

GEÇMİŞTEN GÜNÜMÜZE TAHRİBATSIZ MUAYENE YÖNTEMLERİ

Tuğçe Yağcı¹, Aytaç Çidem², Hülya Durmuş³

ÖZET

Ürünlerde, üretim ve kullanım sırasında oluşabilecek olan hataların önceden tespit edilmesi ve önlemlerin alınması önemli bir konudur. Ürünlere zarar vermeden yapılan inceleme işlemlerine tahribatsız muayene adı verilmektedir. Artan sanayileşme ile günümüzde, malzemelerde daha yüksek servis güvenilirliği ve kalite talebi, tahribatsız muayene tekniklerinin gelişmesiyle yakından ilgilidir. Bu çalışmada, pek çok sektörde kullanılan tahribatsız muayene yöntemlerinden gözle muayene, sıvı penetrant testi, manyetik parçacık yöntemi, ultrasonik muayene, girdap akımları metodu ve radyografik muayene ile ilgili detaylı tarihçe araştırması yapılmış ve yöntemlerin kökenleri raporlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Tahribatsız muayene, sıvı penetrant, manyetik parçacık testi, ultrasonik muayene, girdap akımları yöntemi, radyografik yöntem.

ABSTRACT

In the products, preliminary determination of faults that may occur during production and use and taking precautions is an important issue. Non-destructive inspection is called inspection procedures without damaging the products. Today, with increased industrialization, higher service reliability and quality requirements in materials are closely related to the development of non-destructive inspection techniques. In this study, detailed historical researches of the nondestructive tests such as visual testing, liquid penetrant test, magnetic particle method, ultrasonic inspection, Eddy-current method and radiographic inspection have been carried out from the non-destructive inspection methods used in many sectors and the origins of the techniques have been reported.

Keywords: Nondestructive testing, liquid penetrant, magnetic particle inspection, ultrasonic inspection, Eddy-current method, radiographic method.

1. GİRİŞ

Gelişen teknolojiyle birlikte, insanların satın aldıkları ürünlerden bekledikleri kalite artmaktadır. Ürünlerin, müşteriye ulaşmadan evvel kalite kontrolünden geçirilmeleri elzem bir konu olup, bu kontroller numuneler ya da ürünler üzerinde tahribatlı veya tahribatsız olarak gerçekleştirilmektedir. Tahribatlı testlerin tamamlayıcısı özelliğindeki tahribatsız testler, ilgili

¹ Araş. Gör., Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, tugce.yagci@cbu.edu.tr, +90236 201 2417, MANİSA, TÜRKİYE

² Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, aytacidem@gmail.com, +90236 201 2417, MANİSA, TÜRKİYE

³ Doç., Dr., Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, hulya.durmus@cbu.edu.tr, +90236 201 2408, MANİSA, TÜRKİYE

parçanın fiziksel ya da kimyasal bütünlüğünü bozmaksızın gerçekleştirildiğinden tahribatlı testlere göre nispeten daha ucuzdur (Akgün, Yıldırım ve Baş, 1991).

Tahribatsız muayene bilimi, gerek öncesinde gerek sonrasında kullanılan yoğun işlem matematiği ile farklı test yöntemleri ve bunların uygulamalarını kapsayan geniş bir çalışma alanıdır. Kullanılan yöntem ve teknikler açısından elektromanyetizma, akustik veya termal emisyon, yüksek enerjili radyasyon, yapısal penetrasyon gibi farklı fiziksel olgulara dayanmaktadır (Omar, 2012). Tahribatsız muayene yöntemleri, alt yapısında birçok farklı fiziksel olgudan beslendiğinden dolayı, mekanik malzemelerinden medikale, metal imalat sektöründen polimer endüstrisine kadar pek çok alanda kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra, üretilen malzemelerin kalitelerini arttırmak veya malzemelerde ani kırılmalar sonucu oluşabilecek can ve mal kayıplarını önlemek amacıyla da, demir-çelik sektörünün öncülük ettiği sanayileşme sürecinin başlaması ile gelişmiş ülkelerde veya gelişmekte olan ülkelerde büyük önem arz etmektedir. Test edilecek parçanın bütünlüğüne zarar vermeksizin yapılan muayenelerde, günümüzde üretimde kendine hızla yer bulan polimer ürünler ve kompozitler de dahil olmak üzere, demir ve demir dışı ürünlerin arzu edilen özelliklerde olup olmadığı incelenmektedir (MEGEP, 2006). Plastik şekil verme (ekstrüzyon, hadde, dövme vb.), döküm, talaşlı imalat (tornalama, frezeleme, kesme vb.) veya kaynak yöntemleriyle üretilen malzemelerde rastlanan ve gözle muayenede görülemeyen yapısal kusurlar (korozyon/yorulma çatlakları vb.), malzemelerin mekanik özelliklerinde düşmeye neden olmaktadır. Hatta, malzemelerin iç yapısında ihtiva ettikleri çatlaklar zamanla yüzeye doğru ilerleyip, kırılmalara sebep olmaktadır. Özellikle yapı malzemeleri sektöründe (köprü, bina imalatı vb.) ve otomotiv endüstrisinde kullanılan parçalardaki iç yapı çatlakları ani kırılmalara sebebiyet vereceğinden, öngörülemediği ve önlem alınmadığı takdirde hayati tehlikelere yol açabilmektedir.

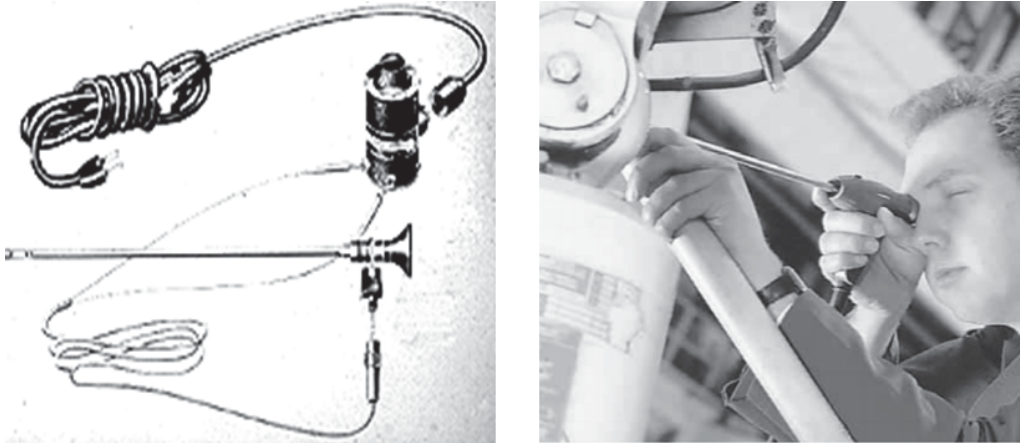
2. TAHRİBATSIZ MUAYENE YÖNTEMLERİ

2.1. Gözle Muayene

Bazıları tarafından tahribatsız muayenenin atası olarak görülen Dr. Robert McMaster, insan bedenini en eşsiz hasarsız muayene test cihazı olarak tanımlamıştır. Görme duyumuz sadece gözle muayene işlemini gerçekleştirmemizi sağlamakla kalmaz; aynı zamanda diğer tahribatsız muayene işlemlerinin birçoğunun yürütülmesi için de gereklidir (Mix, 2005). Gözle muayene yöntemi için çarpıcı bir örnek olarak, yeryüzü ve cennet yaratılırken gözle kontrollerle başladığı kaynaklarda verilmektedir (Hellier, 2003). Gözle muayene endüstride kullanılan ilk tahribatsız muayene yöntemidir. Buna karşın resmi bir tahribatsız muayene yöntemi olarak kabul edilen son yöntemdir. Görsel muayenenin geliştirilmesi 1980'lerin başında Elektrik Enerjisi Araştırma Enstitüsü (EPRI) Tahribatsız Muayene Merkezi tarafından desteklenmiştir. Bunun sonucunda 120 saatlik örgün eğitim içeren gözle muayene teknolojisi için bir eğitim programı oluşturulmuştur. Bu eğitim nükleer santrallerde denetlenmesi amacıyla, özellikle Amerikan Makine Mühendisleri Derneği tarafından desteklenmiştir. Program, personeli görsel denetçiler olarak nitelendirmek için tasarlanmıştır.

Herhangi bir iş parçasının yüzeyinde meydana gelen ve parça kalitesine etkileyen bozuklukların optik bir yardımcı kullanılarak veya kullanılmaksızın incelenmesi ve değerlendirilmesi esasına dayanan gözle muayene yöntemi, temelde basit bir metot olarak görünse de, uygulamada pek çok incelik barındırmaktadır. Gerek metalik gerekse metalik olmayan bütün malzemelerde kullanılması uygun olan bu yöntem, uygulamada çoğu zaman

numune yüzey hazırlık işlemi de gerektirmediğinden göreceli olarak pratiktir. Bir diğer yandan, gözle muayene esnasında, yeterli ışık altında ve uygun açılarda inceleme yapmak son derece önemlidir. Gözle muayene, yöntemin genel kurallarının yer aldığı EN 13018 standardına uygun olarak ve gerektiğinde EN ISO 3058 ve EN 13927 standartlarında yer alan yardımcı ekipmanlardan ihtiyaç olanlara başvurularak doğru bir değerlendirme yapılabilir. Baroskoplar, endoskoplar ve yeni geliştirilen video teknolojileri ile yapılabilen gözle muayene tekniğinde 1955 yılında cam elyaf demetlerinin incelenmesi sırasında kullanılan baroskopun fotoğrafı Şekil 1’de yer almaktadır (Telif Hakkı: 2003, The McGraw-Hill).



Şekil 1. Eski zamanlarda kullanılan baroskoplardan görüntüler (The McGraw-Hill, 2003).

2.2. Sıvı Penetrant Testi

Sıvı penetrant muayenesi, ilgili iş parçalarının yüzeylerindeki kırılma ve/veya çatlama kusurlarını açığa çıkarmak amacıyla kullanılan bir yöntemdir. Kusurdan renkli veya floresan boya boyaların patlatılması ve gözle görünür hale getirilmesi esasına dayanır. Bu teknik, yüzeyinde açık çatlaklar bulunan katı bir parçaya, yöntemine özel bir sıvının püskürtülmesi veya bu sıvı içine parçanın kontrollü bir şekilde daldırılması ile yüzeyin ıslatılması ve çatlaklar boyunca sıvının kılcal hareketi ile kusurun doldurulması adımı ile başlamaktadır. Bekleme süresinin geçmesiyle, yüzeye fazla nüfuz eden penetrant sıvısı su veya organik çözücülerle yıkama işlemi ile giderilir. Yüzeyin fazla penetrant sıvısından arındırılması aşaması, test için kritiktir. Eğer temizleme işlemi gereğinden fazla yapılırsa, çatlaklara nüfuz etmesi sağlanan penetrant sıvısının bir kısmı temizleme işlemiyle uzaklaştırılmış olur. Bir diğer yandan, temizleme işlemi gereğinden az yapıldığı takdirde, ince çatlakların görünürlüğü azalacaktır. Her iki durumda da, testin hassasiyet parametresi zarar görür (Mix, 2005).

Fazla penetrantın sağlıklı bir şekilde iş parçasının yüzeyinden giderilmesinin ardından, aynı yüzeye geliştirici uygulanır. İyi emici özellikteki geliştirici, bir yandan kurutma fonksiyonunu yerine getirirken, öte yandan yüzeydeki kontrastı artırarak çatlakların daha net görülmesini de sağlar. Benzer şekilde, penetrant sıvılarının da floresan etkili olan çeşitleri yüksek kontrasta ve gözle görülemeyecek kadar küçük çatlakların görünür olmasına yardımcı olur. Renkli penetrant sıvısı kullanıldığında incelemeler için iyi bir beyaz ışık gerekirken, floresan penetrantların ultraviyole “siyah ışık” ile karanlık ortamlarda kullanılması gerekmektedir (Uludağ, 2017). Şekil 2’de eski zamanlarda kullanılmış sıvı penetrant test

ünitesi yer almaktadır (Hellier, 2003). Penetrant sıvısının çatlaklara nüfuz etmesi için gerekli olan zaman söz konusu çatlağın tipine ve erişilebilirliğine bağlı olmakla, birkaç dakikadan 12 saate kadar değişebilmektedir.



Şekil 2. Tarihte kullanılmış olan sıvı penetrant test ünitesi (Hellier, 2003).



Şekil 3. Sıvı penetrant testinin günümüz uygulamalarından bir örnek (Geni Metal, 2018).

Günümüzde Şekil 3'teki görüldüğü gibi uygulanan sıvı penetrant testinin tarihine bakıldığında, çok eskiden beri kullanılan bir teknik olduğu karşımıza çıkmaktadır. Bu tahribatsız muayene tekniğinin en ilkel uygulamalarından biri; karbon siyahının sırlı çömlekler üzerine sürülmesidir. Sırlı çömleklerde bulunan yüzey çatlaklarına yerleşen karbon siyahı, bu çatlakları görünür hale getirmektedir (Shull, 2002). Bir başka açıdan, havacılık sektörü gibi önemli alanlarda kullanılan parçalarda meydana gelecek hasarlar, hayati tehlikelere yol açabilmektedir. Örneğin, bir uçağın iniş takımlarında meydana gelen bir hatanın tespiti, parçaya zarar vermeden penetrant sıvı testi ile kolayca yapılabilir. Şekil 4'te uçaklarının güvenlik parçalarından iniş takımlarına penetrant sıvı uygulaması gösterilmektedir (Shull, 2002).



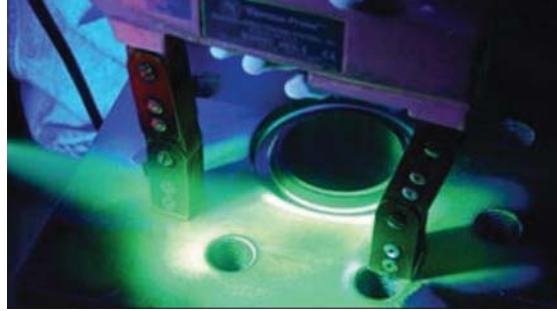
Şekil 4. Uçakların iniş takımlarına penetrant sıvı testinin uygulanması (Shull, 2002).

Bu yöntemin daha sonraki uygulamalarına, demir yolu atölyelerinde demir-çelik iş parçalarının muayenesinde rastlanmaktadır. İlk uygulamalarının kimler tarafından yapıldığı bilinmemekle birlikte yağ ve beyazlatıcı kullanılarak demiryollarındaki çatlaklar tespit edilmiştir. Bu uygulamada demir yolu atölyelerinde sıklıkla kullanılan ağır bir yağ, dev tanklarda kerosen ile seyreltilir ve lokomotif parçaları bu seyreltik emülsif çözelti içerisine daldırılmaktadır. Daha sonra dikkatli bir şekilde sıvı çözüldüden çıkarılan ve temizlenen iş parçalarının yüzeyleri alkol içinde dağıtılmış halde bulunan ince kireç tozuna maruz bırakılır ve alkolün buharlaşması sağlanır. Alkolün buharlaşmasıyla yüzeyde beyaz bir tabaka oluşur. İlgili iş parçası, sonrasında çekiçle vurularak titreştirilir. Böylece herhangi bir yüzey çatlağı varsa, artık yağ bu çatlaktan iç kısma doğru sızar ve sızdığı kısımda leke meydana getirir. Özellikle demir-çelik iş parçalarında uygulanan bu yöntem 19. yüzyıl sonlarından, 1940'lı yıllarda manyetik parçacık yönteminin bu tip parçaların tahribatsız muayenesinde daha duyarlı olduğu anlaşılan kadar uygulanmaya devam etmiştir (Rummel ve Matzkanin, 1996).

2.3. Manyetik Parçacık Testi

Manyetik parçacık testi de malzemelerin tahribatsız olarak muayenesinde kullanılan diğer metotlara göre daha hızlı ve derinlemesine bir yüzey hazırlığı gerektirmeyen pratik bir test yöntemidir. Sahip olduğu bu özellikler manyetik parçacık testini en sık kullanılan yöntemlerden biri haline getirmektedir. Bu yöntemle hata tespitinde küçük manyetik partiküllerden ve manyetik alandan faydalanılır. Test edilecek parçaların bu yöntem ile incelenebilirliği açısından tek kısıt, bu parçaların mutlaka ferromanyetik özellikte olması (Fe, Ni, Co alaşımları içermesi) gerekliliğidir. Bu malzemeler, incelemenin sağlıklı bir şekilde etkinliğini sağlayacak düzeyde manyetize edilebilmelidir (Blitz, 1997; Yavuz, 1998).

Günümüzde manyetik parçacıklar testi, muayene edilecek parçanın yüzeyine bir manyetik akı uygulanması sonucu yüzeyde bulunan süreksizliklerde kaçak akı oluşturulması esasıyla uygulanır. Muayene yüzeyine ferromanyetik tozların serpilmesiyle bu tozlar, kaçak akı tarafından çekilerek süreksizlikler üzerinde toplanır. Böylece süreksizliklerin yerleri kolaylıkla tespit edilebilir. Şekil 5'te manyetik parçacık testinin günümüz uygulamalarından bir örneğe yer verilmiştir.

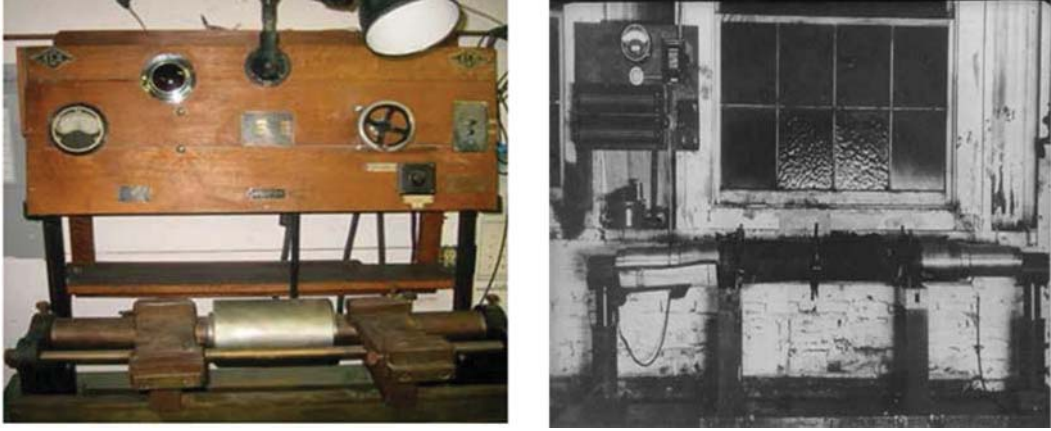


Şekil 5. Manyetik parçacık testinin güncel uygulama örneği (Metal ve Kaynak Teknolojileri, 2018).

Yöntem; dövme, döküm ve kaynak dahil olmak üzere pek çok ürünün muayenesinde kullanılabilir. Yapısal çelik, petrokimya, enerji üretimi, otomotiv ve havacılık endüstrilerinde sıklıkla tercih edilen bu yöntem, su altı muayeneleri (deniz yapıları ve su altı kanalları) için de elverişlidir. Ayrıca; köprüler, depolama tankları ve diğer güvenlik elemanı olarak görev yapan kritik yapılar üzerindeki yapısal kaynakların bütünlüğünü değerlendirmek için de manyetik parçacık yönteminden sıklıkla faydalanılmaktadır (Mix, 2005; NDT Italiana, 1952).

Bu yöntemin tarihsel gelişimine bakıldığında, manyetizma tekniğinin iş parçası muayenesinde ilk olarak kullanılmasının 1868 yılına dayandığı görülmektedir. Savaşlarda bombardıman silahları olarak kullanılan topların namlu kısımlarının mıknatıslanması ve namlu boyunca manyetik bir pusula kaydı yapılması ile kusurların tespiti sağlanmıştır. Bu yöntem bir tahribatsız muayene biçimiydi; fakat bu kavram I. Dünya Savaşı'ndan bir süre öncesine kadar pek kullanılmıyordu.

1920'lerin başlarında, William Hoke manyetik parçacıkların manyetizma ile kusurları bulma aracı olarak kullanılabileceğini fark etti. Hoke, manyetize edilmiş bir malzemedeki yüzey veya yüzey altı kusurunun, manyetik alanın parçalanmasına ve parçanın ötesine uzanmasına sebep olduğunu keşfetmiştir. Sert çelik parçalardan gelen metalik öğütmelemin, yüzeydeki çatlaklara karşılık gelen parçanın yüzeyinde desenler meydana getirdiğini fark eden Hoke, muayene edilecek parçalara çok ince bir şekilde uygulanan ferromanyetik tozun kusurların üzerinde birikmesiyle, o kusurları daha görünür hale gelmiştir. Şekil 6; İngiltere, Strand, Ekipman ve Mühendislik Şirketi Ltd. (ECO) tarafından yapılan "1928 Elektro Manyetik Çelik Test Cihazı"nı ve yine eski zamanlarda kullanılmış olan bir başka manyetik parçacık ünitesini göstermektedir (NDT Resource Center).



Şekil 6. Manyetik parçacık test üniteleri.

1930'ların başında, manyetik parçacık muayenesi, buhar endüstrisi tarafından, buhar motoru kazanlarını, tekerlekleri ve akslarını incelemek için tercih edilen yöntem olarak, sıvı penetrant testinin erken bir şekli olan petrol ve beyazlatma yönteminin hızla yerini almıştır.

2.4. Ultrasonik Muayene

Ultrasonik muayene yöntemi, bir prob yardımı ile test edilecek iş parçasına yüksek frekanslara (0.1-20 MHz) sahip ses dalgalarının iletilmesi ve iş parçasının içerisinde bulunan kusurlarla karşılaşan ses dalgalarının ilerleyişine devam edemeyip proba geri dönmesi temeline dayanmaktadır. Prob tarafından algılanan ses dalgaları, elektriksel sinyallere çevrilir ve katot ışınları tübü ekranında iş parçası iç yapısındaki hataların habercisi niteliğinde yankı olarak karşılık bulur. Osileskop denilen ekran üzerinde gözlemlenen yankıların buldukları konum ve sahip oldukları genlikler yardımıyla, tespit edilmek istenen süreksizliğin yeri ve boyutları hakkında yorum yapılmaktadır (Shull, 2002; Kara, Erdal ve Çelik, 2017). Şekil 7' de, endüstriyel olarak en çok kullanılan tahribatsız test yöntemlerinin başında gelen ultrasonik muayene yönteminin, güncel uygulamalarından bir örnek yer almaktadır.

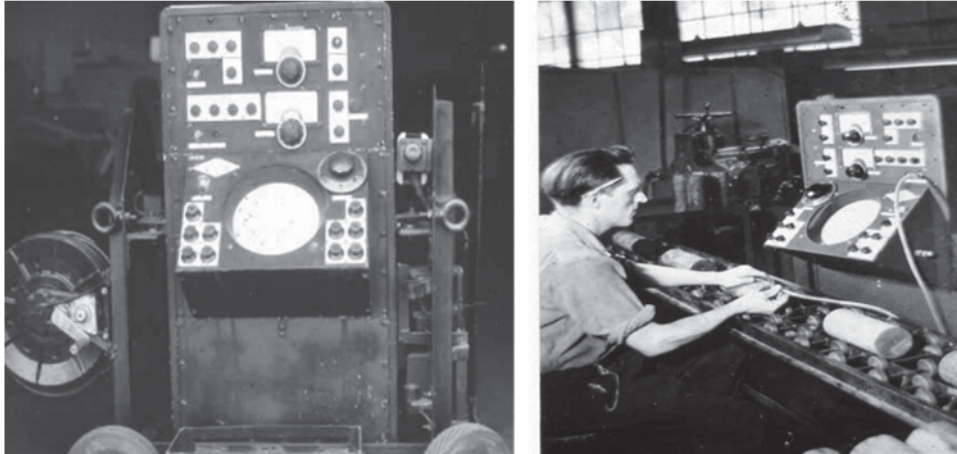


Şekil 7. Ultrasonik muayene yönteminin güncel uygulamalarından bir örneği (Konya NDT, 2018).

Yöntem taşınabilir cihazlarla uygulama kolaylığı ve muayene esnasındaki tespit edilebilirlik açısından tercih sebebidir. Özellikle boyutsal anlamda daha geniş iş parçalarında, düzlem kaynaklı kusurların daha hassas biçimde tespitini sağlamaktadır. Bu yöntemle; parça içerisindeki çatlaklar, boşluklar ve benzeri birtakım süreksizlikler tespit edilebilmektedir (Boving, 1987).

Yöntem tarihte II. Dünya Savaşı'ndan önce, su yoluyla ses dalgalarının deniz altına gönderilmesi, batan nesnelere tespiti ve karakterize edilmesinde kullanılmıştır. 1929 ve 1935 yıllarında Sokolov, metal nesnelere incelemek amacıyla ultrasonik dalgaların kullanılabilirliğini incelemiştir. Ardından 1931'de Mulhauser, katılardaki kusurların tespitinde çift güç çevirici kullanmış ve bu konuyla ilgili bir patent almıştır. 1940 yılında Firestone ve 1945 yılında Simons isimli iki bilim adamı, darbeli eko tekniğinden faydalanan ultrasonik test cihazı geliştirmişlerdir (Heiller, 2003).

II. Dünya Savaşı'nın bitmesinden kısa bir süre sonra, Japon araştırmacılar ultrasonik ses dalgalarının tıbbi kabiliyetlerini incelemiştir. 1950'li yıllardan sonra Japonya ile birlikte, Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa'da da yöntemin tıbbi uygulamalarına yönelik çalışmalar devam etmiştir ve safra taşları ve tümör kitlelerinin saptanmasında kullanılmasıyla yöntem günümüze dek geliştirilmeye devam etmiştir. Şekil 8'te tarihte kullanılan birtakım akustik esasa dayanan sesüstü yansıtıcı anlamına gelen "Supersonic Reflectoscope" isimli test cihazı gösterilmektedir (Heiller, 2003).



Şekil 8. Ultrasonik muayenenin ilk cihazlarından sesüstü yansıtıcı (Heiller, 2003).

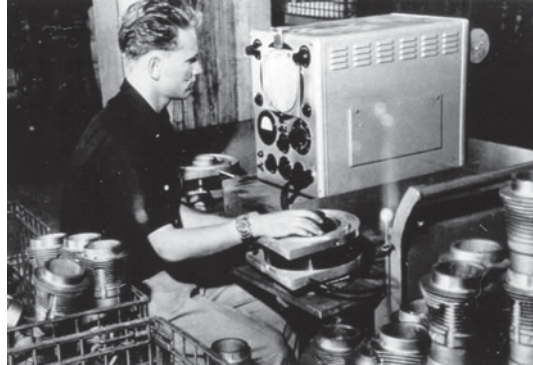
2.5. Girdap Akımları Yöntemi

Girdap akımları yöntemine bilimsel yaklaşıldığında, temelinde elektromanyetizma esaslarının yattığı görülmektedir. Bir sarım üzerinden geçirilen değişken akım, bu sarımın etrafında manyetik alan yaratmaktadır. Sarım elektriksel olarak iletken özelliğe sahip malzemeye yaklaştırıldığı zaman, sarımın sahip olduğu değişken manyetik alan malzemenin yüzeyinde indüksiyon akımları meydana getirir. Oluşan bu indüksiyon akımları, girdap akımları olarak adlandırılır ve kapalı devre boyunca akarlar. Bu şekilde oluşturulan bu manyetik alanın ölçülmesiyle, ilgili iş parçası üzerindeki yüzey hataları tespit edilebilirken, aynı zamanda

malzemenin iletkenlik ve geçirgenlik gibi parametreleri de bulunabilir (Blitz, 1997; Yakupoğlu, 2005).

Girdap akımları yöntemi elektriksel olarak iletken olan bakır, alüminyum vb. malzemelerde bulunan yüzey ve yüzey altı süreksizliklerin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bu noktada, elektriksel olarak iletken olmayan malzemelerde uygulanamaması ve nüfuz etme derinliğinin az olması, yöntemin başlıca sınırlamalarıdır. Bir diğer yandan, muayeneden elde edilen sonuç tarama yönüne bağlı değiştiğinden, birtakım süreksizliklerin tespit edilememesi de söz konusu olabilmektedir (Raj, Jayakumar ve Tavasimuthu, 2002).

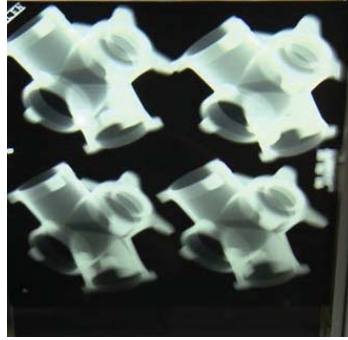
Girdap akımları yardımıyla hasarsız muayene tekniğinin geçmişi eski zamanlara dayanmaktadır. 19. yüzyılın ilk yarısında Fransız Dominique Arago tarafından keşfedilmiştir. Çalışma prensibi, Leon Foucault tarafından açıklanmış ve isimlendirilmiştir. Friedrich Förster, 1933 yılından bu yana, Kaiser-Wilhelm Enstitüsü'nde farklı demir bileşenlerini içeren karmaşık yapıların çözülmesinde ve elektriksel iletkenliklerinin ölçülmesine yönelik pek çok bilimsel çalışmaya imza atmıştır. 1948 yılında Almanya'nın Baden-Württemberg eyaletinin güneyinde yer alan Reutlingen' de girdap akımları testiyle büyüyen bir şirket kurmuştur. Şirket uzun yıllar pazar lideri olmuştur. Bir diğer yandan, İsveç'te sıcak kabloları test edebilmek adına ferritik çubukların ön-manyetizasyon işleminin keşfiyle benzer gelişmeler yaşanmıştır. Daha sonrasında; şirketi İngiltere, Almanya ve İsveç'te pek çok firma takip etmiştir. Şekil 9'da tarihte kullanılan bir girdap akımları test ünitesi yer almaktadır (Heiller, 2003).



Şekil 9. Eski zamanlarda kullanılan girdap akımları yöntemi ünitesi

2.6. Radyografik Muayene

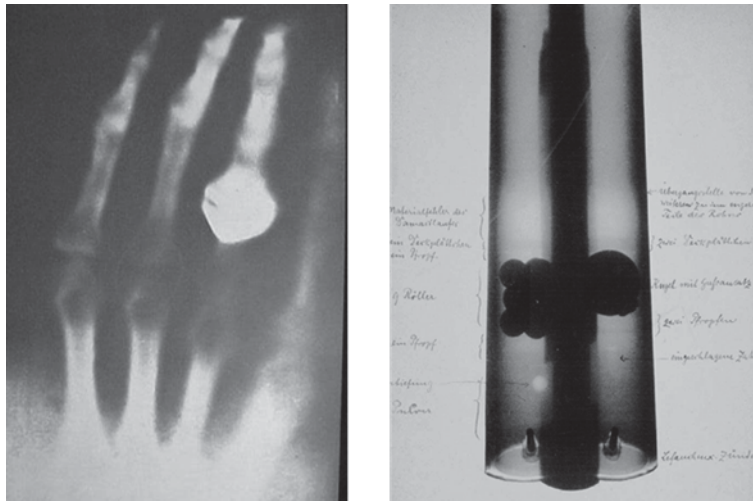
Radyografik muayenede, incelenmek istenen parçanın üzerinde X ve γ ışınları gönderilmesi ve bu ışınların parçaya nüfuz etmesi ile parçanın arka kısmına yerleştirilmiş bir film tabakası üzerine görüntü aktarması esasına dayanmaktadır. Film üzerine düşen ve farklı bölgelerde farklı yoğunlukta görüntü oluşturan ışık, bizlere incelemek istediğimiz parçadaki hataların tespiti için yol göstermektedir (Özada, 2015). Şekil 10, günümüzün teknolojik koşullarında radyografik yöntemle muayene edilmiş bir boru sisteminin film üzerine oluşturulan görüntüsünü temsil etmektedir.



Şekil 10. Radyografik yöntemle muayene edilmiş bir boru sistemi (Konya NDT, 2018).

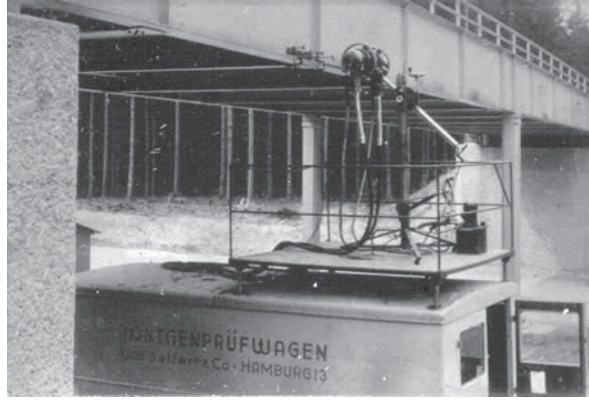
X-ışınları 1895 yılında Almanya'daki Wuerzburg Üniversitesi'nde Profesör olan Wilhelm Conrad Roentgen tarafından keşfedilmiştir. Laboratuvarında bir katot ışını tüpü ile çalışan Roentgen, tüpün yakınındaki masada bulunan kristallerde flüoresan ışınması gözlemlemiş ve bunun üzerine yaptığı araştırmada tüpten yeni bir ışın türünün yayıldığını ve yayılan ışınının katı maddelerin çoğunun içinden geçebildiğini keşfetti. Bu keşfin üzerine Roentgen farklı radyografileri içeren yeni deneyler yapmaya başladı. Laboratuvarında, metal ağırlıklar içeren ahşap kutu, odasının anahtarı, av tüfeği, kitap, ince metal levhalar gibi çeşitli nesnelere röntgenlerini çekmiştir.

Roentgen laboratuvarında bu çalışmalara devam ederken onu ziyarete gelen karısı, erken radyografi döneminin belki de en önemli gelişmesine neden olmuştur. Roentgen karısının elinden bir röntgen grafisi almış ve bu deney ile birlikte Roentgen ışınlarının insan dokuları içinden geçebildiğini ve kemiklerin daha etrafını saran etten daha yüksek yoğunlukta olması sebebi ile hafif bir görüntü verdiğini keşfetmiştir. Şekil 7' de Bayan Roentgen'in elinden alınmış röntgen grafisi ve av tüfeğinin radyografik görüntüsü yer almaktadır (Heiller, 2003).



Şekil 11. Bayan Roentgen'in elinden ve bir av tüfeğinden alınmış radyografi görüntüleri

Keşfin duyurulmasından bir ay sonra, Avrupa’da ve ABD’de cerrahların çalışmalarında onlara rehberlik etmesi için kullanılan birkaç tıbbi radyografi yapıldı. 8 Şubat 1896’da New Hampshire’den Eddie McCoughey adında genç bir adamın kırık bir bilek için çektiği radyografi Amerika Birleşik Devletleri’nde X-ışınlarının kaydedilen ilk kullanımı olmuştur. İlk Amerikan röntgeni Dr. Frost ve baş hemşire eşi tarafından Dartmouth Koleji Tıp Merkezi’nde çekilmiştir. Haziran 1896’da Roentgen’in keşfini duyurmasından sadece 6 ay sonra X-ışınları askeri hekimler tarafından, yaralı askerlerin mermilerini bulmak için kullanılmıştır. 1912’den önce X-ışınlarının tıp ve diş hekimliği dışında çok az kullanıldığı bilinmektedir. X-ışınlarının bu tarihten önce endüstriyel uygulamalarda kullanılmamasının nedeni x-ışının tüplerinin endüstriyel amaçlar için tatmin edici bir nüfuz etme gücünün üretilmesi için gereken gerilimlerin altında kalmasıdır. Ancak bu, 1913 yılında Coolidge tarafından tasarlanan yüksek vakumlu X-ışını tüplerinin kullanıma girmesiyle değişmiştir. Yüksek vakum tüpleri 100.000 volta kadar olan enerjilerde çalışan, yoğun ve güvenilir bir X-ışını kaynağıdır. 1922 yılında, endüstriyel radyografi, kalın çelik parçaların radyografilerinin makul sürelerde üretilmesini sağlayan 200.000 voltluk X-ışını tüpünün ortaya çıkması ile bir adım daha ileriye götürülmüştür. 1931’de General isimli elektrik firması, endüstriyel radyografi için etkili bir araç sağlayan 1.000.000 voltluk X-ışını jeneratörü geliştirmiştir. Aynı yıl, Amerikan Makina Mühendisleri Derneği (ASME), endüstriyel kabulüne kapıyı açan füzyon kaynaklı basınçlı kaplarda X-ışını kullanımına izin vermiştir. Şekil 8’de tarihi zamanlarda kullanılan endüstriyel X-ışını ünitesi yer almaktadır (Heiller, 2003).



Şekil 12. Tarihi zamanlarda kullanılan endüstriyel X-ışını ünitesi

X-ışınlarının keşfinden kısa bir süre sonra, başka bir nüfuz ışını formu keşfedildi. 1898 yılının Aralık ayında Marie ve Pierre Curie yaptıkları çalışmalar sonucunda “radyum” olarak adlandırılan yeni bir radyoaktif maddenin varlığını keşfettiklerini açıkladılar. Böylelikle radyum, ilk endüstriyel gama ışını kaynağı olmuş ve 10-12 inç kalınlığına kadar malzemelerin radyografilerinin çekilebilmesine imkan tanımıştır. II. Dünya Savaşı sırasında endüstriyel radyografi, Deniz Kuvvetlerinin gemi inşa programının bir parçası olarak hızla büyüdü. Maria ve Pierre Curie’nin çalışmaları günümüzde esas olarak endüstriyel radyografide kullanılan radyoaktif kaynaklara (iridyum-192 ve Kobalt-60 gibi) yol açan birçok başka gelişmenin başlangıcı olarak kabul ediliyordu. Iridyum-191 ve Kobalt-59, doğada var olan her iki element de oldukça karardır. Kararlı izotoplar termal nötronlara maruz kaldığında bir birim ağırlaşarak Iridyum-192 ve Kobalt-60 olur. Her iki izotop da kararsızdır ve bu nedenle radyoaktiftir.

Ülkemizde ise ilk X-ışını üretimi Galatasaray Lisesi'nde gerçekleştirilmiştir. Üretilen bu X-ışınları 1986 yılında tıp alanında kullanılmaya başlanmıştır (Tosun, 2011).

3. SONUÇLAR

Bir teknoloji olarak tahribatsız muayene testleri ile parçanın hasarlı olup olmadığı ya da özelliklerinin değerlendirilmesinde son yıllarda önemli ölçüde gelişmeler yaşanmıştır. Aslına bakılırsa, tahribatsız muayenede kullanılan cihazlar günümüz şartlarında benzersizlik ve inovasyon kavramları açısından en hızlı büyüyen teknolojilerden biri olarak kabul görmektedir. Bunun yanı sıra, yeni malzemelerin ortaya çıkması, endüstriyel ürünlerin çeşitliliği ve kullanım alanlarının artması, tahribatsız muayenelerde kullanılan ekipmanlarda da iyileştirme ve modifikasyon ihtiyacını beraberinde getirmiş ve bu durum tahribatsız muayene teknolojisine katkıda bulunmuştur. Günlük hayattaki güvenliğin daha da artırılmasında kritik rol oynayan bu teknoloji endüstrinin ayrılmaz bir parçası haline gelmeyi başarmıştır. Yıllar içerisinde, denenmiş ve doğrulanmış yöntemler geliştirilmeye devam ederken, yeni tahribatsız muayene yöntemleri de ortaya çıkmıştır. Tarihsel gelişim süreci incelendiğinde, tahribatsız muayene yöntemleri ve cihazları zamanla değişmiş ya da “evrilmiş” olmasına rağmen, her yöntemin arkasındaki temel prensip ilk günkü gibi aynı kalmıştır.

4. KAYNAKLAR

- [1] Akgün A. F., Yıldırım A., Baş N. (1991). Tahribatsız Testlerde Malzeme Süreksizlikleri, TR – 301, Ç.N.A.E.M, İstanbul.
- [2] Blitz, J. (1997). Electrical and Magnetic Methods of Non-destructive Testing. Springer-Science and Business Media, B.V. ISBN 978-94-011-5818-3.
- [3] Boving, K. G. (1989) NDE Handbook: Non-Destructive Examination Methods for Condition Monitoring. ISBN 0-408-04392-X.
- [4] Geni Metal Welding Inspection website: <http://www.geni-metal.ca/en/our-services/welding-inspection/penetrant-testing/>, Alıntılanma tarihi: 02.10.2018
- [5] Hellier, C. (2003). Handbook of Nondestructive Evaluation. McGraw-Hill. ISBN 0-07-028121-1.
- [6] Kara, O., Erdal, H. ve Çelik, H. H. (2017). Bazı Tahribatsız Test Yöntemleri: Karşılaştırmalı Bir Derleme Çalışması. Marmara Fen Bilimleri Dergisi, 3, 82-93.
- [7] Konya NDT, Ultrasonik Muayene, <http://konyandt.com/Hizmetler.asp?SiD=3>, Alıntılanma tarihi: 02.10.2018.
- [8] Mesleki Eğitim Ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi(MEGEP). (2006). Metal Teknolojisi, Tahribatsız Muayene, Ankara.
- [10] Metal ve Kaynak Teknolojileri, Metal Uzmanı, Manyetik Parçacıklar ile Muayene, <http://www.metaluzmani.com/manyetik-parcacik-ile-muayene/>, Alıntılanma tarihi: 01.10.2018.
- [11] Mix, P. E. (2005). Introduction To Nondestructive Testing: A Training Guide. Wiley-Interscience. ISBN-10 0-471-42029-8.
- [12] NDT Italiana. (1952). Introduction to Magnetic Particle Inspection. <https://www.ndeed.org/EducationResources/CommunityCollege/MagParticle/Introduction/introduction.htm>. Alıntılanma tarihi: 30.03.2018.
- [13] Omar, M. (2012). Nondestructive Testing Methods and New Applications. InTech, Hırvatistan.

- [14] Özada, Ç. (2015). Tahribatsız Muayene Yöntemleri. <https://www.muhendisbeyinler.net/tahribatsiz-muayene-yontemleri>. Alıntılanma tarihi: 15.03.2018.
- [15] Raj, B., Jayakumar, T. ve Thavasimuthu, M. (2002). Practical Non-destructive Testing. Alpha Science International Ltd. ISBN 1-84265-081-5.
- [16] Rummel, W.D. and Matzkanin, G. A. (1996). Nondestructive Evaluation (NDE) Capabilities Data Book, Published by the Nondestructive Testing Information Analysis Center, NTIAC.
- [17] Shull, P.J. (2002). Nondestructive Evaluation: Theory, Techniques, and Applications, Marcel Dekker Inc. ISBN: 0-8247-8872-9.
- [18] Uludağ, A. (2017). Bir Uçak Ana İniş Takımı Jantının Sıvı Penetrant Kontrol Yöntemi ile İncelenmesi. Journal of Aviation, 1 (2), 128-139.
- [19] Yakupoğlu, A. (2005). Girdap Akımları Yöntemi ile Yüzey Çatlaklarının Algılanması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- [20] Yavuz, E. (1998). Ferromanyetik Malzemeler Üzerindeki Çatlakların Manyetik Yöntemle Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir, Türkiye.
- [21] Tosun, A. (2011). Journal of Medical Ethics, 19(1), 57-59.