

Ferromanyetik Malzemelerdeki Çatlakların Belirlenmesi ve Çatlak Bölgesindeki Kaçak Manyetik Akının Üç Boyutta Simülasyonu

M. GÖKTEPE¹, Y. EGE²

¹Balikesir Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü BALIKESİR

²Balikesir Üniversitesi Necatibey Eğitim Fakültesi Fizik Eğitimi Bölümü BALIKESİR

Özet: Bu çalışmada ferromanyetik malzemelerin üzerinde herhangi bir nedenle oluşabilecek çatlakların, fiziksel özelliklerinin manyetik yollarla tayin edilebilmesi ve çatlak bölgesindeki kaçak manyetik akının üç boyutlu davranışının tespiti için, üç boyutta bilgisayar kontrollü bir tarayıcı sistem, manyetize edici sistem ve algılayıcıdan oluşan bir çatlak dedektörü yapılarak manyetik ölçme düzeneği kurulmuştur. Ferromanyetik levhalar kullanılarak, fiziksel özellikleri birbirinden farklı yapay olarak değişik çatlaklar oluşturulmuş ve manyetize edici sistem üzerine yerleştirilerek örneğin manyetize edilmesi sağlanmıştır. Daha sonra manyetize edilen örneğin yüzeyi x-y ve x-z düzleminde algılayıcıyla taratılmıştır. Bunun sonucunda algılayıcının çıkış voltajının x-y ve x-z konumuna göre grafikleri çizilmiştir. Elde edilen veriler işlenmiş, her örnek için çatlakın bulunduğu bölgedeki kaçak manyetik akının 3 boyutlu davranışı belirlenmiş ve çatlakın fiziksel özelliklerinin değişmesinin sensör çıkış voltajına etkisi tespit edilmiştir. Bu makalede deneysel çalışmamızın ayrıntılarından ve sonuçlarından bahsedeceğiz.

Anahtar Kelimeler: Manyetik Ölçme Düzeneği, Ferromagnetik Malzeme, 3D Tarayıcı Sistem

Detection of Cracks on Ferromagnetic Materials and Simulation of magnetic Flux Leakage on Cracks

Abstract: A magnetic measurement circuit 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.

Key Words: Magnetic Measurement Mechanism, Ferromagnetic Materials, 3D Scanner System

Giriş

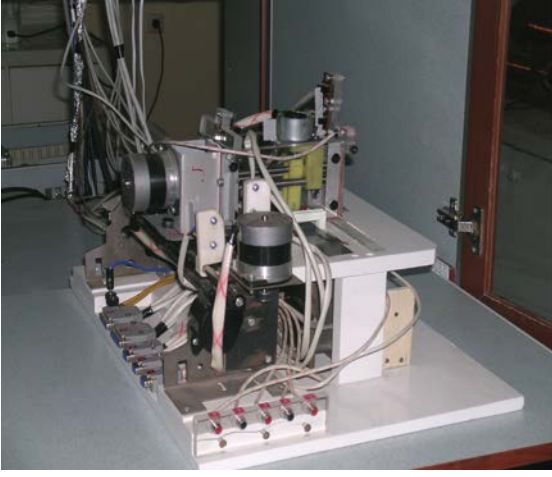
Endüstriyel uygulamalarda malzemeler, tahribatsız muayene teknikleri ile kontrol edilmektedirler. Bu teknikler arasında ultrasonik, manyetik parçacık, sıvı penetrant, akustik emisyon, girdap akımları, radyografi ve manyetik akı kaçakları testi yer almaktadır [1-12]. Bu tekniklerin kendine özgü bazı sınırlılıkları ve uygulama şekilleri vardır. Fakat bunlar arasında öyle iki yöntem var ki malzemedeki çatlakların fiziksel özelliklerini tespit edebilmek için, kullanılan 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 yada üç boyutta hareket edebilen bir aparata monte edilmelidir. Bu çalışmada manyetik akı kaçakları testinin yapılabilmesi için yeni bir manyetik ölçme düzeneği kurulmuştur.

Kurulan bu düzenele ferromanyetik levhalarla yapay olarak hazırlanan örnekler test edilmiştir.

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

Manyetik Ölçme Düzeneği

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



Şekil 2.1 Oluşturulan 3D Tarayıcı sistem ve elektronik sistemin görünümü

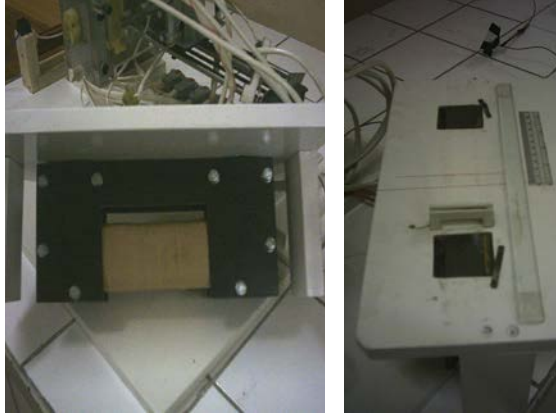
3D tarayıcı sistemin mekanğinde manyetik özellik göstermeyen alüminyum levha, civa çeliği, plexe Glass ve kestamit türü malzemeler kullanılmıştır. 3-D Tarayıcı sistem, sensörün üç boyutta hareketini sağlayan hareket edebilen aksam ile manyetize edici sistemden oluşmuştur. Çalışmamızda osilatör, amlifikatör, izolasyon transformatörü ve U şeklindeki çekirdekte oluşan sisteme, manyetize edici sistem adı verilmiştir. Şekil 2.2’de manyetize edici sistemin blok diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 2.2 Manyetize edici sistemin blok diyagramı

Manyetize edici sistemle, U şeklindeki çekirdekte 0’dan ile 1200 A/m’ye kadar değişen manyetik alan şiddeti oluşturmak mümkündür. Fakat deneysel çalışmamızda manyetik alan şiddeti değişken olarak kabul edilmediğinden, belirli bir değerde sabit tutulmuştur. Manyetik alan şiddetinin belirli bir sabit değerinde test edilecek malzemeler Şekil 2.3’de verilen U

şeklindeki çekirdeğin üzerine yerleştirilerek manyetize edilmişlerdir.



Şekil 2.3 Manyetize edici U çekirdeğin görünümü

Şekil 2.4’de verildiği gibi 3-D Tarayıcı sistem, manyetize edici sistem ve tarayıcı sistemin bilgisayarla kontrolünü sağlayan elektronik sistem kabin içine yerleştirilmiştir.



Şekil 2.4 Manyetik ölçme düzeneği

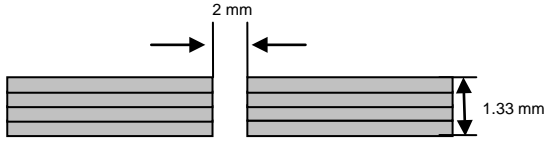
Deneysel Çalışma

Çatlak Modellerinin Oluşturulması

Çalışmamızda yapay çatlakların oluşturulması, 0.33 mm kalınlığında ve değişik uzunluklarda ferromanyetik malzemelerin 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

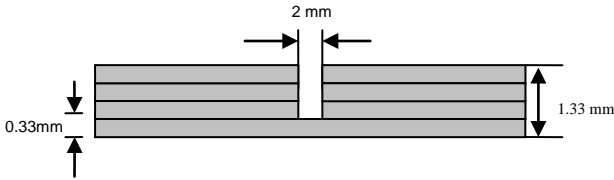
doğadaki yüzeyi düzlemsel olan malzemeler içinde oluşabilecek hemen hemen bütün doğal çatlakların tespit edilebilmesi için, Ferromanyetik şeritler kullanılarak Tam çatlak, Yarım çatlak ve Gömülü çatlak olmak üzere 3 değişik modelde yapay çatlak dizayn edilmiştir.

Şekil 3.1’de verildiği gibi tam çatlak modelinde çatlak, malzemenin alt ve üst yüzeyine ulaşmaktadır.



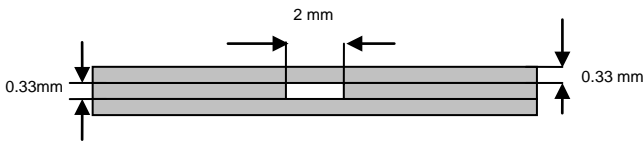
Şekil 3.1 Tam Çatlak modeli

Yarım çatlak modelinde ise Şekil 3.2’de verildiği gibi çatlak, malzemenin üst yüzeyine ulaşabildiği halde alt yüzeyine ulaşmamaktadır.



Şekil 3.2 Yarım Çatlak modeli

Şekil 3.3’de verilen gömülü çatlak modelinde ise çatlak, malzemenin ne üst yüzeyine ne de alt yüzeyine ulaşabilmektedir.



Şekil 3.3 Gömülü Çatlak modeli

Verilerin Toplanması

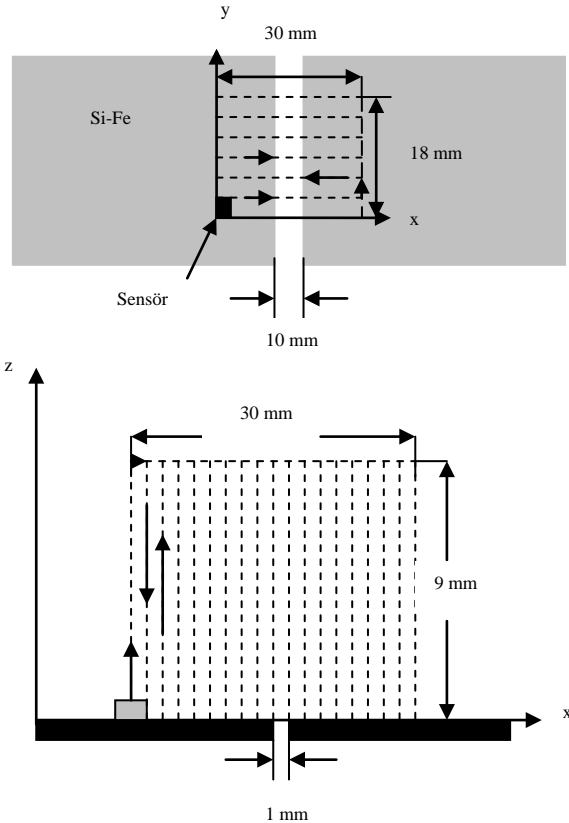
Bu çalışmada verilerin toplanması aşamasında, birbirinden farklı fiziksel özelliklere sahip olan yapay çatlak modellerinin herbiri için uygulanan işlem sırası;

1. Yapay modelin manyetize edici bobin üzerine yerleştirilerek, modelin mıknatıslanmasının sağlanması,
2. Visual Basic’te yazdığımız 3-D Tarayıcı sistemin kontrol programı vasıtasıyla, üzerinde Hall etkili algılayıcının bulunduğu tarayıcı aparatın, 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 aparatı, z konumu farklı olan x-y düzlemlerinde hareket ettirmekte ve x ekseninde istenilen noktalarda veri

alınmasına izin vermektedir. Çalışmamızda, çatlak bölgesinde modelin yüzeyinin x-y düzleminde 30×18 mm’lik alanı taranmış, x ekseninde 0.33 mm aralıklarla veri alındıktan sonra, tarayıcı aparat 4,5 mm yukarıya çekilerek aynı alan taratılmıştır. Aynı işlem tarayıcı aparatın malzeme yüzeyinden 9 mm yukarıdayken de tekrarlanmıştır. Bu sayede, her modelin yüzeyinden itibaren 3 farklı yükseklikte 30×18 mm’lik alan taranmış olmaktadır. Programın bitiminde, açtığımız veri dosyasına tüm veriler kaydedilmiş ve dosya kapatılmış olmaktadır.)

6. 3-D Tarayıcı Sistemin tekrar başa çekilmesi ve kontrol programında Deney Bilgisi formu kullanılarak başka bir veri dosyasının açılması,
7. Kontrol programında Manuel Hareket formunun açılması ve tarayıcı aparatın x-z düzleminde yapacağı hareketin sınırlarının belirlenmesi,
8. Programın çalıştırılması, (Çalışmamızda, y=0 iken, yani y motoru hareketsizken, çatlak bölgesinde, modelin yüzeyinden itibaren x-z düzleminde 30×9 mm’lik alan taranmış ve z ekseninde 0.45 mm aralıklarla veri alınmıştır. Programın bitiminde, açtığımız veri dosyasına tüm veriler kaydedilmiş ve dosya kapatılmış olmaktadır.)
9. Tarama işleminden sonra, modeldeki çatlakın her iki tarafına 5’er sarımlık bobin sarılması ve bu sayede çatlak bölgesindeki kaçak manyetik akının miktarının tespit edilmesi (Şekil 3.8), şeklinde verilmektedir.

Şekil 3.4’de verildiği gibi modelin yüzeyinden itibaren x-y düzleminde 3 farklı tabaka taraması yapılmıştır.

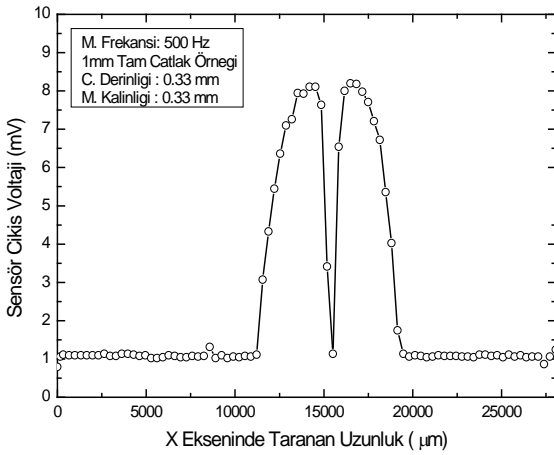


Şekil 3.4 Modelin yüzeyinden itibaren x-y düzleminde 3 farklı tabakada taraması ve modelin yüzeyinden itibaren x-z düzleminde taraması

Modelin yüzeyinden itibaren x-y ve x-z taramaları sonucu alınan veriler ve bu verilerin analog integratörle integre edilmiş değerleri, çatlakın fiziksel özelliklerini bulmada ve çatlak bölgesindeki kaçak manyetik akının üç boyutlu davranışının simülasyonunda kullanılmaktadır. Bu simülasyon için;

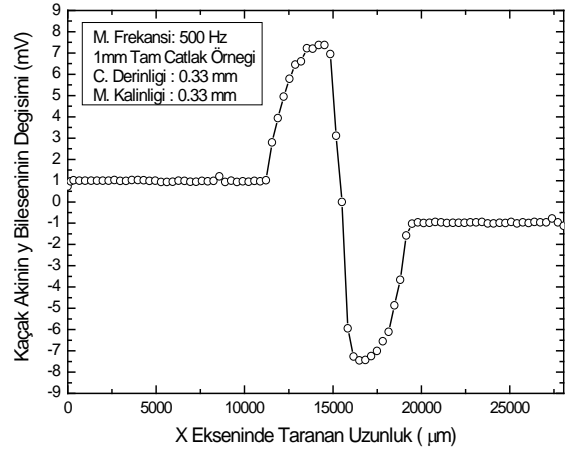
1. Kaçak manyetik akının y bileşenin zamanla değişiminin, taranan uzunluğa bağlılığının bilinmesi
2. Kaçak manyetik akının y bileşenin değişiminin, taranan uzunluğa bağlılığının bilinmesi
3. Kaçak manyetik akının z ekseninde çıkabildiği maksimum yüksekliğin bilinmesi
4. Kaçak toplam manyetik akının büyüklüğünün bilinmesi

gerekmektedir. Modelin yüzeyinden itibaren x-y ve x-z taramaları sonucu algılayıcıdan alınan veriler kaçak manyetik akının y bileşenin zamanla değişiminin bir ölçüsüdür. Bu yüzden model yüzeyinin x-y taraması sırasında kaçak manyetik akının y bileşenin büyüklük değişimi, bu çalışmada tarama sırasında elde edilen verilerin integre edilmesiyle belirlenmiştir. Bu çalışmada tüm yapay modellerde kaçak manyetik akının y bileşenin zamanla değişiminin, taranan uzunluk boyunca değişimi Şekil 3.5’de verildiği gibidir.



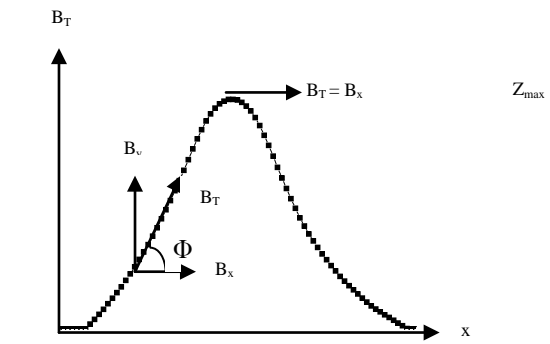
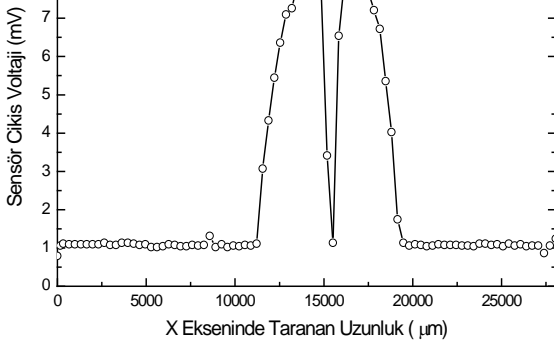
Şekil 3.5 1mm Tam Çatlak örneği için sensör çıkış voltajının, x ekseninde taranan uzunluğa göre değişimi

Yine tüm yapay modellerde kaçak manyetik akının y bileşenin değişiminin, taranan uzunluğa bağlılığı şekil olarak aynı olup aşağıda bir örneği gösterilmektedir (Şekil 3.6).



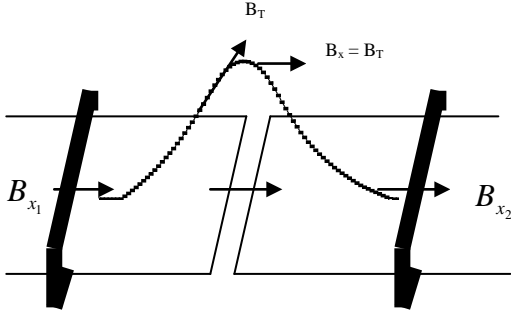
Şekil 3.6 1mm Tam Çatlak örneği için sensör kaçak akının y bileşenin, x ekseninde taranan uzunluğa göre değişimi

Şekil 3.5 grafiğini oluşturan sensör verilerinin ($V_{\text{sensör}} = dB_y/dt$) analog integratörden geçirilmesiyle kaçak manyetik akının y bileşenin konuma göre değişimi Şekil 3.6’daki gibi belirlenmiştir. Şekil 3.5 ve Şekil 3.6 grafikleri değerlendirildiğinde, çatlak bölgesinde kaçak akının (B_T) x eksenı boyunca davranışının şekil olarak aşağıdaki gibi olabileceği söylenebilir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 Kaçak akının x eksenı boyunca davranışı

Manyetize edici bobin üzerine konan çatlak modelin üzerinden geçen manyetik akının büyük bir kısmı kaçak yapmadan malzeme yüzeyinden akmaktadır. Malzeme yüzeyinden akan manyetik akının, malzemeye dik bileşeni olmadığı için algılayıcıda herhangi bir sinyal değişimi gözlenmemektedir. Modelin taranması sonucu alınan verilere dayanarak, kaçak akının çatlak bölgesindeki 3 boyutlu davranışının simülasyonu ya da tam şeklinin bulunabilmesi için kaçak akının toplam büyüklüğünün bilinmesi gerekmektedir. Bu amaçla modeldeki çatlakın her iki yanına Şekil 3.8’de verildiği gibi 5’er sarımlık bobin sarılmıştır.



Şekil 3.8 Kaçak akının toplam büyüklüğünün bulunuşu

Şekilde 3.8’de görüldüğü gibi kaçak akının toplam büyüklüğü, modeldeki çatlakın her iki yanına sarılmış bobinlerden elde edilen sinyallerin birbirinden çıkarılması ile bulunmuştur.

$$B_T = B_{x_2} - B_{x_1} \quad (3.1)$$

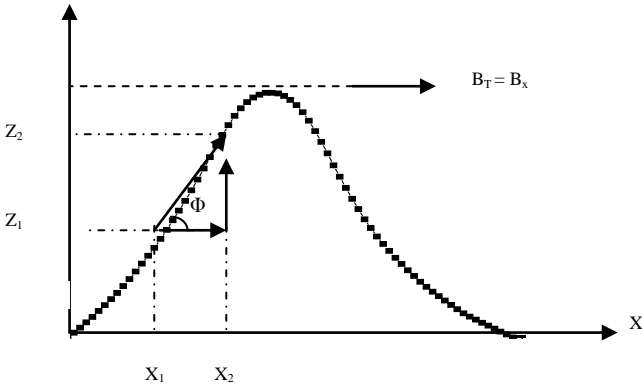
Kaçak manyetik akının, modelin yüzeyinden itibaren z ekseninde çıkabileceği en üst noktada sadece x bileşeni varolduğu söylenebilir. Şekil 5.9’da verildiği gibi $B_T = B_x$ olacaktır.

olacaktır. Burada $x_2 - x_1$ aralığı, modelin x-y taramasında uygulanan x eksenindeki veri alma aralığıdır. Çalışmamızda bu aralık 0.165 mm olarak belirlenmiştir. Ayrıca, bağıntıdaki Z_2 ve Z_1 değerleri, kaçak manyetik akının z eksenindeki ardarda iki konumunu göstermektedir.

Çalışmamızda kaçak manyetik akının x-z düzlemindeki tüm konumları, kaçak manyetik akının çıkabildiği en üst nokta konumunun Z_2 ’ye eşit olmasından yararlanılarak bulunmuştur. O halde kaçak manyetik akının çıkabildiği en üst noktanın değeri bilinirse, ondan bir önceki konumu olan Z_1 değeri Denklem 3.3 kullanılarak bulunabilir. Bulunan Z_1 değeri, Z_2 yerine kullanılarak kaçak manyetik akının bir önceki konumunun bulunmasında kullanılır ve bu işlemi $X_1=0$ olana kadar devam ettirsek kaçak manyetik akının x-z düzlemindeki tüm konumları bulunabilir. Bu sayede kaçak manyetik akının, çatlak bölgesindeki davranışı simüle edilebilir.

Kaçak manyetik akının x-z düzlemindeki tüm konumlarının bulunarak, simüle edilebilmesinde gerekli olan tüm veriler (B_y ’nin x konumuna göre değişimi, Kaçak manyetik akının büyüklüğü ve Kaçak akının çıkabildiği maksimum yükseklik) veri toplama aşamasındaki deneylerde bulunmuştur. Elde edilen bu veriler işlenerek çatlak bölgesindeki kaçak manyetik akının uzaydaki davranışının 3 boyutlu grafiğinin çizilmesinde kullanılmıştır.

Z



Şekil 3.9 Kaçak akının x-z düzlemindeki davranışı

Kaçak akının konumunun x-z düzlemindeki değişimi, bu akının kendisi ile y bileşeni arasındaki değişimi belirlemektedir. Kaçak manyetik akının uzayda korunduğu varsayılırsa,

$$\sin\phi = \frac{B_y}{B_T} = \frac{B_y}{B_x} = \frac{Z_2 - Z_1}{\sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2}} \quad (3.2)$$

ifadesi yazılabilir. Bu ifade de Z_2 ’yi çekersek,

$$Z_2 = \sqrt{\frac{B_y^2 (X_2 - X_1)^2}{(B_T^2 - B_y^2)}} + Z_1 \quad (3.3)$$

Verilerin İşlenmesi

Bu çalışmada verilerin işlenmesi aşamasında, birbirinden farklı fiziksel özelliklere sahip olan yapay çatlak modellerinden elde edilen verilerin herbiri için uygulanan işlem sırası;

1. Herbir yapay çatlak modelinden elde edilen veri dosyaları, dat dosyası haline getirilmesi ve dosya içindeki tüm verileri Orjin 7.0 programına aktarılması,
2. Program içinde, algılayıcının, yapay çatlak modeli yüzeyinden itibaren 3 farklı x-y düzlemde aldığı verilerin birbirinden ayrılarak 3 farklı veri grubu oluşturulması (Herbir veri dosyasında, algılayıcının hangi x-y noktasında veri aldığı ve o nokta alınan verilerin büyüklükleri yeralmaktadır. Dosyada sırasıyla x-y-z konumu, algılayıcının o konumda okuduğu değer ve algılayıcıya gelen sinyalin integral edilmesiyle oluşan değer bulunmaktadır.),
3. 1.Verit dosyasına, algılayıcının; modelin yüzeyine temas eder pozisyonunda aldığı verilerin yerleştirilmesi ve bu dosyanın matrix dosyasına çevrilmesi,
4. Diğer veri dosyalarına ise, sırasıyla algılayıcının; modelin yüzeyinden 4,5 ve 9 mm yüksekte olduğu konumda aldığı verilerin yerleştirilmesi ve bu dosyanın matrix dosyasına çevrilmesi,
5. Herbir matrix dosyasındaki verilerin 3 boyutlu grafiğe dönüştürülmesi (Diğer bir deyişle, a- Algılayıcının çıkış voltajına ve algılayıcının x ve y düzlemindeki konumuna göre 3 boyutlu grafiklerinin çizilmesi b- Algılayıcının çıkış voltajının integraline ve

algılayıcının x ve y düzlemindeki konumuna göre 3 boyutlu grafiklerinin çizilmesi),

6. Modelin, x-z taraması sonucu elde edilen verilerin 4. veri dosyasına aktarılması, matrix dosyaya çevrilmesi ve grafiğe dönüştürülmesi (Bu grafiğin sonucunda kaçak akının z ekseninde çıkabildiği maksimum yüksekliğin tespit edilmesi),
7. Bu verilerin ışığında, Denklem 3.3 kullanılarak kaçak manyetik akının x-z düzlemindeki konumlarının bulunması ve sonuçların grafiğe dönüştürülmesi (Diğer bir deyişle, çatlak bölgesindeki kaçak manyetik akının davranışının simüle edilmesi),

şeklinde verilebilir.

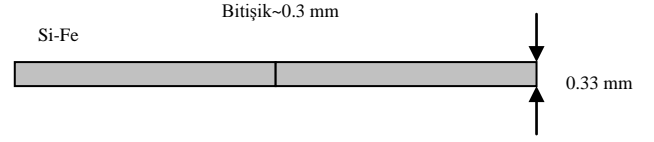
Bulgular

Deneysel çalışmamızda üç değişik yapay çatlak modeli üzerinde durulmuştur. Bunlar tam, yarım, gömük yapay çatlak modelleridir. Yapay tam çatlak modellerinde iki değişken üzerinde durulmuştur. Bunlardan birincisi çatlak genişliği, diğeri ise çatlak derinliğidir. Bu çalışmada, tam çatlak modeli için, çatlak derinliği 0.33 mm'den 2mm'ye, çatlak genişliği ise bitişik pozilyondan 3 mm'ye kadar değiştirilmiştir.

Yapay yarım çatlak modellerinde ise 3 değişken üzerinde durulmuştur. Bunlar çatlak genişliği, çatlak derinliği ve çatlak modelin alt yüzeyine olan uzaklığıdır. Bu çalışmada, yarım çatlak modeli için, çatlak derinliği 0.33 mm'den 2mm'ye, çatlak genişliği ise bitişik pozilyondan 3 mm'ye kadar değiştirilmiştir. Çatlak modelin alt yüzeyine olan uzaklığı da 0.33 mm'den 1 mm'ye kadar çıkarılmıştır. Yapay yarım ve tam çatlak modellerinin hepsi hall etkili sensörle test edilmiştir. Tüm modeller test edilirken manyetize edici sistem 1000 Hz'lik AC akımla beslenmiş ve manyetize edici bobinde $H=827$ A/m'lik manyetik alan şiddetinin oluşması sağlanmıştır.

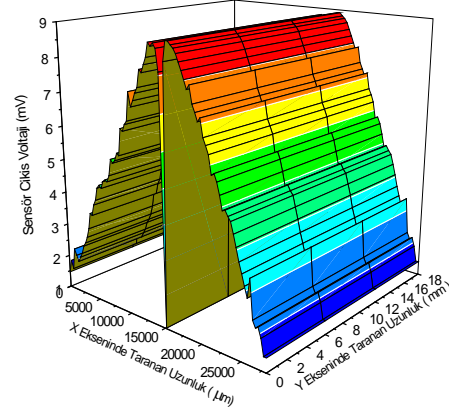
Yapay gömük çatlak modellerinde de 4 değişken üzerinde durulmuştur. Bunlar çatlak genişliği, çatlak derinliği, çatlak modelin alt yüzeyine olan uzaklığı ve çatlak modelin üst yüzeyine olan uzaklığıdır. Bu çalışmada, gömülü çatlak modeli için, çatlak derinliği 0.33 mm'den 1mm'ye, çatlak genişliği ise bitişik pozilyondan 3 mm'ye kadar değiştirilmiştir. Çatlak modelin alt ve üst yüzeyine olan uzaklığı da 0.33 mm'den 0.66 mm'ye kadar çıkarılmıştır. Her modelin testinde hall etkili sensör kullanılmıştır. Tüm gömük çatlak modelleri test edilirken manyetize edici sistem 500 Hz'lik AC akımla beslenmiş ve manyetize edici bobinde $H=413$ A/m'lik manyetik alan şiddetinin oluşması sağlanmıştır.

Deneysel çalışmada daha önce bahsedilen veri toplamadaki işlem basamakları tüm modellere uygulanmış ve elde edilen veriler çözümlenip grafikleri çizilmiştir. Elde edilen bu grafiklerin çatlak fiziksel özelliklerini bulmada nasıl kullanıldığı, Şekil 3.10'da verilen T_0.00_0.33 Tam Çatlak Modelinin sonuçları üzerinde tartışılmıştır.

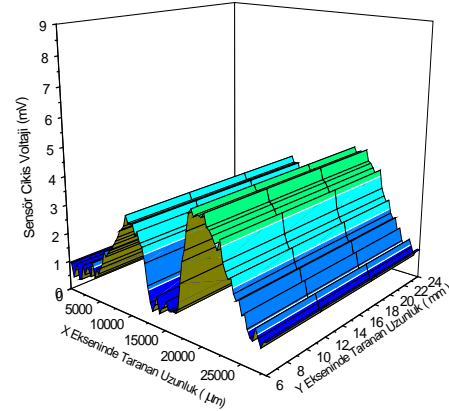


Şekil 3.10 T_0.00_0.33 Tam Çatlak Modeli

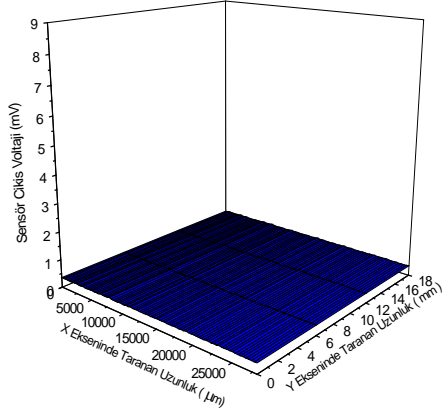
T_0.00_0.33 tam çatlak modelinin, Hall sensörle elde edilen verilerin grafikleri Şekil 3.11'de sunulmuştur.



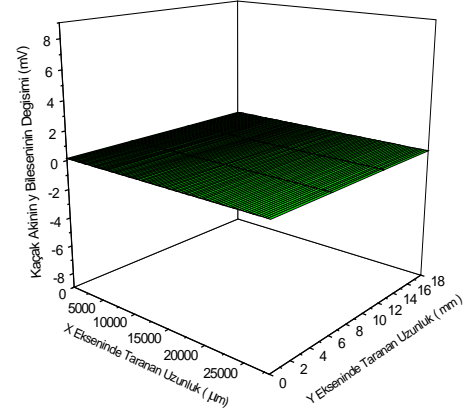
(a)



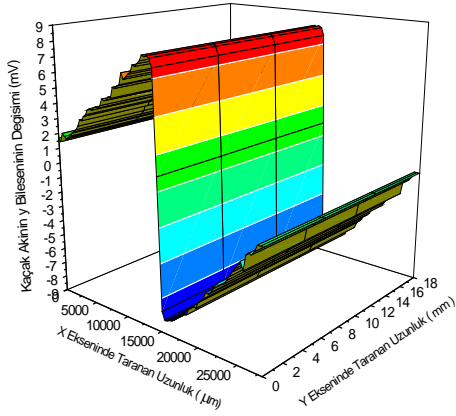
(b)



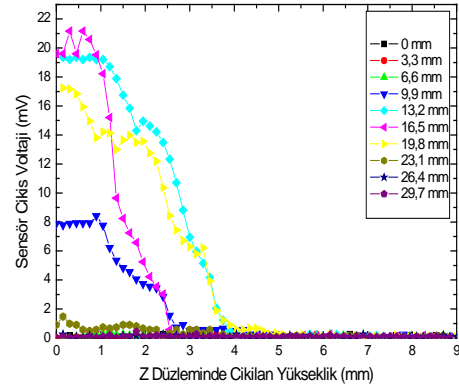
(c)



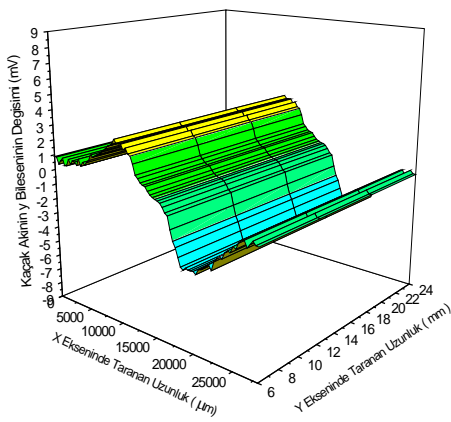
(f)



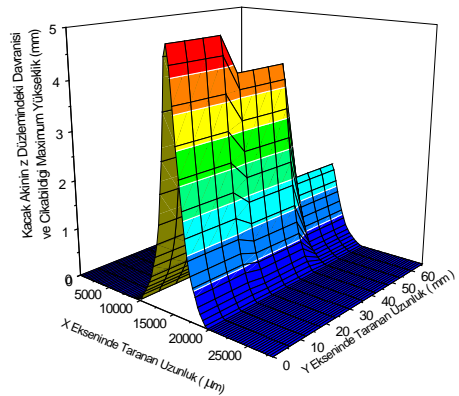
(d)



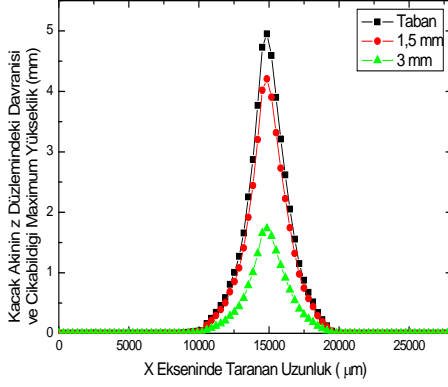
(g)



(e)



(h)



(k)

Şekil 3.11 *T_0.00_0.33 Tam Çatlak Modelinde Hall sensörle elde edilen verilerin grafikleri.*

(Modelin yüzeyinden, (a) 0 mm, (b) 4,5 mm, (c) 9 mm yukarıda x-y taraması sırasında sensörün çıkış voltajının x-y konumuna göre değişimi;

Modelin yüzeyinden, (d) 0 mm, (e) 4,5 mm, (f) 9 mm yukarıda x-y taraması sırasında kaçak manyetik akının y bileşeninin x-y konumuna değişimi;

(g) Modelin x-z taraması sonucu, sensörün çıkış voltajının, x eksenine bağlılığı;

(h) Modelin çatlak bölgesinde kaçak manyetik akı davranışının 3 boyutlu simülasyonu;

(k) Modelin çatlak bölgesinde kaçak manyetik akı davranışının 2 boyutlu simülasyonu.)

Modelin yüzeyinde ve yüzeyinin 4.5 mm yukarısında x-y taraması sırasında Hall sensörün çıkış voltajının x-y konumuna göre değişim grafiğine bakıldığında (Şekil 3.11a,b), Hall sensörün çıkış voltajının çatlak merkezi civarına kadar arttığı, çatlağın merkezinde sıfıra indiği ve sonrasında tekrar artıp azaldığı görülmektedir. Hall sensörün çıkış voltajının bu şekilde değişimi kaçak manyetik akının davranışının Şekil 3.7'deki gibi olacağını bize göstermektedir. Ayrıca Şekil 3.11a'da Hall sensörün çıkış voltajının sıfır olduğu nokta, modelin çatlak merkezine isabet etmektedir. Bunun yanı sıra aynı şekilde Hall sensörün çıkış voltajının sıfır olduğu noktaların oluşturduğu şekil çatlağın şeklini belirlemektedir. Dolayısıyla bu grafiğe bakıldığında, modelin çatlak merkezinin 15000 μm civarında ve çatlağın şeklinin de doğru şekilde olduğu rahatlıkla söylenebilir. Ayrıca grafikteki iki pik arasındaki mesafe, çatlağın genişliği doğrudan vermektedir. Buna göre çatlak genişliği 330 μm olduğu söylenebilir. Bu durum gerçekte de uyuşmaktadır (Şekil 3.10).

Modelin yüzeyinden 9 mm yukarıda x-y taraması sırasında Hall sensörün çıkış voltajının x-y konumuna göre değişimi grafiklerine bakıldığında ise (Şekil 3.11c), bu yükseklikte Hall sensörün çıkış voltajının hemen hemen sıfır olduğu söylenebilir. Bu ise kaçak manyetik akının bu yüksekliklere kadar çıkamadığını göstermektedir. Bu durumu Şekil 3.10g'de gösterilen modelin x-z taraması sonucu Hall sensörün çıkış

voltajının, x eksenine göre değişim grafiği de desteklemektedir. Bu grafiğe bakarak, kaçak manyetik akının, modelin yüzeyinden hemen hemen 4.95 mm yukarıya kadar çıkabildiği söylenebilir.

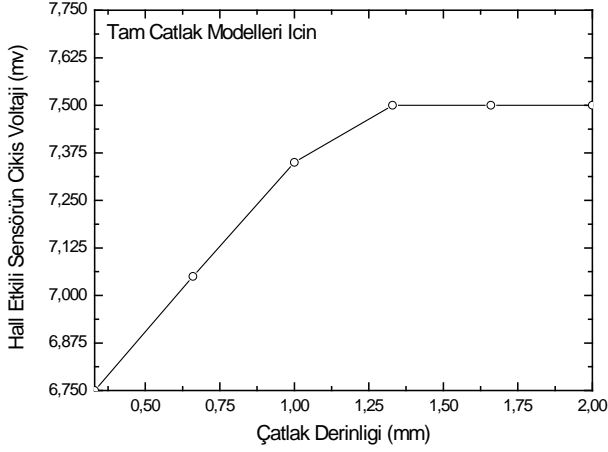
Modelin çatlak bölgesinde, kaçak manyetik akının y bileşeninin değişim grafikleri Şekil 3.11f-g'de görülmektedir. Grafik verileri, Hall sensörün çıkış sinyalinin integre edilmesiyle bulunmuştur. Dolayısıyla grafikte kaçak manyetik akının y bileşeninin birimi olarak mV verilmiştir. Grafikte istenilen konumda, kaçak manyetik akının y bileşeninin değerini tesla (T) birimine çevirmek için, grafikte görülen mV değerini 0.295×10^{-3} çarpanıyla çarpmak yeterli olacaktır.

Modelin çatlak bölgesinde, kaçak manyetik akının toplam büyüklüğünün ne kadar olduğunu bulmak için, modeldeki çatlağın her iki yanına 5'er sarımlık bobin sarılmış ve bu değerler 8 mV olduğu bulunmuştur. Modelin çatlak bölgesinde, kaçak manyetik akının y bileşeninin değişiminin bilinmesi, kaçak manyetik akının çıkabildiği maksimum yüksekliğin bilinmesi ve kaçak manyetik akının büyüklüğünün bilinmesi sayesinde kaçak manyetik akının çatlak bölgesindeki davranışı, 2 ve 3 boyutlu olarak simüle edilmiştir (Şekil 3.11h,i). Çatlak bölgesindeki kaçak manyetik akının davranışı çizilirken, model yüzeyinden itibaren 3 farklı yükseklikteki davranışı ele alınmıştır. Orjin 7.0 grafik çizim programı, kaçak manyetik akının, model yüzeyinden 3 farklı yükseklikteki davranışını alt alta çizdirmeye izin vermediğinden, yan yana çizilmiştir.

Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada ferromanyetik şeritlerle oluşturulan tam, yarım ve gömük yapay çatlak modellerinin hepsi test edilmiş, modelleri aynı fakat fiziksel özellikleri farklı modellerin sonuçları karşılaştırılarak genel bir yoruma gidilmiştir. Test edilen tam, yarım ve gömülü yapay çatlak modellerinin genel sonuçları hemen hemen birbiriyle benzediği, aralarındaki tek farkın yapay çatlak modeline göre sensör çıkış voltajının değiştiği bulunmuştur. Bu nedenle sadece yapay tam çatlak modellerinden elde edilen sonuçlar üzerinde durulmuştur.

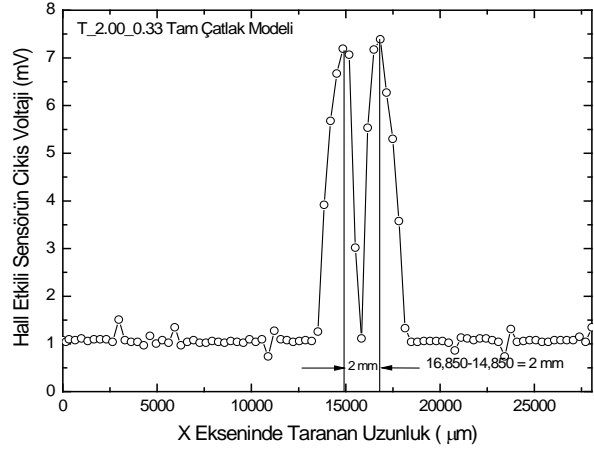
Ferromanyetik şeritlerle oluşturulan yapay tam çatlak modellerinde çatlak derinliğinin artırılmasının, hall etkili sensörün çıkış voltajını nasıl etkilediğini anlayabilmek için, hall etkili sensörün çıkış voltajının çatlak derinliğine göre değişim grafiği modellerden elde edilen veriler ışığında çizilmiş ve bu grafik aşağıda Şekil 4.1'de sunulmuştur.



Şekil 4.1 Hall etkili sensörün çıkış voltajının Tam Çatlak modelindeki çatlak derinliğine göre değişimi

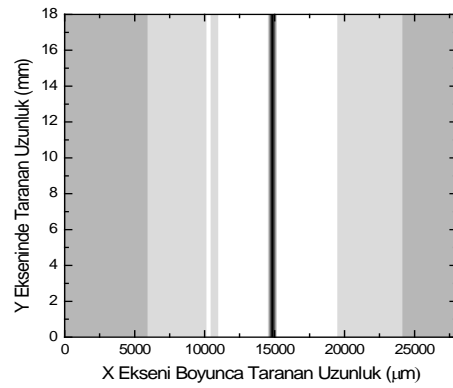
Şekil 4.1'e bakıldığında, ferromanyetik şeritlerle oluşturulan yapay tam çatlak modellerinde çatlak derinliği 0.33 mm'den 2 mm'ye kadar 0.33 mm aralıklarla düzenli olarak artırılmasına rağmen, hall etkili sensörün çıkış voltajının artış aralıklarının aynı düzelilikte olmadığı görülmektedir. Aynı zaman 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 imal edilmiş bir üründe herhangi bir sebeple oluşan tam çatlakların, derinliğinin 1.33 mm'yi geçmesi durumunda, kullandığımız yöntemle çatlak derinliğini bulmak mümkün olmayacaktır.

Ferromanyetik şeritlerle oluşturulan yapay tam çatlak modellerini birbirinden ayıran diğer değişken de çatlak genişliğidir. Kullandığımız yöntemle, ferromanyetik şeritlerle oluşturulan yapay tam çatlak modellerinin genişlikleri, model yüzeyinin x-y taraması sırasında sensörün çıkış voltajının x-y konumuna göre değişim grafiğinden yararlanılarak bulunabilmektedir. Grafiğin çatlak bölgesinde iki karakteristik pik yer almaktadır. Eğer modelin taranması esnasında algılayıcı olarak, Hall etkili sensör gibi noktasal okuma yapan bir algılayıcı kullanıldıysa grafikteki iki pik arasındaki mesafe doğrudan çatlak genişliğini verecektir. Ama model bobin gibi bölgesel okuma yapan bir algılayıcı kullanılarak taranırsa, grafikteki iki pik arasındaki mesafeyi çatlak genişliğine göre kalibre edilerek kalibrasyon katsayısının bulunması gerekmektedir. Dolayısıyla fiziksel özelliklerini bilmediğimiz doğal tam çatlakların, çatlak genişliğini bulmak için, kullandığımız yöntemde sağlamış olduğu işlem kolaylığı açısından hall etkili sensör gibi noktasal okuma yapan sensörleri tercih etmelidir. Aşağıda Şekil 4.2'de kullandığımız yöntemle çatlak genişliğinin bulunuşu gösterilmektedir.



Şekil 4.2 T_2.00_0.33 Tam Çatlak modelinde çatlak genişliğinin bulunması ve doğrulanması

Kullandığımız yöntem, herhangi bir doğal tam çatlak genişliğini bulmada bir sınırlama getirmemektedir. Fakat mikro düzeydeki bir çatlak genişliğini bu yöntemle bulmak için, algılayıcının veri alma aralığının da mikron olması gerektiği unutulmamalıdır. Algılayıcının veri alma aralığı ne kadar küçük olursa, çatlak genişliği o kadar gerçek değere yaklaşacaktır. Doğal bir tam çatlak fiziksel özellikleri dendiğinde çatlak genişliği ve çatlak derinliği dışında akla gelen iki değişkenden biri çatlak merkezi diğeri ise çatlak şeklidir. Kullandığımız yöntemle, ferromanyetik şeritlerle oluşturulan yapay tam çatlak modellerinin çatlak merkezleri ve çatlakların şekli, model yüzeyinin x-y taraması sırasında algılayıcının çıkış voltajının x-y konumuna göre renklendirilmiş değişim grafiğinden yararlanılarak bulunabilmektedir. Grafikte algılayıcının çıkış voltajının sıfır olduğu nokta, modelin çatlak merkezine isabet etmekte ve grafikte o bölgeler siyah renkte gösterilmektedir. Bunun yanısıra algılayıcının çıkış voltajının sıfır olduğu noktaların oluşturduğu şekil de çatlak şeklini belirlemektedir. Aşağıda kullandığımız yöntemle çatlak merkezinin ve şeklinin bulunuşu gösterilmektedir (Şekil 4.3).

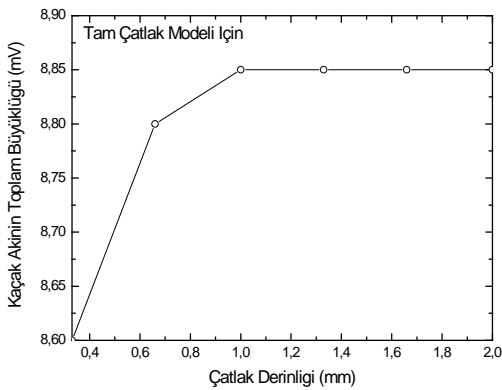
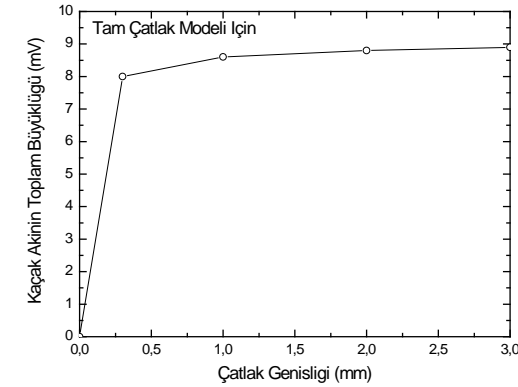


Şekil 4.3 Tam Çatlak modelinde çatlak merkezinin ve çatlak şeklinin bulunuşu

Şekil 4.3'e bakarak, ilgili modelin çatlak merkezinin 15000 μm 'de ve modeldeki çatlakın şeklinin de y eksenine paralel doğru şeklinde olduğu söylenebilir. Kullandığımız yöntem, herhangi bir doğal tam çatlakın merkezini ve çatlakın şeklini bulmada bir sınırlama getirmemektedir. Fakat mikro düzeydeki bir çatlakın şeklini ve merkezini bu yöntemle bulmak için, algılayıcının veri alma aralığının da mikro düzeyde olması gerektiği unutulmamalıdır. Algılayıcının veri alma aralığı ne kadar küçük olursa, çatlak merkezi ve şekli o kadar gerçek değere yaklaşacaktır. Bu çalışmada x ekseninde 165 μm aralıklarla ölçüm alındığından, deneyde bulunan çatlak merkezinin gerçek konumu $\pm 165 \mu\text{m}$ aralığında olabileceği unutulmamalıdır.

Bu çalışmada ferromanyetik şeritlerle oluşturulan tüm yapay tam çatlak modellerinin sadece üst yüzeyi tarandığından, çatlakın sadece üst yüzey görünümü ve konumu belirlenebilmektedir. Modeldeki çatlakın 3 boyutlu geometrisi için, çatlakın en az 3 farklı yüzünün algılayıcı ile yüzey taraması yapılması gerekmektedir.

Bu çalışmada, ferromanyetik şeritlerle oluşturulan tüm yapay tam çatlak modellerinin çatlak bölgesindeki kaçak manyetik akının üç boyutlu davranışı tespit edilmiştir. Ferromanyetik şeritlerle oluşturulan yapay tam çatlak modellerinde çatlak derinliğinin ve genişliğinin artırılmasının, kaçak manyetik akının büyüklüğünü nasıl etkilediğini anlayabilmek için, kaçak manyetik akının büyüklüğünün, çatlak derinliğine ve genişliğine göre değişim grafikleri çizelgedeki veriler ışığında çizilmiş ve bu grafikler aşağıda Şekil 4.4 sunulmuştur.



Şekil 4.4 Tam Çatlak modellerinde kaçak akının toplam büyüklüğünün, çatlak genişliğine ve derinliğine göre değişimi

Şekil 4.4'e bakıldığında, ferromanyetik şeritlerle oluşturulan yapay tam çatlak modellerinde, çatlak bölgesindeki kaçak manyetik akının toplam büyüklüğünün, çatlak genişliği 3 mm olana kadar değiştiği, daha büyük çatlak genişliklerinde ise, değerinin sabit kaldığı görülmektedir. Ferromanyetik şeritlerle oluşturulan yapay tam çatlak modellerindeki kaçak manyetik akının toplam büyüklüğü ise, kendisinin çatlak bölgesindeki 3 boyutlu davranışını, doğrudan etkilemektedir. Bu yüzden, ferromanyetik şeritlerle oluşturulan yapay tam çatlak modellerindeki kaçak manyetik akının 3 boyutlu davranışının, çatlak genişliği 3 mm'nin üzerindeki çatlak modellerinde hep aynı karakteristikte olacağı elde edilen bulgular doğrultusunda söylenebilir.

Yine aynı grafiğe bakıldığında, ferromanyetik şeritlerle oluşturulan yapay tam çatlak modellerinde, çatlak bölgesindeki kaçak manyetik akının toplam büyüklüğünün, çatlak derinliği 1 mm olana kadar değiştiği, daha büyük çatlak derinliklerinde ise, değerinin sabit kaldığı görülmektedir. Ferromanyetik şeritlerle oluşturulan yapay tam çatlak modellerinde çatlak derinliğinin 1 mm'ye kadar artırılması, çatlak bölgesindeki kaçak manyetik akının toplam büyüklüğünü artırırken, o bölgedeki 3 boyutlu davranışını da değiştirmektedir.

O halde bulgular ışığında, ferromanyetik şeritlerle oluşturulan yapay tam çatlak modellerinde, çatlak genişliğinin ve çatlak derinliğinin, çatlak bölgesindeki kaçak manyetik akının 3 boyutlu davranışını etkilediği, fakat bazı sınırlamaların olduğu söylenebilir. Bunun yanısıra kullandığımız yöntemin, ferromanyetik şeritlerle oluşturulan yapay tam çatlak modellerinde, çatlak bölgesindeki kaçak manyetik akının 3 boyutlu davranışını bulmada herhangi bir sınırlama getirmediği de söylenebilir.

Bu çalışma ile;

1. Bu çalışmada geliştirilen sistem ile, boyutları 30cm×3cm×3cm'yi geçmeyen tüm doğal çatlak modellerinin süreksizlik testinin yapılabileceği,
2. Ferromanyetik şeritlerde herhangi bir nedenle oluşabilecek doğal çatlakın, çatlak derinliği 1mm'yi geçmemesi koşuluyla tüm fiziksel özelliklerinin (çatlakın modeli, şekli, genişliği, derinliği, çatlakın alt ve üst yüzeye uzaklığı, çatlak sayısı, çatlakın dışında kalan sağlam kesimin kalınlığı) kullandığımız tarayıcı sistem ve yöntemle belirlenebileceği,
3. Ferromanyetik şeritlerde herhangi bir nedenle oluşan ve çatlak derinliği 1 mm'yi geçen doğal çatlakın derinliği ile 3 boyutlu geometrisinin, aynı tarayıcı sistem ve yöntemle ancak örneğin tüm yanal yüzlerinin taratılması sonucu bulunabileceği,
4. Kullandığımız yöntemle, herhangi bir modeldeki çatlakın fiziksel özelliklerini doğrudan bulabilmek için, bobin gibi bölgesel okuma yapan algılayıcı

5. yerine, Hall etkil sensör gibi noktasal okuma yapan algılayıcıların tercih edilmesi gerektiği, kullandığımız yöntemle, fiziksel özellikleri farklı tüm doğal modellerin, çatlak bölgesindeki manyetik akının 3 boyutlu davranışının bulunabileceği,
6. Deneysel sonuçlara dayanan yöntemimizin, modeldeki 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, TA., Nesdroth, J.B., Eiber, RJ., Saffell, B.F., “Magnetic flux leakage (MFL) technology for natural gas pipeline inspection.”, NDT & E International, Vol. 31, Issue 5, (October 1998), Page 379
- [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, (February 1997), Page 31
- [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, (1996), Page 1581–1584
- [6]. Altschuler, E., Pignotti, A., “Nonlinear model of flaw detection in steel pipes by magnetic flux leakage”, NDT & E International, Vol. 28, Issue 1, (February 1995), Page 35-40
- [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, (February 1997), Page 33
- [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]. Hagemaiyer, D.J., “Fundamentals of Eddy Current Testing”, ASNT, (1990), Page 92, ISBN 0-931403-90-1.