

## **MANYETİZE EDİLMİŞ FERROMANYETİK MALZEMEDEKİ YÜZEY ÇATLAKLARININ BELİRLENMESİ**

Mustafa GÖKTEPE<sup>1</sup>, Yavuz EGE<sup>2</sup>

**ÖZET :** Levha şeklindeki ferromanyetik malzemelerde oluşan yüzey çatlaklarının manyetik akı kaçakları testiyle belirlemek için yeni bir manyetik ölçme düzeneği kurulmuştur. Kurulan manyetik ölçme düzeneği ile ferromanyetik levhaların üst üste konmasıyla oluşturulan yapay çatlak modellerinin yüzeyleri, tek boyutta bilgisayar kontrollü olarak taratılmış ve örnek modelin çatlak bölgesindeki manyetik akı kaçaklarının etkileri algılayıcıyla belirlenmiştir. Algılayıcının çıkış voltajının taranan uzunluğa göre değişim grafikleriyle çatlağın fiziksel özellikleri bulunmuştur. Bu makalede manyetik ölçme düzeneğinin çatlak tespitinde kullanımı ve uygulama sonuçları tartışılmıştır.

**ANAHTAR KELİMELER :** Ferromanyetik Malzeme, Algılayıcı, Çatlak Tespiti.

## **DETECTION OF SURFACE CRACKS ON MAGNETIZED FERROMAGNETIC MATERIALS**

**ABSTRACT :** A magnetic non-destructive measurement system was constructed to detect surface cracks on a ferromagnetic materials. Different cracks were made artificially by stacking ferromagnetic laminations. Surface of the samples were scanned to capture magnetic leakage flux. The output of the sensor versus sample length was plotted as a result of crack detection. In this paper, findings of the crack detection on ferromagnetic materials by using magnetic flux leakage technique will be presented.

**KEYWORDS:** Ferromagnetic Materials, Sensor, Crack Detection.

<sup>1</sup> Balıkesir Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 10100 BALIKESİR

<sup>2</sup> Balıkesir Üniversitesi, Necatibey Eğitim Fakültesi Fizik Eğitimi Bölümü, 10100 BALIKESİR

## ***I. GİRİŞ***

Endüstriyel uygulamalarda, malzemelerin kontrolleri tahribatsız muayene teknikleri ile yapılmaktadır. Bu teknikler arasında ultrasonik, manyetik parçacık, sıvı penetrant, akustik emisyon, girdap akımları, radyografi ve manyetik akı kaçakları testi yer almaktadır [1-12]. Bu tekniklerin kendine özgü bazı sınırlama ve uygulama şekilleri vardır. Bu tekniklerden ikisinde, malzemedeki çatlakların fiziksel özelliklerini tespit edebilmek için, malzemenin manyetize edilmesi gerekmektedir [2-8]. Bu yöntemler, manyetik parçacık ve manyetik akı kaçakları testidir. Bu iki tahribatsız test tekniğinde de manyetize edici sisteme ihtiyaç duyulmaktadır. Manyetik parçacık testinde malzeme manyetize edildiğinde üzerine kuru ya da yağ olarak demir tozları serpiştirilir. Demir tozlarının biriktiği bölgeler çatlakların bulunduğu bölgelerdir [1,2]. Bu teknikte çatlakları belirlemek için herhangi bir algılayıcıya gerek yoktur. Fakat bunun yanısıra manyetik akı kaçakları testinde çatlakın konumunu net olarak belirleyebilmek için, hem bir algılayıcıya hem de bu algılayıcının hareketini kontrol eden bir sisteme gereksinim vardır [3-7]. Bu doğrultuda çalışmamızda manyetik akı kaçaklarının tespitinde kullanılmak üzere yeni bir manyetik ölçme sistemi kurulmuş ve tahribatsız olarak çatlakların bulunmasında kullanılmıştır. Bu çalışmada, levha şeklindeki malzemelerin manyetik akı kaçakları testi için tasarımılanan manyetik ölçme sisteminin, mekaniği, elektroniği ve tahribatsız çatlak tespitinde kullanılabilirliği detaylı olarak tartışılmıştır.

## ***II. MANYETİK ÖLÇME SİSTEMİ***

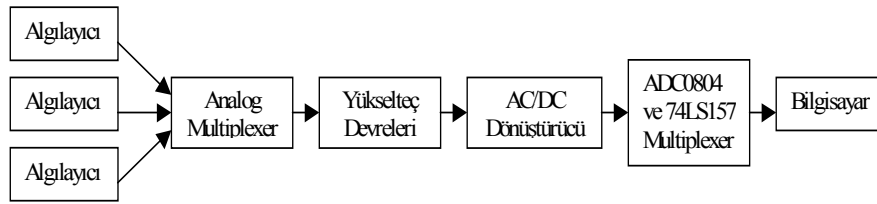
### ***II.1 1-D Tarayıcı Sistemin Bilgisayarla Kontrolü***

Manyetik akı kaçakları testi için tasarımılanan manyetik ölçme sistemi, 1D Tarayıcı sistem ve bu sistemin bilgisayarla kontrolünü sağlayan elektronik ünitelerden oluşmaktadır. 1D Tarayıcı sistemde tek boyuttaki hareket adım motoru ile sağlanmaktadır. Bu yüzden 1D Tarayıcı sistemin bilgisayarla kontrol edilebilmesi için, bilgisayarın bu adım motoruna uygun verilerin göndermesi gerekmektedir. Çalışmamızda verilerin gönderilebilmesi ya da veri girişi için bilgisayar donanımında paralel port kullanılmıştır.



## II.2 Algılayıcıdan Bilgisayara Bilgi Aktarımı

Manyetik ölçme sisteminin iki farklı yerinde birbirinden bağımsız iki sensör bulunmaktadır. Bunlardan birincisi, 1D tarayıcı sistemin üzerinde bulunan ve malzemenin yüzeyindeki manyetik akı değişimini algılayan sensördür. İkinci sensör de test edilecek malzemenin içinden geçen manyetik akı değişimini algılamaktadır. Ayrıca bu çalışmada, bu iki sensörden gelen bilgilerin yanısıra manyetik alan şiddetinin bulunmasında kullanılan güç direnci üzerindeki gerilimde okutulmaktadır. Şekil 2’de bu üç farklı yerden gelen analog bilgilerin, bilgisayar tarafından okutulması için sırasıyla hangi devrelerden geçtiği blok diyagramı olarak gösterilmektedir.

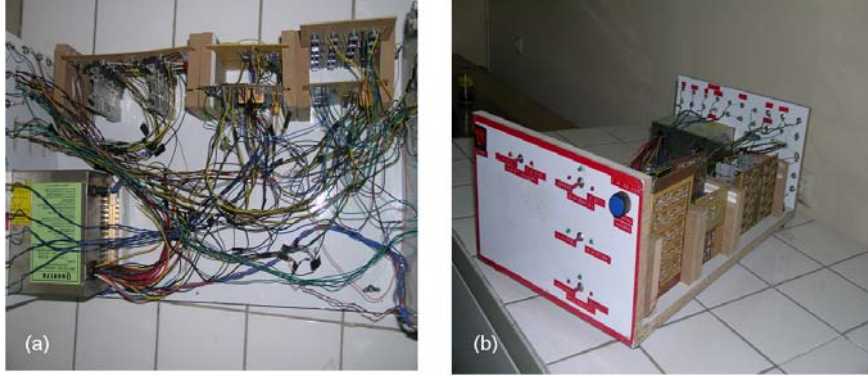


Şekil 2. Algılayıcıdan bilgisayara bilgi aktarımı.

Şekil 2’de de görüldüğü üzere, bilginin algılayıcıdan bilgisayara varana kadar işlevi birbirinden farklı dört elektronik karttan geçmektedir. Bu elektronik kartların çizimi ve basımı bu sisteme özel yapılmıştır. Analog multiplexer bilgisayar kontrollü olup, üç farklı algılayıcıdan gelen bilgilerin hangi sırayla bilgisayara aktarılacağını belirlemektedir. Analog multiplexerden geçen analog veri birebir olarak AC sinyali DC sinyale çeviren dönüştürücüye gelmekte ve aynı büyüklükte DC analog veriye dönüşmektedir. DC analog veri analog-dijital çevirici sayesinde bilgisayar paralel portuna aktarılmaktadır.

Yazılan bilgisayar programı sayesinde de porttaki dijital veri okutulup, bir text dosyasına yazılmaktadır.

Yukarıda sırasıyla bahsedilen, adım motorunun bilgisayarla kontrolü ve algılayıcıdan gelen analog sinyalin bilgisayara aktarımında kullanılan tüm devrelerin kart basımı yapılmadan önce devrelerin işlevleri bord üzerinde test edilmiştir. Bu devreleri içinde barındıracak yeni bir elektronik sistem tasarlanmıştır. Aşağıda Şekil 3’de bu elektronik sistemin yandan ve üstten görünümü verilmektedir.



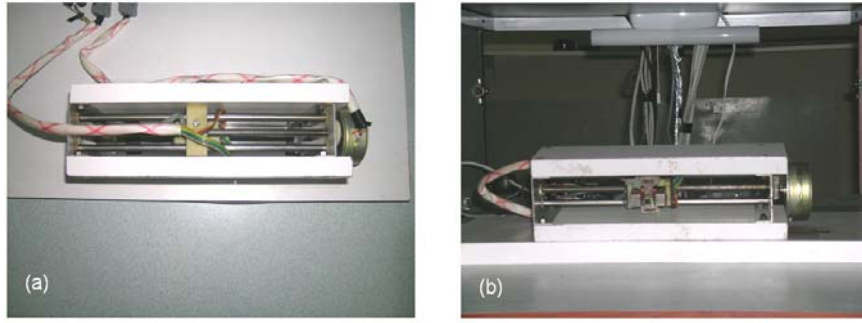
**Şekil 3.** Oluşturulan elektronik sistemin (a) üstten ve (b) yandan görünümü.

Çalışmanın bir sonraki aşamasında 1D Tarayıcı sistemin mekaniğinin oluşturulmasına geçilmiştir.

### ***II.3 1D Tarayıcı Sistemin Mekaniği***

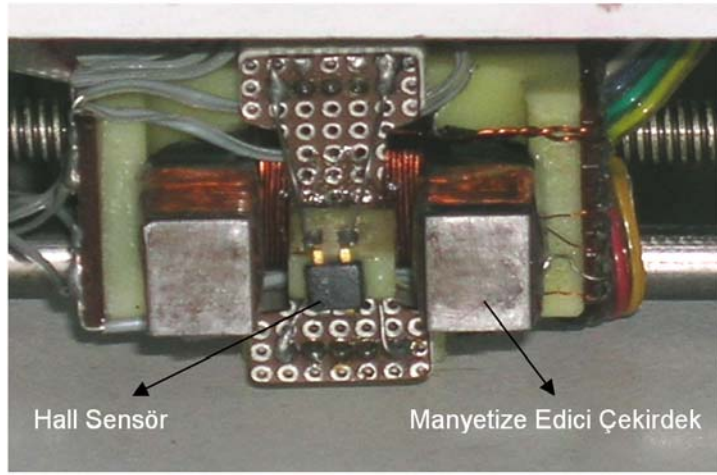
Bir boyutlu tarayıcı sistemin mekaniğinde manyetik özellik göstermeyen alüminyum levha, civa çeliği ve kestamit türü malzemeler kullanılmıştır. İlk olarak kestamitten U çekirdeği üstten kavrayan bir düzenek yapılmıştır. U şeklindeki çekirdeği manyetize etmek için çekirdeğin üzerine 10 sarım sarılarak, yapılan düzeneğe yapıştırılmıştır. Daha sonra düzeneğin üzerine, çekirdeğin hareketini kontrol etmek için, matkapla üç delik açılmıştır. Ortadaki deliğe vida yolu açılarak 1 cm’lik sonsuz dişlinin bu delikten geçmesi sağlanmıştır. Sonsuz dişlinin bir ucu adım motoruna monte edilmiştir.

Çekirdeğin hareketinde rijitliğini sağlamak için, alüminyum levha ve tahtadan dikdörtgen şeklinde bir kutu oluşturulmuştur. Dikdörtgen kutunun kısa kenarları alüminyum levhadan yapılmıştır. Bir ucu adım motoruna monteli sonsuz dişli, çekirdeğin hareketini sağlayan düzenekten geçirildikten sonra, oluşturulan bu kutuya bağlanması sağlanmıştır. Bir ucu adım motoruna bağlı sonsuz dişlinin diğer ucuna, sonsuz dişlinin rahat dönebilmesi için rulman takılmıştır. Sonsuz dişlinin adım motoru tarafından döndürülmesiyle çekirdeğin hareketini sağlayan parçanın dengeli ilerlemesi için, düzeneğe açılan diğer iki delikten civa çeliğinden yapılmış iki çubuk geçirilmiş ve uçları alüminyum levhalara sabitlenmiştir. Adım motoru da hareketin rijitliğini bozmayacak şekilde dikdörtgen kutunun tahta kenarının yan kısmına monte edilmiştir (Şekil 4).



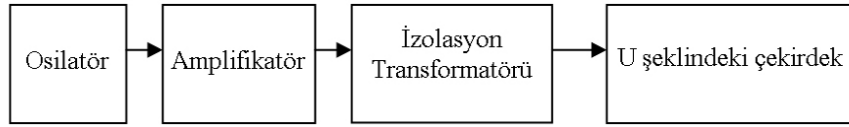
**Şekil 4.** Bir boyutlu tarayıcı sistemin (a) üstten ve (b) alttan görünümü.

Bir sonraki aşamada sensör, kestamitten yapılmış ufak bir parça ile çekirdeğin bacaklarına paralel olacak şekilde çekirdeğe sabitlenmiştir. Sensörün, çekirdeğin bacaklarına olan uzaklığının eşit olmasına dikkat edilmiştir (Şekil 5). Bu sayede çekirdek ile sensörün aynı anda hareketi sağlanmıştır. Adım motorunun sonsuz dişliyi döndürmesiyle hem çekirdek hem de sensör hareket edebilmektedir.



**Şekil 5.** Bir boyutlu tarayıcı sistemde manyetize edici çekirdek ve sensörün konumu.

Bu çalışmada osilatör, amplifikatör, izolasyon transformatörü ve U şeklindeki çekirdekten oluşan sisteme manyetize edici sistem adı verilmiştir. Şekil 6'da manyetize edici sistemin blok diyagramı gösterilmektedir.



**Şekil 6.** Manyetize edici sistemin blok diyagramı.

Bu çalışmada sinyal kaynağı olarak osilatör, sinyali güçlendirmek için amplifikatör, sinyalin saf sinüs sinyali olması için izolasyon transformatörü kullanılmıştır. Bu saf AC akımla U şeklindeki çekirdeğin manyetize edilmesi sağlanmıştır. Test edilecek malzemeler de U şeklindeki çekirdeğin üzerine konarak manyetize edilmişlerdir.

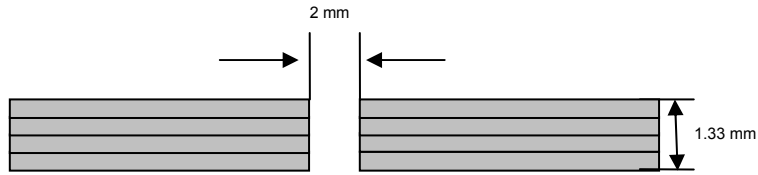
Çalışmanın bir sonraki aşamasında, 1 D Tarayıcı sistem, birimin elektronik ünitesi ve manyetize edici birim için gerekli olan tüm bağlantılar sağlanarak, tahribatsız olarak çatlakların belirlenebileceği yeni bir manyetik ölçme sistemi oluşturulmuştur.

### III. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneysel çalışmada manyetik ölçme sistemiyle elde edilen verilerle, çatlak hakkında ne gibi bilgilere ulaşılabileceğini belirleyebilmek için, yapay olarak değişik çatlak modelleri oluşturulmuştur. Çatlak modellerinin oluşturulması aşağıda verildiği gibidir.

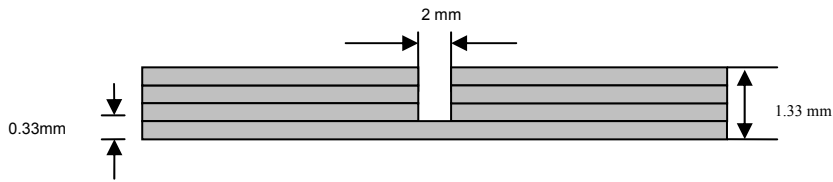
#### III.1 Çatlak Modellerinin Oluşturulması

Bu çalışmada yapay çatlakların oluşturulması, 0.33 mm kalınlığında ve değişik uzunluklarda ferromanyetik malzemelerin üst üste konmasıyla sağlanmıştır. Doğada geometrisi çok değişik olan doğal çatlak bulmak mümkündür. Bu doğal çatlakların modeli, genişliği, derinliği, şekli, konumu birbirinden farklı olabilir. Bu nedenle doğadaki yüzeyi düzlemsel olan malzemeler içinde oluşabilecek hemen hemen bütün doğal çatlakların tespit edilebilmesi için ferromanyetik şeritler kullanılarak üç değişik modelde yapay çatlak tasarlanmıştır. Bunlar Tam çatlak, Yarım çatlak, Gömülü çatlak modelleridir. Şekil 7’de verildiği gibi tam çatlak modelinde çatlak, malzemenin alt ve üst yüzeyine ulaşmaktadır.



Şekil 7. Tam çatlak modeline bir örnek.

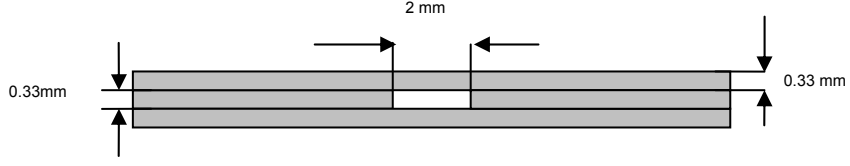
Yarım çatlak modelinde ise, Şekil 8’de verildiği gibi çatlak, malzemenin üst yüzeyine ulaşabildiği halde alt yüzeyine ulaşmamaktadır.



Şekil 8. Yarım çatlak modeline bir örnek.



Şekil 9’da verilen gömülü çatlak modelinde ise çatlak, malzemenin ne üst yüzeyine ne de alt yüzeyine ulaşabilmektedir.



Şekil 9. Gömülü çatlak modeline bir örnek.

### III.2 Verilerin Toplanması

Bu çalışmada verilerin toplanması aşamasında, birbirinden farklı fiziksel özelliklere sahip olan bu yapay çatlak modellerinin herbiri için uygulanan işlem sırası aşağıdaki gibidir:

1. Yapay modelin üzerine uygun şekilde 1D tarayıcı sistemin konmasıyla, modelin mıknatıslanmasının sağlanması,
2. Visual Basic'te yazdığımız 1-D Tarayıcı Sistemin kontrol programı vasıtasıyla, üzerinde algılayıcının bulunduğu tarayıcı parçanın, tarama işleminin başlangıç noktasına çekilmesi,
3. Kontrol programında Deney Bilgisi formunun açılarak, algılayıcıdan gelen verilerin hangi dosyaya yazılacağı belirlenmesi,
4. Daha sonra kontrol programında 1D Tarayıcı sistemin hareket formu açılarak, tarama işleminin sınırları ve malzeme yüzeyinin hangi noktalarında veri alınacağı belirlenmesi,
5. Programın çalıştırılması,
6. 1-D Tarayıcı sisteminin tekrar başa çekilmesi ve aynı model için, aynı işlemlerin farklı frekanslar için tekrarlanması.

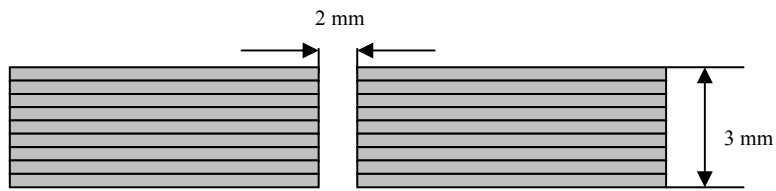


sensörle test edilmiştir. Tüm modeller test edilirken manyetize edici sistem 50, 100, 200, 300 ve 500 Hz'lik AC akımla beslenmiştir.

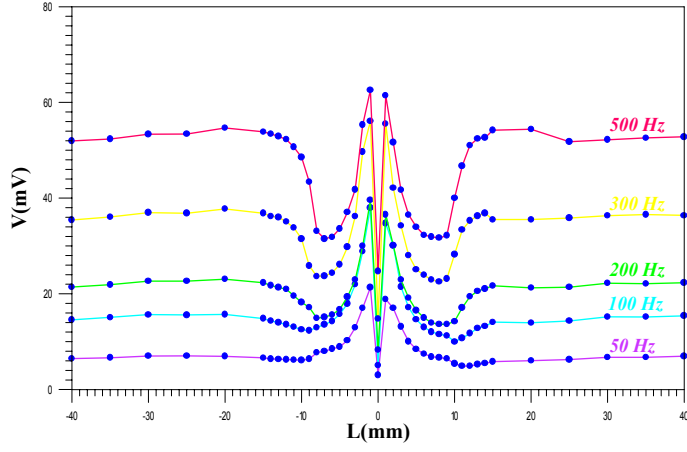
Yapay yarım çatlak modellerinde ise 3 değişken üzerinde durulmuştur. Bunlar çatlağın genişliği, çatlağın derinliği ve çatlağın modelin alt yüzeyine olan uzaklığıdır. Bu çalışmada yarım çatlak modeli için, çatlak derinliği 0.33 mm'den 2 mm'ye, çatlak genişliği ise bitişik pozisyondan 3 mm'ye kadar değiştirilmiştir. Çatlağın modelin alt yüzeyine olan uzaklığı da 0.33 mm'den 2 mm'ye kadar çıkarılmıştır. Ayrıca her model Hall etkili sensörle test edilmiştir. Tüm modeller test edilirken manyetize edici sistem sırasıyla 50, 100, 200, 300 ve 500 Hz'lik AC akımla beslenmiştir.

Yapay gömülü çatlak modellerinde de 4 değişken üzerinde durulmuştur. Bunlar çatlağın genişliği, çatlağın derinliği, çatlağın modelin alt yüzeyine olan uzaklığı ve çatlağın modelin üst yüzeyine olan uzaklığıdır. Bu çalışmada gömülü çatlak modeli için, çatlak derinliği 0.33 mm'den 1mm'ye, çatlak genişliği ise bitişik pozisyondan 3 mm'ye kadar değiştirilmiştir. Çatlağın modelin alt ve üst yüzeyine olan uzaklığı da 0.33 mm'den 0.66 mm'ye kadar çıkarılmıştır. Ayrıca her model Hall etkili sensörle test edilmiştir. Tüm modeller test edilirken manyetize edici sistem sırasıyla 50, 100, 200, 300 ve 500 Hz'lik AC akımla beslenmiştir.

Bu çalışmada 200 adet yapay çatlak modeli test edilmiştir. Daha önce bahsedilen veri toplamadaki işlem basamakları tüm modellere uygulanmış ve elde edilen veriler çözümlenip grafiğe dönüştürülmüştür. Tam çatlak modellerinden elde edilen grafiklerin, ilgili modeldeki çatlağın genişliğini ve derinliğini bulmada nasıl kullandığımız, Şekil 11'de verilen 2 mm çatlak genişliğine ve 3 mm çatlak derinliğine sahip tam çatlak modelinin sonuçları üzerinde anlatılmıştır.

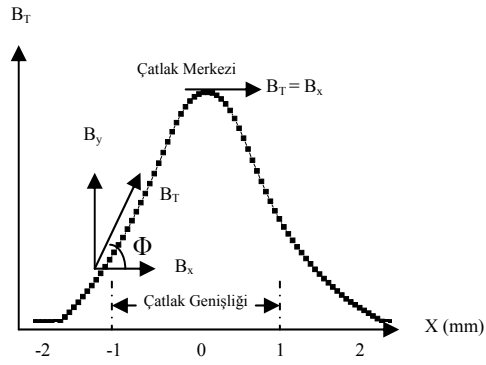


**Şekil 11.** Tam Çatlak Modeli.



**Şekil 12.** Hall sensörün çıkış voltajının, model yüzeyinin x taraması sırasındaki değişimi.

Bu çalışmada model yüzeyinin x taraması yapılmadan önce, modeldeki çatlakın merkezi taranacak 80 mm mesafenin tam ortasına getirilmiştir. Daha sonra tarama yapılarak tarama boyunca Hall sensörün çıkış voltajındaki değişimler belirlenmiştir. Şekil 12'ye bakıldığında, Hall sensörün çıkış voltajının çatlak merkezi civarına kadar arttığı, çatlakın merkezinde sabit gürültü voltajı değerine indiği ve sonrasında tekrar artıp azaldığı görülmektedir. Hall sensörün çıkış voltajının bu şekilde değişimi çatlak bölgesindeki kaçak manyetik akı davranışının Şekil 13'deki gibi olacağını bize göstermektedir.

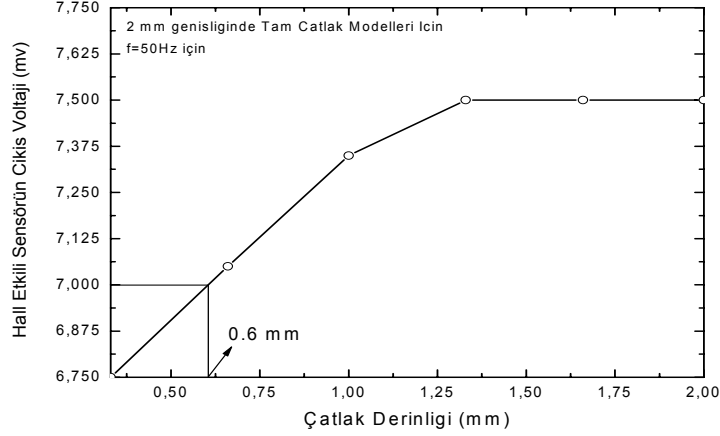


**Şekil 13.** Çatlak bölgesindeki kaçak manyetik akının x ekseninde davranışı.

Şekil 13’de de görüldüğü gibi Hall sensörün çıkış voltajının çatlak merkezi civarına kadar artması kaçak manyetik akının  $B_y$  bileşeninin büyüdüğünü, çatlağın merkezinde sabit gürültü değerine inmesi ise,  $B_y$  değerinin sıfır olduğu ortaya koymaktadır. Çünkü tarayıcı sistemdeki Hall sensör, model yüzeyine dik olan kaçak manyetik akı bileşeninin ( $B_y$ ) etkilerini okumaktadır. O halde bu yapay modelde olduğu gibi herhangi bir doğal tam çatlak modelinin çatlak merkezini bulmak için, tarama boyunca sensör çıkış voltajındaki değişimin belirlenmesi gerekmektedir. Bu değişimde sensör çıkış voltajının sabit gürültü değerine indiği konum modeldeki çatlağın merkezi verecektir. Ayrıca bu değişim grafiğinden çatlağın genişliğini de bulmak mümkündür. Grafikteki iki pik arasındaki mesafe, çatlağın genişliğini doğrudan vermektedir. Şekil 12’deki iki pik arasındaki mesafe ile yapay modeldeki çatlak genişliğinin aynı olması bu durumu doğrulanmaktadır. Bu çalışmada deneysel veriler nokta okuma yapan Hall sensörle alınmıştır. Bu yüzden Şekil 12’de Hall sensörün çıkış voltajının maksimum olduğu iki pik arasındaki mesafe çatlak genişliğini doğrudan vermektedir. Fakat bobin gibi bölgesel okuma yapan algılayıcı ile aynı şekilde çatlak genişliğini bulmak mümkün değildir. Bunun için bir kalibrasyon katsayısı belirlemek gerekmektedir. Dolayısıyla bize sağladığı işlem kolaylığı sebebiyle Hall sensörü gibi nokta okuma yapan sensörler tercih edilmelidir.

Hall sensörün veri alma aralığı ne kadar küçük olursa, çatlağın taranan bölgedeki konumu o kadar gerçek değere yaklaşacaktır. Deneysel çalışmamızda x ekseninde 165  $\mu\text{m}$  aralığında olabileceği unutulmamalıdır.

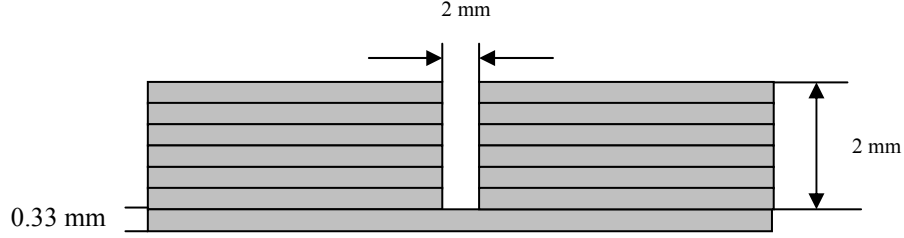
Ferromanyetik şeritlerle oluşturulan yapay tam çatlak modellerinde çatlak derinliğinin artırılmasının Hall etkili sensörün çıkış voltajını nasıl etkilediğini anlayabilmek için, Hall etkili sensörün çıkış voltajının maksimum değerinin çatlak derinliğine göre değişim grafiği modellerden elde edilen veriler ışığında çizilmiş ve bu grafik Şekil 14’de verilmiştir.



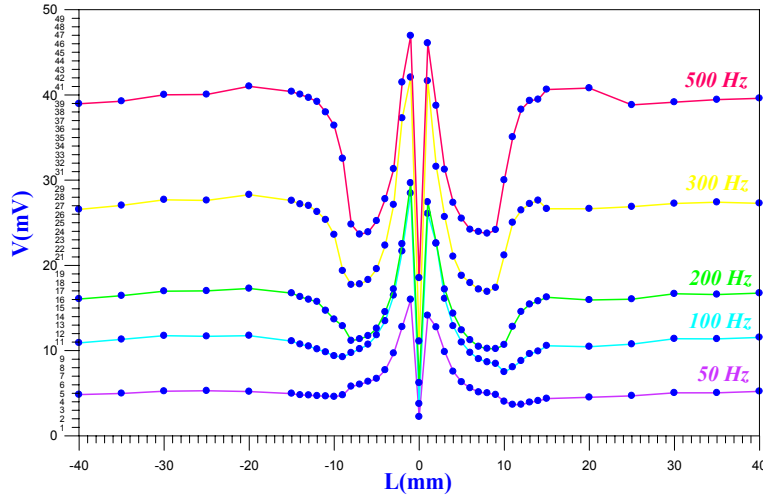
**Şekil 14.** Hall etkili sensörün çıkış voltajının tam çatlak modelindeki çatlak derinliğine göre değişimi.

Şekil 14'e bakıldığında, ferromanyetik şeritlerle oluşturulan yapay tam çatlak modellerinde çatlak derinliği 0.33 mm'den 2 mm'ye kadar 0.33 mm aralıklarla düzenli olarak artırılmasına rağmen, Hall etkili sensörün çıkış voltajının artış aralıklarının aynı düzenlilikte olmadığı görülmektedir. Aynı zaman da grafiğe bakarak, tam çatlak modellerinin çatlak derinliği 1.33 mm olana kadar Hall etkili sensörün çıkış voltajında değişim olduğu, daha büyük çatlak derinliklerinde sensörün çıkış voltajında herhangi bir değişimin olmadığı söylenebilir. Bu nedenle, ferromanyetik şeritlerle hazırlanan bir modelde herhangi bir sebeple oluşan tam çatlağın, derinliğinin 1.33 mm'yi geçmesi durumunda, kullandığımız yöntemle çatlağın derinliğini bulmak mümkün olmayacaktır. Ayrıca Şekil 14'te çatlak genişliği 2 mm olan doğal tam çatlak örneğinin yüzey taraması esnasında Hall sensörün çıkış voltajının maksimum değerinin 7 mV olması durumunda çatlak derinliğinin bulunuşu gösterilmektedir. Çatlak genişliği 2 mm'den farklı doğal tam çatlak modellerinin derinliklerini bulmak için, doğal modelin çatlak genişliğinde derinlikleri farklı yapay modeller hazırlanmalı ve her bir modelin tarama sonrasında sensör çıkış voltajının maksimum değerleriyle Şekil 14'e benzer grafik çizilmelidir. Böylece bu grafik ile doğal modelden elde edilen maksimum sensör voltajının ne kadarlık bir çatlak derinliğinden kaynaklandığı bulunabilir.

Bu çalışmada yarım çatlak modellerinden elde edilen grafiklerin, ilgili modeldeki çatlak genişliğini, derinliğini ve modeldeki sağlam malzeme kalınlığını bulmada nasıl kullanıldığı, Şekil 15’de verilen 2 mm çatlak genişliğine, 3 mm çatlak derinliğine ve 0.33 mm sağlam malzeme kalınlığına sahip yarım çatlak modelinin sonuçları üzerinde anlatılmıştır.



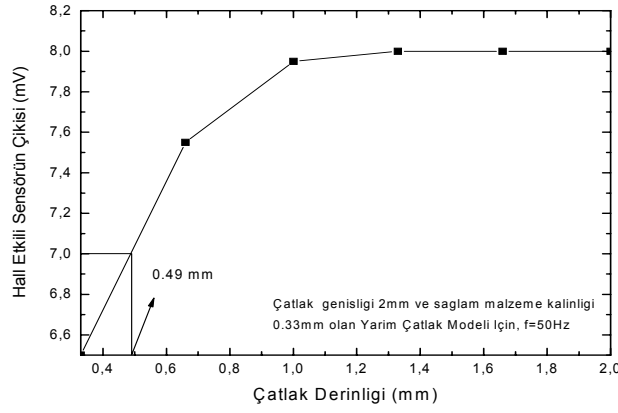
Şekil 15. Yarım Çatlak Modeli.



Şekil 16. Hall sensörün çıkış voltajının, model yüzeyinin x taraması sırasındaki değişimi.

Bu çalışmada yarım çatlak model yüzeyinin x taraması yapılmadan önce, modeldeki çatlakın merkezi taranacak 80 mm mesafenin tam ortasına getirilmiştir. Daha sonra tarama yapılarak tarama boyunca Hall sensörün çıkış voltajındaki değişimler belirlenmiştir. Şekil 16’ya bakıldığında, tam çatlak modelinde olduğu gibi yarım çatlak modelinde de Hall sensörün çıkış voltajının çatlak merkezi civarına kadar arttığı, çatlakın merkezinde sabit gürültü voltajı

değerine indiği ve sonrasında tekrar artıp azaldığı görülmektedir. Yarım çatlak modellerinde de Hall sensörün çıkış voltajının bu şekilde değişimi kaçak manyetik akının davranışının çatlağın modelinden bağımsız olduğunu ve Şekil 13'deki gibi olacağını bize göstermektedir. Dolayısıyla herhangi bir doğal yarım çatlak modelinin çatlak merkezini, çatlak genişliğini ve çatlak derinliğini bulmak için, tam çatlak modellerinde uygulanan işlemleri yarım çatlaklı doğal modellerde de uygulamak mümkündür. O halde Şekil 16'ya bakarak, yapay modelin çatlak merkezinin 0 mm'de ve grafikteki iki pik arasındaki mesafeden de çatlak genişliğinin 2 mm olduğu söylenebilir. Modeldeki çatlağın derinliğini ise Şekil 17'de verildiği gibi Hall etkili sensörün çıkış voltajının maksimum değerinin çatlak derinliğine göre değişim grafiklerinden bulmak mümkündür.



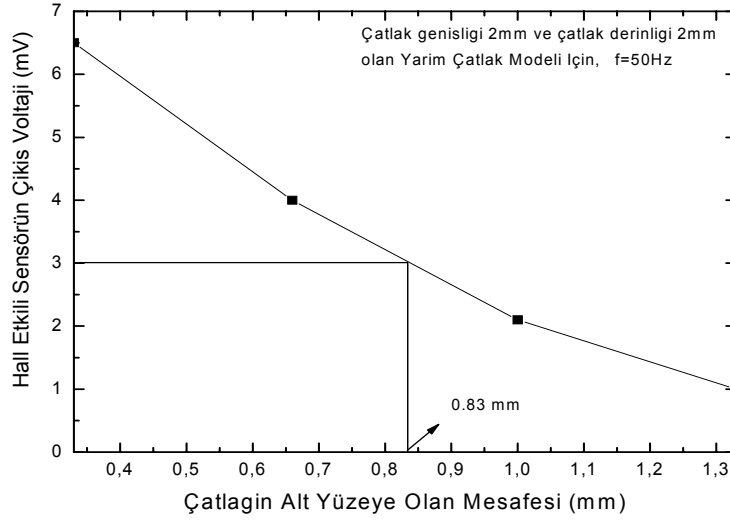
**Şekil 17.** Hall etkili sensörün çıkış voltajının yarım çatlak modelindeki çatlak derinliğine göre değişimi.

Şekil 17'ye bakıldığında, yapay yarım çatlak modellerinde çatlak derinliği 0,33 mm'den 2 mm'ye kadar 0,33 mm aralıklarla düzenli olarak arttırılmasına rağmen, Hall etkili sensörün çıkış voltajının artış aralıklarının aynı düzenlilikle olmadığı görülmektedir. Bunun yanısıra grafiğe bakarak yarım çatlak modellerinin çatlak derinliği 1,33 mm olana kadar Hall etkili sensörün çıkış voltajında değişim olduğu, daha büyük çatlak derinliklerinde sensörün çıkış voltajında herhangi bir değişimin olmadığı söylenebilir. Bu nedenle



ferromanyetik şeritlerle hazırlanan bir modelde herhangi bir sebeple oluşan yarım çatlak derinliğinin 1.33 mm'yi geçmesi durumunda, kullandığımız yöntemle çatlak derinliğini bulmak mümkün olmayacaktır. Ayrıca Şekil 17'de çatlak genişliği 2 mm ve sağlam malzeme kalınlığı 0.33 mm olan doğal yarım çatlak örneğinin yüzey taraması esnasında Hall sensörün çıkış voltajının maksimum değerinin 7 mV olması durumunda çatlak derinliğinin bulunuşu gösterilmektedir.

Bu çalışmada yapay yarım çatlak modellerindeki sağlam malzeme kalınlığının artırılmasının Hall etkili sensörün çıkış voltajını nasıl etkilediğini anlayabilmek için, Hall etkili sensörün çıkış voltajının maksimum değerinin sağlam malzeme kalınlığına göre değişim grafiği elde edilen veriler ışığında çizilmiş ve bu grafik Şekil 18'de verilmiştir.



**Şekil 18.** Hall etkili sensörün çıkış voltajının yarım çatlak modelindeki sağlam malzeme kalınlığına göre değişimi.

Şekil 18'e bakıldığında yapay yarım çatlak modellerindeki sağlam malzeme kalınlığının artırılmasıyla, Hall etkili sensörün çıkış voltajının parabolik olarak azaldığı görülmektedir. Ferromanyetik şeritlerden oluşmuş çatlak genişliği 2 mm ve çatlak derinliği 2 mm olan doğal yarım çatlağın modelin alt yüzeyine olan mesafesini bulmak için bu grafik kullanılabilir. Örneğin ferromanyetik şeritlerden oluşmuş doğal yarım çatlağın yüzey taraması esnasında sensörün çıkış voltajının maksimum değeri 3 mV ise, çatlağın alt yüzeyine olan mesafesinin grafikten yararlanarak 0.83 mm olduğu bulunabilir. Ayrıca deneysel çalışmada, ferromanyetik şeritlerle oluşturulan yapay yarım çatlak modellerinde çatlağın alt yüzeye olan mesafesinin 2 mm'yi geçmesi durumunda, Hall etkili sensörün çıkış voltajının hemen hemen sabit kaldığı bulunmuştur. Dolayısıyla kullandığımız yöntemle, alt yüzeye mesafesi 2 mm üzerindeki ferromanyetik şeritlerden oluşmuş doğal bir yarım çatlakta, alt yüzeye olan mesafenin bulunamayacağını söylemek mümkündür. Bu yüzden kullandığımız yöntem, yarım çatlak modellerinde çatlağın alt yüzeyine olan mesafesini bulmakta belirli bir sınırlama getirmektedir.

Görüldüğü gibi tam ya da yarım çatlaklı doğal modellerin çatlak merkezi ve çatlak genişliklerini, tarama sırasında Hall sensörün çıkış voltajının değişim grafikleriyle doğrudan bulunabilmektedir. Halbuki herhangi bir doğal modeldeki çatlağın, derinliği ve sağlam malzeme kalınlığı gibi fiziksel özelliklerini bulabilmek için, daha öncesinde benzer fiziksel özelliklerdeki yapay modellerden elde edilen sensör çıkış voltajının maksimum değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu deneysel çalışmada çatlak genişliği 3 mm'yi, çatlak derinliği 1.33 mm'yi ve sağlam malzeme kalınlığı 2 mm'yi geçmeyen birbirinden farklı 176 yapay tam ve yarım çatlaklı modeller taranmış, herbiri için bulunan sensör çıkış voltajının maksimum değerlerinin birbirinden farklı olduğu tespit edilmiştir. Yani modeldeki çatlağın herhangi bir fiziksel özelliğindeki değişim, sensör çıkış voltajının maksimum değerini artırıcı ya da azaltıcı yönde etkilemektedir. Dolayısıyla yapay modellerden tespit edilen sensör çıkış voltajının maksimum değerleriyle, herhangi bir doğal modelin taranmasıyla belirlenen sensör çıkış voltajının maksimum değerinin karşılaştırılması sonucunda, test edilen doğal modeldeki çatlağın hangi modelde olduğunu (tam ya da yarım), derinliğini, genişliğini ve sağlam malzeme kalınlığını doğrudan

söylemek mümkündür. Doğal modeldeki çatlak genişliğinin, tarama sırasında sensör çıkış voltajının değişim grafikleriyle de belirlenebilmesi, sadece karşılaştırma işleminin sınırlarını daraltmaktadır. Bu çalışmada karşılaştırma işlemi bir programla yapılmaktadır. Programda çatlağın fiziksel özelliklerine dair bilinen bir veri varsa önceden girilerek karşılaştırma işlemi başlatılmaktadır. Böylece karşılaştırma süresi azalmaktadır. Yukarıda Şekil 14, Şekil 17, Şekil 18 grafikleri çizilmeden de yazılan programla çatlağın tüm fiziksel özellikleri aynı büyüklükte bulunabilir.

Bu deneysel çalışmanın gömülü çatlak modelleriyle ilgili bölümünde, çatlağın genişliği, derinliği ve modeldeki çatlağın alt ve üst yüzeye olan mesafesi birbirinden farklı 24 gömülü çatlak modeli test edilmiştir. Fakat tüm modeller için kullanılan sistemle Hall sensörün çıkış voltajında bir değişiklik olmamıştır. Hall sensör tüm modeller için sabit bir gürültü sinyali okumuştur. Bu durumda kullandığımız sistemle ferromanyetik şeritlerde herhangi bir sebeple oluşacak gömülü çatlakların belirlenemeyeceğini söylemek mümkündür.

#### ***IV. SONUÇLAR VE TARTIŞMA***

Ferromanyetik malzeme üzerinde herhangi bir nedenden dolayı oluşmuş bir çatlağın manyetik yöntemle yerinin tespit edilmesi için Hall sensörün çıkış voltajının taranan bölge uzunluğuna göre değişim grafikleri çizilmelidir. Grafikte sensör çıkış voltajının sabit gürültü değerine indiği nokta çatlağın konumunu doğrudan vermektedir. Ayrıca yöntemimiz çatlağın konumunu bulmada herhangi bir sınırlama da getirmemektedir. Fakat algılayıcının veri alma aralığı ne kadar küçük olursa, çatlağın taranan bölgedeki konumunun o kadar gerçek değere yakın bulunacağı unutulmamalıdır.

Herhangi bir doğal yarım veya tam çatlağın genişliğini tespit etmek için ise tarama sonrasında çizilen Hall sensörün çıkış voltajının taranan bölge uzunluğuna göre değişim grafiğinde, çıkış voltajının maksimum olduğu iki nokta arasındaki mesafeyi doğrudan okumak bizim için yeterli olacaktır. Fakat algılayıcının nokta okuma yapan sensör olmasına dikkat edilmelidir. Ayrıca

yöntemimiz çatlağın genişliğini bulma konusunda da bir sınırlama getirmemektedir.

Herhangi bir doğal yarım ya da tam çatlağın derinliği hakkında bilgi edinebilmek için ise, daha önceden derinliğini bildiğimiz yapay çatlaklardan elde edilen verilere ihtiyacımız vardır. İlgili modelin taranması sonrasında Hall sensörün çıkış voltajının maksimum değeriyle, önceden yapay çatlaklardan elde edilen ilgili değer karşılaştırılarak çatlağın derinliği konusunda bilgi edinilebilir. Fakat bu konuda yapay tam ve yarım çatlaklarla yapılan deneyler, çatlak derinliğinin 1.33 mm'yi geçmesi durumunda çatlağın derinliğinin bulunamayacağını göstermektedir.

Herhangi bir doğal yarım çatlak modelindeki sağlam malzeme kalınlığı hakkında bilgi edinebilmek için ise, daha önceden sağlam malzeme kalınlığını bildiğimiz yapay yarım çatlaklardan elde edilen verilere ihtiyacımız vardır. İlgili modelin taranması sonrasında Hall sensörün çıkış voltajının maksimum değeriyle, önceden yapay yarım çatlaklardan elde edilen ilgili değerler karşılaştırılarak modeldeki sağlam malzeme kalınlığı konusunda bilgi edinilebilir. Fakat bu konuda yapay yarım çatlaklarla yapılan deneyler, sağlam malzeme kalınlığının 2 mm'yi geçmesi durumunda modelin sağlam malzeme kalınlığının bulunamayacağını göstermektedir. Ayrıca yöntemimiz doğrultusunda, Hall sensörün çıkış voltajının değişim karakteristiğinden, çatlak bölgesindeki kaçak manyetik akının davranışı hakkında da bilgi edinilebilmektedir. Yapay modellerle yapılan deneyler, kaçak manyetik akının çatlak bölgesindeki davranışının, çatlağın modelinden bağımsız olduğunu bize göstermektedir.

Yapay gömülü çatlak modelleriyle yapılan deneyler, gömülü çatlakların fiziksel özelliklerinin tasarımıyla manyetik ölçme düzeneğiyle bulunamayacağını göstermektedir. Görüldüğü gibi tasarımıyla sistemle, tam ve yarım çatlakların manyetik yolla tespit edilmesi yöntemiyle çatlağın derinliği (1.33 mm'ye kadar), genişliği, çatlağın konumu ve sağlam malzeme kalınlığı (2 mm kadar) rahatlıkla tespit edilebilmektedir. Fakat bu yöntemin diğer tahribatsız test yöntemlerine göre bazı avantajları ve dezavantajları vardır. Bunlar aşağıda sırasıyla belirtilmiştir.

Çatlakların manyetik yollarla belirlenmesinin avantajları:

- 1) Bu amaç için oluşturulan düzeneğin maliyetinin ucuz olması;
- 2) Her yere rahatlıkla götürülebilir olması;
- 3) Çatlağın şekli, derinliği ve genişliği hakkında hemen hemen yakın sonuçlar vermesi;
- 4) Çatlağın fiziksel özellikleri hakkında hatalı yoruma götürebilecek nedenlerin az olması;
- 5) İnsan sağlığını etkileyecek herhangi bir unsurun olmaması.

Çatlakların manyetik yollarla belirlenmesinin dezavantajları:

- 1) Üzerinde çatlak arayacağımız malzemenin manyetik özelliklere sahip olması;
- 2) Çatlağın derinliğinin belirlenmesindeki bazı sınırlamalar;
- 3) Gömülü çatlakların belirlenememesi;
- 4) Elde edilen sonuçların değerlendirilmesi için tecrübeli personele gereksinimin olması.

## **KAYNAKLAR**

- [1] A. Üstüner, “İmalat Tekniğinden Kaynaklanan Hatalar”, Ankara, 1981
- [2] Ş. Ekinci, “Tahribatsız Test : Ultrasonik - Seviye I, Ç.N.A.E.M. Endüstriyel Uygulama Notları”, İstanbul, 1990.
- [3] T.A.Bubenik, J.B.Nesdroth, R.J.Eiber, B.F.Saffell, “Magnetic flux leakage (MFL) technology for natural gas pipeline inspection.”, *NDT & E International*, Volume 31, Issue 5, pp. 379, 1998.
- [4] A.E.Crouch, R.E.Beissner, G.L.Burkhardt, E.A.Creek, T.S.Grant, “Magnetic flux leakage inspection of gas pipelines.”, *NDT & E International*, Volume 30, Issue 1, pp. 31, 1997.
- [5] G.Katragadda, W.Lord, Y.S. Sun, S.Udpa, L.Udpa, “Alternative magnetic flux leakage modalities for pipeline inspection”, *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol. 32, No. 3, pp. 1581–1584, 1996.
- [6] E.Alschuler, A.Pignotti, “Nonlinear model of flaw detection in steel pipes by magnetic flux leakage”, *NDT & E International*, Volume 28, Issue 1, pp. 35-40, 1995.

- [7] P.C.Porter, "Use of magnetic flux leakage (MFL) for the inspection of pipelines and storage tanks", *NDT & E International*, Volume 30, Issue 1, pp. 33, 1997.
- [8] M.G. Silk, "Ultrasonic Transducers for Nondestructive Testing", Adem Hilger Ltd., Bristol, 1984.
- [9] L.Cartz, "Nondestructive Testing : Radiography, Ultrasonic, Liquid Penetrant, Magnetic Particle, Eddy Current", ASM Intl, 1988, ISBN: 0871705176.
- [10] P.Prokhorenko, N.Migoun, "Introduction in Theory of Penetrant Testing", Minsk: Science & Technology, Russian, 1988.
- [11] A.G.Beattie, "Acoustic Emission, Principles and instrumentation", Journal of Acoustic Emission, 1983.
- [12] D.J.Hagamaier, "Fundamentals of Eddy Current Testing", ASNT, pp. 92, 1990, ISBN0-931403-90-1.