

## Bazı Tahribatsız Test Yöntemleri: Karşılaştırmalı Bir Derleme Çalışması

### Some Non-Destructive Testing Methods: A Comparative Complitation Work

Okan KARA<sup>1</sup> (ORCID ID: 0000-0001-3388-6920), Hasan ERDAL<sup>2</sup> (ORCID ID: 0000-0001-8296-0694),  
Hasan Hüseyin ÇELİK<sup>2</sup> (ORCID ID: 0000-0003-2885-0501)

<sup>1</sup> Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü  
<sup>2</sup> Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

#### Öz

Bu çalışmada, materyallerin kusur analizini gerçekleştirerek güvenli materyal kullanımı sağlayan tahribatsız test yöntemleri incelenmektedir. Tahribatsız test işleminde kullanılacak yöntemin, çalışma şartları açısından test edilecek materyal üzerinde uygulanabilir olması gerekmektedir. Örneğin girdap akımları yöntemi, çalışma şartları gereği ferromanyetik metalleri test edemezken, ferro olmayan metalleri test edebilmektedir. Bu şartlar göz önüne alınarak seçilen test yöntemi ile materyal düzenli aralıklarla tahribatsız muayene edilerek kusurlu materyal bölgeleri tespit edilmektedir. Bu şekilde güvenli materyal kullanımı sağlanarak büyük maddi kayıplar önlenmiş olur. Tahribatsız test yöntemlerinin bir kısmı güvenilir sonuçlar üretmesi açısından endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu bağlamda manyetik kaçak akı, akustik emisyon, ultrasonik, girdap akımları ve radyografi yöntemleri bu çalışmada incelenmiştir. Yöntemlerin işleyiş prensipleri, literatürde yapılmış çalışmalar ve gerçekleştirilmiş deneyler incelenerek açıklanmıştır. Yöntemler karşılaştırmalı olarak seçilen kriterlere göre sınıflandırılmıştır. Bu çalışma ile geniş içeriğe sahip bir derleme ortaya çıkarılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kusur tespiti, Tahribatsız Test Yöntemleri, Materyal güvenilirliği

#### Abstract

In this study, nondestructive testing methods, which sustain safe material usage are analyzed by doing defect analysis of material. Method that is used in nondestructive testing process, need to be applicable on testing material in terms of working conditions. For instance; eddy currents method can test nonferrous metals while it cannot test ferromagnetic metals because of working conditions. Considering these conditions, defective material parts are identified by examining chosen testing method and material in regular intervals. Thanks to this way, major financial losses are avoided by sustainig safe material usage. Some parts of nondestructive testing methods are widely used in industry with regard to producing dependable results. In this context, magnetic flux leakage, acoustik emission, eddy currents, and radiography methods are analyzed in this study. Methods' process principle, works that have done in literature, performed experiments are analyzed and explained. Methods are classified by regarding comperatively selected criteria. With this study, a compilation, having broad content is presented.

**Keywords:** Defect detection, Nondestructive Testing Methods, Material reliability

#### I. GİRİŞ

Günümüzde teknolojik öneme sahip endüstriyel uygulamalarda kullanılan materyallerin üretim ve/veya kullanım aşamasında yapılarında oluşabilen çatlak, korozyon, gözenek büyüklüğü vb. kusur ve bozulmalar büyük maddi kayba sebep olabilmektedir. Bu kaybı önlemek için belli zaman

aralıklarında Tahribatsız Test Yöntemleri (Non-Destructive Testing Methods) ve/veya Tahribatlı Test Yöntemleri (Destructive Testing Methods) kullanılarak kusurlu materyal bölgeleri önceden tespit edilmektedir. Mikroskobik inceleme için numune alma ve numuneyi bakalite(kalıba) yerleştirme yöntemi gibi deneyler tahribatlı test yöntemi deneyleri

arasında yer almaktadır. Tahribatlı Test Yöntemleri ile test edilecek materyal çekme, bükme gibi kuvvetler uygulanarak muayene edilir. Bu fiziksel müdahaleler, materyale zarar vererek sonradan kullanılamayacak hale getirebilir. Tahribatsız testlerde ise amaç parçanın fiziksel bütünlüğünü ve kullanımını bozmadan onun kalitesini belirlemektir. Tahribatsız test yöntemiyle gerçekleştirilen işlemlerde, test edilen materyal hiçbir şekilde deforme olmamaktadır [1, 2, 3]. Tahribatsız Test Yöntemleri (TTY) çeşitli fiziksel prensiplere dayanmakta olup, farklı şartlar altında uygulanır. Tahribatsız oluşları ve tahribatlı tekniklere göre daha hızlı olmaları hemen her alanda yaygın olarak kullanılmalarını sağlamaktadır [4, 5]. TTY uygulamaları işletme anında sistemler durdurulmadan yapılabilir ve çoğu uygulamalarda sonuçlar test sırasında alınır [6]. Bu test yöntemleri düzenli aralıklarla kullanılarak gaz, yağ ve diğer kimyasal sıvıların taşınmasında önemli bir yere sahip olan boruların üzerinde oluşabilecek korozyon, çatlak gibi kusurlar önceden tespit edilmektedir. [7, 8]. Depo tankları, çelik teller, rüzgâr gücü yapıları, kompozit materyaller, tren rayı dişlileri, betonarme yapılar ve plastik materyaller gibi endüstride kullanılan materyallerin yapısal kontrolü TTY ile gerçekleştirilmektedir. Tahribatsız yöntemler bazı durumlarda birbirlerinin tamamlayıcısı olup bileşik olarak da kullanılmaktadır [6]. Girdap Akımları Testi (Eddy Current Testing) [1], Ultrasonik Test (Ultrasonic Testing) [1, 9], Akustik Emisyon (Acoustic Emission) [1, 10], Manyetik Kaçak Akı (Magnetic Flux Leakage) [11, 12, 13], ve Radyografi [2, 14] gibi endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılan TTY bulunmaktadır. Silverwing, Rosen, NDT technologies, Intron plus ve Spetsneftegaz gibi TTY konusunda dünya çapında çalışmalar yapan şirketler vardır [15]. Intron plus şirketi Manyetik Kaçak Akı (MKA) ve Girdap Akımları (GA) gibi yöntemleri kullanarak çelik teller, ray dişlileri ve çelik borular üzerinde kusur tespiti gerçekleştirmektedir [16]. Silwerving şirketi ise depolama tankları, deniz araçları ve kimyasal endüstride kullanılan yağ ve gaz boruları üzerinde muayene yapılması için tahribatsız test sistemleri tasarlamaktadır. Bu sistemler Ultrasonik Test (UT), ve MKA gibi yöntemler kullanılarak tasarlanmıştır [17]. Rosen limited şirketi; UT, GA ve MKA gibi yöntemleri kullanarak kimyasal sıvı depolamada kullanılan tanklar ve teknolojik öneme sahip sıvıları taşıyan borular gibi materyallerin test edilmesi için denetim sistemleri tasarlamaktadır [18]. Spetsneftegaz şirketi, gaz ve yağ taşıyan 25,4-142,24 cm aralığındaki borular için test sistemleri geliştiren Rusya merkezli bir şirkettir. Bu şirket test sistemleri için temel olarak MKA teknolojisini kullanmıştır [19]. NTD Technologies şirketi, MKA ve diğer tahribatsız yöntemleri kullanarak oluşturduğu denetim sistemleri ile çelik teller üzerindeki korozyon ve çatlak gibi kusurları tespit etmektedir [20].

## II. KONU İLE İLGİLİ GERÇEKLEŞTİRİLMİŞ AKADEMİK ÇALIŞMALAR

Hongbo Wang ve arkadaşları, gerçekleştirdikleri çalışmada, kavisli kompozit materyaller üzerinde yaygın olarak oluşabilen katman ayrılması ve kalıntı katmanlar gibi kusurların UT yöntemiyle tespit edilmesini hedeflemişlerdir. Çalışmada yürünge planlama ve hareket kontrolü teknolojilerine sahip ikiz robotlar kullanılmıştır. Sonuç olarak çalışmada, UT yönteminin, kusur algılama işlemindeki doğruluk ve verimlilik gibi parametreleri iyileştirdiği belirlenmiştir [9].

Rostami Mojtaba ve arkadaşları, MKA yöntemini kullanarak kusurların genişliğini tespit edebilmek için yeni bir yaklaşım sunmuşlardır. Çalışmalarının ilk adımında, görüntü işleme teknolojisi tabanlı tasarlanmış MKA yöntemi ile kusurların sayısını, yerini ve yönelimini tespit etme amaçlı algoritma tasarlanmıştır. İkinci adımda ise kusurların genişliği, bir önceki adımda tespit edilmiş kusurlu bölgelerin MKA radyal akı bileşenleri kullanılarak belirlenmiştir. Çalışmada oluşturulan algoritmanın etkinliği ve doğruluğu, simülasyon ve deneysel işlemler ile doğrulanmıştır [21].

Azadeh Keshtgar ve Mohammad Modarres, gerçekleştirdikleri çalışmada, çatlak uzunluğu dağılımını belirlemek amacıyla Akustik Emisyon (AE) yöntemine dayalı olasılıksal bir model oluşturmuşlardır. Çalışmada, AE tabanlı çatlak deneyleri, AE sayım oranları ve çatlak büyüme oranları arasındaki ilişki sonuçlarını kullanarak yüklenme oranı etkisi hesaplanmıştır. Sonuç olarak çalışmada, AE sayım oranları modeline dayalı çatlak büyüme tahminleri ve gerçek çatlak büyüme oranlarının birbirine çok yakın olduğu belirlenmiştir [22]. AE test yöntemi konusunda gerçekleştirilen bir diğer çalışmada Liying Sun ve arkadaşları, AE sinyalleri ile boru materyali üzerinde oluşan mikro çatlaklar arasındaki ilişkiyi belirlemeyi hedeflemişlerdir [8].

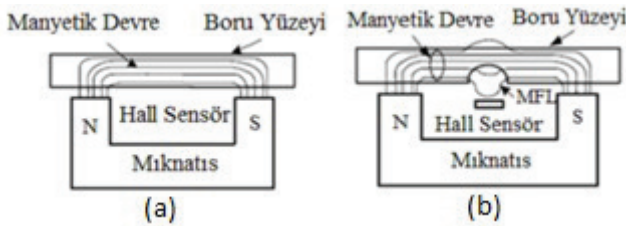
Yu Zou ve arkadaşları gerçekleştirdikleri çalışmada, GA sinyalleri üzerine etki eden faktörleri araştırmışlardır. Test edilen materyalin elektriksel iletkenliği ve manyetik geçirgenliği gibi niteliklerin, GA sistemi ile elde edilen manyetik akı yoğunluğu sinyalleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu sonucuna ulaşmışlardır. İletkenlik değişmezliği (conductivity invariance) olgusunu araştırmışlar ve bu olguyu manyetik geçirgenlik ölçümü için önermişlerdir [23].

Ali Akın Akay ve arkadaşları gerçekleştirdikleri çalışmada, tozaltı ark kaynağıyla birleştirilmiş materyallerin yüzeyindeki ve yüzey altındaki kusurların belirlenebilmesi için radyografik muayene tekniğini kullanmışlardır [2].

### III. TAHRİBATSIZ TEST YÖNTEMLERİ

#### 3.1 Manyetik Kaçak Akı (MKA) Testi

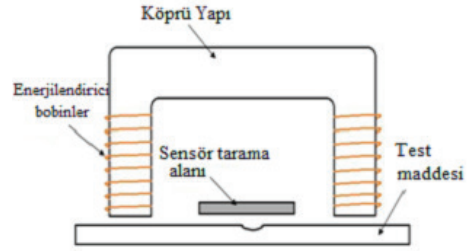
MKA yöntemi ferromanyetik materyallerin yüzey tarama şeklinde test edilmesi sağlayan tahribatsız bir test yöntemidir. Bu yöntem ile test edilen materyalin 3D manyetik alan görüntülenmesi yoluyla yüzey/yüzey altı korozyon ve çatlakların tespiti sağlanabilmektedir. MKA yönteminde ferromanyetik materyalin test bölgesine manyetik alan uygulanarak doyuma ulaştırılması sağlanır. Bu etki altındaki materyalin kusurlu bölgelerinde manyetik akılar yön değiştirerek kaçak akılara neden olmaktadır. Test bölgesinde oluşan kaçak akılar, bir dizi manyetik hall-effect sensörler ile algılanarak kusurların biçim ve nitelikleri tespit edilir. MKA yönteminin başarısı, test yüzeyini manyetik doyum noktasına ulaştıracak akı şiddetinin uygunluğuna bağlıdır. Öyle ki, doyum noktasının altında veya üstünde etki oluşturan bir manyetik akı seviyesi, kaçak akıların zayıflamasına yol açarak kusurların algılanmasını olumsuz yönde etkilemektedir. Buna ek olarak, MKA yönteminin tek tarama ile elde edilecek yüzey algılama çözünürlüğü, kullanılan sensörlerin fiziksel boyutlarına bağlıdır. Daha yüksek çözünürlük için sensörler arası boşlukları hedefleyen ilave tarama işlemlerine ihtiyaç duyulur [11, 21, 24]. MKA test sisteminin temel bileşenleri manyetik akıyı oluşturan doğal veya yapay mıknatıs ile kaçak akıları ölçen sensörden oluşmaktadır. Bu manyetik akı sensörü köprü şeklindeki manyetik akı düzeninin ortasına yerleştirilmektedir. Şekil 1’de doğal mıknatıs ile oluşturulan MKA sistem yapısı gösterilmiştir.



Şekil 1. Üzerinde kusur bulunmayan materyal için MKA sistem davranışı (a), Üzerinde kusur bulunan materyal için MKA sistem davranışı (b) [12]

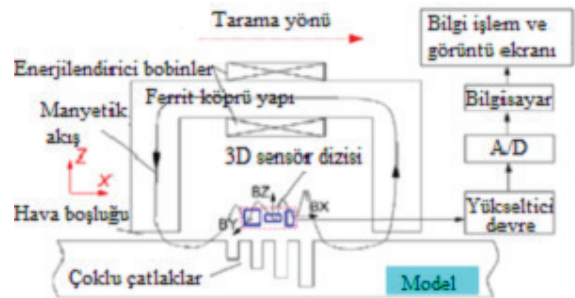
Şekil 1(a)’da üzerinde herhangi bir kusur bulunmayan materyal için MKA sisteminin davranışı gösterilmiştir. Şekil 1’den anlaşıldığı gibi materyal üzerinde kusur bulunmadığından manyetik akılar materyal boyunca ilerlemiştir ve herhangi bir kaçak akı oluşma durumu gözlemlenmemiştir. Şekil 1(b)’de ise üzerinde kusur bulunan materyal için sistem davranışı gösterilmiştir. Şekil 1’(b)’de görüldüğü gibi materyalin kusurlu bölgesinde, manyetik akılar dışarıya salınım yapmakta ve bu noktada manyetik sensör ile ölçüm

gerçekleşmektedir. Şekil 2’de ise yapay mıknatıs ile oluşturulan MKA sistemi görülmektedir.



Şekil 2. Yapay mıknatıs ile oluşturulmuş MKA test sistemi [24]

Şekil 2’de gösterildiği gibi MKA sistemi yapay mıknatıs ile de oluşturulabilir. Çalışma prensibi açısından, doğal mıknatıs ile oluşturulan sistem ve yapay mıknatıs ile oluşturulan sistem arasında fark bulunmamaktadır. Yapay mıknatıslı sistem, manyetik akının ayarlanabilmesi avantajını sağlar. Bu tür bir sistem, farklı ferromanyetik materyallerin testinde kullanılabilmesi ile birlikte ek maliyet ve tasarım sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Çünkü test sistemi bir seferde taranacak yüzey genişliğinde bir dizi test modüllerinden oluşturulmaktadır. Sürekli aynı boyutlara sahip materyal testine yönelik tasarlanan sistemlerde doğal mıknatıs kullanımı yeterli olabilmektedir [1, 24, 25]. MKA sisteminde kusurlu bölgede oluşan kaçak akının varlığı tek bir sensör ile algılanabilir. Ancak kusur niteliği hakkında daha fazla bilgi almak için çoklu sensör kullanımı yaygındır. Çünkü kusur nedeniyle oluşan akı saçılması, kusur niteliğine bağlı olarak x, y ve z doğrultularında farklı şiddetlerde bileşenleri oluşturur. Bu bileşenleri algılamak üzere fiziksel yerleşimleri farklı 3 sensörlü MKA sistemi ilk kez Yunlai Gao ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilmiştir [25]. 3D-MKA sistemi denilen bu yapı ile materyal yapısındaki çatlak ve bozulmaların genişliği, derinliği ve yönelimi gibi ayrıntılar da ölçülebilmektedir [26]. Şekil 3’de 3D MKA sisteminin yandan görünüşü görülmektedir.



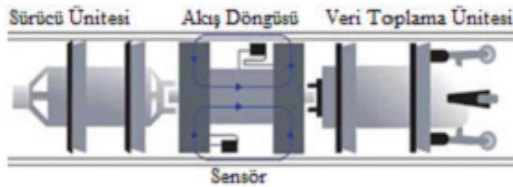
Şekil 3. 3D MKA sistemi yandan görünüşü [25]

Şekil 3’de gösterilen 3D sistem yapay mıknatis ile oluşturularak demiryolu rayları üzerindeki korozyon ve çatlakların belirlenmesinde kullanılmıştır. Test sonuçlarına göre kaçak akının x bileşeninin çatlaklar üzerinde, y bileşeninin çatlak uç noktalarında ve z bileşeninin ise çatlağın boylamasına iki kenarında etkin değerler ürettiği belirlenmiştir. Bu şekilde çatlak biçimleri ve yönlerini belirlemede başarılı sonuçlar sağlamakla birlikte 3 sensörün fiziksel boyutları nedeniyle çözünürlüğün azaldığı gözlemlenmiştir. Bu etkiye paralel olarak yakın çatlakların tek bir çatlak gibi algılandığı ve çatlak derinliğinin belirlenmesinde çok etkili olunmadığı tespit edilmiştir [25].

MKA test yöntemi endüstriyel olarak aşağıdaki alanlarda yaygın kullanım alanına sahiptir:

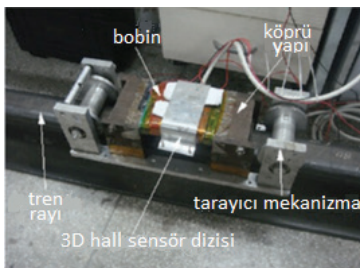
- Gemi sanayiinde sacların muayenesi
- Geniş çaplı petrol ve gaz borularının periyodik muayenesi
- Çelik teller ve demir yolu rayları
- Yüksek hacimli petrol, gaz vb. tanklar.

MKA, boru materyal yüzeyi için korozyon ölçümünde kullanılan en yaygın test yöntemidir [12]. Şekil 4’de, MKA yönteminin geniş çaplı borular üzerindeki uygulaması gösterilmektedir.



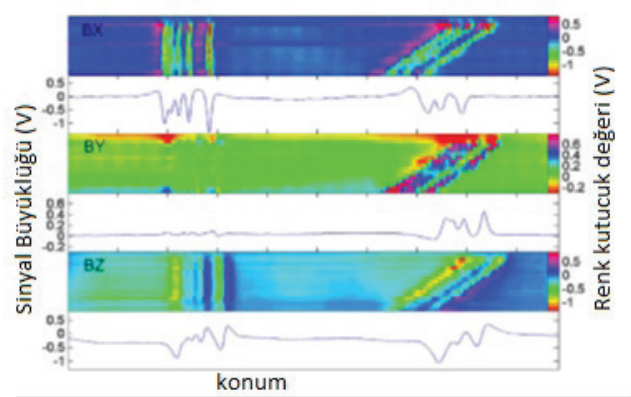
Şekil 4. Boru materyal yüzeyi test sistemi [12]

Şekil 4’de gösterilen MKA uygulamasına MKA detektörü (MKA\_PIG) adı verilmiştir. Bu yaklaşımda oluşturulan mobil MKA sistemi, boru materyali içerisinde ilerleyerek yüzey taraması gerçekleştirir. Test süresince ölçülen veriler sonradan değerlendirilmek üzere veri toplama ünitesinde kaydedilir [12]. Yunlai Gao ve arkadaşlarının gerçekleştirdiği deney düzeneği fotoğrafı Şekil 5’de gösterilmiştir.



Şekil 5. Oluşturulan MKA düzeneği [24]

Şekil 5’de gösterilen 3D MKA sistemi, demir yolu rayı üzerindeki korozyon ve çatlakları belirlemek için kurulmuştur. Sistem bileşenlerinden köprü yapısı, pres edilmiş silikon çelikten yapılmıştır. 2000 sarımlık manyetik sistem, 0,5 mm kalınlığındaki kablo ile 1 amper akım akıtılarak beslenmiştir. Manyetize edici köprü yapısı; 240 mm uzunluğunda, 90 mm genişliğinde ve 90 mm yüksekliğindedir. İki kutup arasındaki iç uzaklık 150 mm’dir. Oluşturulan sistemin deney sonuçları Şekil 6’da gösterildiği gibidir [25].



Şekil 6. 3D MKA sistem cevabı [25]

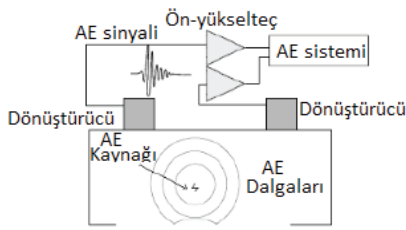
Şekil 6’da tren yolu rayı üzerinde oluşturulmuş yapay çatlaklar üzerinde gerçekleştirilen çalışmanın sonucu gösterilmiştir. Sensörler 0,5 mm yerden yükseklik (lift off) değerine sahiptir. En hassas test sonucunu sensör bx bileşeni vermiştir. Bx bileşeninin çatlak üstünde, by bileşeninin çatlak köşeleri etrafında, bz bileşeninin ise çatlağın iki kenarında yüksek akı değerleri gösterdiği saptanmıştır. Çatlaklardaki akıların birleşmesinden ve sensörlerin boyutsal çözünürlüğünden kaynaklanan sorunlardan dolayı birbirine çok yakın çatlaklar tek bir çatlak gibi algılanmıştır. Sonuç olarak çalışmada, MKA yönteminin çatlakların biçimlerini ve yönlemlerini belirlemede başarılı olduğunu ancak çatlak derinliği belirleme konusunda, sensörlerin boyutsal limitlerinden dolayı yüksek derecede etkili olmadığı tespit edilmiştir [25].

### 3.2 Akustik Emisyon (AE) Testi

Akustik Emisyon (AE) yöntemi, test edilen materyali güvenilirlik ve yapı bütünlüğü açısından kontrol etmemizi sağlayan önemli bir tahribatsız test yöntemidir [8]. Bu yöntemde, yük ve basınç altında tutulan parçalardaki bozulmaların ürettiği elastik ses dalgaları, akustik sensörler tarafından algılanarak işlem yapılır. Akustik sensörler yüksek frekans değerine sahip sinyalleri yakalamak için kullanılan devre elemanlarıdır. Bu sensör çeşidi, yüksek frekans dalgalarını dinleyerek AE dalga formlarına dönüştürerek sinyallerin

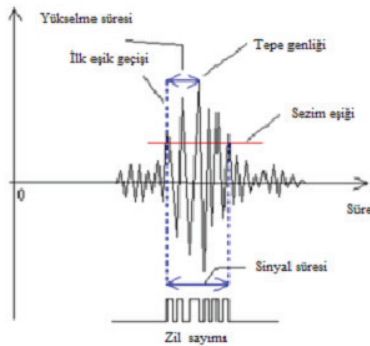


bilgisayara aktarılmasına olanak sağlar. Test edilen materyal parçasının basınç altında tutulması işleminde, parçaya yüksek frekansta ses dalgaları uygulanır. Eğer materyal, yüksek frekanstaki ses dalgaları ile basınç altında tutulmaz ise kusur tespiti yapılamaz. Bu yöntem ile materyal üzerinde oluşabilecek bozulmalar önceden algılanarak, materyal üzerinde herhangi bir bozulma olması engellenir. Metal, plastik ve beton gibi materyaller bu test yöntemi kullanılarak muayene edilebilir [1, 12]. Pasif (statik) kusurlar ve aktif kusurlar, materyal sağlığını tehdit eden kusur çeşitleridir ve AE yöntemi bu tür kusurları tespit etmede başarılıdır [27]. Şekil 7'de AE testi sistem şeması gösterilmiştir.



Şekil 7. AE test sistem şeması [8]

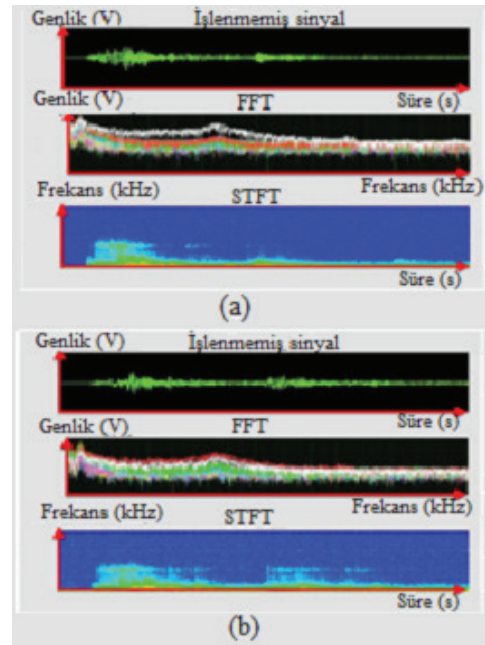
Şekil 7'de gösterildiği gibi AE kaynağı test edilen materyal üzerine dalgalar yayar. Dönüştürücüler (sensörler) tarafından algılanan veriler ön yükselteç aracılığı ile bilgisayara aktarılır. Dönüştürücüler test edilecek materyal biçimine göre uygun mekanizma ile materyal üzerinde gezdirilerek test işlemi yapılır [22]. AE test sistemi elde edilebilecek örnek sistem cevabı Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 8. Tipik AE dalga karakteristiği [28]

Kusur bulunan materyal bölgesinde Şekil 8'de gösterildiği gibi peak oluşur, kusur bulunmayan bölgelerde ise az titreşimli dalga formu elde edilir. Bu çıktılar bilgisayarda değerlendirilerek materyalin yapısal bütünlüğü ortaya çıkarılır. Hyongi Yoo ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmada, AE teknolojisi kullanılarak otomotiv

baskı panelleri üzerindeki kusurların tespit edilmesi hedeflenmiştir. Oluşturulan deney sistemi donanım ve dijital sinyal işleme bölümü olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Bu sistemde AE sinyallerini analiz etmek için LabVIEW programı kullanılmıştır. Sistem donanımı; AE sensörleri, mekaniksel anahtar, sinyal yükselteci, DAQ kartı ve sinyal işleme birimi olmak üzere 5 parçadan oluşmaktadır. Test işlem frekansı 100 Khz ve örnekleme oranı 300 kS/s olması gerektiğinden dolayı analiz sistemi olarak DAQ kartı, NI 6361 seçilmiştir. Şekil 9'da oluşturulan sistem cevabı olarak elde edilen dalga formlar gösterilmiştir [29].



Şekil 9. Test edilen materyalin frekans analizi; kusursuz bölge (a) kusurlu bölge (b) [29]

Şekil 9'da gösterildiği gibi veri analizi, FFT (Fast Fourier Transform) ve STFT (Short Time Fourier Transform) dalga dönüşümü yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

### 3.3 Ultrasonik Test (UT)

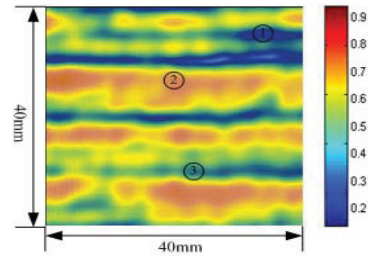
UT, bir ultrasonik ses kaynağı tarafından üretilen yüksek frekanstaki (0,1 - 20Mhz) elastik dalgaların, test edilen materyal ortamında yayılması ve bir bozulmaya çarptıktan sonra prob tarafından kaydedilmesi prensibine dayanır. Bu yöntem ile kompozit materyallerin gözenek yapısı kontrol edilerek maddenin kusurlu bölgeleri tespit edilmektedir. Kompozit maddenin gözenek yapısı ile ultrasonik dalgalardaki zayıflama arasında ilişki kurularak bu yöntem verimli şekilde kullanılır. Materyaldeki kusurların belirlenmesi, dolaylı olarak

ultrasonik dalgalarındaki zayıflamanın ölçülmesine bağlıdır. Materyale uygulanan elastik dalgaların materyal içinde yayılmaya başlamasıyla yansımalar oluşur. Bu yansıyan dalgalar prob tarafından algılanarak elektrik sinyallerine dönüştürülür ve katod ışınları tüpü ekranında materyal iç yapısının habercisi olan yankılar halinde görülür. Ekran üzerinde görülen yankıların konumları ve genlikleri hatanın bulunduğu yer ve boyutları hakkında bilgi verir. Büyük taneli yapılar ultrasonik testi zorlaştırır. Ultrasonik test sistemi; ultrasonik test birimi, hareket kontrol ünitesi, ikiz robot ünitesi ve yazılım ünitesini içermektedir. Tüm ana sistem altında çalışan alt sistem parçası mekaniksel mekanizmadır. Bu sistem parçası, tüm sistem bileşenlerinin bir arada uyumlu şekilde çalışabilmesini sağlamaktadır [1, 9]. Sistem bileşenlerinden olan su devir ünitesi, sprey test işlemi aşamasında sistem için sürekli ve istikrarlı basınç elde edilmesini sağlamaktadır. Yazılım ünitesi ise gerçek zamanlı sinyal işleme, görüntü ve veri saklanması, hareket kontrolü ve sistem yönetimi gibi büyük öneme sahip işlemleri gerçekleştirmektedir. Çalışmada kullanılan ikiz robotlarla oluşturulan test ve kontrol sistem fotoğrafı Şekil 10'da gösterilmiştir.



Şekil 10. İki robot sistemi [9]

Şekil 10'da gösterilen mekanizmada, her bir robot kolu kavisli kompozit materyal yüzeyi boyunca dalga aktarımı veya alımı yapan mekanizmaya sahiptir. İki robot kolu kusur testi aşamasında materyalin konum değiştirmesine göre karşılıklı eş zamanlı olarak konumlarını değiştirmektedirler. Dalga iletim ve emilim işlemlerinde, karşılıklı robot kollarının aynı ekseninde olduklarından emin olunmalıdır. Şekil 11'de, oluşturulan mekanizmayla gerçekleştirilen deney sonucunda elde edilen ultrasonik C-scan fotoğrafı gösterilmiştir.

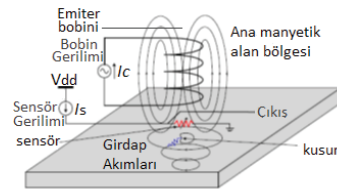


Şekil 11. Kompozit materyalin ultrasonik C-scan fotoğrafı [9]

Şekil 11'de gösterilen resimde kompozit materyalin gözenek büyüklüğü şematik olarak gösterilmiştir. Görüldüğü gibi C-scan fotoğraf 3 ana bölgeden oluşmaktadır ve bu bölgelerin renklendirilmesine göre oransal olarak materyal gözenek büyüklüğü gösterilmiştir. Sonuç olarak çalışmada, kompleks eğrisel yapıda olan kompozit maddelerin test edilmesi probleminin çözülebileceği gösterilmiştir. Ayrıca, gerçekleştirilen deneyler sonucu, ikiz robotlarla oluşturulan sistem teknolojisinin, test işlemi verimliliğini ve doğruluğunu arttırdığı gözlemlenmiştir [9].

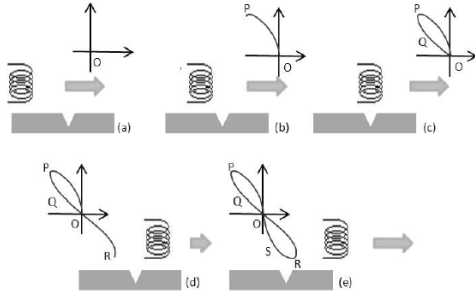
### 3.4 Girdap Akımları (GA) Testi

GA, test edilen materyalin yüzey ve yüzey altı hatalarının kontrol edilmesini sağlayan tahribatsız test yöntemlerinden biridir [30]. Elektrik iletkenliğine sahip bütün materyal ve alaşımların yapısal bütünlüğünün kontrol edilmesi bu test yöntemi kullanılarak gerçekleştirilebilir. Ancak ferromanyetik olmayan maddeler üzerinde daha etkindir. Alternatif akım bobini tarafından oluşturulan manyetik alanın, materyal yüzeyinde dairesel girdap akımları oluşturması sonucu materyal üzerinde bobindeki manyetik alana zıt yönde ikinci bir manyetik alan oluşur. Test edilen materyal parçası üzerinde bir bozulma varsa, bozulma olan materyal parçası ve diğer materyal parça arasındaki elektrik direnci farkından dolayı akımlar farklı yollar izleyecektir. Bu farklılık bobin veya manyetik sensör tarafından elde edilen veriler değerlendirilerek materyal test edilmiş olur [1, 31]. GA yöntemi ile materyal yaklaşık 2,5 cm'ye kadar derinliğe kadar test edilebilir. Şekil 12'de GA tahribatsız test sisteminin şematik yapısı gösterilmiştir.



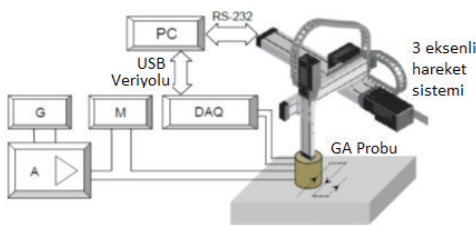
Şekil 12. Şematik GA test sistemi gösterimi [31]

Şekil 12’de gösterilen sistem materyalin tamamı üzerinde tarama işlemi yapacak şekilde hareket ettirilirse materyalin tamamı analiz edilmiş olur. Gianni D’Angelo ve arkadaşları gerçekleştirdikleri çalışmada [30], geometrik lissajous figürlerini kullanarak GA test yöntemini materyal üzerine uygulamışlardır. Şekil 13’de Lissajous figürleri ile gerçekleştirilen uygulamanın şeması gösterilmiştir.



Şekil 13. Lissajous figürleri kullanılarak elde edilen örnek GA testi şeması [30]

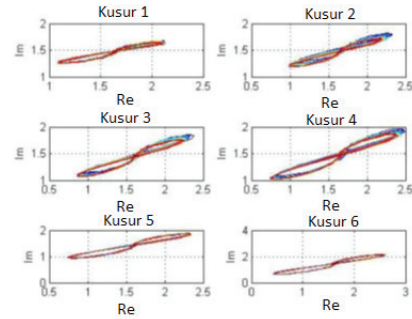
Bobin kusur bölgesinden uzak konumda bulunduğu bobinin empedansı sıfır (Şekil 13 (a)’daki O noktası), test probu soldan sağa doğru ilerleyerek kusur bölgesine yaklaştığında (Şekil 13 (b)’deki OP çizgisi) bobin empedansı OP yörüngesini izler. Bobin tam olarak kusur bölgesinin üstünde iken empedans tekrar sıfır olur (Şekil 13 (c)’deki PQO yörüngesi). Bobin kusur bölgesinden uzaklaşırken OR yörüngesi (Şekil 13 (d)’deki OR çizgisi) oluşur. Bobin kusur bölgesinden uzaklaştığında ise RSO yörüngesi oluşur ve bobin empedansı tekrar sıfır olur. Şekil 13’de görülen empedans yörüngesinin şeklini ve yönelimini; kusur profili, bobin karakteristiği ve uygulanan sinyal frekansı gibi etkenler belirlemiştir. İlgili çalışmada GA tekniği kullanılarak oluşturulan sistem şeması Şekil 14’de gösterilmiştir [30].



Şekil 14. GA teknolojisi ile oluşturulan sistemin blok diyagramı [30]

Şekil 14’de ilgili çalışmada GA tekniğini uygulayabilmek için oluşturulan sistemin blok diyagramı gösterilmiştir. Bu sistemde, Fluke 397 dalga üretici (G) 20-20 Kepko bipolar

operasyonel güç yükselticini (A) beslemektedir. Bu iki bileşen, bobin probunun güç ihtiyacını karşılayan sistem bileşenleridir. A ünitesi GA tekniği verilerinin uygun şekilde elde edilmesini sağlayan önemli bir sistem parçasıdır. Bu sistemde algılama işlemi için 4 adet algılayıcı element ile birlikte Giant manyetik direnç (Giant Magneto Resistance) wheatstone konfigürasyonu ile bobin probu altına yerleştirilmiştir. Test sisteminden alınan veriler bilgisayarda LabVIEW 7.1 programı kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu test sistemi, üzerinde 6 farklı kusur bulunan 20cmx20cm boyutlarında ve 2 mm derinliğinde alüminyum materyal üzerinde oluşturulmuştur. Kusurlar 0,1 mm genişliğinde, 3 mm uzunluğunda ve kusur derinlikleri, 1. kusurdan 6. kusura kadar 1mm-2mm arasında 0,2 mm farkla artmaktadır [30]. Şekil 15’de bu kusurlar için oluşturulan sistemden elden edilen cevap gösterilmiştir.



Şekil 15. 6 farklı kusur için geometrik lissajous figürleri [30]

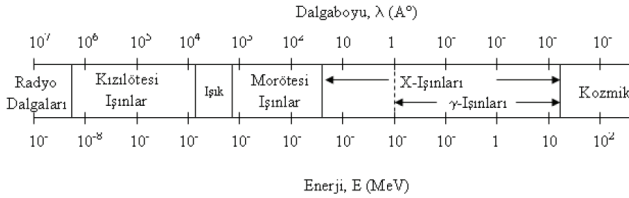
Şekil 15’de yapay olarak oluşturulmuş kusurlar üzerinde gerçekleştirilen test sonucu gösterilmiştir. Her bir kusur çeşidi için test işlemi 20 kez tekrarlanmıştır. Öngörüldüğü gibi lissajous figürleri kullanılarak kusurları tespit etmede başarılı olunmuştur.

### 3.5 Radyografi Test Yöntemi

Yüksek enerjili elektromanyetik dalgalar (ışınım) pek çok materyale nüfuz edebilir. Materyale nüfuz eden ışınım, materyalin diğer tarafına konan ışınım duyarlı filmleri de etkileyebilir. Bu filmler daha sonra banyo işlemine tabi tutulduklarında test edilen materyalin iç görüntüsü ortaya çıkar. Bu görüntü materyal içindeki boşluklar veya materyal kalınlık ve yoğunluk değişkenleri nedeniyle oluşur. Materyal iç yapısının bu şekilde görüntülenmesi radyografi olarak adlandırılır. Eğer materyalin arka tarafına film yerine bir detektör konularak, materyalden geçen ışınım toplanıp bir monitöre aktarırsa bu teknik de radyoskopi olarak adlandırılır. Radyografi yönteminin yüksek bir ilk maliyeti ve araştırma yapan kişinin radyasyondan etkilenme tehlikesi vardır [1, 14, 32]. Döküm



materyallerinin tahribatsız muayenesi konusunda akla gelen en önemli yöntemlerden biri radyografik muayenedir. Şekil 16'da gösterilen x ve gama ışınları gibi yüksek enerjili elektromanyetik dalgaların; doğrusal ilerleme, zayıflama, iyonlaştırma ve nüfuz edebilme gibi özellikleri kullanılarak radyografik muayene gerçekleştirilir [33].



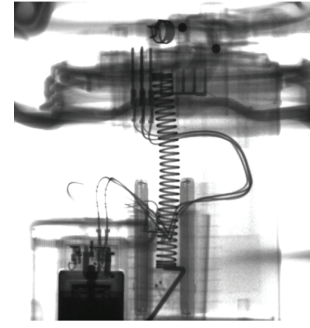
Şekil 16. Elektromanyetik dalga spektrumu [33]

Nilgün Baydoğan ve arkadaşları gerçekleştirdikleri çalışmada dijital radyografi sistemi ile polimer temelli otomobil yakıt tanklarının radyografik çekimi yapılmış ve elde edilen sonuçlar, kalite kontrolü açısından incelenmiştir. Sonuç olarak, otomobillere monte edilmek üzere son hale getirilen, her bir yakıt tankının, radyografik çekimleri yapılarak kusurlu bulunan yakıt tankları tespit edilmiştir. Çalışmada kullanılan taşınabilir dijital X ışını sistemi, gelişmiş teknolojiyle birçok endüstriyel çalışmanın yapılmasına olanak sağlamaktadır [14]. Şekil 17'de X-ışını tüpü ile flat panel ile ICU (image control unit) bağlantısı gösterilmiştir.



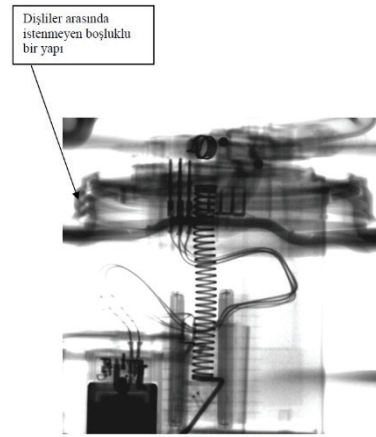
Şekil 17. X ışın tüpü Flat Panel ve ICU bağlantısı [14]

Şekil 17'de gösterilen fotoğrafta, X-ışını sistemindeki flat panelde elde edilen radyografik görüntünün ICU bağlantısı ile bilgisayara anlık aktarımı ile muayene edilen yakıt tankı yapısındaki kusurlar tespit edilmiştir. Hazırlanan dijital radyografik muayene sisteminde klasik sistemde kullanılan radyografi filmi yerine, flat panel gösterge kullanılmıştır. Dijital radyografi sistem ile polimer yapıda olan otomobil yakıt tanklarının, kısa bir zamanda radyografik çekimini yapmak ve elde edilen görüntüyü hassas bir şekilde incelemek mümkün olmuştur [14]. Şekil 18'de dişlilerin karşılıklı oturduğu, herhangi bir kusur tespit edilmeyen örnek radyografik görüntü gösterilmiştir.



Şekil 18. Herhangi bir kusur tespit edilmeyen örnek radyografik görüntü [14]

Otomobil yakıt tankı kapağının torklanarak kapatıldıktan sonra yakıt tankı baş kısmı düzgün bir şekilde yerleştirildiğini ve yakıt tankı ile kapağı arasındaki dişlilerin karşılıklı düzgün bir şekilde yerleştirildiğini gösteren radyografik görüntü Şekil 18'de gösterilmiştir. Yakıt tankı ile kapağı arasındaki dişlilerin düzgün bir şekilde yerine oturmadığını gösteren radyografik görüntü Şekil 19'da gösterilmiştir.



Şekil 19. Dişliler arasında hata oluşmuş radyografik görüntü [14]

Şekil 19'da gösterilen radyografik görüntüde diş kalınlıklarından birinde farklılaşma olduğu tespit edilmiştir. Şekil 19'da gösterilen şekilde gösterilen kusurlu yapı, dişliler arasında istenmeyen bir boşluğa neden olur ve yakıt emniyetini tehlikeye sokabilecek bir hata oluşmasına neden olur. Sonuç olarak, taşınabilir, dijital X-ışını cihazlarıyla polimer yakıt tanklarının radyografik testleri; yüksek hassasiyette ve güvenilir bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Ancak çalışma sinyalleri arasında, en az çalışma süresinin 2 katı kadar süre geçmesi gerekmektedir. Bu çalışma şekli ile taşınabilir X-ışını tüpünün çalışma güvenliği sağlanmış olur.



#### IV. TAHRİBATSIZ TEST YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Tahribatsız test işleminde materyal güvenliğinin test edilmesinde uygun yöntemin seçilmesi büyük önem arz etmektedir. En uygun yöntemin seçilmesi birçok etken göz önünde bulundurularak yapılmalıdır. Bu çalışmada hangi yöntemin hangi şartlar altında daha verimli çalıştığı ve test sağlığını etkileyen etkenler gösterilmiştir. Ayrıca materyal türü, etkin kusur türü ve ölçeği, test ortamı, hassasiyet, maliyet, ölçek ve biçim bağımlılığı, güvenilirlik, test hızı ve güncel kullanım alanları gibi kriterler açısından TTY karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Materyal türü, tahribatsız test yöntemi seçilirken göz önünde bulundurulması gereken önemli bir unsurdur. MKA yöntemi demir, çelik vb. ferromanyetik materyalleri test edebilmektedir. Ferromanyetik olmayan diğer materyal türleri MKA yöntemi ile test edilemez. AE yöntemi ile metaller, beton bloklar ve plastik gibi materyaller test edilmektedir. UT yöntemi, genellikle kompozit esaslı (plastik, seramik gibi) materyallerin test işleminde kullanılmaktadır. Bu yöntem, ince metalik materyallerin ve büyük tanecikli materyallerin analizlerinde kullanılmaktadır [1, 9, 25]. Yöntemin başarısı metal gibi katı maddelere geçilmesi ile birlikte azalmaktadır. Başarıdaki bu azalmanın esas kaynağı olarak metal materyallerin maddesel özellikleri gösterilmektedir. Metal materyali oluşturan atomlar birbirlerine güçlü elektromanyetik kuvvetler ile bağlanmaktadır. Bağlanma neticesinde atomlar arası mesafeler ultrasonik ses dalgalarına oranla oldukça küçük kalmaktadır. Bu sebeple ultrasonik test yönteminin başarısı metal temelli materyallerde azalmaktadır. GA yöntemi de, metal ve metal alaşım materyallerinin yapısal bütünlüğünün kontrol edilmesinde kullanılmaktadır. Ancak çalışma prensibi gereği ferromanyetik özellik sergileyen metal ve alaşımlar üzerinde etkinliği azalmaktadır. Bu nedenle metal endüstrisi ürünlerinin temelini demir, nikel ve çelik esaslı materyallerin oluşturması, GA yönteminden kaçınılmasına yol açmaktadır. Radyografi test yönteminde ise kuru gıda, seramik ve metal materyalleri test edilmektedir. Bu yöntemin insan sağlığına radyasyon kaynaklı zararları olsa da yüksek nüfuz etme avantajından dolayı kullanımı yaygındır.

Tahribatsız test işleminde dikkat edilmesi gereken bir diğer unsur da kusur türü ve ölçeğidir. MKA yöntemi kullanılarak, yüzeysel çatlaklarda yüksek derecede, iç çatlaklarda ise orta derecede etkin olarak test işlemi gerçekleştirilmektedir. Ayrıca bu yöntemin korozyon tespitinde yüksek derecede etkili olduğu araştırmalar sonucu görülmüştür. Korozyon tespitinde başarısından dolayı MKA teknolojisi yaklaşık 50 yıldır korozyondan kaynaklanan metal kayıplarını önlemek için kullanılmaktadır. Metal kaybı yüzdesinin

yüksek hassasiyetle belirlenmesinin yanında kusur genişliği ve derinliğinin belirlenmesi MKA yöntemi kullanılarak güvenilir şekilde yapılabilmektedir [21, 34]. AE yöntemi ise, basınçlı borularda oluşan çatlak uzanımı ve korozyon gibi aktif kusurları sistem işleyişini engellemeksizin olarak tespit edebilmektedir. Bu yöntem aktif(büyüyen) kusurların tespit edilmesinde önemli rol oynamaktadır. MKA, UT, GA ve radyografi gibi önemli tahribatsız test yöntemleri statik test yöntemleridir ve sadece var olan kusurları tespit edebilmektedir, materyalin kusur olmaya eğilimli bölgelerini tespit edememektedirler. AE yöntemi aktif kusurlarda hassas olduğundan dolayı kusur olmaya eğilimli bölgeleri tespit edebilmektedir. Ayrıca AE tekniği gerilimli korozyon (stress corrosion cracking) ve katman ayrılması gibi kusurların tespitinde önemli derecede iyi sonuçlar vermektedir. Ayrıca iç ve yüzeysel çatlaklar AE yöntemi ile yüksek derecede etkinlik ile tespit edilmektedir. UT yöntemi kullanılarak yüzeysel çatlakları düşük derecede iç çatlakları ise yüksek derecede etkin olarak belirlenmektedir. UT çalışma prensibi gereği, kompozit materyallerde oluşabilen kusurlar ve gözenek büyüklüğü gibi işlemlerde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir [9]. Ayrıca katman ayrılması, korozyon ve gözenek büyüklüğü gibi kusur türleri de UT yöntemi ile etkin olarak tespit edilmektedir. Metal teknolojisinde en çok karşılaşılan kusurlardan biri olan artık gerilme (residual stress), tespit edilmesi zor olan kusurlardan biridir. GA yöntemi bu çeşit kusurları tespit etmekte kullanılan en popüler yöntemdir [22]. GA yöntemi ile yüzeysel çatlaklar yüksek derecede, iç çatlaklar ise düşük derecede etkinlikle belirlenmektedir. Radyografi yöntemi ile yüzeysel çatlaklar orta derecede iç kusurlar ise yüksek etkinlikle belirlenmektedir. Bu yöntem genellikle iç (dielectric) kusurları bulmak için kullanılmaktadır [35].

TTY'nin en önemli avantajlarından birisi ölçüm hassasiyetinin genel olarak yüksek olmasıdır. Fakat bazı şartlar altında yöntemlerin hassasiyeti azalabilmektedir. Örneğin GA ve MKA yöntemleri ile yüzeysel kusurlar yüksek hassasiyetle tespit edilirken yüzey altı kusurlarda ise hassasiyet azalmaktadır. AE yöntemi genel olarak yüksek hassasiyetle çalışan bir yöntemdir. Bu yöntemin aktif kusurlara karşı duyarlılığı ve yüksek test doğruluğu gibi avantajları sayesinde geniş bir alanda kullanımı vardır [36]. UT yönteminde iç çatlaklar yüksek hassasiyetle belirlenirken yüzeysel kusurlarda hassasiyet düşmektedir. Radyografi yönteminde ise iç kusurlar yüksek hassasiyetle belirlenirken yüzeysel çatlakların testinde hassasiyet düşmektedir. Hassasiyet konusunda en dezavantajlı yöntem fiziksel ve yapısal kısıtlarından dolayı GA yöntemidir.

Maliyet açısından TTY çalışma şartları bakımından farklılık göstermektedir. MKA, genellikle korozyon

görüntüleme maliyet açısından en ucuz yöntem olarak bilinir [37]. MKA yöntemi ile boru test işleminde, borunun iç çapı boyutuna uygun test sistemi oluşturulacağından dolayı büyük boru boyutlarında, maliyet artmaktadır. Diğer tahribatsız yöntemlere kıyasla ilk maliyeti benzer olan AE yönteminin operasyonel maliyeti daha ucuzdur [10]. Güçlü nüfuz etme kabiliyeti, düşük maliyeti ve taşınabilir yapısı gibi avantajlarından dolayı UT yöntemi tercih edilen bir yöntemdir. GA yöntemi de metal nesnelerin test edilmesinde kullanılan düşük maliyetli yöntemdir. Radyografi yöntemi ise maliyeti fazla olmayan yöntemlerden biridir.

TTY ile test edilen materyalin biçimi, test sisteminin kurulumu aşamasında bağlayıcı olmaktadır. MKA sistem yapısı, boru ve çelik tel test işleminde, bu materyallerin boyutlarına uygun şekilde oluşturulmak zorundadır. MKA hariç diğer TTY test edilecek materyalden bağımsız olarak oluşturulur.

Gaz boru endüstrisi denetim doğruluğunu artırmak ve tarama sonuçlarının hızlı bir şekilde değerlendirilmesi için MKA sinyallerinin ayrıntılı olarak analiz edilmesine ihtiyaç duymaktadır. MKA yöntemi ile test işleminde yüksek güvenilirlik için, verilerin ayrıntılı analiz edilmesi gerekmektedir. Bundan dolayı analiz görevlisinin eğitim seviyesinin yüksek ve analiz yapma hünerleri yüksek olmalıdır. AE yöntemi de test edilen materyali güvenilirlik ve yapı bütünlüğü açısından kontrol etmemizi sağlayan yüksek güvenilirliğe sahip bir yöntemdir. AE sinyalleri, çatlak olan bölgede yüksek frekans ve yoğunlukta gerçekleştiğinden dolayı AE test güvenilirliği diğer yöntemlere göre daha yüksektir [8]. UT

yöntemi de yüksek güvenilirliğe sahip yöntemlerden biridir. UT, MKA ve AE yöntemlerinin en önemli özelliği yüksek test doğruluğu ile güvenilir test gerçekleştirmeleridir. GA yöntemi yapısal kısıtlarından dolayı diğer yöntemlere göre test doğruluğu açısından dezavantajlı konumdadır. Radyografi yöntemi de güvenilir test yöntemlerinden biridir.

TTY, test hızı açısından birbirleriyle karşılaştırıldığında AE yöntemi bir kademe diğer yöntemlerden öne geçmektedir. AE haricinde kalan diğer yöntemler göreceli olarak yüksek hızlı çalışmaktadır.

TTY'nin yaygın kullanım alanları, yöntemlerin çalışma prensipleri, uygulama şartları, verimlilikleri gibi birçok etkene göre şekillenmiştir. Örneğin, MKA, gaz ve yağ borularının test edilmesi konusunda dünyada en yaygın kullanılan elektromanyetik tahribatsız test yöntemlerinden biridir [38]. Çelik materyali üzerindeki etkinliğinden dolayı çelik tel, petrol boruları ve çelik saclar gibi materyallerin test işleminde de MKA yöntemi kullanılmaktadır. Diğer bir tahribatsız yöntem olan AE yöntemi dinamik tahribatsız test açısından geniş bir kullanım alanına sahiptir [39]. Beton bloklar, yağ, su ve gaz boruları ve çelik tanklar AE yöntemi ile test edilmektedir. UT yöntemi ise saclar, seramik ve kompozit yüzeyler gibi materyallerin muayenesinde kullanılmaktadır. Elektromanyetik yöntemlerden biri olan GA, metal sacların testinde kullanılan bir yöntemdir. Radyografi, çalışma verimliliği ve derine nüfuz etme gibi avantajlarından dolayı, döküm materyallerinin tahribatsız muayenesinde en yaygın kullanılan yöntemdir [33]. Tablo 1'de TTY'nin seçilmiş kriterlere göre karşılaştırılması gösterilmiştir.

**Tablo 1.** TTY karşılaştırma tablosu

		Tahribatsız Test Yöntemleri (TTY)				
		MKA	AE	UT	GA	RADYOGRAFİ
<b>Karşılaştırma Kriterleri</b>	<b>Materyal Türü</b>	Demir, çelik, nikel, kobalt	Metaller, beton, plastik	Metaller, kompozit (plastik, seramik) materyaller	Metaller	Kuru gıda, seramik, metaller
	<b>Etkin kusur türü ve ölçeği</b>	Yüzeysel çatlaklar (yüksek), iç çatlaklar (orta), korozyon	İç/yüzeysel çatlaklar (yüksek), dinamik kusurlar, korozyon, katman ayrılması, gerilimli korozyon	Yüzeysel çatlaklar (düşük), iç çatlaklar (yüksek), gözenek büyüklüğü, katman ayrılması, korozyon	Yüzeysel çatlaklar (yüksek), iç çatlak (düşük), artık gerilim	İç kusurlar (yüksek), yüzeysel çatlaklar (orta)
	<b>Test ortamı</b>	Hava, petrol, yağ, gaz	Hava, yağ, su, gaz	Hava	Hava	Hava
	<b>Hassasiyet</b>	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Orta	Yüksek
	<b>Maliyet</b>	Göreceli orta	Orta	Orta	Ucuz	Orta
	<b>Ölçek ve Biçim Bağlılığı</b>	Bağımlı	Bağımsız	Bağımsız	Bağımsız	Bağımsız
	<b>Güvenilirlik</b>	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Orta	Yüksek
	<b>Test Hızı</b>	Orta	Yüksek	Orta	Orta	Orta
<b>Yaygın kullanım alanları</b>	Çelik teller, petrol tankı, petrol, yağ ve doğal gaz boruları, saclar	Beton bloklar, yağ, su ve gaz boruları, tanklar	Saclar, seramik yüzeyler, kompozit yüzeyler	Metal saclar	Döküm materyalleri, Metal saclar	

## I. SONUÇ

Materyallerin yapısında zamanla oluşan kusurlar, materyal yapısını bozarak büyük maddi kayıplara sebep olabilmektedir. Bu kusurların önceden TTY ile belirlenmesi gerekmektedir. Muayene edilecek olan materyalin fiziksel ve kimyasal yapısına uygun tahribatsız yöntem seçilmelidir. Uygun yöntemin seçilmemesi, gereksiz maliyet oluşmasına ve test doğruluğunun azalmasına sebep olur. Uygun yöntem ile materyalin düzenli aralıklarla muayene edilmesi sonucu verimli materyal kullanımı sağlanarak maddi kayıpların önüne geçilmiş olur. Bu çalışmada TTY'nin nasıl çalıştığı, örnek çalışmalar ve yöntemlerin fiziksel ve kimyasal kısıtları gibi konular incelenmiştir. Yöntemlerin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. TTY materyal türü, etkin kusur türü ve ölçeceği, hassasiyet, maliyet, ölçek ve biçim bağımlılığı, güvenilirlik, test hızı ve güncel kullanım alanları gibi seçilmiş kriterler açısından karşılaştırılarak tablo 1'de gösterilmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] Ege, Yavuz.(1998).Ferromanyetik Malzemeler Üzerindeki Çatlakların Manyetik Yöntemle Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir, Türkiye, s. 2-6.
- [2] Kaya, Y., & Kahraman, N. (2013). Farklı Özellikteki Malzemelerin Tozaltı Ark Kaynak Yöntemi İle Birleştirilmesi ve Birleştirmelerin Tahribatlı ve Tahribatsız Muayenesi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 17(1).
- [3] Başyigit, C., Çomak, B., Kılınçarslan, Ş., & Kamacı, Z. Depremde Hasar Görmüş Betonarme Yapıların Beton Kalitesini Belirlemede Yeni Yaklaşımlar: Görüntü İşleme Örneği.
- [4] Göktepe, M., Perin, D., & Oral, A. Betonarme Yapılardaki Demir Donatıların Manyetik Kaçak Akı Yöntemiyle İncelenmesi.
- [5] Gülenç, B., Candan, İ., & Kahraman, N. (2006). Mıg-Mag Kaynağı İle Birleştirilen Boruların Tahribatlı Ve Tahribatsız Muayenesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 21(4).
- [6] Yakupoğlu, A. (2015). Girdap Akımı Probu İle Yüzey Çatlaklarının Algılanması. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye, s. 1-5.
- [7] Gloria, N. B. S., Areiza, M. C. L., Miranda, I. V. J., & Rebello, J. M. A. (2009). Development of a magnetic sensor for detection and sizing of internal pipeline corrosion defects. NDT & e International, 42(8), 669-677.
- [8] Sun, L., Li, Y., Li, C., Wang, L., & Wu, J. (2010, Temmuz). Active defects detection and localization using acoustic emission method. In Intelligent Control and Automation (WCICA), 2010 8th World Congress on (ss. 5348-5351). IEEE.
- [9] Wang, H., Li, Y., Pan, Q., Xu, C., Zhao, X., & Xia, S. (2012, Ağustos). Ultrasonic transmission method for testing curved composite parts. In Mechatronics and Automation (ICMA), 2012 International Conference on (ss. 2093-2097). IEEE.
- [10] bin Ibrahim, R. (2016, Ağustos). Acoustic emission technique for early leakage detection of in-service control valve. In Intelligent and Advanced Systems (ICIAS), 2016 6th International Conference on (ss. 1-5). IEEE.
- [11] Silverwing (UK) limited magnetic flux leakage technology, [http://www.silverwingndt.com/downloads/technical/magnetic\\_flux\\_leakage\\_technology.pdf](http://www.silverwingndt.com/downloads/technical/magnetic_flux_leakage_technology.pdf), (13.06.2017).
- [12] LiYing, S., YiBo, L., LiBo, S., & LingGe, L. (2012, Temmuz). Comparison of Magnetic Flux Leakage (MFL) and Acoustic Emission (AE) techniques in corrosion inspection for pressure pipelines. In Control Conference (CCC), 2012 31st Chinese (ss. 5375-5378). IEEE.
- [13] Göktepe, M., & Ege, Y. (2007). Amorf Meetalik Cam Şeritlerindeki Çatlakların Manyetik Akı Kaçakları Yöntemi Kullanılarak Belirlenmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilim Dergisi, 7(1).
- [14] Tuğrul, A. B., Baydoğan, N., Altınsoy, N., Dizar, D., & Yağcı, E. Otomotiv Parçalarının Radyografik İncelenmesi.
- [15] Potapov, A. I., Syas'ko, V. A., & Pudovkin, O. P. (2015). Optimization of the parameters of primary measuring transducers that use the MFL technology. Russian Journal of Non-destructive Testing, 51(8), 513-519.
- [16] Internet Related Technologies, Non-Destructive Testing and Technical diagnostics, <http://www.intron-plus.com/en/r-d/>, (Eylül 2016).
- [17] Internet Related Technologies, NDT Equipment - Tanks, Pipes and Vessel Inspection, <http://www.silverwingndt.com/ndt-nde-testing/mfl-ultrasonic-inspection-systems>, (Eylül 2016).
- [18] Internet Related Technologies, Inspection Solutions, <http://www.rosen-group.com/global/solutions/services/inspection.html>, (Eylül 2016).
- [19] Internet Related Technologies, Inspection, <http://www.spetsneftegaz.com/inspection.html>, (Eylül 2016)
- [20] Internet Related Technologies, Our Technology, <http://www.ndttech.com/technology.html>, (Eylül 2016)
- [21] Kandroodi, M. R., Shirani, F., Araabi, B. N., Ahmadabadi, M. N., & Bassiri, M. M. (2013, Haziran). Defect detection and width estimation in natural gas pipelines using MFL signals. In Control Conference (ASCC), 2013 9th Asian (ss. 1-6). IEEE.
- [22] Keshtgar, A., & Modarres, M. (2013, Ocak). Acoustic emission-based fatigue crack growth prediction. In Reliability and Maintainability Symposium (RAMS), 2013 Proceedings-Annual (ss. 1-5). IEEE
- [23] Yu, Y., Zou, Y., Jiang, M., & Zhang, D. (2015, Mayıs). Investigation on conductivity invariance in eddy current NDT and its application on magnetic permeability measurement. In NDT New Technology & Application Forum (FENDT), 2015 IEEE Far East (ss. 257-262). IEEE.

- [24] Wijerathna, B., Vidal-Calleja, T., Kodagoda, S., Zhang, Q., & Miro, J. V. (2013, Nisan). Multiple defect interpretation based on gaussian processes for mfl technology. In SPIE Smart Structures and Materials+ Nondestructive Evaluation and Health Monitoring (ss. 86941Z-86941Z). International Society for Optics and Photonics.
- [25] Gao, Y., Tian, G. Y., Li, K., Ji, J., Wang, P., & Wang, H. (2015). Multiple cracks detection and visualization using magnetic flux leakage and eddy current pulsed thermography. *Sensors and Actuators A: Physical*, 234, 269-281.
- [26] Li, Y., Wilson, J., & Tian, G. Y. (2007). Experiment and simulation study of 3D magnetic field sensing for magnetic flux leakage defect characterisation. *NDT & E International*, 40(2), 179-184.
- [27] Świt, G., Krampikowska, A., & Chinh, L. M. (2016, Ekim). A prototype system for acoustic emission-based structural health monitoring of My Thuan bridge. In *Prognostics and System Health Management Conference (PHM-Chengdu)*, 2016 (ss. 1-6). IEEE.
- [28] Keshtgar, A., & Modarres, M. (2013, Ocak). Acoustic emission-based fatigue crack growth prediction. In *Reliability and Maintainability Symposium (RAMS)*, 2013 Proceedings-Annual (ss. 1-5). IEEE.
- [29] Yoo, H., Liu, Z., Quang, N. N., Kim, S., & Bien, F. (2016). Implementation of Nondestructive Crack Detection System for Automotive Press Panel. *IEEE Sensors Journal*, 16(2), 383-389.
- [30] D'Angelo, G., Laracca, M., & Rampone, S. (2016, Haziran). Automated Eddy Current non-destructive testing through low definition lissajous figures. In *Metrology for Aerospace (MetroAeroSpace)*, 2016 IEEE (ss. 280-285). IEEE.
- [31] Caetano, D., Rabuske, F., Oliveira, D., Rabuske, T., Fernandes, J., & Piedade, M. (2016, Haziran). Fast settling VGA for eddy currents non-destructive testing with an array of magneto resistors. In *Ph. D. Research in Microelectronics and Electronics (PRIME)*, 2016 12th Conference on (ss. 1-4). IEEE.
- [32] Robini, M. C., Labruyere, J. P., & Magnin, I. E. (2006, Ekim). Radiographic inspection of thick metal components, Part I: fitting the standard linear image formation model. In *Nuclear Science Symposium Conference Record*, 2006. IEEE (Cilt. 2, ss. 964-968). IEEE.
- [33] Sonat, E. Evren., & Yelbay, H: İlker. (2008) Dökümlerin Radyografik Muayenesinde Kullanılan Standartlar. *Proceedings of 3rd International Non-Destructive Testing Symposium and Exhibition, İstanbul Türkiye, Nisan 2008, ODTÜ Kaynak Teknolojisi ve Tahribatsız Muayene Araş./Uyg. Merkezi*.
- [34] Orazem, M. (Ed.). (2014). *Underground pipeline corrosion* (No. 63). Elsevier.
- [35] Liske, O., Yakymiv, R., & Melnychuk, A. (2012). Radiowave methods of non-destructive testing.
- [36] Zhao, J., Sheng, H., & Zhou, X. (2016, Kasım). Study on the application of acoustic emission testing technique in monitoring 16Mn steel welding defects. In *Advanced Mechatronic Systems (ICAMechS)*, 2016 International Conference on (ss. 318-321). IEEE.
- [37] Coughlin, C. R., Clapham, L., & Atherton, D. L. (2000). Effects of stress on MFL responses from elongated corrosion pits in pipeline steel. *NDT & E International*, 33(3), 181-188.
- [38] Ravan, M., Amineh, R. K., Koziel, S., Nikolova, N. K., & Reilly, J. P. (2010). Sizing of 3-D arbitrary defects using magnetic flux leakage measurements. *IEEE transactions on magnetics*, 46(4), 1024-1033.
- [39] Shao, Y., Yu, Y., Zhang, Y., Wei, S., & Li, X. (2016, Kasım). Analysis of acoustic emission signal characteristics based on the crack pattern of stress corrosion cracking. In *Sensing Technology (ICST)*, 2016 10th International Conference on (ss. 1-5). IEEE.