

FERROMANYETİK MALZEMELERDE OLUŞAN ÇATLAK ŞEKLİNİN MANYETİK AKI KAÇAKLARI YÖNTEMİYLE BELİRLENMESİ

Mustafa GÖKTEPE^{1*}, Yavuz EGE²

¹Balıkesir Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 10100 Balıkesir, TÜRKİYE

²Balıkesir Üniversitesi, Necatibey Eğitim Fakültesi, Fizik Eğitimi Bölümü, 10100 Balıkesir , TÜRKİYE

Özet:Bu çalışmada, Si-Fe ferromanyetik malzemeler üzerinde herhangi bir nedenle oluşabilecek çatlakların şeklini manyetik akı kaçakları yöntemiyle belirleyebilmek için, üç boyutta bilgisayar kontrollü bir tarayıcı sistem, manyetize edici sistem ve algılayıcıdan oluşan yeni bir manyetik tahribatsız test sistemi geliştirilmiştir. Tarayıcı sistemde hareketli parçanın ucuna algılayıcı olarak Hall etkili algılayıcı yerleştirilmiştir. Si-Fe ferromanyetik levhalar kullanılarak, şekilleri birbirinden farklı yapay olarak değişik çatlaklar oluşturulmuş ve manyetize edici sistem üzerine yerleştirilerek örneğin manyetize edilmesi sağlanmıştır. Manyetize edilen örneğin yüzeyi x-y düzleminde algılayıcıyla taratılmıştır. Tarama sonucunda algılayıcının çıkış geriliminin x-y konumuna göre değişim grafikleri çizilmiştir. Bu makalede, manyetik tahribatsız test sisteminin Si-Fe ferromanyetik malzemelerde süreksizlik ya da çatlak şeklinin bulunuşunda kullanımı ve uygulama sonuçları tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Tahribatsız Test Sistemi, Hall Etkili Algılayıcı, Tarayıcı Sistem*

DETECTION THE SHAPE OF CRACK ON FERROMAGNETIC MATERIALS BY USING MAGNETIC LEAKAGE FLUX TESTING METHOD

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 Hall effect sensor versus sample length was plotted as a result of crack detection. Findings on about the shape of cracks will be presented in this paper.

Key Words: *Non-destructive Measurement System, Hall Effect Sensor, Scanner System*

*Mustafa Göktepe
goktepe@balikesir.edu.tr

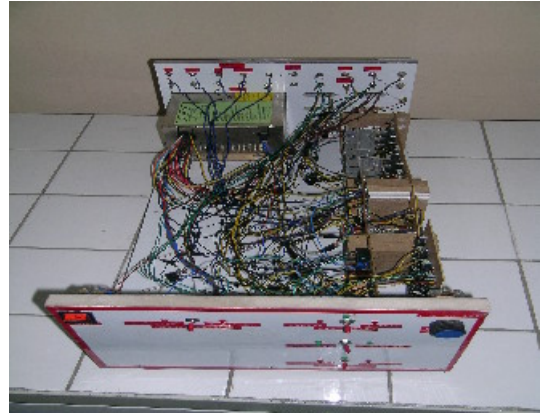
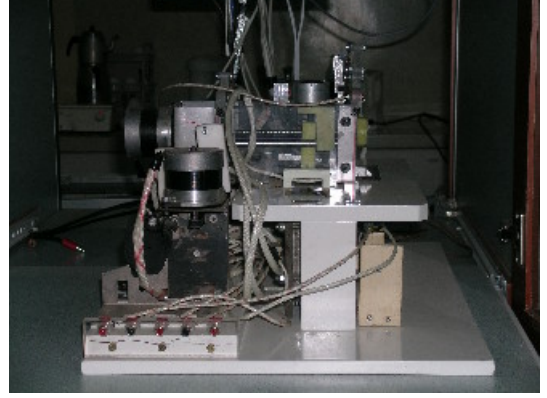
1.GİRİŞ

Günümüz endüstriyel uygulamalarda malzemelerde oluşan çatlaklar tahribatsız test teknikleri ile kontrol edilmektedirler. Bu teknikler arasında ultrasonik, manyetik parçacık, girgin sıvı, akustik emisyon, girdap akımları, radyografi ve manyetik akı kaçakları testi yer almaktadır [1-12]. Bu tekniklerin kendine özgü bazı sınırlılıkları ve uygulama şekilleri vardır. Bu tekniklerden ikisinde malzemelerdeki çatlakların şeklini tespit edebilmek için, kullanılan algılayıcının manyetik algılayıcı olması ve algılayıcının malzeme üzerindeki konumunun net olarak bilinmesi gerekmektedir [2-8]. Bu yöntemler, ultrasonik ve manyetik akı kaçakları testidir. Bu iki tahribatsız test tekniğinde algılayıcı iki ya da üç boyutta hareket edebilen bir parçaya yerleştirilmelidir. Bu nedenle bu çalışmada manyetik akı kaçakları testinin yapılabilmesi için yeni bir manyetik tahribatsız test sistemi geliştirilmiştir. Kurulan bu düzenekte Hall etkili algılayıcı kullanılmış, Si-Fe ferromanyetik levhalarla yapay olarak hazırlanan ve değişik çatlak şekillerinden oluşan farklı örnekler test edilmiştir. Bu çalışmada, geliştirilen manyetik tahribatsız test sisteminin kısa tanıtımından sonra test edilen örneklerden elde edilen verilerin işlenmesiyle ulaşılan sonuçlar irdelenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

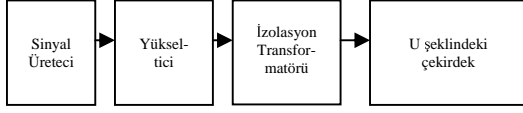
2.1 Manyetik Tahribatsız Test Sistemi

Manyetik akı kaçakları testi için geliştirilen manyetik tahribatsız test sistemi, Şekil 1’de görüldüğü gibi üç boyutlu tarayıcı sistem ve bu sistemin bilgisayarla kontrolünü sağlayan elektronik ünitelerden oluşmaktadır.



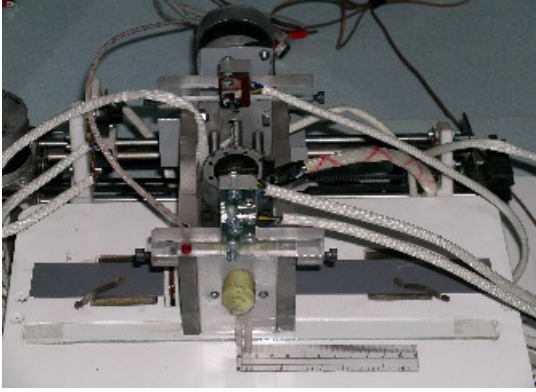
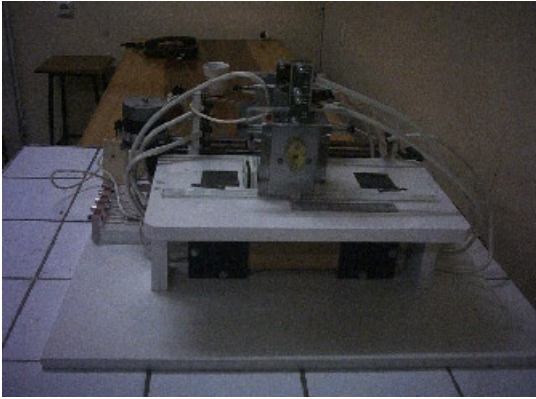
Şekil 1. Oluşturulan üç boyutlu tarayıcı sistem ve onun dış görünüşü.

Üç boyutlu tarayıcı sistemin mekaniğinde manyetik özellik göstermeyen alüminyum levha, cıva çeliği, saydam plastik ve kestamit türü malzemeler kullanılmıştır. Üç boyutlu tarayıcı sistemde algılayıcı, üç boyuttaki konumu adım (step) motorlarla kontrol edilen parça üzerine yerleştirilmiştir. Ayrıca üç boyutlu tarayıcı sistem üzerinde manyetize edici sistemin parçaları da yer almaktadır. Bu çalışmada HP33120A sinyal üretici, Pioneer A-447 güç yükseltici, 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.



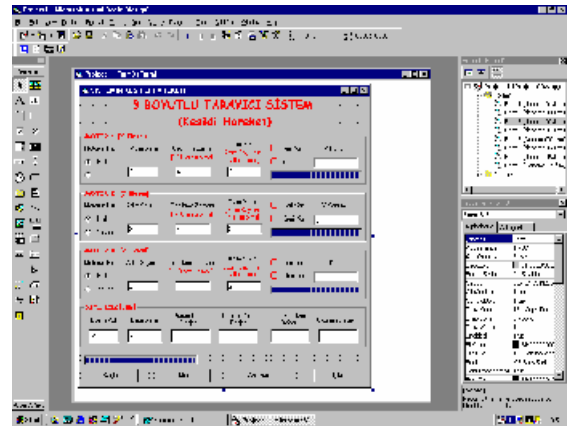
Şekil 3. Manyetize edici U çekirdeğin görünümü ve örneğin manyetize edilmesi.

Şekil 4’de verildiği gibi üç boyutlu tarayıcı sistem, manyetize edici sistem ve tarayıcı sistemin bilgisayarla kontrolünü sağlayan elektronik ünite birbiriyle ilişkilendirilerek kabin içine yerleştirilmiştir. Daha sonra adım (step) motorların kontrolü ve algılayıcıdan

gelen bilgilerin bilgisayara aktarımını sağlayan “Visual Basic” programı yazılmıştır. Şekil 5’de bu programın amorf tel uygulamalarında kullanılan halinin ekran görüntüsü verilmektedir.



Şekil 4. Manyetik tahribatsız test sistemi.



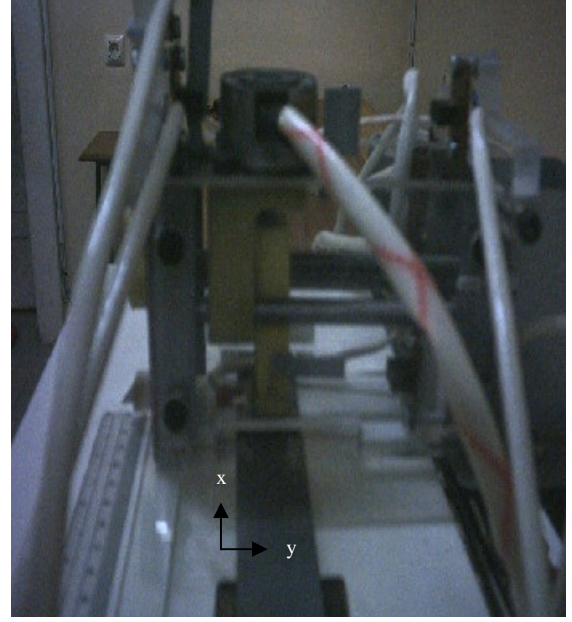
Şekil 5. Kesikli hareket halinin ekran görüntüsü.

2.2 Yapay Modellerin Oluşturulması ve Verilerin Toplanması

Bu çalışmada yapay çatlakların oluşturulması, 0.33 mm kalınlığında ve değişik uzunluklarda ferromanyetik levhaların 15, 30, 45 derecelik açılarda kesilerek değişik geomerilerde üst üste konmasıyla sağlanmıştır. Verilerin toplanması aşamasında, birbirinden farklı şekle sahip olan bu yapay çatlak modellerinin herbiri için uygulanan işlem sırası;

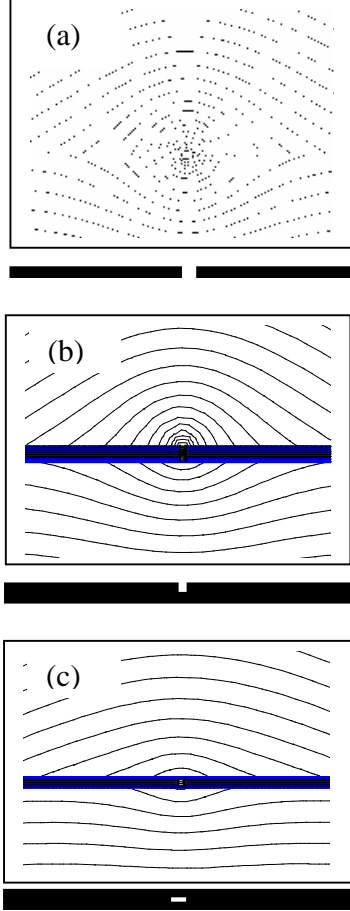
1. Yapay modelin manyetize edici bobin üzerine yerleştirilerek, modelin mıknatıslanmasının sağlanması,
2. Visual Basic'te yazılan üç boyutlu tarayıcı sistemin kontrol programı yardımıyla, üzerinde algılayıcının bulunduğu tarayıcı parçanın, tarama işleminin başlangıç noktasına çekilmesi,
3. Kontrol programında 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. (Programın çalıştırılması ile üzerinde algılayıcının bulunduğu tarayıcı parça, belirlenen sınırlar içinde x eksenı boyunca her 165 µm aralıklarla hareket etmekte ve herbir hareket sonrasında da algılayıcı, gidilen noktada veri almaktadır. Alınan veriler daha önceden açılan veri dosyasına kaydedilmektedir. Programın bitiminde, açtığımız veri dosyasına tüm veriler kaydedilmiş ve dosya kapatılmış olmaktadır.)

şeklinde verilebilir. Şekil 6'da her model yüzeyinin x-y düzleminde nasıl taratıldığı gösterilmektedir.



Şekil 6. Model yüzeyinin x eksenı boyunca taranması.

Her model yüzeyinin x-y düzleminde taranması sonucu algılayıcıdan alınan veriler, modellerdeki kaçak manyetik akının y bileşenin zamanla değişiminin bir göstergesidir. Çünkü sistemde algılayıcı, modelin yüzeyine dik olan kaçak manyetik akının zamanla değişimini algılayacak şekilde yerleştirilmiştir. Eğer tarama esnasında algılayıcıdan elde edilen veri değişmiyorsa o modelde kaçak manyetik akının ve dolayısıyla modelde herhangi bir süreksizliğin olmadığını söylemek mümkündür. Çünkü kaçak manyetik akının olabilmesi için, manyetik geçirgenlikleri farklı iki ortamın olması gerekmektedir. Bu durum, Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM) kullanılarak, değişik modeller üzerinde doğrulanmıştır.



Şekil 7. Sonlu elemanlar yöntemiyle; a) Tam çatlak, b) Yarım çatlak, c) Gömülü çatlak modellerinde hesaplanan kaçak manyetik akı davranışı.

Şekil 7’de görüldüğü gibi ferromanyetik levhalarda (tam, yarım, gömülü) çatlak ya da süreksizlik varsa, manyetik akı çatlak olduğu bölgede hava ortamında bir pik çizerek akı dolanımını tamamlamaktadır. Kısacası levhada çatlak varsa, çatlak bölgesinde manyetik akının hem B_x hem de B_y bileşeni oluşmaktadır. Eğer B_y bileşeni herhangi bir algılayıcı ile algılatılabilirse o bölgede çatlak varlığından söz etmek mümkündür. Bu çalışmada, birbirinden farklı fiziksel özelliklere sahip olan

yapay açılı çatlak modellerinin x-y taranması sonrasında, Hall etkili algılayıcının çıkış voltajının değerleri okunarak taranan x-y konumuna göre değişimi incelenmiş ve bu grafiklerden yararlanarak çatlakın şekli tespit edilmiştir.

3. BULGULAR

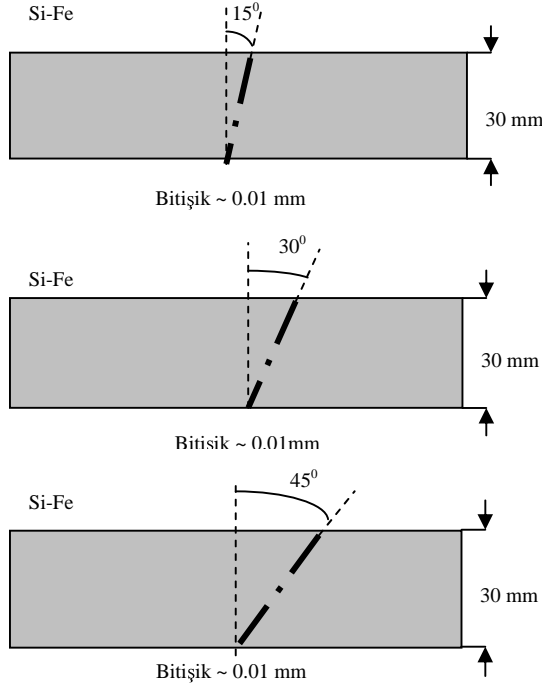
Bu deneysel çalışmada, açılı çatlak modeli için çatlak derinliği 0.33 mm’de, çatlak genişliği ise bitişik (0.01 mm) pozisyonda sabit tutulmuştur. Her model Hall etkili algılayıcıyla test edilmiştir. Tüm modeller test edilirken manyetize edici sistem 500 Hz’lik AC akımla beslenmiş ve mıknatıslayıcı bobinde $H=413 \text{ J/A.m}^2$ ’lik manyetik alanın oluşması sağlanmıştır. Modellerin hangi frekansta ve hangi alan altında manyetize edileceği deneme testleriyle belirlenmiştir. Deneme testlerinde bitişik pozisyondaki bir gömülü (kapalı) çatlak net olarak belirlenebilirliği baz alınmıştır.

Bu çalışmada test edilen açılı çatlak modelleri, kendisini tanımlayan değişkenlerin kısaltılmasıyla ifade edilmiştir. Örneğin çatlak genişliği 1 mm, çatlak derinliği 0.66 mm, çatlakın alt yüzeye uzaklığı 0.33 mm, çatlakın üst yüzeye uzaklığı 0.66 mm ve 15° açısı olan gömülü çatlak modeli, G_1.00_0.66_0.33_0.66_A15 şeklinde ifade edilmiştir. Bu deneysel çalışmada test edilen açılı çatlak modellerinin listesi test edilme sırasıyla Çizelge 1’de verilmektedir.

Çizelge 1. Test edilen yapay açılı çatlak modelleri.

Test sırası	Açılı çatlak modelleri
1	G_0.00_0.33_0.33_0.33_A15
2	G_0.00_0.33_0.33_0.33_A30
3	G_0.00_0.33_0.33_0.33_A45

Çizelge 1’de isimleri verilen 3 farklı çatlak özelliğine sahip açılı çatlak modellerinin şekilleri Şekil 8’de gösterilmektedir.

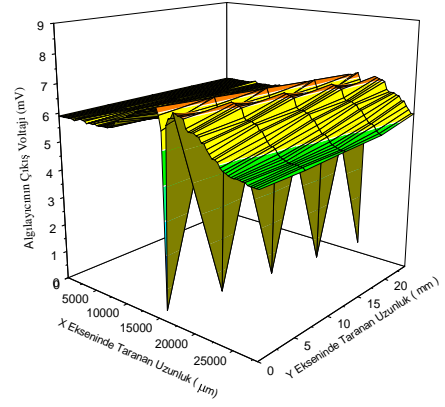


Şekil 8. Test edilen a) G_0.00_0.33_0.33_0.33_A15 Açılı çatlak modeli; b) G_0.00_0.33_0.33_0.33_A30 Açılı çatlak modeli; c) G_0.00_0.33_0.33_0.33_A45 Açılı çatlak modelinin üstten görünümü.

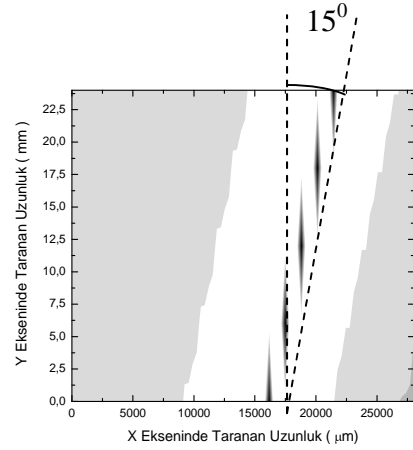
Şekil 8’de verilen yapay açılı çatlak model yüzeylerinin sırasıyla x-y düzleminde taraması sonrasında Hall etkili algılayıcıdan elde edilen veriler ışığında,

1. Model yüzeyinin, x-y taraması sırasında Hall etkili algılayıcının çıkış voltajının x-y konumuna göre değişim grafiği
2. Model yüzeyinin, x-y taraması sırasında Hall etkili algılayıcının çıkış voltajının x-y konumuna göre renklendirilmiş değişim grafiği

belirlenmiştir. Her model için elde edilen bu grafikler aşağıda gösterilmektedir.

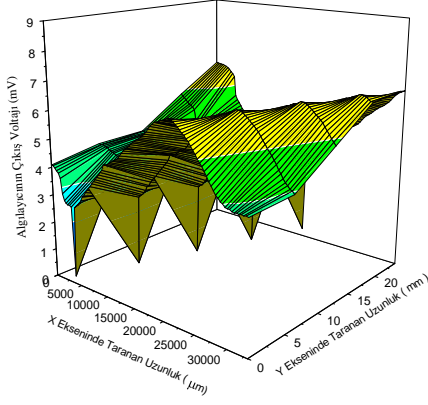


(a)

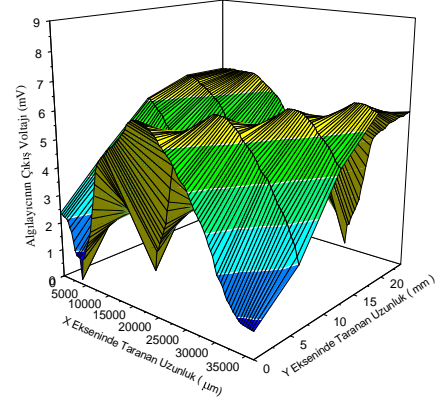


(b)

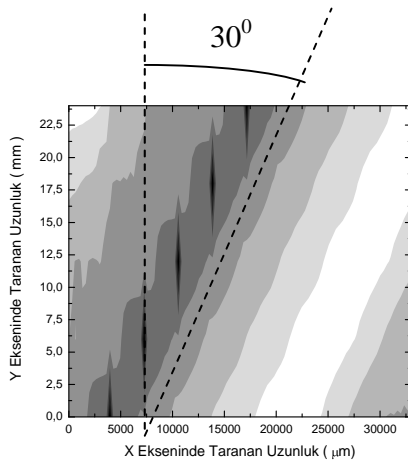
Şekil 9. G_0.00_0.33_0.33_0.33_A15 Açılı çatlak model yüzeyinin a) x-y taraması sırasında Hall etkili algılayıcının çıkış voltajının x-y konumuna göre değişimi; b) x-y taraması sırasında Hall etkili algılayıcının çıkış voltajının x-y konumuna göre renklendirilmiş değişimi.



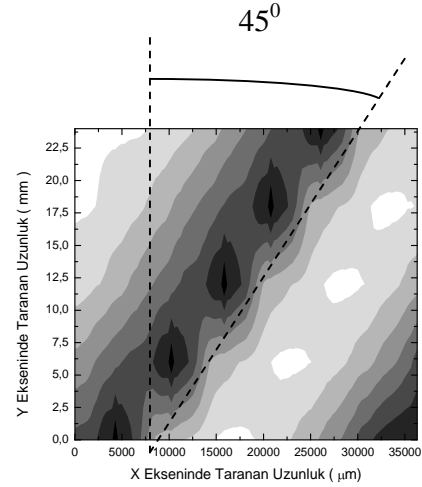
(a)



(a)



(b)



(b)

Şekil 10. G_0.00_0.33_0.33_0.33_A30 Açılı çatlak model yüzeyinin a) x-y taraması sırasında Hall etkili algılayıcının çıkış voltajının x-y konumuna göre değişimi; b) x-y taraması sırasında Hall etkili algılayıcının çıkış voltajının x-y konumuna göre renklendirilmiş değişimi.

Şekil 11. G_0.00_0.33_0.33_0.33_A45 Açılı çatlak model yüzeyinin a) x-y taraması sırasında Hall etkili algılayıcının çıkış voltajının x-y konumuna göre değişimi; b) Model yüzeyinin, x-y taraması sırasında Hall etkili algılayıcının çıkış voltajının x-y konumuna göre renklendirilmiş değişimi.

Şekil 7'ye dikkatli bakılırsa, kaçak manyetik akının modellerdeki çatlak merkezinde sadece tarama eksenine paralel (B_x) bileşeninin mevcut olduğu görülmektedir. Çatlak merkezinin yakınlarında ise kaçak akının bir y bileşeni vardır. O halde sistemdeki algılayıcının sadece kaçak manyetik akının B_y bileşenini algıladığı düşünülürse, çatlak merkezinde algılayıcının çıkış voltajının sıfır olacağını söylemek mümkündür. Bu deneysel çalışmada sadece x ekseninde Hall etkili algılayıcıyla veri alındığı hatırlanırsa, Şekil 9a-11a grafiklerine bakarak, y ekseninde belirlenen konumlarda yapılan her x eksen taramasında Hall etkili algılayıcının çıkış voltajının sıfır olduğu noktaların sağa doğru kaydığı görülmektedir. Algılayıcının çıkış voltajının sıfır olduğu bu noktaların sağa doğru kayması aynı zamanda çatlak merkezinin de y eksen boyunca değiştiğini ifade etmektedir. O halde bu noktaların birleştirilmesiyle oluşacak şekil çatlak merkezinin x - y düzlemindeki şeklini verecektir.

Bu deneysel çalışmada, açılı çatlak modellerindeki çatlak şeklini ve y eksenine yaptığı açıyı daha görsel olarak belirleyebilmek için, model yüzeyinin, x - y taraması sırasında Hall etkili algılayıcının çıkış voltajının x - y konumuna göre renklendirilmiş değişiminden yararlanılmıştır. Her model için, bu değişim grafikleri yukarıda Şekil 9b-11b'de gösterilmektedir.

Şekil 9b-11b grafiklerinde siyah ile gösterilen bölgeler Hall etkili algılayıcının çıkış voltajının sıfır olduğu noktalar bütünüdür. Grafiklerdeki bu noktaların doğrultusu da çatlak şeklini ve y eksenine yaptığı açıyı göstermektedir. Deneysel olarak tespit edilen açı değerleri gerçekte uyuşmaktadır. Fakat mikro düzeydeki bir çatlak şeklini ve y eksenine yaptığı açıyı bu yöntemle bulmak için, Hall etkili algılayıcının veri alma aralığının da mikro düzeyde olması gerektiği unutulmamalıdır. Hall

etkili algılayıcının veri alma aralığı ne kadar küçük olursa, çatlak şekli ve y eksenine yaptığı açı o kadar gerçek değere yaklaşacaktır. Bu deneysel çalışmada x ekseninde $165 \mu\text{m}$ aralıklarla ölçüm alındığından, deneyde bulunan çatlak şeklinin gerçek görünümünün $\pm 165 \mu\text{m}$ duyarlılıkla belirlendiği unutulmamalıdır. Ayrıca model yüzeyinin x - y taramasında, y eksenindeki ilerleyişlerin küçük tutulması çatlak şeklini daha belirgin hale getirecektir.

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu deneysel çalışmada veri almada kullanılan sistemin ve algılayıcının, Si-Fe ferromanyetik levhalarda oluşmuş herhangi bir doğal çatlak merkezinin ve buna bağlı olarak çatlak şeklini bulmada bir sınırlama getirmediği bulunmuştur. Bununla beraber çatlak merkezinin ve çatlak şeklinin gerçeğe yakın bulmada algılayıcının yanısıra veri alma aralığı da etkin rol oynamaktadır. Bu yüzden mikro düzeydeki bir çatlak şeklini ve merkezini bu yöntem ve algılayıcıyla bulmak için, veri alma aralığının da mikro düzeyde olması gerektiği unutulmamalıdır. Bu deneysel çalışmada x ekseninde $165 \mu\text{m}$ aralıklarla ölçüm alındığından, deneyde bulunan çatlak merkezinin gerçek konumunun $\pm 165 \mu\text{m}$ aralığında olabileceği unutulmamalıdır. Ayrıca çatlak şeklinin gerçeğe yakın bulabilmek için y eksenindeki ilerleyişlerin de küçük olması ve kullanılacak algılayıcının da nokta okuma yapan algılayıcı olmasına dikkat edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Bu deneysel çalışmada Hall etkili algılayıcıyla sadece tüm yapay açılı çatlak modellerinin üst yüzeyi tarandığından, çatlak sadece üst yüzey görünümü ve konumu belirlenebilmektedir. Modeldeki çatlak üç boyutlu geometrisi için,

örnek modelin diğer yüzlerinin de algılayıcı ile yüzey taramasından geçirilmesi gerekmektedir.

Bu deneysel çalışmada yukarıdaki sonuçların yanısıra, Hall etkili algılayıcı çıkış voltajının değişiminin çatlak bölgesindeki kaçak manyetik akının y bileşeninden (B_y 'den) kaynakladığı düşünülürse, Sonlu Elemanlar Yöntemi ile bulunan kaçak manyetik akının çatlak bölgesindeki davranışının deneyle uyduğunu söylemek mümkündür. Bununla birlikte bulgular ışığında, çatlak şekilleri birbirinden farklı ve boyutları $30\text{cm} \times 3\text{cm} \times 3\text{cm}$ 'yi geçmeyen Si-Fe ferromanyetik levhalarda herhangi bir nedenle oluşabilecek doğal çatlakların şekillerinin kullanılan yöntem ve tarayıcı sistemle belirlenebileceğini söylemek mümkündür.

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, Vol. 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, Vol. 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, Vol. 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, Vol. 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), ISBN: 0871705176
- [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] Hagemaiier, D.J., "Fundamentals of Eddy Current Testing", ASNT, 92, (1990), ISBN 0-931403-90-1.

