_b , N/mm²) hesaplanır. Deney sonuçlarının verildiği çizelgede tuğlaların nominal boyutları, dar kenarı (e), uzun kenarı (l) ve kalınlığı (h) da verilir.

Taş, Tuğla ve Harç Örneklerde Fiziksel Deneyler

Fiziksel deneyler için hazırlanan numunelerde kılcal su emme ve ağırlıkça su emme deneyleri yapılır, deney sonuçlarından boşluklu birim hacim ağırlık (β , gr/cm³), ağırlıkça su emme (a_s , %), hacimce su emme (h_s , %) ve kılcal su emme katsayıları (K, cm²/s) belirlenir (Saraylı, 1978).

Taş, Tuğla ve Harç Örneklerde Mikrovapısal Özellikler

Fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenen malzemelerin, onarımda kullanılacak malzeme ile uyumunun araştırılması amacı ile taş, tuğla ve özellikle harç numunelerin mikro-yapısal özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla XRD ve SEM-EDX analizleri yapılır.

Değerlendirme ve İrdeleme

Yığma yapıda yapılan inceleme, tespit, tahribatsız ölçümler ve laboratuarda yapılan ölçüm ve deney sonuçları birlikte değerlendirilir. Bunun için, öncelikle tahribatsız ölçüm yapılan elemanların, Schmidt yüzey sertliğinin (R) ortalaması alınır. Yüzey sertliği, bir yüzey özelliği olduğundan basınç dayanımının tahmininde yüzey sertliği ile iç kısmı niteliksel olarak temsil eden ultrases geçiş hızının birlikte değerlendirilmesi gerekir. Bu amaçla önce;

- Yerinde aynı yüzeyde yapılan (dolaylı) ultrases ölçümlerin (V_y , m/ μ s) ile, karot numunelerde karşılıklı yüzeyde (doğrudan) yapılan ölçümlere (V_K) dönüştürülmesi amacı ile, bu iki ölçüm değerleri arasında istatistiksel ilişki araştırılmalı (1).

$$V_K = f(V_y) \quad (1)$$

- Karotlara ait eşdeğer küp dayanımı (f_{EK} , N/mm²) belirlenir (Arıoğlu,1998), bayanım ile karotlara ait ses geçiş hızı (V_K , mm/ μ sn) ve karotun alındığı elemanda ölçülmüş olan yüzey sertliği değeri (R) arasında istatistiksel ilişki araştırılır basınç dayanımının teorik olarak belirlenmesine yarayacak bağıntı elde edilir (2).

$$f_{teo} = f(R, V_K) \quad (2)$$

- Bu bağıntıdan yararlanılarak tahribatsız ölçüm yapılmış, ancak karot alınmamış bölgelere ait basınç dayanımı belirlenir (Aköz,1995), ortalama dayanım değerleri verilir.

Sonuç

Yığma yapılarda yapının mevcut durumunun tespiti, malzeme özelliklerinin belirlenmesi ve hasarların izlenmesi için tahribatsız deney yöntemlerinden yararlanılır. Güvenilir sonuç elde edilmesi için; ölçümlerde aletler doğru kullanılmalı, yeterli ölçüm yapılmalı, ölçüm ve deney sonuçları uzman kişiler tarafından değerlendirilmelidir. Bu ölçüm yöntemlerinden herhangi birinin tek başına uygulanması doğru sonuç almak için yeterli değildir. Karot numuneler alınarak birleşik tahribatsız “SONREB Değerlendirme Yöntemi”nden yararlanılmalıdır.

Referanslar

Aköz,F., 2001, Tahribatsız Deney Yöntemleri ve Yapılarda Uygulanması, *Yapı Malzemesi Semineri*, TMMOB.

Aköz, F., Yüzer, N., 1995, Investigation of Material Properties of Küçük Ayasofya Mosque- Sts Sergius and Bacchus-in İstanbul by Using Nondestructive Methods, *STREMA 95, Structural Studies Repairs and Maintenance of Historical Buildings*, May 22-24, Chaina, Crete, Greece, pp 163-170.

Arıoğlu E., Arıoğlu N., 1998, Üst ve Alt Yapılarda Beton Karot Deneyleri ve Değerlendirilmesi, Evrim Yayınevi, İstanbul.

ASTM C 1196-92 (Reapproved 1997), Standard Test Method for In Situ Compressive Stress Within Solid Unit Masonry Estimated Using Flatjack Measurements.

ASTM C 1531-03, Standard Test Method for In Situ Measurement of Masonry Joint Shear Strength Index.

BS 1881: Part 203: 1986, Recommendations on the Non-Destructive Testing of Concrete in the form of Plain, Reinforced and Prestressed Test Specimens Present Components and Structures by the Measurement of Ultrasonic Pulse Velocity.

Carino, N.J. Nondestructive Testing of Concrete: History and Challenges, Concrete Technology Past, Present, And Future, *Proceedings of V. Mohan Malhotra Symposium*, SP-144-30 pp 623-678.

Ekşi,D., Aköz,F., 2001, Tahribatsız Deney Yöntemleri ve Yapılarda Uygulanması, *Yapı Malzemesi Semineri*, TMMOB.

Ekşi, D., Aköz, F., 2004, A System Approach for Examination and Determination in Historical Buildings, *Proceedings of the Fourth International Seminar on Structural Analysis of Historical Constructions, Possibilities of Numerical and Experimental Techniques*, November 10-13, Vol.1, Padova, Italy, pp 95-102.

Malhotra, V.M., Carino, N.J., 1991, Handbook on Nondestructive Testing of Concrete, CRC Press, Boston, USA.

Postacıoğlu, B., 1981, Cisimlerin Yapısı ve Özellikleri-İç Yapı ve Mekanik Özellikler Cilt 1, İTÜ Matbaası.

TS 10465, 1992 Kasım, Beton Deney Metodları, Yapı ve Yapı Bileşenlerinde Sertleşmiş Betondan Numune Alınması ve Basınç Mukavemetinin Tayini, Tahribatlı Metod.