

## Tarihi ahşap yapılarda bazı odun özelliklerinin belirlenmesinde kullanılabilir tahribatsız muayene yöntemleri

Bilgin İçel<sup>a,\*</sup>, Abdullah Beram<sup>a</sup>

**Özet:** Ağaç malzeme doğal, yenilenebilir ve sürdürülebilir bir kaynak olarak binlerce yıldır insan hayatında olan ve hala da önemini koruyan bir yapı ve mühendislik malzemesidir. Eski çağlardan günümüze insanoğlu gerek barınma gerekse konforlu bir hayat için ağaç malzemeye ve bu malzemeden üretilen çok çeşitli ürünlere ihtiyaç duymuştur. Ülkemizde eski yapılarda ahşap kullanımına sıklıkla rastlanmaktadır. Anadolu’da gerek Selçuklu gerekse Osmanlı Dönemi’ne ait birçok ahşap mimari eser bulunmaktadır. Yapıda kullanılan ahşap malzemelerin uzun yıllar kullanımı sonrasında yorulma ve odun yapısında da eskime meydana gelmesi doğal bir sonuçtur. Bu nedenle ahşap yapılarda bakım ve restorasyon çalışmaları söz konusu olduğunda mevcut malzemenin direnci bakımından bir sorun olup olmadığı, malzemenin değişimine ihtiyaç olup olmadığı değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu bilgileri verebilmek için klasik testler kullanıldığında belirli boyutta örneklerin alınması gereklidir. Fakat özellikle koruma altına alınan ahşap yapılarda, yapının tahrip edilmeden değerlendirilmesi, yapılacak çalışmaların yapıya zarar vermemesi gerekmektedir. Böyle yapılarda mümkün olabilecek en küçük boyutta örnek alınması ve mümkünse hiç örnek kesilmeden bir değerlendirme yapılması tercih edilmektedir. Buda ancak tahribatsız veya nispeten tahribatsız olarak gruplandırılan ve malzemenin bulunduğu konumda inceleme yapmaya imkan veren test yöntemleri (Tahribatsız Muayene Yöntemleri-TMY) ile mümkündür. Bu çalışma ile tarihi ahşap yapılarda ağaç malzemenin önemli bazı fiziksel, mekanik özelliklerin değerlendirilmesinde uygulanabilecek Tahribatsız Muayene Yöntemleri’ne yer verilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Tahribatsız muayene, Ahşap bina, Kültürel miras

## Non-destructive evaluation methods that can be used for the determination of some properties of historical wooden structures

**Abstract:** Wood as a natural, sustainable and renewable resource has been used for structural and engineering purposes in human life for thousands of years and still maintains its importance. Human beings have been used the wood and wooden products for both shelter and daily products which make their life more comfortable for ages. In our country, using wood as raw material in historical buildings is quite common in the past. There are many wooden architectures holdover from both Seljuk and the Ottoman periods in Anatolia. Aging and fatigue are natural results of wooden structures in time. Therefore, the material should be evaluated in terms of the resistance of material and necessity of any replacement when the wooden structure in the maintenance and restoration work. The conventional tests used to provide this information are required to take samples in certain sizes, but especially in cultural heritages, evaluation methods must be non-destructive. In such structures the general preference is for procedures without any sampling or limited sampling size and amount. Non-destructive evaluation (NDE) is the only way to meet this. In this study some Nondestructive Testing-Evaluation Methods, that can be applied in order to estimate some properties especially physical, mechanical and acoustic properties of wood in the historic wooden structures, introduced.

**Keywords:** Non-destructive testing, Wooden structure, Cultural heritage

### 1. Giriş

İnsanlar, yapı malzemesi olarak ağaçtan çok eski çağlardan günümüze kadar yararlanmışlardır. Kullanıldığı devirlerden günümüze kadar ağaç malzeme, önemini hiç bir zaman kaybetmemiştir. Çok çeşitli alanlarda kullanılan ağaç malzeme çevreye zarar vermeyen, yenilenebilir tek doğal hammaddedir. (Bozkurt, 1986; Bozkurt ve Göker, 1987). Ahşap, yapı malzemesi olarak; geçit ve köprülerde, iskelelerde, temellerde, binaların taşıyıcı sistem kurgusunda (kütük, çerçeve ve panel), büyük açıklıklı yapılarda, çatı, duvar, döşeme ve merdiven kaplamalarında, kapı ve pencere doğramalarında, kalıp ve iskelelerde, mobilya vb. ürünlerin

üretiminde uzun yıllarca kullanılmıştır (Çakır, 2000; Bostancıoğlu ve Birer, 2004).

Ahşap hafif bir malzeme olmasına rağmen gösterdiği yüksek direnç (yoğunluk direnç oranının yüksek olması), doğallığı ve sağlıklı oluşu, nispeten ucuz bir malzeme olması, kırılmadan önce çıkardığı sesler (cazlama özelliği) ile tehlikeyi haber vermesi ve yenilenebilir bir kaynaktan temin edilebilmesi gibi özelliklerinden dolayı yapı malzemesi olarak kullanımında ön plana çıkmaktadır. Özellikle zayıf zeminlerde ve geniş açıklıkların geçildiği yerlerde hafifliği ve yüksek direnci nedeniyle alternatif bir yapı malzemesi olarak değerlendirilmektedir. İşlenmesinin ve montajının kolaylığı, sıcak ve soğuktan

✉ <sup>a</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Isparta

@ <sup>\*</sup> **Corresponding author** (İletişim yazarı): bilginicel@sdu.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 15.05.2016, **Accepted** (Kabul tarihi): 01.08.2016



**Citation** (Atıf): İçel, B., Beram, A., 2016. Tarihi ahşap yapılarda bazı odun özelliklerinin belirlenmesinde kullanılabilir tahribatsız muayene yöntemleri. Turkish Journal of Forestry, 17(2): 201-207.  
DOI: [10.18182/tjfo.02775](https://doi.org/10.18182/tjfo.02775)

fazla etkilenmemesi, basit birleştirme elemanları ile (çivi, vida, tutkal vb.) kolaylıkla birleştirilebilmesi, kimyasal etkilere karşı dayanımı özellikle yapı malzemesi olarak kullanılmasında öne çıkmasını sağlayan diğer önemli avantajları olarak ifade edilebilir (Dueer, 1973; Odabaşı, 1997).

Ağaç malzemelerin mekanik özelliklerin tespiti için kullanılan geleneksel tahribatlı testler, kesin sonuç vermesine karşın, malzemeye zarar vermektedir. Test edilen malzeme aynı amaçla bir daha kullanılamayacağı için ekonomik kayıp da meydana geldiği söylenebilir. Ayrıca tahribatlı değerlendirme yöntemleri örnekleme esasına dayanmaktadır. Test edilecek olan malzemeden veya bir grup malzeme içerisinde bütünü temsil edecek sayıda örnek alınmasını gerekmektedir. Tahribatlı geleneksel yöntemler, testlerin yapılması için belirli bir laboratuvar altyapısına ve ekipmanlara ihtiyaç duymaktadır. Bu yöntemler yerinde değerlendirmeye de imkân vermemektedir. Geleneksel tahribatlı test yöntemlerinin belirtilen bu dezavantajları, alternatif yöntemlerin geliştirilmesine neden olmuştur. Bu yöntemler “tahribatsız değerlendirme yöntemleri” olarak anılmaktadır. Bu yöntemlerde, değerlendirme yapılırken ve sonrasında malzemede hiç tahribat meydana gelmez ya da çok az bir tahribat oluşmasına rağmen, malzemenin son kullanım yeri özelliklerine ve performansına önemli derecede etki etmemektedir (Öktem, 2002; Gür, 2004). Bu nedenle “Tahribatsız Muayene Yöntemi -TMY”, malzemenin herhangi bir şekilde bütünlüğünü ve kullanılabilirliğini bozmadan yüzeyinde ve içyapısında bulunan hatalarının ve durumunun tespit edilmesi şeklinde tanımlanmaktadır (Anonim, 2004).

Yüksek teknoloji ile birlikte, üretimin her safhasında ve kullanım esnasında uygulanabilmektedir. Üretim kontrolünde, üretim sonunda oluşan malzemenin kontrolünde, üretim sonrasındaki servis, bakım ve tamir işlerinde, araştırma geliştirme safhasında gibi çeşitli aşamalarda kullanılabilir (Günay vd., 2003; Gür, 2004).

TMY, genellikle laboratuvar şartlarına gerek duyulmadan uygulanabilmesi ve yerinde değerlendirmeye olanak sağlaması tarihi ahşap yapılarda kullanımına imkan sağlamaktadır. Geleneksel yöntemlerinin aksine, TMY ile ölçüm yapılan malzemenin kullanım yerinde test edilmesi ve değerlendirilmesi söz konusudur. Birçok tahribatsız değerlendirme yöntemi, malzeme değerlendirmenin yanısıra sınıflandırma işleminin kolaylaşmasına da imkân sağlamaktadır. Böylece malzeme karakterizasyonu, malzemede önemli değişiklikler olmadan yapılabilir. Genel olarak bu yöntemler hızlı, güvenilir ve çoğunlukla ekonomik yöntemlerdir (Niemz, 2007).

## 2. Ahşabın yapı malzemesi olarak kullanımı

Ahşabın yapı malzemesi olarak kullanılmaya başlaması, beton ve çeliğe oranla çok daha eski tarihlere dayanır. İlk çağlarda insanın barınma ve korunma gereksinimlerini karşılamak amacıyla kullandığı doğal bir yapı malzemesi olmuştur. Ağaç kavuklarında başlayan barınma çabaları daha sonra saz, kamyş gibi malzemelerle desteklenmiş, en sonunda da ahşap yığma ve karkas sistemine geçilmiştir (Bostancıoğlu ve Birer, 2004).

Zaman içerisinde kullanım biçimleri ve tekniğinde ciddi boyutlarda değişim göstermemesiyle de ahşap, ilginç bir malzeme olarak diğer yapı malzemelerinden ayrılmaktadır. Örneğin ahşap çatı kurulumunda ilk defa Frigya’da kullanılmış olan teknikler ile bu günkü geleneksel teknikler birbirine benzerlik göstermektedir. Anadolu’daki ilk örnekleri söz konusu olduğunda Ege Bölgesi’ndeki Dorik tapınaklarıyla, MÖ. 600-200 yılları arasında kayalara oyulan basit odalardan oluşan Güneybatı Anadolu’daki Likya Mezarları ahşabın kullanıldığı yerler olarak akla gelmektedir. Ahşabın yapılarda taşıyıcı iskelet malzemesi olarak kullanılmasındaki en temel gelişme, XX. yüzyılın başlarına denk gelmektedir (Ferguson vd., 1996).

Gün geçtikçe artan ve yaygınlaşmakta olan sanayileşmenin ortaya çıkardığı ihtiyaçlar ile I. Dünya Savaşı öncesi ve savaş yıllarında çeliğin daha kıymetli hale gelmesi ile ahşap malzemenin farklı fonksiyonlarda ve yapılarda kullanılması zorunluluğunu beraberinde getirmiştir. Dünyadaki tüm atıklar, topraktan çıkarılan hammaddeler ve tüketilen enerjinin neredeyse yarısının sorumlusunu inşaat sektörü olarak gösterilmektedir. Bu nedenle inşaat sektöründeki en önemli eğilim “enerji kullanımının azaltılması”, “enerji verimliliğinin artırılması” ve “yenilenemeyen fosil enerji kaynaklarından uzaklaşma” yönünde gelişmektedir. Artan çevresel baskılar sonucu hem enerji ihtiyacının ortaya çıkması hem de sürdürülebilirlik sorunlarıyla beraber 1980’li yıllarda doğaya dönüş başlamıştır. Bu dönemde bozulmaz bir malzeme olduğu düşünülen betonarmenin de yenilenme ihtiyacının bulunduğu anlaşılınca ahşap yeniden popüler olmaya başlamıştır (Somer, 2010).

## 3. Ağaç malzemede tahribatsız muayene yöntemlerinin kullanımı

Tahribatsız muayenenin en eski yöntemlerinden biri görsel kereste değerlendirilmesi veya sınıflandırılması denebilir. Görsel değerlendirme tamamen subjektiftir ve ölçümü yapan kişi tarafından yönetilir. Tahribatsız muayene testi bu kısıtlamaların ikisini de ortadan kaldırmak için bir imkân sağlamıştır (Bodig ve Jayne, 1982). Tahribatsız metotların gelişimi, bilimsel olarak 20. yüzyılda elastiklik ve odun özelliklerinin ölçümünde enstrümantasyon yöntemlerinin gelişimiyle birlikte olmuştur (Bucur, 2003). Hörig (1935) ve Kollmann (1951), öncelikle statik metotlarla elastikiyet modülünün karar verilmesine öncelik verdiler. Daha sonra Avrupa’da (Hearmon, 1948), Kuzey Amerika (Jayne, 1955; James, 1959) ve Japonya’da (Fukada vd., 1956) odunun elastikiyet modülünü ölçmek için çeşitli çalışmalarla dinamik metotlar ve akustik titreşimlerin kullanılması yaygınlaşmıştır.

1960’lı yıllarda dünyada odunun içyapısının değerlendirilmesi amacıyla X-ray tekniklerinin geliştirilmesi isteği arttı. Sonrasında X-ray tekniği Japonya’da odundaki selülozun kristallini ölçmek için geliştirilmiştir (Fukada, 1965). Yine 1960’ların başında Hoyle (1961), Senft vd. (1962), ve Pellerin (1965), yapısız kerestelerin tahribatsız muayeneleri için vibrasyon kullanarak dinamik test sonuçlarından söz etmişlerdir. İngiltere’de Hearmon (1965), elastikiyetin belirlenmesi için uyguladığı ultrasonik tekniklerden bahsetmiştir. 1970’li yıllardan itibaren dünya üzerinde tahribatsız odun değerlendirmesinde Amerika’da Washington State

Üniversitesi'nde Pellerin tarafından Orman Ürünleri Laboratuvarları ile birlikte, 1990'ların başından itibaren Avrupa'da çalışmalar teşvik edilmektedir.

Tahribatsız yöntemler aslında yeni bir teknik değil, 1950'lere kadar dayanan bir yöntem olduğu görülmektedir. Tahribatsız muayene yöntemleri gerek bilimsel çalışmalarla gerekse ticari faaliyetlerde her geçen gün önem kazanmakta ve gelişme göstermektedir. Tahribatsız tekniklerin gelişimi, odun özelliklerinin belirlenmesi, materyalin davranışı ve kullanıldığı koşullar altındaki performansını anlamak için çok önemlidir. Gelecekte doğal, ekolojik ve geri dönüşümlü bir hammadde olan ahşap ve ahşap esaslı malzemelerin kullanım hacminin büyüyeceği düşünülecek olursa, tahribatsız yöntemlerin kullanımının artması ve yaygınlaşması kaçınılmaz görünmektedir (Niemz, 2007).

#### 4. Ahşap yapılarında kullanılan tahribatsız muayene yöntemleri

Tahribatsız muayene yöntemleri (TMY); bir malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleri, kusurları vb. özellikleri hakkında bilgi edinmek için, malzemeyi kullanılamaz hale getirmeden veya bir parçanın görevine uygunluğunu o parçaya herhangi bir zarar vermeden denetlemek şeklinde ifade edilebilir (Ross ve Pellerin, 1994; Tanasoïu vd., 2002; Bucur, 2003). "Nondestructive testing" ya da "Nondestructive evaluation" olarak adlandırılan bu yöntemler (Bucur, 2003), aslında bu ifadelerin tam karşılığını ifade etmediği, materyalin test edilmesi ve verilerin değerlendirilmesini de kapsayan bir sürecin tahribatsız değerlendirme olarak isimlendirilmesini savunan görüşler de mevcuttur (Ross ve Pellerin, 1991; Beall, 1996). Odunda kullanılan TMY'ler dört genel başlık altında değerlendirilmektedir (Çizelge 1). Bunlar: Mekanik, akustik, elektromanyetik ve nükleer tekniklerdir (Bucur, 2003; Niemz, 2007).

##### 4.1. Görsel değerlendirme

Ağaç malzeme hakkında ön bilgi sahibi olmak için kullanılan yöntemlerin genel ifadesidir. Uygulama esası olarak en basit TMY de denilebilir. Bu yöntem; bir çekiç ile malzemeye vurup sesin malzemenin boşluklarında yankılanmasının dinlenmesi, bozunmuş bir yüzeyi kesici bir alet ile kazıyarak bozunma derinliğini / direncini tahmin etmek, malzemeye bir çekiç darbesi sonrası, çekicinin tepkisine bağlı olarak malzeme direncini tahmin etmek vb. olarak sıralanabilir (Odabaşı, 1997).

Ağaç malzemelerin tahribatsız olarak incelenmesi, ilk olarak görsel değerlendirme ile başladığını söylemek mümkündür. Ağaç malzemeye ait yıllık halka ve yapısı, renk, budak, lif kıvrıklığı vb. gibi görünüş ve direnci üzerine etkisi olan doğal nitelikleri incelenmektedir. Çeşitli nedenlerle sonradan meydana gelebilecek çürüme, boşluklar, çatlaklar, böcek delikleri, renk değişikliği, şekil değişikliği vb. deformasyonlar gözlemlenmektedir (Falk vd., 1990). Uygulamaların sonuçları kişiye göre değişiklik göstermesi tam bir objektif değerlendirme olanağı sunmasına rağmen, malzeme hakkında ön bilgi vermesi açısından halen kullanılan bir yöntemdir (Kandemir, 2010).

Çizelge 1. Tahribatsız muayene yöntemleri ve genel sınıflandırması (Niemz, 2007)

Teknikler	Temel Fiziksel Prensipler	Ölçülebilir Özellikler
Mekanik Teknikler	Delme rezistansı, Direnç, Penetrasyon	Mantar tahribatının Belirlenmesi, yoğunluk
Akustik Teknikler	Stres - dalga, Ultrasonik, Akustik emisyon, Vibrasyon	Elastik sabitler (E, G), Kusur tespiti, Mikro çatlaklar, Tutkalı yapıştıma kusurları
Elektromanyetik Teknikler	Termografi, Elektriksel direnç, Mikrodalga	Yüzeye yakın yerlerdeki Yapışma kusurları, Mantar tahribatının tespiti, Rutubet
Nükleer Teknikler	Gözlemlenen ışık IR/NIR radyasyonu X - ray Nötron radyasyonu	Renk çeşitliliği ölçümü, Renk, Yaş, Görüntü uyumu Nem, kimyasal analiz Yoğunluk Rutubet ölçümü

##### 4.2. Stres-dalga yöntemi

Ağaç malzemenin akustik özelliklerini inceleyen bu yöntem, darbe sonucu oluşan stres-dalga yayılımı hızının ölçümüne dayanmaktadır. Genel olarak, başta malzeme içinde stres ile oluşturulan akustik dalga geçiş süresinin ve malzeme içinde ilerleyen bu akustik dalganın vibrasyon frekansının ölçülmesi prensibine sahiptir (Bucur, 2006).

Stres dalgası (akustik dalga-ses), bu yöntemin temeli olup, elastik bir ortamda 16-20000 Hertz arasındaki frekanslarda meydana gelen bütün titreşim ve dalgalar olarak ifade edilmektedir (Bozkurt ve Göker, 1996). Akustik dalga en hızlı yayılabileceği ortamı seçerek ilerlemeyi amaçlamaktadır. Malzeme içerisinde ilerlerken her hangi bir boşlukla karşılaşması durumunda etrafından dolanarak ilerleyecektir. Bu durumda malzeme içerisindeki boşluklar, çürüme vs. gibi kusurlar tesbit edilebilmektedir (Tuncel, 2008).

Bertholf (1965) yaptığı çalışmada, ağaç malzemedeki dinamik gerilmelerin tahmin edilmesi için kullanılan temel stres dalga teorisini ortaya atmıştır. Galligan ve Courteau (1965), bu teoriyi elastikiyet modülünü ölçmek amacıyla yapısal kerestelerde stres dalgasının başlatılması ve dalga geçiş süresini ölçmek için uygulamışlardır. Bu çalışma daha sonra yapılacak çalışmalarda sonik stres dalga hızının elastikiyet modülü, eğilme direnci ve diğer materyal özelliklerini önceden tahmin edilmesinde öncülük etmiştir (Vogt, 1985; Ross ve Pellerin 1988; Sandoz, 1994). Tarihi ahşap yapılar üzerinde stres dalga yöntemi ile kullanılan eski ağaç malzemelerin çeşitli mekanik özellikleri ölçülerek değerlendirmeler, yenilemeler, restasyon gibi çalışmalar da desteklenmiştir (Ross vd., 1999; Kandemir, 2010; Divos vd., 2011).



Şekil 1. Stres Dalga ölçümü (URL2,2016).

#### 4.3. Vibrasyon yöntemi

Akustik dalga yönteminin başka bir şekilde uygulandığı vibrasyon yöntemi, bir malzemenin veya bir yapının fiziksel durumunu, dinamik elastikiyet modülünün hesaplanmasında sıklıkla kullanılmaktadır (Bucur, 1995). Bu yöntemi göstermek için, hafif bir yaya ve iç sürtünme gücüne tutturulmuş kütle titreşimi ile odunun titreşim davranışı arasında bir eşitleme çizilebilmektedir (Ross ve Pellerin, 1994). Vibrasyon halindeki bir numuneden elde edilen dalga spektrumundan “Hızlı Fourier Dönüşümü”nün (Fast Fourier Transform) kullanılması fikri ilk kez Sobue tarafından ortaya atılmıştır. Sobue (1986), bu yöntemi kullanarak hem küçük ve kusursuz ömeklerde, hem de yapısal boyutlardaki ömeklerde güçlü korelasyon katsayıları elde edilebildiğini belirtmiştir. Bucur (1995), vibrasyon yöntemlerinde, akustik (stres) dalgası oluşturacak bir etmen kullanılmama karşın ölçülen parametre, malzemenin doğal frekansı olduğunu belirtmektedir. Vibrasyon yöntemi kolon ve kirişlerdeki hasarları algılamak ve bulmak (Bucur, 1995), yapısal kerestelerde dinamik elastikiyer modüllerini belirlemek (Brancheriau vd., 2002), ve dikili ağaçlarda mekanik özellikleri tespit etmek (Wang vd., 2001) için kullanılmaktadır.

#### 4.4. Delme yöntemi

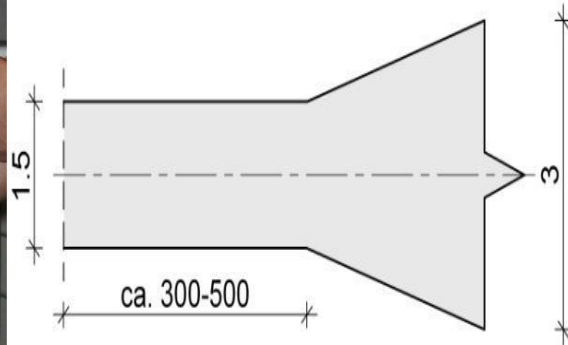
Bu yöntemde küçük çaplı (1.5 - 3mm) delme işlemi için bir iğne bulunmaktadır. Ancak, bu delik yapısal etkileri kadar küçük olduğu için ihmal edilebilmektedir. Bu nedenle bu metot TMY'leri arasında yer almaktadır. Delme işlemi için kullanılan iğne malzemenin içine nüfuz ederek deler ve

malzemede delmeye karşı oluşan direnci kaydeder. Malzeme içerisinde bulunan çürüme, boşluklar, çatlaklar ve yarıklar gibi kusurlar ile karşılaşması durumunda direnç değişim göstermektedir. Delme işlemi esnasında penetrasyon ve dönme hızı sabittir. Delme yönteminde en çok kullanılan ve tercih edilen cihaz resistograftır (Tampone, 2001). Bu cihaz, temelde delme sırasındaki güç tüketiminden yararlanarak delmeye karşı malzemenin gösterdiği direnci ölçmektedir. Cihaz ağaç içine ilerleme başladığı andan itibaren üst kısımda yer alan kağıt üzerinde amplitude (genlik) profilini yazdırmaya başlamaktadır. Cihaz doğrusal olarak delme işlemini yaparken eş zamanlı alınan grafiklerde (rezistogram) genlik malzemenin delmeye karşı gösterdiği direnci göstermektedir. Boşluk, çatlak, çürük kısımlarda bu değer düşmektedir (Güller vd., 2011).

Tarihi ahşap yapılarda en sık kullanımına başvuru yapılan tahribatsız muayenelerdendir. Bu konuda yapılmış çalışmalarda rastlamak mümkündür. Eski yapılarda, yenileme, güçlendirme, dayanım gibi çalışmalarda araştırmacılara büyük kolaylık sağlamaktadır (Ross vd., 1999; Feio, 2005; Kandemir vd., 2006).

#### 4.5. Ultrasonik yöntem

Bu yöntem, ahşap malzemenin içerisine uygulanan ultrasonik dalgaların yayılması esasına dayanmaktadır. Ağaç malzemenin gücünü düşüren hataları tespit etmek için kullanılmaya başlanmıştır. Ağaç malzemenin içerisinde bulunan bu kusur ve hatalar sesin yayılma hızını etkilemektedir. Hızın yayılma özelliği bu duruma bağlı olarak değişiklik göstereceği için kaydedilen yayılma hızı ile yoğunluk ve sertlik arasında bir ilişki kurulmaktadır (Bucur, 1995; Kabir vd., 2002). Yöntemin değerlendirilmesinde etkili olan genel gruplamalardan biri, test edilen materyalin yüzeyinde (ömeğin masif ahşap, lif kıvrıklığı, aşırı doku eğimi vb.) ya da gövdesinde (ömeğin, budaklar, çatlaklar, çürüme vb.) bulunan bir konumu temel almaktadır. Bir başka muhtemel sistem bu kusurların oluşumuna neden olan teknolojik (su toplamış kabarcıklar, odun bileşimindeki delemasyon) ya da biyolojik kusurları (reaksiyon odunu, çürüme, genç odun vb.) sınıflandırmaktadır (Bucur vd., 2006). Tarihi ahşap yapılarda da bu yöntemden sıkça faydalanılmış ve değerlendirmeler yapılmıştır (Szymani ve McDonald, 1981; Tanasoiu vd., 2002; Kandemir vd., 2006; Divos, 2011).



Şekil 2. Resistograf cihazı ve delme ucu (Tampone, 2001).



Şekil 3. Ultrasonik yöntemle ölçüm (URL1, 2015)

#### 4.6. X-Ray Yöntemi

X-Ray yöntemi veya endüstriyel röntgen adı verilen bu yöntem, bir malzemedeki süreksizlikleri, hataları tespit etmek amacıyla malzemeye kısa dalga boyu elektromanyetik radyasyon (yüksek enerjili fotonlar) uygulanması yapılmıştır. Genel olarak çeşitli malzemeleri işlemek amacıyla uygulanan materyalleri kontrol etme yöntemidir (Bucur vd., 1996). İki ışın türü kullanılabilir;

1. X ışınları = daha yavaş ve uzun süreli bir yöntemdir.
2. Gama ışınları = daha hızlı ve radyoaktif elementin kütüne bağlı olarak kısa süreli bir yöntemdir. 1. Yönteme göre radyoaktif tehlike yüksektir.

Malzemenin arkasından çıkan radyasyon miktarı algılanabilir ve ölçülebilir. Radyasyon yoğunluğundaki değişimlerden kalınlığı veya malzemenin kompozisyonu hakkında yorum yapılabilir (Niemz vd., 1983). X-ray yöntemi odun yoğunluğunun belirlenmesinde kullanılmaktadır. Odunun yoğunluğunu etkileyen kusurlar X-ray absorpsiyon değişimi ile tespit edilebilmektedir. Bu yöntemin maliyeti nedeniyle orman endüstrisinde kullanımını önemli ölçüde etkilemektedir (Niemz, 2007).

## 5. Sonuç

Ahşap yenilenebilir tek doğal yapı malzemesidir. Bu nedenle her zaman önemini koruyacaktır. Bu malzemenin kullanıldığı yapılardaki mevcut durumunun bilinmesi bakım ve restorasyon çalışmalarında önem arz etmektedir. Özellikle tarihi ve kültürel değer taşıyan ahşap yapı ve donatı elemanlarının gerek restorasyon gerekse bakım çalışmaları için gerekli verilerin alınması ve bunların ışığında yapıların zarar görmeden devamlılığının sağlanması, yapılan tespitler neticesinde korumaya yönelik müdahaleler yapılması gerekli olduğunda, bu yapılarda özel kriterler devreye girmektedir. Özellikle sürekli izleme (monitoring) uygulanması istenen yapılarda (özellikle koruma altına alınmış olan tarihi yapılarda) yapıya herhangi bir zarar verilmeden bu işlemin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. TMY'lerin kullanımı da bu açıdan önemlidir. Kullanılan yöntemler, ağaç malzemenin durumuna, incelenecek özelliğe ve kullanıldığı yere göre değişiklik göstermekte ve konu uzmanlık gerektirmektedir. Bu nedenle, yalnızca cihazların kullanılarak bunlardan bir takım verilerin alınmasının yeterli olmadığı, tüm bu çalışmaların yapılması ve TMY'lerin uygulanmasının ve yorumlanmasının bilgi birikimi, uzmanlık ve tecrübe gerektirdiği unutulmamalıdır.

## Kaynaklar

- Anonim, 2004. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Tahribatsız Muayene Yöntemleri Basılmamış Ders Notları. İstanbul.
- Beall, F., 1996. Future on nondestructive evaluation of wood and wood-based materials. *Holzforsch Holzverwert* 5:73-75.
- Bertholf, L.D., 1965. Use of Elementary Stress Wave Theory for Prediction of Dynamic Strain in Wood, Bulletin 291, Technical Extension Service, Washington State University, Pullman, WA.
- Bodig, J., Jayne, B.A., 1982. Mechanics of wood and wood composites. Van Nostrand Reinhold, 712 pp, New York.
- Bostancıoğlu, E., Birer, E.D., 2004. Ekoloji ve ahşap-türkiye'de ahşap malzemenin geleceği. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 9-2, 37-44.



Şekil 4. X-Ray yönteminde kullanılan cihaz ve kalibrasyonu (URL2,2016).



- Bozkurt, A.Y., 1986. Ağaç teknolojisi. İstanbul Üniversitesi, Taş Matbaası, 220.
- Bozkurt, Y.A., Göker, Y., 1987. Fiziksel ve Mekanik Ağaç Teknolojisi. İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul, 388: 345-348.
- Bozkurt, A.Y., Göker, Y., 1996. Fiziksel ve Mekanik Ağaç Teknolojisi, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, O.F. Yayın No. 436, ISBN 975-404-420-1.
- Brancheriau, L., Bailleres, H., Lanvin, J.D., 2002. A new grading process for structural timber based on partial least squares method using acoustic vibrations spectra. In: Proceedings of the 13th International Symposium on Nondestructive testing of wood. pp 265 – 272.
- Bucur, V., 1995. Acoustics of wood. CRC Pres, 284 pp.
- Bucur, V., Garros, S., Navarrete, A., de Troya, M.T., Guyonnet, R., 1996. Kynetics of Wood Degradition by Fungi with X-ray microdensitometric technique. Proceeding of the 10th Intemational Symposium on Nondestructive Testing of Wood, Lausanne, Switzerland; Press Polytechniques et Universitaires Romanes, 209-215.
- Bucur, V., 2003. Nondestructive Characterization and Imaging of Wood, Springer Series in Wood Science, Springer-Verlag New York, LLC, ISBN 3540438408.
- Bucur, V., 2006. Acoustics of Wood. (Springer Series of Wood Science). Springer, 393 pp, Berlin.
- Çakır, S., 2000. Geleneksel karadeniz ahşap konut yapım yönteminin çağdaş teknoloji açısından değerlendirilmesi. Doktora Tezi, Mimar Sinan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 230, İstanbul.
- Divos, F., Kiss, F.S., Takats, P., 2011. Evaluation of historical wooden structures using nondestructive methods. In: SHATIS' intemational conference on structural health assessment of timber structures, Lisbon.
- Dueer, A.W., 1973. Timber; problems, prospects, policies, Iowa State University Press, Ames, Iowa.
- Falk, R.H., Patton-Mallory, M., Mcdonald, K.A., 1990. Nondestructive Testing of Wood Products and Structures: State-of-the-Art and Research Needs, USDA Forest Service, Forest products Laboratory Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, s. 137-147.
- Feio, A.O., 2005. Inspection and diagnosis of Historical Timber Structures: NDT correlations and structural behaviour. Ph.D. thesis - Universidade do Minho. Guimaraes.
- Ferguson, I., La Fontarie, B., Vinden, P., Bren, L., Hateley, R., Hermesec, B., 1996. Environmental Properties of Timber. Research paper commissioned by the FWPRDC.
- Fukada, E., Yasuda, S., Kohara, J., Okamoto, H., 1956. Dynamic Young's modulus and piezoelectric constants of old timber. Bull Kabayasi Inst Phys Res 6: 104 – 107.
- Fukada, E., 1965. Piezoelectric effect in wood and other crystalline polymers. 2nd Symp NDT of wood, Washington State University, Pullmann, pp 143 – 170.
- Galligan, W.L., Courteau, R.W., 1965. Measurement of Elasticity of Lumber With Longitudinal Stress Waves and the Piezoelectric Effect of Wood, Proceedings of the Second Symposium on the Nondestructive Testing of Wood, Washington State University, Pullman, WA.
- Güller, B., Güller, A., Genç, M., 2011. Dikili durumdaki ağaçların iç kısımlarında oluşan ve belirgin bir emare göstermeyen çürük ve boşlukların tahribatsız belirlenmesi. I. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 26-28 Ekim 2011, Kahramanmaraş, s. 306-314.
- Günay, Y., Değirmenci, S., Şirin, B., 2003. Demir döküm sektöründe tahribatsız muayenenin önemi ve uygulamaları. Metalurji Dergisi, 136, Ankara.
- Gür, H., 2004. Tahribatsız Muayenenin Önemi ve Yöntemleri, Ankara.
- Hearmon, R.F.S., 1948. The elasticity of wood and plywood. Dent Sci Ind Res For Prod Res Spec Report No 7. HMSO, 87 pp, London.
- Hearmon, R.F.S., 1965. The assessment of wood properties by vibrations and high requency acoustic waves. 2nd Symp NDT, Washington State University, pp 49-66.
- Hoyle, R.J., 1961. A nondestructive test for stiffness of structural lumber. For Prod J., 11 6: 251 – 254.
- Hörig, H., 1935. Theory of elasticity of anisotropic solids applied to wood (Anwendung der Elastizitätstheorie anisotroper Körper auf Messungen an Holz). Ing Arch VI:8-14.
- James, W.L., 1959. A method for rapid measurement of the rate decay of free vibrations. USDA, FPL Bull no 2154, USDA, Madison, WI.
- Jayne, B.A., 1955. A nondestructive test of glue bond quality. For Prod J., 5 5: 294 – 301,7.
- Kabir MF, Schmoldt DL, Schafer ME. 2002. Time domain ultrasonic signal characterization for defects in thin surfaced hardwood lumber. Wood and Fiber Science, 34(1):165–82.
- Kandemir-Yucel, A., Tavukcuoglu, A., Caner-Saltik, E.N., 2006. In situ assessment of structural timber elements of a historic building by infrared thermography and ultrasonic velocity. Infrared Physics & Technology, 49, 243–248.
- Kandemir, A., 2010. Assessment of Historic Structural Timber By The Use of Non-Destructive Methods, Phd Thesis, Middle East University.
- Kollmann, F., 1951. Technology of wood and wood based composites (Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe). Springer, Berlin Heidelberg, 1048 pp, New York.
- Niemz, P., Wagner, M., Theis, K., 1983. Status and possibilities of the application of acoustic emission analysis in wood research. Holztechnologie, 24(2): 91-95.
- Niemz, P., 2007. Methods of non – destructive wood testing. Institute for Building Materials (Wood Physics), ETH Zurich, 7-8.
- Odabası, Y., 1997. Ahşap ve Çelik Yapı Elemanları. 2. Baskı, Beta Yayınevi, s. 479.
- Öktem, H.F., 2002. Ultrasonik tahribatsız muayene tekniğinin sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmesi. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Konstrüksiyon ve İmalat Anabilim Dalı, 58, İzmir.
- Pellerin, R.F., 1965. Avibrational approach to nondestructive testing of structural lumber. For Prod J., 15, (3): 93 – 101.

- Ross, R.J., Pellerin, R.F., 1988. NDE of Wood-Based Composites With Longitudinal Stress Waves. *Forest Products Journal*, 38(5): 39-45.
- Ross, R.J., Pellerin, R.F. 1991. Stress wave evaluation of green material: preliminary results using dimension lumber. *Forest Products Journal*, 41(6): 57-59.
- Ross, R.J., Pellerin, R.F. 1994. Nondestructive testing for assessing wood members in structures: A review. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-70 (Rev.). Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 40p.
- Ross, R., Pellerin, R., Volny, N., Salsig, W., Falk, R., 1999. Inspection of timber bridges using stress wave timing non-destructive evaluation tools – A guide for use and interpretation. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-114. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory: 15 pp.
- Sandoz, J.L., 1994. Wood testing using acousto-ultrasonic. Proceedings of the First European Symposium on Non Destructive Evaluation of Wood. Sopron, Hungary: University of Sopron, 21-23 September, 1994.
- Senft, J.F., Suddath, S.K., Angleton, R.D., 1962. A new approach to stress grading of lumber. *For Prod J.*, 12 (4): 183 – 186.
- Sobue, N. 1986. Measurement of Young's modulus by the transient longitudinal vibration of wooden beams using a FFT spectrum analyser. *Mokuzai Gakkaishi*, 32(9): 744-747.
- Somer, M. E., 2010. Sürdürülebilir ve ekolojik yapı elde etmede ahşap kullanımı. *Mimarlık Dergisi*, Sayı 354.
- Szymani, R. ve McDonald, K.A., 1981. Defect detection in lumber: state of the art. *Forest Products Journal*, 31(11): 34-44.
- Tampone, G., 2001. Acquaintance of the ancient timber structures. In: Lourenco PB, Roca P, editors. *Historical constructions. Possibilities of numerical and experimental techniques*.
- Tanasoiu, V., Miclea C., Tanasoiu C., 2002. Nondestructive Testing Techniques And Piezoelectric Ultrasonics Transducers For Wood And Built in Wooden Structures. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, Vol. 4, No. 4: 949 – 957.
- Tuncel, S., 2008. Tahribatsız Muayene Teknolojilerinde Son Gelişmeler: Akustik Emisyon. TÜBİTAK MAM Malzeme Enstitüsü, 41470.
- Vogt, J.J., 1985, Evaluation of the Tensile and Flexural Properties and Internal Bond of Medium Density Fiberboard Using Stress Wave Speed and Attenuation. M.S. Thesis, Washington State University, Pullman, WA.
- URL1: <http://www.ndtjames.com/V-Meter-MK-IV-p/v-c-4.htm> Erişim Tarihi: 29.12.2015.
- URL2: <http://www.costfp1101.eu/stress-wave.htm> Erişim Tarihi: 25.01.2016
- Wang, X., Ross, R.J., McClellan, M., Barbour, R.J., Ecickson, J.R., Formsan, J.W., McGinnis, G.D., 2001. Nondestructive evaluation of standing trees with a stress wave method. *Wood and Fiber Science*, 33 (4): pp 522 – 533.