

MANYETİK MALZEMELERDEKİ ÇATLAKLARIN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Mustafa GÖKTEPE¹, Yavuz EGE^{2*}

¹BAÜ Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Balıkesir

²BAÜ Necatibey Eğitim Fakültesi Fizik Eğitimi Bölümü Balıkesir

ÖZET

Endüstriyel uygulamalarda kullanılan manyetik malzemelerdeki çatlakların fiziksel özelliklerinin belirlenmesi için bir manyetik tahribatsız test sistemi geliştirilmiştir. Araştırılan örnekler frekansı $f=1000\text{Hz}$ ve akım değeri $I=0.8\text{A}$ olan AC akımla manyetize edilmiştir. Örneklerin çatlak bölgesinin yüzeyi üç boyutta taranmıştır. Tarama esnasında yüzey manyetik kaçak akı sinyalleri Hall etkili algılayıcıyla toplanmıştır. Toplanan veriler çatlakların fiziksel özelliklerinin belirlenmesi için analiz edilmiştir. Bu makalede çatlakların fiziksel özellikleri hakkındaki bulgular ayrıntılı olarak bahsedilecektir.

Anahtar Kelimeler: Manyetik Tahribatsız Test Sistemi, Çatlak, Manyetik Kaçak Akı

INSPECTION OF CRACKS ON MAGNETIC MATERIALS

ABSTRACT

A magnetic non-destructive testing system was constructed for the inspection of cracks on magnetic materials for industrial applications. Investigated samples were magnetized by an ac current of $f=1000\text{Hz}$ and $I=0.8\text{A}$. The surface of the samples were scanned for three dimensions. During the scanning process, the signal of surface magnetic leakage flux was collected by using a Hall effect sensor. The collected data was analyzed to obtain feature of the cracks on the sample. In this paper, findings about feature of the cracks will be presented.

Key Words: Magnetic Non-destructive Testing System, Crack, Magnetic Leakage Flux

*E-posta : yege@balikesir.edu.tr

1.GİRİŞ

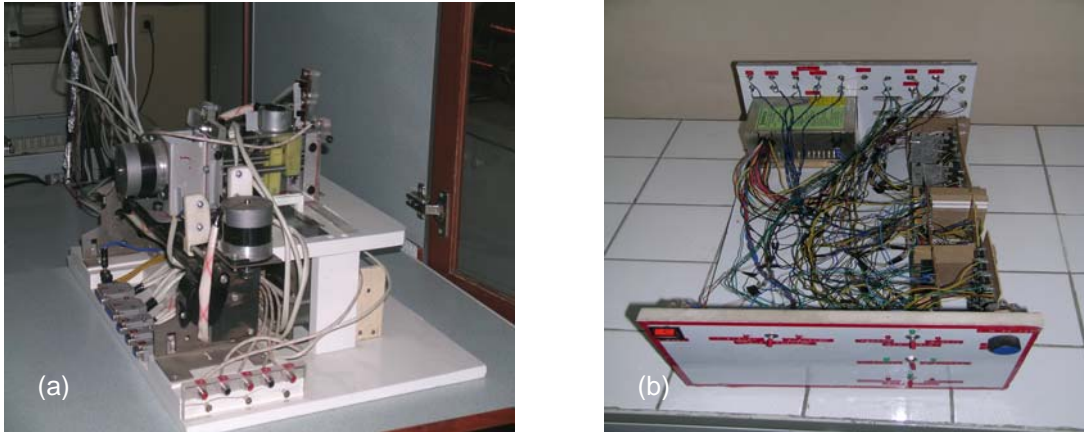
Endüstriyel uygulamalarda malzemeler, tahribatsız muayene teknikleri ile kontrol edilmektedirler. Bu teknikler arasında ultrasonik [1-3], manyetik parçacık [1,4], sıvı penetrant [4-5], akustik emisyon [4, 6], girdap akımları[4,7], radyografi [1,4] ve manyetik akı kaçakları testi [8-12] yer almaktadır. Bu tekniklerin kendine özgü bazı sınırlılıkları ve uygulama şekilleri vardır. Örneğin, ultrasonik ve manyetik akı kaçakları testlerinde malzemedeki çatlakların fiziksel özelliklerinin tespit edilebilmesi için, kullanılan algılayıcının malzeme üzerindeki konumunun net olarak bilinmesi gerekmektedir [2,3-8]. Bu iki tahribatsız test tekniğinde algılayıcı iki yada üç boyutta hareket edebilen bir platforma monte edilmelidir [13-19]. Bu doğrultuda bu çalışmada tam çatlaklı manyetik malzemelerin manyetik akı kaçakları testinin yapılabilmesi için yeni bir manyetik tahribatsız test düzeneği kurulmuştur.

Bu çalışmada, dizayn edilen manyetik tahribatsız test düzeneğinin kısa tanıtımından sonra test edilen örneklerden elde edilen verilerin işlenmesiyle varılan sonuçlar tartışılmıştır.

2. GEREÇ VE YÖNTEM

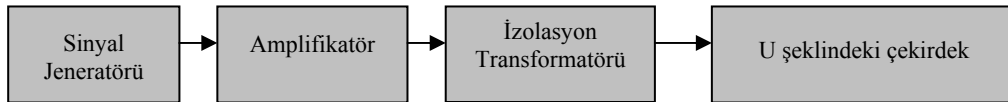
2.1. Manyetik Tahribatsız Test Düzeneği

Manyetik akı kaçakları testi için dizayn edilen Manyetik tahribatsız test düzeneği, 3D Tarayıcı sistem ve bu sistemin bilgisayarla kontrolünü sağlayan elektronik üniteden oluşmaktadır. Bu elemanların resimleri sırasıyla aşağıda verilmiştir.



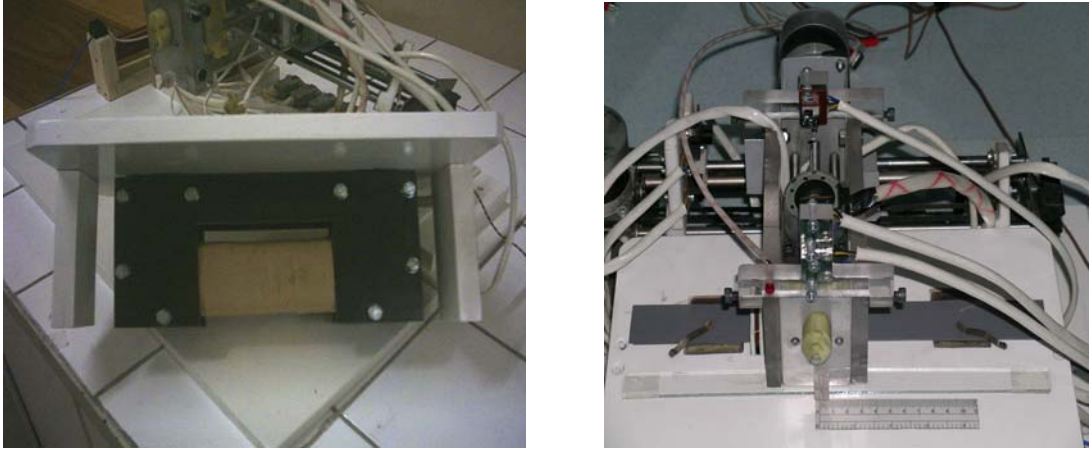
Şekil 1. Oluşturulan (a) 3D Tarayıcı sistem ve (b) elektroniğinin görünümü.

3D tarayıcı sistemin mekaniğinde manyetik özellik göstermeyen alüminyum levha, civa çeliği, plexe glass ve kestamit türü malzemeler kullanılmıştır. 3-D Tarayıcı sistem, sensörün üç boyutta hareketini sağlayan hareket edebilen platform ile manyetize edici sistemden oluşmuştur. Bu çalışmada HP33120A sinyal jeneratörü, Pioneer A-447 güç amplifikatörü, izolasyon transformatörü ve U şeklindeki çekirdekten oluşan sisteme, manyetize edici sistem adı verilmiştir. Şekil 2’de manyetize edici sistemin blok diyagramı gösterilmektedir



Şekil 2. Manyetize edici sistemin blok diyagramı.

Test edilecek malzemeler Şekil 3’de verilen U şeklindeki çekirdeğin üzerine yerleştirilerek manyetize edilmişlerdir.



Şekil 3. Manyetize edici U çekirdeğin görünümü.

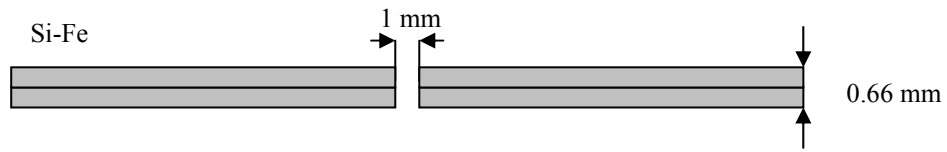
Şekil 3’de verildiği gibi 3-D Tarayıcı sistem, manyetize edici sistem ve tarayıcı sistemin bilgisayarla kontrolünü sağlayan elektronik sistem kabin içine yerleştirilmiştir.



Şekil 4. Manyetik tahribatsız test düzeneği.

2.2. Tam Çatlak Modelleri

Tam çatlak modellerinde çatlak, levhanın bir yüzeyinden diğer yüzeyine kadar gitmektedir. Bu modellerde çatlakın iki fiziksel özelliği değişken tutulmuştur. Bunlardan birincisi çatlakın genişliği, diğeri ise çatlakın derinliğidir. Bu çalışmada, tam çatlak modeli için, çatlak derinliği 0.33 mm'den 2 mm'ye, çatlak genişliği ise bitişik (~0 mm) pozisyondan 3 mm'ye kadar değiştirilmiştir. Ayrıca her model Hall etkili algılayıcıyla test edilmiştir. Tüm modeller test edilirken mıknatıslayıcı sistem 1000 Hz'lik AC akımla beslenmiş ve mıknatıslayıcı bobinde $H=827$ A/m'lik manyetik alan şiddetinin oluşması sağlanmıştır. Modellerin hangi frekansta ve hangi alan altında mıknatıslanacağı deneme testleriyle belirlenmiştir. Deneme testlerinde bitişik pozisyondaki bir tam çatlakın net olarak belirlenebilirliği baz alınmıştır. Bu çalışmada test edilen tam çatlak modellerinin sayısı fazla olduğundan, her model, kendisini tanımlayan 2 değişkenin değerleriyle ifade edilmiştir. Modelin tanımlanmasında isimlendirme yapılırken önce modelin tam çatlak modeli olduğunu belirten "T" harfi konmuş, ardında da sırasıyla modelin çatlak genişliği ve çatlak derinliği belirtilmiştir. Örneğin çatlak genişliği 1 mm, çatlak derinliği 0.66 mm olan tam çatlak modeli T_1.00_0.66 şeklinde ifade edilmiştir. Bu tam çatlak modeli ayrıca Şekil 5'te gösterilmektedir.



Şekil 5. T_1.00_0.66 Tam çatlak modeli.

2.3. Verilerin Toplanması

Bu çalışmada verilerin toplanması aşamasında, birbirinden farklı fiziksel özelliklere sahip olan tam çatlak modellerinin herbiri için uygulanan işlem sırası,

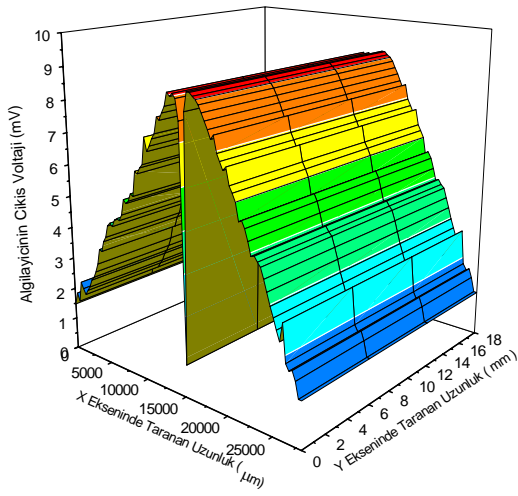
1. Modelin manyetize edici bobin üzerine yerleştirilerek, mıknatıslanmasının sağlanması
2. Visual Basic'te yazılan 3-D Tarayıcı Sistemin kontrol programı yardımıyla, üzerinde algılayıcının bulunduğu tarayıcı parçanın, tarama işleminin başlangıç noktasına çekilmesi.
3. Kontrol programında Deney Bilgisi formunun açılarak, algılayıcıdan gelen verilerin hangi dosyaya yazılacağını belirlenmesi.
4. Kontrol programında kesikli hareket formunun açılarak, tarama işleminin sınırları ve malzeme yüzeyinin hangi noktalarında veri alınacağını belirlenmesi.
5. Programın çalıştırılması (Kesikli Hareket Formu, üzerinde algılayıcının bulunduğu tarayıcı aparatı, z konumu farklı olan x-y düzlemlerinde hareket ettirmekte ve x ekseninde istenilen noktalarda veri alınmasına müsaade etmektedir. Bu çalışmada, çatlak bölgesinde modelin yüzeyinin x-y düzleminde 30×18 mm²'lik alanı taranmıştır. Programın bitiminde, açtığımız veri dosyasına tüm veriler kaydedilmiş ve dosya kapatılmış olmaktadır.)

şeklindedir.

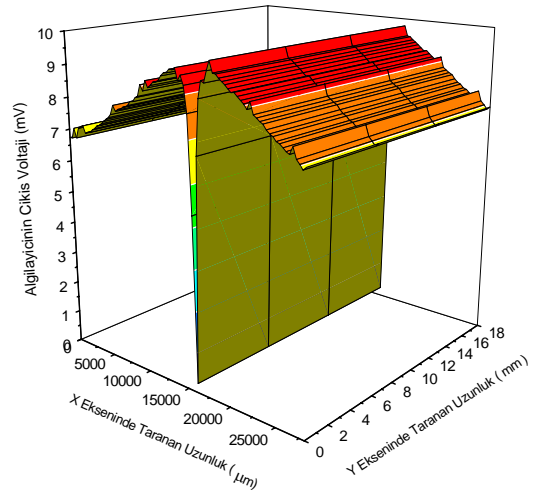
3. BULGULAR

Bu çalışmada test edilen tüm tam çatlak modellerine, yukarıda bahsedilen veri toplamadaki işlem basamakları uygulanmıştır. Tüm modeller, Hall etkili algılayıcı ile test edilmiş ve modeldeki çatlakın fiziksel özelliklerini bulabilmek için, model yüzeyinin x-y taraması sırasında Hall etkili algılayıcının çıkış voltajının x-y konumuna göre değişim grafikleri belirlenmiştir (Şekil 6).

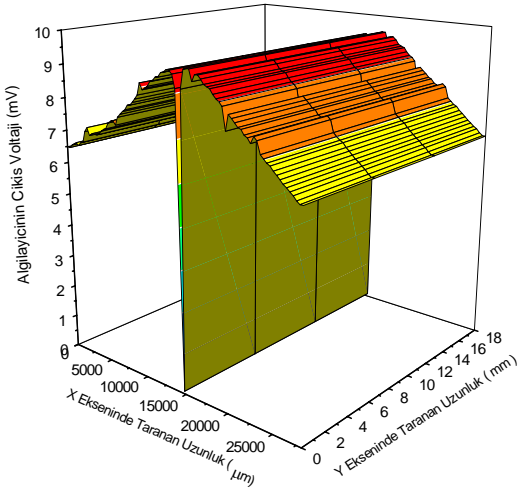
Tüm tam çatlak modelleri için önceden belirlenen çatlak merkezinde Hall etkili algılayıcının çıkış voltajının sıfıra gittiği belirlenmiştir. Başka bir deyişle Şekil 6'daki grafiklerde Hall etkili algılayıcının çıkış voltajının sıfır olduğu noktalar çatlakın merkezine isabet etmektedir. O halde herhangi bir Si-Fe örnekteki bir tam çatlakın, çatlak merkezini Hall etkili algılayıcıyla bulabilmek için örnek yüzeyinin x-y taramasında Hall etkili algılayıcının çıkış voltajının sıfır olduğu noktayı tespit etmek yeterli olacaktır.



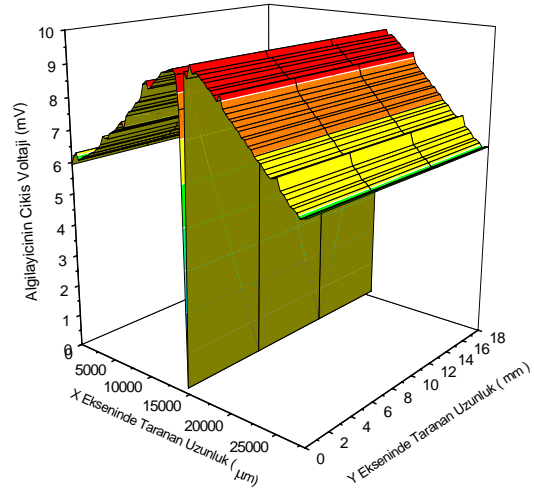
T_0.00_0.33



T_3.00_0.33



T_1.00_0.33

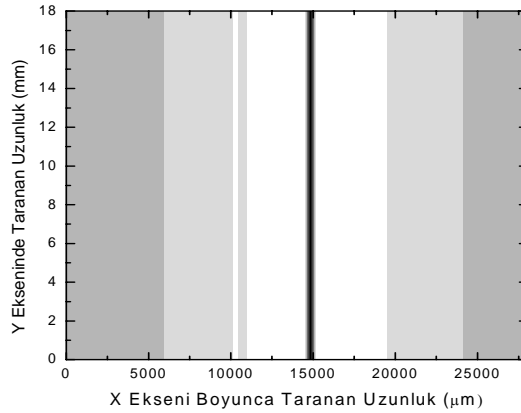


T_1.00_2.00

Şekil 6. Bazı tam çatlak model yüzeylerinin x-y taraması sonrasında, algılayıcının çıkış voltajının x-y konumuna göre değişimi.

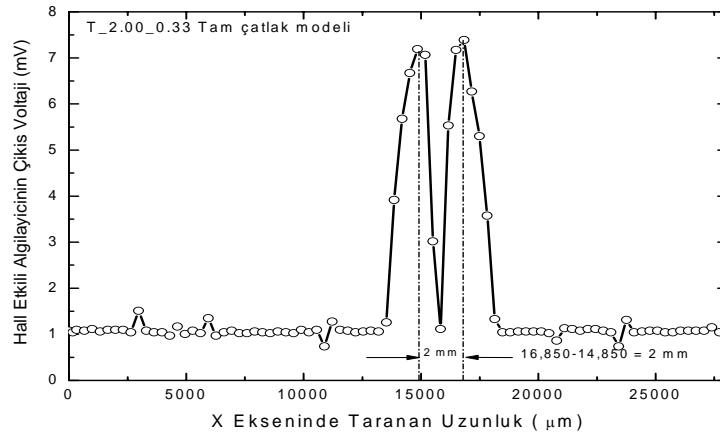
Bunun yanısıra x-y taraması sırasında Hall etkili algılayıcının çıkış voltajının sıfır olduğu noktaların oluşturduğu şekil çatlakın üst yüzey şeklini vermektedir. Çatlakın şeklini daha görsel olarak belirleyebilmek için, model yüzeyinin x-y taraması sırasında Hall etkili algılayıcının çıkış voltajının x-y konumuna göre renklendirilmiş değişim grafiği de çizilebilir. Buna bir örnek Şekil 7'de verilmektedir.

Şekil 7'de siyah çizgiyle gösterilen bölge Hall etkili algılayıcının çıkış voltajının sıfır olduğu noktaları göstermektedir. Bu da modeldeki çatlakın üst yüzey görüntüsünün y eksenine paralel ve doğrusal olduğunu bize söylemektedir. Ayrıca bu modelin çatlak merkezinin yaklaşık olarak taramanın başlangıcından 15000 μm uzaklıkta olduğunu söylenebilir. Bunun yanısıra y eksenindeki tarama sıklığının artırılmasının çatlakın şeklini daha net belirlememize yardımcı olacağı unutulmamalıdır. Bu çalışmada y ekseninde her 63 μm aralıkla x taraması yapılarak Hall etkili algılayıcının çıkış voltajları tespit edilmiştir.



Şekil 7. T_3.00_0.33 Tam çatlak modelinde çatlak merkezinin ve şeklinin bulunması.

Hall etkili algılayıcının okuma alanının noktasal oluşu yüzünden Şekil 6'daki grafiklerde Hall etkili algılayıcının çıkış voltajının maksimum olduğu noktalar arasındaki uzaklık doğrudan çatlak genişliğini verirken, aynı modeli bobin gibi bölgesel okuma yapan algılayıcılarla test ettiğimizde çatlak genişliğini bulmak için bir kalibrasyon katsayısı belirlemek gerekmektedir. Şekil 8'de Hall etkili algılayıcının çıkış voltajının konuma göre değişim grafiğinden yararlanarak çatlak genişliğinin bulunması gösterilmektedir.



Şekil 8. T_2.00_0.33 Tam çatlak modelinde çatlak genişliğinin bulunması ve doğrulanması.

Şekil 8'e bakıldığında grafikteki iki maksimum nokta arasındaki 2 cm'lik mesafe gerçekte uyuşmaktadır. Ayrıca Şekil 6'daki grafiklerden modellerdeki çatlak genişliğinin ve derinliğinin Hall etkili algılayıcının maksimum çıkış voltajını nasıl etkilediği bulunmuş ve Tablo 1'de sunulmuştur.

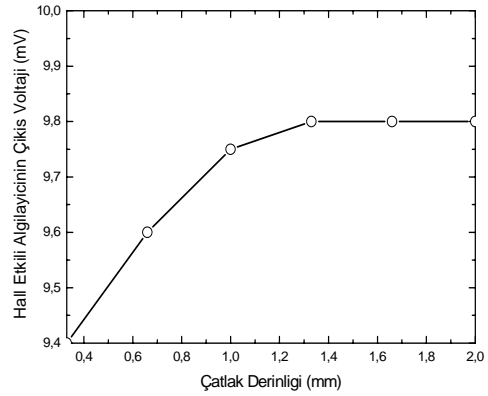
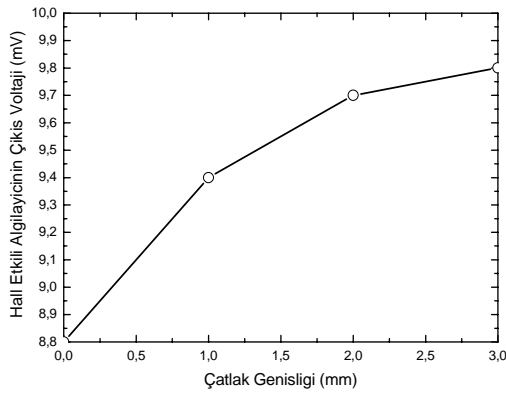
Çatlak derinliğinin ve genişliğinin Hall etkili algılayıcının çıkış voltajına etkisini daha görsel hale getirmek için Tablo 1'deki veriler ışığında bu değişkenler arasında grafik çizilmiştir (Şekil 9).

Şekil 9'da görüldüğü gibi tam çatlak modellerinde çatlak genişliğinin 3mm'yi, çatlak derinliğinin ise 1.33 mm'yi geçmesi durumunda Hall etkili algılayıcının maksimum çıkış voltajı sabitlenmektedir. Bu sonucun algılayıcının Hall etkili algılayıcı olduğu durumda belirtilen değerlerin üzerindeki çatlak genişlikleri ve derinliklerinin bulunamayacağını bize göstermektedir. Şekil 10'da çatlak genişliği 1 mm olduğu bilinen ve yüzey taraması

esnasında Hall etkili algılayıcının maksimum çıkış voltajının 9.5 mV olarak ölçüldüğü herhangi bir tam çatlak modelinin çatlak derinliğinin bulunuşu gösterilmektedir.

Tablo 1. Tam çatlak modellerinde Hall etkili algılayıcının çıkış voltajının değışimi.

Modeller	Hall etkili algılayıcının maksimum çıkış voltajı (mV)	Çatlak genişliği (mm)	Çatlak derinliği (mm)
T_0.00_0.33	8.800	0.00	0.33
T_1.00_0.33	9.400	1.00	0.33
T_2.00_0.33	9.700	2.00	0.33
T_3.00_0.33	9.800	3.00	0.33
T_1.00_0.66	9.600	1.00	0.66
T_1.00_1.00	9.750	1.00	1.00
T_1.00_1.33	9.800	1.00	1.33
T_1.00_1.66	9.800	1.00	1.66
T_1.00_2.00	9.800	1.00	2.00

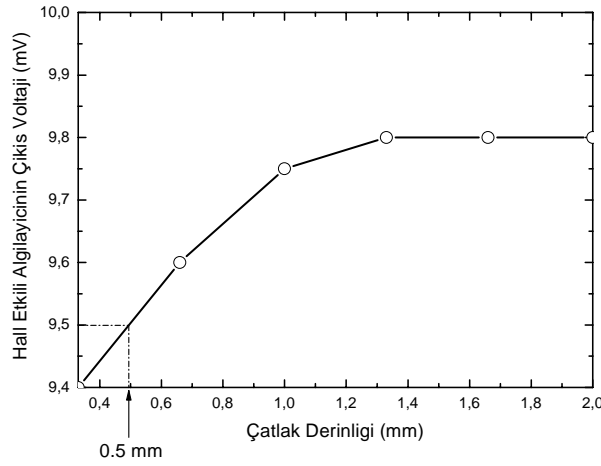


Şekil 9. Hall etkili algılayıcının çıkış voltajının tam çatlak modelindeki çatlak genişliğine ve derinliğine göre değışimi.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sonuç olarak herhangi bir tam çatlak modelindeki, çatlak genişliğini, çatlak derinliğini, tarama yüzeyinden bakıldığında çatlak şeklini ve merkezini bulmak için, model yüzeyinin x-y eksenlerinde algılayıcıyla taraması ve tarama sonrasında algılayıcının çıkış voltajının x-y konumuna göre değışim grafiklerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Kullanılan yöntem ve sistem, herhangi bir tam çatlak modelindeki, çatlak genişliğini, çatlak derinliğini, tarama yüzeyinden bakıldığında çatlak şeklini ve merkezini bulmak için, model yüzeyinin x-y eksenlerinde algılayıcıyla taraması ve tarama sonrasında algılayıcının çıkış voltajının x-y konumuna göre değışim grafiklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Kullanılan yöntem ve sistem, herhangi bir tam çatlak modelindeki, çatlak genişliğini, çatlak derinliğini, tarama yüzeyinden bakıldığında çatlak şeklini ve merkezini bulmak için, model yüzeyinin x-y eksenlerinde algılayıcıyla taraması ve tarama sonrasında algılayıcının çıkış voltajının x-y konumuna göre değışim grafiklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Fakat mikro düzeydeki bir çatlak modelindeki, çatlak genişliğini, çatlak derinliğini, tarama yüzeyinden bakıldığında çatlak şeklini ve merkezini bulmak için, model yüzeyinin x-y eksenlerinde algılayıcıyla taraması ve tarama sonrasında algılayıcının çıkış voltajının x-y konumuna göre değışim grafiklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu deneysel çalışmada x ekseninde 165 µm aralıklarla ölçüm alındığından, deneyde bulunan çatlak modelindeki, çatlak genişliğini, çatlak derinliğini, tarama yüzeyinden bakıldığında çatlak şeklini ve merkezini bulmak için, model yüzeyinin x-y eksenlerinde algılayıcıyla taraması ve tarama sonrasında algılayıcının çıkış voltajının x-y konumuna göre değışim grafiklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu deneysel çalışmada Si-Fe şeritlerle oluşturulan tüm tam çatlak modellerinin sadece üst yüzeyi tarandığından, çatlak sadece üst yüzey görünümü ve konumu belirlenebilmektedir. Modeldeki çatlakın 3 boyutlu geometrisi için, çatlakın üç farklı yüzünün algılayıcı ile yüzey taraması yapılması gerekmektedir.



Şekil 10. Tam çatlak modellerinde çatlak derinliğinin bulunmasına bir örnek.

Bunların yanısıra bu çalışma ile;

1. 30cm×3cm×3cm boyutlarını geçmeyen, levha şeklindeki tüm ferromanyetik örneklerdeki tam çatlakların incelenebileceği,
2. Ferromanyetik şeritlerde herhangi bir nedenle oluşabilecek tam çatlağın, çatlak derinliği 1.33 mm'yi geçmemesi koşuluyla tüm fiziksel özelliklerinin (çatlağın şekli, merkezi, genişliği, derinliği gibi) kullanılan tarayıcı sistem ve yöntemle belirlenebileceği,
3. Ferromanyetik şeritlerde herhangi bir nedenle oluşan ve çatlak derinliği 1.33 mm'yi geçen tam çatlağın derinliği ile 3 boyutlu geometrisinin, aynı tarayıcı sistem ve yöntemle ancak örneğin tüm yanal yüzlerinin taratılması sonucu bulunabileceği,
4. Herhangi bir tam çatlağın derinliğinin 1.33 mm'yi, çatlak genişliğinin ise 3 mm'yi geçmesi durumunda kullanılan yöntem ve sistemle belirlenemeyeceği,
5. Kullanılan yöntemle, herhangi bir modeldeki tam çatlağın fiziksel özelliklerini doğrudan bulabilmek için, bobin gibi bölgesel okuma yapan algılayıcı yerine, Hall etkili sensör gibi noktasal okuma yapan algılayıcıların tercih edilmesi gerektiği,
6. Deneysel sonuçlara dayanan bu yöntemin, modeldeki tam çatlağın ya da çatlakların fiziksel özelliklerini belirlemede diğer tahribatsız test yöntemlerine bir alternatif olabileceği sonuçlarına ulaşılmıştır.

KAYNAKLAR

1. Üstüner, A., İmalat Tekniğinden Kaynaklanan Hatalar, Ankara, 1981.
2. Ekinci, Ş., Tahribatsız Test, Ultrasonik - Seviye I, Ç.N.A.E.M. Endüstriyel Uygulama Notları, İstanbul, 1990.
3. Bubenik, T.A., Nesdroth, J.B., Eiber, R.J., Saffell, B.F., Magnetic flux leakage (MFL) technology for natural gas pipeline inspection, NDT & E International, Volume 31, Issue 5, 379, 1998.
4. Crouch, A.E., Beissner, R.E., Burkhardt, G.L., Creek, E.A., Grant, T.S., Magnetic flux leakage inspection of gas pipelines, NDT & E International, Volume 30, Issue 1, 31, 1997.
5. Katragadda, G., Lord, W., Sun, Y.S., Udpa, S., Udpa, L., Alternative magnetic flux leakage modalities for pipeline inspection, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 32, No. 3, 1581-1584, 1996.
6. Altschuler, E., Pignotti, A., Nonlinear model of flaw detection in steel pipes by magnetic flux leakage, NDT & E International, Volume 28, Issue 1, 35-40, 1995.
7. Porter, P.C., Use of magnetic flux leakage (MFL) for the inspection of pipelines and storage tanks, NDT & E International, Volume 30, Issue 1, 33, 1997.
8. Silk M. G., Ultrasonic Transducers for Nondestructive Testing, Adem Hilger Ltd., Bristol, 1984.

9. Cartz, L., Nondestructive Testing : Radiography, Ultrasonic, Liquid Penetrant, Magnetic Particle, Eddy Current, ASM Intl, 1988.
10. Prokhorenko, P., Migoun, N., Introduction in Theory of Penetrant Testing, Minsk: Science & Technology, Russian, 1988.
11. Beattie, A.G., Acoustic Emission, Principles and instrumentation, Journal of Acoustic Emission, 1983.
12. Hagemaijer, D.J., Fundamentals of Eddy Current Testing, ASNT, 92, 1990, ISBN 0-931403-90-1
13. Göktepe, M., Ege, Y., Bayri, N. and Atalay, S., Non-destructive crack detection using GMI sensor, Phys. Stat. Sol., **12**, 3436-3439, Almanya, 2004.
14. Paulsen, J.A., Jiles, D.C., A magnetic imaging system for evaluation of material conditions using magnetoresistive devices, IEEE Transactions on magnetics, **39**, No. 5, 2003.
15. Park, G.S., Park, E.S., Improvement of the sensor system in magnetic flux leakage-type nondestructive testing, IEEE Transactions on magnetics, **38**, No. 2, 2002.
16. Gotoh, Y., and Takahashi, N., Study on problems in detecting plural cracks by alternating flux leakage testing using 3-D nonlinear eddy current analysis, IEEE Transactions on magnetics, **39**, No. 3, 2003.
17. Chady, T., Ekokizono, M., Todaka, T., Tsuchida, Y. And Sikora, R., A family of matrix type sensor for detection of slight flaws in conducting plates, IEEE Transactions on magnetics, **35**, No. 5, 1999.
18. Oka, M. and Enokizono, M., A detection of backside crack using rotational magnetic flux sensor with search coils, IEEE Transactions on magnetics, **32**, No. 5, 1996.
19. Oka, M. and Enokizono, M., Evaluation of a reverse-side defect on stainless steel plates by the residual magnetic field method, IEEE Transactions on magnetics, **36**, No. 5, 2000.