

FERROMANYETİK MALZEMELERDEKİ ÇATLAKLARIN AC20 AMORF TELLERİN ALGILAYICI OLARAK KULLANILMASI İLE BULUNMASI

M.GÖKTEPE¹, Y.EGE², N.BAYRI³, S.ATALAY³

¹BAU Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Balıkesir

²BAU Necatibey Eğitim Fakültesi Fizik Eğitimi Bölümü Balıkesir

³İnönü Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Malatya

ÖZET

Bu çalışmada AC20, $(Co_{0.94}Fe_{0.06})_{72.5}Mo_{12.5}B_{15}$ amorf tellerin, Si-Fe ferromanyetik levhalar üzerindeki oluşabilecek çatlakların manyetik akı kaçakları yöntemiyle bulunması için, algılayıcı olarak kullanılabilirliğinin test edilmesi amaçlanmıştır. Ferromanyetik levhaların dizilmesi ile değişik yapay çatlaklar oluşturulup test edilmiştir. Bu makalede, amorf tellerin ferromanyetik malzemelerde oluşan çatlakları bulmada sensör olarak kullanılabilirliği tartışılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Tahribatsız Test Sistemi, Amorf Tel, Tarayıcı Sistem

DETECTION OF CRACKS ON FERROMAGNETIC MATERIALS BY USING AC20 AMORPHOUS WIRES AS A SENSOR

ABSTRACT:

In this study AC20, $(Co_{0.94}Fe_{0.06})_{72.5}Mo_{12.5}B_{15}$ amorphous wires was used as a sensor to capture, cracks on a Si-Fe laminations. Different cracks were made artificially by stacking ferromagnetic laminations. Surface of the samples were scanned to capture magnetic leakage flux. In this paper, findings of the crack detection on ferromagnetic materials by using amorphous wires as a sensor will be presented.

Keywords: Non-Destructive Measurement System, Amorphous Wire, Scanner System

1.GİRİŞ

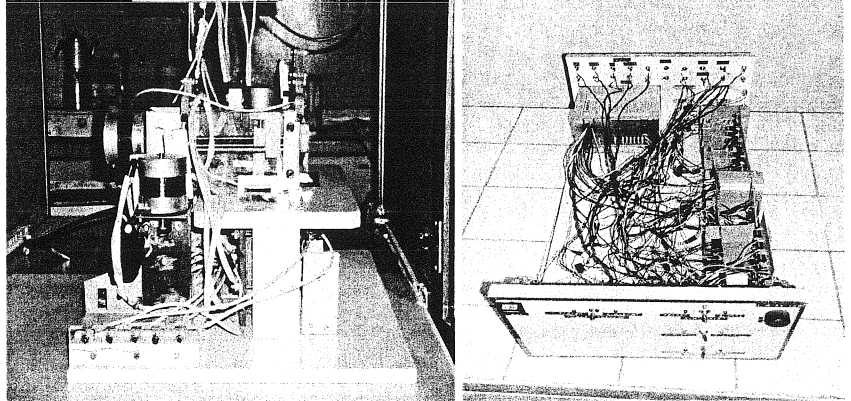
Günümüz endüstriyel uygulamalarda malzemeler, tahribatsız test teknikleri ile kontrol edilmektedirler. Bu teknikler arasında ultrasonik[1,8,9],

manyetik parçacık[2,9], sıvı penetrant[2,9], akustik emisyon[2,9], girdap akımları[9,12], radyografi[1,2,9] ve manyetik akı kaçakları[3-7,13] testi yer almaktadır. Bu tekniklerin kendine özgü bazı sınırlılıkları ve uygulama yöntemleri vardır. Bu tekniklerden ultrasonik ve manyetik akı kaçakları ile malzemelerdeki çatlakların fiziksel özelliklerini tespit edebilmek için, kullanılan algılayıcının manyetik algılayıcı olması ve algılayıcının malzeme üzerindeki konumunun net olarak bilinmesi gerekmektedir [2-8]. Bu iki tahribatsız test tekniğinde algılayıcı iki ya da üç boyutta hareket edebilen bir parçaya monte edilmelidir. Bu nedenle bu çalışmada manyetik akı kaçakları testinin yapılabilmesi için yeni bir manyetik tahribatsız test sistemi geliştirilmiştir. Kurulan bu düzende algılayıcı olarak AC20 ($\text{Co}_{0.94}\text{Fe}_{0.06}$) $_{72.5}\text{Mo}_{12.5}\text{B}_{15}$ amorf tel kullanılmış, Si-Fe ferromanyetik levhalarla yapay olarak hazırlanan örnekler test edilmiştir. Bu çalışmada, geliştirilen manyetik tahribatsız test sisteminin kısa tanıtımından sonra test edilen örneklerden elde edilen verilerin işlenmesiyle ulaşılan sonuçlar tartışılmıştır.

2.MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Manyetik Tahribatsız Test Sistemi

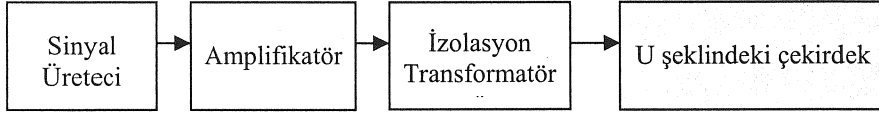
Manyetik akı kaçakları testi için geliştirilen manyetik tahribatsız test sistemi, Şekil 1’de görüldüğü gibi üç boyutlu tarayıcı sistem ve bu sistemin bilgisayarla kontrolünü sağlayan elektronik üniteden oluşmaktadır.



Şekil 1 Oluşturulan üç boyutlu tarayıcı sistem ve elektronik ünitesinin görünümü.

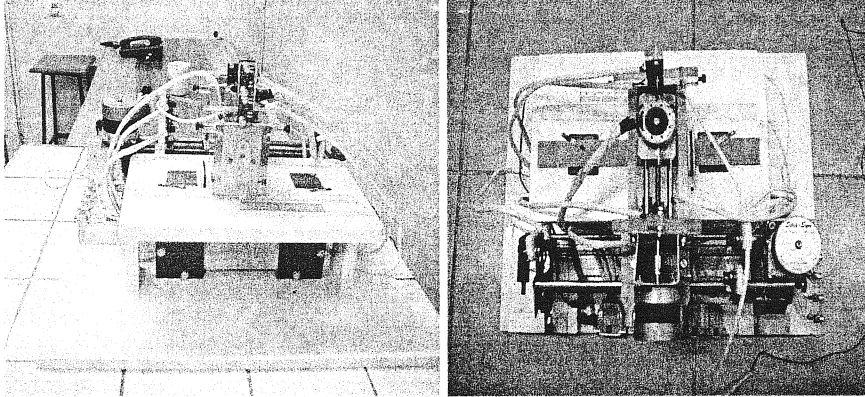
Üç boyutlu tarayıcı sistemin mekaniğinde manyetik özellik göstermeyen alüminyum levha, cıva çeliği, plexe glass ve kestamit türü malzemeler kullanılmıştır. Üç boyutlu tarayıcı sistemde algılayıcı, üç boyuttaki

konumu adım motorlarıyla 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 amplifikatörü, izolasyon transformatörü ve U şeklindeki çekirdekten oluşan sisteme, manyetize edici sistem adı verilmiştir. Şekil 2’de manyetize edici sistemin blok diyagramı gösterilmektedir.



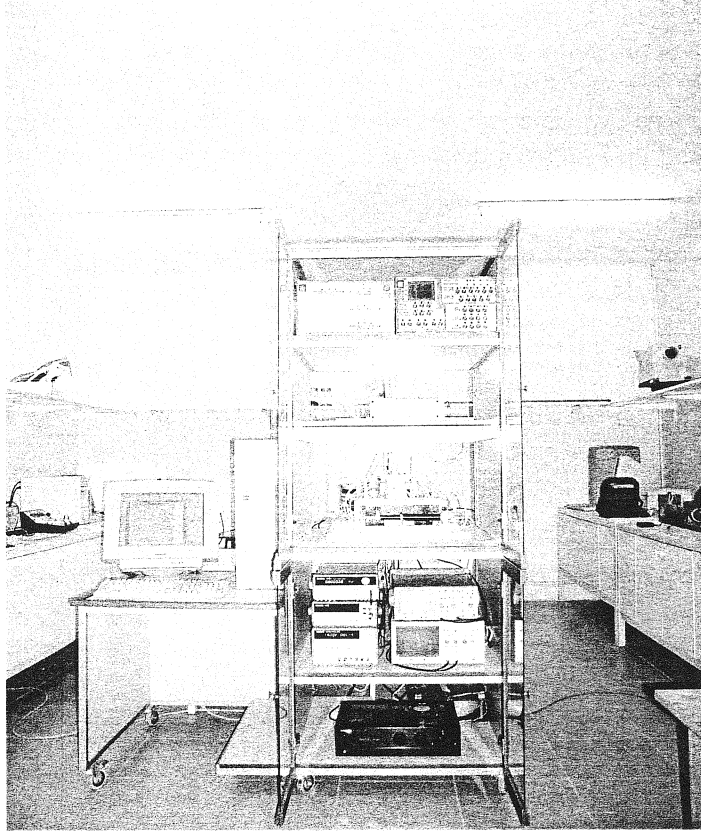
Şekil 2. Manyetize edici sistemin blok diyagramı.

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

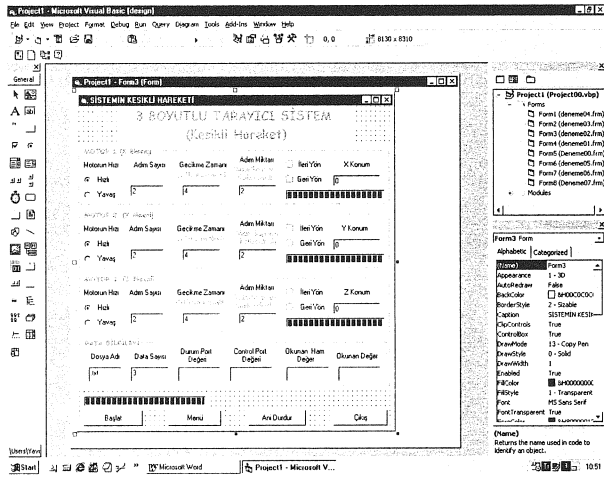


Şekil 3 Manyetize edici U çekirdeğin görünümü ve örneğin manyetize edilmesi.

Şekil 4’de verildiği gibi üç boyutlu tarayıcı sistem, manyetize edici sistem ve tarayıcı sistemin bilgisayarla kontrolünü sağlayan elektronik sistem birbiriyle ilişkilendirilerek kabin içine yerleştirilmiştir. Daha sonra adım motorlarının kontrolü ve algılayıcıdan gelen bilgilerin bilgisayara aktarımını sağlayan Visual Basic programı yazılmıştır. Şekil 5’de bu programın amorf tel uygulamalarında kullanılan formunun ekran görüntüsü verilmektedir.



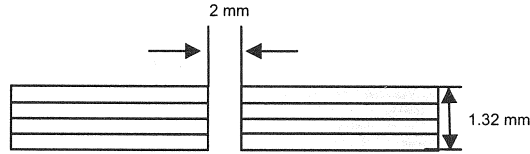
Şekil 4. Manyetik tahriatsız test sistemi.



Şekil 5. Keskil hareket formunun ekran görüntüsü.

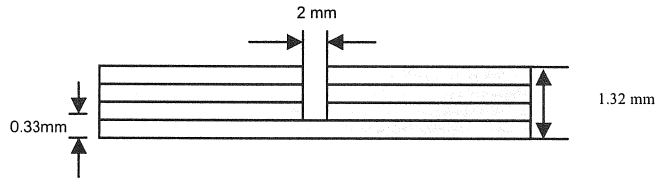
2.2 Ferromanyetik Levhalarla Oluşturulan Yapay Çatlak Modelleri

Bu çalışmada yapay çatlakların oluşturulması, 0.33 mm kalınlığında ve değişik uzunluklarda ferromanyetik levhaların üst üste konmasıyla sağlanmıştır. Doğada geometrisi çok değişik olan doğal çatlaklar bulmak mümkündür. Bu doğal çatlakların, genişliği, derinliği, şekli, konumu birbirinden farklı olabilir. Bu nedenle doğadaki yüzeyi düzlemsel olan ferromanyetik malzemeler içinde oluşabilecek hemen hemen bütün doğal çatlakların tespit edilebilmesi için, ferromanyetik levhalar kullanılarak tam çatlak, yarım çatlak ve gömülü çatlak olmak üzere 3 değişik modelde yapay çatlak dizayn edilmiştir. Şekil 6'da verildiği gibi tam çatlak modelinde çatlak, malzemenin alt ve üst yüzeyine ulaşmaktadır.



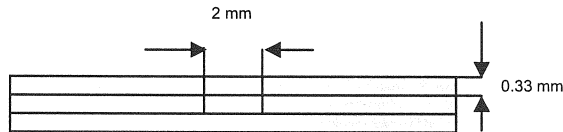
Şekil 6 Tam Çatlak modeli.

Yarım çatlak modelinde ise Şekil 7'de verildiği gibi çatlak, malzemenin üst yüzeyine ulaşabildiği halde alt yüzeyine ulaşamamaktadır.



Şekil 7 Yarım Çatlak modeli.

Şekil 8'de verilen gömülü çatlak modelinde ise çatlak, malzemenin ne üst yüzeyine ne de alt yüzeyine ulaşabilmektedir.



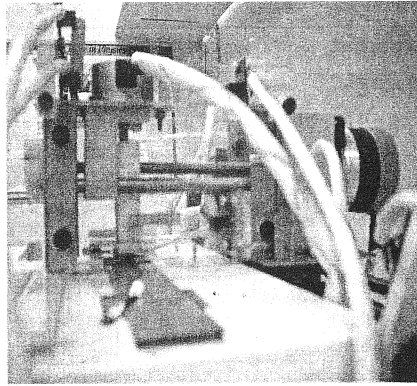
Şekil 8 Gömülü Çatlak modeli.

2.3 Verilerin Toplanması

Bu çalışmada verilerin toplanması aşamasında, birbirinden farklı fiziksel özelliklere sahip olan yapay çatlak modellerinin herbiri için uygulanan işlem sırası aşağıdaki gibi olmuştur.

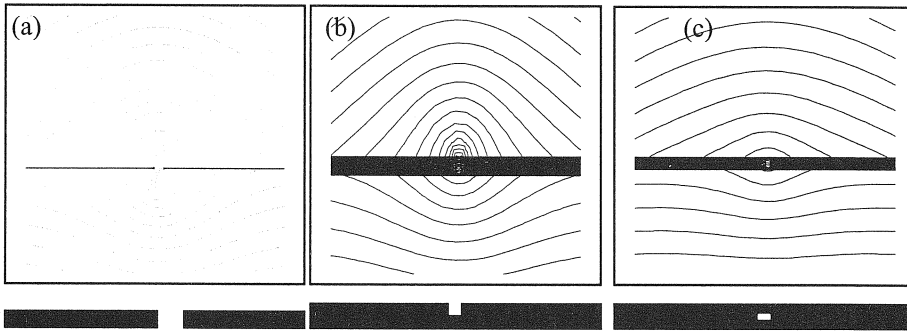
1. Yapay modelin manyetize edici bobin üzerine yerleştirilerek, modelin mıknatıslanmasının sağlanması.
2. Visual Basic'te yazılan üç boyutlu tarayıcı sistemin kontrol programı yardımıyla, üzerinde algılayıcının bulunduğu tarayıcı parçanın, tarama işleminin başlangıç noktasına çekilmesi.
3. Kontrol programında deney bilgisi formunun açılarak, algılayıcıdan gelen verilerin hangi dosyaya yazılacağı belirlenmesi.
4. Kontrol programında kesikli hareket formunun açılarak, tarama işleminin sınırları ve malzeme yüzeyinin hangi noktalarında veri alınacağı belirlenmesi.
5. Programın çalıştırılması.

Kesikli hareket formu, üzerinde algılayıcının bulunduğu tarayıcı parçayı, z konumu farklı olan x-y düzlemlerinde hareket ettirmekte ve x ekseninde istenilen noktalarda veri alınmasına müsaade etmektedir. Bu çalışmada, çatlak bölgesinde her modelin yüzeyi $z=0$ iken çatlakla dik olan eksen boyunca taranmış, x ekseninde her 165 μm aralıklarla veri alınmıştır. Programın bitiminde, açtığımız veri dosyasına tüm veriler kaydedilmiş ve dosya kapatılmış olmaktadır. Şekil 9'da her model yüzeyinin x eksenini boyunca nasıl taratıldığı gösterilmektedir.



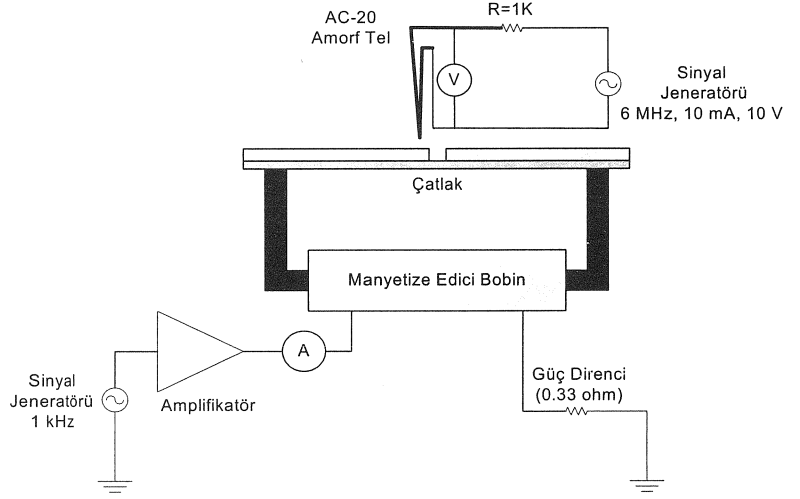
Şekil 9 Model yüzeyinin x eksenini boyunca taranması.

Model yüzeyinin x eksenini boyunca taranması sonucu algılayıcıdan alınan veriler, her modeldeki kaçak manyetik akının y bileşeninin 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 kullanılarak tam, yarım ve gömülü modeller için birer örnek üzerinde doğrulanmıştır.



Şekil 10. Sonlu elemanlar yöntemiyle; a) tam çatlak, b) yarım çatlak, c) gömülü çatlak modellerinde hesaplanan kaçak manyetik akı davranışı.

Şekil 10'da görüldüğü gibi ferromanyetik levhalarda çatlak ya da süreksizlik varsa, manyetik akı çatlağın 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 oluşacaktır. Eğer B_y bileşenini herhangi bir algılayıcı ile algılatılabilirse o bölgede çatlağın varlığından söz etmek mümkündür. Bu çalışmada algılayıcı olarak AC20 amorf tel kullanılmıştır. Şekil 11'de AC20 amorf telin algılayıcı olarak kullanımındaki bağlantı şeması verilmiştir.

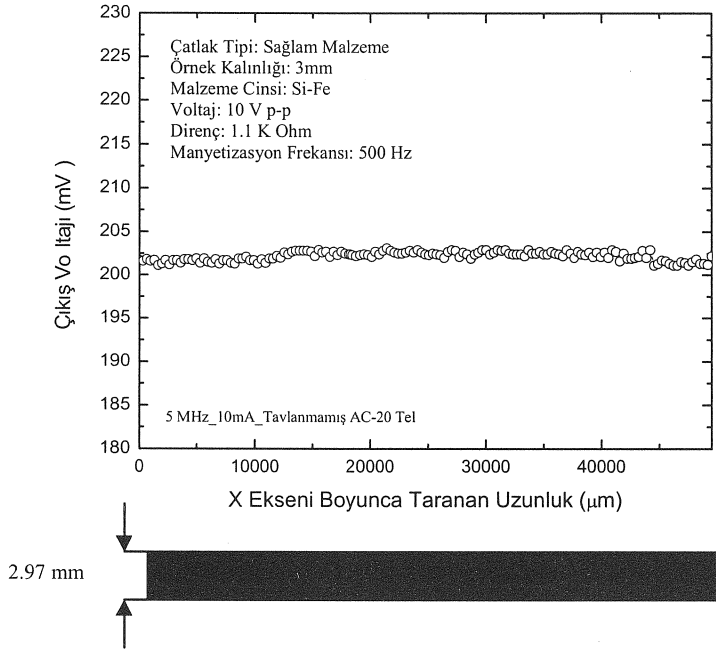


Şekil 11. AC20 amorf telin algılayıcı olarak kullanımındaki bağlantı şeması.

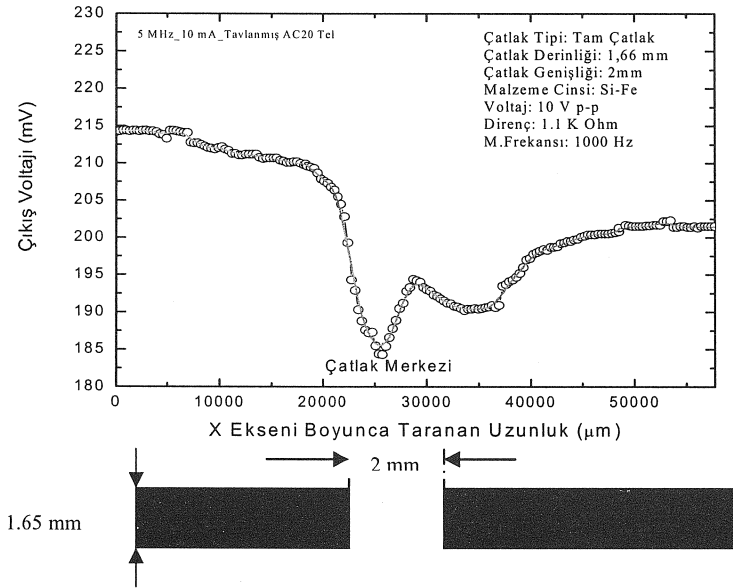
Bu çalışmada, birbirinden farklı fiziksel özelliklere sahip olan yapay çatlak modellerinin taranması sonrasında, AC20 amorf telin iki ucu arasındaki gerilim değerleri okunarak taranan bölge uzunluğuna göre değişimi incelenmiştir.

3. BULGULAR

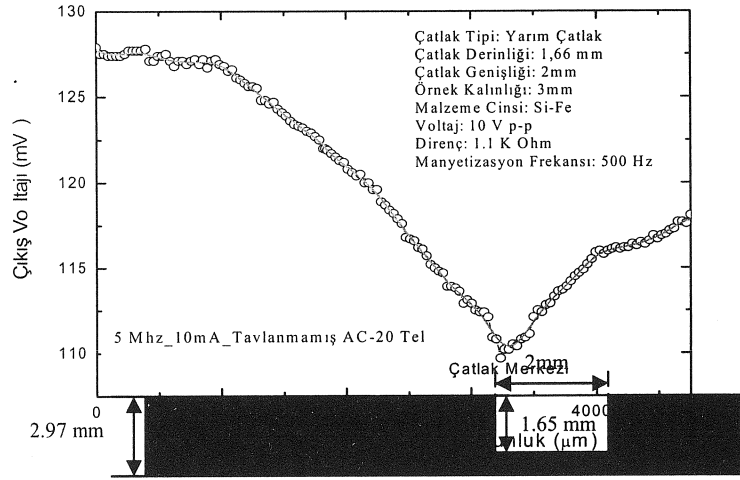
Si-Fe ferromanyetik levhalarla üretilen karışık çatlak modellerinde çatlağın modeli (tam, yarım, gömülü) değişken tutulmuştur. Modeller oluşturulduktan sonra, Şekil 11'de gösterildiği gibi her model AC20 ($\text{Co}_{0.94}\text{Fe}_{0.06}$) $_{72.5}\text{Mo}_{12.5}\text{B}_{15}$ amorf tel algılayıcıyla test edilmiştir. Bu modeller test edilirken mıknatıslayıcı sistem 500 Hz'lik AC akımla beslenmiş ve mıknatıslayıcı bobinde $H=413$ A/m'lik manyetik alan şiddetinin oluşması sağlanmıştır. Modellerin hangi frekansta ve hangi alan altında mıknatıslanacağı deneme testleriyle belirlenmiştir. Ayrıca AC20 amorf telin algılayıcı olarak kullanılabilmesi için, tele $1\text{k}\Omega$ 'luk direç üzerinden 6 MHz frekanslı, 10 V genlikli gerilime sahip AC akımla beslenmiştir. Deney esnasında taranan uzunluk boyunca telin iki ucu arasındaki voltaj değeri okunmuştur. Sonuçların grafikleri Şekil 12-15'de verilmiştir.



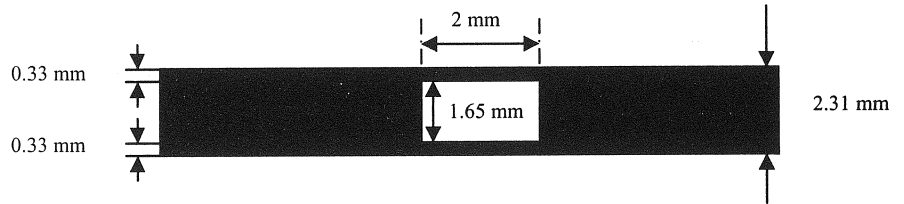
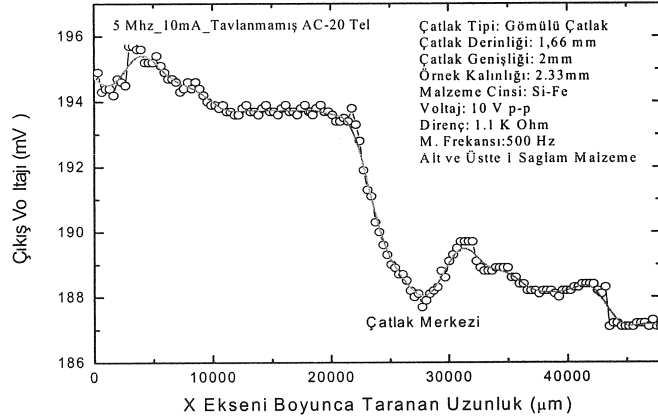
Şekil 12 Sağlam örnekte AC20 Amorf telin iki ucu arasındaki voltajın taranan uzunluğa göre değişimi.



Şekil 13. Tam çatlak örneğinde AC20 Amorf telin iki ucu arasındaki voltajın taranan uzunluğa göre değişimi.



Şekil 14 Yarım çatlak örneğinde AC20 Amorf telin iki ucu arasındaki voltajın taranan uzunluğa göre değişimi.



Şekil 15 Gömülü çatlak örneğinde AC20 Amorf telin iki ucu arasındaki voltajın taranan uzunluğa göre değişimi.

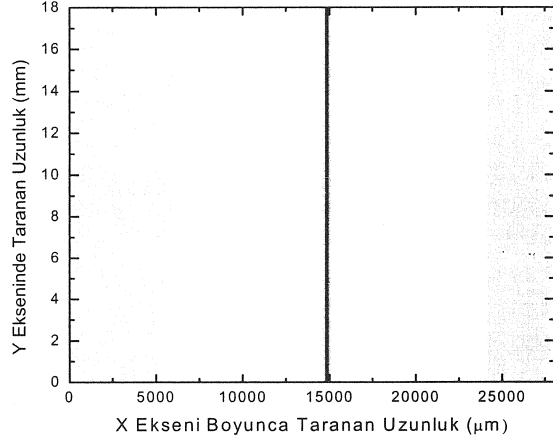
Şekil 12’de görüldüğü gibi ferromanyetik malzemede herhangi bir çatlak ya da süreksizlik olmadığı için AC20 amorf telin iki ucu arasındaki voltaj değişmemiştir. Fakat Şekil 13-15’e bakıldığında AC20 amorf telin çıkış voltajının her model için, çatlak merkezine yaklaşırken azaldığı, çatlağın merkezinde minimuma indiği ve sonrasında çatlak merkezinden uzaklaştıkça tekrar arttığı görülmektedir. AC20 Amorf telin çıkış voltajının bu şekilde değişimi, ferromanyetik levhalarla oluşturulan modellerin çatlak bölgesindeki kaçak manyetik akının davranışının, Sonlu elemanlar yöntemiyle bulunanla aynı karakteristikte olduğunu göstermektedir. Çünkü Şekil 10’a dikkatli bakılırsa kaçak manyetik akının modellerdeki çatlak merkezinde sadece tarama eksenine paralel (B_x) bileşeni mevcuttur. Çatlak bölgesinin diğer bölgelerinde ise kaçak akının bir y bileşeni vardır. Bu B_y bileşeni AC20 amorf teldeki elektronlara,

$$\Delta E = g\mu_j\mu_B B_y \quad (1)$$

kadarlık bir enerji aktarmaktadır. Burada g lande çarpanı, μ_j toplam manyetik moment ve μ_B Bohr manyetonudur. Aktarılan bu enerji elektronların kinetik enerjilerini artırarak, sinyal jeneratörünün sağladığı elektrik alandaki düzenli hareket bozulmaktadır. Diğer bir değişle AC20 amorf telin direnci artmış olmaktadır. Bu da devreden geçen ana kol akımını azaltarak, $1k\Omega$ ’luk direç üzerindeki potansiyel değeri de düşürmektedir. Sinyal jeneratörünün sağladığı sabit genlikli ve 10 V değerindeki gerilimin AC20 amorf tel ve $1k\Omega$ ’luk direç üzerine bölündüğü düşünürse, $1k\Omega$ ’luk direç üzerindeki potansiyel değerinin düşmesi AC20 amorf telin iki ucu arasındaki gerilimin artması demektir. Yani kaçak manyetik akının maksimum olduğu noktalarda AC20 amorf telin iki ucu arasındaki gerilim değeri maksimum, kaçak manyetik akının minimum olduğu noktalarda ise, gerilim değeri minimum olacaktır. O halde çatlak merkezinde kaçak manyetik akının herhangi bir y bileşeni olmadığı için AC20 amorf telin çıkış voltajının minimum olacaktır. Dolayısıyla herhangi bir Si-Fe ferromanyetik malzemedeki doğal olarak oluşmuş bir çatlağın, çatlak merkezini bulabilmek için örnek yüzeyinin x ekseninde taranmasıyla AC20 amorf tel algılayıcının çıkış voltajının minimum olduğu noktayı tespit etmek yeterli olacaktır. Bu şekilde GMR (Giant Magneto Resistivite) etkisinden yararlanarak Si-Fe ferromanyetik malzemelerde oluşan çatlakları bulmanın mümkün olabileceği görülmüştür[13].

Si-Fe ferromanyetik levhalarda oluşmuş bir çatlağın, tarama yüzeyinden bakıldığında görünen üst yüzey görünümünü tespit etmek için, model

yüzeyinin x-y düzleminde taratılması ve AC20 amorf tel algılayıcının çıkış voltajının x-y konumuna göre reklendirilmiş değişim grafiklerinin çizilmesi gerekmektedir. Şekil 16'da buna bir örnek gösterilmektedir.



Şekil 16 Yarı çatlak modelinde çatlak merkezinin ve çatlak şeklinin bulunması.

Kullanılan AC20 amorf tel algılayıcı, Si-Fe ferromanyetik levhalarda oluşmuş herhangi bir doğal çatlak merkezinin ve çatlak şeklini bulmada bir sınırlama getirmemektedir. Fakat mikro düzeydeki bir çatlak şeklini ve merkezini bulmak için, AC20 amorf tel algılayıcının veri alma aralığının da mikro düzeyde olması gerektiği unutulmamalıdır. Veri alma aralığı ne kadar küçük olursa, çatlak merkezi ve şekli o kadar gerçek değere yaklaşacaktır. Bu deneysel çalışmada x ekseninde 165 µm aralıklarla ölçüm alındığından, deneyde bulunan çatlak merkezinin gerçek konumu ∓ 165 µm aralığında olabileceği unutulmamalıdır.

Bu deneysel çalışmada algılayıcı olarak kullanılan AC20 amorf telin belirli bir kesit alanının olması, bu algılayıcının bölgesel okuma yaptığını göstermektedir. Diğer bir deyişle sadece gidilen noktadaki B_y bileşeninin etkilerini değil, kesit alanına düşen tüm B_y bileşenlerinin etkilerini algılamaktadır. Bu da AC20 amorf telle elde edilen verilerle çatlak genişliği ve derinliğinin bulunmasında engel oluşturmaktadır. Bu halde Si-Fe ferromanyetik levhalarda oluşmuş herhangi bir doğal çatlak merkezinin, üst yüzey görünümünü bulmak için, model yüzeyinin taranması ve AC20 amorf tel algılayıcının çıkış voltajlarının tespit edilmesi yeterli olmaktadır. Bununla birlikte AC20 amorf telin bölgesel okuma yapması

sebebiyle çatlağın derinliği ve genişliğini bulmak için telin iki ucu arasındaki gerilim yeterli olmamaktadır.

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu deneysel çalışmada veri almada kullanılan AC20 amorf tel algılayıcının, Si-Fe ferromanyetik levhalarda oluşmuş herhangi bir doğal (karışık) çatlağın merkezini ve çatlağın şeklini bulmada bir sınırlama getirmediği gözlenmiştir. Bu yüzden AC20 amorf telin tahribatsız testte manyetik algılayıcı olarak kullanılabilmesini söylemek mümkündür. Fakat çatlağın merkezini ve çatlağın şeklini gerçeğe yakın bulmada algılayıcının yanısıra veri alma aralığıda etkin rol oynamaktadır. Bu yüzden mikro düzeydeki bir çatlağın şeklini ve merkezini bu yöntem ve algılayıcıyla bulmak için, veri alma aralığının da mikro düzeyde olması gerektiği unutulmamalıdır.

Bu deneysel çalışmada AC20 amorf algılayıcıyla sadece tüm yapay karışık çatlak modellerinin üst yüzeyi tarandığından, çatlağın sadece üst yüzey görünümü ve konumu belirlenebilmektedir. Modeldeki çatlağın üç boyutlu geometrisi için, modelin diğer yüzlerinin de algılayıcı ile yüzey taramasından geçirilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca çatlağın merkezi ve şekli dışında kalan fiziksel özelliklerini bulmada AC20 amorf tel gibi bölgesel okuma yapan algılayıcılar yerine Hall etkili algılayıcı gibi nokta okuma yapabilen algılayıcıların kullanılması gerektiği belirlenmiştir. Bu sonuçların yanısıra, AC20 amorf telin çıkış voltajının çatlak merkezinde minimum değere inmesi, kaçak manyetik akının y bileşeninin çatlak merkezinde olmadığını göstermiş ve bulgunun Şekil 10'da verilen Sonlu Elemanlar Yönteminin bulgularıyla uyduğu belirlenmiştir. Ayrıca kaçak manyetik akının toplam büyüklüğünü ve buna bağlı olarak algılayıcının çıkış voltajının büyüklüğünü, çatlağın fiziksel özelliklerinin yanısıra ferromanyetik malzemenin manyetik geçirgenliğinin büyüklüğü de değiştirmektedir. Bu da tabiki AC20 amorf tel algılayıcının tahribatsız test uygulamalarında kullanılabilirliğini sınırlayıcı bir etkidir. Test edilecek örneğin manyetik geçirgenliği arttıkça kaçak manyetik akınının toplam büyüklüğü azalacağından, AC20 amorf tel algılayıcının iki ucu arasındaki voltaj değişimi azalacaktır. Bu voltaj değişimi voltmetrenin duyarlılık sınırını aşarsa, örnekteki çatlak ya da süreksizlikler algılanamayacaktır. Fakat bulgular ışığında, fiziksel özellikleri birbirinden farklı ve boyutları $30\text{cm} \times 3\text{cm} \times 3\text{cm}$ geçmeyen Si-Fe ferromanyetik levhalarda herhangi bir nedenle oluşabilecek doğal çatlakların bazı fiziksel özelliklerinin (çatlağın şekli ve merkezi) kullanılan yöntem ve tarayıcı sistemle belirlenebileceğini söylemek mümkündür.

KAYNAKLAR

1. Üstüner, A., İmalat Tekniğinden Kaynaklanan Hatalar, Ankara, (1981)
2. İkinci, 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), 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
13. Göktepe, M., Ege, Y., Bayri, N. and Atalay, S., "Non-destructive crack detection using GMI sensor", Phys. Stat. Sol., No:12, 3436-3439, (2004)